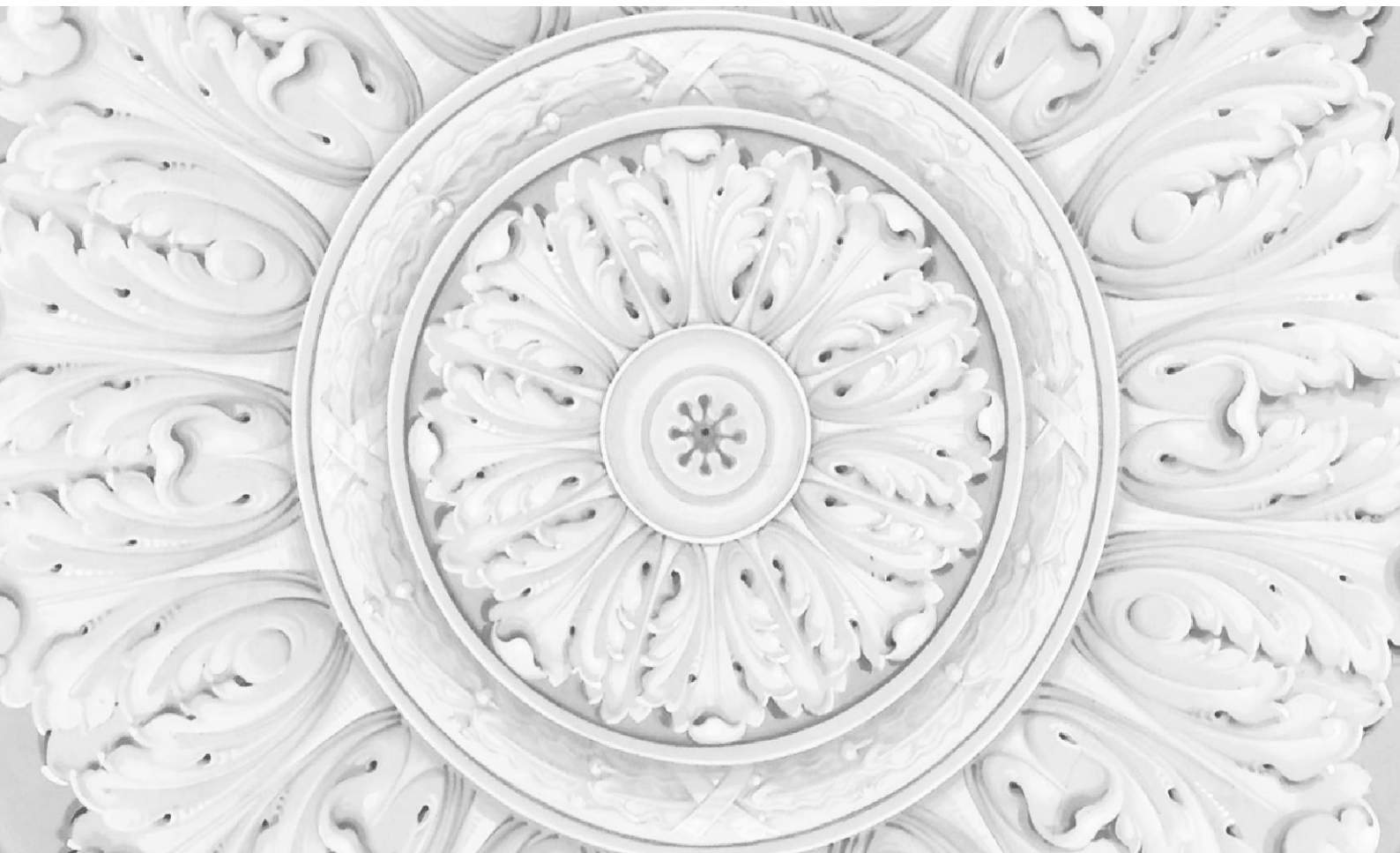




**Банк России**

Центральный банк Российской Федерации



## **СЕРИЯ ДОКЛАДОВ ОБ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Алексей Пономаренко  
Сергей Селезнев  
Рамис Хабибуллин

Прогнозирование  
последствий накопления  
международных резервов при  
помощи агентной модели

№ 37 / Ноябрь 2018 г.

**Алексей Пономаренко**

Банк России, Департамент исследований и прогнозирования

E-mail: [PonomarenkoAA@cbr.ru](mailto:PonomarenkoAA@cbr.ru)

**Сергей Селезнев**

Банк России, Департамент исследований и прогнозирования

E-mail: [SeleznevSM@cbr.ru](mailto:SeleznevSM@cbr.ru)

**Рамис Хабибуллин**

Банк России, Департамент исследований и прогнозирования

E-mail: [KhabibullinRA@cbr.ru](mailto:KhabibullinRA@cbr.ru)

Авторы выражают благодарность Валерию Черноокому, Вадиму Грищенко и участникам 24-й Международной конференции по вычислительным методам в экономике и финансах, конференции WENIA 2018, а также семинара Банка России за ценные предложения и комментарии. Все ошибки, которые могут содержаться в данной работе, являются сферой ответственности авторов.

© Центральный банк Российской Федерации, 2018

**Адрес:** 107016, г. Москва, ул. Неглинная, 12  
**Тел.:** +7 (495) 771-91-00, +7 (495) 621-64-65 (факс)  
**Веб-сайт:** [www.cbr.ru](http://www.cbr.ru)

Все права защищены. Содержание настоящего доклада выражает личную позицию авторов и может не совпадать с официальной позицией Банка России. Банк России не несет ответственности за содержание доклада. Любое воспроизведение представленных материалов допускается только с разрешения авторов.

## Резюме

Мы разработали агентную модель с согласованными финансовыми потоками, описывающую реалистичный механизм формирования денежной массы, и оценили ее на реальных данных. Данная модель используется для вневыборочного прогнозирования широкой денежной массы и кредита после начала и прекращения накопления международных резервов Банком России. Для этой цели мы построили прогнозы напрямую с помощью оцененной агентной модели, а также с помощью двухшаговой процедуры, когда прогнозы строятся на основании байесовской векторной авторегрессии, которая обучается на искусственных данных, сгенерированных с помощью агентной модели. На основании результатов можно сделать вывод, что предлагаемый подход к прогнозированию является конкурентоспособным и дает многообещающие результаты.

**Ключевые слова:** денежное предложение, международные резервы, прогнозирование, агентная модель, Россия.

**JEL-классификация:** C53, C63, E51, E58, F31, G21.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ВАЛЮТНЫЕ ИНТЕРВЕНЦИИ И БАЛАНС БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ	6
1.1. Исследование финансовых потоков .....	6
1.2. Политика Банка России в отношении формирования международных резервов .....	9
2. СПЕЦИФИКАЦИЯ АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ	10
2.1. Внутренние операции и спрос на импорт.....	13
2.2. Внешние операции .....	14
2.3. Коммерческие банки определяют свою позицию в отношении риска и управляют своими резервами и обеспечением.....	16
2.4. Агенты управляют своими внутренними финансовыми активами .....	18
2.5. Выдаются кредиты .....	19
2.6. Производятся выплаты процентов, и агенты допускают дефолт по кредитам .....	19
3. ОЦЕНКА АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ	19
4. ПРОГНОЗЫ НА БАЗЕ АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ	21
5. ВЫВОДЫ	26
ЛИТЕРАТУРА	28
ПРИЛОЖЕНИЕ. ПАРАМЕТРЫ АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ	32

## ВВЕДЕНИЕ

За последние десятилетия в государственном секторе ряда развивающихся стран накопился значительный объем иностранных финансовых активов (преимущественно в форме международных резервов центральных банков). Накопление международных резервов необязательно было побочным продуктом денежно-кредитной политики, направленной на предотвращение укрепления национальной валюты. Отчасти оно стало результатом стремления увеличить подушку безопасности на случай внезапной остановки притока иностранного капитала. Монетарные власти в таких странах не отказывались от независимой политики по установлению процентных ставок (центральные банки по-прежнему управляли краткосрочными ставками денежного рынка). Для купирования негативных последствий покупки и продажи золотовалютных резервов они часто прибегали к политике стерилизованных интервенций. Последние в общем случае можно определить как набор мер, направленных на минимизацию влияния изменения международных резервов на величину процентных ставок. Даже успешное регулирование процентных ставок потенциально может иметь макроэкономические последствия, подробно описанные в соответствующей литературе. Наш вклад в данное направление исследований заключается в инновационном подходе к прогнозированию последствий от накопления центральным банком международных резервов для равновесия банковской системы.

В литературе по валютным интервенциям кредиту и широкой денежной массе уделяется совсем мало внимания. Вместо этого исследователи обычно оценивают последствия валютных интервенций для резервов и чистых внутренних активов центрального банка. Причиной этого, возможно, является предполагаемое наличие стабильной связи между банковскими резервами и агрегатами широкой денежной массы – денежного мультипликатора. Однако в современной литературе практическая применимость данной концепции подвергается сомнению. В своей работе мы строим агентную модель (agent-based model, ABM) с согласованными финансовыми потоками, которая явным образом описывает процесс формирования денежной массы.

Еще одной отличительной особенностью нашего подхода является то, что мы используем агентную модель для расчета прогноза реальных данных. Необходимо отметить, что экономически интерпретируемые модели в соответствующей литературе представляют собой только теоретическую базу для построения эконометрических

моделей временных рядов. Даже в тех редких случаях, когда структурные модели оцениваются на реальных данных, они не используются для расчета прогнозов. Напротив, мы полагаем, что структурные модели лучше приспособлены для прогнозирования последствий реализации мер денежно-кредитной политики (ранее не имевшей места), чем эконометрические модели временных рядов. Для подтверждения этой мысли мы строим вневыборочные прогнозы денежной массы и кредита в ответ на изменение политики Банка России в отношении международных резервов.

Статья имеет следующую структуру. Раздел 1 посвящен описанию системы потоков денежных средств для иллюстрации связей между валютными интервенциями и агрегированным балансом банковской системы. В нем также рассматривается российский опыт проведения валютных интервенций. В разделе 2 представлено описание агентной модели. В разделе 3 описывается процедура оценки. Раздел 4 содержит результаты прогнозирования. Заключение представлено в разделе 5. В разделе «Приложение» приведены параметры агентной модели.

## 1. ВАЛЮТНЫЕ ИНТЕРВЕНЦИИ И БАЛАНС БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ

### 1.1. Исследование финансовых потоков

Баланс банковской системы (то есть совокупный баланс центрального и коммерческих банков) можно представить в следующем виде:

$$\text{CASH} + D + L^{\text{PNBS}} + L^{\text{GOV}} + \text{CAP} = \text{NFA}^{\text{CB}} + \text{NFA}^{\text{B}} + \text{CRED}^{\text{PNBS}} + \text{CRED}^{\text{GOV}}, \quad (1)$$

где CASH – денежные средства в обращении;

D – депозиты<sup>1</sup> в банках;

$L^{\text{PNBS}}$  – прочие обязательства банков перед частным небанковским сектором;

$L^{\text{GOV}}$  – обязательства банков перед правительством;

CAP – капитал банков;

$\text{NFA}^{\text{CB}}$  – чистые иностранные активы центрального банка;

$\text{NFA}^{\text{B}}$  – чистые иностранные активы коммерческих банков;

$\text{CRED}^{\text{PNBS}}$  – кредиты частному небанковскому сектору;

$\text{CRED}^{\text{GOV}}$  – требования к правительству.

<sup>1</sup> Здесь и далее мы говорим о депозитах, номинированных как в рублях, так и в иностранной валюте, и, соответственно, используем широкое определение денежной массы (M2X).

Мы преобразуем это тождество таким образом, чтобы выразить денежные средства и их составляющие, которые мы интерпретируем как источники роста денежной массы: частный кредит, внешние операции (состоящие из изменений чистых иностранных активов центрального банка и коммерческих банков), а также прочие статьи баланса. Мы вкратце остановимся на экономическом смысле каждой составляющей и на ее связи с ВИ.

$$\underbrace{\text{CASH} + \text{D}}_{\text{Денежная масса}} = \underbrace{\text{CRED}^{\text{PNBS}}}_{\text{Частный кредит}} + \underbrace{\text{CRED}^{\text{GOV}} - \text{L}^{\text{GOV}}}_{\text{Бюджетные операции}} + \underbrace{\text{NFA}^{\text{CB}} + \text{NFA}^{\text{B}}}_{\text{Внешние операции}} - \underbrace{\text{CAP} - \text{L}^{\text{PNBS}}}_{\text{Прочие статьи}} \quad (2)$$

Первая компонента представляет собой создание денежной массы через кредитование (McLeay и соавт., 2014). Когда банк выдает кредит, он учитывает его как актив, а возникший при этом депозит – как пассив. Таким образом, когда банки кредитуют заемщиков, они создают депозиты (изначально принадлежащие заемщикам). Эти депозиты затем могут использоваться в качестве платежного средства и, следовательно, распределяться среди клиентов различных банков.

Вторая компонента описывает создание денежной массы посредством бюджетных операций. В Российской Федерации суверенные фонды (Стабилизационный Фонд, Фонд национального благосостояния, Резервный Фонд) являются обязательством Банка России перед правительством ( $\text{L}^{\text{GOV}}$ ). Правительство может создавать денежную массу через уменьшение средств суверенных фондов или сокращать денежную массу путем накопления денежных средств в фондах. Кроме того, если банки приобретают новые выпущенные государственные облигации, денежная масса создается посредством увеличения кредита правительству ( $\text{CRED}^{\text{GOV}}$ ).

В своей работе особое внимание мы уделяем третьему компоненту, который представляет собой приток денежных средств в небанковский сектор через внешние операции. Компании небанковского сектора могут осуществлять финансовые и нефинансовые внешние операции. Сумма таких операций отражает изменение величины средств, находящихся в распоряжении небанковского сектора. В платежном балансе эта сумма также равна совокупной величине внешних операций банковского сектора и отражается в виде изменений чистых иностранных активов (далее – ЧИА). (Подробная дискуссия на тему формирования денежной массы посредством внешних

операций представлена в работах Duc и соавт. (2008), Chung и соавт. (2015), Kuzin и Schobert (2015) и Ponomarenko (2017a.)

Следует отметить, что транзакции в рамках валютных интервенций не оказывают немедленного влияния на создание денежной массы. Когда центральный банк увеличивает международные резервы за счет покупки активов у местных банков, рост его ЧИА компенсируется эквивалентным сокращением ЧИА коммерческих банков. ЧИА банковской системы остаются без изменений: денежная масса не создается<sup>2</sup>. Однако можно предположить, что коммерческие банки не смогут полностью адаптироваться к снижению ЧИА и впоследствии постараются восстановить их уровень<sup>3</sup>. В этом случае ЧИА банковской системы вырастут, и платежный баланс будет скорректирован за счет роста положительного сальдо текущего счета и (или) чистого притока капитала со стороны небанковского сектора (см. эмпирическое подтверждение в Ponomarenko (2017b)). Оба случая подразумевают приток денежных средств и создание денежной массы.

В этом случае баланс коммерческих банков со временем вырастет через увеличение депозитов со стороны пассивов и требований к центральному банку со стороны активов<sup>4</sup>. Это значит, что показатели ликвидности банка<sup>5</sup> улучшатся. Как указано в Disyatat (2011), это может стимулировать банки брать на себя больше риска. Эта гипотеза соответствует стандартной практике в области управления активами и пассивами (Grant, 2011) и подтверждается реальными данными как на макро-

---

<sup>2</sup> Если политика накопления резервов подразумевает, что центральный банк должен продавать внутренние активы (то есть требования к банковскому сектору) нерезидентам в обмен на международные резервы, то разница в иностранных активах центрального банка будет компенсирована ростом обязательств коммерческих банков, которые они теперь должны нерезидентам. Соответственно, ЧИА банковской системы не изменятся. В более редких случаях, когда центральный банк продает нерезидентам требования к внутреннему небанковскому сектору в обмен на международные резервы, ЧИА банковской системы вырастут, однако этот рост будет компенсирован за счет снижения кредита небанковскому сектору (см. уравнение 2) и, следовательно, денежная масса создана не будет.

<sup>3</sup> Накопление чистых иностранных активов/пассивов обычно ассоциируется с увеличением валютного несоответствия баланса, что нежелательно (а часто и прямо запрещено банковским законодательством). (См. обсуждение связи между чистыми иностранными активами банков и несоответствием между валютными активами и пассивами в работе Luca и Petrova (2008).) Еще одним более общим определяющим фактором гибкости ЧИА коммерческих банков может служить мобильность капитала. Gagnon (2012, 2013) и Bayoumi и Sabarowski (2014) указывают, что при наличии мер контроля за движением капитала корректировка платежного баланса в случае валютных интервенций будет происходить, скорее всего, через текущий счет.

<sup>4</sup> Теоретически (Tobin, 1963; Lavoie, 1999) «избыточная» денежная масса, созданная внешними операциями, впоследствии может быть ликвидирована за счет корректировки кредита. Это, однако, может потребовать незамедлительного перевода вновь созданной денежной массы в пользу агенто-должников, которые используют эти денежные средства для погашения своих кредитов, а не для увеличения собственного потребления. Система, основанная на агентах, позволяет нам более реалистично смоделировать указанный процесс.

<sup>5</sup> Определяемые через призму таких индикаторов, как отношение кредитов к депозитам, показатель чистого стабильного фондирования или создание ликвидности (Berger и Bouwman, 2009).



(Halvorsen и Jacobsen, 2016; Rappoport, 2016), так и на микроэкономическом уровне (DeYoung и Jang, 2016; Duijm и Wierds, 2016). Мы включили эти аспекты поведения коммерческих банков в свою формальную модель, описанную в разделе 2.

## 1.2. Политика Банка России в отношении формирования международных резервов

Прогнозирование последствий от реализации ранее активно не применявшихся мер экономической политики является, пожалуй, одной из наиболее сложных и часто возникающих задач. По нашему мнению, именно в таких задачах структурные экономические модели могут конкурировать с современными статистическими моделями.

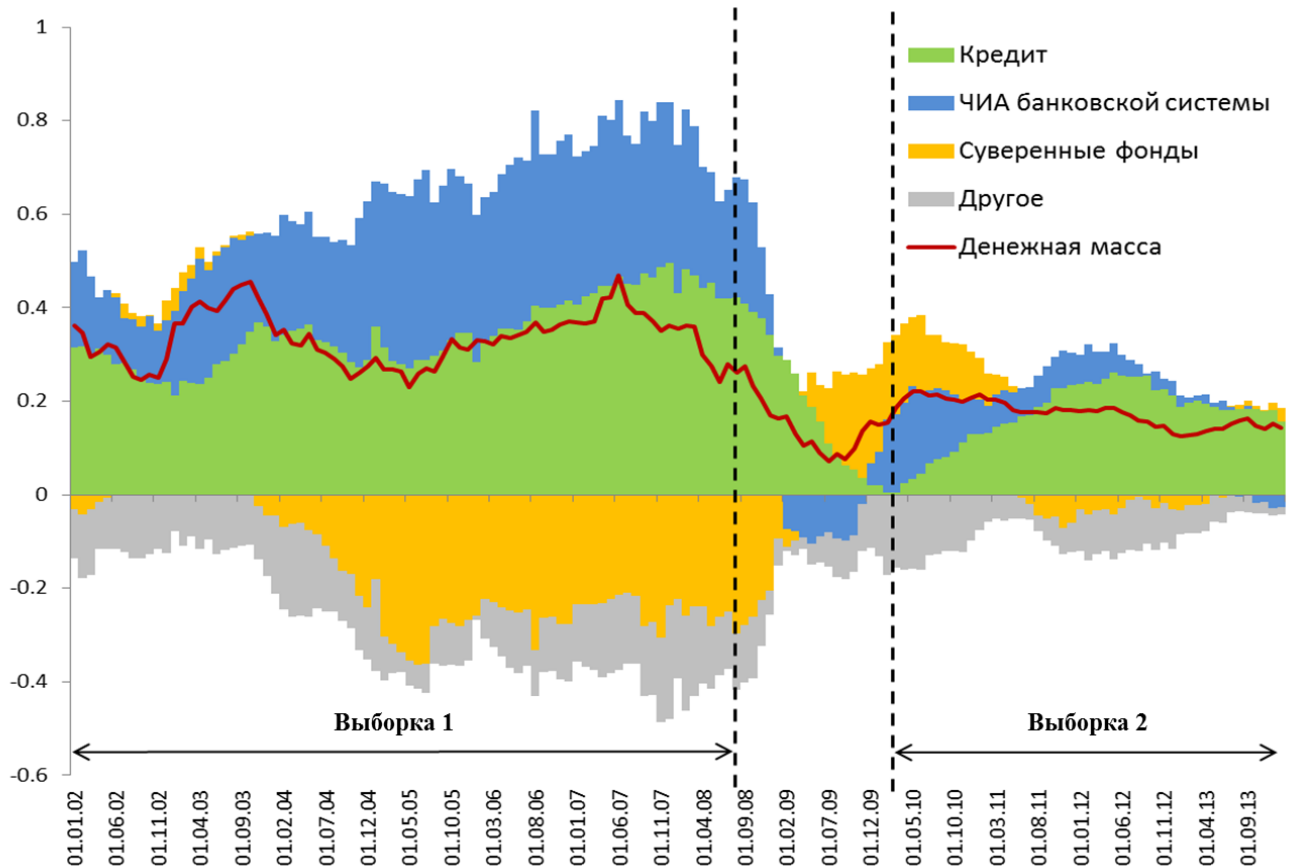
Для проверки данного предположения мы провели анализ на российских данных. До 2008 г. Банк России активно накапливал международные резервы. Валютные интервенции имели значительный масштаб и играли важную роль в создании денежной массы (рис. 1). В то же время правительство формировало суверенный фонд. Однако начиная с 2010 г. использование данных инструментов экономической политики существенно снизилось. Этот факт позволяет нам выделить две подвыборки, на которых мы можем протестировать свою модель.

Мы провели следующий эксперимент. Мы разбили нашу временную выборку на две подвыборки: первая включает в себя данные с января 2001 г. по июнь 2008 г., а вторая – с января 2010 г. по декабрь 2013 года<sup>6</sup>. Мы параметризовали модель с помощью одной из подвыборок и использовали ее для получения прогноза роста денежной массы и кредита на второй подвыборке. Таким образом, мы можем интерпретировать получение вневыборочного прогноза по первой подвыборке (2001–2008 гг.) как предсказание последствий ВИ, которые ранее не наблюдались. Верно и обратное: вневыборочный прогноз по второй подвыборке (2010–2013 гг.) можно рассматривать как предсказание последствий прекращения политики накопления международных резервов.

---

<sup>6</sup> Мы исключаем из анализа наблюдения за 2009 г. по причине значительной волатильности валютного курса и возникающих вследствие этого изменений в валютных статьях баланса банковской системы (в результате как структурных изменений портфеля, так и его переоценки). По этой же причине мы не включаем в расчеты наблюдения за 2014–2015 годы. Как указано в разделе 2, моделирование финансовой долларизации выходит за рамки настоящей статьи.

**Рисунок 1.** Рост широкой денежной массы и ее компонентов в Российской Федерации  
(годовой прирост, % от широкой денежной массы)



## 2. СПЕЦИФИКАЦИЯ АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ

Для иллюстрации нетрадиционных мер денежно-кредитной политики, напрямую воздействующих на баланс банков, обычно используют теоретические модели в духе Kashyap и Stein (1995). Однако эти модели служат только теоретической базой и не играют роли в эмпирическом анализе (см., например, Butt и соавт., 2014). В принципе для прогнозирования можно использовать динамические стохастические модели общего равновесия (хотя нам сложно привести конкретные примеры применения таких моделей для прогнозирования последствий накопления международных резервов). Однако, как указано в Bogio и Zhu (2012), стандартные макроэкономические модели не очень хорошо подходят для анализа связанного с риском канала денежно-кредитной политики, а именно связи между денежно-кредитной политикой и тем, как экономические агенты воспринимают риск и определяют ценообразование с учетом

риска<sup>7</sup>. Стандартные аналитические инструменты, обычно используемые макроэкономистами, также недостаточно хорошо позволяют учесть реалистичное поведение экономических агентов. Кроме того, в большинстве случаев в роли «рабочей лошади» аналитиков выступает динамическая стохастическая модель общего равновесия (DSGE-модель), формулировка и численное решение которой следуют логике решений агрегированного репрезентативного экономического агента, действующего аналогично агентам на микроуровне. Стоит отметить, что несмотря на то, что мы можем предполагать наличие у нас достаточной информации о микроэкономическом поведении банков, этого недостаточно для того, чтобы делать предположения о эмерджентной динамике совокупности переменных, связанных с банковским балансом.

В своей работе мы используем подход на базе агентных моделей, который, по нашему мнению, является наиболее подходящим для наших целей. Преимущества таких моделей подробно рассматриваются в работах Caiani и соавт. (2016), Fagiolo и Roventini (2017) и Haldane и Turrell (2018). Мы полагаем, что более подходящей (по сравнению, например, с традиционными DSGE-моделями) является агентная модель с согласованными потоками, которая учитывает правила поведения банков и может помочь в анализе последствий валютных интервенций для банковских балансов.

Мы строим модель, предназначенную преимущественно для описания банковского сектора. В литературе есть много примеров макроэкономических агентных моделей с подробным описанием банковского сектора (см., например, Ashraf и соавт., 2017; Chan-Lau, 2017; Poroyan и соавт., 2017; Krug, 2018). Нашу модель можно рассматривать как упрощенную версию указанных моделей. Наиболее существенным является то, что она не содержит подробного описания реального сектора (например, в том, что касается ценообразования, производства и занятости). Вместо этого агенты просто проводят операции (в процессе этого переводя друг другу свои депозиты), меняя номинальные величины. В нашей модели нет межбанковского рынка резервов, и изменения в предложении резервов не влияют на краткосрочные процентные ставки. Мы предполагаем, что существует только межбанковский рынок на срок один день и что соответствующая процентная ставка всегда равна ключевой ставке центрального

---

<sup>7</sup> Несмотря на то, что использование моделей DSGE для решения вопросов формирования международных резервов не является чем-то уникальным, такие модели не могут в полном объеме учесть механизмы создания кредита и денежной массы и эволюцию банковских балансов (в Jakab и Kumhof (2015) описывается интересный пример исключения). Вместо этого они строятся на наборе упрощающих посылок. К примеру, в García-Cicco (2011) предполагается, что центральный банк может напрямую контролировать широкую денежную массу. Venes и соавт. (2015) принимают, что кредитные спреды зависят от изменения состава международных резервов центрального банка.

банка. С одной стороны, бюджетная политика ограничена действиями по пополнению суверенных фондов и расходованию этих средств. С другой – в нашей модели присутствуют операции с нерезидентами, что можно рассматривать как ее расширение.

В нашей модели присутствуют агенты (экспортеры (E) и производители (N), ориентированные на внутренний рынок) и банки (B). Агенты владеют денежными средствами и депозитами и могут привлекать кредиты. Они могут держать депозиты только в одном банке, но привлекать кредиты у любых банков. Агенты могут иметь валютную задолженность и финансовые активы, номинированные в иностранной валюте. Изначальные значения всех вышеназванных переменных (а также распределение пассивов и активов между банками) генерируются случайным образом на этапе инициализации модели, однако определяются эндогенно в ходе симуляции. В ходе инициализации модели также определяются пять следующих фиксированных характеристик:

- доля рынка ( $MS_e$  и  $MS_n$ ), от которой зависит распределение доходов на экспортном и внутреннем рынках;
- норма возврата ( $RR_e$  и  $RR_n$ ), определяющая величину обеспечения, передаваемого банкам при дефолте агентов по кредитам;
- портфельные предпочтения ( $PP_e$  и  $PP_n$ ), которые определяют желаемую пропорцию внутренних и внешних финансовых активов;
- предпочтения в отношении ликвидности ( $LP_e$  и  $LP_n$ ), от которых зависит желаемая процентная премия для неликвидных депозитов;
- внутренние ставки безубыточности ( $IR_n^*$  и  $IR_e^*$ ), определяющие приемлемую процентную ставку по кредиту для данного агента.

Агенты определяют свой трендовый доход  $Y_{n,t}^p$  на основе своего текущего дохода  $Y_{n,t}$ , включающего поступления в текущем периоде:

$$I_{n,t}^T = \mu I_{n,t-1}^T + (1 - \mu) I_{n,t}$$

Все трендовые переменные в данной модели имеют указанную динамику.

Банки имеют три вида активов (кредиты, резервы и обеспечение, полученное в результате дефолтов заемщиков) и три вида пассивов (депозиты, капитал и чистые обязательства перед центральным банком).

Для каждого периода рассчитывается пять экзогенных переменных:

- краткосрочная процентная ставка ( $IR_t$ );
- международные резервы, приобретенные центральным банком ( $FXI_t$ );
- накопление/расходование средств суверенного фонда ( $SWF_t$ );
- глобальная ликвидность ( $VIX_t$ );
- доходы от экспорта ( $OIL_t$ ).

В каждый период времени (соответствующий месяцу) имеет место следующая последовательность событий (фазы внутри периода):

1. Проводятся внутренние операции.
2. Проводятся внешние операции.
3. Коммерческие банки определяют свою позицию в отношении риска и управляют своими резервами и обеспечением.
4. Агенты управляют своими внутренними финансовыми активами.
5. Выдаются кредиты.
6. Производятся выплаты процентов, и агенты допускают дефолт по кредитам.

В конце каждого периода времени рассчитываются совокупные переменные (например, денежная масса и кредит) путем суммирования соответствующих переменных на микроэкономическом уровне. Рассмотрим каждое из вышеназванных событий более подробно.

## 2.1. Внутренние операции и спрос на импорт

Расходы всех агентов (как экспортеров, так и внутренних производителей<sup>8</sup>) определяются следующим образом:

$$C_{n,t} = \beta^I I_{n,t}^T + \beta^W D_{n,t} - \beta^D (DSR_{n,t} - DSR^*) I_{n,t}^T + \beta^R \varepsilon_t I_{n,t}^T, \quad ,$$

где  $D_{n,t}$  – депозиты агента;

$DSR_{n,t}$  – текущий коэффициент обслуживания долга агентов<sup>9</sup>;

$DSR^*$  – «естественное» значение  $DSR$ ;

$\varepsilon_t$  – случайный компонент спроса  $\sim U(0,1)$ .

<sup>8</sup> Если уравнения для обоих типов агентов одинаковые, для краткости мы будем здесь демонстрировать только уравнение для внутренних производителей.

<sup>9</sup> Коэффициент обслуживания долга рассчитывается как отношение суммы платежей агента по основной сумме долга и процентам, ожидаемым в данном месяце, к постоянному доходу.

Расходы агентов не могут быть отрицательными или превышать объем их депозитов, однако если сгенерированный желаемый объем расходов агента превышает его депозиты, он попытается получить (внутренний или внешний) кредит (величина желаемого кредита –  $\beta^{LD} I_{n,t}^T$ ; желаемый срок (в годах) определяется случайным образом  $\sim N(5,1)$ ) во время других фаз внутри данного периода.

Доля расходов на импорт определяется случайным образом по следующей формуле:

$$C_{n,t}^{Im} = \beta^{Im} v_t C_{n,t}, v_t \sim U(0,1)$$

Остальное тратится на внутреннем рынке:

$$C_{n,t}^D = C_{n,t} - C_{n,t}^{Im}$$

Доход внутренних производителей также определяется на этой стадии путем распределения пула расходов на внутреннем рынке в соответствии с долей рынка агентов ( $MS_n$ ):

$$I_{n,t} = MS_n (\sum_N^1 C_{n,t}^D + \sum_E^1 C_{e,t}^D)$$

Расчеты по операциям ведутся последовательно: расходы уменьшают, а доходы увеличивают депозиты агента (и резервы соответствующего банка).

Средства суверенного фонда аккумулируются или тратятся. Их величина определяется экзогенной переменной  $SWF_t$ . Депозиты агентов уменьшаются (увеличиваются) пропорционально, и соответствующие банки получают (утрачивают) соответствующий объем резервов.

## 2.2. Внешние операции

По внешним финансовым активам агентов ( $FA_n$ ) начисляются, а по внешнему долгу ( $FD_n$ ) выплачиваются процентные платежи по внешней процентной ставке ( $FIR$ ). Погашение внешнего долга приводит к соответствующему снижению объема внешних активов. Предполагается, что срок погашения внешних кредитов равен FDM.

Агенты, которые хотят получить кредит, получают внешний кредит с вероятностью  $\lambda^{GL} VIX_t$ , где  $VIX_t$  – экзогенная переменная, отражающая ситуацию с глобальной ликвидностью. Получение внешнего кредита ведет к увеличению внешнего долга и, соответственно, внешних активов.

Агенты генерируют желаемые приток и отток капитала ( $CF_{n,t}$ ) путем изменения структуры своих портфелей:

$$CF_{n,t} = \lambda^{CF} (PP_n D_{n,t} / ER_t^T - FA_{n,t}) ,$$

где  $ER_t^T$  – трендовый обменный курс (в рублях за единицу иностранной валюты).

Сумма абсолютных величин отрицательных желаемых корректировок всех агентов дает желаемый приток капитала ( $\sum_N^1 CF_{n,t}^-$ ). Сумма положительных желаемых корректировок в рублях ( $\sum_N^1 ER_t^T CF_{n,t}^+$ ) по всем агентам дает желаемый отток капитала ( $CF_t^+$ ).

Доходы от экспорта ( $OIL_t$ ), номинированные в иностранной валюте, являются экзогенной переменной. Расходы на импорт представляют собой сумму всех  $C_{n,t}^{Im}$ , определенных в соответствии с подразделом 2.1.

Обменный курс определяется по следующей формуле:

$$ER_t = (FXI_t + \sum_N^1 ER_t^T CF_{n,t}^+ + \sum_E^1 ER_t^T CF_{e,t}^+ + \sum_N^1 C_{n,t}^{Im} + \sum_E^1 C_{e,t}^{Im}) / (OIL_t + \sum_N^1 CF_{n,t}^- + \sum_E^1 CF_{e,t}^-) ,$$

где  $FXI_t$  – иностранная валюта, приобретенная центральным банком (номинирована в рублях)<sup>10</sup>.

После того, как определен обменный курс, он используется для проведения рублевых расчетов по операциям, связанным с притоком средств: агенты, желающие увеличить долю внутренних финансовых активов в своих портфелях, переводят  $ER_t CF_{n,t}^-$  средств на свои внутренние депозиты, а экспортеры получают свою долю доходов  $I_{e,t} = MS_e ER_t OIL_t$ . Эти операции увеличивают депозиты агентов и резервы соответствующих банков. Операции, связанные с оттоком средств из экономики (импорт и вывоз капитала), уменьшают депозиты агентов и резервы соответствующих банков.

<sup>10</sup> Если центральный банк продает международные резервы, эта статья номинируется в иностранной валюте и перемещается в знаменатель приведенного выше уравнения.

Необходимо отметить, что без валютных интервенций в данной модели реализованные входящие потоки всегда равны исходящим. Таким образом, не происходит создания ни денежной массы, ни банковских резервов. При этом покупки иностранной валюты центральным банком автоматически приведут к росту депозитов и резервов банковской системы. Этот процесс отражает создание денежной массы через внешние операции в условиях неизменных чистых международных резервов коммерческих банков (см. раздел 1).

Важным моментом является то, что данное предположение означает, что в модели отсутствуют прямые структурные связи между валютными интервенциями и прочими переменными в модели. Следовательно, модель может быть оценена без наблюдения реальных последствий валютных интервенций.

### 2.3. Коммерческие банки определяют свою позицию в отношении риска и управляют своими резервами и обеспечением

Как описывалось в подразделе 1.1, банки корректируют свою политику в отношении риска в зависимости от ситуации на своем балансе: они стремятся улучшить показатели ликвидности за счет ограничения долгосрочного кредитования и привлечения большего объема депозитов (предпочтительно таких, которые останутся на длительный срок). В нашей модели этот момент отражен путем установки банками премий по процентным ставкам по кредитам и депозитам ( $P_{b,t}$ ) в зависимости от их показателей ликвидности и достаточности капитала:

$$P_{b,t} = \alpha^L LC_{b,t} + \alpha^{CAP} / CAPRAT_{b,t} \quad ,$$

где  $CAPRAT_{b,t}$  – отношение капитала к кредитам;

$LC_{b,t}$  – показатель создания ликвидности (более подробно см. Berger и Bouwman, 2009), рассчитываемый как отношение между активами и пассивами, взвешенными по их ликвидности:

$$LC_{b,t} = (\text{Collateral}_{b,t} + \text{Long-term loans}_{b,t} + 0.5 * \text{Short-term loans}_{b,t}) / (0.75 * \text{Core deposits}_{b,t} + 0.5 * \text{Deposits}_{b,t})$$



Кредиты, оставшийся срок до погашения которых превышает 12 месяцев, считаются долгосрочными. Остальные считаются краткосрочными. Базовые депозиты (core deposits) – депозиты с низкой вероятностью перевода в другой банк (см. подраздел 2.4). Такая характеристика дает более длинные сроки погашения и иные возможности. Необходимо отметить, что валютные интервенции улучшают ликвидность банковского баланса (снижают LC) путем создания депозитов без создания неликвидных активов.

Кроме того, в нашей модели конкуренция и давление со стороны рынка влияют через ad-hoc механизм. В частности, после установки премий банки корректируют свои процентные ставки, если премии существенно отличаются от среднерыночных ( $P_t^M$ ). Ставки по кредитам также зависят от доступности обеспечения по каждому заемщику ( $RR_n$ ).

В результате процентные ставки по кредитам и депозитам устанавливаются в соответствии со следующим правилом:

$$IR_{b,n,t}^L = IR_t + IR^{LMU} + \lambda^L P_{b,t} + \lambda^C (P_t^M - P_{b,t}) + \lambda^{B1} (\lambda^{B2} - RR_n)$$

$$IR_{b,t}^D = IR_t + IR^{DMU} + \lambda^L P_{b,t} + \lambda^C (P_t^M - P_{b,t}) ,$$

где  $IR^{LMU}$  и  $IR^{DMU}$  – базовые наценки;

$\lambda^L = 1$  для небазовых депозитов и кредитов с запрошенным сроком погашения менее трех лет.

На этом этапе ставка вознаграждения по банковским резервам ( $R_{b,t}$ ) и процентных платежей по обязательствам перед центральным банком соответствует ключевой ставке  $IR_t$ . Выплата вознаграждения (процентов) соответственно увеличивает (уменьшает) резервы и капитал.

Банки привлекают дополнительные средства (резервы) в объеме:

$$\Delta R_{b,t} = 0.2D_{b,t} - R_{b,t} ,$$

где  $D_{b,t}$  – банковские депозиты.

Привлечение дополнительных резервов соответственно увеличивает обязательства перед центральным банком. Отметим, что корректировка резервов

может быть отрицательной. Сумма обязательств перед центральным банком также может быть отрицательной, и на нее может начисляться вознаграждение (отражает действие инструментов центрального банка по абсорбированию ликвидности).

Каждый месяц банки продают долю своего залога, равную  $\theta$ . Продажа осуществляется агентам, которые имеют достаточно средств на своих депозитах. Банк покупателя теряет соответствующую сумму депозитов и резервов. Продающий банк получает резервы и теряет обеспечение.

#### 2.4. Агенты управляют своими внутренними финансовыми активами

Все агенты корректируют свои наличные денежные средства ( $CH_{n,t}$ ) по следующей формуле:

$$\Delta CH_{n,t} = \delta^I I_{n,t}^T + \delta^R \xi_t I_{n,t}^T, \quad ,$$

где  $\xi_t$  – случайный компонент спроса на денежные средства  $\sim U(0,1)$ .

Увеличение объема наличных денежных средств ведет к снижению объема депозитов и резервов в соответствующем банке.

Депозиты, у которых наступает срок погашения, автоматически продлеваются, а процентная ставка по ним изменяется на текущую ставку, предлагаемую соответствующим банком. В этот момент соответствующий агент может выбрать тип депозита (базовый или не базовый). Агент выбирает базовый депозит, если дифференциал процентных ставок превышает желаемую премию (то есть  $P_{b,t}^{CD} - P_{b,t}^D > LP_n$ ).

Все агенты случайным образом (с вероятностью  $1-p^{CD}$  в случае, если у них сейчас базовые депозиты, и с вероятностью  $1-(p^{CD}-p^D)$ , если у них не базовые депозиты) обследуют депозитный рынок. Они случайным образом выбирают одно из альтернативных предложений процентных ставок (выбирая наилучшее предложение с вероятностью  $p^h$ ). Если предлагаемая процентная ставка выше текущей, агенты переводят свои депозиты в новый банк (или пересматривают процентные ставки в текущем банке). В этот момент случайным образом определяется срочность (в годах)  $\sim N(2, 0,5)$ , и агенты могут решить сменить тип депозита. Новый выбранный банк получает новые депозиты и резервы, а старый банк их, соответственно, теряет.

## 2.5. Выдаются кредиты

Агенты, которые хотят получить кредит (и не получают его из-за рубежа), идут в случайный банк (выбирая банк с минимальной премией к процентной ставке с вероятностью  $p^b$ ). Они могут обратиться только в банки, у которых показатель  $SAPRAT_{b,t}$  превышает 0,1. Если  $IR_n^*$  агента выше предлагаемой ставки  $IR_{b,n,t}^L$ , кредит создается, и депозиты заемщика соответственно увеличиваются. Банк-кредитор теряет соответствующий объем резервов, который получает банк, где находится депозит заемщика.

## 2.6. Производятся выплаты процентов, и агенты допускают дефолт по кредитам

Выплата вознаграждения ведет к увеличению депозитов и сокращению капитала соответствующих банков. Выплата вознаграждения и основной суммы кредитов ведет к снижению депозитов заемщика и резервов того банка, где они находятся. Резервы и капитал банка-кредитора (в части процентных выплат) увеличиваются.

Агенты, у которых недостаточно денежных средств для осуществления выплат, объявляют дефолт по всем своим внутренним кредитам, и их внешний долг обнуляется. Внутренние банки списывают кредиты, по которым был объявлен дефолт, со своего баланса. Определенная доля кредитов возвращается в виде обеспечения (в соответствии с  $RR_n$  заемщика). Остальное является капитальными убытками.

## 3. ОЦЕНКА АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ

Оценке агентных моделей в настоящее время посвящается много исследований. Современный подход еще не до конца определен и не отработан (последние достижения в этой области описаны в Lux and Zwickels, 2017). В своей работе мы используем относительно упрощенный и прямой подход.

Мы генерируем 2 тыс. наборов параметров из распределений, описанных в Приложении<sup>11</sup>, и используем их для генерации рядов денежной массы и кредита путем

<sup>11</sup> Единственное различие в начальных условиях для двух подвыборок заключается в разных значениях объема депозитов и денежных средств, которые приблизительно калибруются для соответствия тому отношению кредитов к денежным средствам, которое наблюдается на начало временного периода каждой подвыборки.

симуляции модели, исходя из реального поведения наблюдаемых экзогенных переменных<sup>12</sup>.

Это следующие переменные:

- цены на нефть в долларах США ( $OIL_t$ );
- индекс рыночной волатильности Чикагской биржи опционов (как отношение к средней;  $VIX_t$ );
- ставка по однодневным межбанковским кредитам MIACR ( $IR_t$ );
- изменения в объеме обязательств банковской системы перед государством (как отношение к широкой денежной массе;  $SWF_t$ );
- изменения в объеме чистых иностранных активов банковской системы<sup>13</sup> перед государством (как отношение к широкой денежной массе;  $FXI_t$ ).

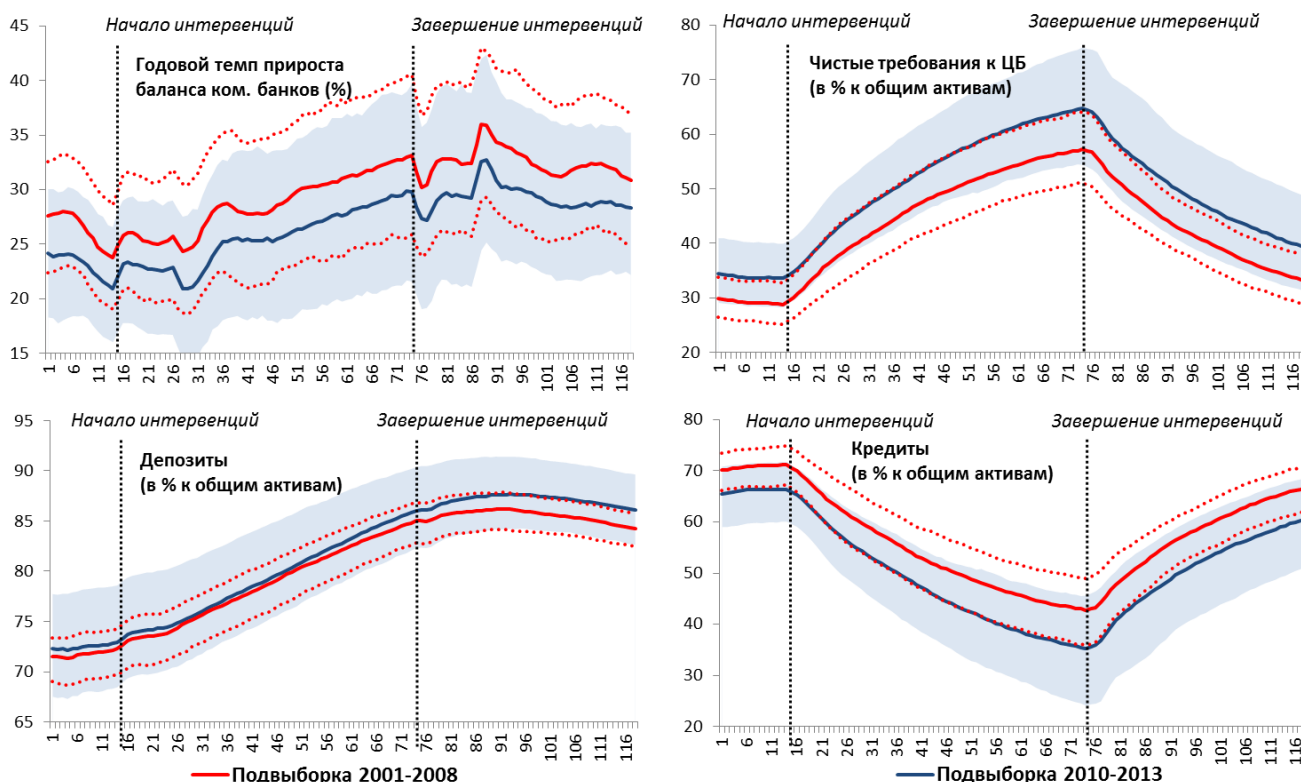
Затем мы используем квадратичный алгоритм выборки по значимости (importance sampling squared algorithm, см. Tran и соавт., 2016) с оценкой предельной функции правдоподобия, рассчитываемой путем усреднения значений функции правдоподобия для 100 сгенерированных наборов параметров. Это сделано как для оценки адекватности сгенерированных и наблюдаемых рядов значений кредита и денежной массы с поправкой на сезонность, так и для определения весов для наборов параметров. Мы рассчитываем свою агентную модель на двух подвыборках: с января 2001 г. по июнь 2008 г. и с января 2010 г. по декабрь 2013 года.

Мы анализируем результаты путем сравнения последствий ВИ, полученных с помощью моделей на указанных двух подвыборках. В частности, мы генерируем ряды  $FXI_t \sim N(0,02,0,01)$  в период накопления международных резервов и  $\sim N(0,0,0,01)$  в остальные периоды. Прочие экзогенные переменные зафиксированы на средних значениях. Затем мы симулируем модель в зависимости от указанных экзогенных переменных и наблюдаем за тем, что происходит с балансом коммерческих банков. Результаты представлены на рисунке 2.

<sup>12</sup> Мы начинаем формировать ряды денежной массы и кредита по прошествии начального этапа из 10 временных периодов, в течение которых экзогенные переменные зафиксированы на среднем для выборки значении.

<sup>13</sup> В течение анализируемых периодов времени наиболее существенным фактором, повлиявшим на поведение данной переменной, было изменение чистых иностранных активов Банка России. Таким образом, ее можно рассматривать как переменную ДКП. В иных случаях (например, когда в стране идет процесс эволюции финансовой долларизации) агентную модель необходимо расширить для моделирования эндогенных изменений чистых иностранных активов коммерческих банков.

**Рисунок 2.** Последствия накопления международных резервов  
(оцененные на разных подвыборках)



Модель предсказывает, что скорость роста баланса коммерческих банков начнет увеличиваться с началом ВИ. Основной причиной этого будет являться рост депозитов со стороны пассивов и рост требований к центральному банку со стороны активов. Темпы роста кредитов будут существенно ниже, однако недостаточно низкими для того, чтобы создание денежной массы посредством внешних операций могло быть компенсировано снижением создания денежной массы через кредитование. Качественно результаты для обеих подвыборок очень схожи, однако отличаются абсолютной величиной эффектов. Мы анализируем степень того, насколько эти различия влияют на поведение модели за пределами выборки, в разделе 4.

#### 4. ПРОГНОЗЫ НА БАЗЕ АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ

После оценивания модели на данных мы рассчитываем прогнозы за пределами выборки, используя две версии агентных моделей. Для расчета прогнозов мы применяем два подхода. Прямой подход заключается в том, чтобы рассчитать модель с учетом реально наблюдаемых изменений экзогенных переменных (по прошествии начального этапа из 10 временных периодов) и получить ряды значений денежной массы и кредита.

Необходимо отметить, что прямой подход расчета прогнозов может быть мало полезен для определения денежно-кредитной политики в реальных условиях. Это связано как с трудностями в отношении повторной оценки модели, так и с использованием наблюдаемых начальных условий. В связи с этим мы также применяем гибридную двухэтапную процедуру, которая заключается в использовании искусственных данных, полученных с помощью агентной модели, для обучения эконометрической модели временных рядов<sup>14</sup>. Для этого мы генерируем набор искусственных данных (при помощи агентной модели, оцененной на обучающей выборке), который содержит периоды как активного накопления международных резервов, так и спокойные периоды<sup>15</sup>. Для расчета модели временных рядов мы объединяем эти искусственные данные с реальной обучающей выборкой.

Для прогнозирования мы используем байесовскую векторную авторегрессионную модель (BVAR). Высокая прогнозная способность этого класса моделей была подтверждена путем моделирования относительно большого числа рядов на относительно короткой временной выборке, которая доступна для России (см. Deryugina и Ponomarenko, 2015). Мы используем сочетание из априорного распределения Миннесоты, априорного распределения суммы коэффициентов (sum of coefficients prior) и априорного распределения фиктивных начальных наблюдений. Вектор гиперпараметров априорного распределения определялся подобно работе Giannone и соавт. (2015). Модель BVAR включает в себя семь переменных:  $OIL_t$ ,  $VIX_t$ ,  $IR_t$ ,  $SWF_t$ ,  $FXI_t$ , широкая денежная масса и кредит. Все ряды представлены в виде уровней (в том числе  $SWF_t$  and  $FXI_t$ ). Мы используем три лага месячных данных. Ряды представлены в виде логарифмов (кроме  $IR_t$  и  $VIX_t$ ) и с поправкой на сезонность. Мы также рассматриваем нерасширенную (то есть рассчитанную без использования набора искусственных данных) модель BVAR в качестве бенчмарк-модели.

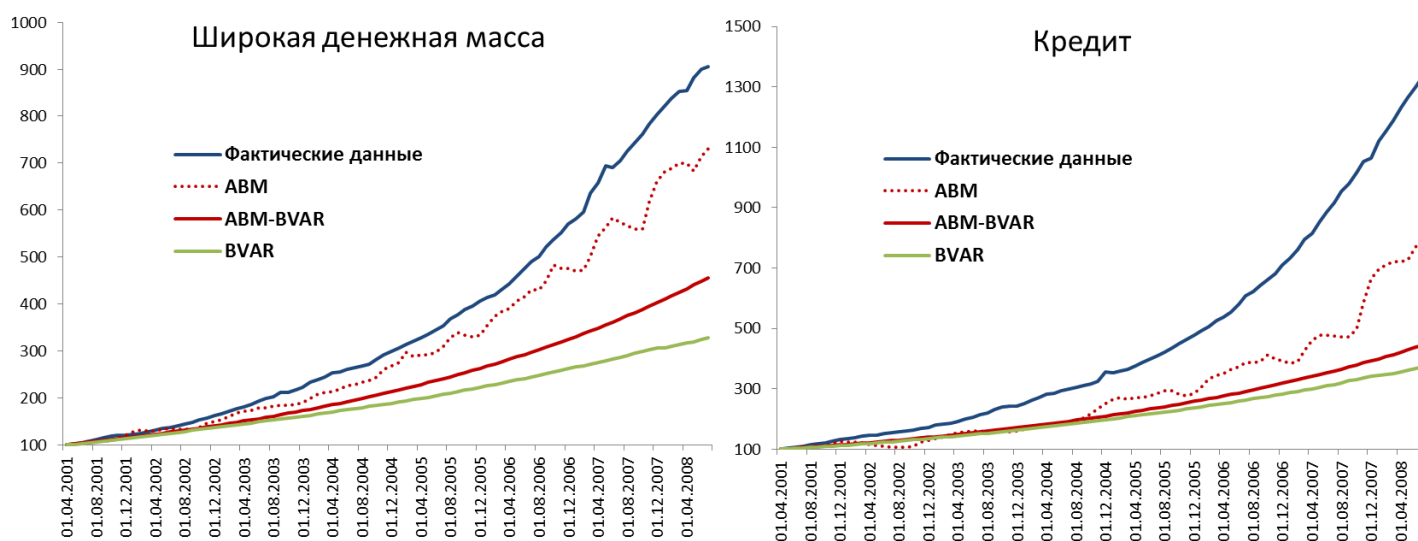
Первый эксперимент заключается в построении одного долгосрочного вневыборочного прогноза (на базе реально наблюдаемых экзогенных переменных) за период с начала до конца соответствующих прогнозных выборок. Результаты

<sup>14</sup> Можно сказать, что эта процедура по своей методологии близка к применению априорного распределения вероятностей на основе DSGE модели к векторным авторегрессионным моделям (del Negro и Schorfheide, 2004), или к использованию синтетических данных для обучения нейронных сетей (Jaderberg и соавт., 2014, 2016; Gupta и соавт., 2016).

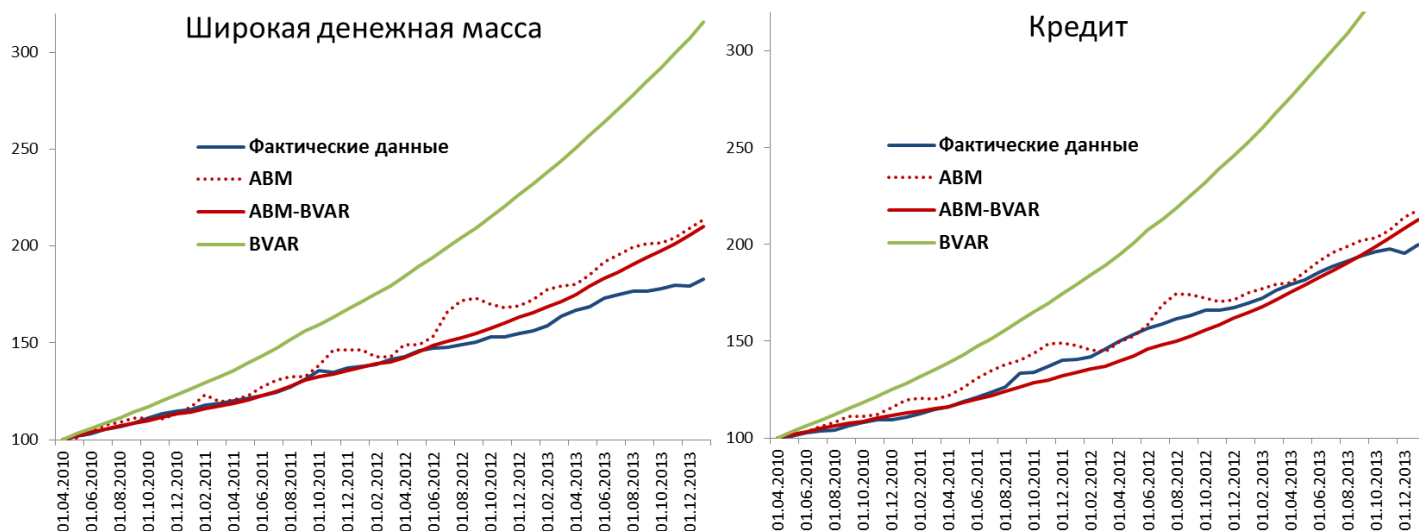
<sup>15</sup> Мы формируем набор искусственных данных путем чередования «спокойных» и «активных» периодов наблюдений по 15 месяцев каждый. В спокойные периоды переменные  $SWF_t$  и  $FXI_t$  имеют распределение  $\sim N(0, 0, 01)$ , а в активные периоды –  $\sim N(0, 02, 0, 01)$ . Прочие экзогенные переменные зафиксированы на средних значениях. Эндогенные переменные (денежная масса и кредит) генерируются путем расчета агентной модели с учетом указанных наборов экзогенных переменных. Общее количество наблюдений в наборе искусственных данных равно количеству наблюдений в соответствующей обучающей выборке.

представлены на рисунках 3–4. Как можно было ожидать, модель BVAR существенно недооценивает расширение денежной массы и кредита на подвыборке за период 2001–2008 годов (время активного проведения ВИ) и переоценивает расширение баланса в спокойный период 2010–2013 годов. Прогнозы на базе агентной модели являются гораздо более реалистичными. В данном эксперименте прогнозная способность гибридной ABM-BVAR модели не превышает прогнозную способность прямого подхода к прогнозированию с помощью агентной модели, хотя и можно отметить, что краткосрочная динамика прогнозов, полученных с ее помощью, имеет меньшую волатильность, чем полученных с использованием прямого подхода, и больше соответствует в этом отношении реально наблюдаемым данным. По всей видимости, априорные распределения, разработанные специально для моделирования экономических временных рядов, помогают отфильтровать шум в прогнозах при использовании агентной модели.

**Рисунок 3.** Вневыборочный прогноз для подвыборки за период 2001–2008 годов.  
(широкая денежная масса и кредит, март 2001 г. = 100)



**Рисунок 4.** Вневыборочный прогноз для подвыборки за период 2010–2013 годов.  
(широкая денежная масса и кредит, март 2010 г. = 100)



Во втором эксперименте мы проверяем краткосрочную прогнозную способность наших моделей. Мы формируем условные прогнозы накопленного роста денежной массы и кредита на горизонте в 12 месяцев. В отличие от первого эксперимента здесь мы получаем набор таких прогнозов при помощи моделей BVAR и ABM-BVAR, используя каждый набор наблюдений в выборке в качестве начальных условий (при этом модели по-прежнему оцениваются только с использованием обучающих и искусственных данных). В случае агентной модели мы просто измеряем накопленный рост прогнозных значений денежной массы и кредита, полученных в ходе первого эксперимента, на каждом временном интервале. Среднеквадратичная ошибка (RMSE) данных прогнозов на различных горизонтах представлена в таблице 1. Результаты довольно однозначны: прогнозная сила прямого подхода на базе агентной модели превосходит модели BVAR практически на всех горизонтах. Кроме того, в большинстве случаев гибридный подход является более эффективным, чем прямой, для краткосрочных горизонтов (до 6–9 месяцев).



**Таблица 1.** RMSE вневыборочных прогнозов без переоценки  
(отношение к RMSE модели BVAR)

Горизонт (месяцев)	Прогнозная выборка: 2001–2008				Прогнозная выборка: 2010–2013			
	Денежная масса		Кредит		Денежная масса		Кредит	
	<i>ABM</i>	<i>ABM-BVAR</i>	<i>ABM</i>	<i>ABM-BVAR</i>	<i>ABM</i>	<i>ABM-BVAR</i>	<i>ABM</i>	<i>ABM-BVAR</i>
1	1,01	1,04	1,41	1,16	2,04	0,70	1,16	0,68
2	1,10	0,98	0,99	1,00	1,80	0,64	1,04	0,58
3	1,14	0,92	0,75	0,89	1,49	0,63	0,88	0,52
4	1,07	0,88	0,67	0,84	1,19	0,62	0,73	0,48
5	0,99	0,83	0,60	0,81	0,96	0,60	0,60	0,46
6	0,87	0,77	0,51	0,78	0,85	0,60	0,51	0,44
7	0,80	0,75	0,52	0,75	0,78	0,61	0,48	0,43
8	0,74	0,73	0,50	0,73	0,68	0,62	0,43	0,42
9	0,70	0,71	0,47	0,72	0,60	0,63	0,38	0,42
10	0,69	0,69	0,47	0,70	0,55	0,64	0,32	0,41
11	0,68	0,66	0,46	0,67	0,54	0,65	0,29	0,40
12	0,61	0,62	0,42	0,66	0,52	0,66	0,28	0,41

Первые два эксперимента показывают, что использование агентной модели дает лучшие прогнозы в период смены режима ДКП, однако дальнейшая прогнозная способность такого подхода остается неясной. Таким образом, мы повышаем реалистичность экспериментов, рекурсивно добавляя наблюдения из прогнозной выборки к набору данных и переоценивая модели ABM-BVAR и BVAR перед получением прогнозов. Их прогнозная способность приведена в таблице 2. Как можно было ожидать, в большинстве случаев точность рекурсивных прогнозов, полученных с помощью ABM-BVAR, выше, чем при прямых прогнозах, полученных при помощи агентной модели (те же, что и в первых двух экспериментах). Необходимо отметить, однако, что точность гибридного подхода ABM-BVAR по-прежнему превышает нерасширенную BVAR-модель (за исключением прогнозов на выборке за 2001–2008 годы). Мы делаем вывод, что искусственные данные, которые изначально помогали при расчете BVAR-модели, не сказываются негативно на прогнозности способности модели по мере того, как становятся доступны реальные наблюдения.

**Таблица 2.** RMSE вневыборочных прогнозов с рекурсивной переоценкой  
(отношение к RMSE модели BVAR)

Горизонт (месяцев)	Прогнозная выборка: 2001–2008				Прогнозная выборка: 2010–2013			
	Денежная масса		Кредит		Денежная масса		Кредит	
	<i>ABM</i>	<i>ABM-BVAR</i>	<i>ABM</i>	<i>ABM-BVAR</i>	<i>ABM</i>	<i>ABM-BVAR</i>	<i>ABM</i>	<i>ABM-BVAR</i>
1	1,30	1,00	1,92	1,20	2,49	0,79	1,56	0,88
2	1,50	0,99	1,51	1,23	2,24	0,71	1,59	0,83
3	1,66	1,00	1,23	1,28	1,81	0,66	1,42	0,77
4	1,58	0,96	1,15	1,27	1,43	0,61	1,20	0,73
5	1,50	0,95	1,07	1,28	1,14	0,56	1,01	0,71
6	1,50	0,95	0,92	1,27	1,01	0,55	0,89	0,69
7	1,26	0,94	0,92	1,24	0,92	0,55	0,84	0,68
8	1,16	0,91	0,91	1,24	0,81	0,56	0,77	0,68
9	1,14	0,92	0,84	1,24	0,71	0,56	0,68	0,68
10	1,06	0,89	0,85	1,15	0,66	0,56	0,60	0,67
11	1,03	0,87	0,82	1,08	0,64	0,56	0,56	0,67
12	0,99	0,84	0,75	1,04	0,63	0,57	0,54	0,68

## 5. ВЫВОДЫ

Мы разработали агентную модель с согласованными потоками, описывающую реалистичный механизм формирования денежной массы. Данная модель предсказывает, что накопление резервов центральным банком (даже стерилизованное, когда это не влияет на краткосрочные процентные ставки) ведет к ускорению темпов роста баланса коммерческих банков. Причина этого заключается в ускоренном росте денежной массы за счет внешних операций, который не до конца компенсируется снижением кредитования.

Важный момент заключается в том, что простая настройка нашей агентной модели позволяет нам ее параметризовать и предсказать последствия валютных интервенций даже при отсутствии наблюдений в период реализации такой политики. В качестве примера мы применяем свою модель к российским данным. Мы разделили выборку на две части: первая подвыборка охватывает период активного накопления международных резервов Банком России, а вторая – время, когда этот инструмент денежно-кредитной политики практически не использовался. Мы оцениваем модель на одной из подвыборок и используем ее для получения прогноза последствий от начала/прекращения валютных интервенций на второй подвыборке.

Мы оцениваем агентную модель и используем ее для формирования вневыборочных прогнозов изменения денежной массы и кредита. Мы используем как прямые прогнозы из агентной модели, так и гибридный подход, который заключается в использовании искусственных данных из агентной модели для обучения модели BVAR. Мы приходим к выводу, что в период смены режимов ДКП агентная модель дает более точные долгосрочные прогнозы по сравнению с современной моделью BVAR. Кроме того, мы демонстрируем, что комбинированная модель ABM-BVAR практически во всех случаях является более эффективной, чем нерасширенная (то есть без использования искусственных данных, основанных на агентной модели) модель BVAR. Наш вывод заключается в том, что предлагаемый подход является многообещающим и может применяться на практике для предсказания последствий накопления международных резервов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Aizenman, J., Glick, R., 2009. Sterilization, monetary policy, and global financial integration. *Review of International Economics* 17 (4), 777–801.
- Ashraf, Q., Gershman, B., Howitt, P., 2017. Banks, market organization, and macroeconomic performance: an agent-based computational analysis. *Journal of Economic Behavior & Organization* 135, 143–180.
- Bayoumi, T., Saborowski, C., 2014. Accounting for reserves. *Journal of International Money and Finance*, 41, 1–29.
- Benes, J., Berg, A., Portillo, R.A., Vavra, D., 2015. Modeling sterilized interventions and balance sheet effects of monetary policy in a New-Keynesian framework. *Open Economies Review* 26 (1), 81–108.
- Berger, A.N., Bouwman, C.H.S., 2009. Bank liquidity creation. *Review of Financial Studies* 22 (9), 3779–3837.
- Bindseil, U., 2004. The Operational Target of Monetary Policy and the Rise and Fall of Reserve Position Doctrine, ECB Working Paper Series No. 372.
- Blanchard, O., Ostry, J.D., Ghosh, A.R., Chamon, M., 2016. Capital flows: expansionary or contractionary? *American Economic Review* 106 (5), 565–569.
- Borio, C., Disyatat, P., 2010. Unconventional monetary policies: an appraisal. *The Manchester School*, 78 (1), 53–89.
- Borio, C., Zhu, H., 2012. Capital regulation, risk-taking and monetary policy: a missing link in the transmission mechanism? *Journal of Financial Stability* 8 (4), 236–251.
- Bundesbank, 2017. The Role of Banks, Non-Banks and the Central Bank in the Money Creation Process, Monthly Report, April.
- Butt, N., Churm, R., McMahon, M., Morotz, A., Schanz, J., 2014. QE and the Bank Lending Channel in the United Kingdom, Bank of England Working Paper No. 511.
- Caiani, A., Godin, A., Caverzasi, E., Gallegati, M., Kinsella, S., Stiglitz, S., 2016. Agent based-stock flow consistent macroeconomics: towards a benchmark model. *Journal of Economic Dynamics & Control* 69, 375–408.
- Carpenter, S., Demiralp, S., 2012. Money, reserves, and the transmission of monetary policy: does the money multiplier exist? *Journal of Macroeconomics* 34, 59–75.
- Cavoli, T., Rajan, R.S., 2015. Capital inflows and the interest premium problem: the effects of monetary sterilisation in selected Asian economies. *International Review of Economics and Finance* 39, 1–18.
- Chan-Lau, J.A., 2017. ABBA: An Agent-Based Model of the Banking System, IMF Working Paper No. 17/136.

- Chung, K., Lee, J.-E., Loukoianova, E., Park, H., Shin, H.S., 2015. Global liquidity through the lens of monetary aggregates. *Economic Policy* April, 231–290.
- Cook, D., Yetman, J., 2012. Expanding Central Bank Balance Sheets in Emerging Asia: A Compendium of Risks and Some Evidence, BIS Papers No. 66.
- Del Negro, M., Schorfheide, F., 2004. Priors from general equilibrium models for VARs. *International Economic Review* 45, 643–673.
- Deryugina, E., Ponomarenko, A., 2015. Accounting for post-crisis macroeconomic developments in Russia: a large Bayesian vector autoregression model approach. *Emerging Markets Finance and Trade* 51 (6), 1261–1275.
- DeYoung, R., Jang, K.Y., 2016. Do banks actively manage their liquidity? *Journal of Banking & Finance* 66, 143–161.
- Disyatat, P., 2011. The bank lending channel revisited. *Journal of Money, Credit and Banking* 43 (4), 711–734.
- Duc, L.B., Mayerlen, F., Sola, P., 2008. The Monetary Presentation of the Euro Area Balance of Payments, ECB Occasional Paper Series No. 96.
- Duijm, P., Wierdsma, P., 2016. The effects of liquidity regulation on bank assets and liabilities. *International Journal of Central Banking* 12 (2), 385–411.
- Fagiolo, G., Roventini, A., 2017. Macroeconomic policy in DSGE and agent-based models redux: new developments and challenges ahead. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* 20 (1), 1–1.
- Filardo, A., Grenville, S., 2012. Central Bank Balance Sheets and Foreign Exchange Rate Regimes: Understanding the Nexus in Asia, BIS Papers No. 66.
- Filardo, A., Yetman, J., 2012. Key Facts on Central Bank Balance Sheets in Asia and the Pacific, BIS Papers No. 66.
- Gadanecz, B., Mehrotra, A., Mohanty, M.S., 2014. Foreign Exchange Intervention and the Banking System Balance Sheet in Emerging Market Economies, BIS Working Papers No. 445.
- Gagnon, J.E., 2012. Global Imbalances and Foreign Asset Expansion by Developing Economy Central Banks, Peterson Institute for International Economics Working Paper 12–5.
- Gagnon, J.E., 2013. The Elephant Hiding in the Room: Currency Intervention and Trade Imbalances, Peterson Institute for International Economics Working Paper 13–1.
- García-Cicco, J., 2011. On the quantitative effects of unconventional monetary policies in small open economies. *International Journal of Central Banking* 7 (1), 53–115.
- Giannone, D., Lenza, M., Primiceri, G., 2015. Prior selection for vector autoregressions. *Review of Economics and Statistics* 97, 436–451.

Grant, J., 2011. Liquidity Transfer Pricing: A Guide to Better Practice. Financial Stability Institute Occasional Paper No. 10.

Gupta, A., Vedaldi, A., Zisserman, A., 2016. Synthetic data for text localisation in natural images, in: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 2315–2324.

Haldane, A., Turrell, A., 2018. An interdisciplinary model for macroeconomics. *Oxford Review of Economic Policy* 34 (1–2), 219–251.

Halvorsen, J.I., Jacobsen, D.H., 2016. The bank-lending channel empirically revisited. *Journal of Financial Stability* 27, 95–105.

International Relations Committee Task Force, 2006. The Accumulation of Foreign Reserves. European Central Bank Occasional Paper Series No. 43.

Jaderberg, M., Simonyan, K., Vedaldi, A., Zisserman, A., 2014. Synthetic data and artificial neural networks for natural scene text recognition. arXiv preprint arXiv:1406.2227, 2014.

Jaderberg, M., Simonyan, K., Vedaldi, A., Zisserman, A., 2016. Reading text in the wild with convolutional neural networks. *International Journal of Computer Vision* 116 (1), 1–20.

Jakab, Z., Kumhof, M., 2015. Banks Are Not Intermediaries of Loanable Funds – And Why This Matters, Bank of England Working Papers 529.

Kashyap, A.K., Stein, J.C., 1995. The impact of monetary policy on bank balance sheets. *Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy* 42, 151–195.

Krug, S., 2018. The interaction between monetary and macroprudential policy: Should central banks “lean against the wind” to foster macrofinancial stability? *Economics: The Open-Access, Open-Assessment E-Journal* 12 (2018–7), 1–69.

Kuzin, V., Schobert, F., 2015. Why does bank credit not drive money in Germany (any more)? *Economic Modelling* 48, 41–51.

Lavoie, M., 1999. The credit led supply of deposits and the demand for money: Kaldor's reflux mechanism as previously endorsed by Joan Robinson. *Cambridge Journal of Economics* 23, 103–113.

Luca, A., Petrova, I., 2008. What drives credit dollarization in transition economies? *Journal of Banking and Finance* 32, 858–869.

Lux, T., Zwinkels, R.C.J., 2017. Empirical validation of agent-based models, in: Hommes, C., LeBaron, B. (Eds.), *Handbook of Computational Economics*. Elsevier, Amsterdam, forthcoming.

McLeay, M., Radia, A., Thomas, R., 2014. Money creation in the modern economy. *Bank of England Quarterly Bulletin* 54 (1), 14–27.

Mohanty, M.S., Turner, P., 2006. Foreign exchange reserve accumulation in emerging markets: what are the domestic implications? *BIS Quarterly Review* September, 39–52.

Ouyang, A., Rajan, R.S., 2011. Reserve accumulation and monetary sterilization in Singapore and Taiwan. *Applied Economics* 43 (16), 2015–2031.

Ponomarenko, A., 2017a. A note on money creation in emerging market economies. *Journal of Financial Economic Policy* 9 (1), 70–85.

Ponomarenko, A., 2017b. Do sterilized foreign exchange interventions create money? <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3079877>.

Popoyan, L., Napoletano, M., Roventini, A., 2017. Taming macroeconomic instability: monetary and macro prudential policy interactions in an agent-based model. *Journal of Economic Behavior & Organization* 134, 117–140.

Rappoport, D.E., 2016. The Effect of Banks' Financial Position on Credit Growth: Evidence from OECD Countries, Finance and Economics Discussion Series 2016-101. Board of Governors of the Federal Reserve System, Washington.

Tobin, J., 1963. Commercial Banks as Creators of Money, Cowles Foundation Discussion Papers, No. 159.

Tran, M.-N., Scharth, M., Pitt, M.K., Kohn, R., 2016. Importance sampling squared for Bayesian inference in latent variable models, arXiv:1309.3339v4.

## ПРИЛОЖЕНИЕ. ПАРАМЕТРЫ АГЕНТНОЙ МОДЕЛИ

<u>Описание</u>	<u>Параметр</u>	<u>Среднее, ст. откл.</u>	<u>Границы</u>
<b>Внутренние операции</b>			
Доход	$\beta^I$	$\sim N(0,8, 0,05)$	(0,7, 0,95)
Богатство	$\beta^W$	$\sim N(0,13, 0,025)$	(0,1, 0,25)
Задолженность	$\beta^D$	$\sim N(1, 0,1)$	(0,5, 2)
«Нейтральный» КОД	$DSR^*$	$\sim N(0,15, 0,025)$	(0, 0,5)
Случайный спрос	$\beta^R$	$\sim N(0,2, 0,025)$	(0,1)
Спрос на импорт	$\beta^{Im}$	$\sim N(0,33, 0,025)$	(0,1)
Инерция тренда (доход)	$\mu$	$\sim N(0,9, 0,025)$	(0,75, 0,95)
Спрос на кредиты	$\beta^{LD}$	$\sim N(2, 0,25)$	(0,10)
<b>Внешние операции</b>			
Внешняя процентная ставка	$FIR$	$\sim N(5, 2)$	(0,10)
Срок до погашения внешнего долга (годы)	$FDM$	$\sim N(5, 1)$	(0,10)
Глобальная ликвидность	$\lambda^{GL}$	$\sim N(0,0025, 0,0005)$	(0, 0,01)
Глобальная ликвидность (экспортеры)	$\lambda^{GL}$	$\sim N(0,0075, 0,0005)$	(0, 0,02)
Потоки капитала	$\lambda^{CF}$	$\sim N(0,33, 0,05)$	(0,1)
Портфельные предпочтения	$PP_n, PP_e$	$\sim N(0,5, 0,1)$	(0,1)
Инерция тренда (обменный курс)	$\mu$	$\sim N(0,9, 0,025)$	(0,75, 0,95)
<b>Политика банков в отношении рисков</b>			
Ликвидность	$\alpha^L$	$\sim N(3, 0,5)$	(0,5)
Капитал	$\alpha^{CAP}$	$\sim N(1,5, 0,25)$	(0,5)
Долгосрочная премия	$\lambda^L$	$\sim N(2, 0,5)$	(0,5)



Конкуренция (депозиты)	$\lambda^C$	$\sim N(0,25, 0,1)$	(0,1)
Конкуренция (кредиты)	$\lambda^C$	$\sim N(0,25, 0,1)$	(0,1)
Обеспечение	$\lambda^{B1}$	$\sim N(4, 0,5)$	(0,10)
Нейтральная норма возврата	$\lambda^{B2}$	$\sim N(0,75, 0,1)$	(0,1)
Базовые наценки (депозиты)	$IR^{DMU}$	$\sim N(2, 0,5)$	(0,5)
Базовые наценки (кредиты)	$IR^{LMU}$	$\sim N(2, 0,5)$	(0,5)
Продажа обеспечения	$\theta$	$\sim N(0,05, 0,01)$	(0,01, 1)

### Корректировка портфеля

Предпочтения в отношении ликвидности	$LP_e, LP_n$	$\sim N(2, 0,25)$	(0,4)
Спрос на наличные средства (доход)	$\delta^I$	$\sim N(0,3, 0,025)$	(0, 0,5)
Спрос на наличные средства (случайный)	$\delta^R$	$\sim N(0,1, 0,025)$	(0, 0,5)
Вывод базового депозита	$p^{CD}$	$\sim N(0,99, 0,005)$	(0,95, 0,999)
Вывод небазового депозита	$D$	$\sim N(0,04, 0,005)$	$p^{CD}-p^D \in (0,9, 0,999)$
Рыночная информация	$p^I$	$\sim N(0,5, 0,1)$	(0,1)

### Прочее

«Естественные» процентные ставки	$IR_n^*$	$\sim N(23, 1)$	(10,30)
Норма возврата	$RR_n$	$\sim N(0,75, 0,025)$	(0,1)
Доход в момент инициализации	$I_{n,t}^T$	$\sim N(20, 1)$	(0,40)
Доли рынка	$MS_n$ устанавливаются пропорционально изначальной доле дохода в общем доходе агентов того же типа		
Иностранные активы в момент инициализации	$FA_{n,t}$	$\sim N(0,2, 0,01)$	(0,1)
Иностранные активы в момент инициализации	$FA_{e,t}$	$\sim N(0,25, 0,01)$	(0,1)

(экспортеры)

Объем кредитов каждого  
агента в момент  
инициализации

 $\sim N(50, 10)$ 

(0,100)

Депозиты в момент  
инициализации (выборки  
2001–2008 / 2010–2013)

 $D_{n,t}$  $\sim U(60, 75) / \sim U(30, 45)$ 

Депозиты в момент  
инициализации,  
экспортеры (выборки  
2001–2008 / 2010–2013)

 $D_{e,t}$  $\sim U(80, 100) / \sim U(40, 60)$ 

Денежные средства в  
момент инициализации  
(выборки 2001–2008 /  
2010–2013)

 $CH_{n,t}$ 

40/20

