

Соловйов В. М., Стратійчук І. О.

ВИКОРИСТАННЯ ІНДИКАТОРІВ-ПЕРЕДВІСНИКІВ КРИЗОВИХ ЯВИЩ ФІНАНСОВОГО РИНКУ НА ОСНОВІ МАСШТАБНО-ЗАЛЕЖНИХ ПОКАЗНИКІВ ЛЯПУНОВА

У статті розглянуто методику побудови індикаторів-передвісників кризових явищ на основі масштабно-залежного показника Ляпунова, представлені результати експериментальної роботи з попередження кризових явищ на фондовому, валютному та спотовому ринках. Розроблено основні підходи щодо попередження кризових явищ на фінансовому ринку.

Ключові слова: фінансовий ринок, індикатори-передвісники, масштабно-залежний показник Ляпунова, кризові явища

Рис.: 4. *Бібл.:* 19.

Соловйов Володимир Миколайович – доктор фізико-математичних наук, професор, кафедра економічної кібернетики, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького (бульв. Шевченка, 81, Черкаси, 18031, Україна)

Стратійчук Ігор Олегович – аспірант, кафедра економічної кібернетики, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького (бульв. Шевченка, 81, Черкаси, 18031, Україна)

УДК 330.46:519.86

Соловьев В. Н., Стратийчук И. О.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ-ПРЕДВЕСТНИКОВ КРИЗИСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ФИНАНСОВОГО РЫНКА НА ОСНОВЕ МАСШТАБНО-ЗАВИСИМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛЯПУНОВА

В статье рассмотрена методика построения индикаторов-предвестников кризисных явлений на основе масштабно-зависимых показателей Ляпунова, представлены результаты экспериментальной работы по предупреждению кризисных явлений на фондовом, валютном и спотовом рынках. Разработаны основные подходы по предупреждению кризисных явлений на финансовом рынке.

Ключевые слова: финансовый рынок, индикаторы-предвестники, масштабно-зависимый показатель Ляпунова, кризисные явления

Рис.: 4. *Библ.:* 19.

Соловьев Владимир Николаевич – доктор физико-математических наук, профессор, кафедра экономической кибернетики, Черкасский национальный университет им. Б. Хмельницкого (бульв. Шевченко, 81, Черкассы, 18031, Украина)

Стратийчук Игорь Олегович – аспирант, кафедра экономической кибернетики, Черкасский национальный университет им. Б. Хмельницкого (бульв. Шевченко, 81, Черкассы, 18031, Украина)

UDC 330.46:519.86

Solovyov V. N., Stratiychuk I. O.

USE OF PRECURSOR INDICATORS OF CRISIS PHENOMENA OF THE FINANCIAL MARKET ON THE BASIS OF THE SCALE-DEPENDENT LYAPUNOV EXPONENT

The article considers methods of building up precursor indicators of crisis phenomena on the basis of the scale-dependent Lyapunov exponents, provides results of experimental work on prevention of crisis phenomena in the stock, currency and spot markets. It develops main approaches on prevention of crisis phenomena in the financial market.

Key words: financial market, precursor indicator, scale-dependent Lyapunov exponent, crisis phenomena

Fig.: 4. *Bibl.:* 19.

Solovyov Vladimir Nikolaevich – Doctor of Sciences (Physics and Mathematics), Professor, Department of Economic Cybernetics, Cherkasy National University named after B. Khmelnytsky (bulv. Shevchenka, 81, Cherkasy, 18031, Ukraine)

Stratiychuk Igor O. – Postgraduate Student, Department of Economic Cybernetics, Cherkasy National University named after B. Khmelnytsky (bulv. Shevchenka, 81, Cherkasy, 18031, Ukraine)

Постановка проблеми. Сучасний стан світової фінансової системи та кризи, які мали місце протягом останніх років, ілюструють недосконалість методів побудови індикаторів-передвісників кризових явищ. Фінансові системи вже давно успішно досліджуються та моделюються. Але відсутність єдиного підходу до побудови індикаторів-передвісників кризових явищ перешкоджає своєчасному попередженню таких явищ та уповільнює процес створення єдиної системи попередження кризових явищ на фінансових ринках.

Один із сучасних методів побудови індикаторів-передвісників, що дозволяє подолати зазначені проблеми, базується на масштабно-залежних показниках Ляпунова (МЗПЛ), які є елементом теорії складних систем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значна увага в сучасній науці приділяється проблемам прогнозу-

вання та передбачення кризових явищ. Відомі фундаментальні роботи у цьому напрямку Сорнетте Д., Бокса Дж., Дженкінса Г., Борланд Л., Кругмана П. та інших [1Б5], ними розроблено фундаментальні, теоретико-методологічні засади дослідження та моделювання кризових явищ у складних системах. Серед недавніх досягнень слід звернути увагу на роботи [6–14], в яких основна увага приділяється розробці, адаптації та практичному застосуванню конкретних індикаторів-передвісників до конкретних фінансових ринків.

Незважаючи на значні здобутки сучасної наукової думки, питання передбачення фінансових криз залишається відкритим.

Постановка завдання. На основі викладеного можна сформулювати завдання дослідження, яке полягає в адаптації та перевірці можливості використання показників

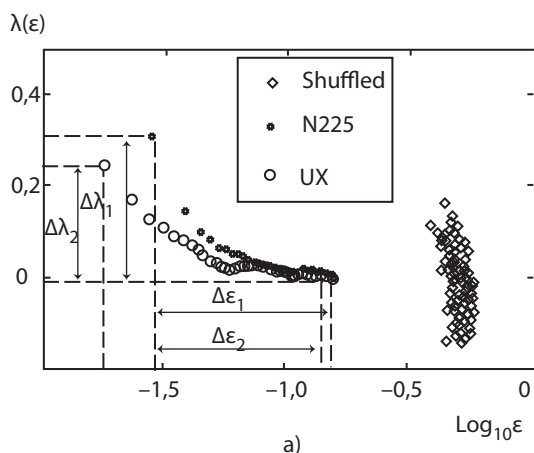
МЗПЛ у якості індикаторів-передвісників кризових явищ на фінансовому ринку.

Виклад основного матеріалу дослідження. В рамках нашого дослідження розглядаємо фінансовий ринок як сукупність економічних відносин, з приводу перерозподілу тимчасово вільних фінансових ресурсів між населенням (домогосподарствами), суб'єктами господарювання та державою через систему фінансових інститутів на основі взаємодії попиту та пропозиції. В рамках перерозподілу вільних фінансових ресурсів основними складовими є фондовий ринок, грошовий ринок та ринок похідних фінансових інструментів [15; 16].

Значна кількість елементів фінансового ринку та його учасників вказують на те, що фінансовий ринок є складною системою, якій притаманна мультимасштабність. У рамках теорії складних систем було запропоновано індикатори на базі МЗПЛ [6–8] для передбачення фінансових криз.

МЗПЛ визначається у фазовому просторі шляхом розгляду ансамблю траєкторій. Позначимо початкову відстань між двома сусідніми траєкторіями ϵ_0 , а середню відстань між проміжками часу t і $t + \Delta t$ через ϵ_t і $\epsilon_{t+\Delta t}$ відповідно. МЗПЛ $\lambda(\epsilon_t)$ визначається з рівняння $\epsilon_{t+\Delta t} = \epsilon_t \exp(\lambda(\epsilon_t)\Delta t)$. Еквівалентно маємо рівняння для ϵ_t : $d\epsilon / dt = \lambda(\epsilon_t)\epsilon_t$. Для розрахунку МЗПЛ починаємо з довільно обраного числа оболонок $\epsilon_k \leq \|V_i - V_j\| \leq \epsilon_k + \Delta\epsilon_k$, $k = 1, 2, 3, \dots$, де V_i, V_j – реконструйовані вектори, ϵ_k (радіус оболонки) і $\Delta\epsilon_k$ (ширина оболонки) є довільно вибраними малими відстанями. Далі відслідковується еволюція всіх пар точок (V_i, V_j) для даної оболонки і знаходиться середнє значення. Більш детально процедура розрахунку описана в [9].

Аналіз часових рядів різних типів дозволив нам ввести три міри складності. Дві з них стосуються інтервалів змін величин ϵ і λ , які відображають характерну динаміку часових рядів (рис.1а), а третя – інтегральна міра (рис. 1б) – розраховується за формулою: $\ln \epsilon_t = \ln \epsilon_0 + \int_0^t \lambda(\epsilon_t) dt$.



У даній роботі ми протестуємо дієвість вказаних вище мір складності $\Delta\lambda = \lambda_{\max} - \lambda_{\min}$, $\Delta\epsilon = \epsilon_{\max} - \epsilon_{\min}$, $\ln \epsilon_t = \ln \epsilon_0$ для різних сегментів фінансового ринку: фондового, валютного та спотового. Відзначимо, що максимуми введених мір є ознакою високої складності досліджуваної системи, мінімуми – низької.

Як бачимо з рис. 1, найвищі показники мір складності відповідають найбільш розвиненим системам, а найнижчі – випадковому ряду. Це свідчить про можливість використання МЗПЛ для дослідження динаміки складності фінансово-економічних систем.

Введені міри складності є так би мовити статичними характеристиками часових рядів. Але зрозуміло, що з плином часу в системі відбуваються зміни, які впливають на ступінь складності системи. Тому дослідимо ці зміни шляхом розрахунку відповідних мір у рамках процедури ковзного вікна. У цьому випадку міри складності розраховуються для підряду заданої довжини, після чого вікно зміщується («ковзає») у додатному напрямку і процедура повторюється до вичерпання значень часового ряду. Для зручності та спрощення аналізу дієвості відповідних мір складності їх зручно порівнювати з відповідною динамікою вихідного часового ряду. Віконну динаміку мір складності використаємо як індикатор-передвісник кризових явищ.

Експериментальну роботу проведемо на часових рядах фондових індексів, цінах котирування валютних пар та вартості ф'ючерсів на золото і срібло, оскільки саме вони є основними індикаторами стану фінансових підсистем. Були досліджені часові ряди різної довжини. Для дослідження були взяті щоденні дані за період з 01.01.2004 по 04.01.2013рр., ширина вікна – 500 точок, крок – 5.

На рис. 2 наведено динаміку індикаторів та вихідного ряду для валютних пар EUR\USD (євро\долар США) та CHF\JPY (швейцарський франк\японська єна).

З рис. 2а видно, що різке падіння індикатора $\Delta\epsilon$ сигналізує падіння курсу франка, а перетин ним реального часового ряду підтвердив настання кризи. У випадку рис. 2б $\ln(\epsilon_t)$

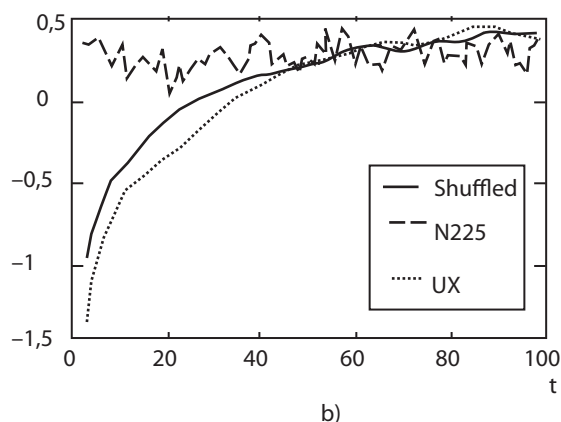


Рис. 1. (а) Схематичне зображення мір складності $\Delta\lambda$ та $\Delta\epsilon$ для Shuffled (перемішаний ряд), N225 (фондовий індекс Японії) та UX (фондовий індекс України), (б) Інтегральний показник складності для Shuffled, N225 та UX.

Джерело: розраховано авторами за даними [18–19]

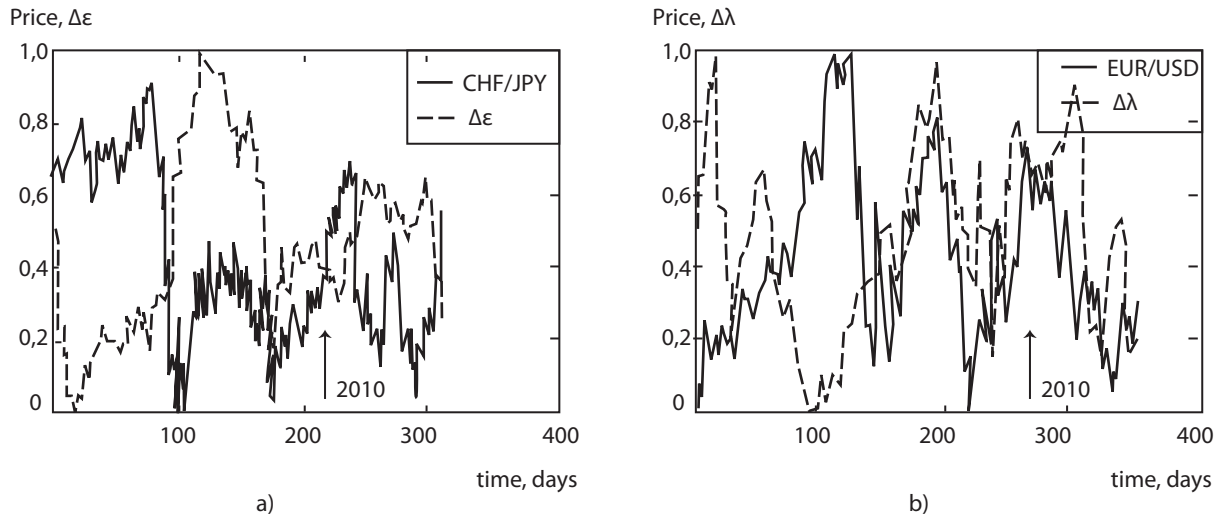


Рис. 2. Віконна динаміка індикаторів-передвісників на основі МЗПЛ для валютних пар CHF/JPY (a) та EUR/USD (b). Стрілками вказані періоди часу, де індикатори сигналізують можливість різкого падіння курсу європейських валют, що відповідає другій хвилі європейської боргової кризи.

Джерело: розраховано авторами за даними [18]

про можливість кризи попереджує $\Delta\lambda$, різке падіння та перетин часового ряду яким є чітко помітним. Така поведінка індикаторів-передвісників на основі МЗПЛ пояснюється спрощенням системи під час кризи та в післякризовий період і ускладненням в період стабільного зростання.

Використання індикаторів-передвісників кризових явищ на валютному ринку заважає висока волатильність останнього, незважаючи на очевидні труднощі обидва показника ($\Delta\lambda$ та $\Delta\epsilon$) дають позитивні результати та сигналізують про можливість настання кризи. Таким чином, перетин часового ряду індикатором може виступати сигналом до зміни існуючого тренду, а різке падіння значень індикатора-передвісника – до настання кризи. У випадку, коли після різ-

кого падіння індикатор перетинає часовий ряд, можна говорити про підтвердження сигналу про настання кризи.

Цікавою є цінова динаміка похідних фінансових інструментів на спотовому ринку, оскільки вона відрізняється від валютної нижчою волатильністю та існуванням довготривалих трендів. Розглянемо результати використання вищезазначених індикаторів для ф'ючерсних контрактів на золото та срібло (рис. 3).

Як бачимо з рис. 3а, срібло має чітко виражений тренд, що ускладнює можливість індикаторів уловлювати зміни, але $\Delta\epsilon$ сигналізує про різкий спад у 2009 році (відмічено стрілкою). У даному випадку сигнал на зміну тренду – перетин індикатором реального часового ряду.

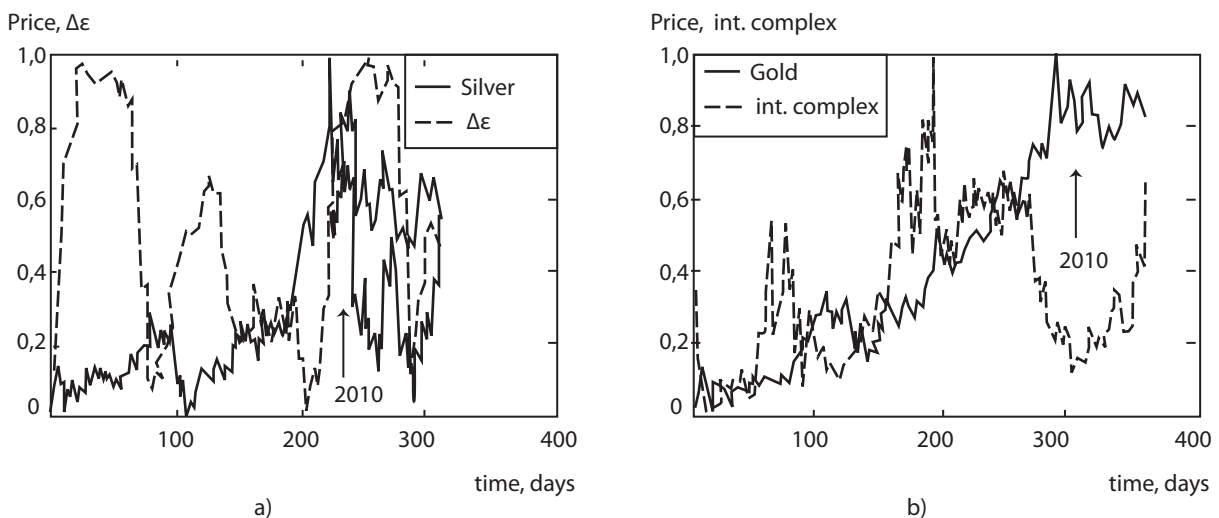


Рис. 3. Віконна динаміка індикаторів-передвісників на основі МЗПЛ для ф'ючерсних контрактів на срібло (a) та золото (b). Стрілками вказані періоди часу, де індикатори сигналізують можливість різкої зміни тренду.

Джерело: розраховано авторами за даними [18]

Ринок золота здавна виступає одним із інвестиційно найпривабливіших, оскільки має чітко виражений зростаючий тренд. Рис. 3b ілюструє складність використання індикаторів-передвісників на основі МЗПЛ, виходом у даному випадку може бути збільшення ширини вікна, але така процедура викликає ризик отримання сигналів із запізненням.

Отже, ринки із чітко вираженими довготривалими трендами, погано прогнозуються, у випадку зі сріблом вдалось передбачити настання кризи за допомогою індикатора-передвісника $\Delta\epsilon$.

На рис. 4 подані результати використання індикаторів на основі МЗПЛ для фондових ринків. Для прикладу обрані індекси фондових ринків України (UX) та США (SP500).

З рис. 4a видно, що $\Delta\epsilon$ перетинає часовий ряд чітко перед початком кризи 2008-го року, чим сигналізує можливість зміни тренду, після перетину йде різке падіння індикаторів-передвісників, яке і виступає остаточним сигналом наявної кризи. Аналогічна ситуація з другою хвилею кризи, зазначені індикатори завчасно попереджують її настання.

На рис. 4b яскраво помітний сигнал початку другої хвилі кризи, який дає індикатор-передвісник $\Delta\lambda$, у випадку з першою хвилею чітких сигналів нема, оскільки довжина ряду є обмеженою початком у 2004 році. При збільшенні

передісторії індикатори сигналізують про настання кризи.

Як бачимо, серед індикаторів-передвісників кризових явищ на основі МЗПЛ, $\Delta\lambda$ та $\Delta\epsilon$ дають високу точність при попередженні кризових явищ на фондових ринках країн, що розвиваються та розвинених країн.

Висновки з проведеного дослідження. В рамках дослідження фінансової системи крізь призму теорії складних систем були використані нові передвісники кризових явищ на основі МЗПЛ. Наведено теоретичні засади їх розрахунку та область використання. Проілюстровано результати застосування індикаторів-передвісників кризових явищ на валютному, спотовому та фондовому ринках. Експериментально доведено дієвість індикаторів-передвісників на основі МЗПЛ.

Для високоволатильних систем найкращі результати дає індикатор $\Delta\lambda$, для систем з чітко визначеними трендами – $\Delta\epsilon$, у випадку існування декількох трендів та помірної волатильності хороші результати дають обидва індикатора-передвісника.

Один з показників МЗПЛ, а саме *Int.Compl*, не дав бажаних результатів, тому подальші дослідження полягатимуть в доопрацюванні та адаптації вищезазначеного індикатора. Цікавим також є питання мультимасштабної модифікації введених індикаторів.

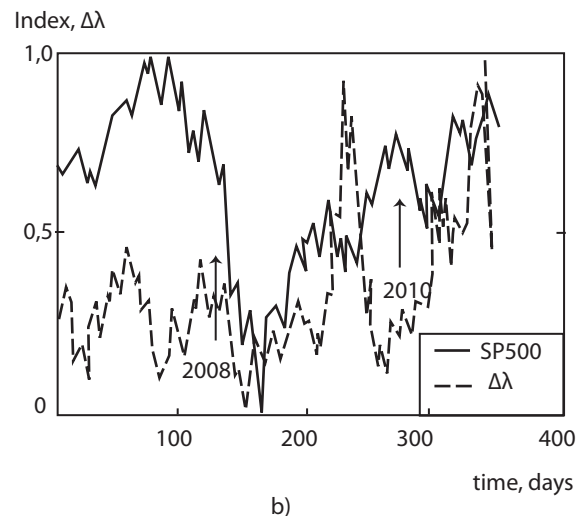
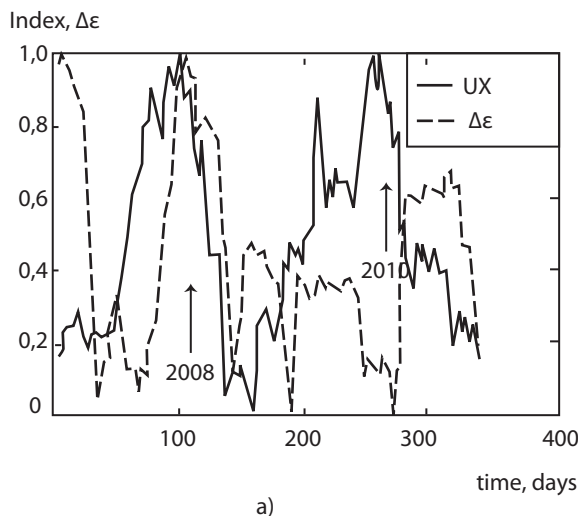


Рис. 4. Віконна динаміка індикаторів-передвісників на основі МЗПЛ для фондових індексів України (а) та США (б). Стрілками вказані періоди часу, які відповідають початку першої та другої хвиль світової фінансово-економічної кризи

Джерело: розраховано авторами за даними [18–19]

ЛІТЕРАТУРА

1. Сорнетте Д. Как предсказывать крахи финансовых рынков : критические события в комплексных финансовых системах / Д. Сорнетте. – М. : Интернет-трейдинг, 2003. – 400 с.
2. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. / Бокс Дж., Дженкинс Г. – М. : Мир, вып. 1, вып.2, 1974. – 604 с.
3. Borland L. Long-range memory and nonextensivity in financial markets / L. Borland // *Econophysics news*. – 2005. – V. 36. – № 6. – P. 228–231.

REFERENCES

- Boks, Dzh., and Dzhenkins, G. *Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravlenie*. [Time-series analysis. Prognosis and management]. Moscow: Mir, 1974.
- Borland, L. «Long-range memory and nonextensivity in financial markets» *Econophysics news* vol. 36, no. 6 (2005): 228-231.
- Derbentsev, V. D., Soloviov, V. M., and V Serdiuk, O. «Peredvisnyky krytychnykh iavyslyshch u skladnykh ekonomichnykh systemakh»

4. Paul Krugman. The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008 / Paul Krugman. – NY : W. W. Norton & Company, 2008. – 224 p.
5. Sachs J. Financial crises in emerging markets: The lesson from 1995 / Sachs J., Tornell A., Velasco A. // *Brooking Papers on Economic Activity*. – 1995. – V. 1. – P. 147–198.
6. Gao J. B. Multiscale analysis of economic time series by scale-dependent Lyapunov exponent / J. B. Gao, J. Hu, W. W. Tung, Y. Zheng // *Quantitative Finance*. – 2011. – P. 1–10.
7. Gao J. B. Distinguishing chaos from noise by scale-dependent Lyapunov exponent / J. B. Gao, J. Hu, W. W. Tung, Y. H. Cao // *Phys. Rev. E* – 2006. – V. 74. – 9 p.
8. Gao J. B. Multiscale analysis of biological data by scale-dependent Lyapunov exponent / J. B. Gao, J. Hu, W. W. Tung, E. Blasch // *Frontiers in Physiology*. – 2012. – V. 2. – P. 1–12.
9. Соловійов В. М. Використання масштабно-залежних показників Ляпунова для дослідження складності фінансово-економічних систем / В. М. Соловійов, І. О. Стратійчук // *Науково-теоретичний журнал Хмельницького економічного університету: «Наука й економіка»*. – Хмельницький : ХНЕУ, 2012. – Т. 2, № 4 (28). – С. 88–94.
10. Сердюк О. А. Моделювання передвісників кризових явищ фінансових ринків / Сердюк О. А. // *Проблеми і перспективи розвитку банківської системи України : Збірник наукових праць*. – Суми : УАБС НБУ, 2006. – Т. 18. – С. 315–321.
11. Сердюк О. А. Передвісники критичних та кризових явищ в складних фінансово-економічних системах / Сердюк О. А., Соловійов В. М., Кононенко В. В. // *Зб. наук. праць «Економіка: проблеми теорії і практики»*. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2004. – Т. 5. – С. 1304–1310.
12. V. Soloviev. Financial time series prediction with the technology of complex Markov chains / V. Soloviev, V. Sapsin, D. Chabanenko // *TTI Journal «Computer Modelling and New Technologies»*. – 2010. – V. 14. – № 3. – P. 63–67.
13. Дербенцев В. Д. Передвісники критичних явищ у складних економічних системах / В. Д. Дербенцев, В. М. Соловійов, О. В. Сердюк. // *Новое в экономической кибернетике : сб. науч. ст.; под общ. ред. Ю. Г. Лысенко; Донецкий нац. ун-т // Моделирование нелинейной динамики экономических систем*. – Донецк : ДонНУ, 2005. – № 1. – С. 5–13.
14. Мезенцев О. М. Моделювання індикаторів-передвісників кризових явищ на валютному ринку / О. М. Мезенцев // *Економіка : проблеми теорії та практики : зб. наук. праць*. – Дніпропетровськ : ДНУ, 2009. – Т. 1., Вип. 252. – С. 22–33.
15. Василик О. Д. Теорія фінансів: підручник / Василик О. Д. – К. : НІОС, 2003. – 416 с.
16. Школьник І. О. Фінансовий ринок України: сучасний стан і стратегія розвитку : монографія. – Суми : ВВП «Мрія-1» ЛТД, УАБС НБУ, 2008. – 348 с.
17. Історичні значення валютних курсів ринку Форекс [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://www.oanda.com/convert/fxhistory>
18. Джерело статистики світових фінансових інструментів [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://finance.yahoo.com>
19. Офіційний сайт Української біржі [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.ux.ua>
- [Forerunners of critical phenomena in complex economic systems]. *Novoe v ekonomicheskoi kybernetyke*, no. 1 (2005): 5–13.
- «Dzherelo statystyky svitovykh finansovykh instrumentiv» [Source of statistics in global financial instruments]. <http://finance.yahoo.com>.
- Gao, J. B., Hu, J., and Tung, W. W. «Multiscale analysis of economic time series by scale-dependent Lyapunov exponent» *Quantitative Finance* (2011): 1–10.
- Gao, J. B., Hu, J., and ung, W. W. «Distinguishing chaos from noise by scale-dependent Lyapunov exponent» *Phys. Rev. E* vol. 74 (2006): 9.
- Gao, J. B., Hu, J., and Tung, W. W. «Multiscale analysis of biological data by scale-dependent Lyapunov exponent» *Frontiers in Physiology* vol. 2 (2012): 1–12.
- «Istorychni znachennia valiutnykh kursiv rynku Foreks» [Historical values of currency market Forex.]. <http://www.oanda.com/convert/fxhistory>.
- Krugman, P. *The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008* NY: W. W. Norton & Company, 2008.
- Mezentsev, O. M. «Modeliuvannia indyikatoriv-peredvisnykiv kryzovykh iavyschch na valiutnomu rynku» [Simulation indicators, precursors of the crisis in the foreign exchange market]. *Ekonomika : problemy teorii ta praktyky* vol. 1, no. 252 (2009): 22–33.
- Ofitsiyni sait Ukrainskoi birzhi. <http://www.ux.ua>.
- Soloviev, V., Sapsin, V., and Chabanenko, D. «Financial time series prediction with the technology of complex Markov chains» *Computer Modelling and New Technologies* vol. 14, no. 3 (2010): 63–67.
- Sornette, D. *Kak predskazyvat krakhi finansovykh rynkov : kriticheskie sobytiia v kompleksnykh finansovykh sistemakh* [How to predict the collapse of the financial markets: the critical events in complex financial systems]. Moscow: Internet-treyding, 2003.
- Serdiuk, O. A. «Modeliuvannia peredvisnykiv kryzovykh iavyschch finansovykh rynkiv» [Simulation precursors of the crisis of the financial markets]. *Problemy i perspektivy rozvytku bankivskoi systemy Ukrainy* vol. 18 (2006): 315–321.
- Shkolnyk, I. O. *Finansovy rynek Ukrainy: suchasnyi stan i stratehiia rozvytku* [Financial market Ukraine: current state and development strategy]. Sumy: VVP «Mriia-1» LTD; UABS NBU, 2008.
- Sachs, J., Tornell, A., and Velasco, A. «Financial crises in emerging markets: The lesson from 1995» *Brooking Papers on Economic Activity* vol. 1 (1995): 147–198.
- Soloviev, V. M., and Stratiichuk, I. O. «Vykorystannia mashtabno-zaleznykh pokaznykiv Liapunova dlia doslidzhennia skladnosti finansovo-ekonomichnykh system» [Using scale-dependent Lyapunov exponents for the study of complexity of financial and economic systems.]. *Nauka i ekonomika* vol. 2, no. 4(28) (2012): 88–94.
- Serdiuk, O. A., Soloviev, V. M., and Kononenko, V. V. «Peredvisnyky krytychnykh ta kryzovykh iavyschch v skladnykh finansovo-ekonomichnykh sistemakh» [Forerunners critical and complex crisis in the financial and economic systems]. *Ekonomika: problemy teorii i praktyky* vol. 5 (2004): 1304–1310.
- Vasylyk, O. D. *Teoriia finansiv* [Theory of Finance]. Kyiv: NIOS, 2003.