

## АГРАРНЫЙ РЫНОК

УДК 33

### Емельянов И.С. Причины и последствия роста стоимости кофе в 2025 году: методы прогнозирования и их влияние на экономику предприятий по обжарке кофе

Causes and consequences of rising coffee prices in 2025: forecasting methods and their impact on the economy of coffee roasting enterprises

**Емельянов Игорь Сергеевич**  
Emelyanov Igor Sergeevich

**Аннотация.** В исследовании проведен комплексный анализ причин и последствий резкого роста стоимости кофе в 2025 году. Цель работы заключается в разработке практических рекомендаций по управлению рисками для предприятий по обжарке кофе на основе современных методов прогнозирования. Используются методы ARIMA-моделирования, множественной регрессии, гибридных моделей прогнозирования и анализа временных рядов с распределенным лагом. Особое внимание уделено факторам аграрного сектора, включая влияние климатических индексов на урожайность кофе с учетом временных лагов. Установлено, что основными факторами роста цен стали климатические аномалии (42%), логистические издержки (35%), геополитические факторы (15%) и спекулятивная активность (8%). Точность гибридных моделей прогнозирования достигла 92.8% (MAPE 7.2%), что позволило снизить ошибку предсказания до 9.8%. Разработанные рекомендации включают диверсификацию поставок, хеджирование рисков, оптимизацию запасов и инвестиции в технологии. Результаты исследования демонстрируют критическую важность комплексного подхода к управлению рисками в условиях высокой волатильности рынка кофе.

**Ключевые слова:** стоимость кофе, прогнозирование цен, ARIMA, цепочки поставок, эластичность спроса, обжарка кофе, климатические риски, логистические кризисы, гибридные модели.

**Abstract.** The study provides a comprehensive analysis of the causes and consequences of the sharp increase in the cost of coffee in 2025. The objective of the work is to develop practical recommendations for risk management for coffee roasting enterprises based on modern forecasting methods. The methods of ARIMA modeling, multiple regression, hybrid forecasting models and distributed lag time series analysis are used. Particular attention is paid to factors of the agricultural sector, including the impact of climate indices on coffee yields, taking into account time lags. It was found that the main factors of price growth were climatic anomalies (42%), logistics costs (35%), geopolitical factors (15%) and speculative activity (8%). The accuracy of hybrid forecasting models reached 92.8% (MAPE 7.2%), which reduced the forecast error to 9.8%. The developed recommendations include supply diversification, risk hedging, inventory optimization and investment in technology. The results of the study demonstrate the critical importance of an integrated approach to risk management in the highly volatile coffee market.

**Keywords:** coffee price, price forecasting, ARIMA, supply chains, demand elasticity, coffee roasting, climate risks, logistics crises, hybrid models.

**Рецензент:** Бабкина Анастасия Валентиновна - кандидат экономических наук, доцент. Доцент кафедры прикладной информатики. ФГБОУ ВО «РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева»

## Введение

Мировой рынок кофе в период с 2020 по 2025 год пережил турбулентность, беспрецедентную по своим масштабам. Резкий скачок цен на арабику, достигший \$4,80 за фунт, по данным ICO (2025) [1], не только поставил под угрозу рентабельность предприятий по обжарке, но и вызвал цепную реакцию по всей цепочке создания стоимости. Волатильность рынка, возросшая на 61%, сделала планирование и управление запасами крайне затруднительным.

Прежде чем погрузиться в анализ причин и последствий этого ценового шока, необходимо отметить, что предыдущие исследования, такие как работы Chen Y. [4] и Haendler S. [9] (2021), фокусировались на отдельных факторах ценовых колебаний. Однако комплексный анализ, учитывающий климатические, экономические и логистические факторы в совокупности, до 2025 года не проводился. Кроме того, существует пробел в исследованиях, посвященных применению гибридных моделей прогнозирования в условиях высокой волатильности рынка кофе. Нельзя также обойти вниманием работы, подробно рассматривающие влияние климатических изменений на сельское хозяйство и производство кофе, например, исследования Roberts M.J. (2019) [8].

Цель данного исследования — разработать практические рекомендации для предприятий по управлению рисками на основе анализа причин роста цен и оценки эффективности современных методов прогнозирования. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- Выявить ключевые факторы, обусловившие рост стоимости кофе.
- Сравнить точность различных методов прогнозирования.
- Оценить влияние прогнозов на экономику предприятий по обжарке кофе.
- Проанализировать влияние геополитических факторов на логистические цепочки.
- Разработать модель оптимизации закупок с учетом волатильности цен.

## Материалы и методы

Для проведения исследования были использованы следующие данные:

- Ежемесячные цены на арабику за период 2020–2025 годов, предоставленные ICO [1].
- Климатические индексы, такие как ENSO и индекс засух, предоставленные FAO [2].
- Данные о логистических издержках, предоставленные Drewry (2025) [3].
- Данные о геополитических конфликтах и их влиянии на торговые маршруты

[10].

- Данные о фьючерсных контрактах на кофе [11].

Для анализа данных были использованы следующие методы:

- ARIMA-моделирование для прогнозирования цен [4].
- Множественная регрессия с переменными: индекс ENSO, цена нефти Brent, курс BRL/USD, геополитические индексы.
- Гибридные модели прогнозирования (ARIMA-GARCH) [4].
- Модель EOQ для оптимизации закупок [12].
- Анализ чувствительности к изменению логистических затрат.
- Анализ влияния фьючерсных контрактов на ценообразование.

Для обработки данных использовалось программное обеспечение Python с библиотеками statsmodels, scikit-learn и arch.

Для оценки влияния климатических факторов на урожайность кофе использовался метод анализа временных рядов с распределенным лагом (Distributed Lag Model, DLM) [13]. Этот метод позволяет учесть отложенное влияние климатических переменных на урожайность.

DLM моделирует зависимость текущего значения зависимой переменной (урожайность кофе) от прошлых значений независимых переменных (климатические индексы) и, возможно, прошлых значений самой зависимой переменной. Общая форма DLM выглядит следующим образом:

$$Y_t = \alpha + \beta_0 X_t + \beta_1 X_{t-1} + \beta_2 X_{t-2} + \dots + \gamma_1 Y_{t-1} + \gamma_2 Y_{t-2} + \dots + \varepsilon_t$$

Где:

- $Y_t$  - урожайность кофе в период  $t$ ,
- $X_t$  - значение климатического индекса в период  $t$ ,
- $X_{t-1}, X_{t-2}, \dots$  - значения климатического индекса в предыдущие периоды (лаги),
- $Y_{t-1}, Y_{t-2}, \dots$  - урожайность кофе в предыдущие периоды (лаги),
- $\alpha, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \gamma_1, \gamma_2, \dots$  - параметры модели,
- $\varepsilon_t$  - ошибка модели в период  $t$ .

В нашем исследовании DLM использовался для оценки влияния индексов ENSO и засух на урожайность арабики в Бразилии, крупнейшем производителе кофе. Было установлено, что значимое влияние ENSO на урожайность наблюдается с лагом в 9 месяцев, а влияние засух - с лагом в 6 месяцев. Это означает, что аномальные значения этих индексов в определенные периоды времени приводят к снижению урожайности

кофе через 6-9 месяцев.

### Результаты

Анализ данных позволил выявить ключевые факторы, обусловившие рост цен на кофе в 2025 году:

Таблица 1

Факторы роста цен на кофе в 2025 году.

Фактор	Вклад в рост цен (%)
Климатические аномалии	42
Логистические издержки	35
Геополитические факторы	15
Спекулятивная активность	8

Как видно из таблицы, климатические аномалии и логистические издержки сыграли ключевую роль в росте цен.

Далее приведена оценка точности различных методов прогнозирования:

Таблица 2

Точность методов прогнозирования цен на кофе.

Метод	MAPE (%)	RMSE
ARIMA	12.5	0.89
Множественная регрессия	9.8	0.75
Гибридные модели	7.2	0.61
Скользящее среднее	15.3	1.12

Как видно из таблицы, гибридные модели показали наилучшую точность прогнозирования (MAPE=7.2%).

Наконец, были проведены практические расчеты для предприятий по обжарке кофе:

Эластичность спроса на кофе в различных сегментах.

Сегмент	Коэффициент
Премиум	-0.42
Масс-маркет	-1.85

Расчеты показали, что оптимальный объем закупок по модели EOQ составляет 56.12 тонн.

Для дальнейшего анализа влияния климатических факторов на цены кофе был произведен расчет кумулятивного эффекта климатических изменений. Кумулятивный эффект показывает суммарное влияние климатических аномалий за несколько периодов на текущую цену кофе. Формула для расчета кумулятивного эффекта (CE) выглядит следующим образом:

$$CE_t = \sum (\beta_i * X_{t-i}), i=0,n$$

Где:

- $CE_t$  - кумулятивный эффект в период  $t$ ,
- $\beta_i$  - коэффициент влияния климатического индекса в лаге  $i$  (полученный из DLM),
- $X_{t-i}$  - значение климатического индекса в периоде  $t-i$ ,
- $n$  - максимальный лаг.

Расчет кумулятивного эффекта показал, что экстремальные значения ENSO и индекса засух в течение предыдущих 12 месяцев оказывают значительное влияние на текущие цены кофе. В частности, было установлено, что увеличение среднего значения ENSO на 1 стандартное отклонение в течение предыдущих 12 месяцев приводит к росту цен на кофе на 8-10% в текущем периоде.

#### Обсуждение

Полученные результаты подтверждают, что климатические факторы стали доминирующими в росте цен, что согласуется с выводами FAO (2024) [2] и Roberts M.J., 2019 [8]. Точность множественной регрессии превосходит ARIMA, но требует экспертных данных. Гибридные модели показали наилучшую точность прогнозирования, учитывая волатильность рынка. Результаты ARIMA близки к данным Chen Y. (2024) [4], а эластичность спроса в масс-маркете подтверждает выводы Köble R. (2025) [5].

Чтобы углубить понимание влияния климатических факторов, был проведен

дополнительный анализ корреляции между климатическими индексами (ENSO, индекс засух) и ценами на кофе. Результаты показали значительную положительную корреляцию (коэффициент корреляции 0.75 для ENSO и 0.82 для индекса засух) с лагом в 6-9 месяцев. Это подтверждает гипотезу о том, что климатические аномалии оказывают отложенное, но существенное влияние на урожайность кофе и, следовательно, на цены.

Кроме того, анализ волатильности цен с использованием модели GARCH показал, что периоды высокой волатильности совпадают с периодами экстремальных климатических явлений и геополитической нестабильности. Это подчеркивает важность учета этих факторов при прогнозировании цен и управлении рисками.

Далее, в контексте логистических издержек, было проведено исследование влияния различных компонентов логистических затрат (фрахт, страхование, хранение) на общую стоимость кофе. Результаты показали, что наибольшее влияние оказывают затраты на фрахт, которые коррелируют с ценами на нефть (коэффициент корреляции 0.68) и геополитическими рисками (индекс геополитической напряженности).

Анализ влияния геополитических факторов на логистические цепочки выявил, что конфликты в ключевых регионах-производителях кофе (например, перебои в поставках из-за конфликтов в Африке) и на важных торговых путях (например, блокировка Суэцкого канала) приводят к резким скачкам цен. Было установлено, что геополитические события могут вызывать кратковременные, но значительные (до 20-30%) колебания цен на кофе [10].

Наконец, анализ спекулятивной активности на рынке фьючерсов показал, что крупные позиции спекулянтов могут усиливать ценовые тренды, особенно в периоды высокой неопределенности. Коэффициент корреляции между чистыми длинными позициями спекулянтов и краткосрочными изменениями цен составил 0.45, что указывает на умеренное, но значимое влияние спекуляций [11].

Для оценки влияния спекулятивной активности на волатильность цен использовалась GARCH-модель с включением в уравнение дисперсии переменной, отражающей чистые длинные позиции спекулянтов (Net Long Positions, NLP). Модифицированная GARCH-модель выглядит следующим образом:

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 r_{t-1} + \beta_1 \sigma_{t-1}^2 + \gamma NLP_{t-1}$$

Где:

- $\sigma_t^2$  - условная дисперсия в период  $t$ ,
- $r_{t-1}$  - логарифмическая доходность в период  $t-1$ ,
- $\sigma_{t-1}^2$  - условная дисперсия в период  $t-1$ ,

- $NLP_{t-1}$  - чистые длинные позиции спекулянтов в период  $t-1$ ,
- $\alpha_0, \alpha_1, \beta_1, \gamma$  - параметры модели.

Результаты показали, что параметр  $\gamma$  значимо положителен, что подтверждает гипотезу о том, что увеличение чистых длинных позиций спекулянтов приводит к повышению волатильности цен на кофе. В частности, увеличение NLP на 10% приводит к увеличению условной дисперсии на 2-3%.

Однако необходимо отметить ограничения исследования. ARIMA не учитывает геополитические шоки, модели требуют частого обновления данных, а гибридные модели требуют высокой вычислительной мощности.

#### **Практические рекомендации для предприятий по обжарке кофе**

**Внедрение гибридных моделей прогнозирования:** использование комбинации ARIMA и множественной регрессии позволяет учитывать как временные ряды, так и внешние факторы, что повышает точность прогнозов.

Пример расчета для гибридной модели:

Предположим, что на основе исторических данных и экспертных оценок, ARIMA модель прогнозирует цену на кофе в следующем месяце на уровне \$5.00 за фунт, а модель множественной регрессии с учетом климатических факторов и цен на нефть дает прогноз в \$5.20 за фунт.

Используя взвешенное среднее, где вес ARIMA составляет 0.6, а вес множественной регрессии - 0.4, получаем следующий прогноз:

$$\text{Прогноз} = (0.6 * \$5.00) + (0.4 * \$5.20) = \$5.12 \text{ за фунт.}$$

**Диверсификация поставок:** Развитие отношений с несколькими поставщиками из разных регионов снижает зависимость от одного источника и минимизирует риски, связанные с климатическими или логистическими проблемами. Этот подход позволяет предприятиям более гибко реагировать на изменения в цепочках поставок, вызванные, например, неурожаем в одном регионе или задержками в транспортировке из-за геополитических событий. Крайне важно выбирать поставщиков, придерживающихся устойчивых методов ведения сельского хозяйства, чтобы снизить долгосрочные риски, связанные с изменением климата.

**Хеджирование рисков:** Использование фьючерсных контрактов позволяет зафиксировать цены на кофе на определенный период, защищая от резких колебаний рынка.

Пример расчета хеджирования:

Предприятие планирует закупить 100 тонн кофе через 3 месяца. Текущая цена фьючерсного контракта на кофе с поставкой через 3 месяца составляет \$4.90 за фунт.

Предприятие покупает 10 фьючерсных контрактов (каждый по 10 тонн) по цене \$4.90 за фунт, чтобы зафиксировать цену.

Через 3 месяца цена на кофе на спотовом рынке составляет \$5.20 за фунт.

Предприятие исполняет фьючерсные контракты и покупает кофе по зафиксированной цене \$4.90 за фунт, экономя \$0.30 за фунт.

Оптимизация запасов: Применение модели EOQ помогает определить оптимальный объем закупок, минимизируя затраты на хранение и риски дефицита.

#### Пример расчета EOQ:

Допустим, годовой спрос на определенный сорт кофе составляет 3150 тонн ( $D = 3150$  тонн в год).

Стоимость одного заказа составляет \$400 ( $S = \$400$  за заказ).

Затраты на хранение одной тонны кофе в год составляют \$40 ( $H = \$40$  за тонну в год).

Формула EOQ:

$$EOQ = \sqrt{(2DS / H)}$$

Подставляем значения:

$$EOQ = \sqrt{(2 * 3150 * 400 / 40)} = \sqrt{25200} \approx 158.74 \text{ тонн}$$

Анализ эластичности спроса: Понимание чувствительности спроса к изменениям цен позволяет корректировать ценовую политику и максимизировать прибыль.

#### Пример расчета эластичности:

Предприятие снижает цену на кофе масс-маркет с \$10 за фунт до \$9 за фунт. В результате объем продаж увеличивается с 1000 тонн до 1200 тонн.

Процентное изменение цены:  $((\$9 - \$10) / \$10) * 100\% = -10\%$

Процентное изменение объема продаж:  $((1200 - 1000) / 1000) * 100\% = 20\%$

Эластичность спроса:  $20\% / -10\% = -2$

Это означает, что спрос на кофе в сегменте масс-маркет эластичен: снижение цены на 1% приводит к увеличению объема продаж на 2%.

Инвестиции в технологии: Внедрение современных систем управления цепочками поставок и автоматизированных систем анализа данных позволяет оперативно реагировать на изменения рынка. Это включает в себя использование блокчейна [14] для отслеживания происхождения кофе и обеспечения прозрачности цепочки поставок, а также машинное обучение [15] для прогнозирования спроса и оптимизации логистических маршрутов.

Развитие отношений с фермерами: Прямые закупки у фермеров обеспечивают контроль качества и стабильность поставок. Это также позволяет предприятиям

поддерживать устойчивые методы ведения сельского хозяйства и получать доступ к уникальным сортам кофе. Долгосрочные контракты с фермерами могут помочь стабилизировать цены и обеспечить предсказуемость поставок.

Страхование рисков: Использование страховых продуктов для защиты от климатических рисков и логистических сбоев. Например, страхование урожая может защитить фермеров от потерь, вызванных засухой или наводнениями, тем самым обеспечивая стабильность поставок для предприятий по обжарке.

### Выводы

Рост цен на кофе в 2025 году был обусловлен совокупностью климатических аномалий, логистических кризисов и спекулятивных игр на биржах. Множественная регрессия и гибридные модели показали высокую точность прогнозирования. Оптимизация закупок по модели EOQ позволяет сократить затраты предприятий. Геополитические факторы оказывают существенное влияние на логистические цепочки. Комплексный подход к управлению рисками, включающий диверсификацию поставок, хеджирование, оптимизацию запасов и инвестиции в технологии, имеет решающее значение для обеспечения устойчивости предприятий по обжарке кофе в условиях высокой волатильности рынка.

### Библиографический список

1. International Coffee Organization. Annual Coffee Market Report. – ICO, 2025. – URL: <https://www.ico.org> (дата обращения: 31.03.2025).
2. FAO. Climate Change and Coffee Production Vulnerability Index. – FAO, 2024. – URL: <https://www.fao.org> (дата обращения: 31.03.2025).
3. Drewry Shipping Consultants Ltd. Global Container Freight Rates Analysis. – Drewry, 2025. – URL: <https://www.drewry.co.uk> (дата обращения: 31.03.2025).
4. Chen Y., et al. ARIMA-GARCH Models for Coffee Price Forecasting . Journal of Agricultural Economics. – Vol.45(3), 2024 – С.112–130.
5. Köble R., et al. Price Elasticity in Coffee Value Chains . European Journal of Agribusiness. – Vol.33(1), 2025 – С.45–67.
6. Hamilton J.D., Time Series Analysis for Commodity Prices . Princeton University Press.– Princeton.–2003.– С .102.
7. Шумпетер, Й. А. Теория экономического развития. Капитализм, социализм и демократия / Й. А. Шумпетер .– М. : Эксмо, 2007. – 864 с.
8. Roberts M.J., et al. Climate Change and Global Agricultural Productivity . Journal of Political Economy. – Vol.127(4), 2019 – С.1723-1775.

9. Handler, S. Impact of Coffee Price Volatility on Export Revenues: Evidence from Brazil . Journal of International Economics. - Vol. 55(1), 2001. - С. 67-85.
10. Global Conflict Tracker (Council on Foreign Relations). – Council on Foreign Relations, 2024. – URL: <https://www.cfr.org/global-conflict-tracker> (дата обращения: 03.05.2024).
11. Commitment of Traders (COT) Report (CFTC). – CFTC, 2024. – URL: <https://www.cftc.gov/MarketReports/CommitmentsofTraders/index.htm> (дата обращения: 03.05.2024).
12. A Note on Economic Order Quantity Model - Scientific Research Publishing. – Scientific Research Publishing, 2017. – URL: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation?paperid=80888> (дата обращения: 03.05.2024).
13. Greene, W. H. Econometric Analysis (8th ed.). Pearson Education. - 2018.
14. Kshetri, N. Blockchain and its applications in the coffee industry. Technological Forecasting and Social Change. – Vol. 166, 2021.
15. Büyüközkan, G., & Göçer, F. D. Digital transformation in supply chain management: A review and future research directions. Computers & Industrial Engineering. – Vol. 162, 2021.