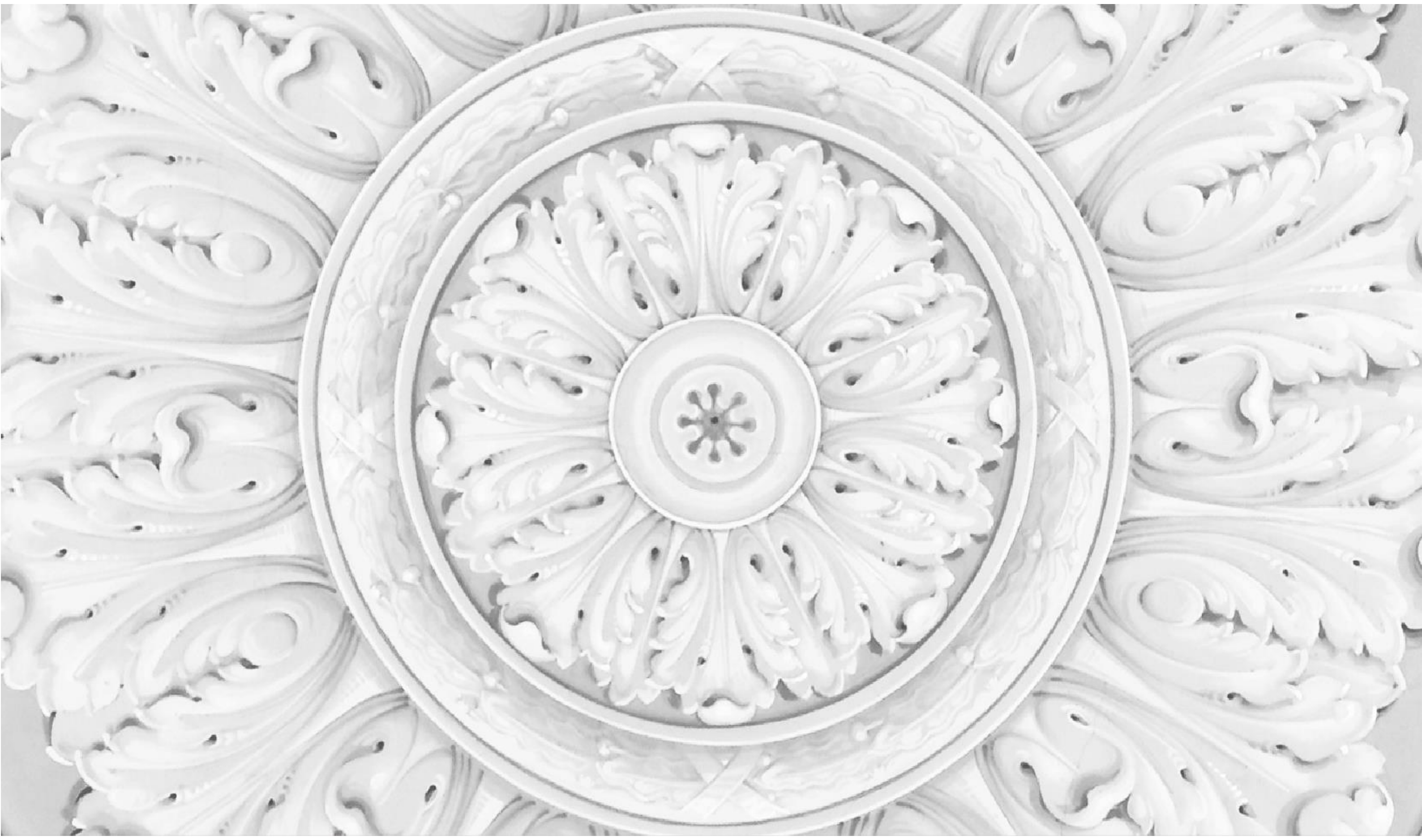
Банк России

Центральный банк Российской Федерации



СЕРИЯ ДОКЛАДОВ ОБ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Дмитрий Крепцев

Сергей Селезнев

DSGE-модель российской экономики с банковским сектором

№ 27 / Декабрь 2017 г.

Крепцев Дмитрий
E-mail: KreptsevDA@cbr.ru

Сергей Селезнев
E-mail: SeleznevSM@cbr.ru

Авторы выражают благодарность Оксане Малаховской, Алексею Пономаренко, Алексею Поршакову, Андрею Синякову, Константину Стырину, Рамису Хабибуллину и Ивану Хотулеву за помощь в проведении исследования и полезные комментарии. Все ошибки, которые могут содержаться в данной работе, являются сферой ответственности авторов.

Адрес	107016, Москва, ул. Неглинная, 12
Телефоны	+7 495 771-91-00, +7 495 621-64-65 (факс)
Сайт	www.cbr.ru

Резюме

В данной работе представлена DSGE-модель российской экономики с банковским сектором, которая используется в Банке России для проведения симуляционных экспериментов. Мы показываем, как введение банковского сектора изменяет импульсные отклики стандартной DSGE-модели малой открытой экономики, а также демонстрируем, что модель обладает неплохими прогнозными свойствами. Эта модель позволяет нам исследовать влияние специфических для банковского сектора шоков на экономику. В результате оценки на российских данных мы приходим к выводу, что в данной модели такие шоки не оказывали большого влияния на переменные реального сектора в рассматриваемый нами период с 2006 по 2016 год.

Ключевые слова: DSGE, BVAR, российская экономика, финансовые трения, банковский сектор.
JEL классификация: C61, E37, E47, G10.

Оглавление

1. Введение

Несмотря на критику[1], обрушивающуюся на DSGE-модели, они являются неплохой стартовой площадкой для понимания многих связей в экономике. С одной стороны, DSGE-модели могут рассматриваться как прогнозные, а с другой – как модели для симуляционных экспериментов.

Сжатие пространства параметров, которое происходит вследствие наложения модельных ограничений, может быть полезно для прогнозных свойств. С одной стороны, это помогает смягчить проблемы, связанные с переобучением, с другой стороны, накладывает ограничения, которые могут быть слишком сильными и искажать истинную структуру порождения данных. Часто в дополнение к ограничениям на параметры накладываются еще и априорные распределения, что может стать причиной дополнительного искажения. Особенно сильно это влияние может быть заметно на небольших выборках. Существует ряд работ, которые сравнивают прогнозные свойства DSGE-моделей с прогнозами, полученными другими способами (см., например, *Edge and Gurkaynak (2010), Domit et al. (2016)* и *Iversen et al. (2016)*). Результаты могут отличаться в зависимости от страны, но зачастую DSGE-модели проигрывают моделям, которые накладывают меньше ограничений (например, BVAR-моделям). Нам известны лишь три работы, которые сравнивают прогнозные свойства DSGE-моделей с прогнозными свойствами других моделей для российской экономики: *Иващенко (2013), Крепцев и Селезнев (2016)* и *Малаховская (2016)*[2]. В первой работе сравниваются прогнозные свойства DSGE-, VAR- и AR-моделей. Эта работа рассматривает достаточно большой набор наблюдаемых показателей, однако не включает динамику нефтяных переменных, информация о которых может быть полезна при прогнозировании. Также автор представил результаты лишь для одного прогнозного горизонта и их может быть недостаточно для полного понимания прогнозных свойств моделей. Вторая работа рассматривает меньший набор показателей, однако добавляет динамику нефтяных цен в качестве наблюдаемых переменных. В отличие от работы *Иващенко (2013)*, авторы рассматривают BVAR модель в качестве альтернативы, также они смотрят лишь на условные прогнозы, которые представляют больший интерес для Банка России, чем безусловные. Последняя работа рассматривает отличный от стандартного набор показателей (что не

---

[1] См., например, *Fagiolo and Roventini (2016)*.

[2] Кроме трех работ, упомянутых выше, существует ряд работ, направленных на построение DSGE-моделей российской экономики, однако не нацеленных на прогнозирование, среди которых можно выделить работу *Полбин и Дробышевский (2014)*. По нашему мнению, эта работа на данный момент представляет наиболее подробное описание российской экономики.

является хорошей или плохой чертой модели, а лишь говорит о другом наборе информации, используемой для прогнозирования). Автор сравнивает BVAR и VAR с DSGE-моделью, однако используют предварительно детрендированные данные, что не свойственно для этих моделей и может значительно ухудшить их прогнозные свойства. Несмотря на описанные выше недостатки, во всех трех работах содержится заключение о том, что DSGE-модели для российской экономики сравнимы с альтернативными или даже обыгрывают их, что может говорить о возможности использования таких моделей для прогнозирования, по крайней мере пока не будут найдены значительно лучшие прогнозные модели. Однако целью этой работы не является построение хорошей прогнозной модели – мы строим модель для проведения симуляционных экспериментов.

Симуляционные эксперименты обычно используются для ответов на вопросы следующего типа: что будет в *модельной* экономике, если произойдет какое-то событие или каким будет оптимальное поведение в *модельной* экономике в той или иной ситуации? Отметим важность слова «модельная». Модель является лишь упрощением реальности и не позволяет учесть всех возможных взаимосвязей, а также реальное поведение агентов в тех или иных ситуациях. Выводы относительно чего-либо, скорее являются неким начальным приближением для простого модельного мира и должны быть переосмыслены в терминах влияния предпосылок модели на результат (если это вообще возможно). Оценивание параметров модели на реальных данных, казалось бы, должно помогать решить проблему несовпадения модели и реальности, однако это не так. Оценка модели на реальных данных фактически лишь позволяет сказать, что модельная экономика имеет некоторые похожие паттерны на реальную экономику, но не структуру[3]. Дополнительным ограничением помимо описанных выше является наличие структурных сдвигов, которые с трудом могут быть в полной мере учтены при оценке модели.

Несмотря на все недостатки модельных экспериментов, мы все же верим, что они являются неплохой отправной точкой для понимания многих процессов, происходящих в

[3] Если бы реальная и модельная экономики были стационарными, то можно было бы говорить о том, что модельная экономика имеет моменты, которые являются взвесью априорных представлений и данных. Даже в этом случае возникает несколько проблем, две из которых мы приведем здесь для иллюстрации: длина выборки и сохранение совпадения структур моментов при проведении эксперимента. Первая из них важна для российской экономики ввиду того, что для сохранения правдоподобности предположения о стационарности модели используются небольшие выборки. Это ведет к тому, что вес реальных данных относительно априорного распределения оказывается достаточно невелик. Вторая проблема является более фундаментальной. Так, если моменты реальной экономики и модели совпадают, а затем что-то изменяется, например, правило поведения центрального банка, то нет никакой уверенности, что новые моменты в реальной экономике и модели будут совпадать.

экономике, например, они позволяют понять возможность наличия тех или иных корреляций между переменными, а также выявить их потенциальные источники.

В данной работе мы представляем DSGE-модель с банковским сектором, которая используется в Банке России для проведения симуляционных экспериментов. Сначала мы описываем базовую модель, которая по структуре похожа на NAWM-модель (*Cristoffel et al. (2008)*), а затем добавляем в нее предпринимателей как в *Bernanke et al. (1999)* и *Christiano et al. (2014)* и банковский сектор из *Gerali et al. (2010)*. Для понимания свойств модели мы показываем импульсные отклики при начальных и оцененных параметрах, а также декомпозицию на шоки и прогнозные свойства. Импульсные отклики при начальной калибровке демонстрируются для лучшего понимания изменений, которые возникают при добавлении банковского сектора и не вызваны дополнительной оценкой параметров. Остальные результаты показывают поведение модели на российских данных. Стоит отметить, что эти модели скорее являются демонстрацией используемого инструментария, а не жестко фиксированными моделями. Так правила поведения некоторых агентов могут быть легко изменены, некоторые шоки и наблюдаемые переменные могут быть добавлены или удалены.

Дальнейшее изложение будет построено следующим образом: в разделе 2 мы опишем структуру моделей, в разделе 3 будет представлен подход к оценке параметров, раздел 4 посвящен описанию результатов, раздел 5 содержит заключение.

2. Описание моделей

В данном разделе мы опишем две модели: базовую модель и модель с банковским сектором. Для экономии места мы лишь вкратце опишем основные блоки базовой модели (см. *Smets and Wouters (2003,2007)*, *Christiano et al. (2005)* и *Cristoffel et al. (2008)*) и чуть более подробно остановимся на введенных модификациях. Несмотря на то, что предложенный в данной работе банковский сектор похож на банковский сектор из *Gerali et al. (2010)*, мы останавливаемся на этой модели подробнее по двум причинам. Во-первых, данный сектор нетипичен для моделей с финансовым акселератором (см. *Bernanke et al. (1999)*), а используется обычно в моделях с залоговыми ограничениями (см. *Gerali et al. (2010)*). Во-вторых, мы записываем задачу в другой математической формулировке, нежели в работе *Gerali et al. (2010)*.

Базовая модель

Базовая модель представляет собой стандартную модель малой открытой экономики, которая во многом похожа на модель из работы *Cristoffel et al. (2008)*, однако с более простым бюджетным сектором. Схема экономики представлена на Рисунке 1а (схема для модели с банковским сектором изображена на Рисунке 1б). Модельная экономика состоит из домохозяйств, производителей, отечественных ритейлеров, ритейлеров-импортеров, ритейлеров-экспортеров, упаковщиков потребительских и инвестиционных товаров, инвестиционных фирм, экспортеров нефти, центрального банка, бюджетного сектора и внешней экономики. Ниже мы подробнее описываем всех вышеперечисленных агентов и взаимодействия между ними.

Домохозяйства

В модельной экономике существует несчетное количество домохозяйств. j –ое домохозяйство максимизирует дисконтированную ожидаемую полезность (с коэффициентом дисконтирования β), которая положительно зависит от уровня потребления, $C_t(j)$[4], относительно некого базового уровня, hC_{t-1}, формирующегося в экономике рекурсивно, а также отрицательно от количества отработанных часов, $l_t(j)$:

$$U_t(j) = E_t \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i \left(\zeta_t^c \ln(C_{t+i}(j) - hC_{t+i-1}) - \zeta_t^L \frac{\left(l_{t+i}(j)\right)^{1+\phi}}{1+\phi} \right)$$

где ζ_t^c – экзогенный процесс, отвечающий за предпочтения домохозяйств относительно потребления, ζ_t^l – экзогенный процесс, отвечающий за предпочтения домохозяйств относительно количества отработанных часов, h – коэффициент, отвечающий за формирование привычек в потреблении, ϕ – коэффициент, отвечающий за кривизну отрицательной полезности труда[5].

При оптимизации функции полезности домохозяйства учитывают свое бюджетное ограничение. В начале периода они владеют отечественными активами предыдущего периода, $B_{t-1}(j)$, и (чистыми) иностранными активами предыдущего периода, $B_{t-1}^*(j)$, которые отражаются в национальной валюте по курсу $\mathcal{E}_t$, а также получают платежи по этим активам по ставкам R_{t-1} и R_{t-1}^{NFA} соответственно. Дополнительно в течение периода,

[4] Для экономии места мы опускаем далее указание на период и домохозяйство при описании переменных. Переменная без индекса в скобках обозначает агрегированный показатель.

[5] Описание всех параметров также можно найти в Таблице 1.

домохозяйства получают заработную плату за отработанные часы, $W_t(j)l_t(j)$, и единовременные платежи, $\Pi_t(j)$, в которые входят в том числе налоги (с отрицательным знаком) и прибыль фирм (с положительным знаком). Эти средства могут быть потрачены на покупку потребительских товаров, $P_tC_t(j)$, отечественные и иностранные активы, $B_t(j)$ и $\mathcal{E}_tB_t^*(j)$. Домохозяйства также сталкиваются с издержками по изменению заработной платы, $\frac{k_w}{2}\left(\frac{W_t(j)}{W_{t-1}(j)e^{g_{w,ss_t}}}-(\pi_{t-1})^{\iota_w}(\pi_*)^{1-\iota_w}\right)^2 W_tl_t$. Предполагается, что изменение заработной платы на величину, отличающуюся от заранее заданной, $(\pi_{t-1})^{\iota_w}(\pi_*)^{1-\iota_w}$, требует дополнительных квадратичных издержек. Итоговое бюджетное ограничение записывается как:

$$\begin{aligned}P_tC_t(j)+B_t(j)+\mathcal{E}_tB_t^*(j)&\\ =W_t(j)l_t(j)+R_{t-1}B_{t-1}(j)+R_{t-1}^{NFA}\mathcal{E}_tB_{t-1}^*(j)+\Pi_t(j)&\\ -\frac{k_w}{2}\left(\frac{W_t(j)}{W_{t-1}(j)e^{g_{w,ss_t}}}-(\pi_{t-1})^{\iota_w}(\pi_*)^{1-\iota_w}\right)^2 W_tl_t&\end{aligned}$$

где P_t – цена единицы потребления, π_t – рост потребительских цен (инфляция), g_{w,ss_t} – трендовый рост заработной платы[6], k_w – коэффициент, отвечающий за издержки отклонения роста зарплаты от желаемого уровня, ι_w – вес лагового значения в желаемом уровне зарплат, π_* – таргетируемый уровень инфляции.

Также домохозяйства учитывают и спрос на труд[7]:

$$l_t(j)=\left(\frac{W_t(j)}{W_t}\right)^{-\varepsilon_w}l_t$$

где $W_t(j)$ – заработная плата, ε_w – эластичность предложения труда по зарплате.

Условия первого порядка выглядят следующим образом[8]:

$$\beta E_t\left(\frac{C_t-hC_{t-1}}{C_{t+1}-hC_t}\frac{R_t}{\pi_{t+1}}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}\right)=1 \tag{1}$$

$$R_t=R_t^{NFA}\frac{E_t\left(\frac{C_t-hC_{t-1}}{C_{t+1}-hC_t}\frac{g_{t+1}^{\mathcal{E}}}{\pi_{t+1}}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}\right)}{E_t\left(\frac{C_t-hC_{t-1}}{C_{t+1}-hC_t}\frac{1}{\pi_{t+1}}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}\right)} \tag{2}$$

$$\varepsilon_w\zeta_t^L\frac{(l_t)^\phi}{W_t}P_t+\frac{\zeta_t^c}{C_t-hC_{t-1}}(1-\varepsilon_w)-\frac{\zeta_t^c}{C_t-hC_{t-1}}k_w\left(\frac{W_t}{W_{t-1}e^{g_{w,ss_t}}}-(\pi_{t-1})^{\iota_w}(\pi_*)^{1-\iota_w}\right)\frac{W_t}{W_{t-1}e^{g_{w,ss_t}}}+$$
$$\beta E_t\frac{\zeta_{t+1}^c}{C_{t+1}-hC_t}\frac{1}{\pi_{t+1}}k_w\left(\frac{W_{t+1}}{W_te^{g_{w,ss_{t+1}}}}-(\pi_t)^{\iota_w}(\pi_*)^{1-\iota_w}\right)\frac{W_{t+1}^2}{W_t^2e^{g_{w,ss_t}}}\frac{l_{t+1}}{l_t}=0 \tag{3}$$

[6] Здесь учитывается и стохастический и детерминированный рост.
[7] Более формально такая форма спроса на труд может быть получена из предположений о монополистической конкуренции.
[8] Здесь и далее мы предполагаем, что в равновесии агенты ведут себя симметрично.

Уравнение (1) представляет собой стандартное уравнение Эйлера, уравнение (2) – непокрытый процентный паритет, уравнение (3) – предложение труда.

Производители

Производитель под номером j изготавливает товары, $Y_t(j)$, используя капитал, $K_t(j)$, и труд, $l_t(j)$:

$$Y_t(j) = A_t A_t^c \big(l_t(j)\big)^{\alpha} \big(K_t(j)\big)^{1-\alpha} \tag{4}$$

где A_t − технологический тренд, A_t^c − циклическая часть технологии.

Каждый производитель платит за $l_t(j)$ отработанных домохозяйствами часов и арендует $K_t(j)$ единиц капитала у инвестиционных фирм. Прибыль при этом определяется разницей между выручкой от продажи товаров, $P_t^Y Y_t(j)$, затратами на заработную плату, $W_t l_t(j)$, на капитал, $Z_t K_t(j)$:

$$P_t^Y Y_t(j) - W_t l_t(j) - Z_t K_t(j)$$

где P_t^Y − цена продаваемых товаров, Z_t − арендная стоимость капитала.

Максимизация прибыли задает уравнения спроса на труд и капитал со стороны производителей:

$$\alpha P_t^Y Y_t - W_t l_t = 0 \tag{5}$$

$$(1-\alpha) P_t^Y Y_t - Z_t K_t = 0 \tag{6}$$

Отечественные ритейлеры

Отечественные ритейлеры покупают товары у производителей, а затем продают их упаковщикам потребительских товаров (домохозяйствам) и упаковщикам инвестиционных товаров (фирмам) на рынке с монополистической конкуренцией. Выручка k −го отечественного ритейлера в период времени t равна стоимости проданных товаров, $P_t^H(k) Y_t^H(k)$, а издержки складываются из стоимости покупаемых товаров, $P_t^Y Y_t^H(k)$, и затрат на изменение цены, $\frac{k_H}{2}\left(\frac{P_t^H(k)}{P_{t-1}^H(k)} - (\pi_{t-1}^H)^{\iota_H}(\pi_*)^{1-\iota_H}\right)^2 Y_t P_t^H$, которые формируются аналогично затратам на изменение заработной платы у домохозяйств.

Отечественные ритейлеры максимизируют дисконтированную прибыль (в реальном выражении):

$$E_t \sum_{i=0}^{\infty} \lambda_{t+i} \left(\frac{P_{t+i}^H(k) Y_{t+i}^H(k)}{P_{t+i}} - \frac{P_{t+i}^Y Y_{t+i}^H(k)}{P_{t+i}} - \frac{k_H}{2} \left(\frac{P_{t+i}^H(k)}{P_{t+i-1}^H(k)} - (\pi_{t-1}^H)^{\iota_H} (\pi_*)^{1-\iota_H} \right)^2 Y_{t+i}^H \frac{P_{t+i}^H}{P_{t+i}} \right)$$

учитывая спрос на собственную продукцию:

$$Y_t^H(k) = \left(\frac{P_t^H(k)}{P_t^H} \right)^{-\varepsilon_{h,t}} Y_t^H$$

где $Y_t^H(k) -$ количество проданного, $P_t^H(k) -$ цена проданного товара, $\varepsilon_{h,t} -$ эластичность количества проданных отечественными ритейлерами товаров по цене, $\lambda_t -$ фактор дисконтирования, который определяется из задачи домохозяйств, $\pi_t^H -$ рост цен отечественных ритейлеров, $k_H -$ коэффициент, отвечающий за издержки отклонения цен отечественных ритейлеров от желаемого уровня, $\iota_H -$ вес лагового значения в желаемом уровне цен отечественных ритейлеров.

Решением задачи оптимизации является кривая предложения товаров отечественных ритейлеров:

$$\left(1 - \varepsilon_{h,t}\right) + \varepsilon_{h,t} \frac{P_t^Y}{P_t^H} - k_H (\pi_t^H - (\pi_{t-1}^H)^{\iota_H} (\pi_*)^{1-\iota_H}) \pi_t^H + \beta k_H E_t \frac{C_t - hC_{t-1}}{C_{t+1} - hC_t} \frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c} (\pi_{t+1}^H -$$

$$-(\pi_t^H)^{\iota_H} (\pi_*)^{1-\iota_H}) \frac{Y_{t+1}^H}{Y_t^H} \frac{\left(\pi_{t+1}^H\right)^2}{\pi_{t+1}} = 0 \qquad (7)$$

Ритейлеры-импортеры

Аналогично отечественным ритейлерам, ритейлеры-импортеры максимизируют дисконтированную прибыль, однако в отличие от отечественных ритейлеров они продают товары по цене $P_t^F(k)$ и покупают товары заграницей, $\mathcal{E}_t P_t^{F*} Im_t(k)$, а не у производителей.

Условие первого порядка для ритейлеров-импортеров запишется аналогично отечественным ритейлерам:

$$\left(1 - \varepsilon_{f,t}\right) + \varepsilon_{f,t} \frac{\mathcal{E}_t P_t^{F*}}{P_t^F} - k_F (\pi_t^F - (\pi_{t-1}^F)^{\iota_F} (\pi_*)^{1-\iota_F}) \pi_t^F + \beta k_F E_t \frac{C_t - hC_{t-1}}{C_{t+1} - hC_t} \frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c} (\pi_{t+1}^F -$$

$$-(\pi_t^F)^{\iota_F} (\pi_*)^{1-\iota_F}) \frac{Im_{t+1}}{Im_t} \frac{\left(\pi_{t+1}^F\right)^2}{\pi_{t+1}} = 0 \qquad (8)$$

где $Im_t -$ количество проданного товара ритейлерами-импортерами, $P_t^{F*} -$ цена импорта, $\pi_t^F -$ рост цен ритейлеров-импортеров, $\varepsilon_{f,t} -$ эластичность количества проданных ритейлерами-импортерами товаров по цене, $k_F -$ коэффициент, отвечающий за издержки отклонения цен ритейлеров-импортеров от желаемого уровня, $\iota_F -$ вес лагового значения в желаемом уровне цен ритейлеров-импортеров.

Ритейлеры-экспортеры

Ритейлеры-экспортеры покупают товары у производителей, как и отечественные ритейлеры, но продают их заграницу. Аналогично отечественным импортерам, уравнение (9) задает предложение отечественных экспортируемых товаров (за исключением нефти):

$$\left(1-\varepsilon_{*h,t}\right)+\varepsilon_{*h,t}\frac{P_t^Y}{\mathcal{E}_t}\frac{1}{P_t^{*H}}-k_{*H}(\pi_t^{*H}-(\pi_{t-1}^{*H})^{\iota_{*H}}(\pi^*)^{1-\iota_{*H}})\pi_t^{*H}+\beta k_{*H}E_t\frac{C_t-hC_{t-1}}{C_{t+1}-hC_t}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}(\pi_{t+1}^{*H}-$$

$$-(\pi_t^{*H})^{\iota_{*H}}(\pi^*)^{1-\iota_{*H}})\frac{\left(\pi_{t+1}^{*H}\right)^2}{\pi_{t+1}}\frac{Y_{t+1}^{*H}}{Y_t^{*H}}\frac{\mathcal{E}_{t+1}}{\mathcal{E}_t}=0 \tag{9}$$

где Y_t^{*H} — количество проданного товара ритейлерами-экспортерами, P_t^{*H} — цена проданного товара ритейлерами-экспортерами, π_t^{*H} — рост цен ритейлеров-экспортеров, $\varepsilon_{h,t}$ — эластичность количества проданных ритейлерами-экспортерами товаров по цене, k_{*H} — коэффициент, отвечающий за издержки отклонения цен ритейлеров-экспортеров от желаемого уровня, ι_{*H} — вес лагового значения в желаемом уровне цен ритейлеров-экспортеров, π^* —таргетируемый заграницей уровень инфляции..

Упаковщики потребительских товаров

Упаковщики потребительских товаров покупают товары у отечественных ритейлеров, $C_{H,t}(j)$, и ритейлеров-импортеров, $C_{F,t}(j)$, производя из них товары конечного потребления, $C_t^p(j)$, с помощью технологии:

$$C_t^p(j)=\left(\gamma_C^{\frac{1}{\eta_C}}\left(C_{H,t}(j)\right)^{1-\frac{1}{\eta_C}}+(1-\gamma_C)^{\frac{1}{\eta_C}}\left(C_{F,t}(j)\right)^{1-\frac{1}{\eta_C}}\right)^{\frac{\eta_C}{\eta_C-1}} \tag{10}$$

где η_C — эластичность замещения отечественных и импортных товаров в потребительских товарах, γ_C — параметр, отвечающий за долю отечественных товаров в потребительских товарах.

Прибыль записывается следующим образом:

$$P_tC_t^p(j)-P_t^HC_{H,t}(j)-P_t^FC_{F,t}(j)$$

Максимизация прибыли задает спрос на отечественные и иностранные товары со стороны упаковщиков потребительских товаров:

$$C_{H,t}=\gamma_C\left(\frac{P_t^H}{P_t}\right)^{-\eta_C}C_t^p \tag{11}$$

$$C_{F,t}=(1-\gamma_C)\left(\frac{P_t^F}{P_t}\right)^{-\eta_C}C_t^p \tag{12}$$

Отметим, что введение такого типа упаковщиков для данной модели с точностью до издержек на корректировку зарплат эквивалентно введению функции полезности домохозяйств

$$U_t(j) = E_t \sum_{i=0}^{\infty} \beta^i \left(\zeta_t^c \ln \left(\left(\gamma_C^{\frac{1}{\eta_C}} \left(C_{H,t+i}(j)\right)^{1-\frac{1}{\eta_C}} + (1-\gamma_C)^{\frac{1}{\eta_C}} \left(C_{F,t+i}(j)\right)^{1-\frac{1}{\eta_C}} \right)^{\frac{\eta_C}{\eta_C-1}} \right.\right.$$

$$\left.\left. - h \left(\gamma_C^{\frac{1}{\eta_C}} \left(C_{H,t+i-1}\right)^{1-\frac{1}{\eta_C}} + (1-\gamma_C)^{\frac{1}{\eta_C}} \left(C_{F,t+i-1}\right)^{1-\frac{1}{\eta_C}} \right)^{\frac{\eta_C}{\eta_C-1}} \right) - \zeta_t^L \frac{\left(l_{t+i}(j)\right)^{1+\phi}}{1+\phi} \right)$$

При линеаризации модели издержки на корректировку зарплат пропадут ввиду их квадратичной формы, поэтому линейные версии модели будут абсолютно совпадать. Введение упаковщиков товаров в данном случае обусловлено лишь простотой математических выкладок.

Упаковщики инвестиционных товаров

Аналогично упаковщикам потребительских товаров, упаковщики инвестиционных товаров используют отечественные, $I_{H,t}(j)$, и импортные товары, $I_{F,t}(j)$, для производства инвестиционных товаров, $(I_t + a(u_t)K_t')(j)$. Они производят товары, используя технологию:

$$(I_t + a(u_t)K_t')(j) = U_t \left(\gamma_I^{\frac{1}{\eta_I}} \left(I_{H,t}(j)\right)^{1-\frac{1}{\eta_I}} + (1-\gamma_I)^{\frac{1}{\eta_I}} \left(I_{F,t}(j)\right)^{1-\frac{1}{\eta_I}} \right)^{\frac{\eta_I}{\eta_I-1}} \quad (13)$$

где $I_t -$ инвестиции за исключением вариативных издержек на использование капитала $(a(u_t)K_t')$, $U_t -$ шок производства инвестиций, $u_t -$ загрузка капитала, $K_t' -$ количество капитала, где $\eta_I -$ эластичность замещения отечественных и импортных товаров в инвестиционных товарах, $\gamma_I -$ параметр, отвечающий за долю отечественных товаров в инвестиционных товарах.. Функция $a(u_t)$ задает издержки на использование капитала, которые будут описаны чуть ниже.

Спрос упаковщиков инвестиционных товаров на отечественные и иностранные товары:

$$I_{H,t} = \gamma_I \left(\frac{P_t^H}{P_t^I U_t}\right)^{-\eta_I} \frac{I_t + a(u_t)K_t'}{U_t} \quad (14)$$

$$I_{F,t} = (1-\gamma_I) \left(\frac{P_t^F}{P_t^I U_t}\right)^{-\eta_I} \frac{I_t + a(u_t)K_t'}{U_t} \quad (15)$$

Инвестиционные фирмы

Инвестиционные фирмы покупают товары у упаковщиков инвестиционных товаров $(P_t^I a(u_t(j))K_t'(j) + P_t^I I_t(j))$, производят капитал и сдают его в аренду производителям $(Z_t u_t(j) K_t'(j))$, максимизируя при этом прибыль:

$$E_t \sum_{i=0}^{\infty} \lambda_{t+i} \left(\frac{Z_{t+i} u_{t+i}(j) K'_{t+i}(j) - P^I_{t+i} a(u_{t+i}(j)) K'_{t+i}(j) - P^I_{t+i} I_{t+i}(j)}{P_{t+i}} \right)$$

и принимая во внимание динамику капитала:

$$K_t'(j) = (1-\delta) K'_{t-1}(j) + \left(1 - \frac{k_I}{2} \left(\frac{I_{t-1}(j)}{I_{t-2}(j) e^{g_{I,ss_{t-1}}}} - 1 \right)^2 \right) I_{t-1}(j) \tag{16}$$

где k_I — коэффициент, отвечающий за издержки отклонения роста инвестиций от желаемого уровня, δ — норма амортизации капитала.

Предполагается что из единицы инвестиций, $I_{t-1}(j)$, может быть произведено $\left(1 - \frac{k_I}{2} \left(\frac{I_{t-1}(j)}{I_{t-2}(j) e^{g_{I,ss_{t-1}}}} - 1 \right)^2 \right) I_{t-1}(j)$ единиц капитала. Необходимо отметить, что квадратичные издержки, $\frac{k_I}{2} \left(\frac{I_{t-1}(j)}{I_{t-2}(j) e^{g_{I,ss_{t-1}}}} - 1 \right)^2$, могут быть определены как любая другая функция, которая зависит от отношения инвестиций в соседние два периода, $\frac{I_{t-1}(j)}{I_{t-2}(j) e^{g_{I,ss_{t-1}}}}$, не влияет на стационарное состояние модели и имеет нулевую первую производную. В действительности для динамики линеаризованной модели важна лишь вторая производная, которая однозначно определяется коэффициентом k_I (см. *Christiano et al. (2005)*).

Функция $a(u)$ выбирается равной $\frac{z_{ss}}{p^I_{ss}} \frac{e^{\sigma^a (u-1)} - 1}{\sigma^a}$. Выбор функции данного вида тоже не является принципиальным, а может быть заменен одним параметром, σ^a, который равен отношению второй и первой производных, и условиями $a(1) = 0$ и $u_{ss} = 1$[9] (см. *Christiano et al. (2005)*).

Результатом максимизации прибыли для инвестиционных фирм являются следующие три уравнения:

$$-\frac{Q_t}{P_t} + \beta E_t \frac{C_t - hC_{t-1}}{C_{t+1} - hC_t} \frac{\zeta^c_{t+1}}{\zeta^c_t} \left((1-\delta) \frac{Q_{t+1}}{P_{t+1}} + \frac{u_{t+1} Z_{t+1} - P^I_{t+1} a(u_{t+1})}{P_{t+1}} \right) = 0 \tag{17}$$

$$-\frac{P_t^I}{P_t} + \frac{Q_t}{P_t} \left(\left(1 - \frac{k_I}{2} \left(\frac{I_t}{I_{t-1} e^{g_{I,ss_t}}} - 1 \right)^2 \right) - k_I \left(\frac{I_t}{I_{t-1} e^{g_{I,ss_t}}} - 1 \right) \frac{I_t}{I_{t-1} e^{g_{I,ss_t}}} \right) +$$

$$+ \beta k_I E_t \frac{C_t - hC_{t-1}}{C_{t+1} - hC_t} \frac{\zeta^c_{t+1}}{\zeta^c_t} \frac{Q_{t+1}}{P_{t+1}} \left(\frac{I_{t+1}}{I_t e^{g_{I,ss_{t+1}}}} - 1 \right) \frac{(I_{t+1})^2}{(I_t)^2 e^{g_{I,ss_{t+1}}}} = 0 \tag{18}$$

---

[9] Индекс ss обозначает стационарное состояние модели. Соответственно, u_{ss} – значение загрузки капитала в стационарном состоянии.

$$Z_t - P_t^I a'(u_t) = 0 \qquad (19)$$

где Q_t —цена капитала.

Экспортеры нефти

В модели для простоты предполагается, что весь экспорт сырьевых продуктов является экспортом нефти. Каждый период по цене P_t^{oil} экспортируется объем нефти S_t^{oil}, который является экзогенным процессом[10,11]. Мы также предполагаем, что реальная цена на нефть, p_t^{oil}, экзогенна.

Центральный банк

Центральный банк в модели ведет процентную и валютную политику, пользуясь правилами на ставку и резервы, которые в общем случае могут быть неявными. Процентная ставка, R_t, устанавливается по следующему правилу, которое ориентируется на процентную ставку предыдущего периода, R_{t-1}, и инфляцию текущего периода, π_t:

$$\frac{R_t}{R_*} = \left(\frac{R_{t-1}}{R_*}\right)^{\phi_R} \left(\frac{\pi_t}{\pi_*}\right)^{(1-\phi_R)\phi_\pi} e^{e_t^R} \qquad (20)$$

где e_t^R — шок денежно-кредитной политики, который отражает отклонение центрального банка от правила, R_* — процентная ставка в стационарном состоянии. ϕ_R — коэффициент инерции на ставку, ϕ_π — коэффициент на инфляцию.

Изменение резервов, $dRes_t$, описывается уравнением, которое подразумевает отсутствие правила:

$$\frac{dRes_t}{(A_t)^{\frac{1}{\alpha}} P_t^*} = e_t^{res} \qquad (21)$$

где e_t^{res} —шок резервов, P_t^* — цена зарубежных товаров. Изменение резервов нормируются на величину $(A_t)^{\frac{1}{\alpha}} P_t^*$, для обеспечения стационарности модели.

Бюджетный сектор

---

[10] Это может интерпретироваться как производство без издержек с заранее заданным потолком по объему, S_t^{oil}.

[11] Здесь и далее, если не оговорено иное, мы предполагаем, что логарифм экзогенного процесса, скорректированный на тренд (см. Приложение А, для описания процедуры нормирования), следует AR(1) процессу.

Как упоминалось выше, бюджетный сектор в данной модели достаточно простой. В отличие от *Cristoffel et al. (2008),* налоги собираются в виде единовременных платежей, T_t, с домохозяйств. Эти налоги полностью тратятся на господребление, G_t, согласно правилу, которое задается авторегрессионным процессом. Фактически мы предполагаем наличие сбалансированного бюджета и отсутствие трансфертов, причем последнее не является ключевым, если налоги будут восприниматься как чистые платежи домохозяйств.

Внешняя экономика

Внешняя экономика задается в модели спросом на несырьевые товары отечественного экспорта:

$$Y_t^{*H} = \gamma_{export}(p_t^{*H})^{-\eta_{export}} Y_t^* \quad (22)$$

Коэффициент η_{export} обозначает эластичность экспорта по цене, а γ_{export} является нормировочным множителем. При этом $Y_t^* -$ выпуск в иностранной экономике. В целом же внешняя экономика описывается стандартной ньюкейнсианской системой уравнений:

$$\beta^* E_t \left(\frac{Y_t^* - h^* Y_{t-1}^*}{Y_{t+1}^* - h^* Y_t^*} \frac{R_t^*}{\pi_{t+1}^*} \frac{\zeta_{t+1}^{*C}}{\zeta_t^{*C}} \right) = 1 \quad (23)$$

$$-\zeta^{*L} \frac{(l_t^*)^{\phi^*}}{w_t^*} + \frac{\zeta_t^{*C}}{Y_t^* - h^* Y_{t-1}^*} = 0 \quad (24)$$

$$Y_t^* = A_t^* A_t^{\frac{1}{\alpha}} l_t^* \quad (25)$$

$$p_t^{*Y} A_t^* A_t^{\frac{1}{\alpha}} - w_t^* = 0 \quad (26)$$

$$(1 - \varepsilon_h^*) + \varepsilon_h^* p_t^{*Y} - k^*(\pi_t^* - (\pi_{t-1}^*)^{\iota_*}(\pi^*)^{1-\iota_*})\pi_t^* + \beta^* k^* E_t \frac{Y_t^* - h^* Y_{t-1}^*}{Y_{t+1}^* - h^* Y_t^*} \frac{\zeta_{t+1}^{*C}}{\zeta_t^{*C}} (\pi_{t+1}^* -$$

$$(\pi_t^*)^{\iota_*}(\pi^*)^{1-\iota_*}) \frac{Y_{t+1}^*}{Y_t^*} \pi_{t+1}^* = 0 \quad (27)$$

$$\frac{R_t^*}{R^*} = \left(\frac{R_{t-1}^*}{R^*} \right)^{\phi_R^*} \left(\frac{\pi_t^*}{\pi^*} \right)^{(1-\phi_R^*)\phi_\pi^*} e^{e_t^{*R}} \quad (28)$$

Уравнения (23) и (24) – уравнение Эйлера и предложение труда, аналогичные уравнениям (1) и (3) для отечественной экономики[12], однако в уравнении (24) в отличие от уравнения (3) работники предлагают труд на конкурентном рынке. Для простоты, предполагается, что в иностранной экономике товары производятся только с использованием труда. Вследствие этого уравнение (25) эквивалентно уравнению (4)[13], а уравнение (26) —

[12] Переменные со звездочками аналогичны переменным без звездочек для отечественной экономики
[13] В уравнении (25) в левой части дополнительно должны стоять квадратичные издержки подстройки цен, однако мы их не учитываем ввиду того, что они пропадают при линеаризации.

уравнению (5). Уравнение (27) отражает предложение иностранных товаров в иностранной экономике, похожее на уравнение (7). Уравнение (28) – правило процентной политики.

Также считается, что внешняя экономика гораздо больше отечественной и, как следствие, не реагирует на ее шоки.

Дополнительные уравнения

Оставшиеся уравнения представляют собой либо балансовые соотношения, либо определения.

Динамика чистых иностранных активов частного сектора описывается уравнением торгового баланса

$$B_t^* = R_{t-1}^{NFA} B_{t-1}^* + IP_t + P_t^{oil} S_t^{oil} + P_t^{*H} Y_t^{*H} - P_t^{F*} IM_t - dRes_t \tag{29}$$

Чистые иностранные активы периода t, B_t^*, складываются из чистых иностранных активов предыдущего периода и процентных платежей по ним, $R_{t-1}^{NFA} B_{t-1}^*$, поступлений от экспорта, $P_t^{oil} S_t^{oil} + P_t^{*H} Y_t^{*H}$, за вычетом импорта, $P_t^{F*} IM_t$, и изменения резервов, $dRes_t$, а также остальных платежей, IP_t, которые могут возникать, например, из-за трансфертов. Главной причиной введения последних была возможность регулирования с их помощью стационарного уровня долга.

Следуя *Schmitt-Grohe and Uribe (2003)* для обеспечения единственного стационарного состояния в модели мы ввели риск-премию, которая зависит от детрендированного уровня чистых иностранных пассивов, $rer_t d_t^*$ (или $-rer_t b_t^*$), и реальной цены на нефть. Ставка по чистым иностранным активам в этом случае запишется следующим образом:

$$R_t^{NFA} = R_t^* e^{\varphi_{nfa}(rer_t d_t^* - rer_{ss} d_{ss}^*) - \varphi_{oil}(p_t^{oil} - p_{ss}^{oil})} z_t^{RP} \tag{30}$$

где z_t^{RP} – экзогенная часть риск-премии, φ_{nfa} и φ_{oil} – коэффициенты влияния внешнего долга и цены на нефть на премию за риск.

Количество товаров, покупаемых заграницей, IM_t, складывается из импортных товаров, проданных ритейлерами-импортерами, Im_t, и издержками импортеров на корректировку цен:

$$IM_t = Im_t + \frac{k_F}{2}\left(\frac{P_t^F}{P_{t-1}^F} - (\pi_{t-1}^F)^{\iota_H}(\pi_*)^{1-\iota_F}\right)^2 Im_t \frac{P_t^F}{\mathcal{E}_t P_t^{F*}} \tag{31}$$

Проданные ритейлерами-импортерами товары, Im_t, покупаются упаковщиками потребительских, $C_{F,t}$, и инвестиционных, $I_{F,t}$ товаров:

$$Im_t = C_{F,t} + I_{F,t} \tag{32}$$

Упаковщики потребительских и инвестиционных товаров также полностью покупают и продукцию отечественных ритейлеров:

$$Y_t^H = I_{H,t} + C_{H,t} \tag{33}$$

Упаковщики потребительских товаров продают свои товары, C_t^p, домохозяйствам, которые используют их для потребления, C_t, и подстройки заработных плат:

$$C_t^p = C_t + \frac{k_w}{2}\left(\frac{W_t}{W_{t-1}e^{g_{w,ss_t}}} - (\pi_{t-1})^{\iota_w}(\pi_*)^{1-\iota_w}\right)^2 \frac{W_t}{P_t} l_t \tag{34}$$

Как описывалось выше, упаковщики потребительских товаров производят $I_t + a(u_t)K_t'$ единиц товара и продают их инвестиционным фирмам, которые преобразовывают их в капитал и сдают в аренду производителям. Равенство сдаваемого инвестиционными фирмами, $u_t K_t'$, и арендуемого производителями капитала, K_t, запишется как:

$$u_t K_t' = K_t \tag{35}$$

Производимый же фирмами товар идет на госпотребление, используется отечественными ритейлерами и ритейлерами экспортерами:

$$Y_t = G_t + Y_t^H + Y_t^{*H} + \frac{k_H}{2}\left(\frac{P_{t+i}^H}{P_{t+i-1}^H} - (\pi_{t-1}^H)^{\iota_H}(\pi_*)^{1-\iota_H} - (\pi_{t-1}^H)^{\iota_H}(\pi_*)^{1-\iota_H}\right)^2 Y_t^H \frac{P_t^H}{P_t^Y} +$$

$$+ \frac{k_{*H}}{2}\left(\frac{P_t^{*H}}{P_{t-1}^{*H}} - (\pi_{t-1}^{*H})^{\iota_{*H}}(\pi^*)^{1-\iota_{*H}}\right)^2 Y_t^{*H} \frac{\mathcal{E}_t P_t^{*H}}{P_t^Y} \tag{36}$$

Мы также доопределяем рост валютного курса, $g_t^{\mathcal{E}}$, цен отечественных ритейлеров, π_t^H, ритейлеров-импортеров, π_t^F, и ритейлеров-экспортеров, π_t^{*H}:

$$g_t^{\mathcal{E}} = \frac{rer_t}{rer_{t-1}} \frac{\pi_t}{\pi_t^*} \tag{37}$$

$$\pi_t^H = \frac{p_t^H}{p_{t-1}^H} \pi_t \tag{38}$$

$$\pi_t^F = \frac{p_t^F}{p_{t-1}^F} \pi_t \tag{39}$$

$$\pi_t^{*H} = \frac{p_t^{*H}}{p_{t-1}^{*H}} \pi_t^* \tag{40}$$

Экзогенные процессы и шоки

В модели 18 шоков, которые задают соответствующие авторегрессионные процессы[14]:

e_t^{oil} – шок реальной цены нефти (p_t^{oil}),

e_t^R – шок денежно-кредитной политики (шок ДКП),

e_t^{res} – шок резервов,

$e_t^{g_A}$ – перманентный технологический шок (g_t^A),

[14] Шоки политики центрального банка предполагаются неавторегрессионными.

$e_t^{A_c}$ – временный шок технологий (A_t^c),

$e_t^{\zeta_c}$ – шок предпочтений (ζ_t^c),

$e_t^{\zeta_l}$ – шок предложения труда (ζ_t^l),

e_t^{U} – шок производства инвестиций (U_t),

$e_t^{\varepsilon_h}$ – шок наценки для отечественных ритейлеров ($\varepsilon_{h,t}$),

$e_t^{\varepsilon_f}$ – шок наценки для ритейлеров-импортеров ($\varepsilon_{f,t}$),

$e_t^{\varepsilon_{*h}}$ – шок наценки для ритейлеров-экспортеров ($\varepsilon_{*h,t}$),

$e_t^{p_{F*}}$ – шок относительных цен импортируемых товаров (p_t^{F*}),

$e_t^{S_{oil}}$ – шок объемов экспорта нефти (S_t^{oil}),

$e_t^{z_{RP}}$ – шок риск-премии (z_t^{RP}),

e_t^{G} – шок госпотребления (G_t),

e_t^{*R} – иностранный шок ДКП,

$e_t^{A_*}$ – иностранный временный шок технологий (A_t^*),

$e_t^{\zeta_{c*}}$ – иностранный шок предпочтений (ζ_t^{*c}).

Модель с банковским сектором

В данном подразделе мы добавляем в базовую модель банковский сектор. Для этого сначала необходимо добавить агентов, которые будут брать кредиты. Мы концентрируемся на кредитах фирмам, исключая тем самым распространение шоков в банковском секторе через кредитование домохозяйств. Мы вводим в модель предпринимателей, аналогично *Bernanke et al. (1999)* и *Christiano et al. (2014)*. Предприниматели покупают капитал у инвестиционных фирм. Однако, в отличии от базовой модели, этот капитал является «сырым» и не может быть напрямую использован для производства товаров. Предприниматели из «сырого» капитала производят капитал, пригодный для изготовления товаров и сдают его в аренду. По завершении производственного цикла использованный капитал опять продается инвестиционным фирмам. При этом для покупки «сырого» капитала предприниматели могут использовать собственные и заемные средства, что помогает добавить кредиты в модель. Как и *Christiano et al. (2010)* мы предполагаем, что существует подразделение банка, которое занимается выдачей кредитов предпринимателям и работает с нулевой прибылью. Фактически это подразделение занимается добавлением премии за риск к безрисковым ставкам, устанавливаемым другим подразделением банка, которое работает аналогично банкам из *Gerali et al (2010)*, собирая депозиты населения и выдавая кредиты.

Далее мы более подробно остановимся на задаче предпринимателей и банков, а также на задаче инвестиционных фирм, поведение которых затрагивает введение финансовых трений.

Предприниматели и рисковое подразделение банка

Мы предполагаем, что в экономике есть континуум предпринимателей распределенных в период времени t с плотностью $f_t(N)$:

$$N_t = \int_0^{\infty} f_t(N)dN$$

где $N_t -$ агрегированные собственные средства предпринимателей в период времени t.

Каждый предприниматель покупает «сырой» капитал, используя собственные N_t и заемные B_t средства

$$Q_t\overline{K}_t(N) = B_t(N) + N_t \tag{41}$$

где $\overline{K}_t -$ объем купленного в период времени t «сырого» капитала.

Далее предприниматели испытывают специфический (идиосинкратический) шок ω[15], который влияет на объем капитала, $\omega\overline{K}_t(N)$, который они могут произвести из единицы «сырого» капитала, $\overline{K}_t(N)$. В период времени $t+1$ предприниматели определяют загрузку капитала, u_t, сдают его в аренду, а затем продают оставшийся после амортизации капитал обратно инвестиционным фирмам. Доходность единицы «сырого» капитала будет равна ωR^k_{t+1}, где

$$R^k_t = \frac{(u_t Z_t - a(u_t)P^I_t) + (1-\delta)Q_t}{Q_{t-1}} \tag{42}$$

Мы будем называть границей банкротства фирмы в период времени t значение идиосинкратического шока, при котором полученные фирмой доходы от капитала равны выплатам по займам. Граница банкротства будет задаваться следующим уравнением:

$$\overline{\omega}_t R^k_t Q_{t-1}\overline{K}_{t-1}(N) = R^{en}_t B_{t-1}(N) \tag{43}$$

где $\overline{\omega}_t -$ граница банкротства в период времени t, $R^{en}_t -$ ставка по заемным средствам в период времени $t-1$.

Рисковые подразделения банков кредитуют предпринимателей. Банк и предприниматель заключат контракт, при котором предприниматель выбирает из некого «меню» процентных выплат и объемов. Предполагается, что в случае, когда специфический шок выше границы банкротства, $\overline{\omega}_t$, предприниматель выплачивает долг и проценты,

[15] Мы предполагаем, что шок имеет матожидание равное единице.

$R_t^{en}B_{t-1}(N)$, иначе банк забирает все оставшиеся средства, $\omega R_t^k Q_{t-1}\overline{K}_{t-1}(N)$, но несет издержки пропорционально количеству оставшихся средств у предпринимателя[16], $\mu\omega R_t^k Q_{t-1}\overline{K}_{t-1}(N)$. Рисковое подразделение при этом само занимает у банка по ставке процента, R_t^b. Мы также предполагаем, что рисковое подразделение банка имеет нулевую прибыль:

$$\left(1-\int_0^{\overline{\omega}_t} p_{t-1}(\omega)d\omega\right)R_t^{en}B_{t-1}(N)+(1-\mu)R_t^k Q_{t-1}\overline{K}_{t-1}(N)\int_0^{\overline{\omega}_t}\omega p_{t-1}(\omega)d\omega = R_{t-1}^b B_{t-1}(N)$$

или

$$\Gamma_{t-1}(\overline{\omega}_t)-\mu G_{t-1}(\overline{\omega}_t)=\frac{R_{t-1}^b}{R_t^k}\frac{B_{t-1}(N)}{Q_{t-1}\overline{K}_{t-1}(N)} \tag{44}$$

где

$$\Gamma_{t-1}(\overline{\omega}_t)=\left(1-\int_0^{\overline{\omega}_t} p_{t-1}(\omega)d\omega\right)\overline{\omega}_t+G_{t-1}(\overline{\omega}_t)$$

$$G_{t-1}(\overline{\omega}_t)=\int_0^{\overline{\omega}_t}\omega p_{t-1}(\omega)d\omega$$

Не обанкротившиеся предприниматели получают доходы от капитала, $\omega R_t^k Q_{t-1}\overline{K}_{t-1}(N)$ и трансферты от домохозяйств, TR_t^e, выплачивая при этом кредиты и проценты по ним $R_t^{en}B_{t-1}(N)$. После агрегирования и учета того, что «выживает» лишь γ_t часть предпринимателей, получаем динамику собственных средств:

$$N_t=\gamma_t\left(\int_{\overline{\omega}_t}^{\infty}\omega p_{t-1}(\omega)d\omega\right)R_t^k Q_{t-1}\overline{K}_{t-1}-\gamma_t\left(\int_{\overline{\omega}_t}^{\infty}p_{t-1}(\omega)d\omega\right)R_t^{en}B_{t-1}+TR_t^e$$

или

$$N_t=\gamma_t\big(1-\Gamma_{t-1}(\overline{\omega}_t)\big)R_t^k Q_{t-1}\overline{K}_{t-1}+TR_t^e \tag{45}$$

Предприниматели максимизируют ожидаемые собственные средства следующего периода:

$$E_t\left(\int_{\overline{\omega}_t}^{\infty}\omega p_{t-1}(\omega)d\omega\right)R_{t+1}^k Q_t\overline{K}_t(N)-E_t\left(\int_{\overline{\omega}_t}^{\infty}p_{t-1}(\omega)d\omega\right)R_{t+1}^{en}B_t(N)$$

или

$$E_t\big(1-\Gamma_t(\overline{\omega}_{t+1})\big)R_{t+1}^k Q_t\overline{K}_t(N)$$

Условие первого порядка запишется следующими образом:

$$E_t\left(\big(1-\Gamma_t(\overline{\omega}_{t+1})\big)\frac{R_{t+1}^k}{R_t^b}+\frac{\Gamma_t{'}(\overline{\omega}_{t+1})}{\Gamma_t{'}(\overline{\omega}_{t+1})-\mu G_t{'}(\overline{\omega}_{t+1})}\left(\frac{R_{t+1}^k}{R_t^b}\big(\Gamma_t(\overline{\omega}_{t+1})-\mu G_t(\overline{\omega}_{t+1})\big)-1\right)\right)=0 \tag{46}$$

[16] Более подробное описание см. в *Bernanke et al. (1999)*.

Условие первого порядка для загрузки капитала такое же, как и для инвестиционных фирм в базовой модели:

$$\frac{Z_t}{P_t^I} - a'(u_t) = 0 \tag{47}$$

Инвестиционные фирмы

Как и в базовой модели, инвестиционные фирмы покупают товары у упаковщиков инвестиционных товаров, $P_t^I I_t(j)$, производят «сырой» капитал, $\overline{K}_t(j)$. В отличие от базовой модели, «сырой» капитал не сдается в аренду производителям, а продается в конце периода t, $Q_t\overline{K}_t(j)$, и покупается в начале периода $t+1$, $Q_t\overline{K}_t'(j)$. Инвестиционные фирмы максимизируют прибыль:

$$E_t\sum_{i=0}^{\infty}\lambda_{t+i}\left(\frac{Q_{t+i}\overline{K}_{t+i}(j) - P_{t+i}^I I_{t+i}(j) - Q_{t+i}\overline{K}_{t+i}'(j)}{P_{t+i}}\right)$$

При условии динамики капитала:

$$\overline{K}_t(j) = \overline{K}_t'(j) + \left(1 - \frac{k_I}{2}\left(\frac{I_t(j)}{I_{t-1}(j)e^{g_{I,ss_t}}} - 1\right)^2\right)I_t(j) \tag{48}$$

Условие первого порядка записываются следующим образом:

$$-\frac{P_t^I}{P_t} + \frac{Q_t}{P_t}\left(1 - \frac{k_I}{2}\left(\frac{I_t}{I_{t-1}e^{g_{I,ss_{t-1}}}} - 1\right)^2\right) - \frac{Q_t}{P_t}k_I\left(\frac{I_t}{I_{t-1}e^{g_{I,ss_t}}} - 1\right)\frac{I_t}{I_{t-1}e^{g_{I,ss_t}}} +$$

$$+\beta E_t\left(\frac{C_t - hC_{t-1}}{C_{t+1} - hC_t}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}\frac{Q_{t+1}}{P_{t+1}}\left(\frac{I_{t+1}}{I_t e^{g_{I,ss_{t+1}}}} - 1\right)\frac{(I_{t+1})^2}{(I_t)^2 e^{g_{I,ss_{t+1}}}}\right) = 0 \tag{49}$$

Банки

Как упоминалось выше, банки состоят из двух подразделений: подразделения, которое работает с индивидуальными рисками и подразделения, которое занимается всеми остальными операциями. Первое из них было описано выше, поэтому ниже мы опишем только второе из них.

Активы j-го банка в модели состоят из кредитов, $B_t(j)$, и чистых межбанковских операций и операций с центральным банком, $IB_t(j)$, пассивы же складываются из депозитов, $D_t(j)$, и собственного капитала банков, $J_t(j)$. В итоге баланс банка может быть записан следующим образом:

$$B_t(j) + IB_t(j) = D_t(j) + J_t(j)$$

Прибыль банка складывается из процентных платежей по кредитам, $\left(R_{t-1}^b(j) - 1\right)B_{t-1}(j)$, процентных платежей по межбанковским операциям и операциям с центральным банком, $(R_{t-1}-1)IB_{t-1}(j)$, за вычетом издержек. Издержки складываются из процентных платежей по депозитам, $(R_{t-1}^D(j)-1)D_{t-1}(j)$, расходов на обслуживание банка, $\delta_b J_{t-1}(j)$, и квадратичных издержек подстройки капитала, $\frac{k^K}{2}\left(\frac{J_t(j)}{B_t(j)}-\omega^J\right)^2 J_t$, кредитных ставок для рискового отделения банка, $\frac{k^b}{2}\left(\frac{R_t^b(j)}{\left(R_{t-1}^b(j)\right)^{\iota_b}\left(R_{ss}^b\right)^{1-\iota_b}}-1\right)^2 B_t$, депозитных ставок, $\frac{k^D}{2}\left(\frac{R_t^D(j)}{\left(R_{t-1}^D(j)\right)^{\iota_d}\left(R_{ss}^D\right)^{1-\iota_d}}-1\right)^2 D_t$, и единовременных трансфертов домохозяйству TR_t^b. Итоговая прибыль равна:

$$\Pi_t^b(j)=\left(R_{t-1}^b(j)-1\right)B_{t-1}(j)+(R_{t-1}-1)IB_{t-1}(j)-(R_{t-1}^D(j)-1)D_{t-1}(j)-\frac{k^K}{2}\left(\frac{J_t(j)}{B_t(j)}-\omega^J\right)^2 J_t-$$
$$\frac{k^b}{2}\left(\frac{R_t^b(j)}{\left(R_{t-1}^b(j)\right)^{\iota_b}\left(R_{ss}^b\right)^{1-\iota_b}}-1\right)^2 B_t-\frac{k^D}{2}\left(\frac{R_t^D(j)}{\left(R_{t-1}^D(j)\right)^{\iota_d}\left(R_{ss}^D\right)^{1-\iota_d}}-1\right)^2 D_t-\delta_b J_{t-1}(j)-TR_t^b \quad (50)$$

где k^K – коэффициент, отвечающий за издержки отклонения цен относительного уровня капитала от желаемого уровня, ω^J, k^b – коэффициент, отвечающий за издержки отклонения кредитной ставки для рискового подразделения, $R_t^b(j)$, от желаемого уровня, ι_b – вес лагового значения в желаемом уровне кредитной ставки для рискового подразделения, k^D – коэффициент, отвечающий за издержки отклонения депозитной ставки, $R_t^D(j)$, от желаемого уровня, ι_d – вес лагового значения в желаемом уровне депозитной ставки.

Банки максимизируют дисконтированную сумму реальных отчислений домохозяйствам, которая пропорциональна прибыли, $\Pi_t^b(j)$:

$$E_t\sum_{i=0}^{\infty}\frac{\lambda_{t+i}(1-o_{t+i})}{P_{t+i}}\Pi_{t+i}^b(j)$$

при наличии балансового ограничения, динамики капитала, спроса на кредиты[17] и предложения депозитов:

$$J_t(j)=\frac{J_{t-1}(j)}{\varepsilon_t^{cap}}+o_t\Pi_t^b(j) \quad (51)$$

$$B_t(j)=\left(\frac{R_t^b(j)}{R_t^b}\right)^{-\varepsilon_t^b} B_t$$

$$D_t(j)=\left(\frac{R_t^D(j)}{R_t^D}\right)^{\varepsilon_t^D} D_t$$

[17] Интерпретация такой формы спроса на кредиты может быть следующей: кредиты выдаются не напрямую фондам, а через фирму-посредника, которая агрегирует кредиты. С другой стороны, на условия первого порядка можно смотреть как на правило, которым пользуется банк при установлении ставок. Альтернативное правило может выглядеть, например, так:

$$R_t^{DC}(j)=\mu^{DC}R_t$$

где $(1-o_t)-$ доля отчислений домохозяйствам, ε_t^b- эластичность кредитов по ставке, предполагаемая банками, ε_t^D- эластичность депозитов по ставке, предполагаемая банками, $\varepsilon_t^{cap}-$ шок капитала.

Перепишем процентные доходы банка в следующем виде:

$$\begin{aligned}
&\left(R_{t-1}^b(j)-1\right)B_{t-1}(j)+(R_{t-1}-1)IB_{t-1}(j)-(R_{t-1}^D(j)-1)D_{t-1}(j)\\
&\quad=\left(R_{t-1}^b(j)-1\right)B_{t-1}(j)+(R_{t-1}-1)\left(D_{t-1}(j)+J_{t-1}(j)-B_{t-1}(j)\right)\\
&\quad-(R_{t-1}^D(j)-1)D_{t-1}(j)\\
&\quad=\left(R_{t-1}^b(j)-R_{t-1}\right)B_{t-1}(j)+\left(R_{t-1}-R_{t-1}^D(j)\right)D_{t-1}(j)+(R_{t-1}-1)J_{t-1}(j)\\
&\quad=\left(R_{t-1}^b(j)-R_{t-1}\right)B_{t-1}(j)+\left(R_{t-1}-R_{t-1}^D(j)\right)\left(B_{t-1}(j)-J_{t-1}(j)\right)\\
&\quad+(R_{t-1}-1)J_{t-1}(j)+\left(R_{t-1}-R_{t-1}^D(j)\right)IB_{t-1}(j)
\end{aligned}$$

Для того, чтобы упростить уравнения модели мы положим трансферты равными $(R_{t-1}-R_{t-1}^D)IB_{t-1}$. Это позволяет нивелировать соответствующие слагаемые в динамике капитала банка.

Условия первого порядка для процентных ставок по кредитам и депозитам запишутся следующим образом:

$$-\left(\frac{(1-o_t)}{P_t}+\frac{o_t m_t}{P_t}\right)\left(k^K\varepsilon_t^b\left(\frac{J_t}{B_t}-\omega_t^J\right)\left(\frac{J_t}{B_t}\right)^2\frac{1}{R_t^b}+k^b\left(\frac{R_t^b}{(R_{t-1}^b)^{\iota_b}(R_{ss}^b)^{1-\iota_b}}-1\right)\frac{1}{(R_{t-1}^b)^{\iota_b}(R_{ss}^b)^{1-\iota_b}}\right)+$$

$$E_t\frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t}\left(\frac{(1-o_{t+1})}{P_{t+1}}+\frac{o_{t+1}m_{t+1}}{P_{t+1}}\right)\left(\left(1-\varepsilon_t^b\right)+\varepsilon_t^b\frac{R_t}{R_t^b}+k^b\left(\frac{R_{t+1}^b}{(R_t^b)^{\iota_b}(R_{ss}^b)^{1-\iota_b}}-1\right)\frac{\iota_b R_{t+1}^b}{(R_t^b)^{\iota_b}(R_{ss}^b)^{1-\iota_b}}\frac{1}{R_t^b}\frac{B_{t+1}}{B_t}\right)=0 \quad (52)$$

$$-\left(\frac{(1-o_t)}{P_t}+\frac{o_t m_t}{P_t}\right)\left(k^D\left(\frac{R_t^D}{(R_{t-1}^D)^{\iota_d}(R_{ss}^D)^{1-\iota_d}}-1\right)\frac{1}{(R_{t-1}^D)^{\iota_d}(R_{ss}^D)^{1-\iota_d}}\right)+E_t\frac{\lambda_{t+1}}{\lambda_t}\left(\frac{(1-o_{t+1})}{P_{t+1}}+\frac{o_{t+1}m_{t+1}}{P_{t+1}}\right)\Bigg(-(1+\varepsilon_t^D)+$$

$$\varepsilon_t^D\frac{R_t}{R_t^D}+k^D\left(\frac{R_{t+1}^D}{(R_t^D)^{\iota_d}(R_{ss}^D)^{1-\iota_d}}-1\right)\frac{\iota_d R_{t+1}^D}{(R_t^D)^{\iota_d}(R_{ss}^D)^{1-\iota_d}}\frac{1}{R_t^D}\frac{D_{t+1}}{D_t}\Bigg)=0 \quad (53)$$

где m_t- множитель Лагранжа при динамике капитала банка. С учетом того, что в линеаризованной версии модели переменная m исчезает, для решения модели нам не необходимо дифференцировать дисконтированную прибыль по капиталу.

Модифицированная производственная функция

Преобразования базовой модели к модели с банковским сектором приводит к значениям нормы амортизации порядка 10 % в квартал (см. приложение А). Чтобы добиться адекватных значений нормы амортизации, мы модифицируем производственную функцию, добавляя в нее постоянные издержки, $\Phi(A_t)^{\frac{1}{\alpha}}$:

$$Y_t=A_tA_t^c{l_t}^{\alpha}K_t^{1-\alpha}-\Phi(A_t)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (4^*)$$

Условия первого порядка в этом случае перепишутся следующим образом:

$$\alpha P_t^Y (Y_t + \Phi(A_t)^{\frac{1}{\alpha}}) - W_t l_t = 0 \tag{5*}$$

$$(1-\alpha) P_t^Y (Y_t + \Phi(A_t)^{\frac{1}{\alpha}}) - Z_t K_t = 0 \tag{6*}$$

Дополнительные уравнения

Равенство покупаемого инвестиционными фирмами капитала, $\overline{K}_t'$, и продаваемого предпринимателями, $(1-\delta)\overline{K}_{t-1}$:

$$\overline{K}_t' = (1-\delta)\overline{K}_{t-1} \tag{54}$$

Равенство спроса, K_t, и предложения, $u_t \overline{K}_{t-1}$, на производительный капитал:

$$K_t = u_t \overline{K}_{t-1} \tag{55}$$

Экзогенные процессы и шоки

В дополнении к шокам базовой модели мы добавляем еще четыре шока:
$e_t^{\sigma\omega}$ – шок неопределенности проектов ($\sigma_{\omega,t}$),
e_t^{γ} – шок доли «выживания» предпринимателей/финансовый шок благосостояния (γ_t),
$e_t^{\varepsilon_D}$ – шок наценки для депозитных ставок (ε_t^D),
$e_t^{\varepsilon_{cap}}$ – шок динамики капитала (ε_t^{cap}).
Мы не используем шок наценки для кредитных ставок ввиду того, что он похож на шок неопределенности проектов.

3. Оценка параметров

Мы используем лог-линейную[18] аппроксимацию решения предложенных DSGE-моделей и работаем дальше с этой аппроксимацией. Лог-линеаризация осуществляется с помощью символьного пакета (*Symbolic Toolbox*) в программной среде MATLAB. Для решения модели использовался алгоритм, предложенный в работе *Sims (2002)*. Мы применяли байесовскую статистику для аппроксимации апостериорных распределений параметров (априорные распределения приведены в Таблице 2). В частности, был использован

[18] Для переменных, которые могут изменять знак, мы использовали обычную линеаризацию.

адаптивный алгоритм Метрополиса-Гастингса[19], похожий на алгоритм из *Roberts and Rosenthal (2009)*. Единственное отличие от стандартного алгоритма Метрополиса-Гастингса со случайным блужданием в том, что вспомогательная плотность является адаптивной. Вспомогательная плотность на n −ой итерации записывается как:

$$q(\theta'|\theta) = 0.95N\left(\theta, \frac{2.38^2}{d}\Sigma_n\right) + 0.05N\left(\theta, \frac{0.1^2}{d}H\right)$$

если $n > 5d$ и

$$q(\theta'|\theta) = N\left(\theta, \frac{0.1^2}{d}H\right)$$

иначе. Здесь Σ_n − оценка ковариационной матрицы на n-ой итерации, H − отрицательный обратный гессиан, d − размерность пространства параметров.

Для оценки базовой модели были использованы 18 рядов:
$dlnGDP_t$ − изменение логарифма внутреннего валового продукта в реальном выражении,
$dlnConsumption_t$ − изменение логарифма потребления в реальном выражении,
$dlnInvestment_t$ − изменение логарифма инвестиций в реальном выражении,
$dlnExport_t$ − изменение логарифма экспорта в реальном выражении,
$dlnGov\_consumption_t$ − изменение логарифма госпотребления в реальном выражении,
$dlnWage_t$ − изменение логарифма заработной платы в реальном выражении,
$lnMIACR_t$ − логарифм средней за квартал однодневной ставки процента на межбанковском рынке,
$dlnP\_GDP_t$ − изменение логарифма дефлятора внутреннего валового продукта,
$dlnCPI_t$ − изменение логарифма индекса потребительских цен,
$dlnP\_im_t$ − изменение логарифма дефлятора импорта,
$dlnP\_ex_t$ − изменение логарифма дефлятора экспорта,
$dlnP\_inv_t$ − изменение логарифма дефлятора инвестиций,
$dRes2Export_t$ − отношение изменения резервов к экспорту,
$dlnExch_t$ − изменение логарифма среднего за последний месяц квартала валютного курса,
$lnFED_t$ − логарифм средней за квартал FFR,
$dlnGDP\_US_t$ − изменение логарифма внутреннего валового продукта США в реальном выражении,
$dlnGDP\_DEF\_US_t$ − изменение логарифма дефлятора ВВП в США,
$dlnOil_t$ − изменение логарифма реальной цены на нефть марки Юралс.

[19] Первые 300000 из 400000 итераций были выкинуты.

Для оценки модели с банковским сектором дополнительно брались следующие 4 переменные:

$dlnLoan_t -$ изменение логарифма рублевой задолженности нефинансовых организаций перед банками по всем срокам,

$dlnCapital_t -$ изменение логарифма фондов и прибыли кредитных организаций,

$lnLoanRate_t -$ логарифм ставки процента по кредитам нефинансовым организациям на срок от 1 года до 3 лет,

$lnDepRate_t -$ логарифм ставки процента по депозитам физических лиц на срок от 1 года до 3 лет.

Для каждого ряда подбирается модельная переменная, которая в большей степени соответствует наблюдаемой. Для базовой модели связь нормированных и наблюдаемых переменных записывается следующим образом[20]:

$$\begin{aligned} dlnGDP_t = {} & ln(g_t^A) \\ & + ln\big(C_t^p + p_{t-1}^Y G_t + p_{t-1}^I (I_t + a(u_t)K_t') + rer_{t-1}p_{t-1}^{*H}Y_t^{*H} + rer_{t-1}p_{t-1}^{oil}S_t^{oil} \\ & - rer_{t-1}p_{t-1}^{*F}IM_t\big) \\ & - ln\big(C_{t-1}^p + p_{t-1}^Y G_{t-1} + p_{t-1}^I (I_{t-1} + a(u_{t-1})K_{t-1}') + rer_{t-1}p_{t-1}^{*H}Y_{t-1}^{*H} \\ & + rer_{t-1}p_{t-1}^{oil}S_{t-1}^{oil} - rer_{t-1}p_{t-1}^{*F}IM_{t-1}\big) + e_t^{dlnGDP} \end{aligned}$$

$$dlnConsumption_t = ln(g_t^A) + ln\big(C_t^p\big) - ln\big(C_{t-1}^p\big) + e_t^{dlnConsumption}$$

$$dlnInvestment_t = ln(g_t^A) + ln(I_t + a(u_t)K_t') - ln(I_{t-1} + a(u_{t-1})K_{t-1}') + e_t^{dlnInvestment}$$

$$\begin{aligned} dlnExport_t = {} & ln(g_t^A) + ln\big(rer_{t-1}p_{t-1}^{*H}Y_t^{*H} + rer_{t-1}p_{t-1}^{oil}S_t^{oil}\big) \\ & - ln\big(rer_{t-1}p_{t-1}^{*H}Y_{t-1}^{*H} + rer_{t-1}p_{t-1}^{oil}S_{t-1}^{oil}\big) + e_t^{dlnExport} \end{aligned}$$

$$dlnGov\_consumption_t = ln(g_t^A) + ln(G_t) - ln(G_{t-1}) + e_t^{dlnGov\_consumption}$$

$$dlnWage_t = ln(g_t^A) + ln(w_t) - ln(w_{t-1}) + e_t^{dlnWage}$$

$$lnMIACR_t = 4ln(R_t) + e_t^{lnMIACR}$$

$$\begin{aligned} dlnP\_GDP_t = {} & ln(\pi_t) \\ & + ln\big(C_t^p + p_t^Y G_t + p_t^I (I_t + a(u_t)K_t') + rer_t p_t^{*H}Y_t^{*H} + rer_t p_t^{oil}S_t^{oil} - rer_t p_t^{*F}IM_t\big) \\ & - ln\big(C_t^p + p_{t-1}^Y G_t + p_{t-1}^I (I_t + a(u_t)K_t') + rer_{t-1}p_{t-1}^{*H}Y_t^{*H} + rer_{t-1}p_{t-1}^{oil}S_t^{oil} \\ & - rer_{t-1}p_{t-1}^{*F}IM_t\big) + e_t^{dlnP\_GDP} \end{aligned}$$

$$dlnCPI_t = ln(\pi_t) + e_t^{dlnCPI}$$

[20] Ответим, что в моделях ставка денежного рынка и ставка ДКП совпадают. Говоря о модели мы естественно подразумеваем ставку ДКП, а говоря о наблюдаемых переменных подразумеваем ставку денежного рынка.

$$dlnP\_im_t = ln(\pi_t) + ln(rer_t p_t^{*F}) - ln(rer_{t-1} p_{t-1}^{*F}) + e_t^{dlnP\_im}$$

$$dlnP\_ex_t = ln(\pi_t) + ln\left(rer_t p_t^{*H} Y_t^{*H} + rer_t p_t^{oil} S_t^{oil}\right) - ln\left(rer_{t-1} p_{t-1}^{*H} Y_t^{*H} + rer_{t-1} p_{t-1}^{oil} S_t^{oil}\right) + e_t^{dlnP\_ex}$$

$$dlnP\_inv_t = ln(\pi_t) + ln(p_t^I) - ln(p_{t-1}^I) + e_t^{dlnP\_inv}$$

$$dRes2Export_t = \frac{dres_t}{p_t^{*H} Y_t^{*H} + p_t^{oil} S_t^{oil}} + e_t^{dRes2Export}$$

$$dlnExch_t = ln\left(g_t^{\mathcal{E}}\right) + e_t^{dlnExch}$$

$$lnFED_t = ln(R_t^*) + e_t^{lnFED}$$

$$dlnGDP\_US_t = ln(g_t^A) + ln(Y_t^*) - ln(Y_{t-1}^*) + e_t^{dlnGDP\_US}$$

$$dlnGDP\_DEF\_US_t = ln(\pi_t^*) + e_t^{dlnGDP\_DEF\_US}$$

$$dlnOil_t = ln\left(p_t^{oil}\right) - ln\left(p_{t-1}^{oil}\right)$$

где e_t^X − ошибка измерений для переменной X.

Данные ряды используются для базовой модели. Мы делаем небольшие модификации для модели банковским сектором, которые естественным образом вытекают из модели. При этом мы не включаем услуги посредничества в ВВП для простоты изложения. Остальные переменные записываются следующим образом:

$$dlnLoan_t = ln(g_t^A) + ln(\pi_t) + ln(b_t) - ln(b_{t-1}) + e_t^{dlnLoan}$$

$$dlnCapital_t = ln(g_t^A) + ln(\pi_t) + ln(j_t) - ln(j_{t-1}) + e_t^{dlnCapital}$$

$$lnLoanRate_t = ln\left(E_t(R_{t+1}^{en} R_{t+2}^{en} R_{t+3}^{en} R_{t+4}^{en})\right) + e_t^{lnLoanRate}$$

$$lnDepRate_t = ln\left(E_t(R_t^D R_{t+1}^D R_{t+2}^D R_{t+3}^D)\right) + e_t^{lnDepRate}$$

Для базовой модели мы устанавливаем дисперсии ошибок измерений равными 10% от дисперсий наблюдаемых рядов для всех показателей, кроме реальной цены на нефть и отношения изменения резервов к экспорту. Реальная цена на нефть предполагается стационарной в нашей модели, а введение ошибок измерений для ее прироста может сдвигать стационарный уровень, чего мы хотим избежать в этой работе. Дисперсия ошибки измерения отношения изменения резервов к экспорту устанавливается на уровне 50 %. Мы делаем это из-за того, что в платежном балансе присутствуют некоторые компоненты, которые мы не учитываем, заложив процесс ip_t постоянным[21], ведь его введение было обусловлено обеспечением уровня долга, не превышающего ВВП в десятки раз.

Учитывая также факт, что наш банковский сектор является достаточно стилизованным, кредиты выдаются на один период, а динамика капитала учитывает далеко

[21] Это предположение может быть легко изменено при необходимости.

не все платежи, мы устанавливаем ошибки измерений для изменения кредитов и капитала равными 50 %. Несмотря на то, что срочность модельных ставок по кредитам и депозитам не совсем соответствует срочности наблюдаемых ставок, ошибки измерения для них берутся равными 10 %. Это обусловлено в том числе и тем фактом, что замена наблюдаемых ставок на более короткие не меняет значительно результаты модели.

Часть параметров и соотношений модели калибруются. Равновесное значение годовой процентной ставки устанавливается на уровне 7.5 %. Таргетируемая инфляция равна 4 %. Аналогичные значения для зарубежной экономики равны 4.5 % и 2 %. Равновесный темп прироста для обеих экономик 1.5 %. Степень на капитал в производственной функции принималась равной $\frac{1}{3}$. Все эластичности, связанные с несовершенной конкуренцией, калибровались на уровне 10. Кривизна отрицательной полезности труда для обоих экономик устанавливалась равной 2. Труд в равновесии калибровался на уровне 1. Все равновесные значения экзогенных процессов принимаются равными 1, если иное не говорится в приложении A. Мы также калибруем ключевые номинальные соотношения в экономике таким образом, чтобы они приближенно соотносились со средними на историческом периоде. Отношения инвестиций и госпотребления к потреблению равны по 0.4 каждое. Отношение экспорта к потреблению было принято на уровне 0.6, при этом предполагается, что $\frac{2}{3}$ от этого экспорта – экспорт нефти. Доля импорта в потреблении (инвестициях) бралась равной 0.35 (0.3). Отношение ip к экспорту принималось равным 0.28. Равновесные значения реальной цены на нефть и реального обменного курса брались на уровне 1. Эти параметры являются общими для обеих моделей.

Для модели с банковским сектором мы дополнительно калибруем ряд параметров. Эта модель является достаточно стилизованной, поэтому мы выбираем некоторые параметры для нее таким образом, чтобы они соотносились с общепринятыми значениями[22]. Норма выживания предпринимателей устанавливались на уровне 0.97. Издержки мониторинга принимаются равными 0.2. Равновесный уровень дефолта равен 0.007. Отношение собственных средств предпринимателей к активам бралось равным 0.5, что близко к российским данным.

Для модели с банковским сектором мы устанавливаем норму амортизации 2.5 % в квартал. Влияние такого выбора на поведение модели, обсуждается ниже. Равновесные уровни для кредитной и депозитной ставок берутся 12.5 % и 6 % соответственно. Эти уровни

[22] Калибровка может быть легко изменена, однако перебирая различные значения мы не нашли качественно отличающихся результатов.

соответствуют модельным ограничениям: депозитная ставка выше, чем сумма инфляции и темпов роста экономики, но ниже ставки межбанковского рынка, а ставка по кредитам выше ставки межбанковского рынка. Равновесная ставка по кредитам близка к исторической, а вот депозитная (среднесрочная) на истории была выше межбанковской, что не позволяет нам в полной мере соотнести ее уровень с данными. Коэффициент издержек обслуживания банков брался равным 0.005, что помогает обеспечить адекватное отношение прибыли к собственным средствам. Отношение собственного капитала банка к кредитам нефинансовым организациям приравнивалось к 0.4.

Зарубежная экономика предварительно оценивалась (точечно) на данных по США с I квартала 1974 года по IV квартал 2008 года. Для оценки параметров отечественной экономики мы использовали описанные выше данные в период с I квартала 2006 года по III квартал 2016 года[23].

4. Результаты

В данном разделе мы демонстрируем некоторые свойства описанных выше моделей. Сначала мы показываем поведение моделей при начальной калибровке параметров, которые не оцениваются на данных. Затем мы демонстрируем как добавление данных сдвигает оценки параметров и импульсные отклики модели. В конце раздела мы смотрим как модель соотносится с российскими данными, показывая декомпозицию на шоки и прогнозные свойства.

Начальная калибровка

Сначала мы посмотрим на поведение моделей при параметрах, представленных в первой колонке Таблицы 2. Т.к. базовая модель является достаточно стандартной, для экономии места мы показываем лишь влияние некоторых шоков: шока цен на нефть, шока риск-премии и шока денежно-кредитной политики[24]. Реакция экономики на эти шоки изображена на Рисунках 2а-2в.

В ответ на положительный шок цены на нефть валютный курс укрепляется, что приводит к удешевлению импортных товаров, а как следствие и падению цен

[23] Ряды по необходимости были предварительно сезонно сглажены с использование X-12 ARIMA.
[24] Импульсные отклики на остальные шоки могут быть высланы по запросу.

потребительских и инвестиционных товаров. Падение цен потребительских товаров приводит к снижению процентных ставок, что в совокупности с другими факторами ведет к росту производства инвестиционных товаров, потребительских товаров и ВВП. При этом также падает объем экспорта вследствие укрепления курса.

Шок риск-премии увеличивает ставку, по которой отечественные агенты могут занимать заграницей, но не изменяет саму ставку заграницей. Данный шок, так же как и шок цен на нефть влияет на валютный курс и ставку по иностранным займам, но с обратным знаком, поэтому имеет качественно такой же эффект (с обратным знаком).

Реакцией экономики на положительный шок денежно-кредитной политики, т.е. увеличение процентной ставки выше заданного правила, является снижение потребления и инвестиций, ведь ставка в базовой модели напрямую влияет на решения инвестиционных фирм и домохозяйств. Повышение ставок также приводит к укреплению валютного курса, а, следовательно, и удешевлению импортных товаров. Все это приводит к падению цен. Как и в случае с нефтяным шоком, экспорт падает из-за укрепления курса.

Для того чтобы продемонстрировать что привносит в модель добавление банковского сектора, мы показываем какой будет реакция экономики на те же три шока. Импульсные отклики для модели с банковским сектором тоже изображены на Рисунках 2а-2в. Для лучшего понимания динамики, помимо наблюдаемых величин мы добавляем на графики с начальной калибровкой еще и краткосрочные кредитные и депозитные ставки, а также рисуем ставку из базовой модели как аналог.

Большое значение в модели с предпринимателями играет превышение ожидаемой доходности фирм над заемной ставкой (и ожидаемые значения). Из уравнения (46) несложно увидеть, что при издержках на мониторинг равных нулю, ожидаемая доходность единицы «сырого» капитала будет равна стоимости заемных средств. В таком случае предприниматели не будут вносить никакого дополнительного вклада в динамику линеаризованной модели. Комбинируя дополнительно (46) и (44) можно заметить, что влияние на дополнительную доходность оказывает лишь отношение заемных средств к капиталу или капитала к собственным средствам. Высокое значение отношения купленного «сырого» капитала к собственным средствам увеличивает при прочих равных надбавку к ставкам, что приводит к более сильному снижению инвестиций. Помимо этого эффекта также присутствуют эффект сглаживания ставок банковским сектором и эффект изменения стационарных состояний вследствие другой равновесной структуры ставок.

Проведя несколько дополнительных экспериментов, которые не приводятся здесь для экономии места, мы выяснили, что для шока ДКП эффект добавления финансового сектора является основным. Как и в *Bernanke et al. (1999)* в результате шока ДКП происходит увеличение отношения «сырого» капитала к собственным средствам, что приводит к увеличению разницы между ожидаемой доходностью капитала и ставкой по займам, вызывая более сильное падение инвестиций. Для шока риск-премии же первый эффект не является так сильно выраженным, как третий, который вследствие сдвига уровня ставок сдвигает стационарные состояния модели и эластичности, что влияет на динамику модели. Декомпозиция изменения шока нефти на вышеописанные эффекты не может быть так просто разложена и включает все три источника изменений.

Несмотря на количественное влияние банковского сектора на модель, качественное влияние не так велико. Однако одним из главных достоинств модели с банковским сектором является возможность посмотреть влияние ряда дополнительных шоков на экономику. На Рисунках 3а-3в изображены импульсные отклики на шесть шоков, два из которых присутствуют в базовой модели (изображены для наглядности) и четыре новые.

На рисунке 3а показаны шок денежно-кредитной политики и шок динамики капитала. Стандартное отклонение второго шока масштабировано таким образом, чтобы реакция процентной ставки по кредитам в первый период была одинаковой. Отметим, что оба шока действуют на ставку кредита повышательно. Это вытекает из уравнения (52), которое в линеаризованном виде будет представлять ставку по кредитам как взвесь предыдущих и ожидаемы ставок по кредитам, а также ставки ДКП и отклонения отношения собственного капитала к кредитам от желаемого уровня (с отрицательным знаком). С другой стороны, из уравнения (53) можно заметить, что депозитная ставка зависит от ставки ДКП, но не зависит от собственного капитала. Шок ДКП увеличивает как кредитную, так и депозитную ставку, в то время как шок динамики капитала увеличивает только кредитную ставку приводя к падению кредитования, инвестиций, ВВП и инфляции. Это толкает ставку центрального банка вниз, оказывая давление на депозитную ставку. Отметим еще и тот факт, что в модели с банковским сектором растет потребление. Это является следствием того, что в данной модели депозитные ставки падают, и отсутствует потребительское кредитование.

На Рисунке 3б изображены реакции экономики на шок неопределенности проектов и на шок наценки для депозитных ставок. Первый из этих шоков оказывает воздействие на экономику, похожее на воздействие шока динамики капитала, но в случае шока динамики капитала собственные средства банка резко падают в период шока, в отличие от шока неопределенности проектов. Шок наценки для депозитных ставок влияет в первую очередь не на кредитные, а на депозитные ставки, повышая их, что в свою очередь ведет к снижению потребления, снижая попутно ВВП и инфляцию. Как и для шока неопределенности проектов это приводит к уменьшению ставки центрального банка, которая является нормировочной переменной на Рисунке 3б.

Шок доли «выживания» предпринимателей и шок производства инвестиций увеличивают инвестиции (выбираются в качестве нормирующей переменной). Однако в результате первого растут собственные средства предпринимателей, стимулируя спрос на капитал и как следствие на товары, необходимые для производства инвестиционных товаров, а второй улучшает технологию упаковщиков, снижая спрос на товары, необходимые для производства инвестиционных товаров. Несмотря на то, что инвестиции растут в обоих случаях, цены в экономике повышаются для первого шока и падают для второго. Отметим и тот факт, что кредиты для первого шока снижаются, а для второго растут в краткосрочной перспективе. Это происходит из-за того, что при шоке доли «выживания» предпринимателей кредиты замещаются дополнительными собственными средствами, а шок производства инвестиций заставляет предпринимателей брать больше кредитов на покупку капитала.

Как упоминалось выше, мы выбираем норму амортизации капитала равной 2.5%. Этот выбор влияет в определенной мере на структуру модели. Так, например, коэффициент амортизации определяет размер банковского сектора и величину постоянных издержек в функции производства отечественных товаров. Мы отмечаем, что ввиду стилизованности сектора предпринимателей и банковского сектора, размер последнего относительно реальной экономики не калибруется. Вместо этого мы показываем, что изменение нормы амортизации при начальной калибровке не меняет кардинально импульсных откликов[25]. На Рисунках 4а-в показана реакция экономики на шок ДКП, шок цен на нефть и шок динамики капитала при норме амортизации равной 2.5%, 5% и 10%. Из этих графиков можно увидеть, что влияние нормы амортизаций в достаточной мере зависит от типа шока, но тем не менее сохраняет основные результаты модели.

Оцененные параметры

Прежде чем переходить к импульсным откликам, декомпозиции и прогнозам, мы покажем оценки апостериорного распределения параметров. В таблице 3 представлены результаты оценки модели, полученные с помощью МН-алгоритма, описанного выше. В качестве начальной точки бралась мода апостериорного распределения. Несложно увидеть, что для большинства параметров апостериорные средние близки к априорным. Скорее всего

[25] Отметим, что норма амортизации далеко не единственный параметр, который влияет на размер банковского сектора в модели.

это является следствием короткой выборки[26]. Данное предположение согласуется с результатами, полученными в *Крепцев и Селезнев (2016)*, где авторы приходят к такому же выводу, основываясь на тесте из работы *Muller (2012)*. Однако это может быть и следствием того, что алгоритм оптимизации находит локальный оптимум (используется квази-ньютоновский алгоритм и алгоритм имитации отжига). Мы замечаем это только после десятков тысяч итераций MH-алгоритма, когда он перескакивает в точки со значительно б*о*льшим значением апостериорной плотности, изменяя правда лишь некоторые параметры (например, k_{*H}). В результате мы не можем быть до конца уверены, что даже за 400000 итераций наш алгоритм открывает все моды.

На Рисунках 5а-в, изображены 68%-е доверительные интервалы реакции экономики на шок цен на нефть, шок риск-премии и шок ДКП. Эти графики аналогичны Рисункам 2а-в, но построены с использованием оцененных параметров. Несмотря на то, что результаты похожи, оценка все же вносит корректировку. Например, для шока цен на нефть при базовой калибровке экспорт сильнее падает в модели с банковским сектором, а при оцененных – в базовой модели. Аналогичная ситуация, но с обратным знаком происходит и с зарплатами. Для шока риск-премии похожий эффект наблюдается для инвестиций и ВВП, а последний еще и изменяет знак в первые периоды. Шок ДКП практически полностью сохраняет соотношения между переменными, но как для других шоков, форма откликов все же претерпевает небольшие изменения.

Результаты для шоков банковского сектора представлены на Рисунках 6а-г и меняются лишь количественно, поэтому мы не останавливаемся на них более подробно, ведь их описание полностью повторяет описание для начальной калибровки.

Декомпозиция на шоки и прогнозирование

На Рисунках 7а-е мы показываем с помощью каких шоков модель объясняет динамику основных макропеременных. Для базовой модели мы выделяем по три основных шока для каждой переменной. Для модели с банковским сектором дополнительно объединяются четыре новых шока, они называются «шоки банковского сектора». Из Рисунка 7а можно заметить, что в динамике ВВП преобладают перманентный технологический шок, шок объемов экспорта и шок наценки для ритейлеров-экспортеров. Модель не связывает падение ВВП в 2008-2009 годах со снижением цен на нефть, а связывает именно с падением экспорта, что является следствием данных. Напомним, что это лишь интерпретация данных моделями,

[26] Это требует дополнительной проверки.

которые имеют достаточно жесткую структуру[27]. Однако из Рисунков 7б и 7в видно, что шок цен на нефть оказывает влияние на потребление и инвестиции, которые являются компонентами ВВП. Стоит заметить, что это влияние практически полностью нивелируется импортом. Также для обоих показателей шок риск-премии является одним из доминирующих и вместе с шоком цен на нефть играет значительную роль в падении в 2014-2015 годах. Шок риск-премии и шок цен на нефть практически полностью объясняют и динамику валютного курса, что можно увидеть из Рисунка 7г. Несмотря на это, изменение валютного курса по-разному разделяется на эти шоки в двух моделях. Как можно заметить, в базовой модели шок риск-премии играет б*о*льшую роль, чем в модели с банковским сектором. Для описанных выше четырех показателей шоки банковского сектора вносят относительно небольшой вклад. Пожалуй, только для инвестиций этот вклад хоть сколько-нибудь сравним с размером превалирующих шоков. Такие эффекты выглядят логично: одним из основных каналов влияния банковского сектора, являются кредиты на покупку капитала, что создает спрос на инвестиции. Как можно видеть из Рисунка 7д, за исключением одного непродолжительного эпизода шоки банковского сектора не влияют и на инфляцию, но влияют значительно на ставку из-за ее достаточной персистентности (см. Рисунок 7е). Таким образом, модель говорит, что шоки банковского сектора практически не оказывали воздействия на реальный сектор в период с 2006 по 2016 год. Из-за влияния курса на импортные цены, мы также получаем большое влияние шоков риск-премии и цены на нефть на инфляцию. Т.к. мы устанавливаем инфляцию в равновесии на уровне 4%, модель показывает, что ставки были недостаточно высокими, чтобы снизить ее до такого уровня, генерируя шоки ДКП.

Далее в данном подразделе мы сравним прогнозные свойства двух описанных выше моделей с рядом альтернатив при условии известных внешних переменных (цена на нефть, зарубежный ВВП, зарубежная дефлятор ВВП и зарубежная ставка процента). В качестве альтернатив мы выбираем: AR(1)-процесс и BVAR-модель (с переменными как в базовой модели). AR(1)-процесс является моделью, которая не учитывает явным образом динамику внешних переменных и служит неким ориентиром для наших прогнозов. BVAR-модели обыкновенно выбираются в качестве альтернативы к DSGE-моделям и мы не отходим от этой традиции в данной работе. Мы используем BVAR с априорными распределениями как в *Giannone et al. (2015)*[28,29]. При этом объединяются три априорных распределения: *Minnesota prior*, *dummy-initial observation* и *sum-of-coefficients*.

[27] Вероятно, что введение коррелированных шоков может изменить этот результат.
[28] Возможно, что использование других априорных распределений улучшит прогнозные свойства модели, однако ответ на этот вопрос выходит за рамки текущей работы.
[29] Следуя оригинальной работе, мы выбираем 5 лагов.

Далее мы коротко опишем процедуру прогнозирования, которая использовалась для каждой из моделей. Рассматриваются только прогнозы на горизонт до 12 кварталов, при этом в качестве тестовой выборки берутся лишь последние 23 точки. Для каждой из моделей параметры оцениваются рекурсивно, а затем делается прогноз. В качестве оценки параметров для AR(1)-модели мы берем МНК-оценку. Для BVAR-модели сначала ищется максимум апостериорного распределения для гиперпараметров, далее при этих параметрах находится модальная ковариационная матрица, а затем модальные значения коэффициентов. Для DSGE-модели также используются модальные параметры.

Данные для BVAR-модели были немного скорректировали. Все реальные переменные были взяты в уровнях. Прогнозы этих переменных для остальных моделей также переводятся в уровни, однако изначально делаются в приростах.

Делая прогнозы, мы фактически проводим псевдо-реальный эксперимент, который отвечает на вопрос следующего типа: насколько та или иная модель была бы хороша для прогноза скорректированных (не в реальном времени) по необходимости на сезонность данных при наличии информации которая показывалась модели (все переменные до текущего периода и внешние переменные на прогнозный горизонт). Конечно же данный эксперимент далек от процедуры, которая в обычно используется при прогнозировании. Однако этот эксперимент позволяет надеяться, что мы сможем детектировать модели, которые сильно не попадают в псевдо-реальные значения переменных.

В Таблицах 4a-e представлены относительные RMSE для ВВП, потребления, инвестиций прироста валютного курса, изменения ИПЦ и MIACR на горизонты от 1 до 12 кварталов. Все RMSE представлены относительно AR(1) модели. Для всех переменных кроме ИПЦ, находится модель, которая на истории прогнозировала лучше, чем AR(1) модель. Для ВВП на горизонты от одного до трех кварталов базовая модель является наилучшей, на горизонты от четырех до 7 кварталов – BVAR. Модель с банковским сектором, однако обыгрывает остальные модели на горизонтах 8-12 кварталов. Она также побеждает на всех горизонтах и для потребления. Несмотря на тот факт, что для инвестиций BVAR модель с большим запасом обыгрывает все остальные, можно заметить, что модель с банковским сектором прогнозирует лучше, чем базовая модель. Обе DSGE-модели прогнозируют прирост валютного курса лучше других моделей, но базовая модель оказывается чуть сильнее. Для MIACR на разные горизонты либо базовая DSGE-модель, либо BVAR является лучшей. К сожалению, ни одна из моделей не обыгрывает AR(1) в прогнозе прироста ИПЦ, что для DSGE может быть следствием установления таргета на уровне 4 %, который не соответствует истории, при этом базовая модель оказывается стабильно не хуже модели с банковским сектором.

Из продемонстрированного можно сделать вывод, что для большинства показателей предложенные в данной работе DSGE-модели прогнозируют на уровне других моделей. При этом добавление банковского сектора может как улучшать, так и ухудшать прогнозные свойства, результат зависит от самого показателя.

5. Заключение

В данной работе была описана DSGE-модель российской экономики, которая используется в Банке России для проведения симуляционных экспериментов, а также ее расширенная версия с банковским сектором. Мы продемонстрировали, что предложенные модели имеют адекватные и хорошо интерпретируемые импульсные отклики как при начальной калибровке, так и при оцененных параметрах. Помимо этого, обе из описанных моделей обладают неплохими прогнозными свойствами, что позволяет надеяться, на возможность их использования не только для симуляционных упражнений, но и для прогнозирования.

Как говорилось во введении, предложенная модель является хорошей отправной точкой для понимания многих макроэкономических эффектов. Так, например, может анализироваться ряд каналов от совместного применения денежной и макропруденциальной политик. В частности, в качестве макропруденциальной политики может исследоваться введение различных правил на норматив по капиталу банков.

Список литературы

1. Bernanke B., Gertler M., Gilchrist S. The financial accelerator in a quantitative business cycle framework // Handbook of Macroeconomics. 1999. Vol. 1 (C). P. 1341-1393.
2. Born B., Pfeifer J. The New Keynesian Wage Phillips Curve: Calvo vs. Rotemberg // Dynare Working Papers Series. 2016. No. 51.
3. Calvo G. Staggered Prices in a Utility-Maximizing Framework // Journal of Monetary Economics. 1983. Vol. 12 (3). P. 383–398.
4. Christiano L., Eichenbaum M., Evans C. Nominal Rigidities and the Dynamic Effects of a Shock to Monetary Policy // Journal of Political Economy. 2005. Vol. 113(1). P. 1-45.
5. Christiano L., Rostagno M., Motto R. Financial factors in economic fluctuations // ECB Working Paper Series 2010. No. 1192
6. Christiano L., Motto R., Rostagno M. Risk Shocks // American Economic Review. 2014. Vol. 104 (1). P.27-65.
7. Christoffel K., Coenen G., Warne A. The New Area-Wide Model of the Euro Area: A Micro-Founded Open-Economy Model for Forecasting and Policy Analysis // ECB Working Paper Series. 2008. No. 944.
8. Del Negro, M., Schorfheide, F. DSGE Model-Based Forecasting // Handbook of Economic Forecasting. 2013. Vol. 2. P. 57-140
9. Domit S., Monti F., Sokol A. A Bayesian VAR benchmark for COMPASS // Bank of England, Staff Working Paper. 2016. No. 583.
10. Edge R., Gurkaynak R. How Useful Are Estimated DSGE Model Forecasts for Central Bankers? // Brookings Papers on Economic Activity, Economic Studies Program, The Brookings Institution. 2010. Vol. 41 (2). P. 209–259
11. Fagiolo G., Roventini A. Macroeconomic Policy in DSGE and Agent-Based Model Redux: New Developments and Challenges Ahead // LEM Working Paper Series. 2016.
12. Gerali A., Neri S., Sessa L., Signoretti F. Credit and Banking in a DSGE Model of the Euro Area // Journal of Money, Credit and Banking. 2010. Vol. 42. P. 107-141.
13. Iversen J., Laséen S., Lundvall H., Soderstrom U. Real-Time Forecasting for Monetary Policy Analysis: The Case of Sveriges Riksbank // Working Paper Series. 2016. No. 318, Sveriges Riksbank.
14. Muller U. Measuring Prior Sensitivity and Prior Informativeness in Large Bayesian Models // Journal of Monetary Economics. 2012. Vol. 59. P. 581-597.
15. Roberts, G., Rosenthal, J. Examples of Adaptive MCMC // Journal of Computational and Graphical Statistics. 2009. Vol. 18. P. 349–367.
16. Rotemberg J. Monopolistic Price Adjustment and Aggregate Output // Review of Economic Studies, Oxford University Press. 1982. Vol. 49 (4).P. 517—531.
17. Schmitt-Grohe S., Uribe M. Closing Small Open Economy Models // Journal of International Economics. 2003. Vol. 61. P. 163-185.
18. Sims C. Solving Linear Rational Expectations Models // Computational Economics. Society for Computational Economics. 2002. Vol. 20 (1–2). P. 1-20.
19. Smets F., Wouters R. An Estimated Stochastic General Equilibrium Model of the Euro Area // American Economic Review. 2007. Vol. 1. P. 1123-1175.

20. Smets F., Wouters R. Shocks and Frictions in US Business Cycles: A Bayesian DSGE Approach // Journal of the European Economic Association, 2003. Vol. 97(3). P. 586-606.
21. Иващенко С. Динамическая стохастическая модель общего экономического равновесия с банковским сектором и эндогенными дефолтами фирм // Журнал Новой экономической ассоциации. 2013. No. 3(19). C. 27-50.
22. Крепцев Д., Селезнев С. DSGE-модели российской экономики с малым количеством уравнений // Серия докладов Банка России об экономических исследованиях. 2016. No. 12.
23. Малаховская О. Использование моделей DSGE для прогнозирования: есть ли перспектива? // Вопросы экономики. 2016. No. 12. С. 129-146.
24. Полбин А., Дробышевский С. Построение динамической стохастической модели общего равновесия для российской экономики // Научные труды, Ин-т эконом. политики им. Е.Т. Гайдара. 2014. No. 166.

Приложение А. Детрендирование и нахождение стационарных состояний

Детрендирование для базовой модели

Мы детрендируем полученные уравнения деля номинальные переменные на уровень цен потребительских товаров в соответствующий период. Эти переменные обозначаются соответствующими символами в нижнем регистре. Мы также детрендируем объемы продаж ритейлеров и производителей, потребление, госпотребление, инвестиции, экспорт нефти, импорт, реальную заработную плату, капитал, изменение резервов, чистые иностранные пассивы, иностранный выпуск и иностранную заработную плату, поделив их на $(A_t)^{\frac{1}{\alpha}}$, но не изменяя обозначения. Мы обозначаем прирост $(A_t)^{\frac{1}{\alpha}}$ за g_t^A.

Домохозяйства

$$\beta E_t\left(\frac{c_t-h\left(g_t^A\right)^{-1}c_{t-1}}{g_{t+1}^A c_{t+1}-hc_t}\frac{R_t}{\pi_{t+1}}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}\right)=1 \tag{A.1}$$

$$R_t=R_t^{NFA}\frac{E_t\left(\frac{c_t-h\left(g_t^A\right)^{-1}c_{t-1}}{g_{t+1}^A c_{t+1}-hc_t}\frac{g_{t+1}^{\mathcal{E}}}{\pi_{t+1}}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}\right)}{E_t\left(\frac{c_t-h\left(g_t^A\right)^{-1}c_{t-1}}{g_{t+1}^A c_{t+1}-hc_t}\frac{1}{\pi_{t+1}}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}\right)} \tag{A.2}$$

$$\varepsilon_w\zeta_t^L\frac{(l_t)^{\phi}}{w_t}+\frac{\zeta_t^c}{c_t-h\left(g_t^A\right)^{-1}c_{t-1}}(1-\varepsilon_w)-\frac{\zeta_t^c}{c_t-hc_{t-1}}k_w\left(\frac{w_t}{w_{t-1}}\pi_t-(\pi_{t-1})^{\iota_w}(\pi_*)^{1-\iota_w}\right)\frac{w_t}{w_{t-1}}\pi_t+$$

$$\beta E_t\frac{\zeta_{t+1}^c}{g_{t+1}^A c_{t+1}-hc_t}k_w\left(\frac{w_{t+1}}{w_t}\pi_{t+1}-(\pi_t)^{\iota_w}(\pi_*)^{1-\iota_w}\right)\frac{w_{t+1}^2}{w_t^2}\pi_{t+1}g_{t+1}^A\frac{l_{t+1}}{l_t}=0 \tag{A.3}$$

Производители

$$Y_t=A_t^c {l_t}^{\alpha}K_t^{1-\alpha} \tag{A.4}$$

$$\alpha p_t^Y Y_t-w_t l_t=0 \tag{A.5}$$

$$(1-\alpha)p_t^Y Y_t-z_t K_t=0 \tag{A.6}$$

Ритейлеры

$$\left(1-\varepsilon_{h,t}\right)+\varepsilon_{h,t}\frac{p_t^Y}{p_t^H}-k_H(\pi_t^H-(\pi_{t-1}^H)^{\iota_H}(\pi_*)^{1-\iota_H})\pi_t^H+\beta k_H E_t\frac{C_t-h\left(g_t^A\right)^{-1}C_{t-1}}{g_{t+1}^A C_{t+1}-hC_t}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}(\pi_{t+1}^H-(\pi_t^H)^{\iota_H}(\pi_*)^{1-\iota_H})\frac{Y_{t+1}^H}{Y_t^H}\frac{\left(\pi_{t+1}^H\right)^2}{\pi_{t+1}}g_{t+1}^A=0 \tag{A.7}$$

$$\left(1-\varepsilon_{f,t}\right)+\varepsilon_{f,t}\frac{rer_t p_t^{F*}}{p_t^F}-k_F(\pi_t^F-(\pi_{t-1}^F)^{\iota_F}(\pi_*)^{1-\iota_F})\pi_t^F+\beta k_F E_t\frac{C_t-h\left(g_t^A\right)^{-1}C_{t-1}}{g_{t+1}^A C_{t+1}-hC_t}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}(\pi_{t+1}^F-(\pi_t^F)^{\iota_F}(\pi_*)^{1-\iota_F})\frac{Im_{t+1}}{Im_t}\frac{\left(\pi_{t+1}^F\right)^2}{\pi_{t+1}}g_{t+1}^A=0 \tag{A.8}$$

$$\left(1-\varepsilon_{*h,t}\right)+\varepsilon_{*h,t}\frac{p_t^Y}{rer_t}\frac{1}{p_t^{*H}}-k_{*H}(\pi_t^{*H}-(\pi_{t-1}^{*H})^{\iota_{*H}}(\pi^*)^{1-\iota_{*H}})\pi_t^{*H}+\beta k_{*H}E_t\frac{C_t-h\left(g_t^A\right)^{-1}C_{t-1}}{g_{t+1}^A C_{t+1}-hC_t}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}(\pi_{t+1}^{*H}-(\pi_t^{*H})^{\iota_{*H}}(\pi^*)^{1-\iota_{*H}})\frac{\left(\pi_{t+1}^{*H}\right)^2}{\pi_{t+1}}\frac{Y_{t+1}^{*H}}{Y_t^{*H}}g_{t+1}^A g_{t+1}^{\mathcal{E}}=0 \tag{A.9}$$

Упаковщики

$$C_t^p=\left(\gamma_C^{\frac{1}{\eta_C}}C_{H,t}^{1-\frac{1}{\eta_C}}+(1-\gamma_C)^{\frac{1}{\eta_C}}C_{F,t}^{1-\frac{1}{\eta_C}}\right)^{\frac{\eta_C}{\eta_C-1}} \tag{A.10}$$

$$C_{H,t}=\gamma_C(p_t^H)^{-\eta_C}C_t^p \tag{A.11}$$

$$C_{F,t}=(1-\gamma_C)(p_t^F)^{-\eta_C}C_t^p \tag{A.12}$$

$$I_t+a(u_t)K_t'=U_t\left(\gamma_I^{\frac{1}{\eta_I}}I_{H,t}^{1-\frac{1}{\eta_I}}+(1-\gamma_I)^{\frac{1}{\eta_I}}I_{F,t}^{1-\frac{1}{\eta_I}}\right)^{\frac{\eta_I}{\eta_I-1}} \tag{A.13}$$

$$I_{H,t}=\gamma_I\left(\frac{p_t^H}{p_t^I U_t}\right)^{-\eta_I}\frac{I_t+a(u_t)K_t'}{U_t} \tag{A.14}$$

$$I_{F,t}=(1-\gamma_I)\left(\frac{p_t^F}{p_t^I U_t}\right)^{-\eta_I}\frac{I_t+a(u_t)K_t'}{U_t} \tag{A.15}$$

Инвестиционные фирмы

$$g_t^A K_t'=(1-\delta)K_{t-1}'+\left(1-\frac{k_I}{2}\left(\frac{I_{t-1}}{I_{t-2}}-1\right)^2\right)I_{t-1} \tag{A.16}$$

$$-q_t+\beta E_t\frac{C_t-h\left(g_t^A\right)^{-1}C_{t-1}}{g_{t+1}^A C_{t+1}-hC_t}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c}\left((1-\delta)q_{t+1}+u_{t+1}z_{t+1}-p_{t+1}^I a(u_{t+1})\right)=0 \tag{A.17}$$

$$-p_t^I + q_t\left(\left(1-\frac{k_I}{2}\left(\frac{I_t}{I_{t-1}}-1\right)^2\right)-k_I\left(\frac{I_t}{I_{t-1}}-1\right)\frac{I_t}{I_{t-1}}\right)+$$

$$+\beta k_I E_t \frac{C_t-h\left(g_t^A\right)^{-1}C_{t-1}}{g_{t+1}^A C_{t+1}-hC_t}\frac{\zeta_{t+1}^c}{\zeta_t^c} q_{t+1}\left(\frac{I_{t+1}}{I_t}-1\right)\frac{(I_{t+1})^2}{(I_t)^2} g_{t+1}^A = 0 \quad \text{(A.18)}$$

$$z_t - p_t^I a'(u_t) = 0 \quad \text{(A.19)}$$

Центральный банк

$$\frac{R_t}{R_*} = \left(\frac{R_{t-1}}{R_*}\right)^{\phi_R}\left(\frac{\pi_t}{\pi_*}\right)^{(1-\phi_R)\phi_\pi} e^{e_t^R} \quad \text{(A.20)}$$

$$dres_t = e_t^{res} \quad \text{(A.21)}$$

Внешняя экономика

$$Y_t^{*H} = \gamma_{export}(p_t^{*H})^{-\eta_{export}} Y_t^* \quad \text{(A.22)}$$

$$\beta^* E_t\left(\frac{Y_t^*-h^*\left(g_t^A\right)^{-1}Y_{t-1}^*}{g_{t+1}^A Y_{t+1}^*-h^* Y_t^*}\frac{R_t^*}{\pi_{t+1}^*}\frac{\zeta_{t+1}^{*c}}{\zeta_t^{*c}}\right) = 1 \quad \text{(A.23)}$$

$$-\zeta^{*L}\frac{(l_t^*)^{\phi^*}}{w_t^*} + \frac{\zeta_t^{*c}}{Y_t^*-h^*\left(g_t^A\right)^{-1}Y_{t-1}^*} = 0 \quad \text{(A.24)}$$

$$Y_t^* = A_t^* l_t^* \quad \text{(A.25)}$$

$$p_t^{*Y} A_t^* - w_t^* = 0 \quad \text{(A.26)}$$

$$(1-\varepsilon_h^*) + \varepsilon_h^* p_t^{*Y} - k^*(\pi_t^* - (\pi_{t-1}^*)^{\iota_*}(\pi^*)^{1-\iota_*})\pi_t^* + \beta^* k^* E_t \frac{Y_t^*-h^*\left(g_t^A\right)^{-1}Y_{t-1}^*}{g_{t+1}^A Y_{t+1}^*-h^* Y_t^*}\frac{\zeta_{t+1}^{*c}}{\zeta_t^{*c}}(\pi_{t+1}^* -$$

$$-(\pi_t^*)^{\iota_*}(\pi^*)^{1-\iota_*})\frac{Y_{t+1}^*}{Y_t^*}\pi_{t+1}^* g_{t+1}^A = 0 \quad \text{(A.27)}$$

$$\frac{R_t^*}{R^*} = \left(\frac{R_{t-1}^*}{R^*}\right)^{\phi_R^*}\left(\frac{\pi_t^*}{\pi^*}\right)^{(1-\phi_R^*)\phi_\pi^*} e^{e_t^{*R}} \quad \text{(A.28)}$$

Дополнительные уравнения

$$\frac{R_{t-1}^{NFA}}{g_t^A \pi_t^*} d_{t-1}^* = d_t^* + p_t^{oil} S_t^{oil} + p_t^{*H} Y_t^{*H} + ip_t - p_t^{F*} IM_t - dres_t \quad \text{(A.29)}$$

$$R_t^{NFA} = R_t^* e^{\varphi_{nfa}(rer_t d_t^* - rer_{ss} d_{ss}^*)} z_t^{RP} \quad \text{(A.30)}$$

$$IM_t = Im_t + \frac{k_F}{2}(\pi_t^F - (\pi_{t-1}^F)^{\iota_H}(\pi_*)^{1-\iota_F})^2 Im_t \frac{p_t^F}{rer_t p_t^{F*}} \quad \text{(A.31)}$$

$$Im_t = I_{F,t} + C_{F,t} \quad \text{(A.32)}$$

$$Y_t^H = I_{H,t} + C_{H,t} \quad \text{(A.33)}$$

$$C_t^p = C_t + \frac{k_w}{2}\left(\frac{w_t}{w_{t-1}}\pi_t - (\pi_{t-1})^{\iota_w}(\pi_*)^{1-\iota_w}\right)^2 w_t l_t \tag{A.34}$$

$$K_t = u_t K_t' \tag{A.35}$$

$$Y_t = Y_t^H + Y_t^{*H} + G_t + \frac{k_H}{2}(\pi_t^H - (\pi_{t-1}^H)^{\iota_H}(\pi_*)^{1-\iota_H})^2 Y_t^H \frac{p_t^H}{p_t^Y} + + \frac{k_{*H}}{2}(\pi_t^{*H} - (\pi_{t-1}^{*H})^{\iota_{*H}}(\pi^*)^{1-\iota_{*H}})^2 Y_t^{*H}\frac{rer_t p_t^{*H}}{p_t^Y} \tag{A.36}$$

$$g_t^{\mathcal{E}} = \frac{rer_t}{rer_{t-1}}\frac{\pi_t}{\pi_t^*} \tag{A.37}$$

$$\pi_t^H = \frac{p_t^H}{p_{t-1}^H}\pi_t \tag{A.38}$$

$$\pi_t^F = \frac{p_t^F}{p_{t-1}^F}\pi_t \tag{A.39}$$

$$\pi_t^{*H} = \frac{p_t^{*H}}{p_{t-1}^{*H}}\pi_t^* \tag{A.40}$$

Решение системы для стационарного состояния для базовой модели

Для ускорения процедуры решения системы для стационарного состояния[30] модели мы следуем алгоритму, описанному ниже.

Мы начинаем решение системы с решения блока для внешней экономики. Равновесная ставка и инфляция устанавливаются на заданном уровне:

$$R_{ss}^* = R_{ss}^{*obs}$$

$$\pi_{ss}^* = \pi_{ss}^{*obs}$$

Фактор дисконтирования для иностранных домохозяйств определяется из уравнения (A.23) при условии известных темпов экономического роста:

$$\beta^* = \frac{\pi_{ss}^* g_{ss}^A}{R_{ss}^*}$$

Относительная цена промежуточных товаров и реальная заработная плата в иностранной экономике определяется из уравнений (A.27) и (A.26):

$$p_{ss}^{*Y} = \frac{\varepsilon_h^* - 1}{\varepsilon_h^*}$$

$$w_{ss}^* = p_{ss}^{*Y} A_{ss}^*$$

Комбинируя (A.24) и (A.25), а также выбирая l_{ss}^* равным единице, мы получаем уравнение для нахождения ζ^{*L}:

[30] Состояние, в котором при отсутствии шоков детрендированные переменные не изменяются.

$$\zeta^{*L} = \frac{\zeta_{ss}^{*c}}{1 - h^*(g_{ss}^A)^{-1}} \frac{w_{ss}^*}{A_t^*(l_{ss}^*)^{1+\phi^*}}$$

Из (A.25) находим Y_{ss}^*:

$$Y_{ss}^* = A_{ss}^* l_{ss}^*$$

Найдя значение стационарного состояния для внешней экономики, мы переходим к нахождению стационарного состояния для отечественной экономики. Задавая стационарное состояние для реального валютного курса равное единице, получаем из уравнения (A.8):

$$p_{ss}^F = \frac{\varepsilon_{f,ss}}{\varepsilon_{f,ss} - 1} rer_{ss} p_{ss}^{F*}$$

Мы калибруем доли импорта в потреблении и инвестициях. Используя долю импорта в потреблении и уравнение (A.12), получаем:

$$\gamma_C = 1 - \left(\frac{P^F C_F}{PC^p}\right)_{ss} (p_{ss}^F)^{\eta_C - 1}$$

Далее мы выражаем относительную цену отечественных товаров из системы уравнений (A.10)−(A.12):

$$p_{ss}^H = \left(\frac{1}{\gamma_C} - \frac{1-\gamma_C}{\gamma_C} (p_{ss}^F)^{1-\eta_C}\right)^{\frac{1}{1-\eta_C}}$$

Используя долю импорта в инвестициях, находим из (A.14) и (A.15):

$$\gamma_I = \frac{\left(1 - \left(\frac{P^F I_F}{P^I I}\right)_{ss}\right) \left(\frac{p_t^H}{p_t^F}\right)^{\eta_I - 1}}{\left(\frac{P^F I_F}{P^I I}\right)_{ss} + \left(1 - \left(\frac{P^F I_F}{P^I I}\right)_{ss}\right) \left(\frac{p_t^H}{p_t^F}\right)^{\eta_I - 1}}$$

Цена инвестиционных товаров выражается из системы уравнений (A.13)−(A.15) :

$$p_{ss}^I = \frac{(\gamma_I (p_{ss}^H)^{1-\eta_I} + (1-\gamma_I)(p_{ss}^F)^{1-\eta_I})^{\frac{1}{1-\eta_C}}}{U_{ss}}$$

Промежуточная цена домашних товаров, цена экспортируемых товаров и цена капитала легко находятся из уравнений (A.7), (A.9) и (A.18) соответственно:

$$p_{ss}^{Y,p} = \frac{\varepsilon_{h,ss} - 1}{\varepsilon_{h,ss}} p_{ss}^H$$

$$p_{ss}^{*H} = \frac{\varepsilon_{*h,ss}}{\varepsilon_{*h,ss} - 1} \frac{p_{ss}^{Y,p}}{rer_{ss}}$$

$$q_{ss} = p_{ss}^I$$

Найдя относительные цены в отечественной экономике, переходим к остальным переменным. Аналогично переменным для иностранной экономики, мы задаем инфляцию и процентную ставку, а затем находим фактор дисконтирования из уравнения (A.1):

$$R_{ss} = R_{ss}^{obs}$$

$$\pi_{ss} = \pi_{ss}^{obs}$$

$$\beta = \frac{\pi_{ss} g_{ss}^{A}}{R_{ss}}$$

Из уравнений (A.37)−(A.40) находим:

$$g_{ss}^{\mathcal{E}} = \frac{\pi_{ss}}{\pi_{ss}^{*}}$$

$$\pi_{ss}^{H} = \pi_{ss}$$

$$\pi_{ss}^{F} = \pi_{ss}$$

$$\pi_{ss}^{*H} = \pi_{ss}^{*}$$

Мы выбирали функцию $a(u_t)$ таким образом, что в стационарном состоянии

$$u_{ss} = 1$$

Далее мы составляем систему уравнений для нахождения стационарного состояния потребления, капитала, экзогенного процесса, отвечающего за предпочтения домохозяйств относительно количества отработанных часов, а также нормы амортизации капитала.

Соединяя уравнения (A.3), (A.5), (A.6), (A.17) и (A.18) получим:

$$\frac{\alpha}{1-\alpha}\frac{K_{ss}}{l_{ss}}\left(\frac{g_{ss}^{A}}{\beta} + \delta - 1\right) q_{ss} = \frac{\varepsilon_w}{\varepsilon_w - 1}\zeta_{ss}^{L}\frac{(l_{ss})^{\phi}}{\zeta_{ss}^{c}} C_{ss}\left(1 - h\left(g_{ss}^{A}\right)^{-1}\right)$$

Соединяя (A.3) и (A.5) получим второе уравнение:

$$(1-\alpha) p_{ss}^{Y} A_{ss}^{c}\left(\frac{l_{ss}}{K_{ss}}\right)^{\alpha} = \left(\frac{g_{ss}^{A}}{\beta} + \delta - 1\right) q_{ss}$$

Третье уравнение – комбинация уравнений (A.4), (A.11), (A.14), (A.16), (A.22), (A.33), (A.36), а также калибровки отношений ненефтяного экспорта к потреблению и госпотребления к потреблению:

$$A_{ss}^{c} {l_{ss}}^{\alpha} K_{ss}^{1-\alpha} = \gamma_I \left(\frac{p_{ss}^{H}}{p_{ss}^{I} U_{ss}}\right)^{-\eta_I} \frac{(g_{ss}^{A} + \delta - 1) K_{ss}}{U_{ss}} + \gamma_C \left(p_{ss}^{H}\right)^{-\eta_C} C_{ss} + \left(\frac{\mathcal{E} P^{*H} Y^{*H}}{PC}\right)_{ss} \frac{C_{ss}}{p_{ss}^{*H} rer_{ss}} + \left(\frac{P^{Y} G}{PC}\right)_{ss} \frac{C_{ss}}{p_{ss}^{Y}}$$

Последнее уравнение задает калиброванное отношение инвестиций к потреблению:

$$\left(\frac{P^{I} I}{PC}\right)_{ss} = \frac{(g_{ss}^{A} + \delta - 1) p_{ss}^{I} K_{ss}}{C_{ss}}$$

Домножим второе уравнение на K_{ss} и подставим третье и четвертое:

$$(1-\alpha)p_{ss}^{Y}\left(\gamma_I\left(\frac{p_{ss}^{H}}{p_{ss}^{I}U_{ss}}\right)^{-\eta_I}\left(\frac{P^I I}{PC}\right)_{ss}\frac{1}{p_{ss}^{I}U_{ss}}+\gamma_C(p_{ss}^{H})^{-\eta_C}+\left(\frac{\mathcal{E}P^{*H}Y^{*H}}{PC}\right)_{ss}\frac{1}{p_{ss}^{*H}rer_{ss}}\right.$$
$$\left.+\left(\frac{P^Y G}{PC}\right)_{ss}\frac{1}{p_{ss}^{Y}}\right)=\frac{\frac{g_{ss}^{A}}{\beta}+\delta-1}{g_{ss}^{A}+\delta-1}\frac{q_{ss}}{p_{ss}^{I}}\left(\frac{P^I I}{PC}\right)_{ss}$$

Выражаем отсюда

$$\delta=\frac{const1(g_{ss}^{A}-1)+1-\frac{g_{ss}^{A}}{\beta}}{1-\ const1}$$

где

$$const1=\frac{(1-\alpha)p_{ss}^{Y}\left(\gamma_I\left(\frac{p_{ss}^{H}}{p_{ss}^{I}U_{ss}}\right)^{-\eta_I}\left(\frac{P^I I}{PC}\right)_{ss}\frac{1}{p_{ss}^{I}U_{ss}}+\gamma_C(p_{ss}^{H})^{-\eta_C}+\left(\frac{\mathcal{E}P^{*H}Y^{*H}}{PC}\right)_{ss}\frac{1}{p_{ss}^{*H}rer_{ss}}+\left(\frac{P^Y G}{PC}\right)_{ss}\frac{1}{p_{ss}^{Y}}\right)}{\frac{q_{ss}}{p_{ss}^{I}}\left(\frac{P^I I}{PC}\right)_{ss}}$$

Из уравнения (А.17) получаем уравнение для арендной стоимости капитала:

$$z_{ss}=\left(\frac{g_{ss}^{A}}{\beta}+\delta-1\right)q_{ss}$$

Из второго уравнения выражаем капитал:

$$K_{ss}=\left(\frac{z_{ss}}{(1-\alpha)p_{ss}^{Y}A_{ss}^{c}}\right)^{-\frac{1}{\alpha}}l_{ss}$$

Из уравнения (А.16) находим стационарное состояние для инвестиций:

$$I_{ss}=(g_{ss}^{A}+\delta-1)K_{ss}$$

Четвертое уравнение задает стационарное состояние для потребления:

$$C_{ss}=\frac{(g_{ss}^{A}+\delta-1)p_{ss}^{I}K_{ss}}{\left(\frac{P^I I}{PC}\right)_{ss}}$$

Наконец из первого уравнения выражаем стационарное состояние экзогенного процесса, отвечающего за предпочтения домохозяйств относительно количества отработанных часов:

$$\zeta_{ss}^{L}=\frac{\varepsilon_w-1}{\varepsilon_w}\frac{\alpha}{1-\alpha}\frac{\frac{K_{ss}}{l_{ss}}\left(\frac{g_{ss}^{A}}{\beta}+\delta-1\right)q_{ss}\zeta_{ss}^{c}}{C_{ss}(1-h(g_{ss}^{A})^{-1})(l_{ss})^{\phi}}$$

Другие переменные легко выражаются из оставшихся уравнений:

$$Y_{ss}=A_{ss}^{c}{l_{ss}}^{\alpha}K_{ss}^{1-\alpha}$$

$$w_{ss}=\frac{\alpha p_{ss}^{Y}Y_{ss}}{l_{ss}}$$

$$R_{ss}^{NFA}=\frac{R_{ss}}{g_{ss}^{\mathcal{E}}}$$

$$z_{ss}^{RP} = \frac{R_{ss}^{NFA}}{R_{ss}^{*}}$$

$$I_{H,ss} = \gamma_I \left(\frac{p_{ss}^{H}}{p_{ss}^{I} U_{ss}}\right)^{-\eta_I} \frac{I_{ss}}{U_{ss}}$$

$$I_{F,ss} = (1-\gamma_I) \left(\frac{p_{ss}^{F}}{p_{ss}^{I} U_{ss}}\right)^{-\eta_I} \frac{I_{ss}}{U_{ss}}$$

$$C_{H,ss} = \gamma_C (p_{ss}^{H})^{-\eta_C} C_{ss}^{p}$$

$$C_{F,ss} = (1-\gamma_C)(p_{ss}^{F})^{-\eta_C} C_{ss}^{p}$$

$$G_{ss} = \left(\frac{P^{Y} G}{PC}\right)_{ss} \frac{C_{ss}}{p_{ss}^{Y}}$$

$$Y_{ss}^{H} = I_{H,ss} + C_{H,ss}$$

$$Im_{ss} = I_{F,ss} + C_{F,ss}$$

$$Y_{t}^{*H} = Y_{ss} - Y_{ss}^{H} - G_{ss}$$

$$\gamma_{export} = \frac{Y_{ss}^{*H}}{(p_{ss}^{*H})^{-\eta_{export}} Y_{ss}^{*}}$$

$$S_{ss}^{oil} = \left(\frac{\mathcal{E} P^{oil} S}{PC}\right)_{ss} \frac{C_{ss}}{rer_{ss} p_{ss}^{oil}}$$

$$d_{ss}^{*} = \frac{p_{ss}^{oil} S_{ss}^{oil} + p_{ss}^{*H} Y_{ss}^{*H} - p_{ss}^{F*} Im_{ss} + ip_{ss}}{\frac{R_{ss}^{NFA}}{g_{ss}^{A} \pi_{ss}^{*}} - 1}$$

Детрендирование в модели с банковским сектором

Мы детрендируем переменные в модели с банковским сектором таким же образом, как и в базовой модели. Обозначения следуют тому же принципу предыдущего.

Предприниматели и рисковое подразделение банка

$$q_t \overline{K}_t = b_t + n_t \tag{A.41}$$

$$R_t^{k} = \frac{\left(u_t z_t - a(u_t) p_t^{I}\right) + (1-\delta) q_t}{q_{t-1}} \pi_{\mathrm{t}} \tag{A.42}$$

$$\overline{\omega}_t R_t^{k} q_{t-1} \overline{K}_{t-1} = R_t^{en} b_{t-1} \tag{A.43}$$

$$\Gamma_{t-1}(\overline{\omega}_t) - \mu G_{t-1}(\overline{\omega}_t) = \frac{R_{t-1}^{b}}{R_t^{k}} \frac{b_{t-1}}{q_{t-1} \overline{K}_{t-1}} \tag{A.44}$$

$$n_t = \frac{\gamma_t \left(1 - \Gamma_{t-1}(\overline{\omega}_t)\right) R_t^{k} q_{t-1} \overline{K}_{t-1}}{\pi_{\mathrm{t}}} + tr_t^{e} \tag{A.45}$$

$$E_t\left(\left(1-\Gamma_t(\overline{\omega}_{t+1})\right)\frac{R^k_{t+1}}{R^b_t}+\frac{\Gamma_t{}'(\overline{\omega}_{t+1})}{\Gamma_t{}'(\overline{\omega}_{t+1})-\mu G_t{}'(\overline{\omega}_{t+1})}\left(\frac{R^k_{t+1}}{R^b_t}\left(\Gamma_t(\overline{\omega}_{t+1})-\mu G_t(\overline{\omega}_{t+1})\right)-1\right)\right)=0 \quad \text{(A.46)}$$

$$\frac{z_t}{p^I_t}-a'(u_t)=0 \quad \text{(A.47)}$$

Инвестиционные фирмы

$$\overline{K}_t=\overline{K}'_t+\left(1-\frac{k_I}{2}\left(\frac{I_t}{I_{t-1}e^{g_{I,ss_t}}}-1\right)^2\right)I_t \quad \text{(A.48)}$$

$$-p^I_t+q_t\left(\left(1-\frac{k_I}{2}\left(\frac{I_t}{I_{t-1}}-1\right)^2\right)-k_I\left(\frac{I_t}{I_{t-1}}-1\right)\frac{I_t}{I_{t-1}}\right)+$$

$$+\beta k_I E_t\frac{C_t-h\left(g^A_t\right)^{-1}C_{t-1}}{g^A_{t+1}C_{t+1}-hC_t}\frac{\zeta^c_{t+1}}{\zeta^c_t}q_{t+1}\left(\frac{I_{t+1}}{I_t}-1\right)\frac{(I_{t+1})^2}{(I_t)^2}g^A_{t+1}=0 \quad \text{(A.49)}$$

Банки

$$\text{п}^b_t=\frac{\left(R^b_{t-1}-R_{t-1}\right)}{g^A_t\pi_t}b_{t-1}+\frac{R_{t-1}-\delta_b-1}{g^A_t\pi_t}j_{t-1}+\frac{R_{t-1}-R^D_{t-1}}{g^A_t\pi_t}(b_{t-1}-j_{t-1})-\frac{k^K}{2}\left(\frac{j_t}{b_t}-\omega^J\right)^2 j_t-\frac{k^b}{2}\left(\frac{R^b_t}{\left(R^b_{t-1}\right)^{\iota_b}\left(R^b_{ss}\right)^{1-\iota_b}}-\right.$$

$$\left.1\right)^2 b_t-\frac{k^D}{2}\left(\frac{R^D_t}{\left(R^D_{t-1}\right)^{\iota_d}\left(R^D_{ss}\right)^{1-\iota_d}}-1\right)^2 d_t \quad \text{(A.50)}$$

$$j_t=\frac{j_{t-1}}{g^A_t\pi_t}+o_t\text{п}^b_t \quad \text{(A.51)}$$

$$-\left((1-o_t)+o_t m_t\right)\left(k^K\varepsilon^b_t\left(\frac{j_t}{b_t}-\omega^J\right)\left(\frac{j_t}{b_t}\right)^2\frac{1}{R^b_t}+k^b\left(\frac{R^b_t}{\left(R^b_{t-1}\right)^{\iota_b}\left(R^b_{ss}\right)^{1-\iota_b}}-1\right)\frac{1}{\left(R^b_{t-1}\right)^{\iota_b}\left(R^b_{ss}\right)^{1-\iota_b}}\right)+$$

$$\beta E_t\frac{C_t-h\left(g^A_t\right)^{-1}C_{t-1}}{g^A_{t+1}C_{t+1}-hC_t}\frac{\zeta^c_{t+1}}{\zeta^c_t}\left(\frac{(1-o_{t+1})}{\pi_{t+1}}+\frac{o_{t+1}m_{t+1}}{\pi_{t+1}}\right)\left(\left(1-\varepsilon^b_t\right)+\varepsilon^b_t\frac{R_t}{R^b_t}+k^b\left(\frac{R^b_{t+1}}{\left(R^b_t\right)^{\iota_b}\left(R^b_{ss}\right)^{1-\iota_b}}-\right.\right.$$

$$\left.\left.1\right)\frac{\iota_b R^b_{t+1}}{\left(R^b_t\right)^{\iota_b}\left(R^b_{ss}\right)^{1-\iota_b}}\frac{g^A_{t+1}\pi_{t+1}}{R^b_t}\frac{b_{t+1}}{b_t}\right)=0 \quad \text{(A.52)}$$

$$-\left((1-o_t)+o_t m_t\right)\left(k^D\left(\frac{R^D_t}{\left(R^D_{t-1}\right)^{\iota_d}\left(R^D_{ss}\right)^{1-\iota_d}}-1\right)\frac{1}{\left(R^D_{t-1}\right)^{\iota_d}\left(R^D_{ss}\right)^{1-\iota_d}}\right)+\beta E_t\frac{C_t-h\left(g^A_t\right)^{-1}C_{t-1}}{g^A_{t+1}C_{t+1}-hC_t}\frac{\zeta^c_{t+1}}{\zeta^c_t}\left(\frac{(1-o_{t+1})}{\pi_{t+1}}+\right.$$

$$\left.\frac{o_{t+1}m_{t+1}}{\pi_{t+1}}\right)\left(-(1+\varepsilon^D_t)+\varepsilon^D_t\frac{R_t}{R^D_t}+k^D\left(\frac{R^D_{t+1}}{\left(R^D_t\right)^{\iota_d}\left(R^D_{ss}\right)^{1-\iota_d}}-1\right)\frac{\iota_d R^D_{t+1}}{\left(R^D_t\right)^{\iota_d}\left(R^D_{ss}\right)^{1-\iota_d}}\frac{g^A_{t+1}\pi_{t+1}}{R^D_t}\frac{d_{t+1}}{d_t}\right)=0 \quad \text{(A.53)}$$

Модифицированная производственная функция

$$Y_t=A^c_t {l_t}^{\alpha}K^{1-\alpha}_t-\Phi \quad \text{(A.4*)}$$

$$\alpha p^Y_t(Y_t+\Phi)-w_t l_t=0 \quad \text{(A.5*)}$$

$$(1-\alpha)p^Y_t(Y_t+\Phi)-z_t K_t=0 \quad \text{(A.6*)}$$

Дополнительные уравнения

$$g_t^A \overline{K}_t' = (1-\delta)\overline{K}_{t-1} \tag{A.54}$$

$$g_t^A K_t = u_t \overline{K}_{t-1} \tag{A.55}$$

Стационарное состояние в модели с банковским сектором

Решение системы уравнений для стационарных состояний во многом совпадает с решением системы для стационарных состояний в базовой, поэтому мы опишем лишь часть, которая отличается от базовой модели.

Из (A.52) и (A.53) несложно найти:

$$R_{ss}^b = \frac{\varepsilon_{ss}^b}{\varepsilon_{ss}^b - 1} R_{ss}$$

$$R_{ss}^D = \frac{\varepsilon_{ss}^D}{\varepsilon_{ss}^D + 1} R_{ss}$$

Задавая соотношение собственного капитала к кредитам получаем:

$$j_{ss} = \left(\frac{j}{b^{DC}}\right)_{ss} b_{ss}^{DC}$$

Мы также предполагаем, что:

$$\omega^J = \left(\frac{j}{b^{DC}}\right)_{ss}$$

Из (A.50) и (A.51) находим:

$$\text{п}_{ss}^b = \frac{\left(R_{ss}^b - R_{ss}\right)}{g_{ss}^A \pi_{ss}} b_{ss} + \frac{R_{ss} - \delta_b - 1}{g_{ss}^A \pi_{ss}} j_{ss} + \frac{R_{ss} - R_{ss}^D}{g_{ss}^A \pi_{ss}} (b_{ss} - j_{ss})$$

$$o_{ss} = \left(1 - \frac{1}{g_{ss}^A \pi_{ss}}\right)\left(\frac{j}{\text{п}^b}\right)_{ss}$$

Блок цен рассчитывается аналогично предыдущей модели. Различия, начинаются с уравнения для нахождения нормы амортизации. Однако норма амортизации задается изначально, поэтому из похожего уравнения находится дополнительный свободный параметр Ф. Уравнение для Ф выглядит следующим образом:

$$\frac{\left(\frac{R_{ss}^k}{\pi_{ss}} + \delta - 1\right) q_{ss}}{(g_{ss}^A + \delta - 1) p_{ss}^I (1-\alpha) p_{ss}^Y} \left(\frac{P^I I}{PC}\right)_{ss} - \frac{\Phi}{C_{ss}} =$$

$$= \gamma_I \left(\frac{p_{ss}^H}{p_{ss}^I U_{ss}}\right)^{-\eta_I} \left(\frac{P^I I}{PC}\right)_{ss} \frac{1}{p_{ss}^I U_{ss}} + \gamma_C (p_{ss}^H)^{-\eta_C} + \left(\frac{\mathcal{E} P^{*H} Y^{*H}}{PC}\right)_{ss} \frac{C_{ss}}{p_{ss}^{*H} rer_{ss}} + \left(\frac{P^Y G}{PC}\right)_{ss} \frac{1}{p_{ss}^Y}$$

Отсюда легко выражаем:

$$\frac{\Phi}{C_{ss}} = \frac{\left(\frac{R_{ss}^k}{\pi_{ss}} + \delta - 1\right) q_{ss}}{(g_{ss}^A + \delta - 1) p_{ss}^I (1-\alpha) p_{ss}^Y} \left(\frac{P^I I}{PC}\right)_{ss} - \gamma_I \left(\frac{p_{ss}^H}{p_{ss}^I U_{ss}}\right)^{-\eta_I} \left(\frac{P^I I}{PC}\right)_{ss} \frac{1}{p_{ss}^I U_{ss}} - \gamma_C (p_{ss}^H)^{-\eta_C} - \left(\frac{\mathcal{E} P^{*H} Y^{*H}}{PC}\right)_{ss} \frac{C_{ss}}{p_{ss}^{*H} rer_{ss}} - \left(\frac{P^Y G}{PC}\right)_{ss} \frac{1}{p_{ss}^Y}$$

Однако к этому моменту мы не знаем значение R_{ss}^k. Последовательность действий для его нахождения описана ниже.

Из уравнения (A.42) получим:

$$z_{ss} = \left(\frac{R_{ss}^k}{\pi_{ss}} + \delta - 1\right) q_{ss}$$

Мы также задаем стационарный уровень банкротств и отношение собственных средств к активам, что помогает определить переменные финансового сектора.

Следуя *Del Negro and Schorfheide (2012)* мы используем логнормальное распределение для идиосинкратического шока. Введем обозначения:

$$z_{ss}^{\omega} = \frac{ln\,\bar{\omega}_{ss} + 0.5\sigma_{\omega,ss}^2}{\sigma_{\omega,ss}}$$

тогда

$$\Gamma(\bar{\omega}_{ss}) = \bar{\omega}_{ss}\left(1 - \Phi(z_{ss}^{\omega})\right) + \Phi\left(z_{ss}^{\omega} - \sigma_{\omega,ss}\right)$$
$$G(\bar{\omega}_{ss}) = \Phi\left(z_{ss}^{\omega} - \sigma_{\omega,ss}\right)$$
$$\Gamma'(\bar{\omega}_{ss}) = 1 - \Phi(z_{ss}^{\omega})$$
$$G'(\bar{\omega}_{ss}) = \frac{1}{\sigma_{\omega,ss}} \phi(z_{ss}^{\omega})$$

где $\Phi(x)$ – кумулятивная функция нормального распределения со средним 0 и дисперсией 1, $\phi(x)$ – функция плотности для того же распределения.

Из системы уравнений (A.43), (A.44) и (A.46) находим $\bar{\omega}_{ss}$, $\sigma_{\omega,ss}$, R_{ss}^{en} и R_{ss}^k. Стоит отметить, что решение зависит только от $\left(1 - \frac{n}{q\bar{K}}\right)_{ss}$, Φ_{ss}, R_{ss} и μ, которые задаются извне, поэтому мы решаем эту систему лишь один раз для всех параметризаций.

Далее решение аналогично базовой модели.

Приложение Б. Таблицы и рисунки

Таблица 1. Обозначения параметров и их расшифровка

Параметр	Расшифровка
β	коэффициент дисконтирования предпочтений домохозяйств
h	коэффициент, отвечающий за формирование привычек в потреблении
ϕ	кривизна отрицательной полезности труда
k_w	коэффициент, отвечающий за издержки отклонения роста зарплаты от желаемого уровня
ι_w	вес лагового значения в желаемом уровне зарплат
ε_w	эластичность предложения труда по зарплате
π_*	таргетируемый уровень инфляции
α	степень на труд в производственной функции
k_H	коэффициент, отвечающий за издержки отклонения цен отечественных товаров от желаемого уровня
ι_H	вес лагового значения в желаемом уровне цен отечественных товаров
k_F	коэффициент, отвечающий за издержки отклонения цен импортных товаров от желаемого уровня
ι_F	вес лагового значения в желаемом уровне цен импортных товаров
k_{*H}	коэффициент, отвечающий за издержки отклонения цен экспортных товаров от желаемого уровня
ι_{*H}	вес лагового значения в желаемом уровне цен экспортных товаров
π^*	таргетируемый уровень зарубежной инфляции
γ_C	параметр, отвечающий за долю отечественных товаров в потреблении
η_C	эластичность замещения отечественных и импортных товаров в потреблении
γ_I	параметр, отвечающий за долю отечественных товаров в инвестициях
η_I	эластичность замещения отечественных и импортных товаров в инвестициях
δ	норма амортизации капитала

k_I	коэффициент, отвечающий за издержки отклонения роста инвестиций от желаемого уровня
β^*	коэффициент дисконтирования предпочтений зарубежных домохозяйств
h^*	коэффициент отвечающий за формирование привычек в потреблении зарубежом
ϕ^*	кривизна отрицательной полезности труда зарубежной экономики
ζ^{*L}	коэффициент отрицательной полезности труда
ε_h^*	эластичность прадаваемых заграницей товаров по ценам
k^*	коэффициент, отвечающий за издержки отклонения цен товаров зарубежом от желаемого уровня
ι_*	вес лагового значения в желаемом уровне цен зарубежом
R^*	зарубежный уровень равновесной номинальной ставки
ϕ_R^*	коэффициент на ставку в зарубежном правиле Тейлора
ϕ_π^*	коэффициент на инфляцию в зарубежном правиле Тейлора
R_*	уровень равновесной номинальной ставки
ϕ_R	коэффициент на ставку в правиле Тейлора
ϕ_π	коэффициент на инфляцию в правиле Тейлора
φ_{nfa}	влияние внешнего долга на премию за риск
φ_{oil}	влияние цены на нефть на премию за риск
γ_{export}	нормировочный множитель в уравнении для спроса на экспорт
η_{export}	эластичность экспорта по относительной цене отечественных товаров
σ_a	кривизна для издержек использования капитала
μ	издержки мониторинга разорившихся предпринимателей
γ_k	параметр, отвечающий за долю капитала фирм, берущих кредиты в рублях
η_k	эластичность замещения капитала
Φ	постоянные издержки в функции производства отечественных товаров

δ_b	коэффициент издержек обслуживания банков
k^D	коэффициент, отвечающий за издержки отклонения депозитных ставок от желаемого уровня
ι_d	вес лагового значения в желаемом уровне депозитных ставок
k^b	коэффициент, отвечающий за издержки отклонения кредитных ставок от желаемого уровня
ι_b	вес лагового значения в желаемом уровне кредитных ставок
k^K	коэффициент, отвечающий за издержки отклонения отношения капитала к кредитам от желаемого уровня
ρ^{oil}	автокорреляция цен на нефть
ρ^{g_A}	автокорреляция перманентного технологического процесса
ρ^{ζ_c}	автокорреляция экзогенного процесса, отвечающего за предпочтения домохозяйств
ρ^{ζ_l}	автокорреляция экзогенного процесса, отвечающего за предпочтения домохозяйств относительно количества отработанных часов
ρ^{A_c}	автокорреляция временного технологического процесса
ρ^U	автокорреляция шока производства инвестиций
ρ^{ε_h}	автокорреляция эластичности спроса для отечественных ритейлеров
ρ^{ε_f}	автокорреляция эластичности спроса для ритейлеров-импортеров
$\rho^{p_{F*}}$	автокорреляция относительных цен импортируемых товаров
$\rho^{\varepsilon_{*h}}$	автокорреляция эластичности спроса для ритейлеров-экспортеров
$\rho^{S_{oil}}$	автокорреляция объемов экспорта нефти
$\rho^{z_{RP}}$	автокорреляция экзогенной части риск-премии
$\rho^{\zeta_{c*}}$	автокорреляция экзогенного процесса, отвечающего за предпочтения домохозяйств зарубежом
ρ^{A_*}	автокорреляция временного технологического процесса зарубежом
ρ^G	автокорреляция госпотребления
ρ^{σ_ω}	автокорреляция дисперсии идиосинкратического шока предпринимателей
ρ^γ	автокорреляция процесса "выживания" предпринимателей

ρ^{ε_D}	автокорреляция эластичности депозитов по ставкам
ρ^{cap}	автокорреляция шока динамики капитала
σ^{oil}	стандартное шока цен на нефть
σ^{*R}	стандартное отклонение шока зарубежной ДКП
σ^{R}	стандартное отклонение шока ДКП
σ^{res}	стандартное отклонение шока резервов
σ^{g_A}	стандартное отклонение перманентного технологического шока
σ^{ζ_c}	стандартное отклонение шока предпочтений
σ^{ζ_l}	стандартное отклонение шока предложения труда
σ^{A_c}	стандартное отклонение временного шока технологий
σ^{U}	стандартное отклонение шока производства инвестиций
σ^{ε_h}	стандартное отклонение шока наценки отечественных ритейлеров
σ^{ε_f}	стандартное отклонение шока наценки ритейлеров-импортеров
$\sigma^{p_{F*}}$	стандартное отклонение шока относительных цен импортируемых товаров
$\sigma^{\varepsilon_{*h}}$	стандартное отклонение шока наценки ритейлеров-экспортеров
$\sigma^{S_{oil}}$	стандартное отклонение шока объемов экспорта нефти
$\sigma^{z_{RP}}$	стандартное отклонение шока риск-премии
$\sigma^{\zeta_{c*}}$	стандартное отклонение иностранного шока предпочтений
σ^{A_*}	стандартное отклонение иностранного временного шока технологий
σ^{G}	стандартное отклонение шока госпотребления
σ^{σ_ω}	стандартное отклонение шока неопределенности проектов
σ^{γ}	стандартное отклонение финансового шока благосостояния
σ^{ε_D}	стандартное отклонение шока наценки для депозитных ставок

$\sigma^{\varepsilon cap}$	стандартное отклонение шока динамики капитала

Таблица 2. Априорные распределения параметров

Papameter	Mean	Std	Shape	Lower bound	Upper bound	Scale
h	0.5	0.05	beta	0.01	0.99	1
k_w	50	10	gamma	0.1	2000	1
ι_w	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
k_H	20	5	gamma	0.1	2000	1
ι_H	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
k_F	20	5	gamma	0.1	2000	1
ι_F	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
k_{*H}	20	5	gamma	0.1	2000	1
ι_{*H}	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
η_C	1.01	0.1	normal	0.01	20	1
η_I	1.01	0.1	normal	0.01	20	1
k_I	2	0.5	gamma	0.1	2000	1
σ_a	1	0.3	normal	0.01	2000	1
h^*	0.5	0.05	beta	0.01	0.99	1
k^*	20	5	gamma	0.1	2000	1
ι_*	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
ϕ_R^*	0.8	0.05	beta	0.01	0.99	1
ϕ_π^*	1.5	0.1	normal	1.2	2000	1
ϕ_R	0.8	0.05	beta	0.01	0.99	1
ϕ_π	1.5	0.1	normal	1.2	2000	1
η_{export}	1	0.1	gamma	0	20	1
ρ^{oil}	0.9	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^{g_A}	0.5	0.1	beta	0.01	0.95	1
ρ^{ζ_c}	0.7	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^{ζ_l}	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^{A_c}	0.7	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^U	0.7	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^{ε_h}	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^{ε_f}	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
$\rho^{p_{F*}}$	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
$\rho^{\varepsilon_{*h}}$	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
$\rho^{S_{oil}}$	0.7	0.1	beta	0.01	0.99	1
$\rho^{z_{RP}}$	0.7	0.1	beta	0.01	0.99	1
$\rho^{\zeta_{c*}}$	0.7	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^{A_*}	0.7	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^G	0.7	0.1	beta	0.01	0.99	1
σ^{oil}	1	2	inverse gamma	0.01	20	10
σ^{*R}	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	100
σ^R	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	100
σ^{res}	0.5	2	inverse gamma	0.01	20	10

σ^{g_A}	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	100
σ^{ζ_c}	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	10
σ^{ζ_l}	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	10
σ^{A_c}	0.65	2	inverse gamma	0.01	20	100
σ^{U}	0.15	2	inverse gamma	0.01	20	10
σ^{ε_h}	0.65	2	inverse gamma	0.01	20	10
σ^{ε_f}	0.65	2	inverse gamma	0.01	20	10
$\sigma^{p_{F*}}$	0.65	2	inverse gamma	0.01	20	10
$\sigma^{\varepsilon_{*h}}$	0.65	2	inverse gamma	0.01	20	10
$\sigma^{S_{oil}}$	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	10
$\sigma^{z_{RP}}$	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	100
$\sigma^{\zeta_{c*}}$	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	10
σ^{A_*}	0.65	2	inverse gamma	0.01	20	100
σ^{G}	1	2	inverse gamma	0.01	20	10
$\varphi_{nfa}/(d_{ss}rer_{ss})$	1	0.3	normal	0.01	200	100
φ_{oil}	1	0.3	normal	0.01	200	100
ρ^{σ_ω}	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
σ^{σ_ω}	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	1
k^{K}	20	5	gamma	0.1	2000	10
k^{D}	10	5	gamma	0.1	2000	10
k^{b}	10	5	gamma	0.1	2000	10
ι_b	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
ι_d	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^{ε_D}	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^{γ}	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
ρ^{cap}	0.5	0.1	beta	0.01	0.99	1
σ^{ε_D}	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	0.1
σ^{γ}	0.3	4	inverse gamma	0.01	0.4	100
σ^{cap}	0.3	2	inverse gamma	0.01	20	100

Таблица 3. Апостериорные характеристика распределения параметров

Parameter	Prior		Baseline		Banks	
	Mean	Std	Mean	Std	Mean	Std
h	0.5	0.05	0.54	0.04	0.53	0.04
k_w	50	10	55.80	9.61	59.91	9.56
ι_w	0.5	0.1	0.45	0.09	0.46	0.09
k_H	20	5	24.10	4.65	21.30	4.02
ι_H	0.5	0.1	0.50	0.10	0.50	0.09
k_F	20	5	21.91	4.86	26.39	4.94
ι_F	0.5	0.1	0.40	0.10	0.41	0.09
k_{*H}	20	5	4.67	1.25	4.62	1.18
ι_{*H}	0.5	0.1	0.41	0.10	0.41	0.10
η_C	1.01	0.1	0.91	0.10	0.94	0.10
η_I	1.01	0.1	0.97	0.10	0.98	0.10
k_I	2	0.5	3.76	0.62	4.58	0.76
σ_a	1	0.3	1.06	0.24	1.18	0.27

ϕ_R	0.8	0.05	0.86	0.02	0.88	0.01
ϕ_π	1.5	0.1	1.48	0.10	1.47	0.08
η_{export}	1	0.1	0.68	0.07	0.71	0.07
ρ^{oil}	0.9	0.1	0.85	0.04	0.90	0.02
ρ^{g_A}	0.5	0.1	0.69	0.04	0.69	0.05
ρ^{ζ_c}	0.7	0.1	0.77	0.08	0.81	0.07
ρ^{ζ_l}	0.5	0.1	0.53	0.09	0.56	0.09
ρ^{A_c}	0.7	0.1	0.55	0.08	0.60	0.10
ρ^{U}	0.7	0.1	0.64	0.09	0.64	0.10
ρ^{ε_h}	0.5	0.1	0.68	0.13	0.54	0.09
ρ^{ε_f}	0.5	0.1	0.50	0.10	0.53	0.11
$\rho^{p_{F*}}$	0.5	0.1	0.55	0.14	0.53	0.10
$\rho^{\varepsilon_{*h}}$	0.5	0.1	0.61	0.09	0.57	0.09
$\rho^{S_{oil}}$	0.7	0.1	0.62	0.11	0.64	0.09
$\rho^{z_{RP}}$	0.7	0.1	0.68	0.07	0.81	0.06
ρ^{G}	0.7	0.1	0.86	0.06	0.85	0.06
σ^{oil}	1	2	1.80	0.20	1.76	0.19
σ^{R}	0.3	2	0.44	0.07	0.40	0.06
σ^{res}	0.5	2	1.60	0.81	1.03	0.31
σ^{g_A}	0.3	2	0.50	0.09	0.43	0.08
σ^{ζ_c}	0.3	2	0.44	0.07	0.40	0.07
σ^{ζ_l}	0.3	2	1.25	0.25	1.23	0.23
σ^{A_c}	0.65	2	2.26	0.43	1.50	0.32
σ^{U}	0.15	2	0.20	0.03	0.20	0.02
σ^{ε_h}	0.65	2	3.25	0.69	3.28	0.62
σ^{ε_f}	0.65	2	1.10	1.23	0.62	0.51
$\sigma^{p_{F*}}$	0.65	2	0.36	0.06	0.38	0.06
$\sigma^{\varepsilon_{*h}}$	0.65	2	19.44	0.53	19.47	0.50
$\sigma^{S_{oil}}$	0.3	2	0.54	0.08	0.55	0.08
$\sigma^{z_{RP}}$	0.3	2	1.85	0.54	0.72	0.30
σ^{G}	1	2	0.12	0.02	0.12	0.01
$\varphi_{nfa}/(d_{ss}rer_{ss})$	1	0.3	0.40	0.25	0.67	0.22
φ_{oil}	1	0.3	1.23	0.30	1.16	0.28
ρ^{σ_ω}	0.5	0.1	-	-	0.62	0.07
σ^{σ_ω}	0.3	2	-	-	0.18	0.04
k^{K}	20	5	-	-	6.07	1.49
k^{D}	10	5	-	-	11.80	4.68
k^{b}	10	5	-	-	24.27	5.85
ι_b	0.5	0.1	-	-	0.36	0.08
ι_d	0.5	0.1	-	-	0.60	0.08
ρ^{ε_D}	0.5	0.1	-	-	0.85	0.04
ρ^{γ}	0.5	0.1	-	-	0.57	0.13
ρ^{cap}	0.5	0.1	-	-	0.52	0.07
σ^{ε_D}	0.3	2	-	-	0.10	0.02
σ^{γ}	0.3	2	-	-	0.26	0.10
σ^{cap}	0.3	2	-	-	3.14	0.38

Таблица 4а. Относительные RMSE для логарифма ВВП

	Baseline	Banks	BVAR
1 кв	**0.92**	1.13	0.99
2 кв	**0.81**	1.04	0.83
3 кв	**0.67**	0.86	0.70
4 кв	0.68	0.81	**0.66**
5 кв	0.65	0.73	**0.59**
6 кв	0.62	0.64	**0.57**
7 кв	0.59	0.58	**0.57**
8 кв	0.58	**0.54**	0.61
9 кв	0.56	**0.50**	0.58
10 кв	0.57	**0.49**	0.54
11 кв	0.54	**0.46**	0.48
12 кв	0.52	**0.43**	0.48

Таблица 4б. Относительные RMSE для логарифма потребления

	Baseline	Banks	BVAR
1 кв	0.75	**0.72**	0.92
2 кв	0.64	**0.60**	0.61
3 кв	0.55	**0.49**	0.55
4 кв	0.49	**0.43**	0.48
5 кв	0.40	**0.33**	0.50
6 кв	0.34	**0.27**	0.51
7 кв	0.28	**0.20**	0.52
8 кв	0.27	**0.17**	0.50
9 кв	0.25	**0.16**	0.54
10 кв	0.22	**0.13**	0.54
11 кв	0.20	**0.11**	0.58
12 кв	0.18	**0.09**	0.60

Таблица 4в. Относительные RMSE для логарифма инвестиций

	Baseline	Banks	BVAR
1 кв	1.20	1.12	**0.67**
2 кв	1.62	1.55	**0.53**
3 кв	1.78	1.74	**0.55**
4 кв	2.04	1.95	**0.55**
5 кв	1.73	1.63	**0.67**
6 кв	1.56	1.39	**0.59**
7 кв	1.43	1.23	**0.58**
8 кв	1.24	1.05	**0.56**
9 кв	1.10	0.90	**0.50**
10 кв	0.94	0.76	**0.42**
11 кв	0.88	0.69	**0.45**
12 кв	0.80	0.62	**0.45**

Таблица 4г. Относительные RMSE для изменения логарифма валютного курса

	Baseline	Banks	BVAR
1 кв	0.71	**0.70**	1.02
2 кв	**0.73**	0.74	1.08
3 кв	**0.76**	0.77	0.87
4 кв	**0.75**	0.76	1.09
5 кв	**0.73**	0.74	1.21
6 кв	**0.75**	0.76	1.25
7 кв	**0.75**	0.76	1.09
8 кв	**0.72**	0.74	1.05
9 кв	**0.72**	0.74	1.10
10 кв	**0.72**	0.73	1.08
11 кв	**0.71**	0.73	1.13
12 кв	**0.70**	0.72	1.21

Таблица 4д. Относительные RMSE для изменения логарифма ИПЦ

	Baseline	Banks	BVAR
1 кв	0.96	0.96	**0.93**
2 кв	1.20	1.20	1.43
3 кв	1.25	1.28	1.62
4 кв	1.19	1.27	1.47
5 кв	1.26	1.38	1.65
6 кв	1.24	1.39	1.78
7 кв	1.24	1.39	1.34
8 кв	1.22	1.37	1.33
9 кв	1.21	1.34	1.36
10 кв	1.20	1.31	1.61
11 кв	1.16	1.26	1.71
12 кв	1.16	1.24	1.92

Таблица 4е. Относительные RMSE для логарифма MIACR

	Baseline	Banks	BVAR
1 кв	**0.91**	0.99	0.97
2 кв	**0.77**	0.94	0.82
3 кв	0.80	0.94	**0.79**
4 кв	0.81	0.94	**0.77**
5 кв	0.79	0.93	**0.73**
6 кв	0.75	0.90	**0.69**
7 кв	0.79	0.98	**0.76**
8 кв	**0.76**	0.96	0.78
9 кв	**0.74**	0.96	0.80
10 кв	**0.71**	0.94	0.83
11 кв	**0.69**	0.92	0.80
12 кв	**0.67**	0.89	0.75

Рисунок 1а. Схема базовой модели

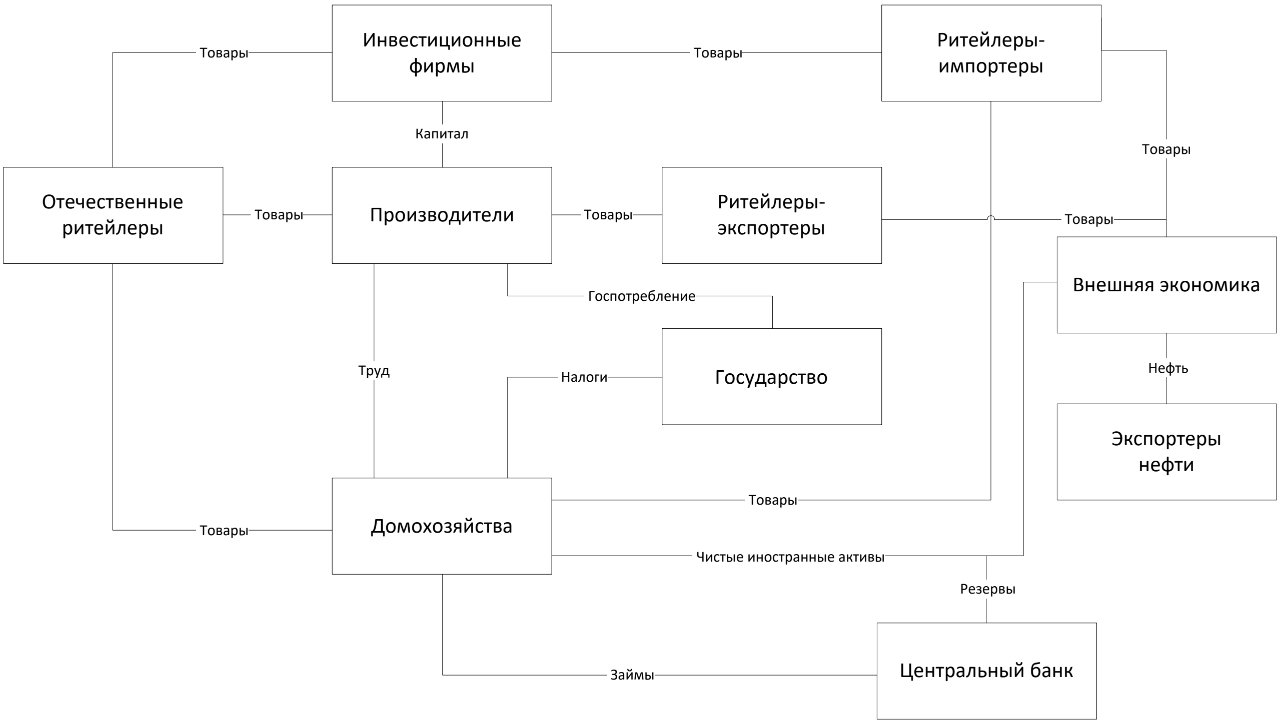


Рисунок 1б. Схема модели с банковским сектором

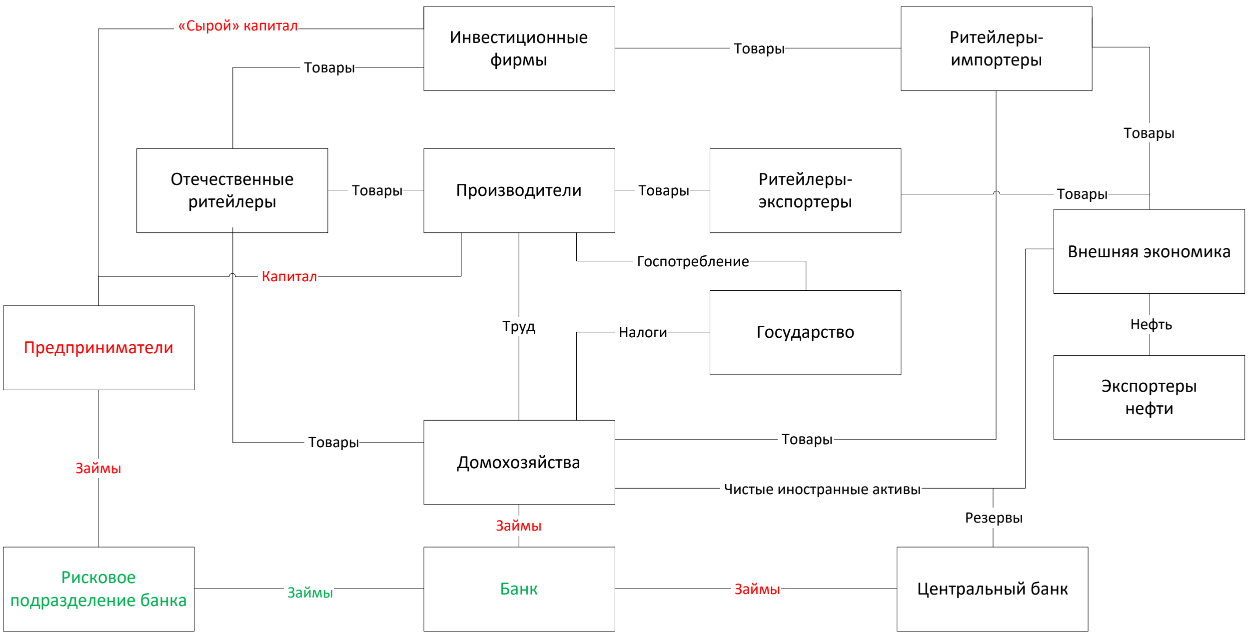


Рисунок 2а. Шок цены на нефть (базовая модель - синяя линия, модель с банковским сектором - красная линия)

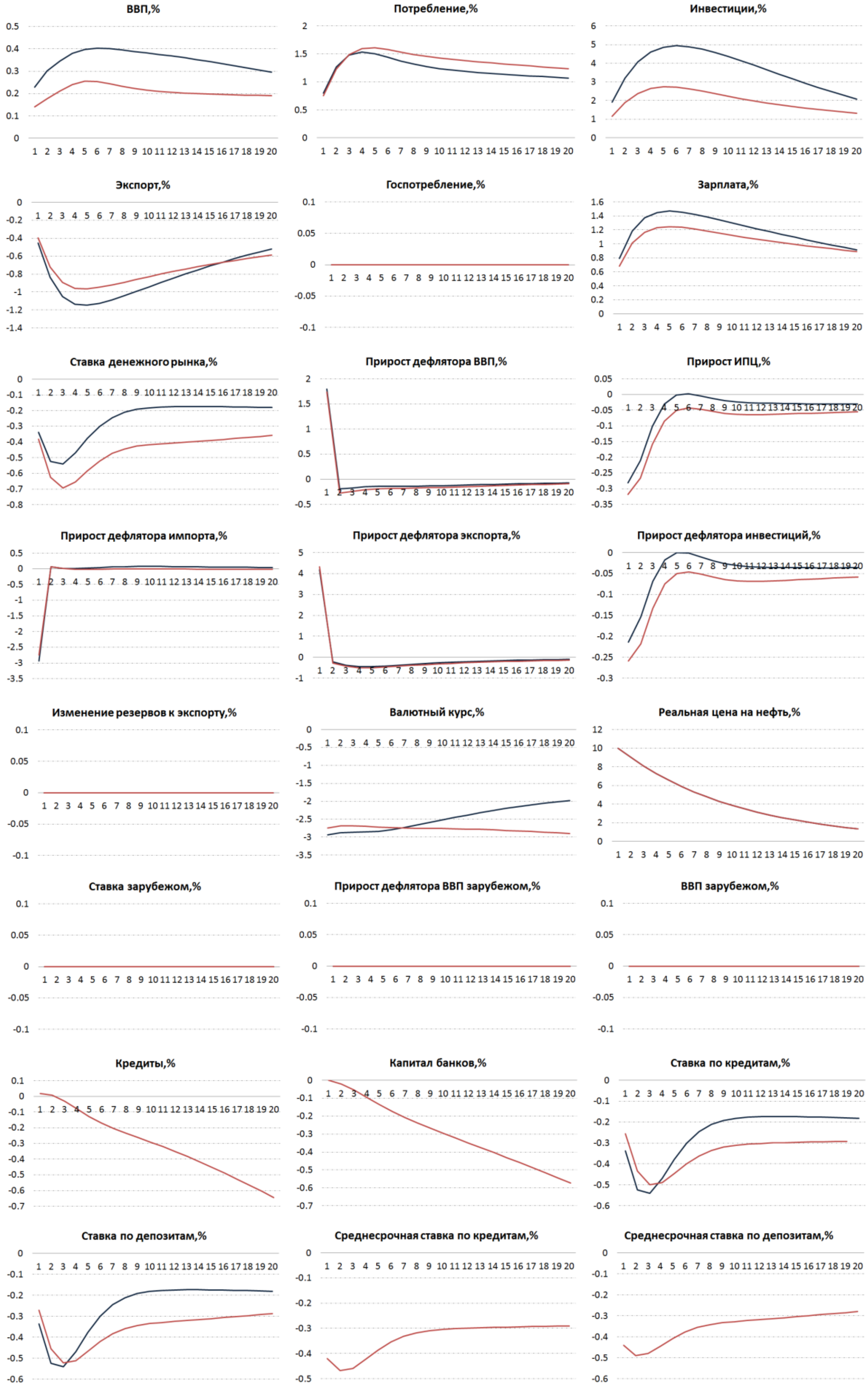


Рисунок 2б. Шок риск-премии (базовая модель - синяя линия, модель с банковским сектором - красная линия)

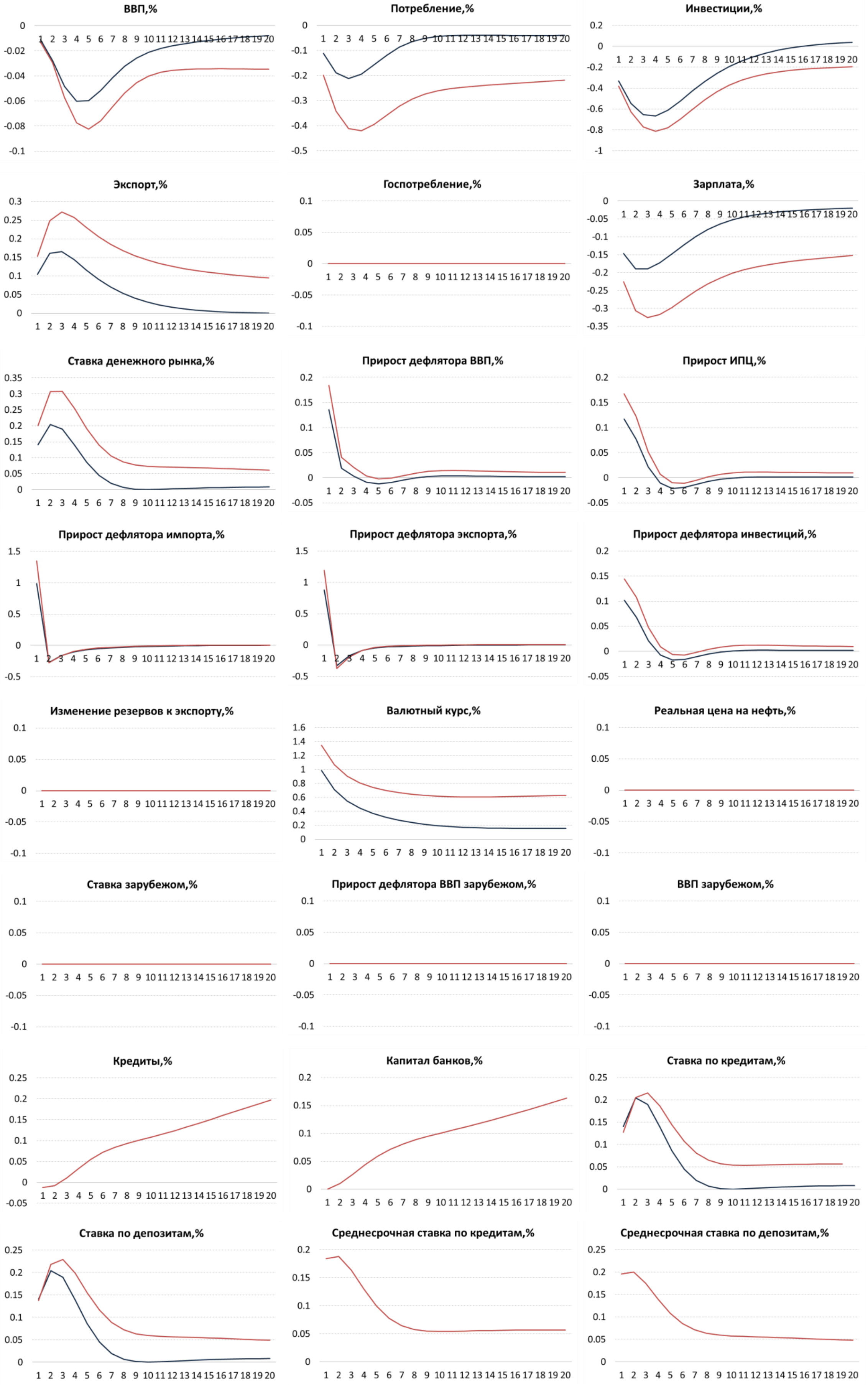


Рисунок 2в. Шок ДКП (базовая модель - синяя линия, модель с банковским сектором - красная линия)

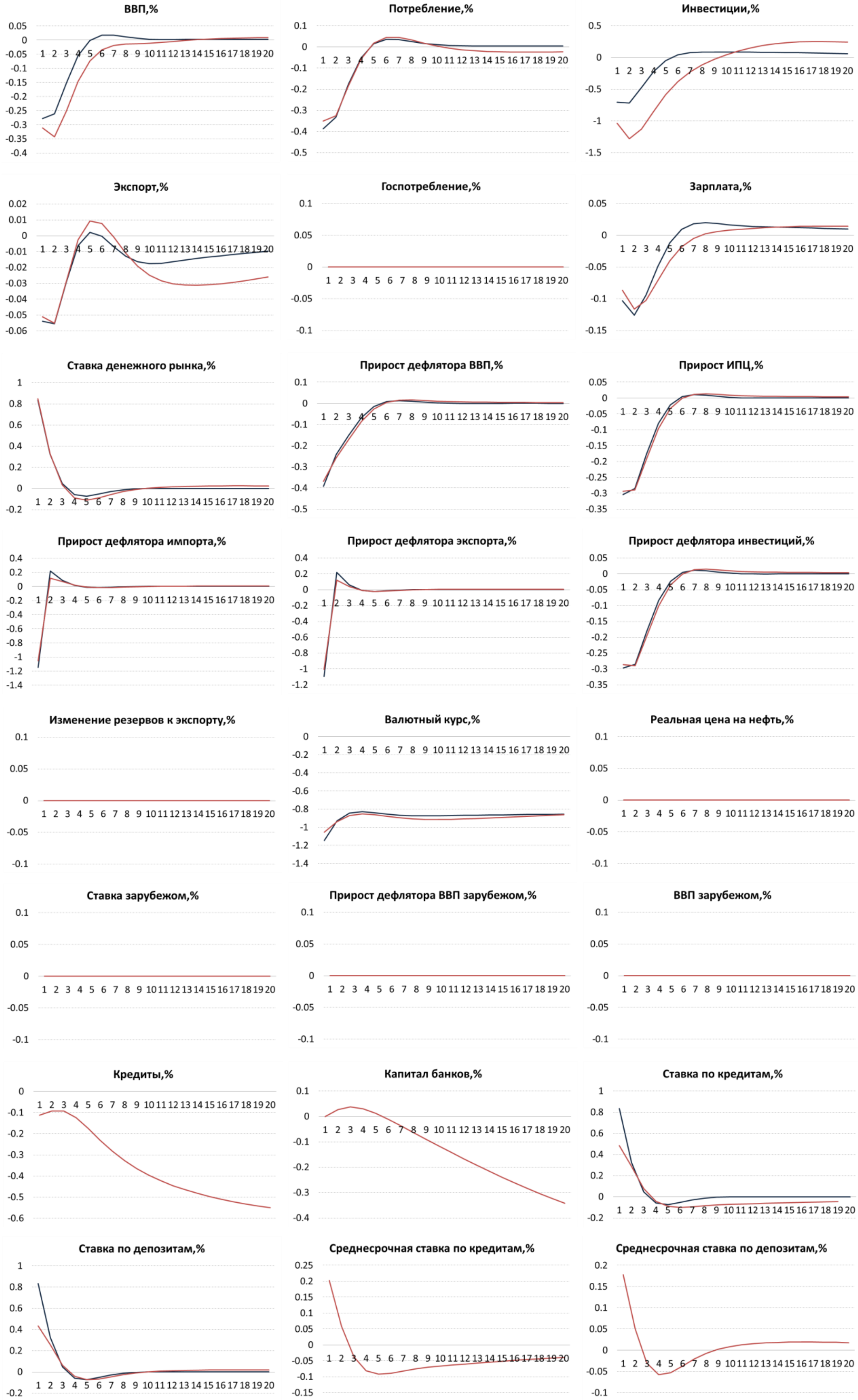


Рисунок 3а. Шок ДКП (синяя линия) и шок динамики капитала (красная линия) в модели с банковским сектором

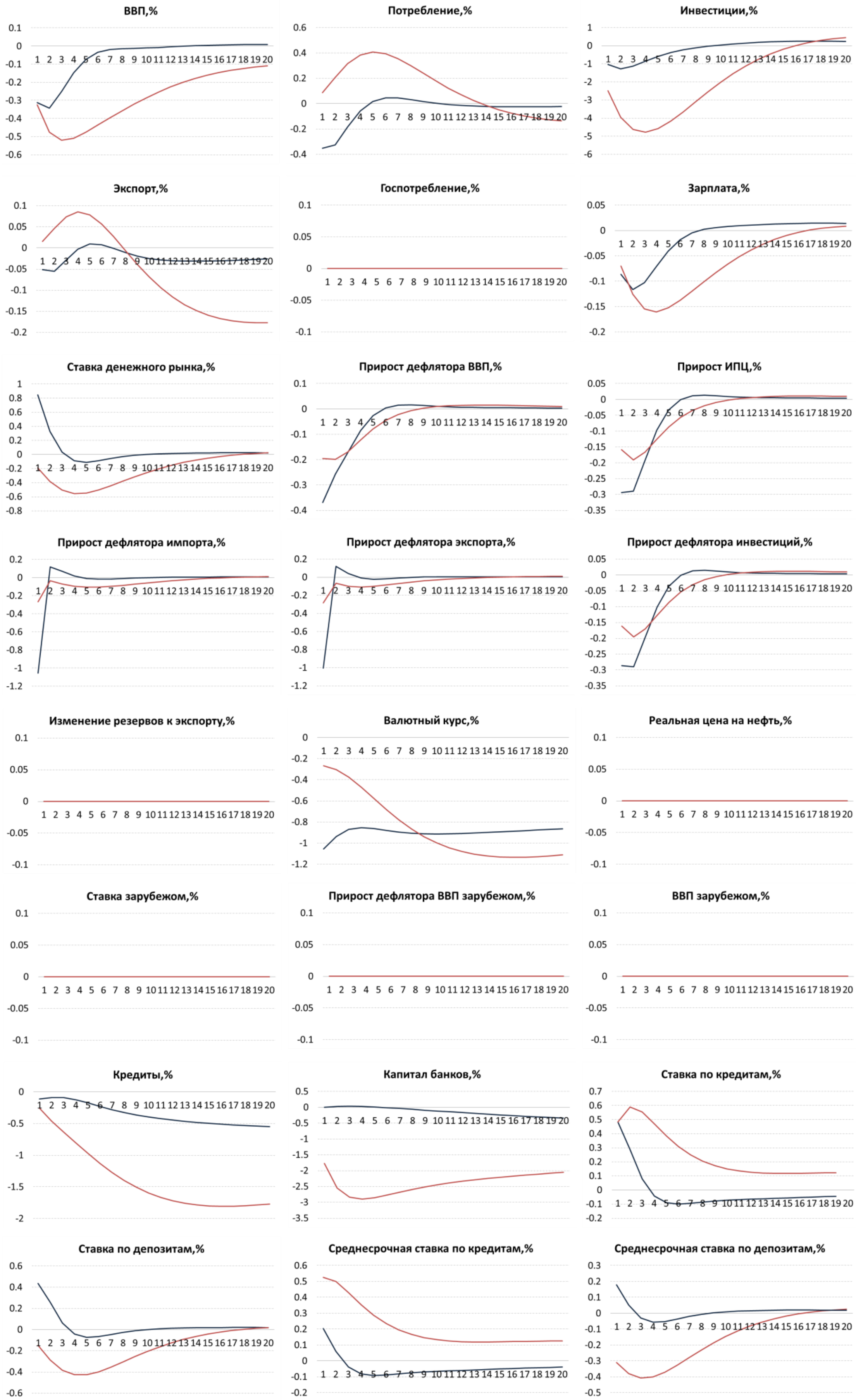


Рисунок 3б. Шок неопределенности проектов (синяя линия) и шок наценки депозитных ставок (красная линия) в модели с банковским сектором

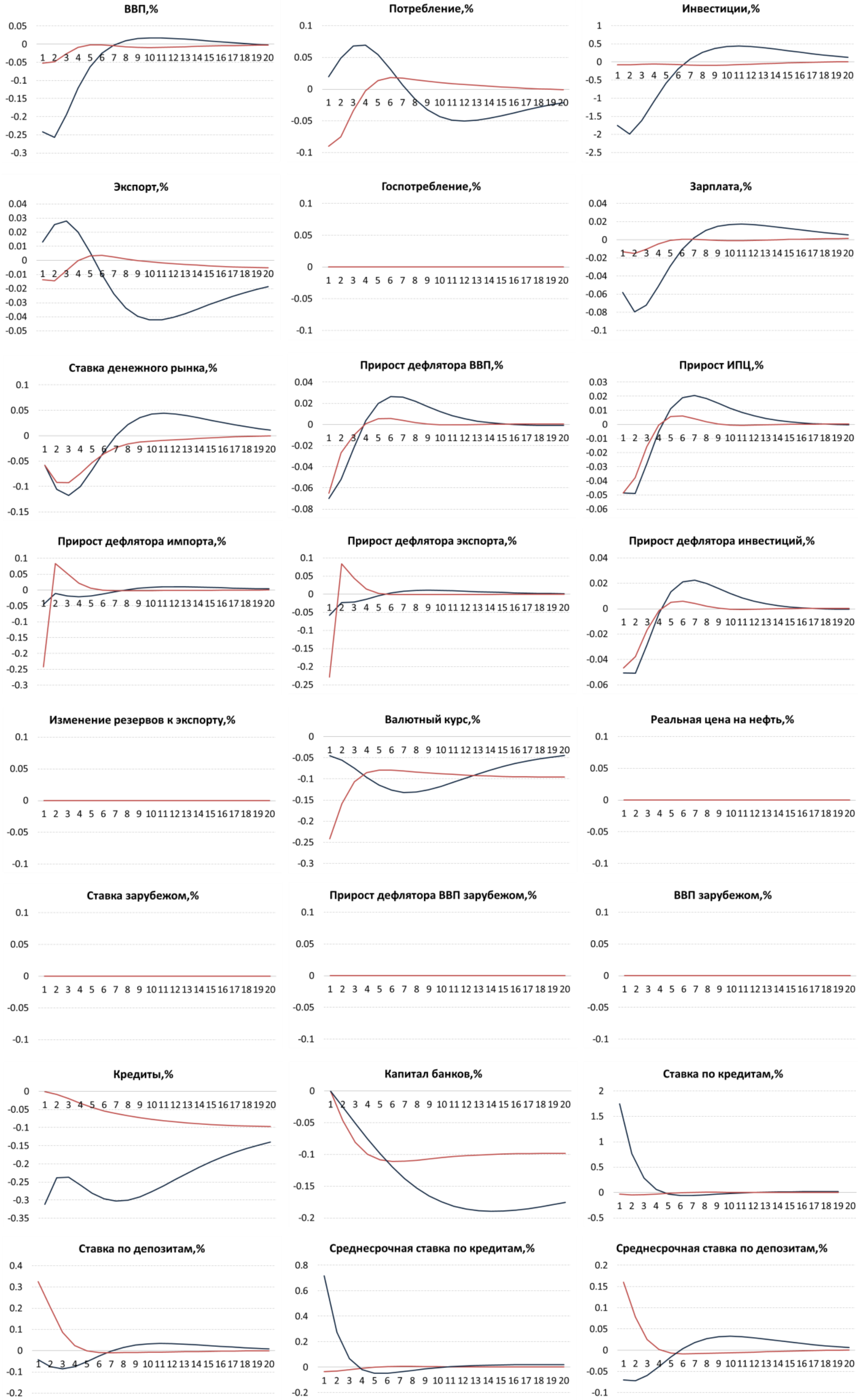


Рисунок 3в. Шок производства инвестиций (синяя линия) и шок доли «выживания» предпринимателей (красная линия) в модели с банковским сектором

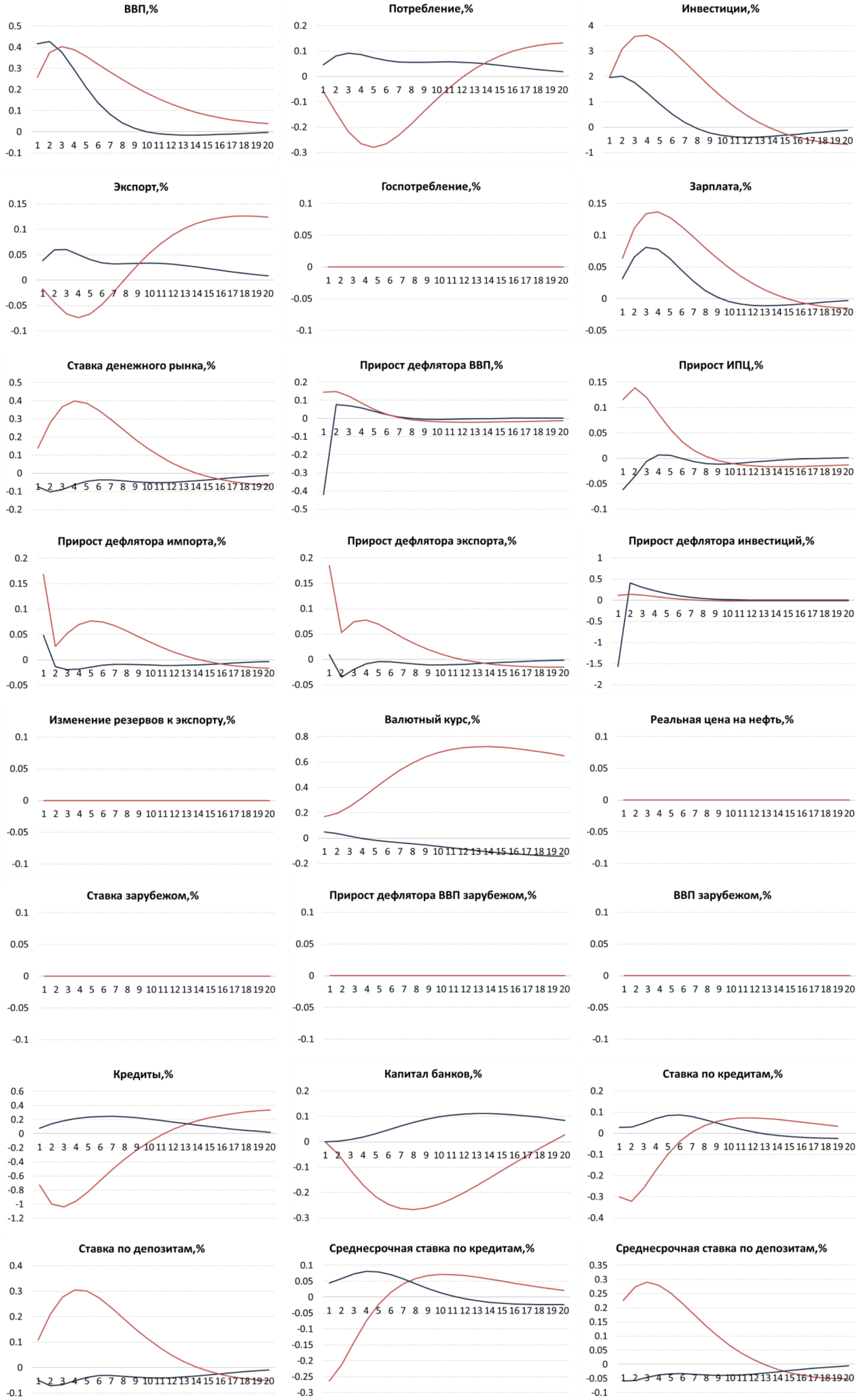


Рисунок 4а. Шок ДКП в модели с банковским сектором для нормы амортизации равной 2,5% (синяя линия), 5% (красная линия), 10% (зеленая линия)

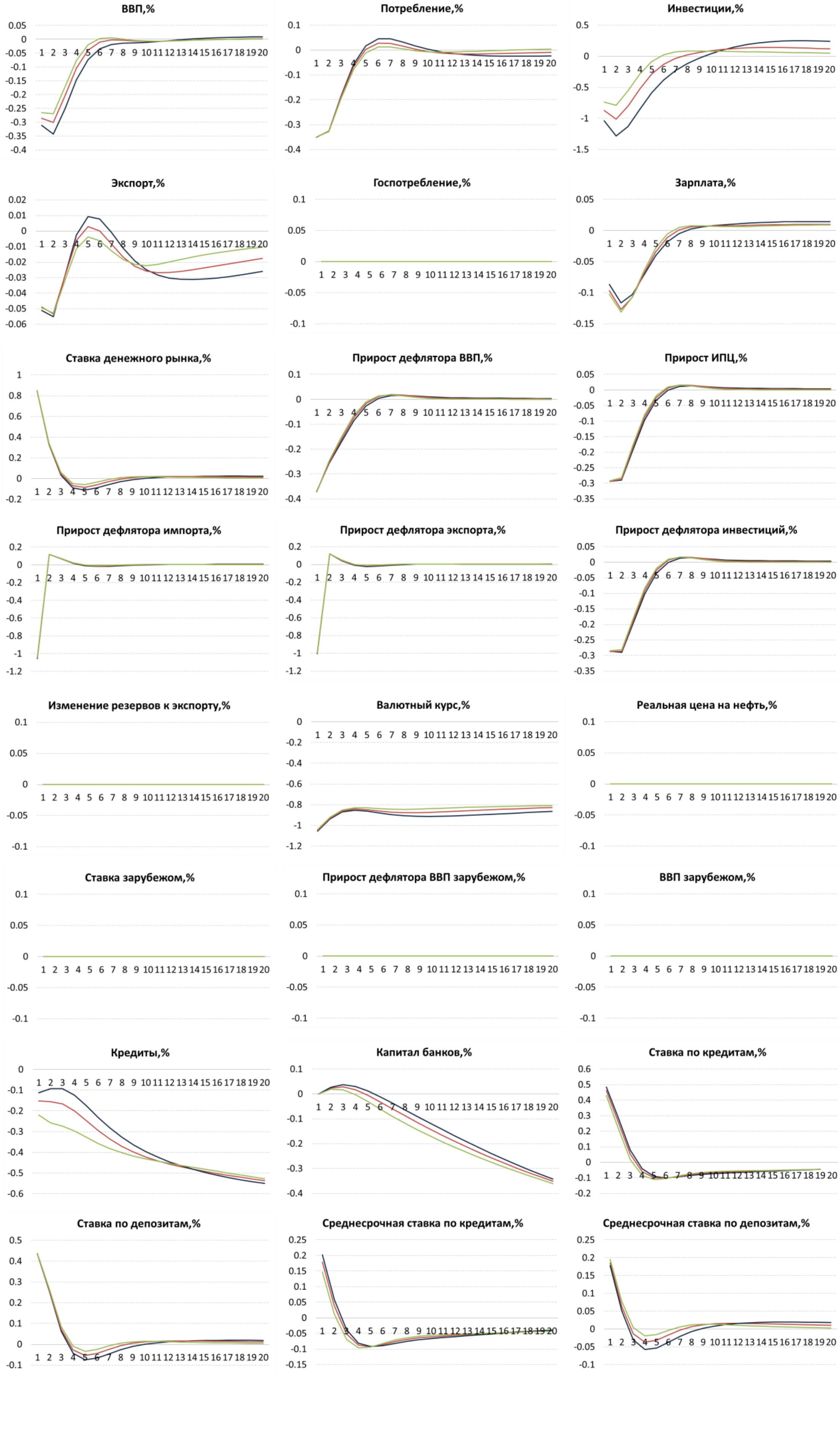


Рисунок 4б. Шок цены на нефть в модели с банковским сектором для нормы амортизации равной 2,5% (синяя линия), 5% (красная линия), 10% (зеленая линия)

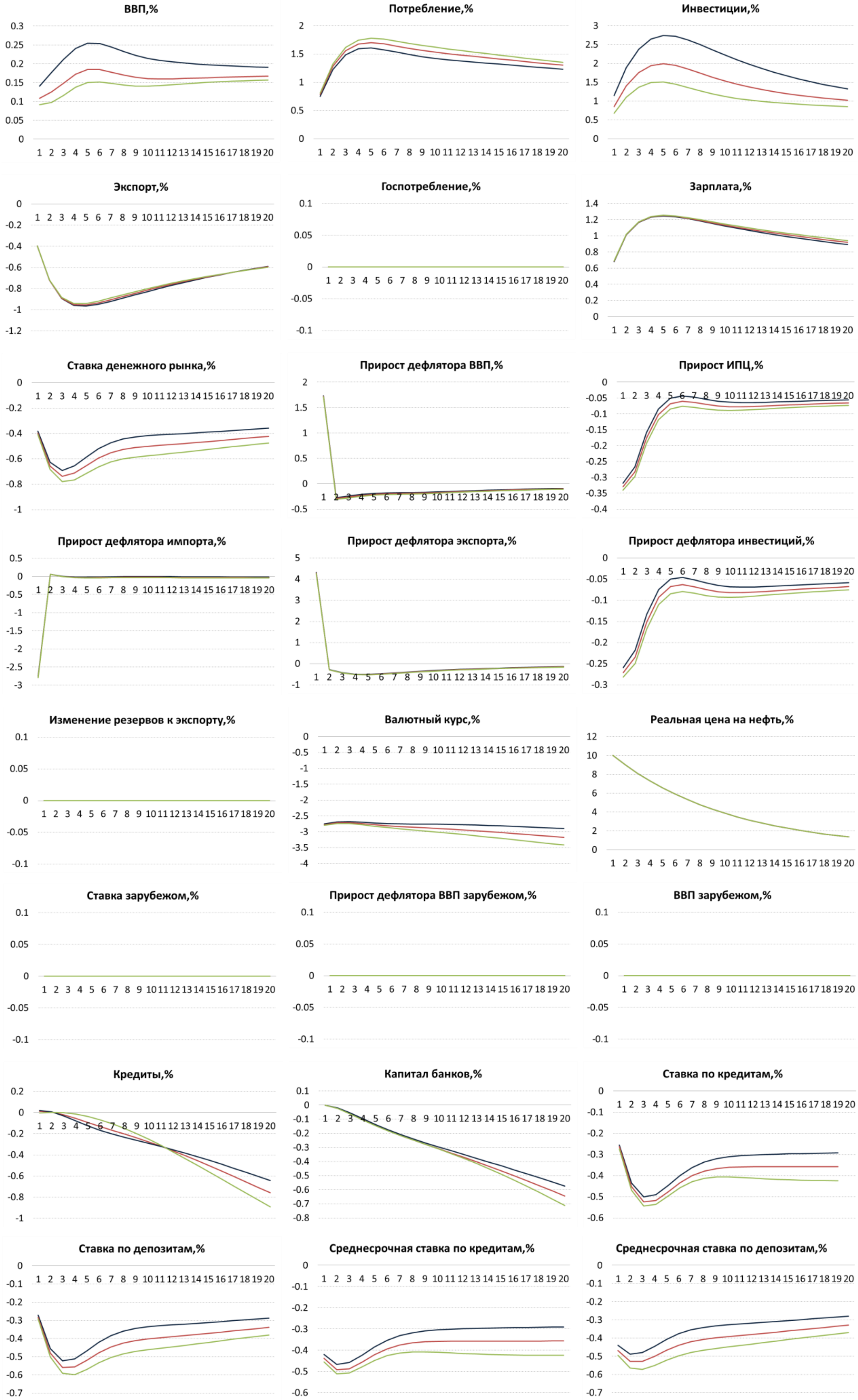


Рисунок 4в. Шок динамики капитала в модели с банковским сектором для нормы амортизации равной 2,5% (синяя линия), 5% (красная линия), 10% (зеленая линия)

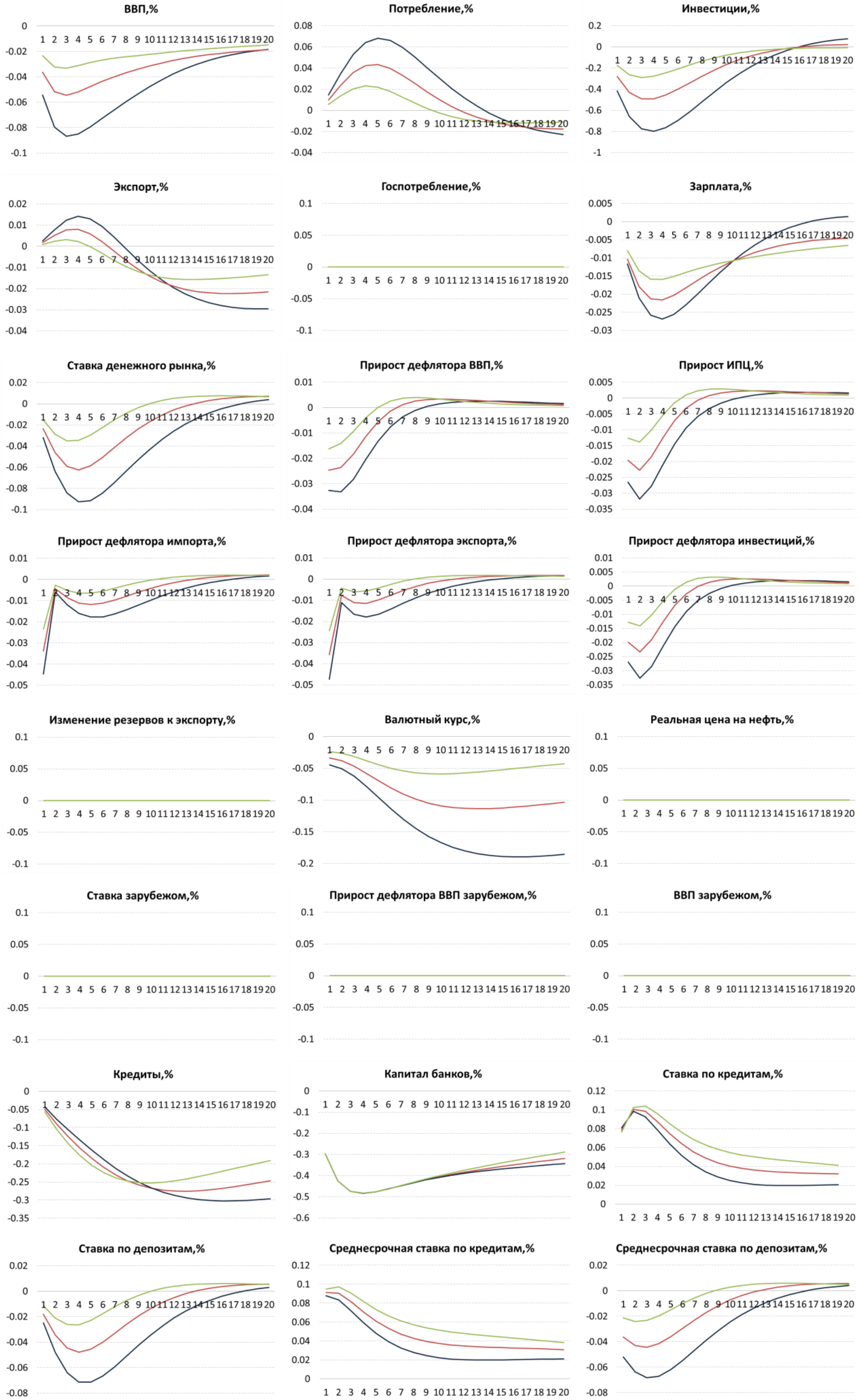


Рисунок 5а. Шок цены на нефть, 68%-й доверительный интервал (базовая модель - синяя линия, модель с банковским сектором - красная линия)

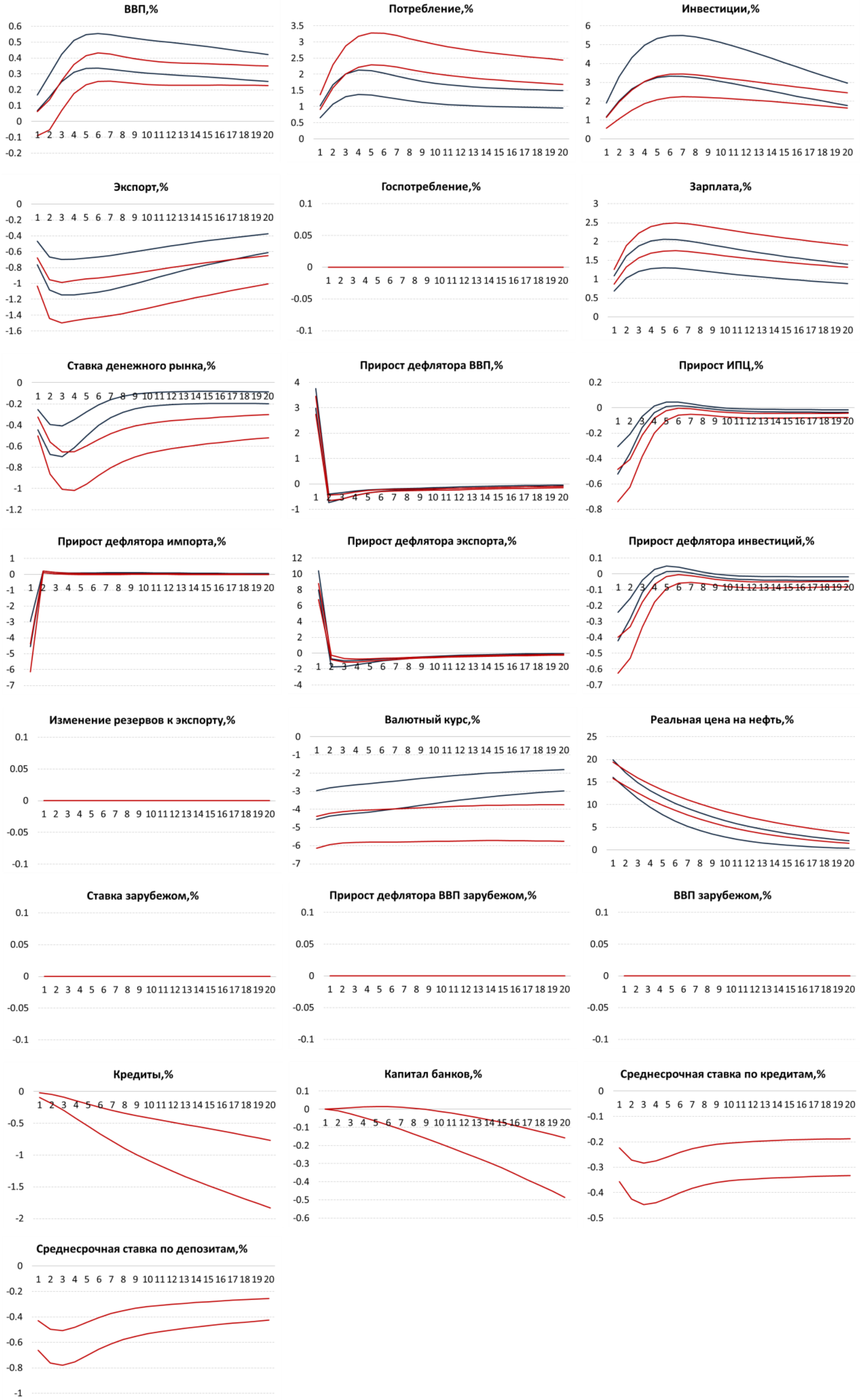


Рисунок 5б. Шок риск-премии, 68%-й доверительный интервал (базовая модель - синяя линия, модель с банковским сектором - красная линия)

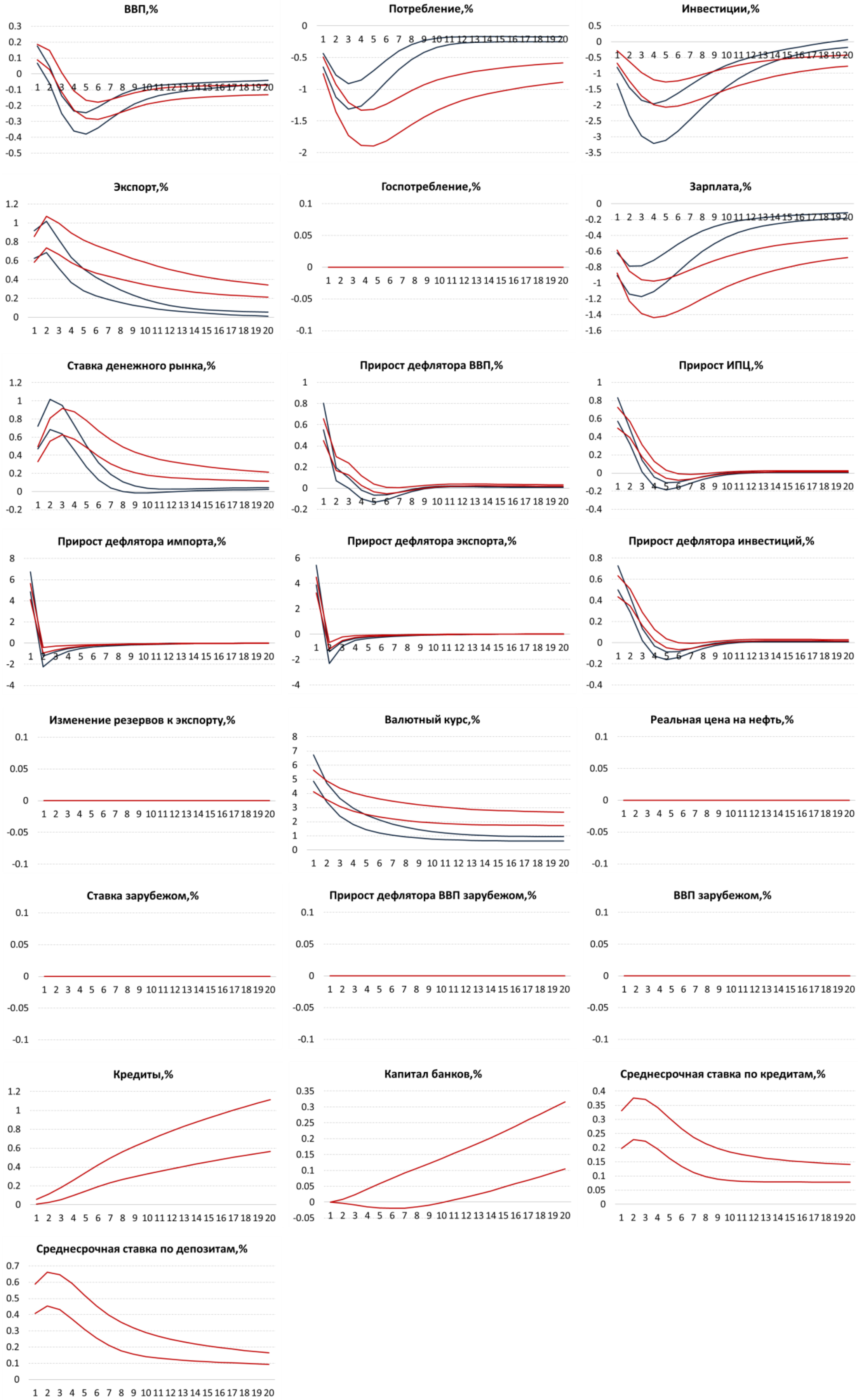


Рисунок 5в. Шок ДКП, 68%-й доверительный интервал (базовая модель - синяя линия, модель с банковским сектором - красная линия)

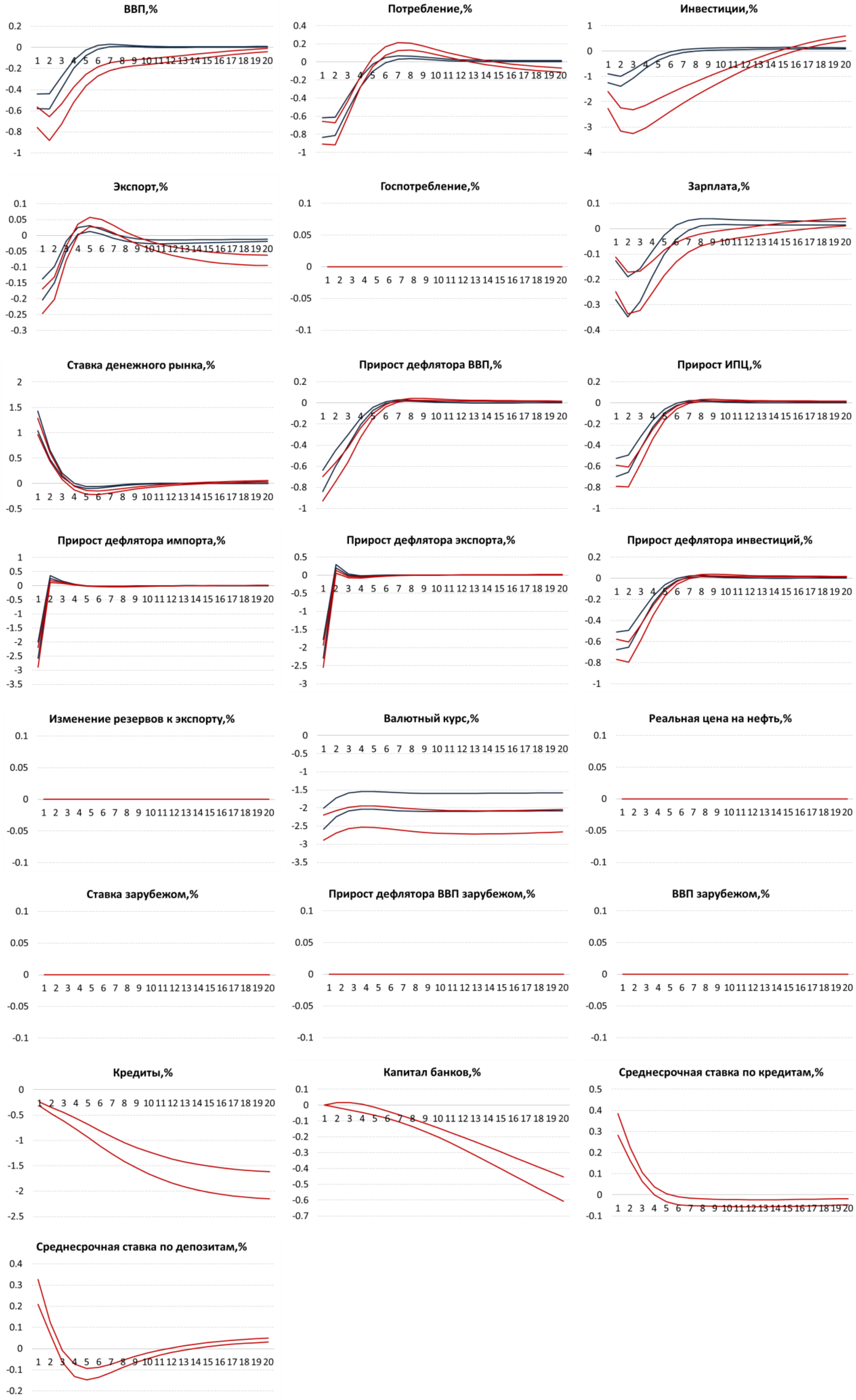


Рисунок 6а. Шок динамики капитала в модели с банковским сектором, 68%-й доверительный интервал

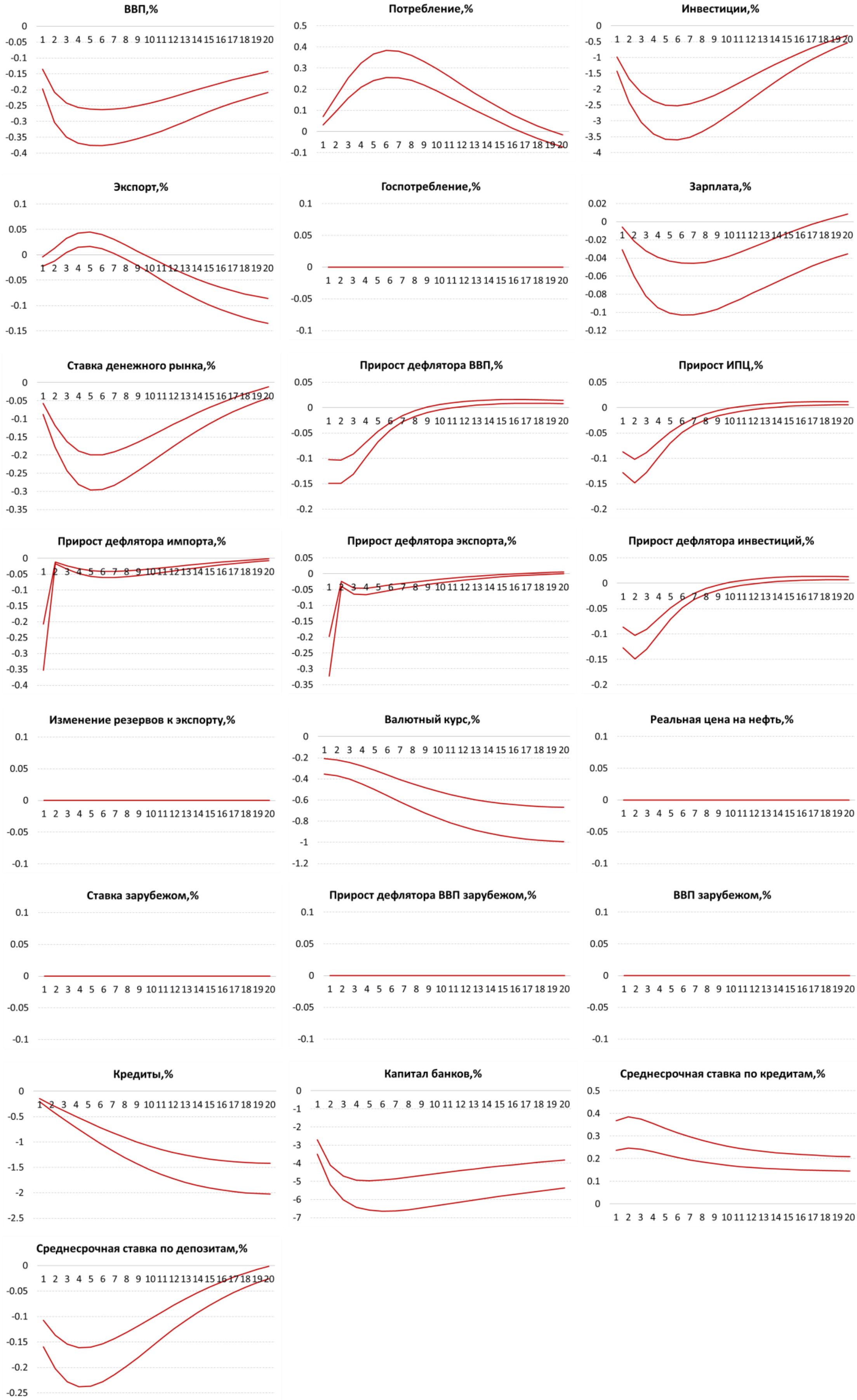


Рисунок 6б. Шок неопределенности проектов в модели с банковским сектором, 68%-й доверительный интервал

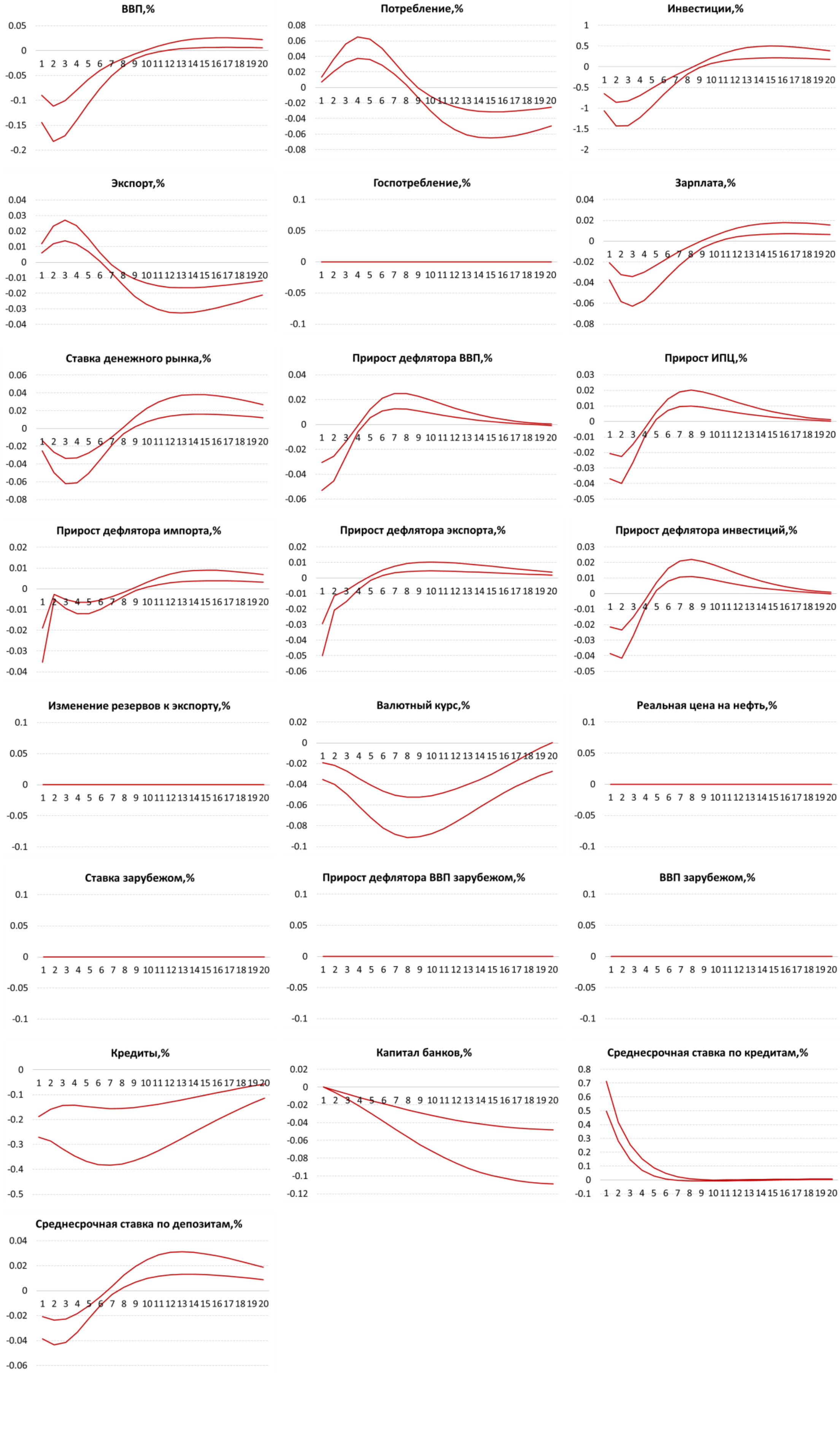


Рисунок 6в. Шок наценки депозитных ставок в модели с банковским сектором, 68%-й доверительный интервал

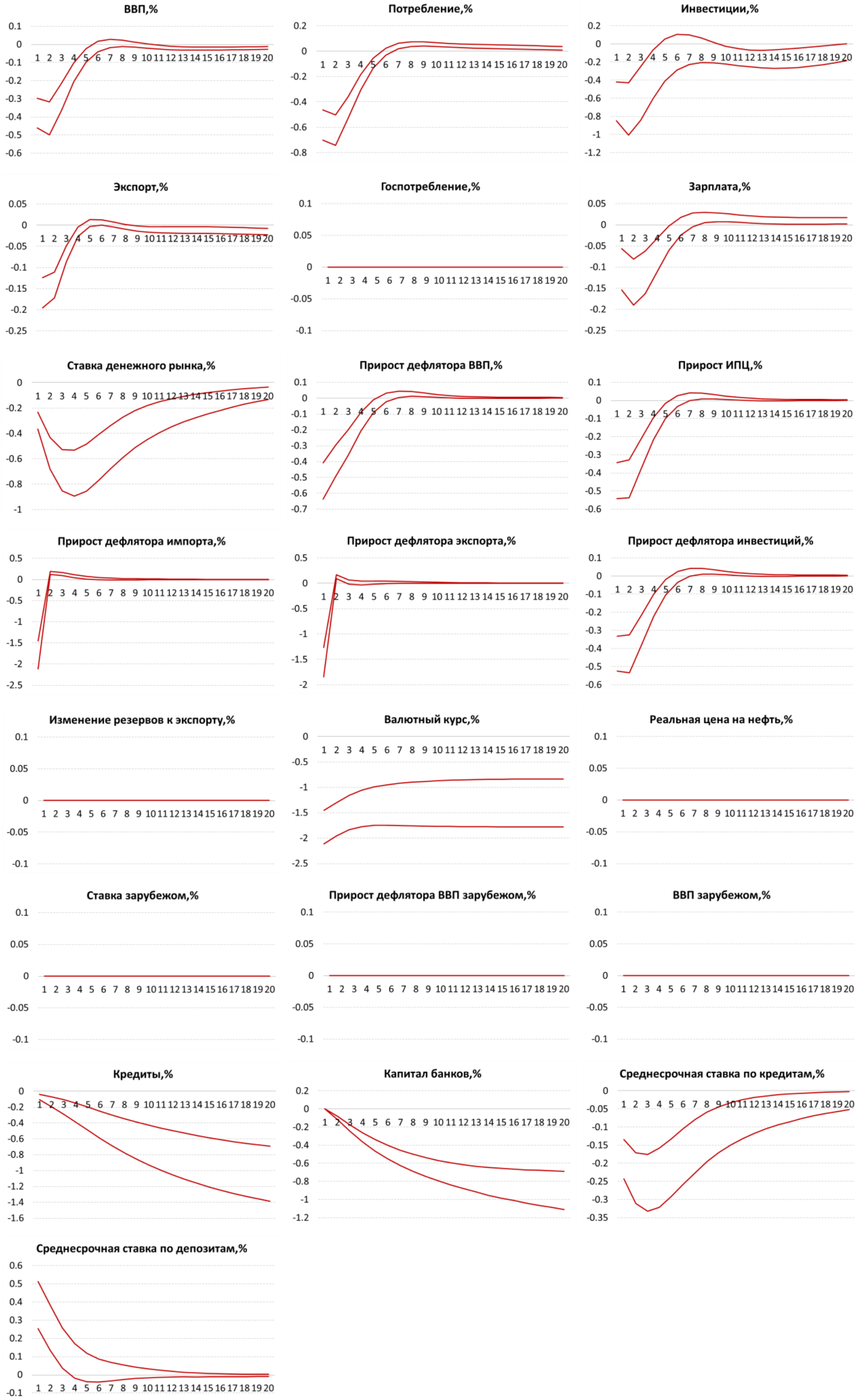


Рисунок 6г. Шок доли «выживания» предпринимателей в модели с банковским сектором, 68%-й доверительный интервал

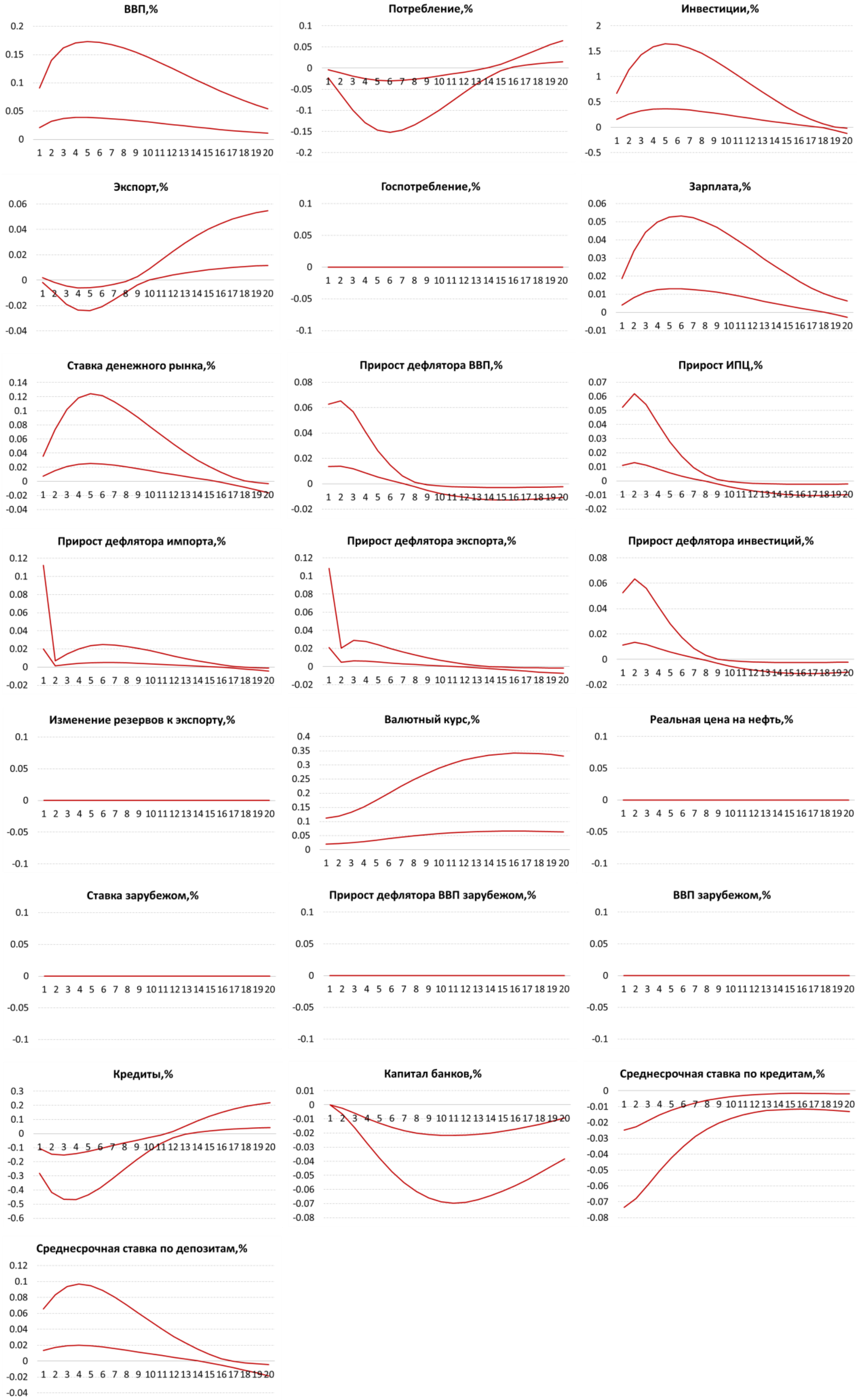


Рисунок 7а. Декомпозиция сглаженного в модели изменения логарифма ВВП (базовая модель – верхняя картинка, модель с банковским сектором – нижняя картинка)

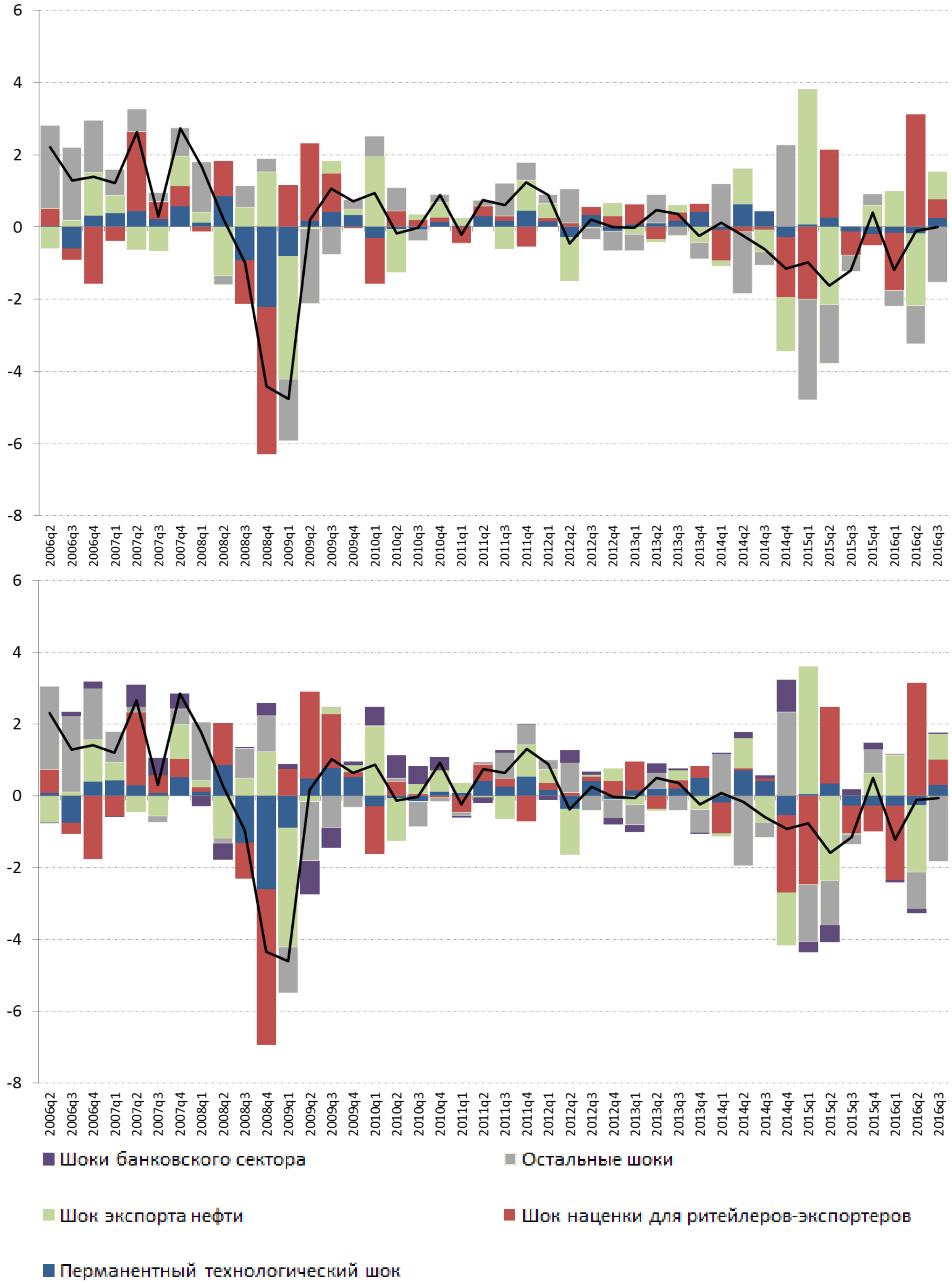


Рисунок 7б. Декомпозиция сглаженного в модели изменения логарифма потребления (базовая модель – верхняя картинка, модель с банковским сектором – нижняя картинка)

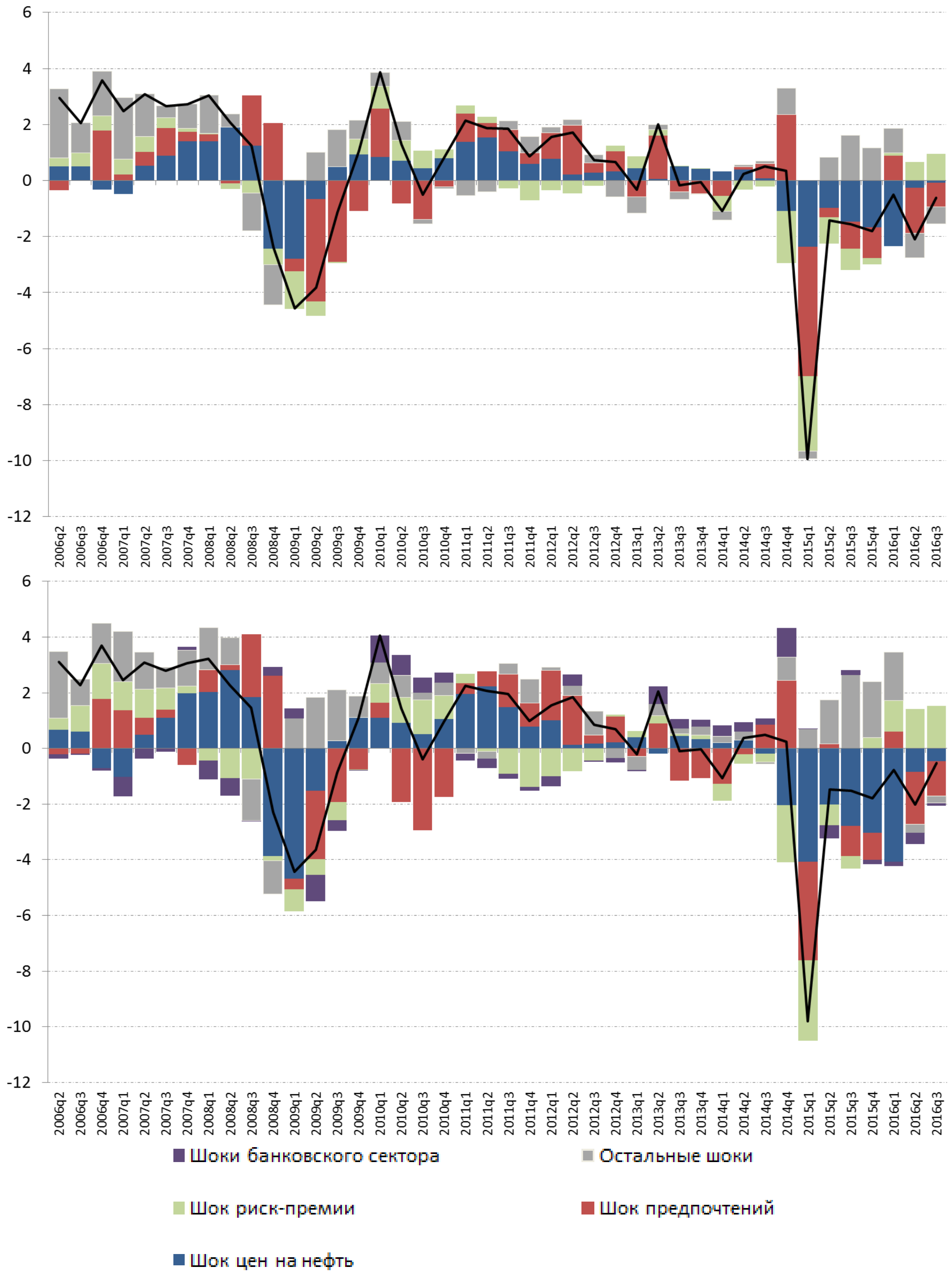


Рисунок 7в. Декомпозиция сглаженного в модели изменения логарифма инвестиций (базовая модель – верхняя картинка, модель с банковским сектором – нижняя картинка)

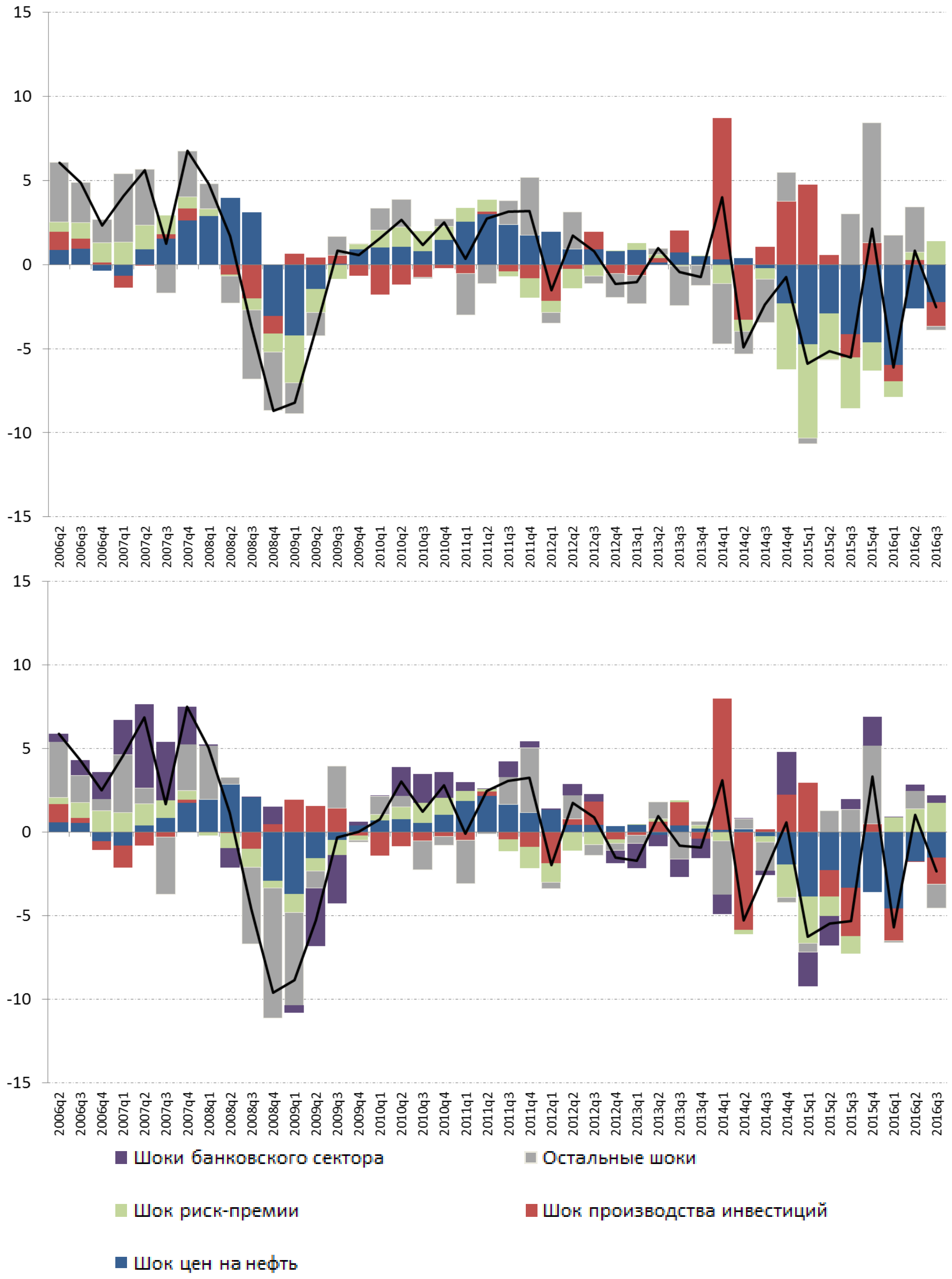


Рисунок 7г. Декомпозиция сглаженного в модели изменения логарифма валютного курса (базовая модель – верхняя картинка, модель с банковским сектором – нижняя картинка)

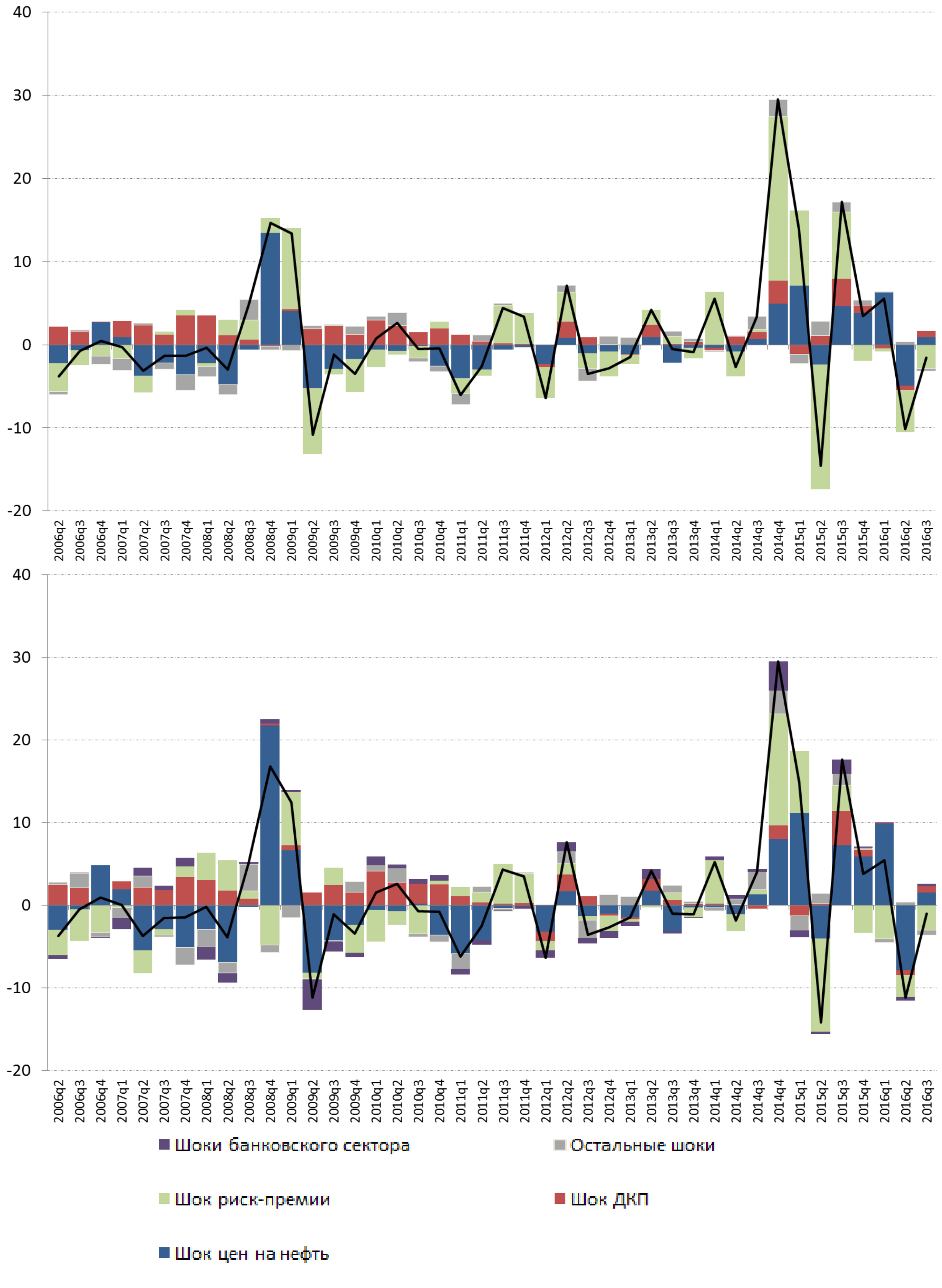


Рисунок 7д. Декомпозиция сглаженного в модели изменения логарифма ИПЦ (базовая модель – верхняя картинка, модель с банковским сектором – нижняя картинка)

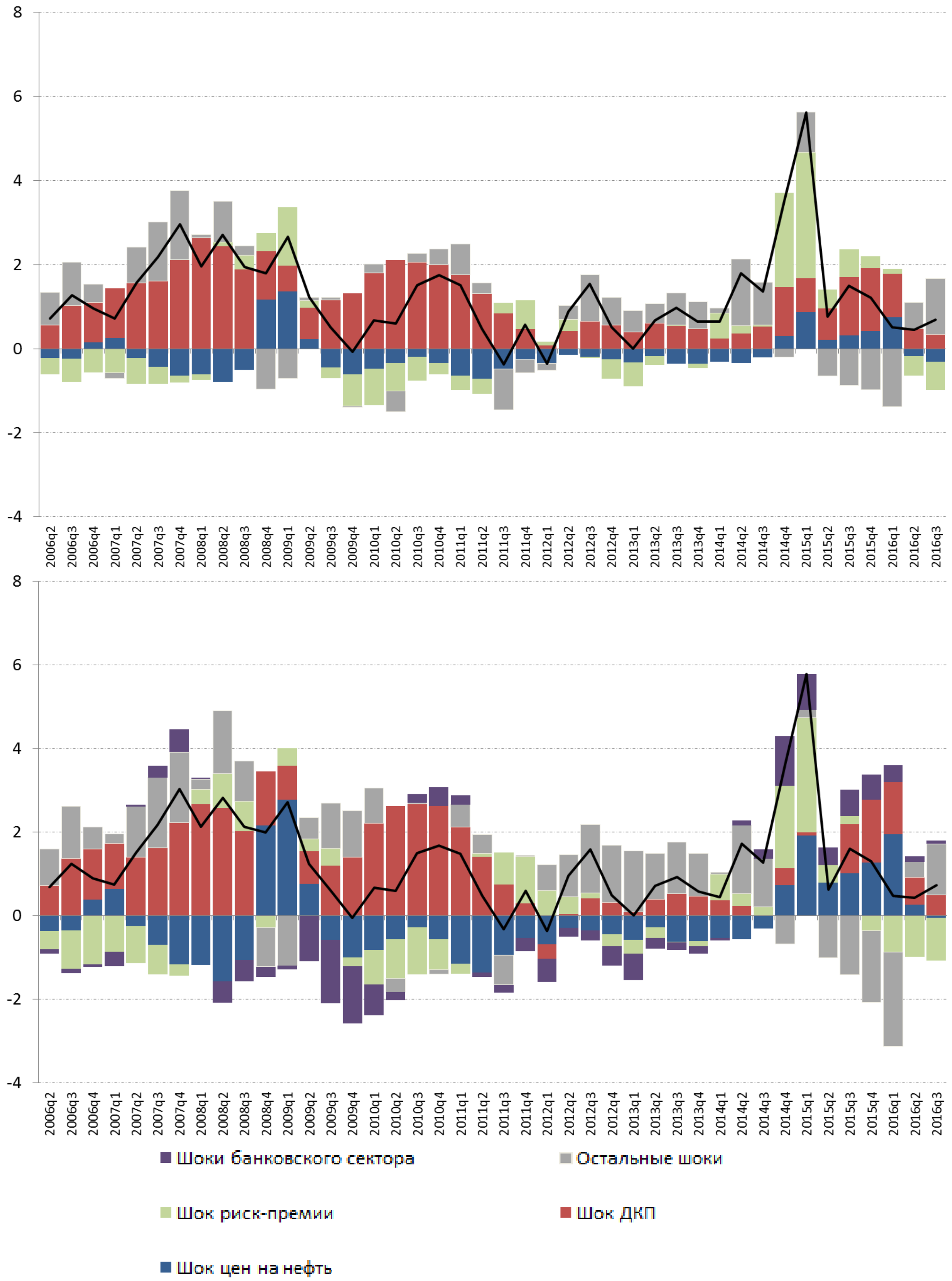


Рисунок 7е. Декомпозиция сглаженного в модели логарифма MIACR (базовая модель – верхняя картинка, модель с банковским сектором – нижняя картинка)