



Факультет компьютерных наук

Финансовые технологии и анализ
данных

Москва, 2025

Оценка рыночного риска портфеля

Васильев Николай
Кондратьева Валерия
Мамедов Ильгар
Еременко Анастасия



Github

- Парсинг **данных** MOEX
- **Jupyter**-ноутбуки с исследованием





Содержание

Данные и их обработка

CIR модель

GBMM модель

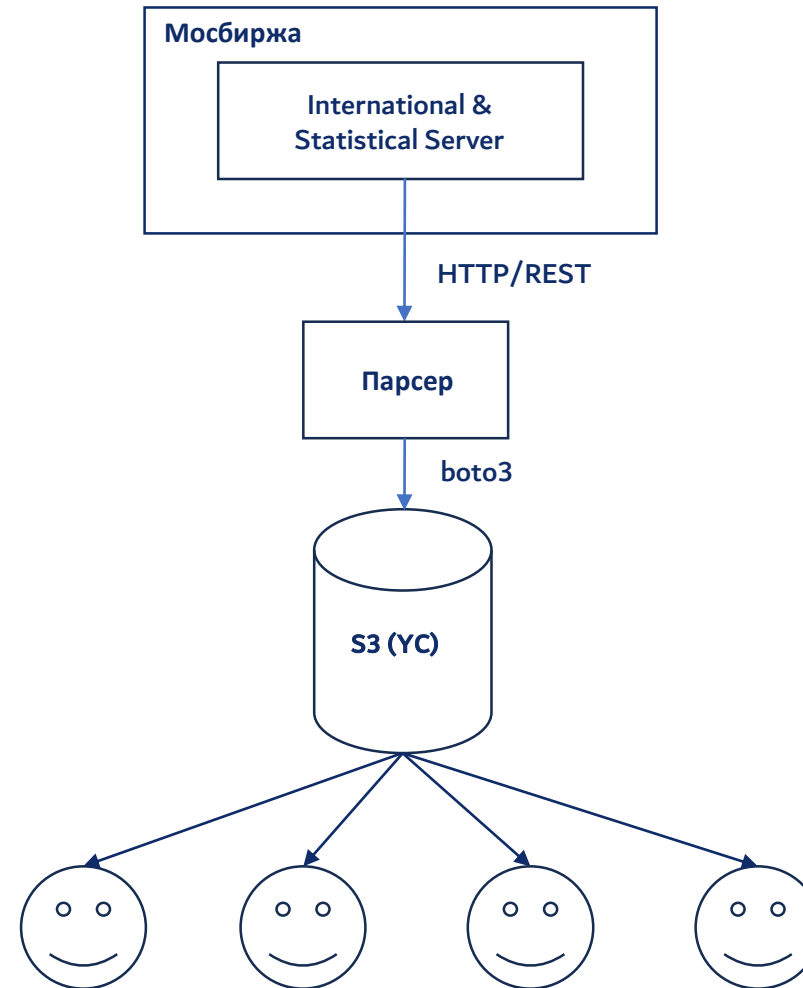
Basktesting

Деривативы



Сбор и хранение данных

- Использовали **HTTP/REST** запросы к **Informational & Statistical Server (ISS)** Московской Биржи
- Всего обработано около **80 млн запросов** по акциям





Выбранные активы

Актив	Тикер
Лукойл	LKOH
Аэрофлот	AFLT
Норникель	GMKN
Новатэк	NVTK
Сбербанк	SBER
Система	AFKS
Северсталь	CHMF
Роснефть	ROSN
ВТБ	VTBR
Распадская	RASP

Тикер ОФЗ	Купон	Дата погашения
ОФЗ-ПД 26233	6,10%	18.07.2035
ОФЗ-ПД 26207	8,15%	03.02.2027
ОФЗ-ПД 26229	7,15%	12.11.2025
ОФЗ-ПД 26225	7,25%	10.05.2034
ОФЗ-ПД 26235	5,90%	12.03.2031

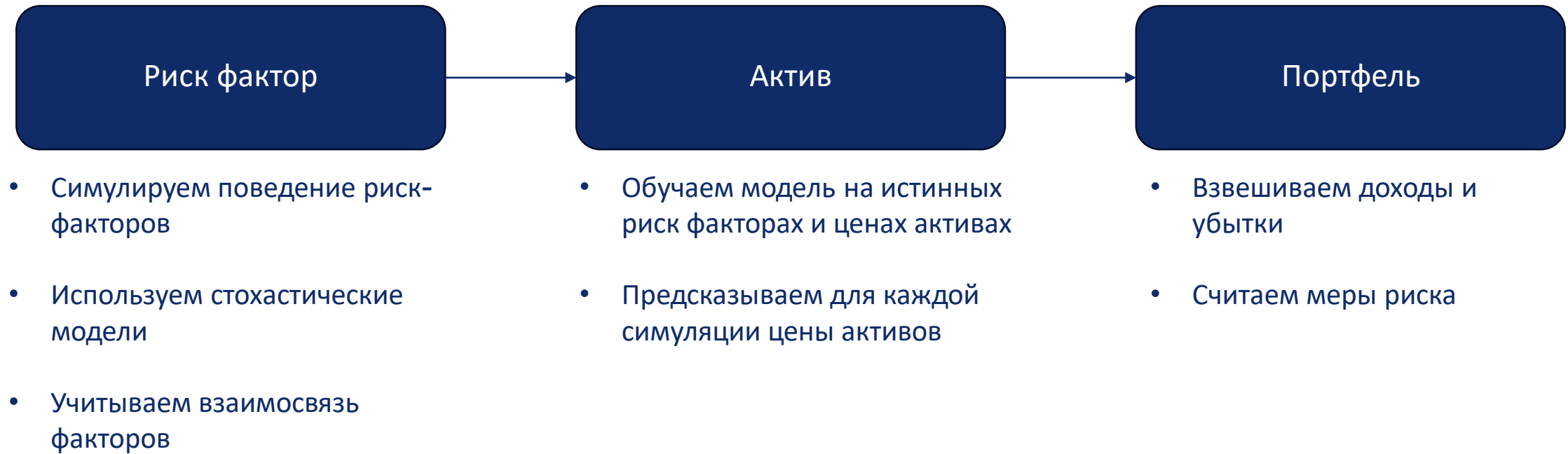
Облигации с постоянными
купонами

Помимо требуемых
активов было также
добавлена **Ruonia**

Все активы были спарсены
с официального API Мосбиржи



Моделирование портфеля





Подход №1

Обработка данных

Акции

LKOH, AFLT, GMKN, NVTK, SBER,
AFKS, CHMF, ROSN, VTBR, RASP

Базовые активы

oil_price

Валюта

euro_cb, usd_cb

Индексы

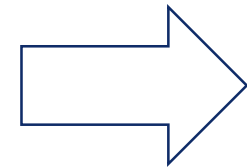
IMOEX, RTSI

Облигации

SU26207RMFS9, SU26225RMFS1,
SU26229RMFS3
SU26233RMFS5, SU26235RMFS0

Ставки

ruonia, period_0.25, period_0.5, period_0.75,
period_1.0, period_2.0, period_3.0, period_5.0,
period_7.0, period_10.0, period_15.0, period_20.0,
period_30.0



PCA

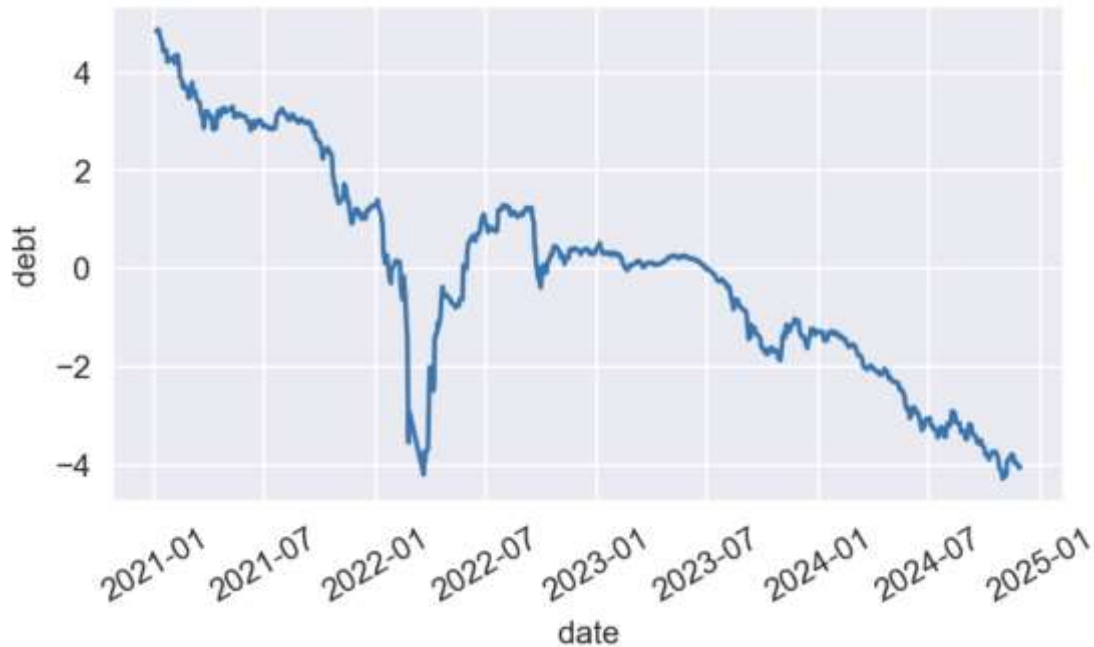
Логически объединили переменённые и понизили размерность до **одной главной компоненты**



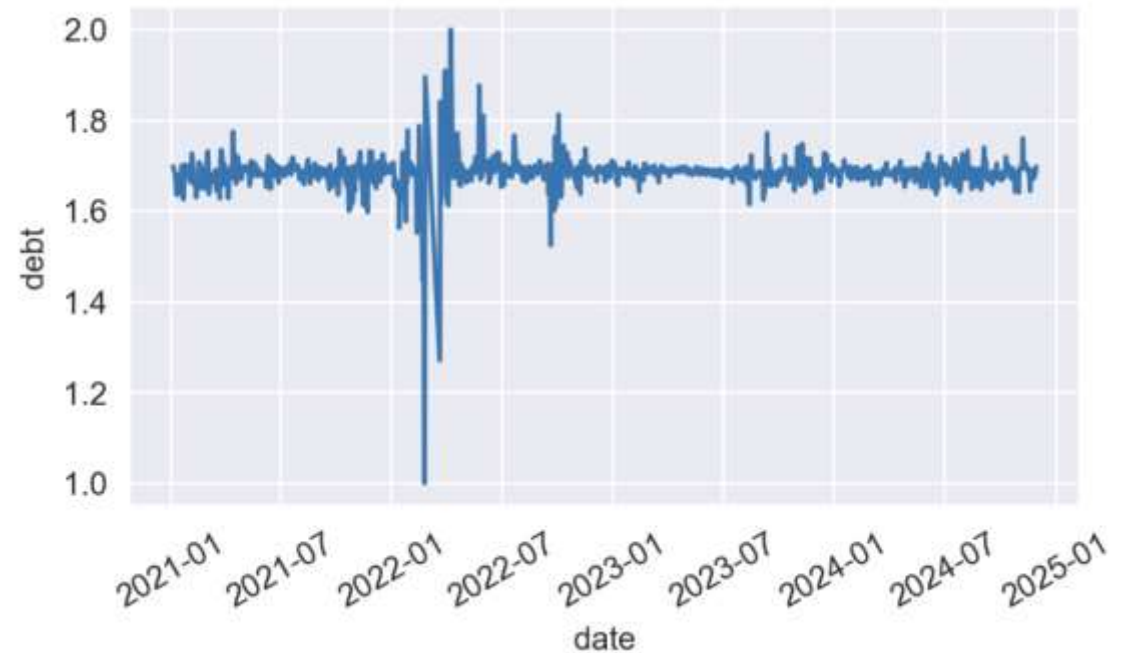
Подход №1

Обработка данных

PCA



PCA + первые разности

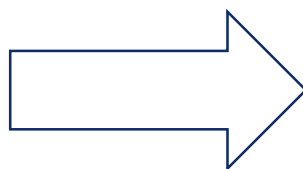


Получившиеся компоненты **были не стационарны** (тренд), воспользовалась **первыми разностями** и **ADF тест** был пройден

Моделирование корреляции



Риск факторы
зависят друг от
друга



Учитываем в
моделях



На **ретро данных** посчитали матрицу корреляций риск факторов, с помощью **разложения Холкецкого[1]**, восстановили зависимость для **приращений** в **симуляционных моделях**



Подход №1

Моделирование

Cox-Ingersoll-Ross (CIR) model

$$dX_t = \kappa(\theta - X_t) dt + \sigma\sqrt{X_t} dW_t$$

$$\kappa \geq 0, \sigma \geq 0, \theta \geq 0, 2\kappa\theta \geq \sigma^2$$

κ – скорость возвращение я к среднему
 θ - среднее
 σ -стандартное отклонение

Предпосылки

- 1. Стремление к среднему:** Значения со временем возвращаются к долгосрочному равновесному уровню (θ).
- 2. Волатильность процентных ставок:** Значения подвержены случайным колебаниям вокруг среднего (σ).
- 3. Не отрицательность ставок:** Модель гарантирует, что значения не могут стать отрицательными.
- 4. Временная однородность (Time Homogeneity):** Динамика значений не зависит от конкретного момента времени.
- 5. Непрерывность процесса:** Значения изменяются плавно (без скачков).
- 6. Стационарность (Stationarity):** После достижения равновесия статистические свойства ставок не меняются со временем.



Подход №1

Моделирование

Оценка параметров

Обучающая выборка:
2024 год
11 месяцев

Для каждого процесса
обучались **свои параметры**

Финальные симуляции
проводились на
скоррелированных
приращениях dW

Распишем схему Эйлера-Мураямы:

$$r_{t+\delta t} - r_t = k(\theta - r_t)(t + \delta t - t) + \sigma\sqrt{r_t}(W_{t+\delta t} - W_t),$$

где $W_{t+\delta t} - W_t \sim N(0, \delta t)$

Перепишем в следующем виде:

$$\frac{r_{t+\delta t} - r_t}{\sqrt{r_t}} = \frac{k\theta}{\sqrt{r_t}} - k\sqrt{r_t} + \sigma\varepsilon, \varepsilon \sim N(0, \delta t).$$

Можем предствать данное уравнение, как уравнение линейной регрессии:

$$y_i = \beta_1 z_{1,i} + \beta_2 z_{2,i} + \epsilon_i,$$

$$y_i = \frac{r_{t+\delta t} - r_t}{\sqrt{r_t}}$$

$$\beta_1 = k\theta \quad \beta_2 = -k$$

$$z_{1,i} = \frac{1}{\sqrt{r_t}} \quad z_{2,i} = \sqrt{r_t}$$

$$\epsilon_i = \sigma\varepsilon$$

Тогда искомые параметры будут находиться по формуле:

$$\hat{k} = -\hat{\beta}_2$$

$$\hat{\theta} = \frac{\hat{\beta}_1}{\hat{k}}$$

$$\hat{\sigma}^2 = \text{Var}(\epsilon)$$



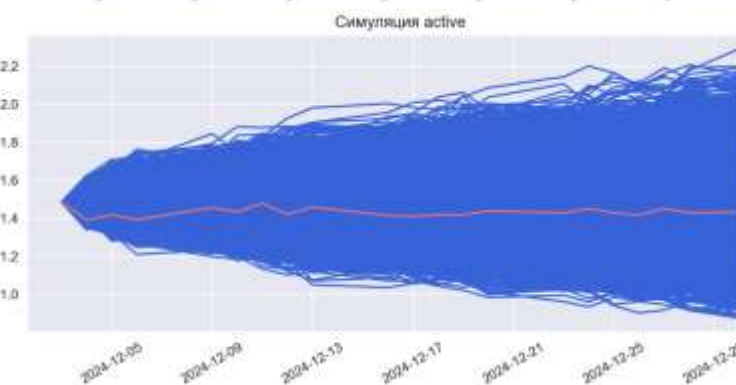
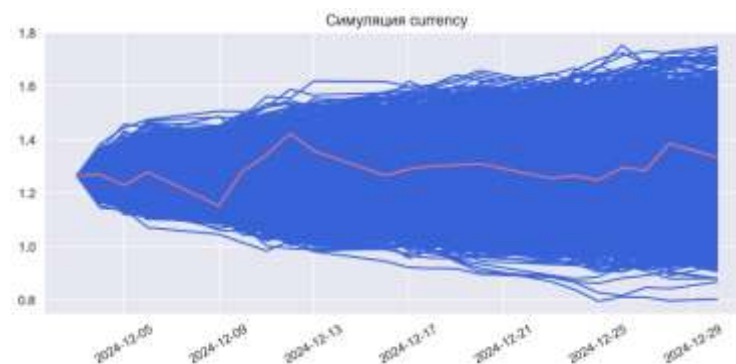
Подход №1

Моделирование

Симуляции

Кол-во симуляций: **10 000**

Период симуляций: **20 дней**





Подход №1

Оценивание стоимости актива

Справедливая стоимость актива оценивалась,
как:

- **OLS регрессия** стоимости актива на риск факторы
- **Обучающая выборка** - 11 месяцев 2024 года
- **Тестовая выборка** – 1 месяц 2024 года (декабрь)

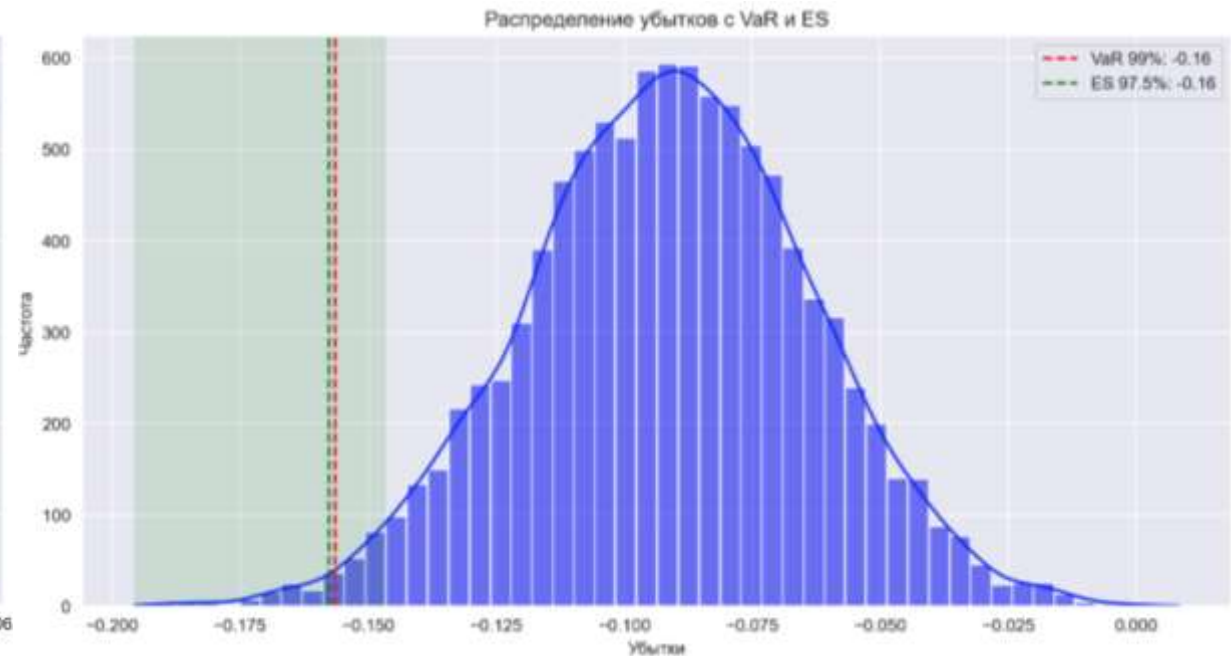
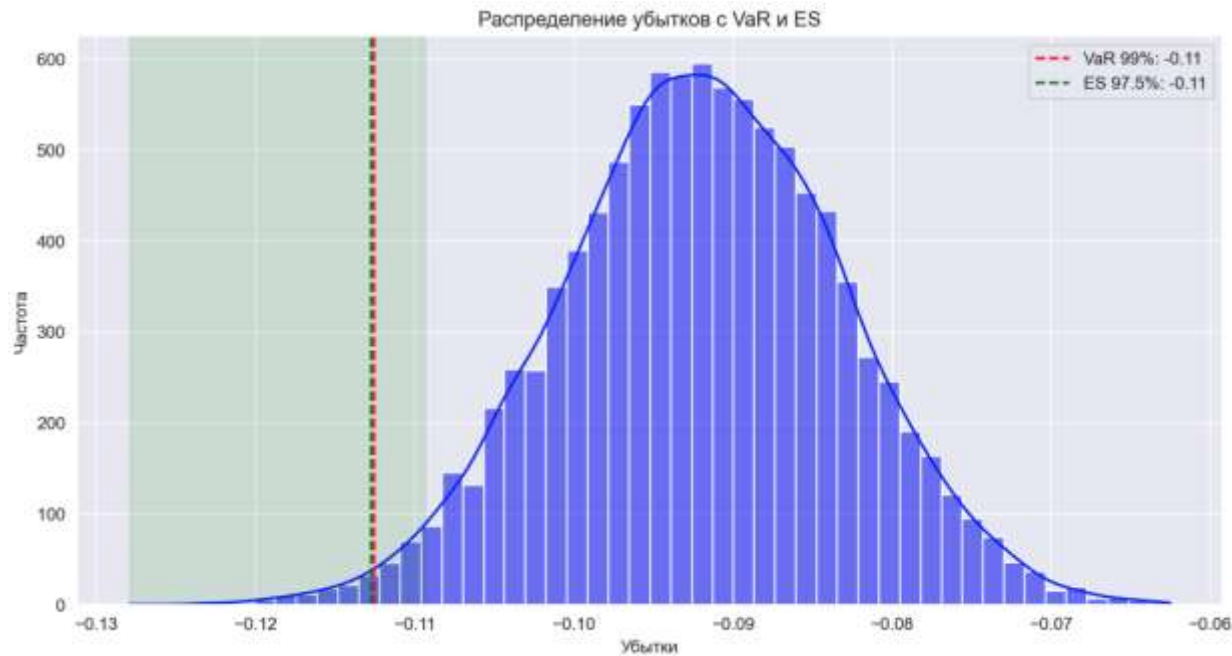
Результаты на тестовом периоде

Тикер	MAE	MAPE
LKOH	351,09	0,05
AFLT	3,58	0,06
GMKN	32,16	0,31
NVTK	313,01	0,37
SBER	44,22	0,18
AFKS	7,36	0,58
CHMF	441,50	0,39
ROSN	48,04	0,09
VTBR	34,82	0,50
RASP	105,51	0,43
euro	9,16	0,08
usd	11,66	0,11
SU26207RMFS9	4,88	0,06
SU26225RMFS1	7,37	0,12
SU26229RMFS3	1,42	0,01
SU26233RMFS5	3,74	0,07
SU26235RMFS0	6,11	0,10



Подход №1

Результаты

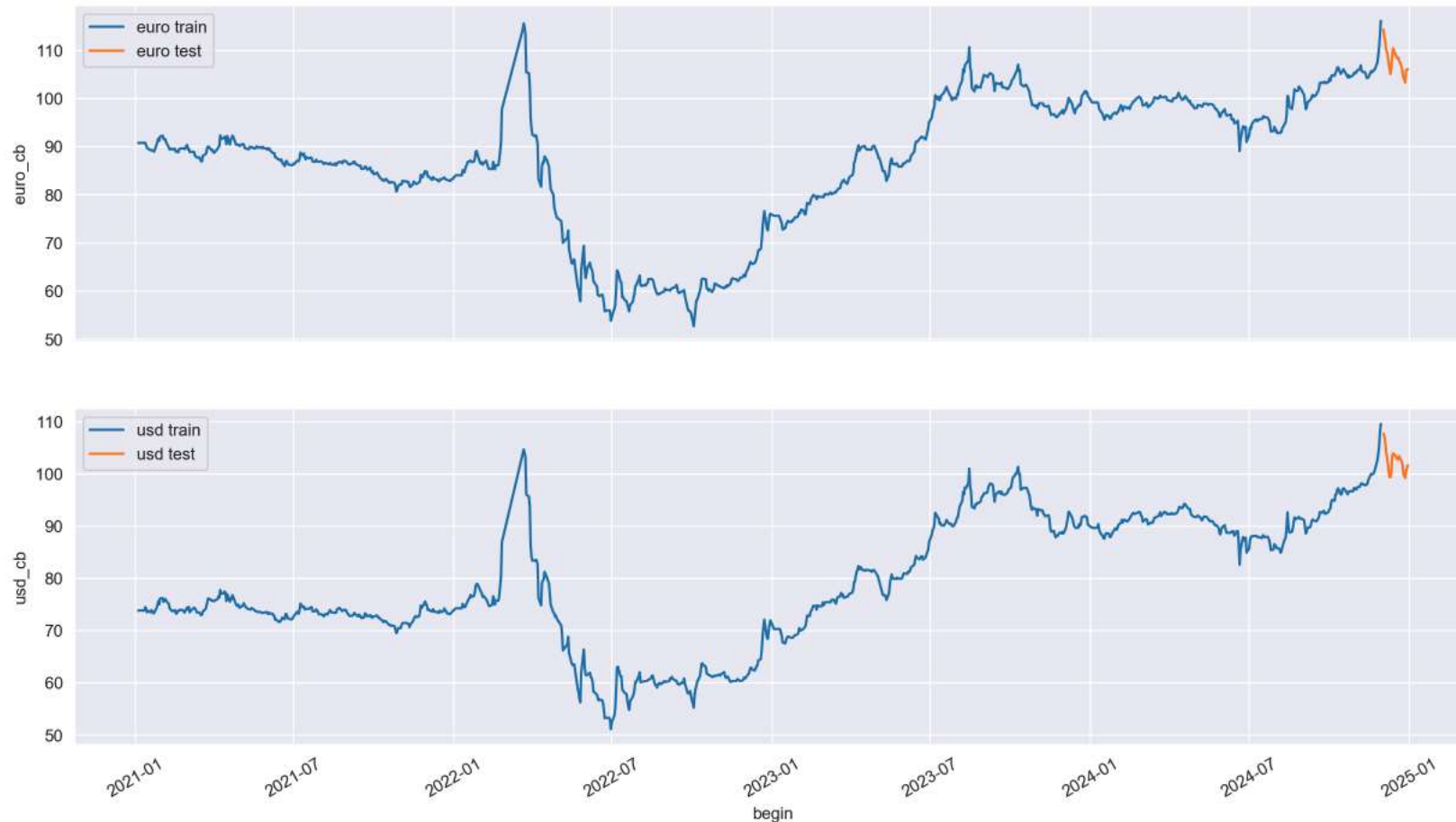


Значения получились, **крайне высокими**. Так как смотрим отдельно риск на каждый актив, увидели что основная просадка – **валюты**.



Подход №1

Результаты



Симуляция начинается в период, когда оба курса находятся **на пике**.

Так как модель **CIR** **ожидает возврат к среднему** ожидается что факторы приведут курс к **более низкому значению**

Падение действительной было



Подход №2

Обработка данных

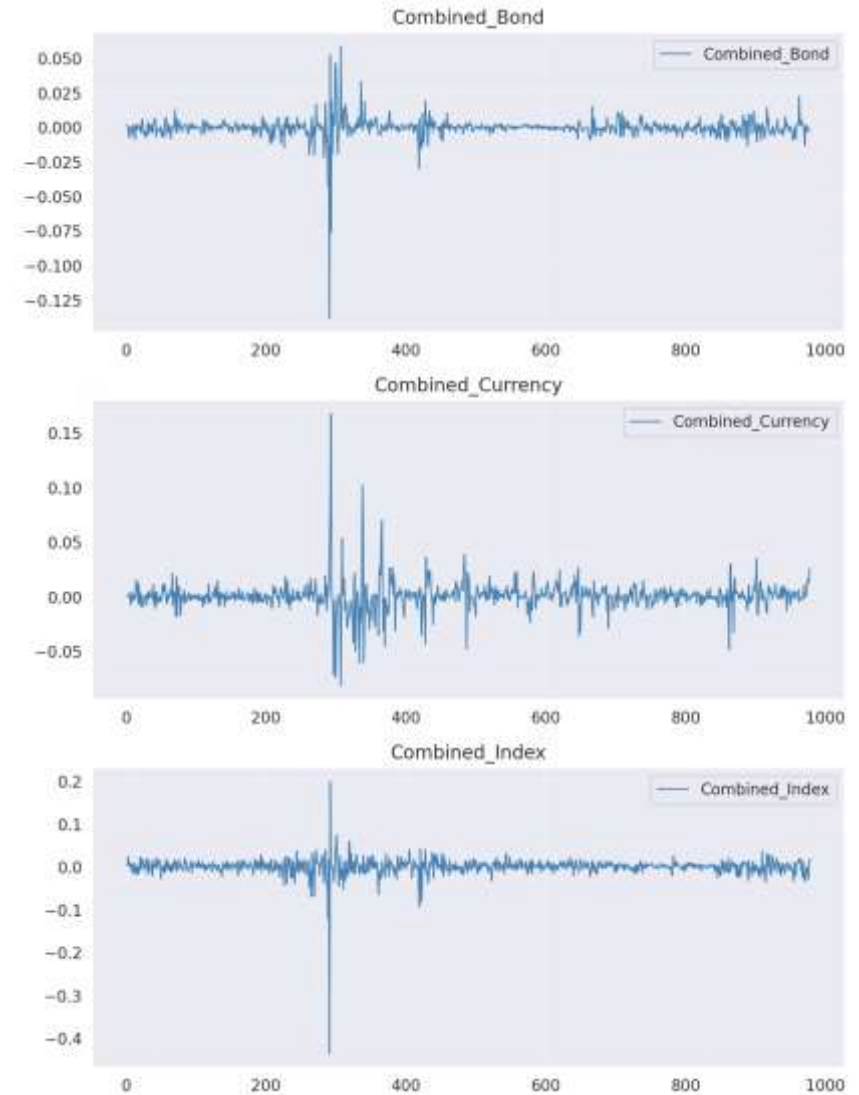
Логически объединенные
блоки



PCA

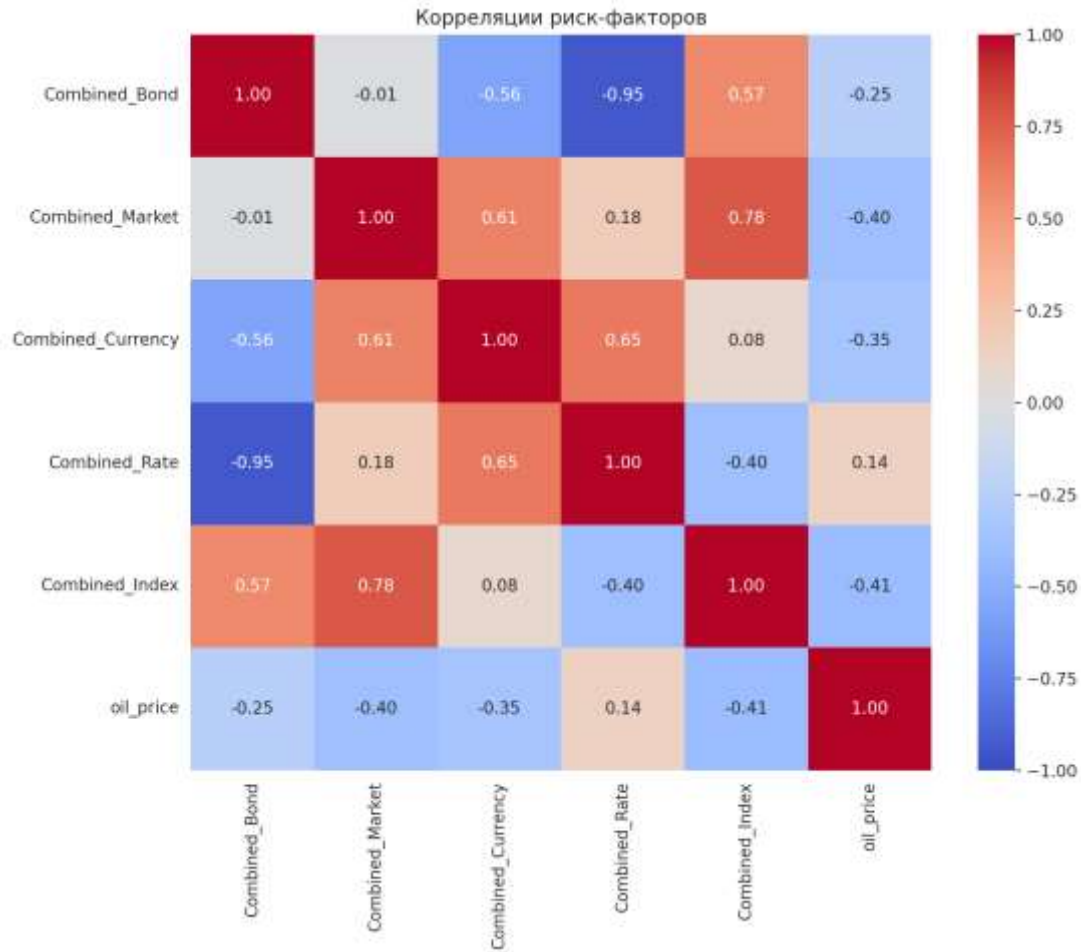


Риск-фактор на основе
весов в PCA





Подход №2



Моделирование

1. Geometric Brownian Motion (GBM)

$$dX_t = \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) dt + \sigma dW_t,$$

В теории сказано следующее: Используется
в основном для моделирования цен акций

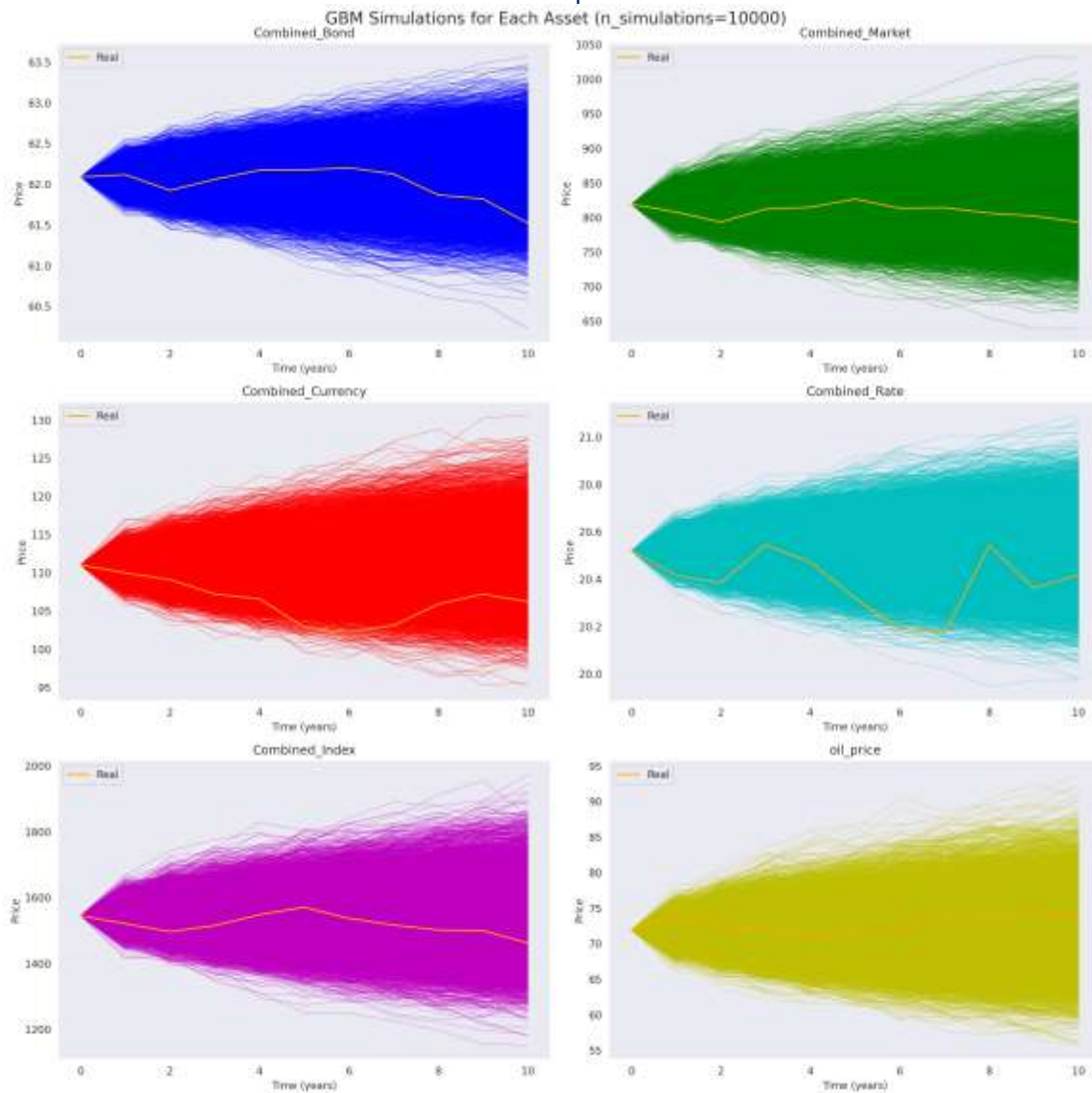
Параметры на основе исторических данных

2. Vasicek Model

$$dr_t = a(b - r_t) dt + \sigma dW_t$$

Используется для моделирования
краткосрочных процентных ставок

Параметры подбираются на основе метода
максимального правдоподобия (MLE)



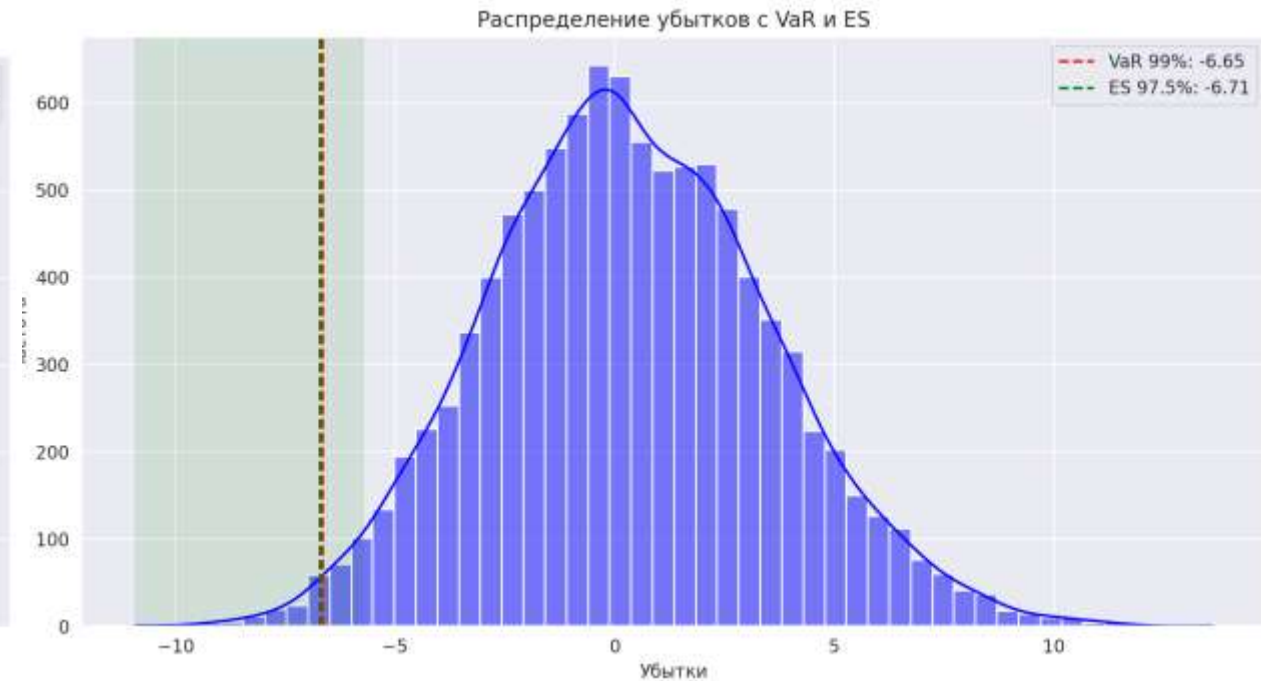
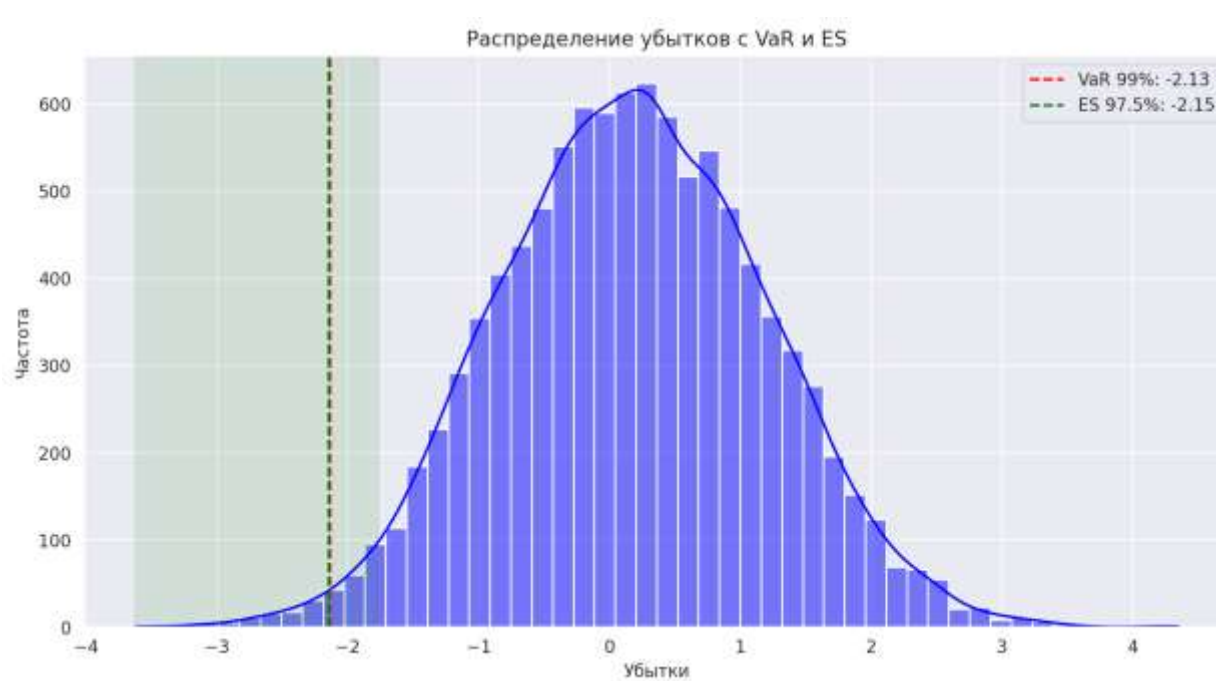
Результаты на тестовом периоде

Тикер	MAE	MAPE
LKOH	79,057	0,012
AFLT	5,224	0,103
GMKN	19,285	0,185
NVTK	62,936	0,075
SBER	9,16	0,037
AFKS	4,52	0,356
CHMF	151,42	0,136
ROSN	40,939	0,07
VTBR	10,019	0,14
RASP	18,93	0,07
euro	2,278	0,02
usd	2,284	0,02
SU26207RMFS9	0,64	0,08
SU26225RMFS1	1,43	0,03
SU26229RMFS3	0,72	0,007
SU26233RMFS5	1,21	0,02
SU26235RMFS0	0,601	0,01



Подход №2

Результаты



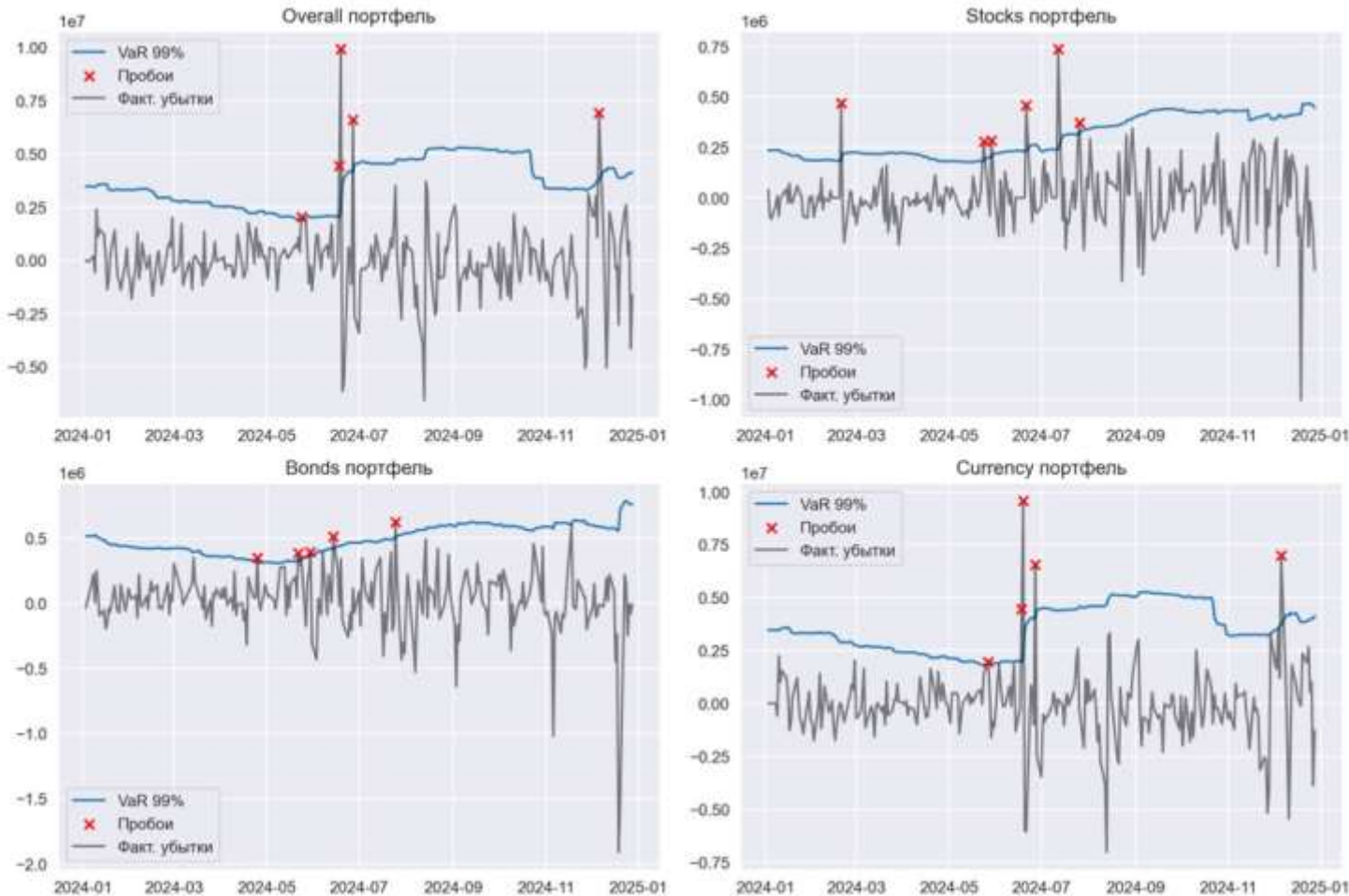


Basktesting

Название теста	Год	Что измеряет?	Ключевая идея
Kupiec (LR UC)	1995	Безусловное покрытие (Unconditional Coverage)	Совпадает ли фактическое число исключений (exceptions) с ожидаемым уровнем VaR.
Christoffersen	1998	Условное покрытие (Conditional Coverage) + Независимость исключений	Проверяет кластеризацию исключений: корректна ли модель при изменчивости рынка.
Engle-Manganelli (DQ)	2004	Спецификация модели (Correct Model Specification)	Корректно ли модель использует текущую информацию (включая прошлые исключения).
Christoffersen & Pelletier	2004	Продолжительности между пробоями	Проверяет, следуют ли интервалы между пробоями геометрическому распределению (т.е. отсутствие кластеров)



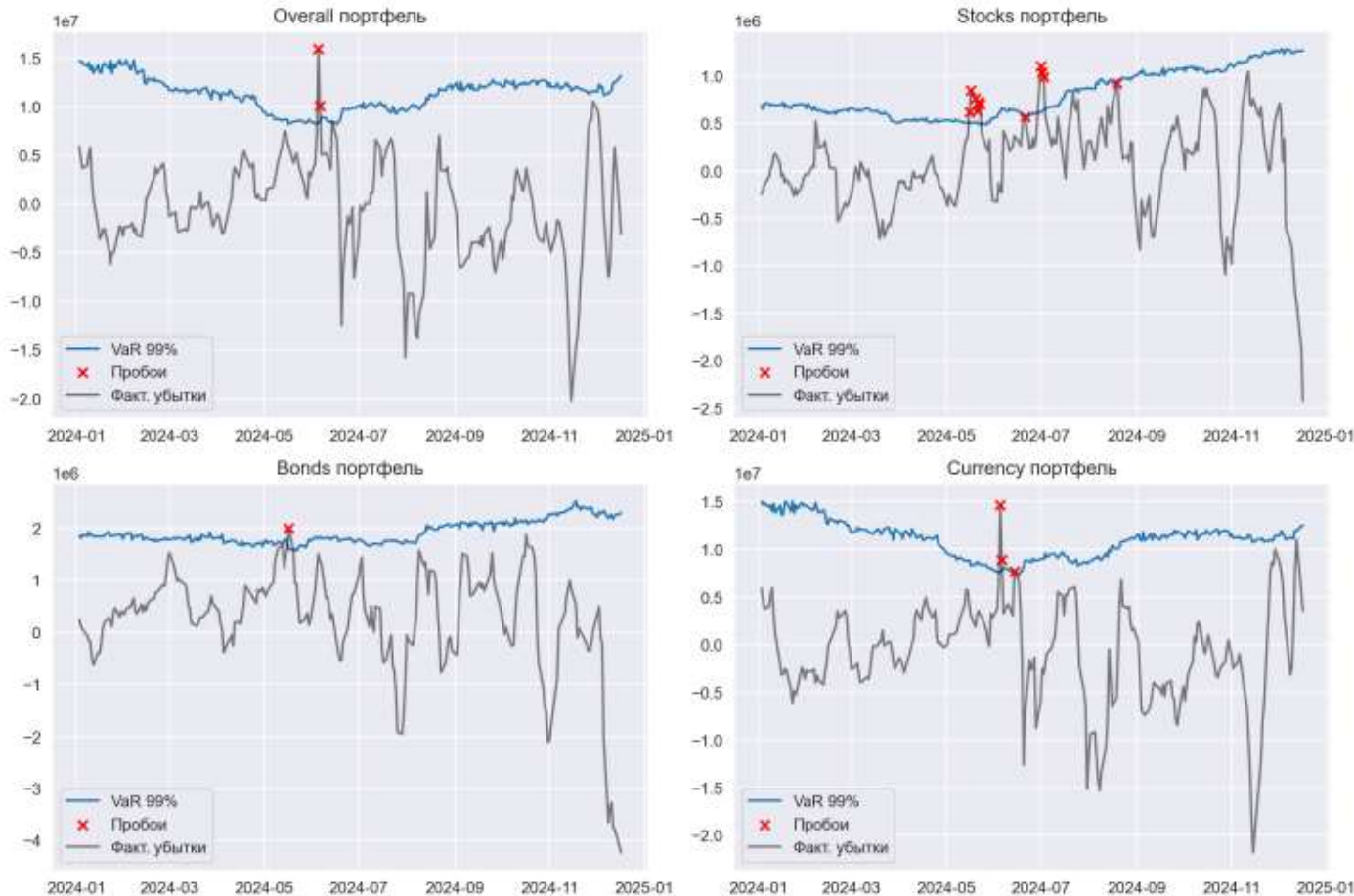
Basktesting: GBM 1d



test	portfolio	conclusion	p_value
Christoffersen (Ind)	bonds	Не отвергается	0.654062
Christoffersen (Ind)	currency	Не отвергается	0.074036
Christoffersen (Ind)	overall	Не отвергается	0.074036
Christoffersen (Ind)	stocks	Не отвергается	0.589996
Christoffersen-Pelletier	bonds	Не отвергается	0.153301
Christoffersen-Pelletier	currency	Не отвергается	0.182459
Christoffersen-Pelletier	overall	Не отвергается	0.188919
Christoffersen-Pelletier	stocks	Не отвергается	0.861811
Engle-Manganelli (DQ)	bonds	Не отвергается	0.152903
Engle-Manganelli (DQ)	currency	Отвергается	0.012065
Engle-Manganelli (DQ)	overall	Отвергается	0.011894
Engle-Manganelli (DQ)	stocks	Не отвергается	0.306177
Kupiec (UC)	bonds	Не отвергается	0.172937
Kupiec (UC)	currency	Не отвергается	0.172937
Kupiec (UC)	overall	Не отвергается	0.172937
Kupiec (UC)	stocks	Не отвергается	0.064592



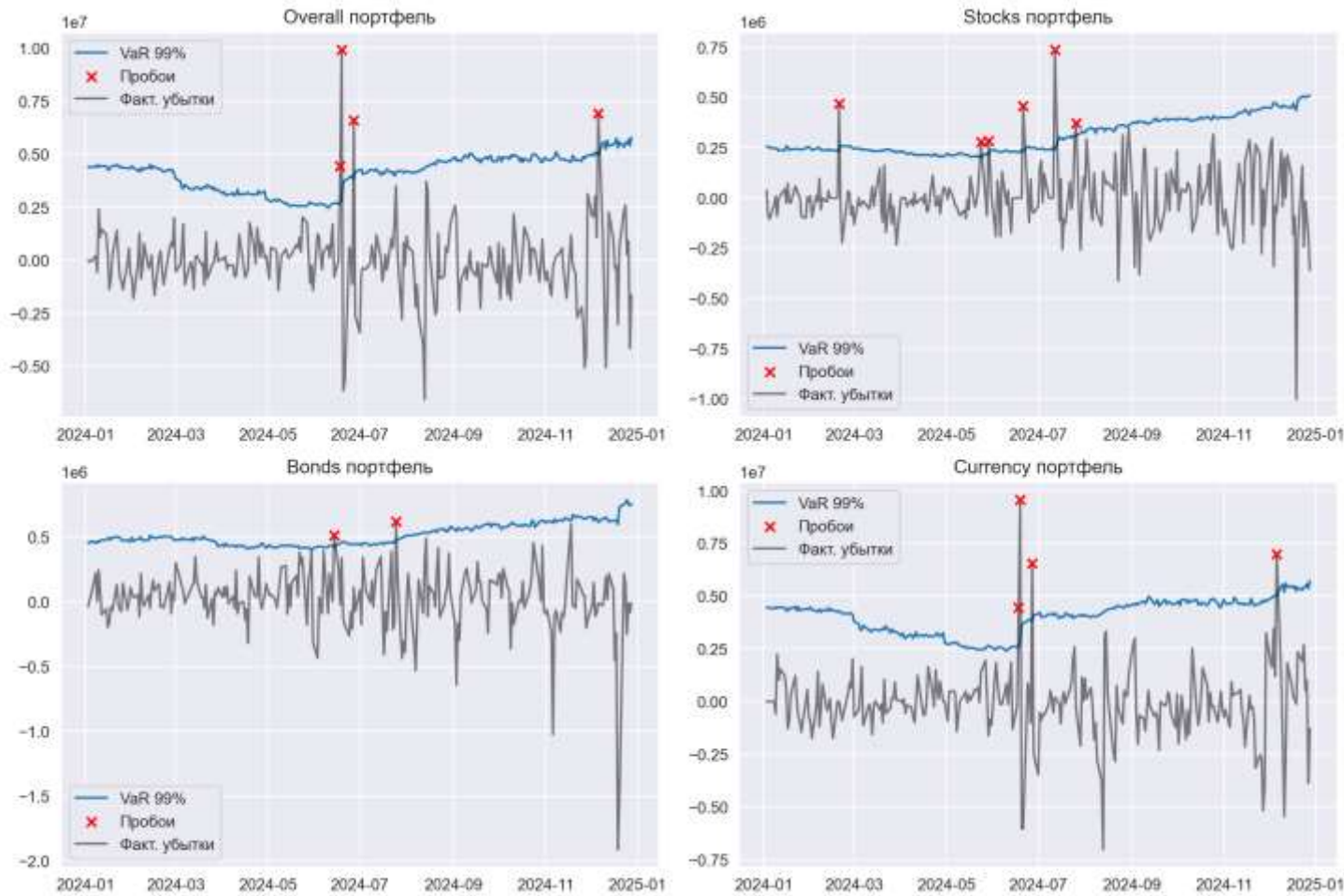
Basktesting: GBM 10d



test	portfolio	conclusion	p_value
Christoffersen (Ind)	bonds	Не отвергается	9.278614e-01
Christoffersen (Ind)	currency	Отвергается	6.303308e-03
Christoffersen (Ind)	overall	Отвергается	6.303308e-03
Christoffersen (Ind)	stocks	Отвергается	3.796192e-10
Christoffersen-Pelletier	bonds	Неприменим	NaN
Christoffersen-Pelletier	currency	Отвергается	1.688605e-05
Christoffersen-Pelletier	overall	Отвергается	1.688605e-05
Christoffersen-Pelletier	stocks	Не отвергается	2.958725e-01
Engle-Manganelli (DQ)	bonds	Не отвергается	7.920573e-01
Engle-Manganelli (DQ)	currency	Отвергается	2.127187e-13
Engle-Manganelli (DQ)	overall	Отвергается	2.261524e-13
Engle-Manganelli (DQ)	stocks	Отвергается	0.000000e+00
Kupiec (UC)	bonds	Не отвергается	2.881142e-01
Kupiec (UC)	currency	Не отвергается	7.606327e-01
Kupiec (UC)	overall	Не отвергается	7.606327e-01
Kupiec (UC)	stocks	Отвергается	2.792985e-04



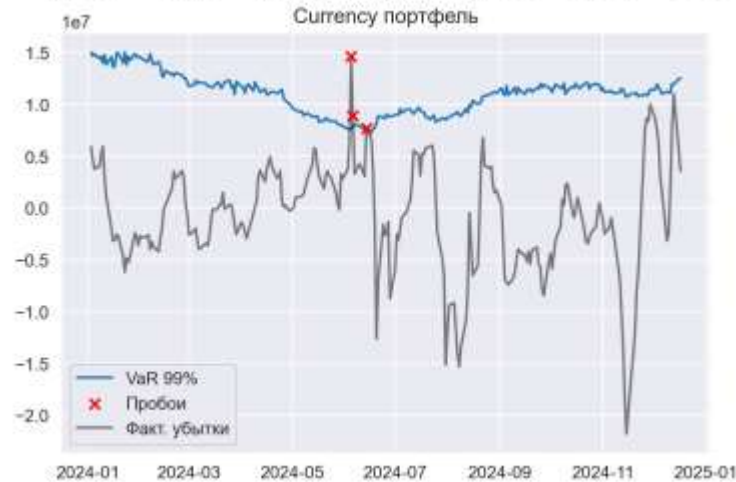
Basktesting: T-GBM 1d



test	portfolio	conclusion	p_value
Christoffersen (Ind)	bonds	Не отвергается	0.858585
Christoffersen (Ind)	currency	Отвергается	0.041749
Christoffersen (Ind)	overall	Отвергается	0.041749
Christoffersen (Ind)	stocks	Не отвергается	0.589996
Christoffersen-Pelletier	bonds	Неприменим	NaN
Christoffersen-Pelletier	currency	Не отвергается	0.131242
Christoffersen-Pelletier	overall	Не отвергается	0.131242
Christoffersen-Pelletier	stocks	Не отвергается	0.861811
Engle-Manganelli (DQ)	bonds	Не отвергается	0.664978
Engle-Manganelli (DQ)	currency	Отвергается	0.001274
Engle-Manganelli (DQ)	overall	Отвергается	0.001178
Engle-Manganelli (DQ)	stocks	Не отвергается	0.248996
Kupiec (UC)	bonds	Не отвергается	0.719042
Kupiec (UC)	currency	Не отвергается	0.399460
Kupiec (UC)	overall	Не отвергается	0.399460
Kupiec (UC)	stocks	Не отвергается	0.064592



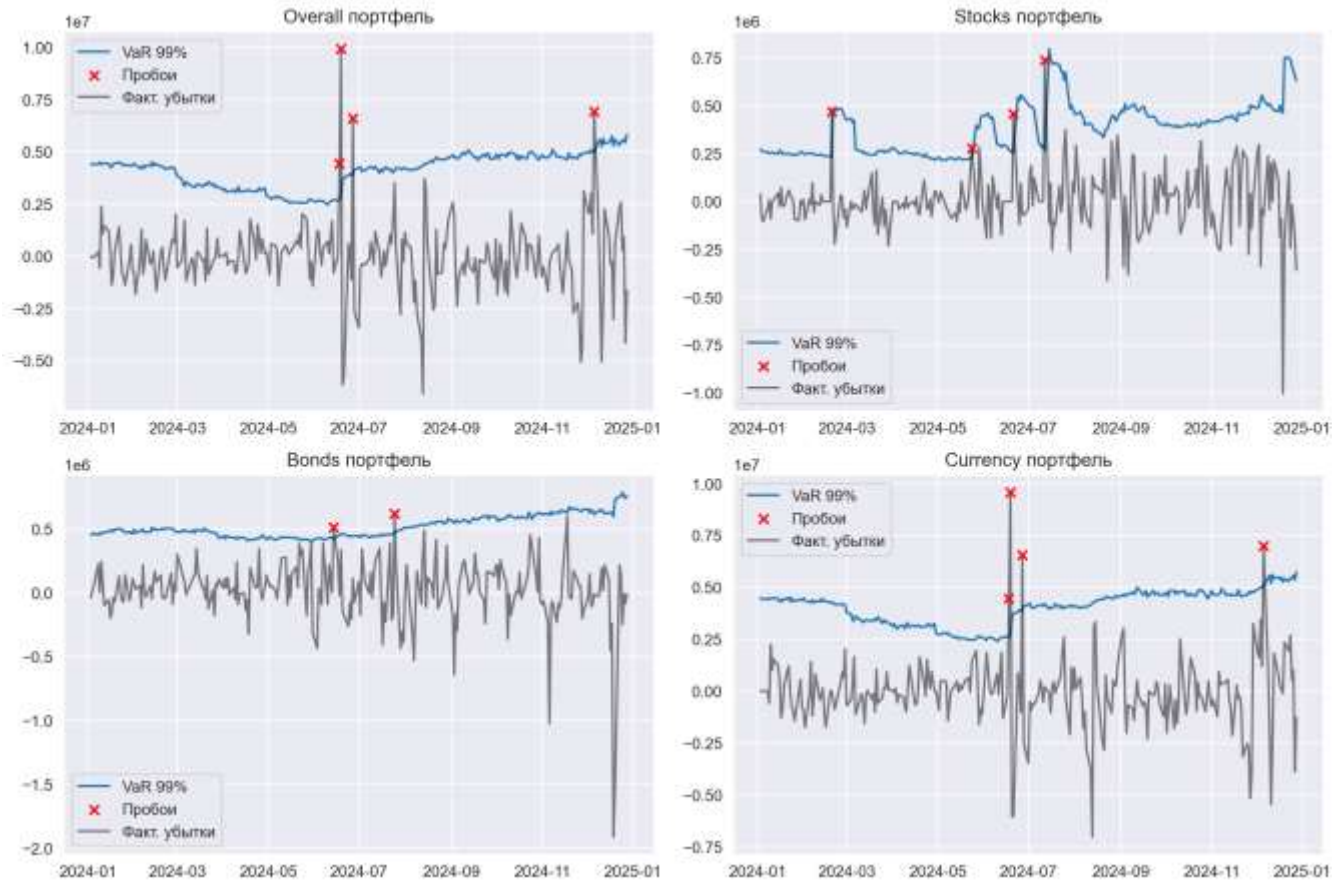
Basktesting: T-GBM 10d



test	portfolio	conclusion	p_value
Christoffersen (Ind)	bonds	Не отвергается	9.278614e-01
Christoffersen (Ind)	currency	Отвергается	2.021401e-02
Christoffersen (Ind)	overall	Отвергается	6.303308e-03
Christoffersen (Ind)	stocks	Отвергается	3.527416e-09
Christoffersen-Pelletier	bonds	Неприменим	NaN
Christoffersen-Pelletier	currency	Не отвергается	5.275272e-01
Christoffersen-Pelletier	overall	Отвергается	1.688605e-05
Christoffersen-Pelletier	stocks	Не отвергается	5.951781e-02
Engle-Manganelli (DQ)	bonds	Не отвергается	5.257393e-01
Engle-Manganelli (DQ)	currency	Отвергается	1.074906e-06
Engle-Manganelli (DQ)	overall	Отвергается	1.911804e-13
Engle-Manganelli (DQ)	stocks	Отвергается	0.000000e+00
Kupiec (UC)	bonds	Не отвергается	2.881142e-01
Kupiec (UC)	currency	Не отвергается	7.379869e-01
Kupiec (UC)	overall	Не отвергается	7.606327e-01
Kupiec (UC)	stocks	Отвергается	5.780699e-05



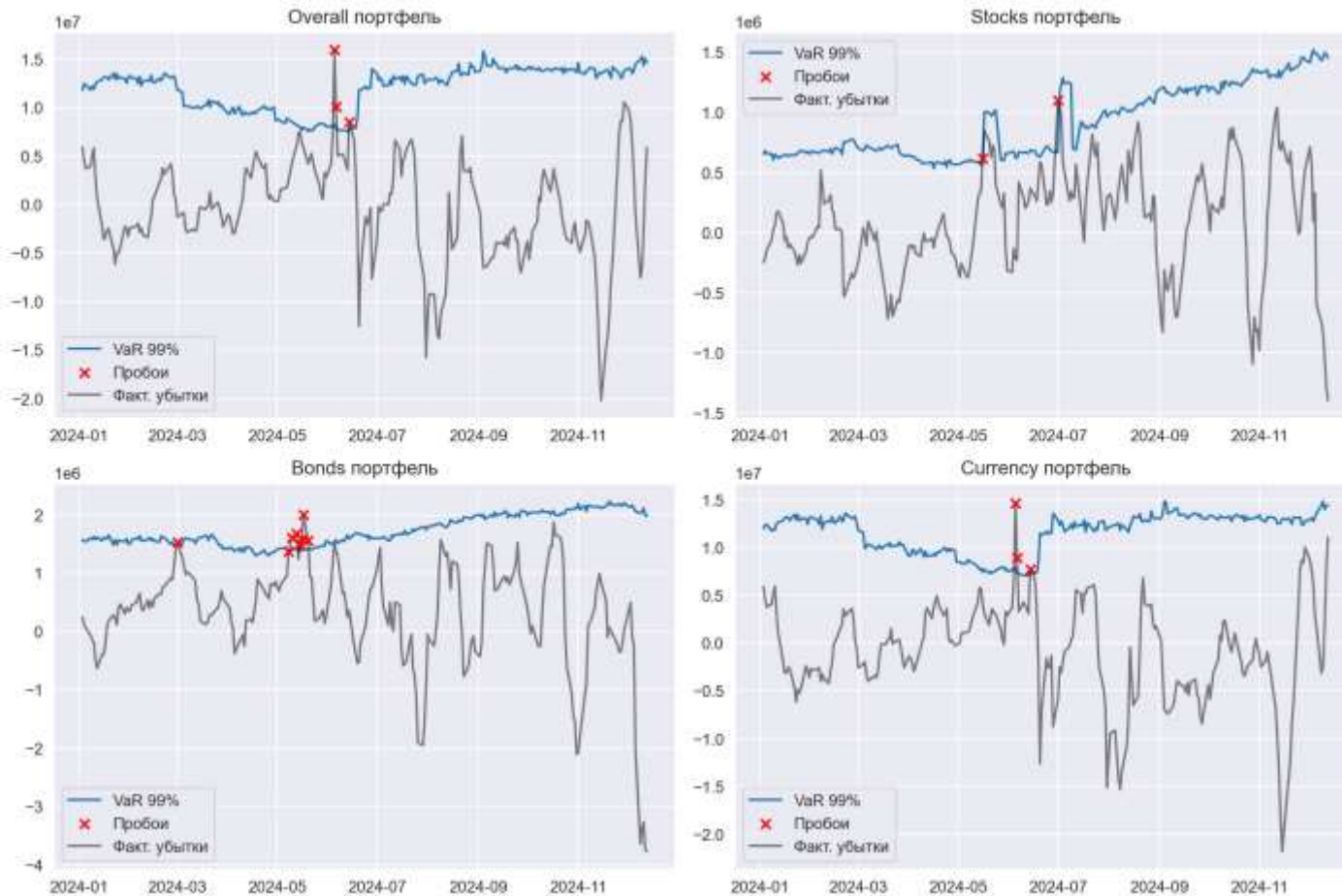
Basktesting: T-GBM with correction 1d



test	portfolio	conclusion	p_value
Christoffersen (Ind)	bonds	Не отвергается	0.858585
Christoffersen (Ind)	currency	Отвергается	0.041749
Christoffersen (Ind)	overall	Отвергается	0.041749
Christoffersen (Ind)	stocks	Не отвергается	0.720509
Christoffersen-Pelletier	bonds	Неприменим	NaN
Christoffersen-Pelletier	currency	Не отвергается	0.131242
Christoffersen-Pelletier	overall	Не отвергается	0.131242
Christoffersen-Pelletier	stocks	Не отвергается	0.358808
Engle-Manganelli (DQ)	bonds	Не отвергается	0.664978
Engle-Manganelli (DQ)	currency	Отвергается	0.001274
Engle-Manganelli (DQ)	overall	Отвергается	0.001207
Engle-Manganelli (DQ)	stocks	Не отвергается	0.214398
Kupiec (UC)	bonds	Не отвергается	0.719042
Kupiec (UC)	currency	Не отвергается	0.399460
Kupiec (UC)	overall	Не отвергается	0.399460
Kupiec (UC)	stocks	Не отвергается	0.399460



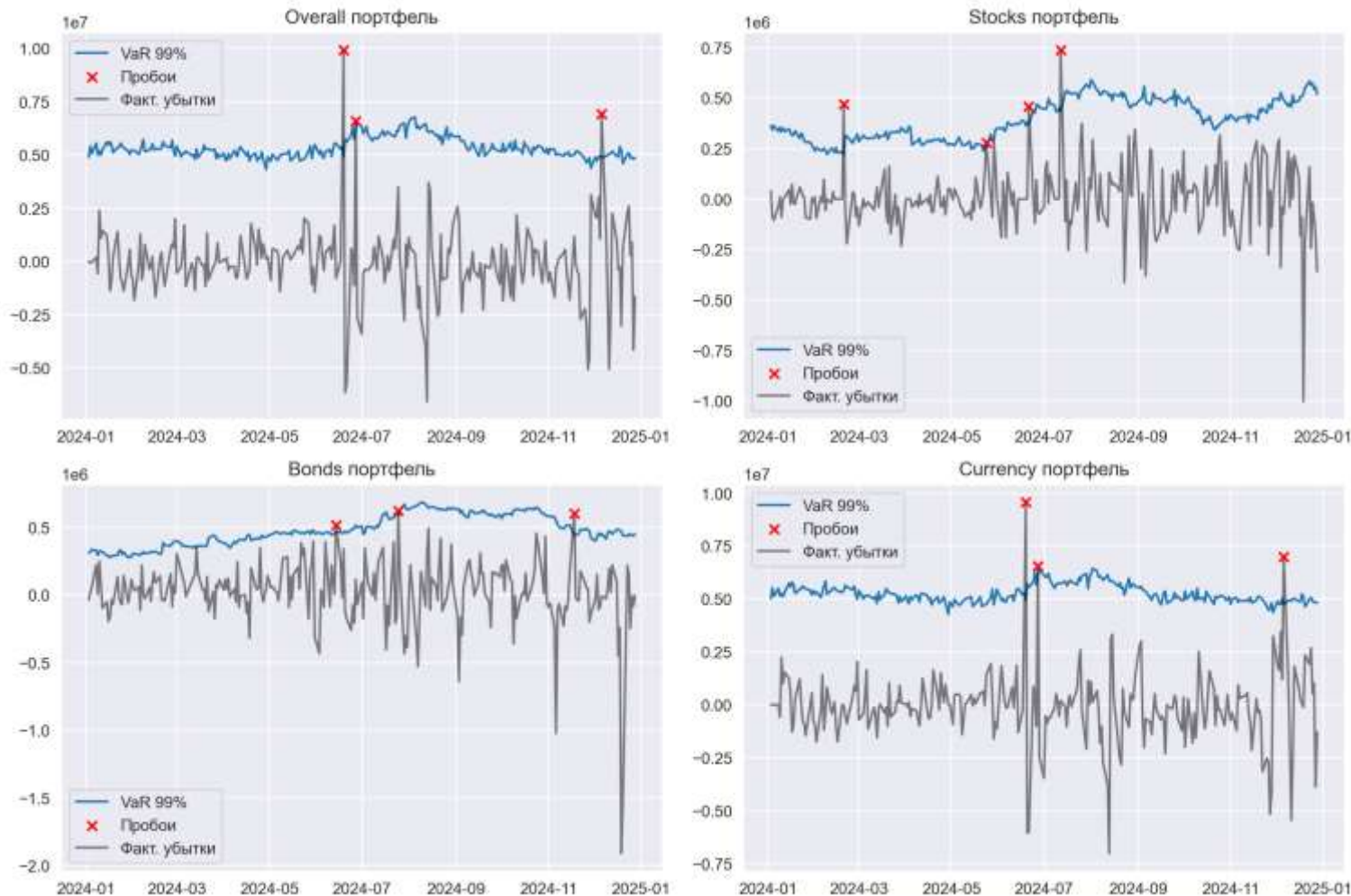
Basktesting: T-GBM with correction 10d



test	portfolio	conclusion	p_value
Christoffersen (Ind)	bonds	Отвергается	1.461848e-07
Christoffersen (Ind)	currency	Отвергается	2.040200e-02
Christoffersen (Ind)	overall	Отвергается	2.040200e-02
Christoffersen (Ind)	stocks	Не отвергается	8.554289e-01
Christoffersen-Pelletier	bonds	Отвергается	1.654582e-02
Christoffersen-Pelletier	currency	Не отвергается	5.275272e-01
Christoffersen-Pelletier	overall	Не отвергается	5.275272e-01
Christoffersen-Pelletier	stocks	Отвергается	6.331619e-05
Engle-Manganelli (DQ)	bonds	Отвергается	0.000000e+00
Engle-Manganelli (DQ)	currency	Отвергается	6.983641e-07
Engle-Manganelli (DQ)	overall	Отвергается	9.602819e-07
Engle-Manganelli (DQ)	stocks	Не отвергается	5.551471e-01
Kupiec (UC)	bonds	Отвергается	4.656949e-03
Kupiec (UC)	currency	Не отвергается	7.279689e-01
Kupiec (UC)	overall	Не отвергается	7.279689e-01
Kupiec (UC)	stocks	Не отвергается	7.701119e-01



Basktesting: w/o GBM 10d



test	portfolio	conclusion	p_value
Christoffersen (Ind)	bonds	Не отвергается	0.788856
Christoffersen (Ind)	currency	Не отвергается	0.788856
Christoffersen (Ind)	overall	Не отвергается	0.788856
Christoffersen (Ind)	stocks	Не отвергается	0.720509
Christoffersen-Pelletier	bonds	Не отвергается	0.222223
Christoffersen-Pelletier	currency	Не отвергается	0.711599
Christoffersen-Pelletier	overall	Не отвергается	0.711599
Christoffersen-Pelletier	stocks	Не отвергается	0.358808
Engle-Manganelli (DQ)	bonds	Не отвергается	0.984496
Engle-Manganelli (DQ)	currency	Не отвергается	0.950596
Engle-Manganelli (DQ)	overall	Не отвергается	0.963975
Engle-Manganelli (DQ)	stocks	Не отвергается	0.497496
Kupiec (UC)	bonds	Не отвергается	0.782910
Kupiec (UC)	currency	Не отвергается	0.782910
Kupiec (UC)	overall	Не отвергается	0.782910
Kupiec (UC)	stocks	Не отвергается	0.399460



Деривативы

Black–Scholes–Merton

$$C = SN(d_1) - Ke^{-rt}N(d_2)$$

$$d_1 = \frac{\ln \frac{S}{K} + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t}$$

где:

C = Цена опциона колл

S = Текущая цена базового актива

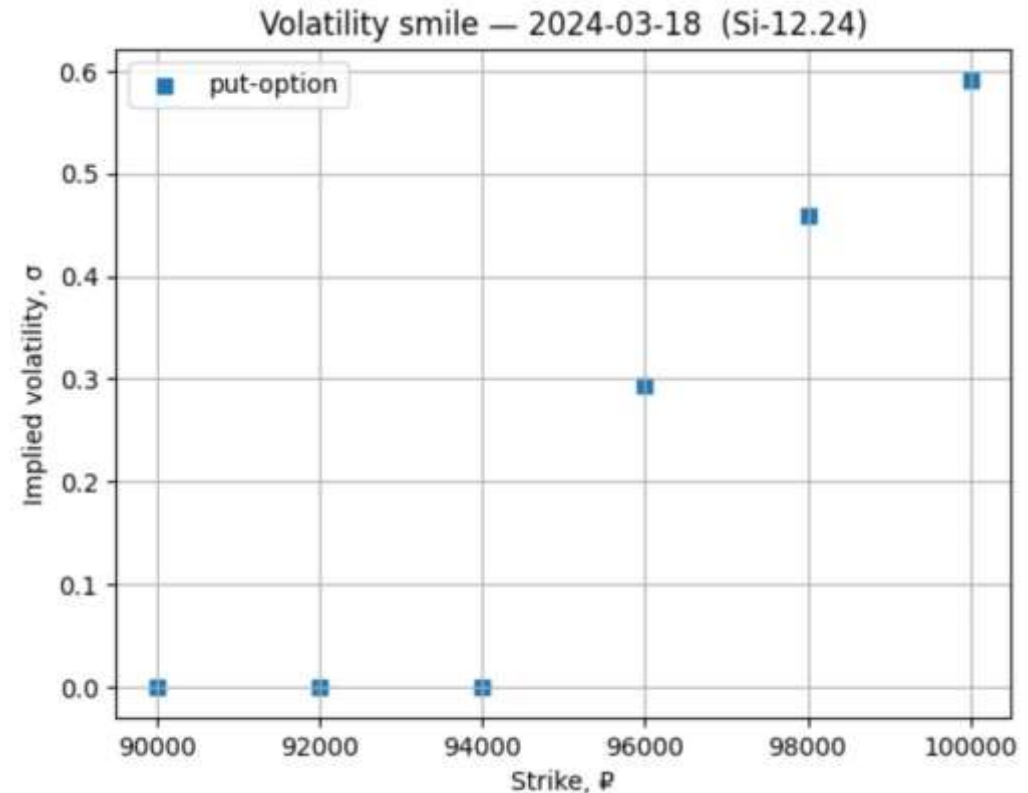
K = Цена исполнения (страйк)

r = Безрисковая процентная ставка

t = Время до исполнения (в годах)

σ = Волатильность базового актива

N = Функция стандартного нормального распределения



Оценка параметров:

- Implied σ_{call} =0.104
- Implied σ_{put} =0.153
- Implied σ_{bar} =0.129

Прогноз на 10-09-24:

Call: model=192.0 vs market=68.0

Put: model=19.3 vs market=64.0

Проблема в отсутствие
активных торговых дней для
большинства бумаг



Литература

- [1] *Note Sur Une Méthode de Résolution des équations Normales Provenant de L'Application de la MéThode des Moindres Carrés a un Système D'équations Linéaires en Nombre Inférieur a Celui des Inconnues. — Application de la Méthode a la Résolution D'un Système Defini D'éQuations LinéAires. (1924). Bulletin Géodésique, 2(1), 67–77.*
<https://doi.org/10.1007/bf03031308>
- [2] *Cox, J. C., Ingersoll, J. E., join(' ', & Ross, S. A. (1985). A Theory of the Term Structure of Interest Rates. Econometrica, 53(2), 385. https://doi.org/10.2307/1911242*

