

Лариса Миколаївна ЗОМЧАК

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри економічної кібернетики,
Львівський національний університет імені Івана Франка
E-mail: lzomchak@gmail.com

Лілія Петрівна ОСТАПОВИЧ

кафедра економічної кібернетики,
Львівський національний університет імені Івана Франка
E-mail: l.sholubko@gmail.com

**ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РИНКУ ЗОЛОТА В УКРАЇНІ
МЕТОДАМИ НЕЛІНІЙНОЇ ДИНАМІКИ**

Зомчак, Л. М. Економіко-математичне моделювання ринку золота в Україні методами нелінійної динаміки [Текст] / Лариса Миколаївна Зомчак, Лілія Петрівна Остапович // Економічний аналіз : зб. наук. праць / Тернопільський національний економічний університет; редкол. : В. А. Дерій (голов. ред.) та ін. – Тернопіль : Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету “Економічна думка”, 2015. – Том 22. – № 1. – С. 13-18. – ISSN 1993-0259.

Анотація

Вступ. Забезпечення динамічного та ефективного розвитку фінансового ринку – важливе завдання держави на етапі ринкового реформування економіки. Для розбудови останнього доцільно спиратись на сучасні науково обґрунтовані методи та принципи регулювання, забезпечити функціонування різноманітних його елементів, у тому числі ринку золота, який відіграє важливу роль для стабільного розвитку економіки.

Мета. Дослідження нерівноважних процесів на ринку золота в Україні методами нелінійної динаміки.

Метод (методологія). У роботі використано метод економіко-математичного моделювання, методи нелінійної динаміки, теорії хаосу.

Результати. Проаналізовано курс золота в Україні за період з 02.04.2002 р. по 20.11.2015 р. методами нелінійної динаміки, реконструйовано атрактор ринку золота. Виявлено, що ряд персистентний і трендостійкий, має фрактальні властивості. Досліджено, що ринок золота в Україні як динамічна система має хаотичну складову, поведінка якої детермінована, виявлено чутливість системи до початкових умов.

Ключові слова: фрактал; атрактор; показник Херста; розмірність фазового простору; кореляційна розмірність; кореляційна ентропія; максимальний показник Ляпунова.

Larysa Mykolayivna ZOMCHAK

PhD in Economics,
Associate Professor,
Department of Economic Cybernetics,
Ivan Franko National University of Lviv
E-mail: lzomchak@gmail.com

Liliya Petrivna OSTAPOVYCH

Department of Economic Cybernetics,
Ivan Franko National University of Lviv
E-mail: l.sholubko@gmail.com

ECONOMICS AND MATHEMATICS MODELING OF GOLD MARKET IN UKRAINE BY NONLINEAR DYNAMICS METHODS

Abstract

Introduction. Implementation of dynamic and effective development of the financial market is an important task of the state at the stage of market reforming of the economy. To build the last it is advisable to rely on advanced scientifically based methods and principles of regulation, to ensure the functioning of its various elements, including the gold market, which plays an important role in the stable development of the economy.

Goal. The purpose of the article is the investigation of non-equilibrium processes in the gold market of Ukraine by the nonlinear dynamics methods.

The method (methodology). In this research we have used the methods of economic and mathematical modeling, methods of nonlinear dynamics, chaos theory.

Results. It has been analyzed the rate off gold in Ukraine for the period from 02.04.2002 till 11.20.2015 by the methods of nonlinear dynamics. The attractor of gold market is reconstructed. It has been revealed that it is of persistent and trend-resistant nature and has fractal features. It has been defined that the gold market in Ukraine as a dynamic system has a chaotic component. Its nature is determined. The sensitivity of a system to initial conditions is revealed.

Keywords: fractal; attractor; Hurst index; the dimension of the phase space; correlation dimension; correlation entropy; Lyapunov maximum indicator.

JEL classification: C22, C58, C82, G12, G14

Вступ

Зважаючи на особливості динаміки курсів дорогоцінних металів та неспроможність спрогнозувати їх зміни традиційними підходами, є підстави припустити, що ринки дорогоцінних металів, окрім випадкових стохастичних коливань, характеризуються ще й коливаннями, що виникають під дією довготривалих закономірностей, детермінованого хаосу. За умов нестабільної економічної та політичної ситуації в країні, коли різкі зміни курсів дорогоцінних металів можуть слугувати індикаторами поглиблення кризових явищ, всебічний аналіз ринку золота методами нелінійної динаміки залишається актуальним, бо дозволяє краще зрозуміти структуру і особливості поведінки цього ринку.

Дослідженням проблем прикладного застосування методів нелінійної динаміки та теорії хаосу займались вітчизняні та закордонні вчені: В. М. Андрієнко [1], В. І. Заїка [2], Ю. В. Соловйов [3], С. Х. Строгац [4], К. Чіарелла [5], В. Панченко [6] та інші.

Мета статті

Метою статті є дослідження нерівноважних процесів на ринку золота в Україні методами нелінійної динаміки.

Виклад основного матеріалу дослідження

Ціни на банківські метали залежать від економічної та політичної ситуації меншою мірою, ніж інші засоби нагромадження, і не є зобов'язанням держави, тому вони найефективніше захищають вкладені кошти від знецінювання. Наявність доволі тісного прямого кореляційного зв'язку між окремими ринками банківських металів означає, що вони значною мірою взаємопов'язані. Окрім цього, зауважимо, що, зазвичай, підвищення попиту на банківські метали можна спостерігати у періоди значних коливань інших ринків, насамперед – фінансових.

У дослідженні здійснено аналіз динаміки курсу золота в Україні за період з 02.04.2002 р. до

20.11.2015 р. На рис. 1. зображено динамічний ряд, побудований на основі курсової динаміки цін на золото за даними Національного банку України [7].

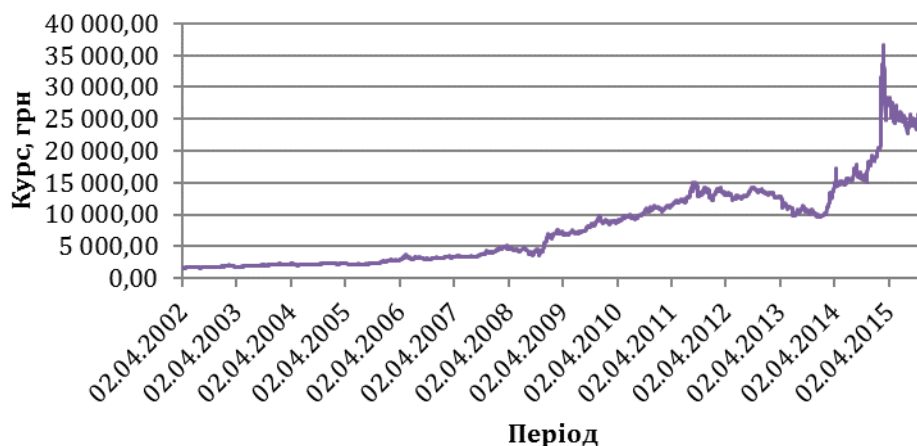


Рис. 1. Динаміка курсу золота за даними НБУ за період з 02.04.2002 р. по 20.11.2015 р.

Упродовж 2002-2008 рр. курси банківських металів зростали. З настанням кризи у 2008 року цей процес набрав стрімких обертів, що обумовлено різким падінням курсу гривні до американського долара восени 2008, та дефляційними очікуваннями, що спричинило зростання попиту. За цей час зміни цін на золото, до прикладу, склали 208, 98 %. З рис. 1 видно, що ціна на золото в Україні за останні 12 років зросла більше, ніж у 9 разів (зростання склало 931 %).

З початку 2013 року роздрібні курси продажу банківського золота в штампованих злитках рівномірно знижувалися. У підсумку рівень падіння склав близько 100 грн за унцію, вартість золота знизилася за підсумками року вперше за останні 13 років, причому одразу на 28 %. Курс продажу золота в українських банках опустився до рівня осені 2010 року. Український мінімум ціни на золото зафіксований 21.12.2013 року (9551,635 грн за унцію). Це можна пояснити початком політико-економічної кризи в країні. Уже впродовж перших трьох місяців 2014 року ціна на золото поступово зростала, що свідчило про збільшення попиту. У зв'язку зі складною та нестабільною ситуацією у державі громадяни прагнули захистити свої заощадження та вкладали кошти в золото.

За підсумками 2014 курс золота все ж знизився, проте лише на 1,5 %. Потім було різке зростання курсу у лютому 2015 році, проте уже у травні 2015 року ціни на золото знову почали різко знижуватися. Офіційний курс золота НБУ знизився на 3,28 % за одну добу (з 20 по 21 липня), що пов'язано з падінням цін на золото на світовому ринку. Таке падіння викликане двома подіями: заявою Федеральної резервної системи США [8] про швидке підвищення облікової ставки з 0 до 0,25 % у 2015 році та публікацією Народним банком Китаю даних про резерви золота, згідно з якими в його сховищах перебуває 1658 тонн. Ця цифра виявилася вдвічі меншою, ніж вважали світові аналітики. За їхніми підрахунками, у сховищах мало міститися 3000 тонн золота.

Отже, аналіз динаміки цін золота на ринку банківських металів дає підстави висувати гіпотезу про наявність нелінійних складових у динаміці, а, відтак, і про хаотичну природу ринку. Візуальний аналіз часових рядів не дозволяє відрізнити стохастичну та нелінійну динаміку, тому доцільно застосовувати спеціальні методи, зокрема, математичні методи теорії нелінійної динаміки.

Одним із найпоширеніших методів, що дозволяє виявити фрактальні структури і нелінійні цикли у часовому ряді, тобто відрізнити випадковий ряд від не випадкового, є метод нормованого розмаху Херста або R/S аналіз. Якщо значення показника Херста відповідає персистентному часовому ряду, то можна продовжувати дослідження методами теорії нелінійної динаміки. Показник Херста застосовують як міру персистентності – наявності тренду, який відсутній при звичайному броунівському русі. Значення $H > \frac{1}{2}$ означає, що динаміка процесу в минулому, найімовірніше, призведе до продовження руху в тому ж напрямку. Якщо $H < \frac{1}{2}$, то вважають, що у майбутньому процес змінить напрям. $H = \frac{1}{2}$ означає невизначеність, тобто броунівський рух [1, с. 33-34].

Показник Херста обчислено для стаціонарного часового ряду, побудованого на основі ряду динаміки курсу золота на вітчизняному ринку за період з 02.04.2002 р. до 20.11.2015 р. за допомогою програмного продукту R. Перевірку ряду на стаціонарність реалізовано за допомогою тесту Діккі-Фуллера. Показник Херста становить 0,8917, що свідчить про те, що ряд є персистентним і трендостійким, має фрактальні властивості. Такий результат дозволяє нам застосовувати для подальших досліджень тенденцій розвитку ринку золота методи теорії нелінійної динаміки.

Головна ідея застосування методів хаотичної динаміки до аналізу часових рядів полягає в тому, що аттрактор системи може бути відновлений (реконструйований) через вимірювання тільки одного

параметру цієї динамічної системи, фіксованого як часовий ряд [2, с. 60-62].

Розмірністю вкладення (розмірністю фазового простору) m називають найменшу цілу розмірність простору, в яку атрактор цілком поміститься. Вона дорівнює кількості незалежних змінних, що однозначно визначають установлений рух динамічної системи. Таким чином, визначивши розмірність простору вкладення, отримуємо інформацію про складність системи. З цього випливає також можливість відрізнити динамічну систему зі складною поведінкою (але такою, яка характеризується скінченним m) і випадковий (стохастичний) шум, який описують (теоретично) нескінченно великою кількістю незалежних змінних.

Найважливішими характеристиками атрактора є: розмірність Хаусдорфа $D=D_0$ і ентропія Колмогорова $K=K_1$. Обчислення цих показників надзвичайно трудомістке і практично неможливе для атракторів великих розмірностей. Тому на практиці використовують їх оцінки знизу: кореляційну розмірність $D_2 \leq D_0$ і кореляційну ентропію $K_2 \leq K_1$, які можуть бути оцінені безпосередньо для дискретної послідовності точок траєкторії [1].

Для емпіричних даних зазвичай розмірність фазового простору системи невідома і наявна інформація про динаміку лише однієї точки на атракторі. Тому всі обчислення проводять для декількох розмірностей фазового простору $m = 1, 2, 3, \dots$. При цьому кореляційна розмірність атрактора $D_2(m)$ спочатку зростає, але потім зазвичай виходить на постійний рівень. Таким чином, отримують шукану кореляційну розмірність D_2 атрактора і оцінку розмірності фазового простору системи $m \leq 2D_2 + 1$. Для випадкових даних $D_2(m)$ монотонно зростає при збільшенні розмірності вкладення m . Тому кореляційну розмірність $D_2(m)$ використовують для перевірки наявності хаотичної складової [9, с. 25-26].

За результатами обчислень для ринку золота в Україні (рисунк 2), кореляційна розмірність досягає насичення при розмірності фазового простору $m = 5$, при цьому значення кореляційної розмірності $D_2 = 4,315$. Виходячи з отриманого значення кореляційної розмірності, робимо висновок, що ринок золота в Україні як динамічна система має хаотичну складову, поведінка якої детермінована.

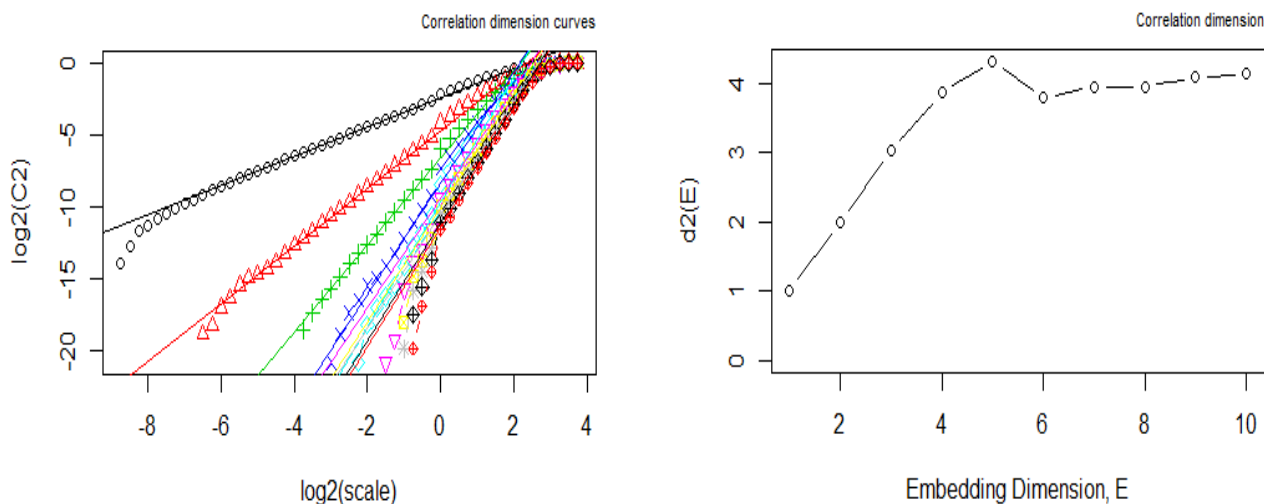


Рис. 2. Кореляційний інтеграл та залежність кореляційної розмірності від розмірності фазового простору

Числове значення ентропії є кількісною характеристикою рівня хаотичності системи. Оскільки кореляційна ентропія є оцінкою знизу ентропії Колмогорова, нас цікавитиме наближення її значення до нуля. Якщо мінімум ентропії Колмогорова K більший, ніж нуль, то ентропія також додатна, що свідчить про наявність хаотичних процесів у динаміці системи. При $K_2 \rightarrow 0$ спостерігають перехід до регулярного процесу [9, с. 202-203]. Значення кореляційної ентропії для часового ряду, побудованого на основі динаміки цін на ринку золота в Україні, $K_2 = 0,109$, тобто динаміці системи властиві хаотичні процеси.

Хаос у детермінованих системах передбачає високу чутливість до початкових умов. Це означає, що дві траєкторії, близькі одна до одної у фазовому просторі в деякий початковий момент часу, експоненціально розходяться в середньому за малий проміжок часу. Як кількісну чутливості системи до початкових умов, розглянемо максимальний показник Ляпунова (експоненту Ляпунова). Якщо для системи показник Ляпунова додатний, то будь-які дві близькі траєкторії швидко розходяться з плином часу, тобто існує чутливість до значень початкових умов. Тому визначення експоненти Ляпунова дозволяє ідентифікувати динамічну систему з точки зору хаотичної поведінки [10, с. 57-58].

Для ринку золота значення максимального показника Ляпунова є близьким до 4 (рисунк 3), що свідчить про наявність хаотичного руху, хоча це значення є дещо завищеним для систем подібного типу.

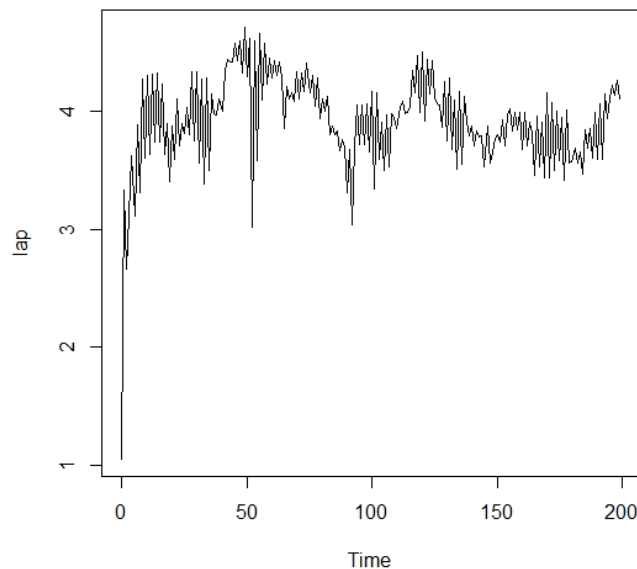


Рис. 3. Максимальний показника Ляпунова для ринку золота

Висновки та перспективи подальших розвідок

Таким чином, проаналізувавши динаміку ринку золота в Україні, зробимо такі висновки: стаціонарний часовий ряд, побудований на основі ряду динаміки курсу золота на вітчизняному ринку за період з 02.04.2002 р. по 20.11.2015 р., має фрактальні властивості, а також є персистентним і трендостійкими, про що свідчить значення показника Херста. За результатами обчислення кореляційної розмірності робимо висновок, що система має хаотичну складову, поведінка якої детермінована. Значення кореляційної ентропії також вказує на наявність у динаміці системи хаотичних процесів. Додатне значення максимального показника Ляпунова дозволяє ідентифікувати динамічну систему з точки зору наявності хаотичної поведінки. Отримані результати дозволяють нам проводити подальші дослідження, а також прогнозування ціни на ринку золота в Україні за допомогою методів нелінійної динаміки та теорії хаосу. Також доцільним є проведення аналогічних досліджень для ринків інших дорогоцінних металів, а саме срібла, платини та паладію. Це допоможе з'ясувати, чи отримані результати характерні для ринку банківських металів загалом.

Список літератури

1. Андриенко, В. М. Анализ и моделирование динамики Украинского фондового рынка [Електронний ресурс] / В. М. Андриенко, А. Ш. Тулякова // Аспект. – 2012. – С. 32-36. – Режим доступу: <http://www.asconf.com/>
2. Заїка, В. І. Застосування апарату нелінійного аналізу динамічних систем для обробки історичних даних роботи станції дефекосатурації [Текст] / В. І. Заїка, В. Д. Кишенько // Харчова промисловість. – 2010. – № 9. – С. 159-163.
3. Соловьев, Ю. Л. Энтропийные методы оценки устойчивости [Текст] / Ю. Л. Соловьев // Вестник кибернетики. – Тюмень: Изд-во ИПОС СО РАН, 2002. – Вып. 1. – С. 56-64.
4. Strogatz, S. Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering [Text] / S. Strogatz. – Westview press, 2014. – 513 p.
5. Chiarella, C. The elements of a nonlinear theory of economic dynamics [Text] / Chiarella C. –Springer. – 2012.
6. Panchenko, V. Asset Price Dynamics with Heterogeneous Beliefs and Local Network Interactions [Text] / V. Panchenko, O. Pavlov, S. Gerasymchuk // Journal of Economic Dynamics and Control. – № 37. – 2013. – P. 2623-2642.
7. Офіційний сайт Національного банку України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.bank.gov.ua>.
8. Board of Governors of the Federal Reserve System [Electronic resource]. – Retrieved from: <http://www.federalreserve.gov/newsevents/press/monetary/20150917a.htm>.
9. Захаров, В. С. Анализ корреляционной размерности временных рядов выделения сейсмической энергии [Текст] / В. С. Захаров // Сборник трудов студентов, аспирантов и преподавателей кафедры общей и прикладной геофизики Университета «Дубна». – М. : РАН, 2007. – С. 76-84.

-
10. Научная сессия МИФИ-2005 VII Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика 2005»: лекции по нейроинформатике. – М. : МИФИ, 2005. – 214 с.

References

1. Andryenko, V. M. & Tuliakova, A. Sh. (2012). Analiz y modelyrovanye dynamyky Ukraynskoho fondovoho rynku. Aspect, 32-36. Retrieved from: <http://www.asconf.com>.
2. Zaika, V. I. & Kyshenko, V. D. (2010). Zastosuvannia aparatu neliniinoho analizu dynamichnykh system dlia obrobky istorychnykh dannykh roboty stantsii defekosaturatsii. Kharchova promyslovist, 9, 159-163.
3. Solovev, Yu. L (2002). Entropyinye metody otsenky ustoichyvosty. Vestnyk kybernetyky, 1, 56-64.
4. Strogatz, S. H. (2014). Nonlinear dynamics and chaos: with applications to physics, biology, chemistry, and engineering. Westview press.
5. Chiarella, C. (2012). The elements of a nonlinear theory of economic dynamics. Springer Science & Business Media.
6. Panchenko, V., Gerasymchuk, S., & Pavlov, O. V. (2013). Asset price dynamics with heterogeneous beliefs and local network interactions. Journal of Economic Dynamics and Control, 37(12), 2623-2642.
7. Ofitsiinyi sait Natsionalnoho banku Ukrainy. (2015). Retrieved from: <http://www.bank.gov.ua>.
8. Board of Governors of the Federal Reserve System. Retrieved from: <http://www.federalreserve.gov/newsevents/press/monetary/20150917a.htm>.
9. Zaharov, V. S. (2007). Analiz korreljacionnoj razmernosti vremennyh rjadov vydelenija seismicheskoy jenerгии. Sbornik trudov studentov, aspirantov i prepodavatelej kafedry obshhej i prikladnoj geofiziki Universiteta «Dubna», 76-84.
10. Nauchnaja sessija MIFI-2005 VII Vserossijskaja nauchno-tehnicheskaja konferencija «Nejroinformatika 2005»: lekciy po nejroinformatike. (2005). Moscow : MIFI.

Стаття надійшла до редакції 28.11.2015 р.