

# Эконометрическое моделирование

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОРЕЖИМНЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ ФИНАНСОВЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

В. Е. ЗЯМАЛОВ

Однорежимные эконометрические модели широко применяются в целях моделирования динамики фондовых индексов. Они справедливы при неизменности взаимосвязи между рассматриваемыми переменными, однако подобное допущение может стать неверным, если в силу каких-либо экономических причин переменные меняются. Для разрешения этих вопросов были предложены многорежимные модели, позволяющие в явном виде учитывать такие изменения.

В настоящей работе представлены результаты моделирования влияния макроэкономических показателей на динамику индекса РТС в зависимости от внешнеэкономической конъюнктуры, для определения которой была выбрана цена нефти как одного из основных экспортных товаров РФ. Было показано, что в зависимости от экономического режима наблюдается различие в характере импульсных откликов индекса РТС на инновации в объясняющих макроэкономических показателях.

**Ключевые слова:** финансовые индексы, многорежимные модели, STVECM, импульсные отклики.

**JEL:** C32, C53, G12.

Считается [3], что сводные фондовые индексы являются индикатором, позволяющим предугадать траекторию развития экономики в целом. Это связывают с тем, что на их величину влияют, в том числе, и ожидания инвесторов, стремящихся к максимальной доходности своих портфелей и пытающихся защититься от потенциальных рисков и соответственно меняющих свое поведение. Но в случае сильных шоков подобный подход может привести к нестабильности выявляемых в ходе эконометрического анализа взаимосвязей между финансовыми и макроэкономическими показателями.

### Методология исследования

Для учета описанного выше эффекта было предложено большое количество разнообразных классов моделей, одним из которых является класс моделей, учитывающих смену режимов [11; 14], – например, модели векторной авторегрессии с переключающимися режимами [7;

10; 15; 16]. Традиционные модели векторной авторегрессии (VAR) довольно широко представлены в зарубежной литературе для моделирования влияния макроэкономических факторов на финансовые рынки [5]<sup>1</sup>.

Выбор данного класса моделей обусловлен тем, что на рассматриваемом периоде времени под влиянием экономических условий связи между российскими фондовыми индексами и макроэкономическими показателями могли меняться. Поэтому в настоящей работе была использована многорежимная структурная векторная авторегрессионная модель с плавной сменой режимов (VSTAR<sup>2</sup>):

$$y_t = [\mu_1 + A_1^1 y_{t-1} + \dots] [1 - G(s_t | \gamma, c)] + [\mu_2 + A_2^1 y_{t-1} + \dots] G(s_t | \gamma, c) + \varepsilon_t,$$

где  $y_t$  – вектор значений рассматриваемых переменных;  $\mu_1, \mu_2$  – векторы свободных членов для различных режимов;  $A_1^1, A_1^2, \dots, A_1^p, A_2^1, A_2^2, \dots, A_2^p$  –

Зямалов Вадим Евгеньевич, научный сотрудник РАНХиГС при Президенте Российской Федерации (Москва), e-mail: zyamalov@ranepa.ru

<sup>1</sup> Обзор работ по моделированию сводных фондовых индексов можно найти в [1; 4].

<sup>2</sup> Vector Smooth Transition Autoregressive Model.

матрицы коэффициентов для различных лагов и различных режимов;  $G(s_t | \gamma; c)$  — некоторая функция перехода от одного режима к другому;  $s_t$  — переменная перехода от одного режима к другому;  $\gamma$  — скорость перехода;  $c$  — пороговое значение;  $\varepsilon_t$  — вектор случайных ошибок.

Функция перехода должна удовлетворять следующим свойствам: она должна быть строго монотонной, возрастающей и ограниченной между 0 и 1. VSTAR-модель фактически представляет собой две VAR-модели, характеризующие экономические взаимоотношения в двух крайних режимах, коэффициенты которых в каждый момент времени взвешиваются с весом  $G(s_t | \gamma; c)$ .

### Данные и результаты исследования

Исследование проводилось на периоде с января 1999 г. по июнь 2021 г. по месячным данным<sup>3</sup>. Использовались следующие данные:

- индекс РТС, в пунктах;
- ставка MIACR (месячная), в %;
- индекс промышленного производства, в % к январю 1999 г.;
- сальдо торгового баланса, млрд долл.;
- индекс потребительских цен, в % к январю 1999 г.;
- официальный обменный курс рубля, руб./долл.;
- индекс S&P 500, в пунктах;
- цена нефти марки Brent, долл./барр.

В качестве показателя, определяющего режимы модели, была использована цена нефти как одного из основных экспортных товаров российской экономики.

Все статистические ряды прологарифмированы. Данные приведены к базовому месяцу — январю 1999 г., значение рядов в базовом периоде равно 0. Тестирование рядов на единичный корень показало, что все ряды, кроме ставки MIACR, являлись интегрированными первого порядка и были взяты в первых разностях.

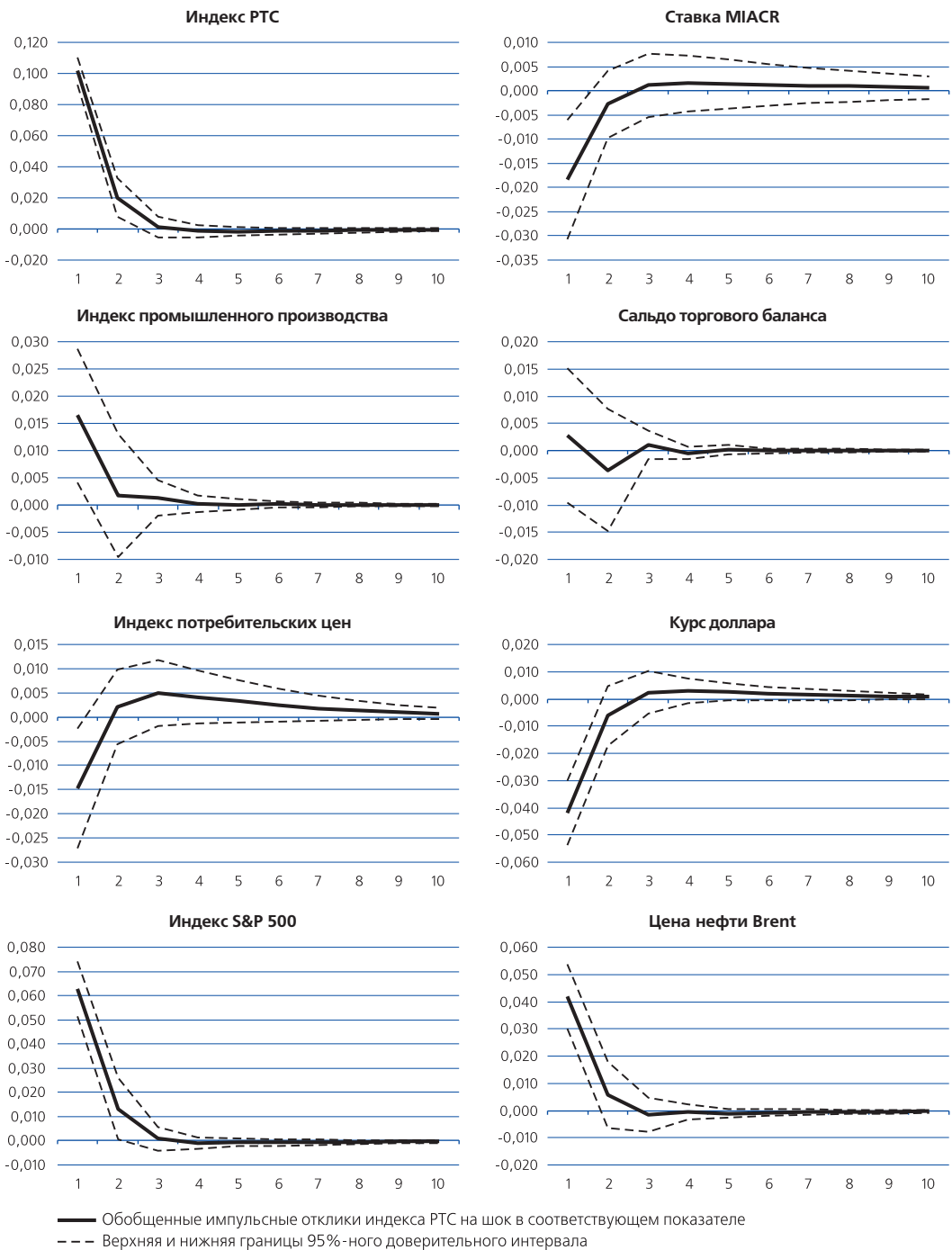
По результатам оценивания уровень цены нефти, при котором наблюдается переход между режимами, составил около 33,94 долл./барр. На рис. 1 отображены функции обобщенных импульсных откликов (см. [12]) индекса РТС на прочие рассматриваемые макроэкономические факторы, полученные путем оценивания традиционной VAR-модели, а на рис. 2 — импульсные отклики, полученные из VSTAR-модели; на рисунках также приведены границы 95%-ных доверительных интервалов.

Сравнение графиков функций импульсного отклика показывает, что более сложная VSTAR-модель демонстрирует в ряде случаев поведение рассматриваемых рядов, отличное от более простой VAR-модели. Что мы видим: отличия характерны для режима низких цен на нефть, а в противоположном режиме они минимальны. Это может быть как отражением реальных различий в характере влияния макроэкономических факторов на российские фондовые индексы, так и следствием того, что режим низких цен на нефть по результатам оценивания обычно существенно меньше по числу наблюдений режима высоких цен, что накладывает отпечаток на точность оценок.

Внешние фондовые рынки и цена нефти, а также прошлые значения самого индекса вызывают положительный отклик индекса РТС. Влияние цены нефти обусловлено высокой долей акций нефтяных компаний в базе расчета российских индексов [6]. Так как цена акций может рассматриваться как сумма дисконтированных будущих денежных потоков [8], то цена нефти может влиять как на величину потоков, так и на дисконтирующий фактор, поскольку положительные шоки цены нефти могут расцениваться как фактор инфляционного риска с возможностью провоцирования опережающего роста процентных ставок [13]. С учетом структуры базы расчета российских фондовых индексов улучшение условий торговли, выраженное в повышении цены важно-

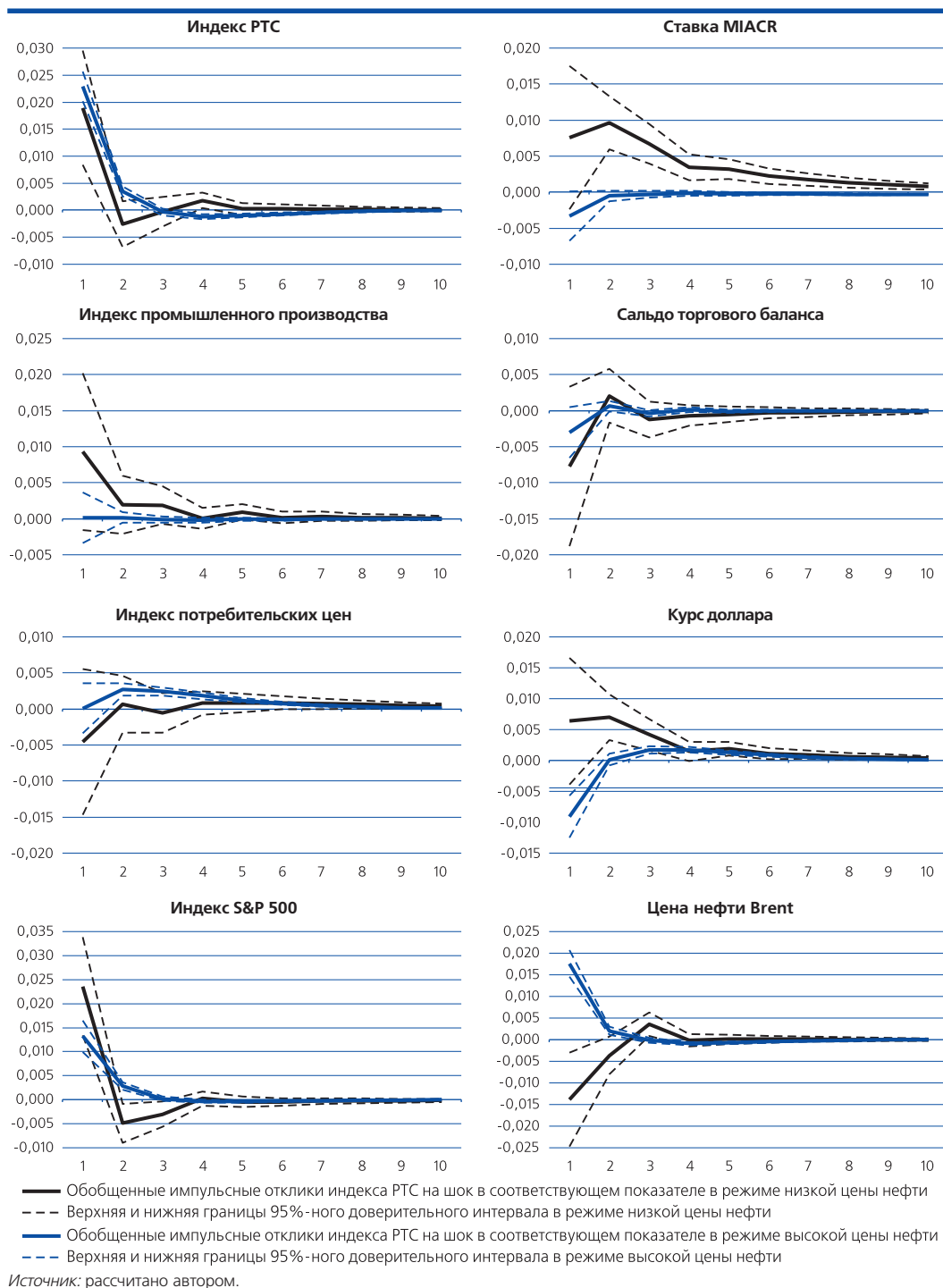
<sup>3</sup> Источники данных: портал Центрального банка РФ, портал компании «Финам», портал Федерального банка в Сент-Луисе, портал Росстата.

Рис. 1. Графики функций импульсного отклика для VAR



Источник: рассчитано автором.

Рис. 2. Графики функций импульсного отклика для многорежимных моделей



го экспортного товара российской экономики, и усиление активности зарубежного рынка, что косвенно показывает индекс S&P 500, могут положительно влиять на доходы российских нефтяных компаний и на стоимость их акций.

Ставка MIACR оказывает отрицательное воздействие на индекс РТС в режиме высокой цены нефти. Отрицательная связь, полученная в VAR-модели, согласуется с выводами, представленными в литературе, и может быть следствием увеличения издержек производства, стоимости заемных средств, а также отражать изменения в предпочтениях инвесторов [9].

Несмотря на то что в литературе зачастую отмечается неопределенный характер влияния уровня промышленного производства на цены акций, VAR-модели и модели с переключающимися режимами демонстрируют положительный отклик российских индексов на данный фактор. Это можно объяснить ростом привлекательности акций российских компаний в периоды их повышенной активности.

Индекс потребительских цен оказывает отрицательное влияние на величину российских фондовых индексов в первый месяц после

шока. Этот результат можно объяснить через два механизма. Во-первых, ускорение инфляции, особенно в рамках политики ее таргетирования, формирует у инвесторов состояние неопределенности относительно будущей величины процентной ставки [13]. Во-вторых, рост цен приводит к снижению реальных доходов компаний [9], что также может оказывать понижающее влияние на цены акций и величину фондовых индексов.

### Выводы

В работе было показано, что влияние макроэкономических факторов на российские фондовые индексы носит разный характер в зависимости от состояния экономики и условий внешней торговли. Полученные в настоящем исследовании импульсные отклики для индекса РТС в целом согласуются с теорией и полученными ранее автором результатами для индекса ММВБ<sup>4</sup>. Из работы следует, что ситуация на фондовом рынке должна учитываться в процессе разработки мер государственной политики в области ее регулирования, а также при моделировании и прогнозировании финансовых временных рядов. ■

### Литература

1. Зямалов В.Е. Сравнение предсказательной способности одно- и многорежимных моделей динамики фондового рынка // Финансовый журнал. 2017. № 2 (36). С. 64–75.
2. Зямалов В.Е. Применение многорежимных моделей при моделировании динамики российских фондовых индексов // Экономическое развитие России. 2017. Т. 24. № 11. С. 51–54.
3. Смирнов С.В. Система опережающих индикаторов для России // Вопросы экономики. 2001. № 3. С. 23–42.
4. Турунцева М.Ю., Зямалов В.Е. Фондовые рынки в условиях смены условий торговли // Журнал Новой экономической ассоциации. 2016. № 3 (31). С. 93–110.
5. Федорова Е.А., Афанасьев Д.О. Определение степени влияния цен нефти и золота на индекс ММВБ и ее структурных сдвигов с применением модели Markov-switching autoregressive model (MS-ARX) // Финансы и кредит. 2013. № 17 (545). С. 2–11.
6. Федорова Е.А., Панкратов К.А. Влияние макроэкономических факторов на фондовый рынок России // Проблемы прогнозирования. 2010. № 2 (119). С. 78–83.
7. A multivariate STAR analysis of the relationship between money and output / Rothman P., Dijk D.J.C. van, Franses P.H.B.F.; Erasmus University Rotterdam, Erasmus School of Economics (ESE), Econometric Institute, 1999. (Econometric Institute Research Papers).

<sup>4</sup> Результаты для индексов РТС и ММВБ также можно найти в [1; 2; 4].

8. Basher S.A., Haug A.A., Sadorsky P. Oil prices, exchange rates and emerging stock markets // *Energy Economics*. 2012. Vol. 34. No. 1. Pp. 227–240.
9. Faia E., Monacelli T. Optimal interest rate rules, asset prices, and credit frictions // *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2007. Vol. 31. No. 10. Pp. 3228–3254.
10. Financial sector-output dynamics in the euro area: Non-linearities reconsidered / Schleer F., Semmler W. Mannheim, Germany: ZEW. Leibniz Centre for European Economic Research. 2014. (ZEW Discussion Papers).
11. Koop G., Pesaran M.H., Potter S.M. Impulse response analysis in nonlinear multivariate models // *Journal of Econometrics*. 1996. Vol. 74. No. 1. Pp. 119–147.
12. Pesaran H.H., Shin Y. Generalized impulse response analysis in linear multivariate models // *Economics Letters*. 1998. Vol. 58. No. 1. Pp. 17–29.
13. Schwert G.W. The adjustment of stock prices to information about inflation // *The Journal of Finance*. 1981. Vol. 36. No. 1. Pp. 15–29.
14. Tong H., Lim K.S. Threshold autoregression, limit cycles and cyclical data // *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*. 1980. Vol. 42. No. 3. Pp. 245–292.
15. Ubilava D. On the relationship between financial instability and economic performance: stressing the business of nonlinear modeling // *Macroeconomic Dynamics*. 2019. Vol. 23. No. 1. Pp. 80–100.
16. Weise C.L. The asymmetric effects of monetary policy: a nonlinear vector autoregression approach // *Journal of Money, Credit and Banking*. 1999. Vol. 31. No. 1. Pp. 85–108.

### References

1. Zyamalov V.Ye. Comparison of the predictive ability of single and multi-regime models of stock market dynamics // *Financial Journal*. 2017. No. 2 (36). Pp. 64–75.
2. Zyamalov V.Ye. Applying the Multi Regime Models to the Modeling the Dynamics of Russian Stock Indices // *Russian Economic Development*. 2017. Vol. 24. No. 11. Pp. 51–54.
3. Smirnov S.V. System of leading indicators for Russia // *Voprosy Ekonomiki*. 2001. No. 3. Pp. 23–42.
4. Turuntseva M.Yu., Zyamalov V.Ye. Stock markets under the changing terms of trade // *Journal of the New Economic Association*. 2016. No. 3 (31). Pp. 93–110.
5. Federova E.A., Afanasiev D.O. Determination of the degree of influence of oil and gold prices on the MICEX index and its structural shifts using the Markov-switching autoregressive model (MS-ARX) // *Finance and Credit*. 2013. No. 17 (545). Pp. 2–11.
6. Fedorova E.A., Pankratov K.A. Impact of macroeconomic factors on the Russian stock market // *Problemy Prognozirovaniya*. 2010. No. 2 (119). Pp. 78–83.
7. A multivariate STAR analysis of the relationship between money and output / Rothman P., Dijk D.J.C. van, Franses P.H.B.F.; Erasmus University Rotterdam, Erasmus School of Economics (ESE), Econometric Institute, 1999. (Econometric Institute Research Papers).
8. Basher S.A., Haug A.A., Sadorsky P. Oil prices, exchange rates and emerging stock markets // *Energy Economics*. 2012. Vol. 34. No. 1. Pp. 227–240.
9. Faia E., Monacelli T. Optimal interest rate rules, asset prices, and credit frictions // *Journal of Economic Dynamics and Control*. 2007. Vol. 31. No. 10. Pp. 3228–3254.
10. Financial sector-output dynamics in the euro area: Non-linearities reconsidered / Schleer F., Semmler W. Mannheim, Germany: ZEW. Leibniz Centre for European Economic Research. 2014. (ZEW Discussion Papers).
11. Koop G., Pesaran M.H., Potter S.M. Impulse response analysis in nonlinear multivariate models // *Journal of Econometrics*. 1996. Vol. 74. No. 1. Pp. 119–147.
12. Pesaran H.H., Shin Y. Generalized impulse response analysis in linear multivariate models // *Economics Letters*. 1998. Vol. 58. No. 1. Pp. 17–29.
13. Schwert G.W. The adjustment of stock prices to information about inflation // *The Journal of Finance*. 1981. Vol. 36. No. 1. Pp. 15–29.
14. Tong H., Lim K.S. Threshold autoregression, limit cycles and cyclical data // *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*. 1980. Vol. 42. No. 3. Pp. 245–292.
15. Ubilava D. On the relationship between financial instability and economic performance: stressing the business of nonlinear modeling // *Macroeconomic Dynamics*. 2019. Vol. 23. No. 1. Pp. 80–100.
16. Weise C.L. The asymmetric effects of monetary policy: a nonlinear vector autoregression approach // *Journal of Money, Credit and Banking*. 1999. Vol. 31. No. 1. Pp. 85–108.

## **Applying the Multi Regime Models to the Modelling the Dynamics of Financial Time Series**

**Vadim Ye. Zyamalov** – Researcher of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow, Russia). E-mail: zyamalov@ranepa.ru

*Single-regime econometric models are widely used to model the dynamics of stock indices. These models are valid if the relationship between the variables under consideration remains unchanged. However, this assumption may become incorrect if they may change for any economic reason. To resolve these issues, multi-mode models allowing for explicitly taking into account these changes were introduced.*

*This paper presents the results of modeling the impact of macroeconomic indicators on the dynamics of the RTSI index depending on the external economic situation using the price of oil as one of the main export commodities. It is shown that depending on the economic regime there is a difference in the nature of the impulse responses of the RTS index to innovation in explanatory macroeconomic indicators.*

**Key words:** financial indices, multi-regime models, STVECM, impulse responses.

**JEL-codes:** C32, C53, G12.