

## Прогнозирование кривой доходности в задачах управления активами и пассивами банка<sup>1</sup>

Цель работы состоит в поиске оптимальной модели прогнозирования краткосрочной кривой доходности. Рассматриваются индивидуальные, коллективные и комбинированные модели. Показано, что: 1) включение макроэкономических переменных позволяет улучшить качество прогноза; 2) комбинированные прогнозы систематически более точны, когда строятся на основе взвешивания предсказаний индивидуальных моделей с учетом их точности, зафиксированной в предыдущие периоды.

### 1. Постановка цели исследования

Основной целью управления активами и пассивами банка является формирование такой структуры баланса, которая оптимизировала бы величину процентного риска. Эта величина отражает ожидаемые потери дохода банка вследствие реализации следующих подвидов процентного риска:

- **риск параллельного сдвига кривой доходности** (возможные убытки от наличия вертикальных разрывов между величиной активов и пассивов с эквивалентной срочностью);
- **риск изменения формы кривой доходности** (вероятные потери из-за горизонтальных разрывов между величинами чистых позиций, соответствующих разным временным интервалам);
- **базисный риск** (потери, вызванные текущим соотношением активов и пассивов с фиксированной и плавающей ставками).

Таким образом, для оптимального управления активами и пассивами необходимо решить задачу прогнозирования кривой доходности, отражающей временную структуру процентных ставок.

В то время как большинство работ анализируют долгосрочный участок кривой доходности на основе данных об инструментах с фиксированной доходностью (например, работы [Diebold, Li (2002)], [Benninga, Wiener (1998)] и др.), лишь немногие посвящены исследованию ее краткосрочного отрезка. В частности, в статье [Pagès (1999)] рассматривается кривая доходности ставок межбанковского кредитования LIBOR, а в работе [Andrade, Da Fonseca (1997)] моделируются ставки «овернайт» денежного рынка Португалии.

<sup>1</sup> Автор выражает огромную благодарность С. А. Айвазяну за научное руководство при подготовке данной работы. Отдельная благодарность Д. Фантаццини и М. Маракуевой за важные комментарии, сделанные по ходу обсуждения результатов исследования.

Цель и новизна текущего исследования состоит в поиске оптимальной модели прогнозирования краткосрочного участка кривой доходности, формируемой ставками межбанковского кредитования для денежного рынка России.

## 2. Эволюция подходов к прогнозированию кривой доходности

Для оценивания и прогнозирования срочной структуры процентных ставок применяют следующие ключевые типы моделей:

- параметрические;
- аффинные структурные (модели безарбитражного ценообразования);
- с макроэкономической информацией.

База исследования **параметрических моделей** была заложена работой [Nelson, Siegel (1987)]. Авторы предположили, что в кривой доходности можно выделить три компоненты, отвечающие за кратко-, средне- и долгосрочную динамику. Соответственно это коэффициенты  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$  в следующей модели:

$$r(m) = \beta_0 + \beta_1 \exp\left(-\frac{m}{\tau}\right) + \beta_2 \left[\frac{m}{\tau} \exp\left(-\frac{m}{\tau}\right)\right]. \quad (1)$$

Здесь  $r(m)$  есть функция, которая каждому сроку заимствования  $m$  ставит в соответствие уровень процентной ставки  $r$ . Необходимо отметить, что моделирование в данном случае включает два этапа: *регрессионный* и *оптимизационный* [Nelson, Siegel (1987), с. 478]. Вначале для набора инструментов на каждую дату (авторы работали с 37 месячными срезами котировок бескупонных казначейских векселей США в 1981–1983 годы) строится регрессия для определения коэффициентов  $\beta_0$ ,  $\beta_1$  и  $\beta_2$  при значениях параметра  $\tau$ , изменяющихся в пределах от 10 до 200 с шагом 10, и значениях 250, 300 и 365. Затем на основании стандартного отклонения прогнозных значений доходности от ее фактических значений выявляется параметр  $\tau$ , наилучшим образом приближающий модель к эмпирическим данным.

Обратимся к табл. 1 (цитируется по [Nelson, Siegel (1987), с. 481]). В первом столбце здесь даны порядковые номера месячных срезов. Во втором приведены оптимальные значения  $\tau$ , которые лучше всего позволяют приблизить модель к эмпирическим данным на основании величины стандартного отклонения, указанного в третьем столбце (в базисных пунктах); в четвертом — показатель среднеквадратического отклонения для наилучшей модели; в пятом — стандартное отклонение для параметра  $\tau = 50$ ; в последнем – стандартное отклонение для упрощенной модели, в которой коэффициент  $\beta_2 = 0$ .

Важной особенностью работы Нельсона и Сигеля была направленность не на прогнозирование срочной структуры процентных ставок в будущем, а на оценку уровня доходности для облигаций со сроком до погашения, превышающим рассмотренный интервал сроков.

Для приложения модели Нельсона–Сигеля к российскому рынку ценных бумаг авторами статей [Гамбаров и др. (2004), (2006)] был введен ряд корректировок, с учетом которых сейчас публикуется кривая доходности рынка ГКО-ОФЗ. Поскольку базовая модель регистрировала существенные отклонения при сроках до 4 лет [Гамбаров и др. (2004), с. 31], при применении фильтра Калмана были добавлены слагаемые, позволяющие минимизировать внутривыборочные ошибки при заданном периоде верификации модели.

**Качество подгонки оцененных моделей**

Номер набора данных	τ	Полная модель			Упрощенная модель
		Стандартное отклонение от лучшего τ	R <sup>2</sup>	Стандартное отклонение при τ = 50	Стандартное отклонение от лучшего τ
1	2	3	4	5	6
1	50	16,09	92,4	16,09	46,71
2	40	13,00	88,9	13,67	36,42
3	30	11,22	72,3	12,45	13,46
4	60	6,01	86,7	6,12	9,00
5	40	12,92	87,8	14,52	30,97
6	40	13,47	93,3	13,52	13,32
7	80	15,61	49,7	15,90	17,11
8	10	10,43	81,7	22,42	23,00
9	20	19,85	88,8	20,34	19,56
10	50	18,33	95,2	18,33	18,10
11	30	4,88	98,8	6,11	6,95
12	300	12,28	93,8	12,43	12,16
13	50	7,76	99,4	7,76	7,67
14	30	11,08	98,0	11,32	11,22
15	60	10,51	95,7	10,75	15,20
16	10	6,28	97,3	7,30	7,55
17	110	5,11	98,3	5,71	5,74
18	20	7,51	86,4	10,12	11,10
19	170	4,12	98,8	4,46	4,05
20	20	5,79	98,8	9,26	9,98
21	20	20,04	96,7	25,17	25,55
22	365	15,08	98,3	15,84	15,41
23	40	10,01	99,1	11,65	14,78
24	30	2,91	99,6	5,13	6,17
25	20	7,25	97,4	7,45	7,34
26	100	5,18	93,9	5,33	5,09
27	300	3,71	97,3	4,03	3,65
28	50	5,38	95,5	5,38	5,28
29	110	6,72	85,6	6,90	6,59
30	70	1,95	98,0	2,10	2,21
31	365	3,75	91,6	4,02	3,68
32	20	4,89	96,1	5,80	4,83
33	40	3,16	99,1	3,22	3,19
34	120	7,24	96,1	7,82	7,11
35	90	15,34	86,3	15,51	15,07
36	365	5,53	95,9	6,17	5,43
37	180	3,01	99,0	4,25	2,97
<b>Медиана</b>	<b>50</b>	<b>7,25</b>	<b>95,9</b>	<b>7,82</b>	<b>9,00</b>

Второй активно развивающийся подход к прогнозированию временной структуры процентных ставок — **аффинные структурные модели**, в которых заложен принцип отсутствия временного арбитража, т. е. доход от вложения средств на длительный срок под долгосрочную ставку должен быть равен доходу от лонгирования краткосрочных вложений:

$$1 + tR_{LR} = (1 + R_{SR})[1 + E(R_{SR})]^{t-1}, \quad (2)$$

где  $R_{SR}$  и  $R_{LR}$  — текущие кратко- и долгосрочные ставки доходности соответственно;

$E(\cdot)$  — знак ожиданий будущих ставок;

$t$  — срок долгосрочного заимствования (вложения) средств (в данном случае предполагается упрощенный вариант, где этот срок превышает один год и является кратным году, тогда как под краткосрочным понимается вложение ровно на один год; в примере капитализация процентов идет только по краткосрочным вложениям, а не по долгосрочным).

Таким образом, из формулы (2) видно, что если участники рынка ожидают снижения краткосрочных ставок в будущем, то текущие долгосрочные ставки должны снизиться, отражая нисходящую форму кривой доходности.

Основополагающими работами по моделированию безарбитражных моделей стали статьи [Vasicek (1977)], [Cox et al. (1985)], в которых авторы рассматривают динамику процентных ставок как стохастическое блуждание около долгосрочного оптимума  $\theta$  [Cox et al. (1985), с. 391] следующего вида:

$$dr = k(\theta - r)dt + \sigma\sqrt{r}dz_1, \quad (3)$$

где  $z_1$  — одномерный винеровский процесс, параметр  $k$  отвечает за скорость сходимости к долгосрочному оптимуму, а  $d$  обозначает дифференциал. Как отмечают сами авторы, при положительных  $\theta$  и  $k$  процесс представляет собой авторегрессионную схему первого порядка.

Подход безарбитражного ценообразования был модифицирован (см. например, работы [Duffie, Kan (1996)], [Dai, Singleton (1998)]) в аффинные модели. В них процентные ставки зависят от ряда скрытых факторов, извлекаемых из данных о кривой доходности в разные моменты времени. Для соблюдения принципа отсутствия арбитража на скрытые факторы налагаются жесткие ограничения.

Третий интересный подход к моделированию процентных ставок — **модели с макроэкономической информацией**. Одним из стилизованных фактов о кривой доходности является то, что процентные ставки зависят от текущего и ожидаемого уровней инфляции, объемов доступной ликвидности, а также альтернативных источников вложения средств. Так, авторы [Mönch (2006)], [Pooter et al. (2007)], [Dai, Philippon (2004)] показывают, что включение макроэкономических переменных в модели оценки кривой доходности существенно повышает точность прогноза. Рассматривая ставки доходности на зарубежных рынках как альтернативу размещения средств, другие исследователи [Modugno, Nikolaou (2007)] также делают вывод, что модель с включением зарубежных кривых доходностей показывает лучший результат, нежели сугубо внутристрановая модель. Эконометрическим решением для включения значительного массива макроэкономической информации является применение метода главных компонент, позволяющего выделить наиболее существенную вариацию отобранных переменных.

Важно подчеркнуть, что при включении макропеременных можно получить более качественную структурную, но не прогнозную модель. Дело в том, что для построения последней необходимо иметь прогноз всех макропеременных, однако это требование на порядок увеличивает разброс получаемых ожидаемых значений процентных ставок, что снижает точность моделирования.

### 3. Описание исходных данных

Для цели данного исследования были взяты дневные ставки MosPrime Rate на сроки заимствований «овернайт» (ON), 1 и 2 недели, 1, 2, 3 и 6 месяцев. В период наблюдений (с 15 января 2007 года по 17 июля 2008 года) начали фиксироваться ставки на все обозначенные сроки (до этого ставки на срок «овернайт», 1 и 2 недели не фиксировались, а ставку на 6 месяцев начали публиковать только с 1 сентября 2006 года)<sup>2</sup>. Таким образом, выбранный интервал включал 380 наблюдений.

Ставка MosPrime Rate рассчитывается на основе объявляемых десятью банками<sup>3</sup> депозитных ставок от даты «завтра».

Динамика среднемесячных скользящих средних значений ставок MosPrime представлена на рис. 1, причем по оси времени можно наблюдать динамику ставок на конкретный срок ( $a$ ), тогда как продольный срез на каждую дату ( $b$ ) отражает кривую доходности на этот момент.

На рис. 2 приводится срез по ставке заимствования на один день (срок «овернайт» — ON), а на рис. 3 — срез на конкретную дату (кривая доходности).

Описательные статистики временных рядов ставок MosPrime (табл. 2) и данные табл. 3 (корреляции) подтверждают стилизованные факты о кривой доходности:

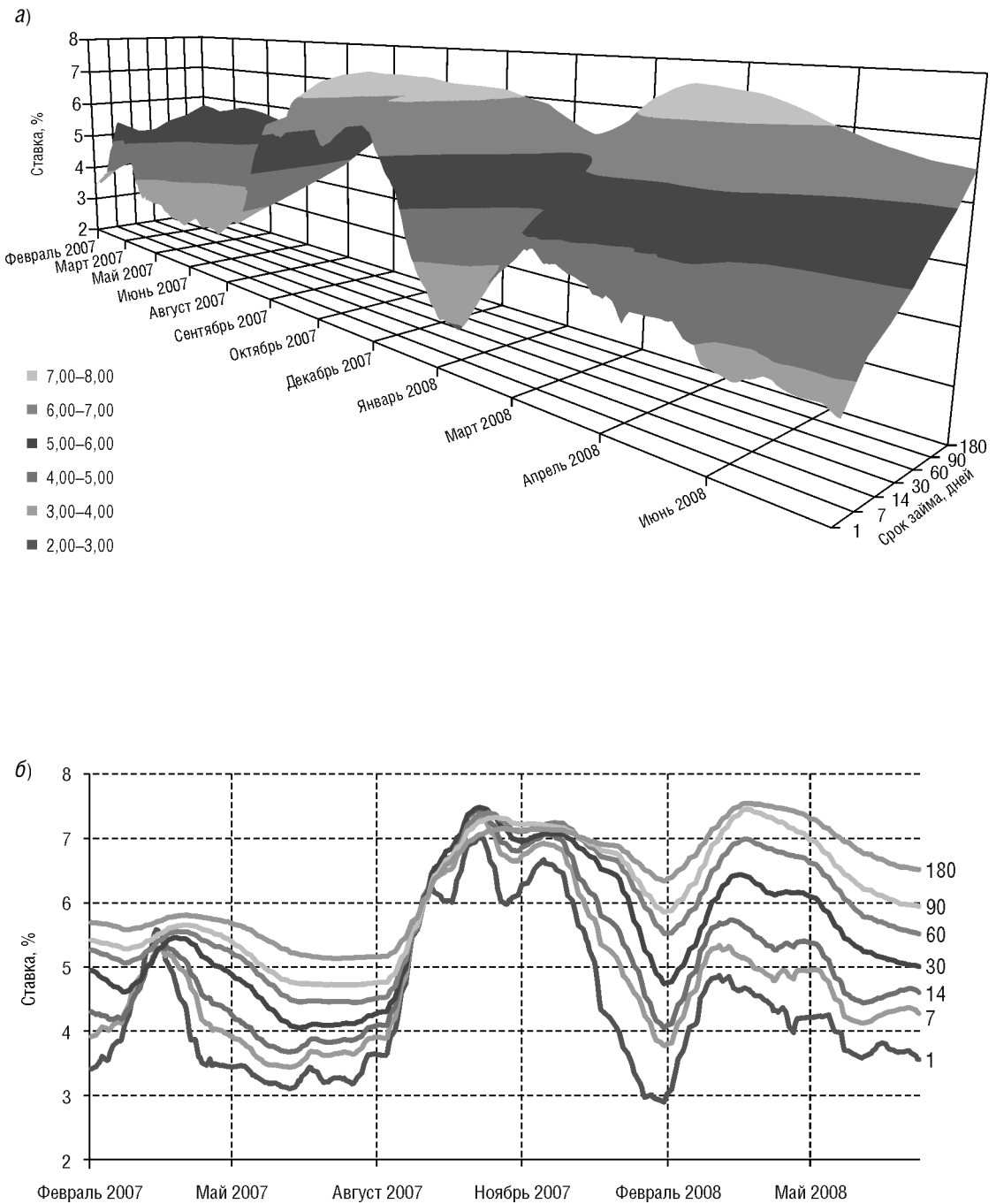
1. Рассматриваемая кривая имеет положительный наклон.
2. Волатильность колебаний ставок снижается с увеличением срока. Автокорреляция высока и растет с ростом срока.
3. Корреляции высоки, причем между ближайшими сроками они выше, чем между более дальними.

Как уже отмечалось, процентные ставки являются индикаторами, тесно интегрированными в экономическую систему. В силу этого обстоятельства ниже анализируются **ключевые макроэкономические переменные, которые целесообразно учитывать при прогнозировании кривой доходности.**

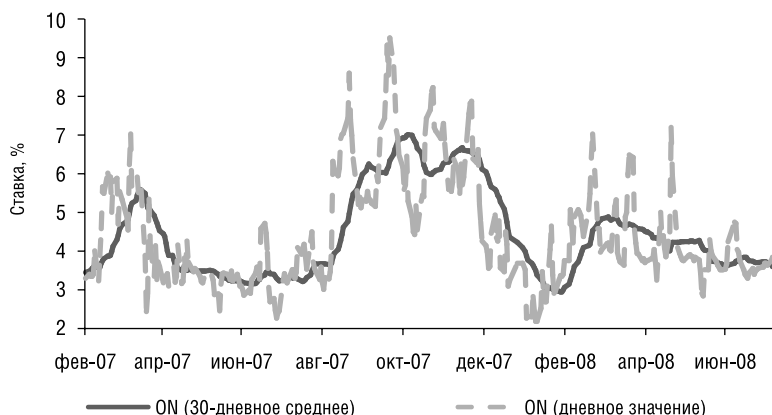
Как видно из графика, приведенного на рис. 4, величина ставки «овернайт», как правило, движется в противофазе объемам размещения средств банков на депозитах и корсчете Центрального банка (ЦБ). Проблема заключается в том, что ограничен набор инвестиционных

<sup>2</sup> Источник данных: сайт Центрального банка РФ: [http://www.cbr.ru/hd\\_base/MosPrime.asp](http://www.cbr.ru/hd_base/MosPrime.asp)

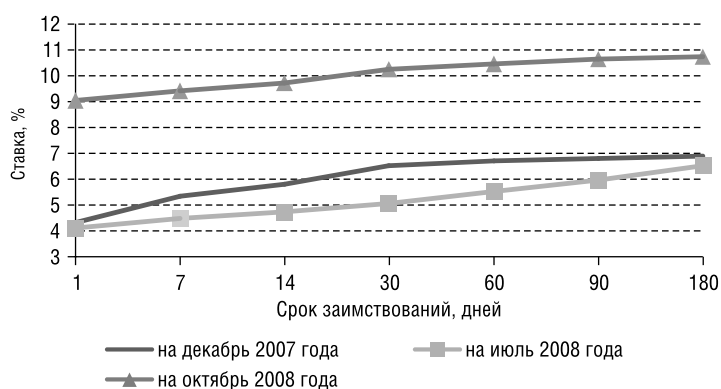
<sup>3</sup> В данный момент в число банков входят: ЗАО «АБН АМРО Банк А.О.», Банк «ВестЛБ Восток» (ЗАО), ОАО «Банк внешней торговли», АБ «Газпромбанк» (ЗАО), ЗАО «Международный Московский Банк», АК «Сбергательный банк России», КБ «Ситибанк» (ЗАО), ЗАО «Райффайзенбанк Австрия», ООО «HSBC (RR)» и ОАО «Банк Москвы» (Источник: сайт Национальной Валютной Ассоциации (НВА): <http://www.nva.ru/nva/indicators/>; Раздел «Положение о формировании индикативной ставки MosPRIME Rate»).



**Рис. 1.** Динамика ставки MosPrime при различных сроках займа (по горизонтали — дата, на которую фиксировались усредненные за 30 дней ставки)



**Рис. 2.** Динамика ставки MosPrime «овернайт»



**Рис. 3.** Кривая доходности денежного рынка на даты (по среднемесячным значениям MosPrime)

Таблица 2

**Описательные статистики временных рядов ставок заимствований MosPrime**

	Овернайт	1 неделя	2 недели	1 месяц	2 месяца	3 месяца	6 месяцев
Среднее	4,39	4,87	5,15	5,54	5,88	6,10	6,35
Стандартное отклонение	1,45	1,25	1,16	1,03	0,94	0,91	0,79
Минимум	2,17	3,16	3,50	3,97	4,33	4,68	5,11
Максимум	9,55	8,46	8,19	7,93	7,83	7,64	7,63
Экссесс	0,62	-0,26	-0,65	-0,95	-1,17	-1,31	-1,38
Асимметрия	1,05	0,82	0,64	0,35	0,10	0,00	-0,12
Количество наблюдений*	375	371	366	380	380	380	380
Jarque-Bera	73,58	41,97	31,35	22,37	22,32	27,05	30,96
ACF (1)	0,896	0,954	0,955	0,992	0,995	0,996	0,997
ACF (6)	0,575	0,720	0,793	0,903	0,936	0,952	0,966
ACF (24)	0,355	0,472	0,469	0,525	0,625	0,670	0,750

\* Пропущенные наблюдения были линейно интерполированы по двум ближайшим значениям.

Матрица корреляций ставок заимствований MosPrime

Срок	Овернайт	1 неделя	2 недели	1 месяц	2 месяца	3 месяца	6 месяцев
Овернайт	1,000000	0,933175	0,877847	0,754412	0,647640	0,559861	0,427802
1 неделя	0,933175	1,000000	0,980370	0,890911	0,800791	0,714721	0,582372
2 недели	0,877847	0,980370	1,000000	0,946263	0,870878	0,792563	0,665420
1 месяц	0,754412	0,890911	0,946263	1,000000	0,970351	0,917782	0,817074
2 месяца	0,647640	0,800791	0,870878	0,970351	1,000000	0,982153	0,921539
3 месяца	0,559861	0,714721	0,792563	0,917782	0,982153	1,000000	0,973196
6 месяцев	0,427802	0,582372	0,665420	0,817074	0,921539	0,973196	1,000000

альтернатив со сроками, на которые банк имеет возможность разместить временно свободные средства. Банк обязан минимизировать риск ликвидности, т. е. обеспечить «подушку ликвидности» — запас средств, необходимых для удовлетворения внеплановых требований по своим обязательствам перед кредиторами. Указанные средства не могут быть направлены банками ни на финансирование долгосрочных проектов, ни на приобретение ликвидных, но высоковолатильных ценных бумаг (например, ОФЗ). Это положение особенно актуально в условиях выхода облигационного рынка на новые уровни доходности летом 2008 года, поскольку возможна существенная отрицательная переоценка ценных бумаг, которая повлечет за собой убыток в ежемесячной отчетности.

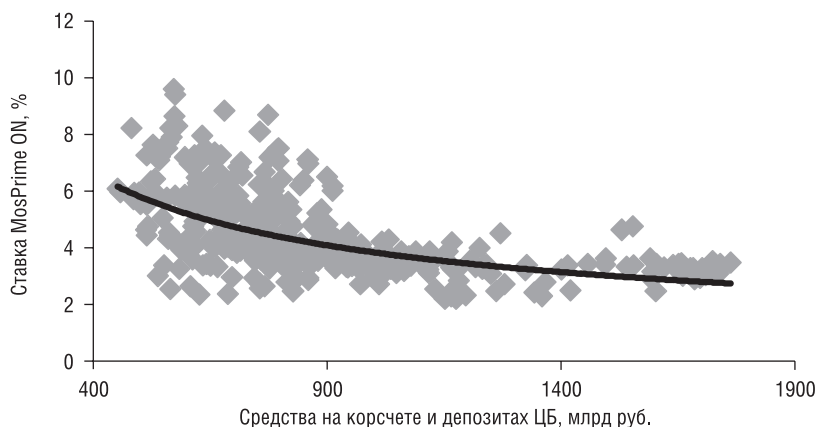
Таким образом, мы наблюдаем ситуацию спроса на ликвидность, когда низким ставкам MosPrime соответствуют большие объемы средств банков на корсчетах и депозитах ЦБ (см. рис. 5). Соответственно, кризисные периоды нехватки денежных средств характеризуются высокой ставкой и малыми объемами избыточной ликвидности, как это было осенью 2007 года (всплески на графике (рис. 4) с сентября по декабрь 2007 года) как реакция на кризис рынка ипотечных кредитов США.



Рис. 4. Взаимосвязь ставки MosPrime и банковской ликвидности

Прогнозирование кривой доходности в задачах управления активами и пассивами банка



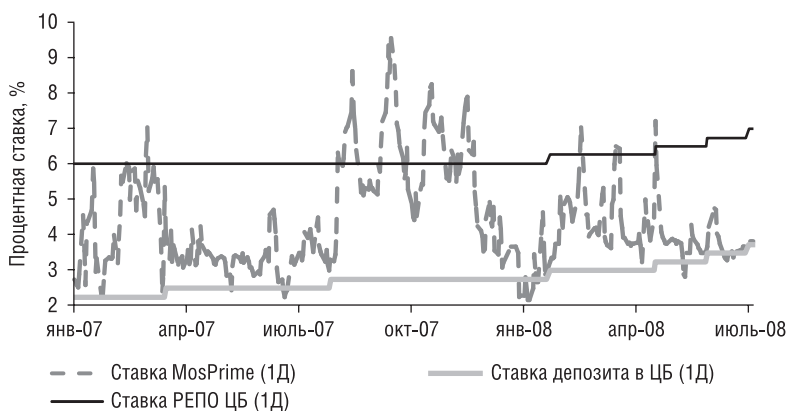


**Рис. 5.** Модель спроса на банковскую ликвидность (сплошная линия отражает степенной тренд взаимосвязи двух переменных)

Таким образом, целесообразно включать в модели оценки срочной структуры *объемы средств банков на корсчетах и депозитах ЦБ*.

Другими важными макроэкономическими детерминантами ставки MosPrime являются *индикативные ставки ЦБ*, особенно по депозитам и операциям РЕПО. Как видно из графика, приведенного на рис. 6, указанные ставки фактически задают коридор движения MosPrime. С одной стороны, банкам невыгодно кредитовать по ставкам ниже ставки депозита ЦБ, которую они могут заработать, разместив средства на счетах ЦБ. С другой стороны, им также невыгодно привлекать средства от других банков по ставке выше ставки РЕПО, поскольку под нее они могут практически всегда занять у ЦБ под залог ценных бумаг ломбардного списка (кроме кризисных периодов, как осенью 2007 года, когда потребность в ликвидности была чрезмерной).

В силу этого в качестве дополнительных факторов были взяты ставка по депозиту ЦБ на 1 день, а также ставки межбанковского кредитования LIBOR на срок 6 месяцев в долларах США и евро.



**Рис. 6.** Эволюция ключевых ставок денежного рынка

Учитывая, что Центральный банк регулирует не только ставки по депозитам и операциям РЕПО, но и ликвидность средствами таргетирования бивалютной корзины, для оценки регрессионных моделей кривой доходности также были взяты *обменные курсы рубля по отношению к доллару и евро*.

Описательные статистики использованных в моделях макроэкономических переменных приведены в табл. 4.

Таблица 4

Описательные статистики макроэкономических данных

	Средства на корсчете в ЦБ, млрд руб.	Средства на депозите в ЦБ, млрд руб.	Ставка по депозиту ЦБ на 1 день, %	Ставка USD LIBOR на 6 месяцев, %	Ставка EUR LIBOR на 6 месяцев, %	Курс рубля к доллару, руб.	Курс рубля к евро, руб.
Среднее	524	365	2,75	4,48	4,50	24,96	35,60
Стандартное отклонение	102	315	0,35	1,09	0,35	0,98	0,90
Минимум	363	52	2,25	2,37	3,88	23,13	34,26
Максимум	964	1298	3,75	5,60	5,16	26,58	37,26
Эксцесс*	1,64	1,31	-0,04	-1,38	-0,96	-1,30	-1,25
Асимметрия*	1,09	1,45	0,60	-0,67	-0,04	-0,15	0,36
Количество*	380	380	380	367	370	380	380

\* Измеряется в единицах.

4. Методология исследования

Первая часть исследования включала **построение трех классов моделей**: авторегрессионных (AR), авторегрессионных с включением макроэкономических переменных (AR-X) и векторных авторегрессионных моделей (VAR). Причем в моделях типа AR и AR-X оценивался GARCH(1,1)-эффект, характерный для финансовых данных.

С одной стороны, тест на наличие единичного корня в рамках процедуры Доладо–Дженкинсона–Сосвилла–Риверо показал, что ряды процентных ставок MosPrime не стационарны (в частности, ряд «овернайт» является стационарным около тренда (trend stationary), но без значимого тренда; остальные — стационарными в разностях (difference stationary), кроме ряда «1 неделя», по которому гипотеза о наличии единичного корня не подтвердилась). С другой стороны, как отмечено в работе [Pooter et al. (2007), с. 9], нестационарность процентных ставок, что эквивалентно отсутствию долгосрочного равновесного уровня, сложно интерпретировать с экономической точки зрения. Важно помнить, что динамика кривой доходности соответствует траектории развития всей экономики. Так, в развитых экономиках процентные ставки достаточно стабильны и реагируют фактически только на изменение ставок рефинансирования ключевых финансовых институтов. Аналогичная логика присутствовала и при использовании макроэкономических переменных. В частности, при включении в модель объемов средств на корсчетах и депозитах ЦБ (эти процессы стационарны около тренда) отправной точкой размышления было то, что объем свободных денежных средств банков не может расти или убывать. Объясняется это тем, что систематическое наличие свободных денежных средств у банка позволяет ему выделить ядро (core), которое

он уже сможет направить на долгосрочные инвестиционные проекты или выдать в качестве длинных кредитов.

В связи с этим регрессионный анализ проводился в уровнях, а не в разностях процентных ставок и макроэкономических величин методом наименьших квадратов.

Вторая часть исследования состояла в **построении комбинаций прогнозов** на основе данных оцененных трех моделей. Было использовано два принципиально разных подхода к обобщению результатов индивидуальных моделей:

- комбинация с равными весами;
- комбинация с весами, пропорциональными точности моделей в прошлые периоды.

Для комбинаций второго типа за основу пропорциональности была взята величина, обратная *среднеквадратической ошибке прогноза* (Mean Squared Prediction Error — MSPE), т. е. использовался принцип «чем точнее в прошлом был прогноз модели, тем больший вес ей придается в выстраиваемом комбинированном прогнозе».

Соответственно, для каждой модели среднеквадратическая ошибка прогноза рассчитывается по формуле

$$MSPE_{T+h,m}^{(T)} = \frac{1}{\nu} \sum_{r=1}^{\nu} \left( \hat{y}_{T+h,m|T-r,m}^{(T)} - y_{T+h-r}^{(T)} \right)^2, \quad (4)$$

где  $\hat{y}_{T+h,m|T-r,m}^{(T)}$  — прогнозное значение по индивидуальной модели  $m$ , построенное на  $h$  шагов вперед (рассматривался шаг в 1 день) при прогнозировании в момент  $T-r$ ;

$y_{T+h-r}^{(T)}$  — фактическое значение процентной ставки в момент  $T+h-r$ ;

$\nu$  — количество рассматриваемых периодов. В данной работе было рассмотрено усреднение по предыдущей неделе (5 дней), месяцу (20 дней) и расширяющемуся окну наблюдений.

Часто качество прогноза сравнивают с моделью «наивных ожиданий», когда прогнозное значение равно последнему доступному.

Вес индивидуальной модели  $m$  определяется по следующей формуле:

$$w_{T+h,m}^{(T)} = \frac{1/MSPE_{T+h,m}^{(T)}}{\sum_{m=1}^M 1/MSPE_{T+h,m}^{(T)}}. \quad (5)$$

Эффективность каждой модели оценивалась по *корню из среднеквадратической ошибки* (Root Mean Squared Prediction Error — RMSPE) за период, на котором были доступны данные по всем моделям. Это значение было рассчитано по следующей формуле:

$$RMSPE_m = \sqrt{\frac{1}{\nu} \sum_{r=271}^{\nu=380} \left( \hat{y}_{T+h,m|T-r,m}^{(T)} - y_{T+h-r}^{(T)} \right)^2}, \quad (6)$$

где обозначения аналогичны тем, что использовались при расчете среднеквадратической ошибки MSPE.

## **5. Результаты эконометрического моделирования**

Отметим, что включение макроэкономических переменных действительно повышает прогнозную силу моделей, но незначительно. Значимость макроэкономических факторов приведена в табл. 5.

**Значимость\* макроэкономических индикаторов в регрессионных моделях при различных сроках кредитования**

Фактор	Овернайт	1 неделя	2 недели	1 месяц	2 месяца	3 месяца	6 месяцев
Средства на корсчете в ЦБ	+	+	+	+			
Средства на депозите в ЦБ	+			+	+		
Ставка по депозиту ЦБ на 1 день		+	+	+			
Ставка USD LIBOR на 6 месяцев				+	+		
Ставка EUR LIBOR на 6 месяцев							
Курс рубля к доллару			+	+		+	
Курс рубля к евро			+	+		+	

\* Знаком «+» отмечены значимые коэффициенты, причем: <sup>\*</sup> — на 1%-ном; <sup>\*\*</sup> — на 5%-ном; <sup>\*\*\*</sup> — на 10%-ном уровне.

Тем не менее интересно, что если для ставок на срок до 1 месяца объем свободной банковской ликвидности (средства на корсчетах и депозитах) и ставка по депозиту ЦБ на 1 день в основном являются статистически значимыми факторами, то для ставок на более длительные сроки это не выполняется. Примечательно, что для более длительных сроков значимыми оказываются такие ранее незначимые факторы, как динамика курсов валют, причем если в регрессии значимыми оказывались валютные курсы, то, как правило, незначимыми становились ставки кредитования LIBOR (кроме случая ставки MosPrime на 1 месяц).

Также заметим, что ставка межбанковского кредитования за рубежом на срок 6 месяцев значима в динамике ставок только на 1–2 месяца. Вероятным объяснением может быть тот факт, что более длинные иностранные заимствования подкрепляются короткими валютными свопами, что позволяет в дополнение к разнице ставок получать дополнительную прибыль от разницы сроков.

Для ставки MosPrime на 6 месяцев среди использованных факторов значимых выявлено не было.

Следующим этапом стало сопоставление величин ошибок прогноза, которые приведены в табл. 6. Примечательно, что в целом величина ошибки уменьшается с увеличением срока заимствования. Скорее всего это происходит вследствие уменьшения волатильности ставок с ростом срока.

Отметим, что данные табл. 6 подтверждают выводы предыдущих исследователей о том, что включение макроэкономических переменных улучшает качество прогноза.

Сформулируем ключевой результат: **комбинация прогнозов дает более точный результат, чем даже лучшая индивидуальная или коллективная модель**. Предпочтение при этом необходимо отдать модели комбинации прогноза с весами, пропорциональными их точности в прошлом. Особенно целесообразно брать модель с относительно более коротким окном наблюдений (например, 1 неделя).

Прогнозирование кривой доходности в задачах управления активами и пассивами банка

**Корень из среднеквадратической ошибки прогноза оцененных моделей\*  
при различных сроках кредитования**

(процентные пункты)

Модель	Овернайт	1 неделя	2 недели	1 месяц	2 месяца	3 месяца	6 месяцев
<i>Индивидуальные модели</i>							
AR	0,5294	0,3232	0,2130	0,0918	0,0589	0,0560	0,0404
AR-X	0,5196	0,3298	0,2173	0,1014	0,0639	0,0580	0,0417
<i>Коллективные модели</i>							
VAR	0,5358	0,3248	0,2172	0,0968	0,0578	0,0531	0,0392
<i>Комбинированные модели</i>							
EW	0,5113	0,3189	0,2093	0,0925	0,0568	0,0541	0,0390
MSPE_5	<b>0,5033</b>	<b>0,3145</b>	<b>0,2049</b>	<b>0,0904</b>	<b>0,0545</b>	<b>0,0528</b>	<b>0,0383</b>
MSPE_20	0,5087	0,3172	0,2079	0,0918	0,0555	0,0538	0,0391
MSPE_exp	0,5100	0,3180	0,2085	0,0922	0,0559	0,0541	0,0393

\* EW — модель комбинации прогноза с равными весами индивидуальных моделей; MSPE — модель с весами, обратно пропорциональными среднеквадратической ошибке в предыдущие периоды с окном наблюдений в 5 дней (MSPE\_5), в 20 дней (MSPE\_20) и с расширяющимся окном наблюдений (MSPE\_exp).

**6. Основные выводы**

Для управления активами и пассивами банка надо знать ожидаемую кривую доходности, что позволяет давать рекомендации по оптимизации срочной структуры баланса. Целью данного исследования было выявить оптимальную модель прогнозирования краткосрочного участка кривой доходности, формируемого на основе ставок MosPrime. Критерием оптимальности выступал корень из среднеквадратической ошибки.

Первым ключевым выводом стал тот факт, что *использование макроэкономической информации увеличивает точность прогноза*, и это согласуется с результатами более ранних работ других авторов. Обратим внимание на то, что для более коротких сроков заимствований (до 1 месяца) статистически значимыми детерминантами являются средства на корсчетах и депозитах в ЦБ. Это объясняется тем, что при сроках более 1 месяца банки склонны выбирать иные инвестиционные альтернативы. Также существует положительная связь между ставками MosPrime на 1 месяц и среднесрочными (6 месяцев) ставками LIBOR, что может отражать наличие арбитражных возможностей, реализуемых участниками отечественного рынка с помощью валютных свопов. Для длительных же сроков была выявлена значимая взаимосвязь с обменными курсами.

Вторым важным выводом стало подтверждение *преимуществ комбинированных прогнозов*, которые систематически дают более точный результат, чем индивидуальные или коллективные модели. Предпочтение следует отдать моделям, увязывающим вес индивидуальных прогнозов с их точностью в прошлом. Ввиду короткой памяти финансовых временных рядов более точные результаты получаются при относительно небольшом окне усреднения (например, 1 неделя).

Проводя подобный эконометрический анализ и прогнозирование временной структуры процентных ставок, важно помнить, что полученные результаты следует интерпретировать

лишь как первичную количественную информацию для принятия решения, которую необходимо дополнить данными об ожидаемом изменении качественных переменных.

Тем не менее прогнозирование кривой доходности является основой для дальнейших исследований, призванных оценить интервал ее критических (максимально и минимально ожидаемых) значений для целей проведения стресс-тестирования процентного риска банка.

## 7. Алгоритм расчета в программной среде EViews 5.0

### Оценка GARCH(1,1)-модели

```
smp1 @all

' вводим переменные, соответствующие ставкам на разные сроки
series x1=on
series x2=w1
series x3=w2
series x4=m1
series x5=m2
series x6=m3
series x7=m6

' вводим тип оцениваемых уравнений
%type1="ar"
%type2="arx"

for !k=1 to 7
  %x_k="x"+"!k"

' вводим расширяющееся окно выборки
for !i=1 to 130
  smp1 1 249+!i

' оцениваем уравнение GARCH (1,1)
equation {%x_k}_{%type1}.arch(m=100,c=1e-5) {%x_k} c ar(1) ma(1)
equation {%x_k}_{%type2}.arch(m=100,c=1e-5) {%x_k} c ar(1) ma(1) ca depo r_depo eur rub usd rub eur6m usd6m

' указываем горизонт прогнозирования
smp1 250+!i 250+!i

' строим прогнозы среднего
{%x_k}_{%type1}.forecast forecast1
{%x_k}_{%type2}.forecast forecast2

series {%x_k}_{%type1}_f
{%x_k}_{%type1}_f(250+!i)=@elem(forecast1,@otod(250+!i))
series {%x_k}_{%type2}_f
{%x_k}_{%type2}_f(250+!i)=@elem(forecast2,@otod(250+!i))

next

' строим график фактических и прогнозных значений
smp1 250 380
plot {%x_k} {%x_k}_{%type1}_f {%x_k}_{%type2}_f

next
```

**Оценка VAR-модели**

```
smp1 @all

' вводим переменные, соответствующие ставкам на разные сроки
series x1=on
series x2=w1
series x3=w2
series x4=m1
series x5=m2
series x6=m3
series x7=m6

%x_k="x"+"!k"

' вводим тип оцениваемых уравнений
%type1="ar"
%type2="arx"
%type3="var"

' вводим расширяющееся окно выборки
for !i=1 to 130
smp1 1 249+!i

' специфицируем векторную авторегрессию (VAR) с двумя лагами
var {%type3}.ls 1 2 x1 x2 x3 x4 x5 x6 x7

' создаем модель одновременных уравнений на основе VAR
{%type3}.makemodel (var_mosprime) assign @prefix s_

' указываем горизонт прогнозирования
smp1 250+!i 250+!i

' разрешаем специфицированную модель на выбранном горизонте
var_mosprime.solve (d=d)

for !k=1 to 7

series {%x_k}_{%type3}_f
series {%x_k}_0
{%x_k}_{%type3}_f (250+!i)=@elem({%x_k}_0,@otod(250+!i))

next
next

smp1 250 380

for !k=1 to 7
plot {%x_k} {%x_k}_{%type1}_f {%x_k}_{%type2}_f {%x_k}_{%type3}_f
next
```

**Расчет среднеквадратической ошибки**

```
smp1 @all

%x_k="x"+"!k"

%type1="ar"
' %type1="arx"
' %type1="var"
```

```
' фиксированное окно усреднения
%nu="5"

series mspe
scalar mspe_cum

for !k=1 to 7

mspe=({%x_k}_{%type1}_f-{%x_k})^2

for !i=1 to 130-{%nu}

    mspe_cum=@elem(mspe,@otod(250+{%nu}+!i))

    for !j=1 to {%nu}-1
        mspe_cum=mspe_cum+@elem(mspe,@otod(250+{%nu}+!i-!j))
    next

series mspe_{{%x_k}}_{{%type1}}_{{%nu}}
mspe_{{%x_k}}_{{%type1}}_{{%nu}}(250+{%nu}+!i)=1/{%nu}*mspe_cum
next
next

' расширяющееся окно усреднения

series mspe
scalar mspe_cum

for !k=1 to 7

mspe=({%x_k}_{%type1}_f-{%x_k})^2

for !i=1 to 130

    mspe_cum=@elem(mspe,@otod(250+!i))

    for !j=1 to !i-1
        mspe_cum=mspe_cum+@elem(mspe,@otod(250+!i-!j))
    next

series mspe_{{%x_k}}_{{%type1}}_exp
mspe_{{%x_k}}_{{%type1}}_exp(250+!i)=1/!i*mspe_cum
next
next
```

### Построение комбинированных прогнозов

```
%nu="5"
' %nu="20"
' %nu="exp"
%x_k="x"+"!k"

for !k=1 to 7

' комбинация с равными весами
series {%x_k}_ew=1/3*({%x_k}_ar_f+{%x_k}_arx_f+{%x_k}_var_f)

' взвешенная по среднеквадратической ошибке комбинация
series {%x_k}_mspe_{{%nu}}

{%x_k}_mspe_{{%nu}} = ( ( 1 / mspe_{{%x_k}}_ar_{{%nu}} ) / ( ( 1 / mspe_{{%x_k}}_ar_{{%nu}} ) + ( 1 /
mspe_{{%x_k}}_arx_{{%nu}} ) + ( 1 / mspe_{{%x_k}}_var_{{%nu}} ) ) * {%x_k}_ar_f ) + ( ( 1 / mspe_{{%x_k}}_arx_{{%nu}} )
```



```

/ ( ( 1 / mspe_{%x_k}_ar_{%nu} ) + ( 1 / mspe_{%x_k}_arx_{%nu} ) + ( 1 / mspe_{%x_k}_var_{%nu} ) ) *
{%x_k}_arx_f ) + ( ( 1 / mspe_{%x_k}_var_{%nu} ) / ( ( 1 / mspe_{%x_k}_ar_{%nu} ) + ( 1 /
mspe_{%x_k}_arx_{%nu} ) + ( 1 / mspe_{%x_k}_var_{%nu} ) ) ) * {%x_k}_var_f )
next

```

**Построение матрицы среднеквадратических ошибок для оцененных моделей**

```

smpl @all
%x_k="x"+"!k"
series mspe
scalar mspe_cum

matrix (7,7) RMSPE

for !k=1 to 7
for !i=1 to 7
    if !i=1 then
        %type="ar_f"
    else
    if !i=2 then
        %type="arx_f"
    else
    if !i=3 then
        %type="var_f"
    else
    if !i=4 then
        %type="ew"
    else
    if !i=5 then
        %type="mspe_5"
    else
    if !i=6 then
        %type="mspe_20"
    else
    if !i=7 then
        %type="mspe_exp"

endif
endif
endif
endif
endif
endif
endif

mspe=({%x_k}_{%type})-{%x_k})^2
mspe_cum=@elem(mspe,@otod(271))

for !j=1 to 109
    mspe_cum=mspe_cum+@elem(mspe,@otod(271+!j))
next

rmspe(!i,!k)=sqr(1/129*mspe_cum)
next
next
show RMSPE

```

8. Итоговые модели регрессии

Dependent Variable: X1				
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	28,15356	34,96600	0,805170	0,4207
CA	-0,003662	0,000602	-6,078756	0,0000
DEPO	-0,002224	0,000420	-5,295419	0,0000
R_DEPO	0,734882	0,685186	1,072530	0,2835
EURRUB	-0,538130	0,533377	-1,008911	0,3130
USDRUB	-0,316188	0,622522	-0,507915	0,6115
EUR6M	0,550673	0,817233	0,673825	0,5004
USD6M	0,331999	0,250910	1,323178	0,1858
AR(1)	0,820822	0,036060	22,76297	0,0000
MA(1)	0,054679	0,078094	0,700175	0,4838
Variance Equation				
C	0,052029	0,016368	3,178722	0,0015
RESID(-1)^2	0,227205	0,071846	3,162395	0,0016
GARCH(-1)	0,639201	0,078758	8,116026	0,0000
R-squared	0.838355	Mean dependent var		4.397950
Adjusted R-squared	0.833041	S.D. dependent var		1.444062
S.E. of regression	0.590053	Akaike info criterion		1.730488
Sum squared resid	127.0793	Schwarz criterion		1.865815
Log likelihood	-314.0621	F-statistic		157.7532
Durbin-Watson stat	2.004154	Prob(F-statistic)		0.000000
Inverted AR Roots	,82			
Inverted MA Roots	-,05			

Dependent Variable: X2				
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	19.01833	20.69390	0.919030	0.3581
CA	-0.000894	0.000258	-3.473517	0.0005
DEPO	-0.000442	0.000424	-1.042704	0.2971
R_DEPO	1.039029	0.300953	3.452464	0.0006
EURRUB	-0.166700	0.354623	-0.470077	0.6383
USDRUB	-0.346955	0.355777	-0.975203	0.3295
EUR6M	-0.238243	1.129928	-0.210848	0.8330
USD6M	-0.201688	0.291404	-0.692124	0.4889
AR(1)	0.977161	0.017842	54.76706	0.0000
MA(1)	0.257423	0.049729	5.176535	0.0000
Variance Equation				
C	0.082776	0.009960	8.310846	0.0000
RESID(-1)^2	0.300365	0.104201	2.882553	0.0039
GARCH(-1)	-0.082811	0.102751	-0.805941	0.4203

Прогнозирование кривой доходности в задачах управления активами и пассивами банка

Продолжение

Г.И. Пенникас

R-squared	0.937519	Mean dependent var	4,853717
Adjusted R-squared	0.935464	S.D. dependent var	1,246565
S.E. of regression	0.316675	Akaike info criterion	0,519309
Sum squared resid	36.60338	Schwarz criterion	0,654636
Log likelihood	-85.14941	F-statistic	456,3954
Durbin-Watson stat	2.116093	Prob(F-statistic)	0,000000
Inverted AR Roots	.98		
Inverted MA Roots	-.26		

Dependent Variable: X3				
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	36.70818	15.06586	2.436515	0.0148
CA	-0.000645	0.000186	-3.471310	0.0005
DEPO	-0.000380	0.000333	-1.141195	0.2538
R_DEPO	0.440844	0.208554	2.113812	0.0345
EURRUB	-0.436914	0.266993	-1.636426	0.1018
USDRUB	-0.637219	0.251098	-2.537730	0.0112
EUR6M	-0.054124	0.847502	-0.063863	0.9491
USD6M	-0.081847	0.285787	-0.286391	0.7746
AR(1)	0.980468	0.016573	59.16034	0.0000
MA(1)	0.269569	0.047340	5.694346	0.0000
Variance Equation				
C	0.044803	0.004048	11.06889	0.0000
RESID(-1)^2	0.226307	0.079967	2.829999	0.0047
GARCH(-1)	-0.080881	0.070759	-1.143042	0.2530
R-squared	0.963779	Mean dependent var	5.115387	
Adjusted R-squared	0.962588	S.D. dependent var	1.157812	
S.E. of regression	0.223946	Akaike info criterion	-0.166361	
Sum squared resid	18.30547	Schwarz criterion	-0.031034	
Log likelihood	44.44227	F-statistic	809.3291	
Durbin-Watson stat	2.076533	Prob(F-statistic)	0.000000	
Inverted AR Roots	.98			
Inverted MA Roots	-.27			

Dependent Variable: X4				
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	50.09574	0.107086	467.8077	0.0000
CA	-0.000501	0.000140	-3.577613	0.0003
DEPO	-0.001539	6.39E-05	-24.08852	0.0000
R_DEPO	-0.439871	0.214860	-2.047245	0.0406

Продолжение

EURRUB	-0.319061	0.036118	-8.833743	0.0000
USDRUB	-1.373648	0.043315	-31.71323	0.0000
EUR6M	-0.036776	0.177141	-0.207609	0.8355
USD6M	0.748987	0.058679	12.76418	0.0000
MA(1)	0.809075	0.033891	23.87264	0.0000
Variance Equation				
C	0.003720	0.002047	1.817749	0.0691
RESID(-1)^2	0.458642	0.105379	4.352307	0.0000
GARCH(-1)	0.554639	0.072416	7.659100	0.0000
R-squared	0.865508	Mean dependent var		5.544116
Adjusted R-squared	0.861477	S.D. dependent var		1.031911
S.E. of regression	0.384064	Akaike info criterion		0.308767
Sum squared resid	54.13435	Schwarz criterion		0.433438
Log likelihood	-46.51128	F-statistic		214.7079
Durbin-Watson stat	0.347473	Prob(F-statistic)		0.000000
Inverted MA Roots	-0.81			

Прогнозирование кривой доходности в задачах управления активами и пассивами банка

Dependent Variable: X5				
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-83,08124	2048,641	-0,040554	0,9677
CA	1,30E-05	4,51E-05	0,288876	0,7727
DEPO	-0,000102	6,10E-05	-1,679813	0,0930
R_DEPO	0,067018	0,084275	0,795227	0,4265
EURRUB	0,074184	0,052942	1,401237	0,1611
USDRUB	-0,069528	0,064980	-1,069992	0,2846
EUR6M	0,103992	0,152714	0,680958	0,4959
USD6M	0,088637	0,048098	1,842839	0,0654
AR(1)	0,999852	0,003906	255,9515	0,0000
MA(1)	0,138102	0,061950	2,229226	0,0258
Variance Equation				
C	0.000669	0.000181	3.697623	0.0002
RESID(-1)^2	1.030001	0.112022	9.194611	0.0000
GARCH(-1)	0.380766	0.048590	7.836265	0.0000
R-squared	0.992357	Mean dependent var		5.881614
Adjusted R-squared	0.992105	S.D. dependent var		0.941933
S.E. of regression	0.083693	Akaike info criterion		-2.370702
Sum squared resid	2.556644	Schwarz criterion		-2.235375
Log likelihood	461.0627	F-statistic		3949.033
Durbin-Watson stat	1.489010	Prob(F-statistic)		0.000000
Inverted AR Roots	1.00			
Inverted MA Roots	-0.14			

Dependent Variable: X6				
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	11.63231	2.012852	5.779019	0.0000
CA	6.50E-05	4.38E-05	1.483841	0.1379
DEPO	-1.07E-05	5.87E-05	-0.181818	0.8557
R_DEPO	0.036506	0.051109	0.714286	0.4751
EURRUB	-0.099947	0.035873	-2.786153	0.0053
USDRUB	-0.133099	0.047028	-2.830230	0.0047
EUR6M	-0.074772	0.177973	-0.420132	0.6744
USD6M	0.020999	0.032954	0.637229	0.5240
AR(1)	0.008143	0.004397	1.852232	0.0640
AR(2)	0.981006	0.004395	223.1898	0.0000
MA(1)	1.302282	0.059648	21.83272	0.0000
MA(2)	0.304025	0.059780	5.085701	0.0000
Variance Equation				
C	0.000204	6.18E-05	3.296344	0.0010
RESID(-1)^2	0.594881	0.079481	7.484520	0.0000
GARCH(-1)	0.577107	0.041520	13.89946	0.0000
R-squared	0.994504	Mean dependent var		6.100690
Adjusted R-squared	0.994292	S.D. dependent var		0.911098
S.E. of regression	0.068837	Akaike info criterion		-2.900844
Sum squared resid	1.715369	Schwarz criterion		-2.744389
Log likelihood	561.8092	F-statistic		4678.940
Durbin-Watson stat	1.933854	Prob(F-statistic)		0.000000
Inverted AR Roots	.99	-.99		
Inverted MA Roots	-.30	-1.00		

Dependent Variable: X7				
	Coefficient	Std. Error	z-Statistic	Prob.
C	-16.46750	323.2515	-0.050943	0.9594
CA	-2.79E-05	4.70E-05	-0.593373	0.5529
DEPO	-4.03E-05	5.06E-05	-0.797300	0.4253
R_DEPO	0.056029	0.075936	0.737844	0.4606
EURRUB	-0.007277	0.041942	-0.173504	0.8623
USDRUB	-0.029199	0.047239	-0.618111	0.5365
EUR6M	-0.061246	0.135629	-0.451574	0.6516
USD6M	-0.031902	0.046502	-0.686037	0.4927
AR(1)	1.913740	0.025275	75.71530	0.0000
AR(2)	-0.913744	0.025276	-36.15016	0.0000
MA(1)	-0.937425	0.074157	-12.64107	0.0000
MA(2)	0.146129	0.065603	2.227498	0.0259

Variance Equation				
C	0.000750	0.000152	4.923996	0.0000
RESID(-1)^2	0.541687	0.071059	7.623014	0.0000
GARCH(-1)	0.278213	0.086598	3.212708	0.0013
R-squared	0.995941	Mean dependent var	6.355305	
Adjusted R-squared	0.995784	S.D. dependent var	0.790938	
S.E. of regression	0.051358	Akaike info criterion	-3.310434	
Sum squared resid	0.954833	Schwarz criterion	-3.153979	
Log likelihood	639.0168	F-statistic	6343.935	
Durbin-Watson stat	1.547032	Prob(F-statistic)	0.000000	
Inverted AR Roots	1.00	.91		
Inverted MA Roots	.74	.20		

Vector Autoregression Estimates							
Sample (adjusted): 3379							
Included observations: 377 after adjustments							
Standard errors in ( ) & t-statistics in [ ]							
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7
<b>X1(-1)</b>	<b>0,740339</b>	<b>0,084671</b>	<b>0,053612</b>	<b>0,019189</b>	<b>0,013401</b>	<b>0,012603</b>	<b>-0,005105</b>
	(0,09611)	(0,04951)	(0,03519)	(0,01877)	(0,01219)	(0,01025)	(0,00761)
	[7,70305]	[1,71031]	[1,52331]	[1,02255]	[1,09967]	[1,22952]	[-0,67051]
<b>X1(-2)</b>	<b>-0,145472</b>	<b>-0,092928</b>	<b>-0,046782</b>	<b>-0,012562</b>	<b>-0,002215</b>	<b>-0,007166</b>	<b>0,000136</b>
	(0,09149)	(0,04713)	(0,03350)	(0,01786)	(0,01160)	(0,00976)	(0,00725)
	[-1,59001]	[-1,97189]	[-1,39635]	[-0,70318]	[-0,19092]	[-0,73441]	[0,01883]
<b>X2(-1)</b>	<b>0,629292</b>	<b>0,896365</b>	<b>0,054836</b>	<b>0,005546</b>	<b>-0,012919</b>	<b>-0,021362</b>	<b>-0,002241</b>
	(0,29076)	(0,14977)	(0,10647)	(0,05677)	(0,03687)	(0,03101)	(0,02303)
	[2,16433]	[5,98505]	[0,51502]	[0,09770]	[-0,35042]	[-0,68885]	[-0,09729]
<b>X2(-2)</b>	<b>-0,413102</b>	<b>-0,404588</b>	<b>-0,248045</b>	<b>-0,099068</b>	<b>-0,052153</b>	<b>-0,030558</b>	<b>-0,008628</b>
	(0,29405)	(0,15146)	(0,10768)	(0,05741)	(0,03728)	(0,03136)	(0,02329)
	[-1,40488]	[-2,67120]	[-2,30358]	[-1,72549]	[-1,39880]	[-0,97437]	[-0,37043]
<b>X3(-1)</b>	<b>-0,702314</b>	<b>-0,103595</b>	<b>0,846899</b>	<b>0,011562</b>	<b>0,001549</b>	<b>0,005773</b>	<b>0,013091</b>
	(0,37563)	(0,19348)	(0,13755)	(0,07334)	(0,04763)	(0,04006)	(0,02976)
	[-1,86971]	[-0,53542]	[6,15695]	[0,15765]	[0,03252]	[0,14411]	[0,43997]
<b>X3(-2)</b>	<b>0,963645</b>	<b>0,725929</b>	<b>0,315473</b>	<b>0,174643</b>	<b>0,113097</b>	<b>0,096296</b>	<b>0,036454</b>
	(0,39002)	(0,20090)	(0,14282)	(0,07615)	(0,04945)	(0,04160)	(0,03090)
	[2,47079]	[3,61346]	[2,20888]	[2,29333]	[2,28697]	[2,31495]	[1,17993]
<b>X4(-1)</b>	<b>-0,378462</b>	<b>0,028164</b>	<b>0,010584</b>	<b>0,917410</b>	<b>0,140452</b>	<b>0,047368</b>	<b>0,056239</b>
	(0,55988)	(0,28839)	(0,20502)	(0,10932)	(0,07099)	(0,05971)	(0,04435)
	[-0,67597]	[0,09766]	[0,05162]	[8,39204]	[1,97845]	[0,79326]	[1,26805]

Прогнозирование кривой доходности в задачах управления активами и пассивами банка

<b>X4(-2)</b>	<b>0,169203</b>	<b>-0,228524</b>	<b>-0,026518</b>	<b>-0,122092</b>	<b>-0,175627</b>	<b>-0,098638</b>	<b>-0,112937</b>
	(0,55388)	(0,28530)	(0,20283)	(0,10815)	(0,07023)	(0,05907)	(0,04388)
	[0,30549]	[-0,80099]	[-0,13074]	[-1,12894]	[-2,50073]	[-1,66973]	[-2,57402]
<b>X5(-1)</b>	<b>1,203098</b>	<b>0,501970</b>	<b>0,421568</b>	<b>0,331280</b>	<b>0,899961</b>	<b>0,170598</b>	<b>0,130008</b>
	(0,86689)	(0,44653)	(0,31745)	(0,16927)	(0,10992)	(0,09246)	(0,06867)
	[1,38783]	[1,12415]	[1,32799]	[1,95716]	[8,18744]	[1,84512]	[1,89319]
<b>X5(-2)</b>	<b>-1,248736</b>	<b>-0,310333</b>	<b>-0,358578</b>	<b>-0,261871</b>	<b>-0,024514</b>	<b>-0,177316</b>	<b>-0,129574</b>
	(0,84987)	(0,43776)	(0,31121)	(0,16594)	(0,10776)	(0,09064)	(0,06732)
	[-1,46933]	[-0,70890]	[-1,15219]	[-1,57809]	[-0,22748]	[-1,95619]	[-1,92467]
<b>X6(-1)</b>	<b>0,270603</b>	<b>0,423734</b>	<b>0,383533</b>	<b>0,266975</b>	<b>0,288590</b>	<b>0,982047</b>	<b>0,120501</b>
	(0,98950)	(0,50969)	(0,36235)	(0,19320)	(0,12547)	(0,10554)	(0,07838)
	[0,27348]	[0,83136]	[1,05847]	[1,38182]	[2,30016]	[9,30538]	[1,53733]
<b>X6(-2)</b>	<b>0,111598</b>	<b>-0,545749</b>	<b>-0,404546</b>	<b>-0,182892</b>	<b>-0,179570</b>	<b>-0,008979</b>	<b>-0,053617</b>
	(1,00272)	(0,51650)	(0,36719)	(0,19579)	(0,12714)	(0,10695)	(0,07943)
	[0,11130]	[-1,05664]	[-1,10174]	[-0,93414]	[-1,41236]	[-0,08396]	[-0,67502]
<b>X7(-1)</b>	<b>0,677967</b>	<b>-0,003313</b>	<b>0,040955</b>	<b>-0,011038</b>	<b>0,068596</b>	<b>0,140403</b>	<b>0,862038</b>
	(0,95239)	(0,49057)	(0,34876)	(0,18596)	(0,12076)	(0,10158)	(0,07544)
	[0,71186]	[-0,00675]	[0,11743]	[-0,05935]	[0,56803]	[1,38222]	[11,4262]
<b>X7(-2)</b>	<b>-1,012621</b>	<b>-0,018478</b>	<b>-0,077631</b>	<b>-0,054088</b>	<b>-0,084320</b>	<b>-0,109817</b>	<b>0,086521</b>
	(0,94812)	(0,48837)	(0,34719)	(0,18513)	(0,12022)	(0,10112)	(0,07511)
	[-1,06803]	[-0,03784]	[-0,22360]	[-0,29217]	[-0,70138]	[-1,08598]	[1,15199]
<b>C</b>	<b>0,619649</b>	<b>0,187489</b>	<b>0,156153</b>	<b>0,099324</b>	<b>0,042741</b>	<b>0,000549</b>	<b>0,054143</b>
	(0,36111)	(0,18601)	(0,13224)	(0,07051)	(0,04579)	(0,03851)	(0,02861)
	[1,71596]	[1,00797]	[1,18087]	[1,40868]	[0,93346]	[0,01426]	[1,89276]
R-squared	0,838512	0,942491	0,966383	0,988007	0,993915	0,995390	0,996625
Adj. R-squared	0,832267	0,940266	0,965083	0,987543	0,993680	0,995211	0,996495
Sum sq. resids	126,4944	33,56202	16,96244	4,822571	2,033717	1,438926	0,793760
S.E. equation	0,591128	0,304488	0,216466	0,115421	0,074953	0,063047	0,046826
F-statistic	134,2613	423,7588	743,3052	2130,102	4223,704	5582,815	7636,522
Log likelihood	-329,0890	-78,98655	49,64464	286,7200	449,4788	514,6938	626,8270
Akaike AIC	1,825406	0,498602	-0,183791	-1,441485	-2,304928	-2,650895	-3,245767
Schwarz SC	1,981861	0,655058	-0,027336	-1,285030	-2,148472	-2,494440	-3,089311
Mean dependent	4,402427	4,857679	5,117762	5,546499	5,882944	6,100690	6,355305
S.D. dependent	1,443352	1,245835	1,158428	1,034131	0,942829	0,911098	0,790938
Determinant resid covariance (dof adj.)		1,03E-15					
Determinant resid covariance		7,74E-16					
Log likelihood		2814,183					
Akaike information criterion		-14,37232					
Schwarz criterion		-13,27713					

## Список литературы

- Гамбаров Г., Шевчук И., Балабушкин А. Кривая бескупонной доходности на рынке ГКО-ОФЗ // *Рынок ценных бумаг*. 2006. № 3.
- Гамбаров Г., Шевчук И., Балабушкин А., Никитин А. Оценка срочной структуры процентных ставок // *Рынок ценных бумаг*. 2004. № 11, 13.
- Andrade J., Da Fonseca J. Co-Integration and VAR Analysis of the Term Structure of Interest Rates. An Empirical Study of the Portuguese Money and Bond Markets. 1997. [http://gemf.fe.uc.pt/workingpapers/pdf/1997/gemf97\\_2.pdf](http://gemf.fe.uc.pt/workingpapers/pdf/1997/gemf97_2.pdf)
- Benninga S., Wiener Z. Term Structure of Interest Rates // *Mathematica in Education and Research*. 1998. V. 7. № 2. P. 1–9.
- Cox J., Ingersoll J., Ross S. A Theory of the Term Structure of Interest Rates // *Econometrica*. 1985. V. 53 (2). P. 385–408.
- Dai Q., Philippon T. Fiscal Policy and the Term Structure of Interest Rates. 2004. <http://ssrn.com/abstract=640582>
- Dai Q., Singleton K. Specification Analysis of Affine Term Structure Models. 1998. <http://ssrn.com/abstract=139422>
- Diebold F.X., Li C. Forecasting the Term Structure of Government Bond Yields. PIER Working Paper 02-026. 2002. <http://ssrn.com/abstract=325300>
- Duffie D., Kan R. A Yield-Factor Model of Interest Rates // *Mathematical Finance*. 1996. V. 6. № 4. P. 376–406.
- Modugno M., Nikolaou K. The forecasting power of international yield curve linkages. 2007. <http://ssrn.com/abstract=1095369>
- Mönch E. Forecasting the Yield Curve in a Data-Rich Environment: A No-Arbitrage Factor-Augmented VAR Approach. 2006. <http://ssrn.com/abstract=676909>
- Nelson C., Siegel A. Parsimonious Modeling of Yield Curves // *The Journal of Business*. 1987. V. 60. № 4. P. 473–489.
- Pagès H. Interbank Interest Rates and The Risk Premium. BIS WP № 81. 1999.
- Pooter M., Ravazzolo F., Van Dijk D. Predicting the Term Structure of Interest Rates. Incorporating parameter uncertainty, model uncertainty and macroeconomic information. 2007. <http://ssrn.com/abstract=967914>
- Vasicek O. An Equilibrium Characterization of the Term Structure // *Journal of Financial Economics*. 1977. V. 5. P. 177–188.