

УДК 519.86, 336.01

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КРЕДИТНО-ДЕНЕЖНЫХ ОТНОШЕНИЙ В РАМКАХ ДИНАМИЧЕСКИХ СТОХАСТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЩЕГО РАВНОВЕСИЯ: СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПОДХОДОВ

М. Ю. Андреев, А. В. Полбин

*Динамические стохастические модели общего равновесия (ДСМОП) являются важным инструментом для исследования ряда теоретических и практических вопросов в области макроэкономики. В связи с тем, что финансовая система является механизмом трансмиссии и источником возникновения шоков в экономике, все больше моделей этого класса включают описание кредитно-денежных отношений. В данной статье приведена систематизация основных подходов к моделированию кредитно-денежных отношений в рамках динамических стохастических моделей общего равновесия. Первое выделяемое направление моделирования кредитно-денежных отношений — моделирование эффекта финансового акселератора — финансового механизма, способствующего усилению воздействия шоков на экономику и позволяющего объяснить наблюдающуюся в реальности устойчивость и продолжительность деловых циклов. В статье подробно освещены два основных способа моделирования эффекта финансового акселератора: через механизм внешней финансовой премии и через залоговое ограничение. Второе направление моделирования кредитно-денежных отношений, зачастую пересекающееся с первым, — описание банковской системы. На примере работ описаны цели и методы моделирования поведения банковской системы в рамках ДСМОП. Также в обзоре отдельно выделены работы, в которых кредитор несет системный риск.*

**Ключевые слова:** рациональные ожидания, динамические стохастические модели, равновесие, финансовая система, банки, финансовый акселератор, дефолт, системный риск

### 1. Введение

Экономические отношения неуклонно изменяются и усложняются. Вслед за ними изменяются и усложняются экономическая теория и средства математического моделирования экономических отношений. В 1960–1970 гг. развитие получили вычислимые модели общего равновесия (*CGE models*), в которых представления экономических агентов о будущем либо не закладывались, либо закладывались в форме адаптивных ожиданий, заключающихся, грубо говоря, в проецировании закономерностей прошлого на будущее. Однако, как аргументировал Р. Лукас [30], экономические агенты способны объективно оценивать состояние окружающей экономической среды и ее изменения, а при принятии решения учитывать реально действующие механизмы, в силу чего принцип адаптивных ожиданий представляется нереалистичным. В противовес подходу адаптивных ожиданий в 1970–1980 гг. стали развиваться динамические стохастические модели общего равновесия (*DSGE models*, далее ДСМОП), основанные на принципе раци-

ональных ожиданий [34]. Согласно принципу рациональных ожиданий, агенты пользуются всей доступной информацией. В результате применения данного принципа, в рамках моделей агенты наделяются способностью предугадывать информационные переменные (цены, процентные ставки) без систематических ошибок.

Модели, основанные на принципе рациональных ожиданий, изначально приобрели популярность в связи с возможностью анализа последствий проведения будущей экономической политики, которую экономические агенты предвидят и учитывают в своих текущих действиях. Модели на основе принципа адаптивных ожиданий не позволяют провести подобный анализ. В рамках моделей с рациональными ожиданиями ряд исследователей реализовали подход новокейнсианской теории, согласно которой экономические рынки функционируют несовершенно [21; 33], а экономические агенты могут иметь ограниченную рациональность [12]. Реализация новокейнсианского подхода позволила изучать реалистичное

поведение агентов, что дополнительно увеличило популярность ДСМОП. Однако развитие вычислительных методов позволило массово проводить расчет ДСМОП лишь с конца 1990-х годов, на которые и пришелся старт их бурного развития. В настоящее время подавляющее большинство центральных банков развитых стран в той или иной мере использует информацию, полученную на основе ДСМОП.

Если изначально в рамках ДСМОП описывалось поведение лишь реального сектора экономики, то в начале 2000-х стали развиваться подходы к описанию кредитно-денежных отношений. Ввод в ДСМОП кредитно-денежных отношений позволил ответить на ряд вопросов как теоретического, так и прикладного характера: чем может объясняться наличие деловых циклов в экономике, как влияют внутренние ограничения банковского сектора на динамику макроэкономических переменных, какой вклад финансовые шоки внесли в экономическую динамику и пр. В настоящее время всё больше исследователей прибегают к описанию кредитно-денежных отношений в рамках ДСМОП. Так известные исследователи J. Linde, F. Smets, R. Wouters пришли к выводу<sup>1</sup>, что описание кредитно-денежных отношений — необходимое условие воспроизведения замедленного выхода мировой экономики из рецессии 2008–2009 гг.

В данной статье приводится обзор подходов к моделированию кредитно-денежных отношений и финансовой системы в рамках ДСМОП. Ниже не обсуждается реализация расчета моделей и теоретическое обоснование методов вычисления ДСМОП, для чего читателю предлагается обратиться к описанию наиболее популярного инструмента вычисления ДСМОП — DYNARE [6] или к книге Ф. Канова [13].

## 2. С чего всё начиналось: эффект финансового акселератора и внешняя премия финансирования инвестиций

Одной из первоначальных целей ДСМОП было моделирование динамики деловых циклов. В рамках ДСМОП в качестве механизма усиливающего циклическое движение макроэкономических переменных, был предложен «финансовый акселератор» (*financial accelerator*) — механизм, который увеличивает амплитуду воздействия шоков на экономику (*amplification*) и/или время возврата экономики

к долгосрочному равновесию (*prolongation*). Именно при моделировании эффекта финансового акселератора в рамках ДСМОП были впервые описаны кредитно-денежные отношения между агентами.

Первой работой, моделирующей механизм финансового акселератора на теоретическом уровне, стала работа Б. Бернанке и М. Гертлера [9], опирающаяся на принцип существования внешней финансовой премии (*external finance premium*). Внешняя финансовая премия определяется как разница между стоимостью привлечения средств предпринимателем извне (которая в равновесии равна доходности активов предпринимателя) и безрисковой ставкой процента. Финансовая премия характеризует издержки, которые несет кредитор при объявлении банкротства заемщика. При ухудшении финансового состояния заемщика растут вероятность банкротства и ожидаемые издержки кредитора, связанные с банкротством заемщика, поэтому финансовая премия, которую заемщик выплачивает кредитору, также растет. В этом заключается контрциклический характер поведения внешней премии: в хорошие периоды, когда прибыли и благосостояние заемщиков растут, премия падает, занимать становится легче, что в свою очередь усиливает положительное движение макроэкономических показателей.

В работе Б. Бернанке и М. Гертлера заемщики средств — предприниматели — являются разнородными: они отличаются друг от друга величиной издержек, которую должны понести, чтобы осуществить производство. В равновесии предприниматели расслаиваются на три группы: «хорошие» — всегда реализующие производственный проект, «бедные» — никогда не реализующие проект, и «честные» — реализующие проект в зависимости от экономических условий. Под действием шока производительности в модели появляется нетривиальная динамика, в результате которой доля «честных» предпринимателей меняется во времени. Модель носит теоретический характер, и авторам удалось продемонстрировать работоспособность механизма финансового акселератора. Но в силу неоднородности агентов модель неудобна для численных экспериментов, основой прикладных работ она не стала.

По-настоящему основополагающей в моделировании эффекта финансового акселератора посредством внешней премии стала работа Б. Бернанке, М. Гертлера и С. Гилхриста [11] (в соответствии с общепринятой практикой далее

<sup>1</sup> Linde J., Smets F., Wouters R. Challenges for Central Banks' Macro Models // Sveriges Riksbank research paper series. — 2016. — No. 323. — P. 1–88.

будем упоминать данную работу как *BGG*). В *BGG* ключевым для описания кредитных отношений и моделирования эффекта акселератора является описание поведения предпринимателей. Предприниматели в отличие от модели [9] уже не разнородны, а однородны. Континуум предпринимателей и каждый из них с положительной вероятностью в следующий период времени тратят накопленное благосостояние на потребление и исчезают, что приводит к конечности их ожидаемого периода жизни и невозможности обойтись без внешнего финансирования. Каждый предприниматель  $j$  в модели владеет физическим активом — капиталом  $K_t^j$  стоимостью  $Q_t K_t^j$ , покупку которого финансирует за счет собственных средств  $N_t^j$  и заемных —  $B_t^j$ . Будущая доходность капитала предпринимателя  $j$  представляется в виде  $\omega_{t+1}^j R_{t+1}^k$ , где  $\omega_{t+1}^j$  — идиосинкратический<sup>1</sup> риск данного предпринимателя с математическим ожиданием  $E\omega_{t+1}^j = 1$  и идентичным по всем предпринимателям и периодам времени распределением  $F(\omega)$ , а  $R_{t+1}^k$  — средняя доходность капитала, не зависящая от идиосинкратических рисков отдельных предпринимателей. Доход  $\omega_{t+1}^j R_{t+1}^k Q_t K_t^j$  от аренды капитала делится между кредитором и предпринимателем (он же заемщик). Авторы полагают следующую схему дележа дохода: при реализации шока  $\omega_{t+1}^j$  менее некоторого порогового значения  $\bar{\omega}_{t+1}$  заемщик объявляется банкротом, доля  $(1 - \mu)$  дохода  $\omega_{t+1}^j R_{t+1}^k Q_t K_t^j$  достается кредитору, а доля  $\mu$  идет на издержки мониторинга состояния заемщика и безвозвратно теряется. При реализации шока  $\omega_{t+1}^j$  больше значения  $\bar{\omega}_{t+1}$  банкротство не происходит, а предприниматель выплачивает величину  $\bar{\omega}_{t+1} R_{t+1}^k Q_t K_t^j$  кредитору, оставляя остальной доход себе. Одним из ключевых соотношений модели является условие равенства доходности средств кредитора  $B_t^j$  некоторой альтернативной доходности  $R_t$  (по депозитам домохозяйств):

$$(1 - F(\bar{\omega}_{t+1})) \bar{\omega}_{t+1} R_{t+1}^k Q_t K_t^j + (1 - \mu) \int_0^{\bar{\omega}_{t+1}} \omega R_{t+1}^k Q_t K_t^j dF(\omega) = R_t B_t^j. \quad (1)$$

Первое слагаемое в левой части (1) равно ожидаемой величине поступлений кредитору в случае отсутствия банкротства, а второе — в случае банкротства. При суммировании (1) по континууму предпринимателей остается то же самое выражение, в котором вместо индивидуальных величин капитала  $K_t^j$  и кредитов  $B_t^j$

стоят агрегированные величины. Согласно (1), величина минимального риска  $\bar{\omega}_{t+1}$ , при котором не объявляется банкротство, зависит от доходности активов заемщиков  $R_{t+1}^k$ , тогда как доход  $R_t B_t^j$  кредитора в период  $t + 1$  не подвержен шокам периода  $t + 1$ . Другими словами, кредитор не несет системного риска. Модели с системным риском описаны ниже в разделе 5.

В данной модели результатом решения задачи максимизации ожидаемого дохода предпринимателя является в частности зависимость, отражающая влияния финансового состояния предпринимателя на равновесную доходность капитала:

$$E\{R_{t+1}^k\} = s \left( \frac{N_t^j}{Q_t K_t^j} \right) R_t,$$

где  $s$  — убывающая функция. Данное выражение интерпретируется как равенство ожидаемой доходности  $E\{R_{t+1}^k\}$  активов предпринимателя предельным издержкам внешнего финанси-

рования. Величина  $E\{R_{t+1}^k\} - R_t = \left( s \left( \frac{N_t^j}{Q_t K_t^j} \right) - 1 \right) R_t$  является внешней премией, убывающей при росте благосостояния заемщика. Данное выражение объясняет контрциклический характер поведения внешней премии: чем выше доля собственного капитала, тем ниже внешняя премия, тем легче предпринимателям аккумулировать собственные средства, что в итоге приводит к поддержке роста производства. Авторы демонстрируют результаты расчетов, согласно которым амплитуда воздействия шока производительности на экономику больше в модели с финансовым акселератором, чем в модели без него.

Модель *BGG* была расширена в ряде работ. Например, в работе [15] авторы ввели в модель *BGG* дополнительные ограничения и переменные. На данных для США в период Великой депрессии им удалось воспроизвести некоторые специфические черты периода, например, сдвиг предпочтений потребителей в сторону хранения денег и отказа от инвестиций. В модели, описанной в статье [7], в стандартной схеме модели *BGG* предприниматели были заменены производителями домов. Авторам с помощью механизма финансового акселератора удалось повторить динамику цен на недвижимость, инвестиции и потребление в сфере недвижимости.

В статье [14] авторы протестировали две модели: модель без финансового акселератора и ее расширение с финансовым акселератором.

<sup>1</sup> Связанный только с данным предпринимателем.

Параметры моделей были оценены на квартальных данных экономики США за период с 1979 по 2004 г. Коэффициенты, отвечающие за расширение модели в сторону наличия финансового акселератора, оказались значимыми, а модель без финансового акселератора была отвергнута в пользу модели с его наличием. Однако авторы обнаружили, что механизм финансового акселератора имеет ограниченный эффект. А именно, в плане влияния на инвестиции финансовый акселератор усиливает воздействие шоков, действующих со стороны спроса на инвестиции, и наоборот, смягчает воздействие шоков со стороны предложения инвестиций. Усиление влияния шоков на производство и инфляцию оказалось незначительным. Авторы объясняют данный эффект «агрессивным ответом монетарных властей» на изменение производства.

Конструкция, предложенная в модели BGG, также часто используется и в моделях с описанием банковского сектора, о которых рассказывается ниже в разделе 4.

### 3. Залоговое ограничение как альтернативный подход к моделированию эффекта финансового акселератора

В моделях, использующих подход внешней финансовой премии, не существует ограничений на объем занимаемого капитала. Единственным лимитирующим фактором является цена заемного капитала, которая растет с размером заимствования. Другим подходом к моделированию эффекта финансового акселератора стало ограничение допустимого размера кредитования. Этот подход начал развиваться, начиная с работы Н. Кийотаке и Д. Мура [28]. Объем заимствований в моделях этого направления зависит от стоимости активов заемщика, выступающих в качестве залога. Такие модели называют моделями с залоговым ограничением (*collateral constraint*).

В работе Н. Кийотаке и Д. Мура присутствуют два типа экономических агентов: фермеры и собиратели урожая. Фермеры отличаются от собирателей более высоким коэффициентом предпочтения времени, что приводит к тому, что в равновесии фермеры становятся заемщиками, а собиратели — кредиторами. Существует единственный фактор производства — земля, который служит также и залогом для обеспечения кредитов. Залоговое ограничение имеет вид  $Rb_t \leq q_{t+1}k_t$ , где  $b_t$  — объем занимаемых фермером средств,  $R$  — процентная ставка по займу,  $k_t$  — количество земли у фермера,  $q_{t+1}$  — ожидаемая рыночная стоимость

земли в следующем периоде. Таким образом, будущие кредитные платежи никогда (модель оказывается детерминированной) не должны превышать будущей стоимости залога. Любые неблагоприятные шоки, уменьшающие будущую стоимость земли  $q_{t+1}$ , уменьшают и доступность внешнего финансирования  $b_t$ . Механизм распространения негативного шока производства на экономику таков: уменьшается благосостояние фермера, падает спрос на землю как фактор производства, падает цена земли. Падение цены в период  $t$  приводит к падению благосостояния фермера в период  $t + 1$ , что аналогичным образом приводит к падению цены в период  $t + 1$  и т. д. Таким образом наблюдается каскадное падение цен в последующие периоды. Реакция фермера на негативный шок заключается в урезании инвестиций, а так как текущая цена учитывает в себе факт падения всех будущих цен (в силу выполнения залогового ограничения как равенства), то можно сказать, что однократное шоковое воздействие на экономику имеет мультипликативный эффект. Авторы отмечают, что в силу эффекта мультипликатора масштаб реакции шока на экономику в данной модели в силу наличия залогового ограничения  $Rb_t \leq q_{t+1}k_t$  гораздо сильнее, чем «в стандартной модели»<sup>1</sup>.

Модель Н. Кийотаке и Д. Мура была проинтерпретирована авторами модели BGG в работе [10] в несколько иных терминах. Авторам на простом примере удалось показать, что механизм залогового ограничения ведет к тем же эффектам, что лежат в основе моделей с наличием внешней премии, например, в модели BGG. А именно, при залоговом ограничении внутренняя доходность активов кредитора выше стоимости внешнего кредитования, а цена образующейся внешней премии растет с падением чистой стоимости фирмы.

При весьма наглядном положительном результате модель Н. Кийотаке и Д. Мура все же обладает определенным недостатком, выраженным в линейности задачи заемщика (фермера). Линейность задачи фермера означает, что при введении в модель минимальной выпуклости (функции полезности, либо производственной функции) залоговое ограничение уже не обязано выполняться как равенство, что может означать отсутствие эффекта мультипликатора. Возможно, именно поэтому не-

<sup>1</sup> Остается неясным, что Н. Кийотаке и Д. Мур подразумевают под стандартной моделью. Отметим, что без залогового ограничения задача фермера решения не имеет — его «оптимальным» решением будет бесконечное потребление, полученное за счет бесконечного объема кредита.

которые авторы утверждают, что при устранении линейности конструкции из работы Н. Кийотаке и Д. Мура эффект усиления шоков оказывается незначительным. Так в работе [18] авторы дополнили модель Н. Кийотаке и Д. Мура предположениями: ввели нелинейную производственную функцию, а заемщиков сделали не склонными к риску. Модель стала воспроизводить усиление шоков только в определенном диапазоне параметров, а само усиление было не столь серьезным, как в основополагающей статье. Авторы сделали вывод, что «залоговые ограничения сами по себе не могут воспроизводить большие флуктуации выпуска, наблюдаемые в данных».

Тем не менее работа Н. Кийотаке и Д. Мура стала достаточно популярной, а предложенная конструкция с залоговым ограничением стала часто использоваться для описания поведения сектора недвижимости. Например, в работе [26] была построена модель, схожая по смыслу с моделью Н. Кийотаке и Д. Мура, но приспособленная к реальным данным. Предполагалось, что существуют два производственных сектора: строительный, производящий недвижимость, приносящую пользу потребителям, и нестроительный. Потребители делились на два типа: нетерпеливых, занимающих средства, и терпеливых, одалживающих средства нетерпеливым и строительному сектору. Нетерпеливые потребители были стеснены залоговым ограничением: объем кредитов не мог превышать стоимость недвижимости, находящейся в собственности. При сдвиге предпочтений потребителей в сторону получения удовольствия от недвижимости происходило увеличение цен на недвижимость, доходности инвестирования и инвестиций в строительный сектор. В силу увеличения стоимости залога происходило увеличение потребления нетерпеливых домохозяйств, что перекрывало падение потребления терпеливых домохозяйств. Таким образом, с помощью модели с залоговым ограничением авторам удалось продемонстрировать распространение шоков из сектора недвижимости на остальную часть экономики.

Воздействие шоков в секторе недвижимости на экономические циклы рассмотрена также в статье [29]. Авторы построили похожую конструкцию, но отличие заключалось в том, что залоговое ограничение было приписано не домохозяйствам, а производителям. Именно это, по мнению авторов, позволило избежать слабости влияния шоков (как в работе [26]) и позволило воспроизвести в модели скоординированное движение цен на недвижимость

и инвестиции, чего не наблюдалось в других моделях. Благоприятный шок в модели ведет к росту стоимости земли, что приводит к росту чистого благосостояния предпринимателя и его возможности кредитоваться, что в свою очередь делает возможным увеличить инвестиции. В дальнейшем шок также распространяется на всю экономику.

Можно сделать вывод, что, как и в случае с внешней финансовой премией, моделирование финансового акселератора с помощью залогового ограничения приводит к различным результатам. От того, какие шоки рассматриваются, как они введены в модель, каковы параметры модели, зависит степень усиления шоков. Например, финансовые шоки, которые сильно влияют на стоимость товаров, выступающих в качестве залога, значительно усиливают колебания в модели, тогда как нефинансовые шоки, слабо влияющие на стоимость залога, почти не воспроизводят механизм финансового акселератора.

#### 4. Описание деятельности банковской системы в ДСМОР

И в моделях с внешней финансовой премией, и с залоговыми ограничениями до определенного времени банковский сектор в явном виде не описывался: отношения кредитования выстраивались непосредственно между потребителями и предпринимателями. Но с середины 2000-х гг. стали появляться работы, вводящие в ДСМОР агента «банк». Модели, описывающие банковский сектор, не всегда затрагивают тематику финансового акселератора. Важными темами, затрагиваемыми при моделировании банковского сектора, стали: исследование роли ограничения достаточности банковского капитала, влияние нехватки ликвидных средств на экономику, воздействие денежной политики на реальный сектор при наличии банковского сектора и ограничений типа ограничения ликвидности, выработка правил денежной политики при наличии банковского сектора.

Первые работы по описанию банковского сектора зачастую использовали производственные функции от переменных финансового сектора. Так в работе [25] авторы описывают предложение реальных кредитов в экономике как производственную функцию Кобба — Дугласа от двух факторов: задействованного в банковском секторе труда и суммы стоимости залога под выдаваемые кредиты и стоимости государственных облигаций. Банковский баланс имеет вид равенства депозитов сумме кредитов и банковской ликвидности. При этом

ни кредиты, ни депозиты не приносят процентов кредиторам. Депозиты необходимы населению в силу ограничения ликвидности: объем депозитов пропорционален потреблению. Что касается кредитов, то их необходимость не описана содержательно в модели, также как и залоговое ограничение появляется в модели лишь в форме стоимости залога в производственной функции. Банковская ликвидность жестко пропорциональна кредитам, а саму банковскую ликвидность выпускает и регулирует государство. В результате данного нормативного описания оказывается, что потребительные домохозяйств пропорционально производственной функции кредитов, а государство влияет на экономику через предложение банковской ликвидности.

В модели экономическая политика в форме денежного стимулирования имеет два направления воздействия на экономику, которые авторы назвали эффектом акселератора и «эффектом аттенюатора» (обратного эффекту акселератора). Эффект финансового акселератора, по мнению авторов, проявляется в классическом виде: монетарная политика, которая стимулирует занятость и выпуск, приводит к увеличению предельной производительности капитала, цены капитала, стоимости залога, что уменьшает внешнюю премию. Финансовый аттенюатор проявляется в силу ограничения ликвидности для потребителя: монетарная политика, стимулирующая потребление, приводит к росту спроса на депозиты, росту их (внутренней) стоимости, что увеличивает внешнюю премию. Авторы оценивают внешнюю премию через переменные модели и на основе анализа функций импульсного отклика устанавливают, что эффект аттенюатора превалирует над эффектом акселератора. Авторы приходят к выводу, что в силу ограничений ликвидности банковский сектор может смягчить воздействие политики ЦБ на экономику и нейтрализовать эффект финансового акселератора.

Для модели [16] характерны две особенности. Во-первых, банки описаны двойным балансовым соотношением: первое балансовое соотношение включает ликвидные средства, которыми пользуются потребители для осуществления платежей, кредиты и расчетные счета производителя физического капитала. Агрегаты первого балансового соотношения имеют смысл элементов денежной базы (корреспондентских счетов в ЦБ) и расчетных счетов контрагентов банка. Второе балансовое соотношение включает депозиты населения

и кредиты собственникам физического капитала. Авторы не дают внятных объяснений необходимости разделения баланса. Вторая особенность — описание спроса депозитов банка как производственной функции (Кобба — Дугласа) от физического капитала и труда, задействованных в банковском секторе, и от ликвидных средств в банковском секторе. При отсутствии требования к достаточности собственного капитала именно производственная функция, по всей видимости, берет на себя роль требования достаточности капитала, т. е. лимитирует денежную эмиссию.

Авторы отмечают, что смоделировали два канала трансмиссии денег и, соответственно, два канала влияния шоков на экономику. Первый канал — механизм финансового акселератора — через займы и благосостояние собственника физического капитала, описанного в соответствии с моделью *BGG*. Второй канал — «фондирование банков» — через спрос на ликвидность со стороны домохозяйств. Здесь, как и в модели [25], потребители должны поддерживать должный уровень ликвидных средств. Однако в отличие от модели [25] в рассматриваемой модели эффект аттенюатора, если он и существует, не превалирует над эффектом акселератора: в ответ на положительный шок монетарной политики, ухудшающей положение заемщика, финансовая премия растет. С помощью исторической декомпозиции вклада шоков в динамику экономических переменных США и Еврозоны авторы показали, что большая часть падения выпуска в 2008 г. объясняется именно шоками банковского сектора, а распространение шоков на экономику осуществлялось через механизмы финансового акселератора и фондирования банков.

Тема вклада шоков финансового сектора в кризис 2008 г. раскрывается также и в работе [22]. Авторы вводят в модель банк, обладающий монопольной властью: банк знает функции спроса на кредиты и предложения депозитов в зависимости от процентных ставок. Сам банк несет издержки при изменении процентных ставок. В результате данного описания проявляются две особенности модели: банк в силу наличия монопольной власти дополнительно (по отношению к ставке регулятора) увеличивает ставки по кредитам и уменьшает ставки по депозитам, а процентные ставки становятся жесткими — в значительной степени зависят от предыстории. Жесткость процентных ставок приводит к тому, что регулятор не способен мгновенно в полной мере воздействовать на экономику. Также авторы вводят в модель

требование к достаточности собственного капитала банка в форме штрафа за отклонение капитала от определенного уровня. Наличие трений в банковском секторе в виде жесткости ставок и требования к капиталу приводит к тому, что шоки банковского сектора распространяются на реальную экономику. Как показывают авторы с помощью декомпозиции исторического вклада шоков, именно шоки финансового сектора внесли основной вклад в спад 2008 г.

Помимо изучения влияния банковского сектора на экономические кризисы ДСМОР пытаются оценить правильность действий регулятора в период кризисов и выработать наиболее корректную политику.

Так в серии работ [19; 20] банковский сектор описан в форме технологии финансового посредничества: кредиты в экономике равны сумме депозитов и издержек на выдачу кредитов. Издержки на выдачу кредитов задаются экзогенно в форме абстрактной функции, зависящей от выданных кредитов. Из-за наличия издержек спред между процентными ставками по кредитам и депозитам отличен от нуля и зависит от производной функции издержек. Если функция издержек не линейна, то спред меняется в зависимости от экономических шоков. Авторы в работе оценивают качество модификации правила Тейлора [35], учитывающей реакцию Центрального банка на спред между процентными ставками. Для этого авторы при различных коэффициентах при спреде в правиле Тейлора наблюдают реакцию основных переменных на определенный вид шока, а также реакцию переменных при использовании «оптимального правила»<sup>1</sup>. Оказалось, что при шоках финансового сектора (шок спреда процентных ставок или частного долга) инструментальное правило, учитывающее наличие спреда (т. е. коэффициент при спреде отличен от нуля), хорошо приближает оптимальное правило. В случае же шоков реального сектора правило с нулевым коэффициентом при спреде (что совпадает с классическим правилом Тейлора) не сильно отличается от оптимального. Таким образом, при возникновении шоков в финансовом секторе Центральному банку целесообразно реагировать также на изменения спреда.

<sup>1</sup> Оптимальное правило — правило установки процентной ставки в экономике, целью которого является максимизация ожидаемого благосостояния домашних хозяйств, при условии, что планирующему органу известны зависимости всех внутренних переменных модели от внешних переменных и от самой процентной ставки.

В работе [24] авторы также изучали возможность реакции регулятора на спред по ставкам, но реакция на спред осуществлялась уже не посредством установки регулирующей ставки, а посредством изменения кредитного предложения в экономике. В данной модели конечные «потребители» кредитов — предприниматели — могут занимать как у финансовых посредников, так и у государства, тогда как государство и финансовые посредники занимают у домохозяйств. Наличие требований к собственному капиталу финансовых посредников и отсутствие такового для государства делают вмешательство государства в кредитный процесс целесообразным в определенные периоды. Авторы аргументируют, что целесообразными периодами увеличения государственного предложения являются кризисы. При этом альтернативой стратегии увеличения прямого кредитования в период кризисов является вливание государственной помощи в капиталы финансовых посредников. Выбор между двумя вариантами поддержки должен осуществляться исходя из стоимости вариантов: если речь идет о покупке ипотечных облигаций, то издержки посредничества малы, и регулятор должен действовать напрямую, а в случае с необеспеченными займами мониторинг состояния заемщиков дорог, и регулятор должен действовать через вливание в капитал финансовых посредников.

В модели [27] авторы в рамках новокейнсианской модели с банком оценивали эффективность фискальной политики Евросоюза в период кризиса 2008–2009 гг. Особенностью построенной модели явилось использование экзогенно заданных дефолтов заемщиков: все заемщики — государство и нетерпеливые потребители — каждый период списывают случайную часть долга, которая не зависит от экономических условий (в отличие от подхода в работе BGG, где вероятность дефолта зависит от экономических условий). Фискальная политика в данной модели учитывала возможность безвозмездной поддержки банковского сектора из бюджета. Авторы показали, что поддержка банковского сектора приводит к увеличению объема кредитования в экономике и падению спреда по процентным ставкам. Поддержка банков в 2008–2009 гг. привела к стабилизации выпуска, инвестиций и потребления. Банковские шоки и увеличение государственных расходов объяснили половину увеличения отношения частного долга к ВВП в период кризиса.

Можно сказать, что к настоящему времени выработались определенные стандарты качества в отношении ДСМОР с описанием банковского сектора. В работе [23] сравнивались 5 моделей авторов с описанием банковского сектора. Сравнение моделей производилось по результатам отклика переменных на финансовый шок списания части задолженности домохозяйств перед банковским сектором. Все модели продемонстрировали одинаковое направление отклика на шок: при списании долга банковский капитал падал, спред по ставкам рос, падали инвестиции, потребление и производство. Однако масштаб отклика на шок различался от модели к модели. Как отметили авторы, масштаб отклика зависел от наличия альтернативных банковскому сектору источников фондирования производства и от механизмов передачи шока в цены активов, выступающих в качестве залога.

#### 5. Моделирование системного риска кредитора как попытка более реалистичного описания финансовой системы

Как отмечалось выше, в модели BGG кредитор не несет системного риска. Под этим понимается следующее: агрегированная доходность по кредитам, выдаваемым в период  $t - 1$ , зависит только от переменных и шоков периода  $t - 1$ , но не зависит от переменных периода  $t$ . В модели BGG это свойство реализуется за счет того, что в момент  $t$  при реализации шоков граница идиосинкратического шока  $\bar{\omega}_t$  доходности активов, ниже которой объявляется банкротство заемщика, подбирается под определенную в момент  $t$  доходность капитала  $R_t^k$ , сдаваемого заемщиком в аренду: чем ниже доходность, тем выше граница отсечения, и выше вероятность заемщика стать банкротом (см. формулу (1)). Каждый отдельный заемщик выплачивает в момент времени  $t$  сумму, зависящую от переменных периода  $t$ , но в сумме все заемщики выплачивают кредитору сумму, не зависящую от переменных периода  $t$ . В результате все системные риски несет именно заемщик.

При таком описании взаимодействия кредитора и заемщика следует ожидать, что негативные шоки, реализующиеся в реальном секторе экономики, будут слабо воздействовать на финансовый сектор, поскольку воздействие осуществляется лишь через падение спроса на кредиты.

Альтернативой является подход, в котором доход кредитора от вложений в период  $t - 1$  зависит от реализации величин в период  $t$ .

Например, доход кредитора может зависеть от доли предпринимателей, которые обанкротились в момент  $t$ . Таким образом, банкротства предпринимателей напрямую влияют на состояние банка, то есть банк несет системный риск. При данном подходе следует ожидать, что шоки, реализующиеся в реальном секторе, будут более агрессивно влиять на состояние финансового сектора, что в итоге приведет к усилению шоков во всей экономике и более продолжительному их воздействию на экономику, чем собственное и мотивированное развитие направления моделирования эффекта финансового акселератора. Но на практике проверить преимущество подхода с наличием системного риска для кредитора практически невозможно, поскольку это подразумевает сравнение двух моделей, реализующих разные подходы, что практически всегда некорректно. Тем не менее теоретическое преимущество моделей с системным риском кредитора очевидно. Мы остановимся на некоторых результатах данного типа моделей.

В статье [17] авторы представляют модель взаимодействия шести типов агентов, три из которых — домохозяйства, предприниматели и банки — могут брать в долг, объявлять дефолт и не возвращать долги. В результате взаимодействия агентов доля обанкротившихся агентов одного типа зависит от доли обанкротившихся агентов другого типа.

Каждый банк  $j$  в модели занимает средства  $e_t^j$  у отдельного типа агентов — банкиров. Полученные средства являются акционерным капиталом банка. Банк функционирует лишь один период и всю полученную прибыль  $\pi_{t+1}^j$  передает банкиру. Доходность средств банкира не может быть отрицательной, поскольку банк несет ограниченную финансовую ответственность, что подразумевает определение прибыли как  $\pi_{t+1}^j = \max\{\omega_{t+1}^j \tilde{R}_{t+1}^j b_t^j - R_t^D d_t^j, 0\}$ , где  $b_t^j, d_t^j$  — объемы выданных кредитов и привлеченных депозитов,  $\tilde{R}_{t+1}^j$  — процентная ставка по кредитам с учетом банкротства заемщиков,  $R_t^D$  — ставка по депозитам,  $\omega_{t+1}^j$  — шок идиосинкратического риска. Таким образом, при получении отрицательной прибыли банк отказывается от возврата долгов, а держатели депозитов (домохозяйства) терпят убытки. Банк ограничен в кредитной эмиссии уровнем акционерного капитала, определяемым как отношение акционерного капитала к кредитам  $\phi_t^j = e_t^j / b_t^j$ . Минимальный уровень идиосинкратического шока, ниже которого объявляется банкротство банка, определяется из модели как  $\bar{\omega}_{t+1}^j = (1 - \phi_t^j) R_t^D / \tilde{R}_{t+1}^j$ . Таким образом, регулиру-



емый надзорным органом уровень достаточности капитала  $\phi_t^j$  при увеличении приводит, с одной стороны, к уменьшению доли банкротящихся банков, а значит, к снижению издержек экономики от банкротства. С другой стороны, это снижает левередж ( $b_t^j/e_t^j$ ), что последовательно приводит к снижению кредитной эмиссии, объемов инвестирования, производства и благосостояния агентов. Поэтому с точки зрения общего благосостояния существует оптимальное значение уровня достаточности капитала. По результатам вычислений авторы пришли к выводу, что оптимальный уровень достаточности банковского капитала должен быть выше, чем значение, устанавливаемое соглашением Базель 3. Что касается использования в регулировании контрциклического буфера капитала (переменная часть требований к достаточности банковского капитала, зависящая от стадии экономического цикла), то по результатам симуляций авторы установили, что этот механизм имеет небольшой стабилизирующий эффект в том случае, если общие требования к уровню капитала высокие, и дестабилизирующий, если низкие. Распространение шоков в модельной экономике и их усиление больше в тех случаях, когда уровень достаточности капитала ниже, а эффект финансового акселератора проявляется в данной модели в слабой форме.

Работа [8] схожа с работой [17] в том, что, во-первых, также использует введенное в модели BGG описание рискованной доходности активов агентов с помощью идиосинкратического шока, а во-вторых, также вводит описание поведения банковского сектора, подверженного системному риску. Однако системный риск банка вводится иначе, чем в работе [17]. Авторы предполагают, что банк при выдаче кредита отдельному предпринимателю устанавливает ставку процента исходя из ожидаемого (усредненного по будущим реализациям) платежа по кредиту. Ставка банка  $R_t$  и нижняя граница шока  $\bar{\omega}_{t+1}$  удовлетворяют соотношению<sup>1</sup>

$$E_t \left( 1 - F(\bar{\omega}_{t+1}) \right) \bar{\omega}_{t+1} R_{t+1}^k Q_t K_t^j + E_t (1 - \mu) \int_0^{\bar{\omega}_{t+1}} \omega R_{t+1}^k Q_t K_t^j dF(\omega) = R_t B_t^j, \quad (2)$$

где оператор математического ожидания  $E_t$  действует на переменные, начиная с периода  $t + 1$ . Как следует из (2), установленная банком ставка  $R_t$  связана лишь со средним значением нижней границы идиосинкратического шока

$\bar{\omega}_{t+1}$ , а получаемый банком доход зависит от реализовавшейся доходности активов предпринимателя  $R_{t+1}^k$ , которая в свою очередь зависит от реализации всех шоков экономики. Получаемый банком доход влияет на вероятность банкротства банка, поэтому доля обанкротившихся банков и агрегированная динамика активов банков зависят от реализации совокупности шоков в экономике.

Авторы показали, что в целом модель правильно реагирует на шоки: при увеличении дисперсии идиосинкратического шока доходности предпринимателя (увеличивается вероятность банкротства) падают производство, инвестиции, потребление и кредиты. Другой результат работы — выявление реакции банковской системы на контрциклическое регулирование. Авторы протестировали правило, согласно которому увеличение контрциклического буфера капитала пропорционально увеличению предложения кредитов в экономике. Согласно правилу, в «плохие» периоды, когда предложение кредитов низкое, требования к капиталу снижаются, что стимулирует банки снижать процентные ставки и стимулирует экономику. Оказалось, что чем выше коэффициент реакции в правиле, тем быстрее производство, инвестиции, инфляция и кредиты возвращаются к долгосрочному равновесию, и тем дольше возвращаются к равновесию норма капитала и благосостояние в банковском секторе. Таким образом, стабилизация в реальном секторе достигается за счёт дестабилизации в банковском.

В работе [32] авторы при моделировании системного риска кредитора обошлись вовсе без описания банковского сектора: терпеливые домохозяйства напрямую одалживают средства нетерпеливым домохозяйствам, которые используют займы в том числе для покупки недвижимости, приносящей пользу. Как и в описанных выше работах, должник при определенных условиях объявляет банкротство, а кредитор несет системный риск. Наличие системного риска усиливает воздействие шоков на экономику. При этом ключевым шоком, объясняющим динамику бизнес-циклов, по заключению авторов, являются шоки на рынке недвижимости. Проведенная декомпозиция вклада шоков в историческую динамику на основе квартальных данных для Евросоюза показала, что основной вклад в динамику переменных, связанных с сектором недвижимости, в период бума 2001–2006 гг. дали шоки именно рынка недвижимости, тогда как шоки государственного регулирования имели слабое влияние.

<sup>1</sup> Обозначения соответствуют формуле.

## 6. Систематизация приемов моделирования финансового сектора в рамках ДСМОР

На основе проведенного анализа можно сделать следующие выводы, касающиеся проблематики ДСМОР с описанием финансового сектора экономики и методов моделирования, используемых в данном классе моделей.

1. Наиболее распространенными задачами, решаемыми в рамках построения ДСМОР с описанием финансового сектора, являются: а) реалистичное описание бизнес-циклов (механизм финансового акселератора); б) изучение вклада шоков различного типа в динамику макроэкономических переменных, что позволяет исследовать эффективность действий регулирующих органов, и в первую очередь Центрального банка, анализировать суть происходивших в прошлом событий; в) изучение регулирующих мер и механизмов (форма правила Тейлора [35], достаточность капитала в банковском секторе, объем трансфертов банковской системе в период кризиса) на уровень благосостояния в экономике.

2. Ограниченная эффективность экономических механизмов в рамках ДСМОР с описанием финансового сектора реализуется с помощью механизма финансового акселератора, различных способов описания дефолтов агентов [17; 27], а также механизма жестких процентных ставок [22].

3. Механизм финансового акселератора приводит к значимому усилению шоков в основополагающих теоретических работах данного направления [11, 28], но в более поздних работах исследователи, как правило, приходят к выводу, что эффект усиления шоков сильно зависит от их типа и от способа введения в модель [17, 25].

4. Банкротства экономических агентов, случающиеся в зависимости от реализации экономических шоков и экономических условий, могут с разной степенью интенсивности воздействовать на финансовый сектор в ДСМОР. Одно из направлений моделирования — описание системного риска кредитора — заключается в зависимости доходности кредитования от шоков и переменных того периода, в котором происходит получение дохода от кредитования [17; 32]. С точки зрения теории, данный подход реализует более агрессивное воздействие шоков реального сектора экономики на финансовый сектор.

5. Одной из проблем моделирования поведения финансовых посредников или их контрагентов является проблема безразличия выбора экономических агентов между двумя

инструментами при одинаковой (ожидаемой) доходности инструментов. Существуют способы преодоления проблемы безразличия выбора: ввод разнородных агентов, как, например, разделение потребителей на терпеливых и нетерпеливых (что позволяет одновременно описывать кредиты и депозиты населения), или введение нелинейной функции издержек за пользование финансовым инструментом [27].

6. Существование спреда по ставкам инструментов может объясняться: а) затратами, связанными с использованием инструментов [19; 25]; б) требованиями к достаточности собственного капитала банка [17]; в) результатом потерь от банкротства заемщиков [8]; г) наличием монопольной власти финансового посредника [22].

## 7. Заключение

Динамические стохастические модели общего равновесия позволяют изучать широкий ряд вопросов экономической теории в области макроэкономики. Однако разработка ДСМОР дается дорогой ценой: для разработки необходимы знания в области экономической теории, методов математического моделирования, вычислительных методов, статистики.

Создание ДСМОР для описания российской экономики продвигается не слишком быстро, и пока разработаны модели [2; 3; 4; 5; 31], не обладающие конструктивным описанием финансового сектора. Центральный банк РФ для моделирования воздействия на экономику долгое время использовал простую ДСМОР [1], состоящую из порядка 10 линейных уравнений, а с недавнего времени стал разрабатывать более сложные модели<sup>1</sup>. Однако по-прежнему в моделях, разработанных в ЦБ РФ, в качестве описания финансового сектора выступает лишь инструментальное правило денежно-кредитной политики по аналогии с правилом Тейлора.

Мы надеемся, что систематизация подходов к моделированию финансовых отношений, приведенная в данной работе, позволит исследователям избежать ошибок при разработке более реалистичных моделей для экономики России, включающих описание финансового сектора.

<sup>1</sup> Крепцев Д., Селезнев С. DSGE-модели российской экономики с малым количеством уравнений // Банк России. Серия докладов об экономических исследованиях. — 2016. — № 12.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бородин А. Д., Горбова Е. А., Плотников С. В., Плущевская Ю. Л. Оценка потенциального выпуска и других ненаблюдаемых переменных в рамках модели трансмиссионного механизма монетарной политики (на примере России) // Проблемы выбора эффективной денежно-кредитной политики в условиях переходной экономики: сб. докладов II Международной научно-практической конференции, Минск, 19–20 мая 2008 г. — Минск: Национальный банк Республики Беларусь, 2008.
2. Дробышевский С. М., Полбин А. В. Декомпозиция динамики макроэкономических показателей РФ на основе DSGE-модели // Экономическая политика. — 2015. — Т. 10. — № 2.
3. Иващенко С. М. Динамическая стохастическая модель общего экономического равновесия с банковским сектором и эндогенными дефолтами фирм // Журнал Новой экономической ассоциации. — 2013. — № 3 (19).
4. Полбин А. В. Эконометрическая оценка структурной макроэкономической модели российской экономики // Прикладная эконометрика. — 2014. — № 33 (1).
5. Шульгин А. Г. Сколько правил монетарной политики необходимо при оценке DSGE- модели для России? // Прикладная эконометрика. — 2014. — № 36 (4).
6. Adjemian A., Bastani H., Karame F., Juillard M., Maih J., Mihoubi F., Perendia P., Pfeifer J., Ratto M., Villemot S. Dynare: Reference manual, version 4. Dynare Working Papers. — 2011. — No. 1, CEPREMAP.
7. Aoki K., Proudman J., Vlieghe G. House Prices, Consumption, and Monetary policy: A Financial Accelerator Approach // Journal of Financial Intermediation. — 2004. — Vol. 13. — No. 4.
8. Benes J., Kumhof M. Risky Bank Lending and Optimal Capital Adequacy Regulation // IMF Working Papers 11/130, International Monetary Fund. 2011.
9. Bernanke B., Gertler M. Agency Costs, Net Worth, and Business Fluctuations // American Econ. Rev. — 1989. — Vol. 79. — No. 1.
10. Bernanke B., Gertler M., Gilchrist S. The Financial Accelerator and the Flight to Quality // The Rev. of Econ. and Stat. — 1996. — Vol. 78. — No. 1.
11. Bernanke B., Gertler M., Gilchrist S. The Financial Accelerator in a Quantitative Business Cycle Framework // Taylor J. B., Woodford M. (ed.): Handbook of Macroeconomics. Elsevier. 1999.
12. Calvo G. A. Staggered prices in a utility-maximizing framework // J. Monet. Econ. — 1983. — Vol. 12. — No. 3.
13. Canova F. Methods for Applied Macroeconomic Research. Introductory Chapters, Princeton University Press, 2007.
14. Christensen I., Dib A. The Financial Accelerator in an Estimated New Keynesian Model // Review of Economic Dynamics. — 2008. — Vol. 11. — No. 1.
15. Christiano L. J., Motto R., Rostagno M. The Great Depression and the Friedman-Schwartz Hypothesis // J. Money Credit Bank. — 2003. — Vol. 35. — No. 6.
16. Christiano L. J., Motto R., Rostagno M. Financial Factors in Economic Fluctuations. Working Paper Series 1192, European Central Bank, 2010.
17. Clerc L., Derviz A., Mendicino C., Moyen S., Nikolov K., Stracca L., Suarez J., Vardoulakis A. P. Capital Regulation in a Macroeconomic Model with Three Layers of Default // International Journal of Central Banking. — 2015. — Vol. 11. — No. 3.
18. Cordoba J.-C., Ripoll M. Credit Cycles Redux // International Economic Review. — 2004. — Vol. 45. — No. 4.
19. Cúrdia V., Woodford M. Credit Frictions and Optimal Monetary Policy. BIS Working Papers 278, Bank for International Settlements, 2009.
20. Cúrdia V., Woodford M. Credit Spreads and Monetary Policy // J. of Money, Credit and Bank. — 2010. — Vol. 42 (s1).
21. Fischer S. Long-Term Contracts, Rational Expectations, and the Optimal Money Supply Rule // J. of Polit. Economy. — 1977. — Vol. 85. — No. 1.
22. Gerali A., Neri S., Sessa L., Signoretti F. M. Credit and Banking in a DSGE Model of the Euro Area // J. of Money, Credit and Bank. — 2010. — Vol. 42 (s1).
23. Guerrieri L., Iacoviello M., Covas F., Driscoll J. C., Jahan-Parvar M., Kiley M., Queralto A., Sim J. Macroeconomic Effects of Banking Sector Losses across Structural Models. BIS Working Papers 507, Bank for International Settlements, 2015.
24. Gertler M., Karadi P. A Model of Unconventional Monetary Policy // J. Monet. Econ. — 2011. — Vol. 58. — No. 1.
25. Goodfriend M., McCallum B. T. Banking and interest rates in monetary policy analysis: A quantitative exploration // J. Monet. Econ. — 2007. — Vol. 54. — No. 5.
26. Iacoviello M., Neri S. Housing Market Spillovers: Evidence from an Estimated DSGE Model // American Economic Journal: Macroeconomics. — 2010. — Vol. 2. — № 2.
27. Kollmann R., Ratto M., Roeger W., Veld J. Fiscal policy, banks and the financial crisis // J. of Econ. Dyn. and Control. — 2013. — Vol. 37. — No. 2.
28. Kiyotaki N., Moore G. Credit Cycles // J. of Polit. Economy. — 1997. — Vol. 105. — No. 2.
29. Liu Z., Wang P., Zha T. Do Credit Constraints Amplify Macroeconomic Fluctuations? Working Paper 2010-01, Federal Reserve Bank of Atlanta, 2010.
30. Lucas R. Econometric Policy Evaluation: A Critique // In Brunner, K.; Meltzer, A. The Phillips Curve and Labor Markets. Carnegie-Rochester Conference Series on Public Policy 1. — New York: American Elsevier, 1976.
31. Malakhovskaya O., Minabutdinov A. Are Commodity Price Shocks Important? A Bayesian Estimation of a DSGE Model for Russia // International Journal of Computational Economics and Econometrics. — 2014. — Vol. 4. — No. 1.

32. *Pataracchia B., Raciborski R., Ratto M., Roeger W.* Endogenous housing risk in an estimated DSGE model of the Euro Area. European Economy — Economic Papers 505, Directorate General Economic and Financial Affairs (DG ECFIN), European Commission, 2013.

33. *Rotemberg J.* Sticky prices in the United States // *J. of Polit. Economy.* — 1982. — Vol. 90. — No. 6.

34. *Sargent T. J.* Rational expectations // *The New Palgrave: A Dictionary of Economics.* — 1987. — Vol. 4.

35. *Taylor J. B.* Discretion versus policy rules in practice // *Carnegie-Rochester conference series on public policy.* — 1993. — Vol. 39.