

## Моделювання критичних явищ на світовому валютному ринку в умовах глобальної кризи

**Вікторія Володимирівна Соловійова,**  
кандидат економічних наук,  
доцент кафедри економіки підприємства  
Криворізького економічного інституту  
Державного вищого навчального закладу  
«Київський національний економічний  
університет імені Вадима Гетьмана»,

**Володимир Миколайович Соловійов,**  
доктор фізико-математичних наук, професор,  
завідувач кафедри економічної кібернетики  
Черкаського національного університету  
ім. Богдана Хмельницького

**Микола Петрович Овчарук,**  
кандидат економічних наук, доцент,  
декан обліково-економічного факультету  
Черкаського інституту банківської справи  
Університету банківської справи  
Національного банку України

**Анотація.** Розглянуто особливості перебігу валютної кризи на тлі глобальної фінансової. Стверджується, що нездатність класичних передвісників кризових явищ передбачає створення нових, які повинні, на відміну від існуючих, урахувати внутрішні характеристики складної соціально-економічної системи. Як подібні передвісники пропонуються такі, які засновані на результатах вейвлет, рекурентного і ентропійного аналізу.

**Ключові слова:** глобальна фінансова криза, валютний ринок, критичні явища, індикатори-передвісники кризових явищ, волатильність, вейвлети, ентропія, рекурентна карта.

**Вступ.** Потрібно буде ще багато часу, щоб з достатньою глибиною осмислити те, що відбувається сьогодні на світовому валютному і (загалом) фінансовому ринку. Аналогії з кризою 1997–1998 років дедалі очевидніше видаються недостатньо коректними. Відповідно, не можна говорити і про адекватність принципів антикризової політики [1].

Криза 1997–1998 років за своїми характеристиками цілком вписувалася в систему ґрунтовно досліджених у науковій літературі циклічних грошових криз, які пов'язані з пульсацією нагромадження капіталу. Істотним в її характеристиці було й те, що вона сформувалася не в епіцентрі світової фінансової системи, а на периферії (у Південно-Східній Азії) і лише опосередковано позначилася на економіці західних країн.

Поточна криза проявилася в інший спосіб. Уже зараз ми маємо достатньо підстав розглядати її як структурну грошову кризу. Такі кризи різняться від циклічних насамперед своєю періодичністю – вони формуються на основі не середньострокових (раз на сім – дев'ять років), а довгострокових циклів. Та головним є інше – структурні кризи у своїй основі відбивають іманентні протиріччя грошової системи. Їхні причини – не зовнішні, а внутрішні (ендогенні) шоки системи грошових відносин [2].

Задля мінімізації наслідків дії криз активізувалися дослідження, присвячені виявленню показників, які можуть завчасно вказати на вразливість економіки перед фінансовими кризами. У таких роботах дослідники намагалися відібрати з множини економічних індикаторів ті, які мають найбільшу прогностичну силу – дозволяють із найбільшою вірогідністю заздалегідь виявити можливе настання фінансової нестабільності.

Зазначимо, що визначення епізодів, які можна назвати фінансовою нестабільністю або кризою, є саме по собі непростим завданням. Зокрема, цілком логічно вважати за фінансову нестабільність банкрутство кількох фінансових інститутів. Проте за деяких обставин це може бути складовою звичайної ринкової взаємодії, за якої перестають функціонувати збиткові фірми, які не змогли організувати ефективну діяльність. За інших обставин банкрутство одного фінансового інституту може стати спусковим гачком фінансової кризи. Тому під фінансовою нестабільністю або кризою розуміють такі проблеми у фінансовій системі країни (або їх сукупність), які мають значний негативний вплив на економічну активність [3].

Упродовж багатьох років усі епізоди серйозної фінансової нестабільності укладалися в три основні типи: банківські кризи, валютні кризи і кризи на

фінансових ринках (у тому числі кризи державних фінансів). Банківська криза зазвичай пов'язується з нездатністю низки банків виконувати свої зобов'язання або з активним державним втручанням, спрямованим на запобігання проблемам, які при цьому виникають.

Під валютною кризою розуміється така ситуація, за якої спекулятивна атака на валюту призводить до різкої девальвації національної валюти або за якої органи державної влади запобігають девальвації шляхом продажу золотовалютних резервів, значного підвищення процентних ставок.

Нарешті, криза на фінансовому ринку полягає у збільшенні волатильності цін на фінансові активи або їх падінні, пов'язаному зі зміною очікувань інвесторів. Інколи такі типи криз можуть відбуватися одночасно, що лише підсилює їхній негативний вплив на економіку країни.

Таким чином, фінансова нестабільність того або іншого типу за визначенням є небезпечною і небажаною для успішного економічного розвитку, і розробка методології щодо завчасного її виявлення є дуже важливою й актуальною проблемою.

**Постановка завдання.** На даний час дослідження з питань формування передвісників фінансової нестабільності можна розподілити на три групи залежно від методології, яка застосовувалася авторами для вибору найефективніших індикаторів – передвісників фінансової кризи [3].

**Якісний аналіз.** Цей підхід передбачає графічне зіставлення динаміки фундаментальних економічних показників у період перед фінансовою кризою і в спокійному стані [4]. У той же час за такого підходу можливий розрахунок деяких статистичних індикаторів, що характеризують динаміку часових рядів індикаторів – передвісників фінансової нестабільності [5].

**Економетричне моделювання.** За такого підходу будуються регресійні моделі, що дозволяють оцінити взаємозв'язок показників із імовірністю фінансової кризи [3]. Найчастіше автори застосовували *logit*- або *probit*-аналіз, у ході якого будується регресійна модель, що відображає залежність імовірності фінансової кризи від низки економічних індикаторів [6]. Оцінена модель використовується для прогнозування ймовірності фінансової кризи в майбутньому.

**Непараметричні оцінки.** За такого підходу розробляються різні числові характеристики, що дозволяють завчасно виявляти уразливість економіки перед фінансовою кризою. У рамках вказаного підходу можна виділити два основні напрями: побудова граничних значень індикаторів – передвісників фінансової кризи на основі різних критеріїв [7], а також розробку звідних індексів фінансової стабільності [8]. Зазначимо, що автори деяких робіт у своїх дослідженнях поєднували кілька підходів [9].

Розглянуті вище результати стосувалися валютних криз, які, по-перше, були локалізовані в часі (стрімкі зміни валютного курсу відбувалися протягом кількох днів), і, по-друге, у просторі (відбувалися в окремо обраній країні або групі країн). Тепер (протягом 2008–2009 років) ми маємо справу з низкою специфічних валютних критичних явищ, які відбу-

ваються на світовому валютному ринку. Більш того, ці процеси синхронізовані з глобальною фінансово-економічною кризою, спусковим гачком якої стала іпотечна криза у США [1; 2].

Більш того, існуючі індикатори-передвісники виявилися неспроможними щодо попередження кризових явищ на фінансовому ринку. Аналіз причин їхньої низької ефективності є окремою роботою. Завдання ж нашого дослідження полягає в тому, щоб показати, що до інструментарію сучасного кількісного аналізу складних систем входять прогностичні методи, які враховують генетичні властивості досліджуваних систем. Саме це дає надію адекватно описати внутрішню динаміку і можливі варіанти зовнішнього прояву таких систем. Деякі з таких методів коротко описано нижче разом з одержаними результатами.

За статистичну базу дослідження обрано деякі з головних валютних пар, які представлені на світовому ринку *Forex* протягом останніх трьох років: з 2006 до 2008 рр. включно (рис. 1) [10]. Розрахунки проводилися за допомогою спеціального програмного забезпечення, розробленого в середовищі *MatLab*.

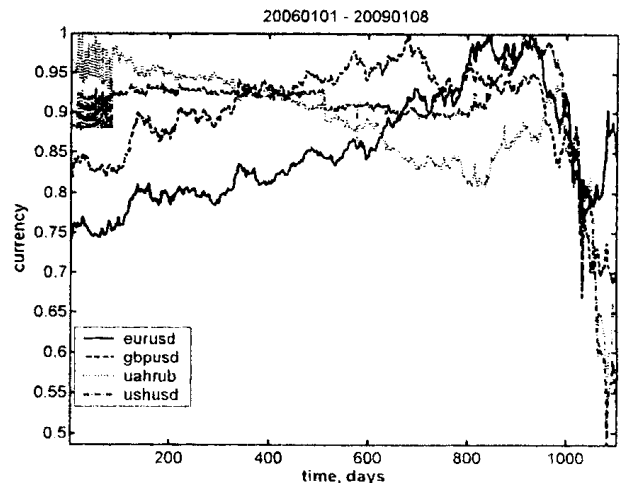


Рис. 1. Динаміка деяких валютних курсів, критичні зміни яких припадають на кінець 2008 року: eurUSD – євро-дол. США; gbpUSD – британський фунт – дол. США; uahrub – українська гривня – російський рубль; uahUSD – українська гривня – дол. США.

Для зіставлення дані відображено у відносному масштабі

З рис. 1 видно, що помітним є спад усіх валютних пар наприкінці часового ряду. Якщо порівняти цей спад з аналогічним для валютних криз 90-х років ХХ ст., можна помітити, що він є не таким локалізованим у часі, але абсолютні значення кризових змін є зіставними.

**Результати дослідження.** На жаль, можливості аналізу нестационарних валютних часових рядів таких, як представлені на рис. 1, дуже обмежені. Тому вихідні ряди приводять до стаціонарного виду, а потім використовують прогностичні методи аналізу.

Для кількісного аналізу часових рядів спочатку обчислимо так звані прибутковості крос-курсу  $i = 1, \dots, N$  за час  $\Delta t$ ,

$$G_i(t) = \ln S_i(t + \Delta t) - \ln S_i(t), \quad (1)$$

де  $S_i(t)$  позначає значення крос-курсу  $i$ .

Оскільки різні крос-курси мають різні рівні змінюваності (стандартні відхилення), визначатимемо нормалізовану прибутковість

$$g_i(t) \equiv \frac{G_i(t) - \langle G_i \rangle}{\sigma_i}, \quad (2)$$

де  $\sigma_i \equiv \sqrt{\langle G_i^2 \rangle - \langle G_i \rangle^2}$  – стандартне відхилення  $G_i$ , а  $\langle \dots \rangle$  позначає середнє значення за період часу, що досліджується.

Якщо поглянути на нормалізовані прибутковості (рис. 2), ми помітимо зростання критичних флуктуацій, які перевищують  $\pm 3\sigma$ .

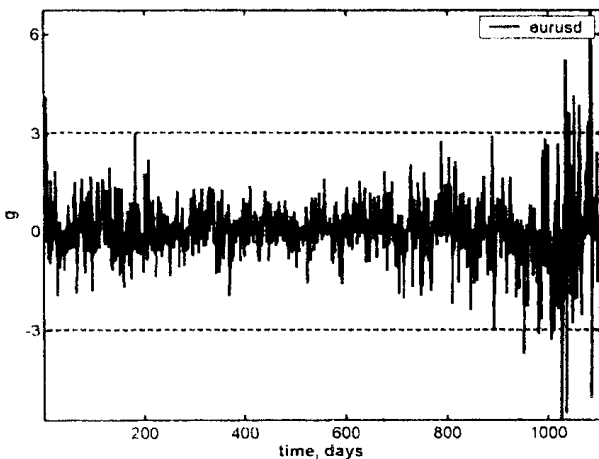


Рис. 2. Зростання критичних флуктуацій нормалізованих прибутковостей  $g$ , характерних для кризових явищ

Основні висновки, які випливають з рис. 2:

- ряд прибутковостей є стаціонарним;
- в околі кризової точки (приблизно 950–1000) прибутковості стрімко зростають і помітно перевищують значення, характерне для послідовності випадкових чисел, а саме  $\pm 3\sigma$ ;
- безпосередньо перед і після кризи флуктуації прибутковостей найбільш помітні.

Відомо, що у кризовий період ринок стає більш волатильним. При цьому волатильність є мірою схильності часової послідовності до флуктуацій, тобто в нашому випадку відхилень валютного курсу від попередніх значень. Ми будемо оцінювати волатильність як локальне середнє модуля зміни ціни на відповідному часовому інтервалі  $T$ , що є рухомих параметром нашої оцінки. Модуль  $G(t)$  описує амплітуду флуктуацій. У порівнянні із значеннями  $G(t)$  їх модуль не показує глобальних трендів, але великі значення  $|G(t)|$  відповідають кризам і критичним змінам на ринках.

Визначимо волатильність як середнє від  $|G(t)|$  для часових вікон  $T = n \cdot \Delta t$ , тобто

$$V_T(t) = \frac{1}{n} \sum_{t'=t}^{t+n-1} |G(t')|, \quad (3)$$

де  $n$  є цілим числом. Таке визначення може бути ще узагальнене заміною  $|G(t)|$  на  $|G(t)|^\gamma$ , де  $\gamma > 1$  дає більш виражені великі значення  $|G(t)|$ , у той час

як  $0 < \gamma < 1$  виділяє малі значення  $|G(t)|$ . У цьому визначенні волатильності використовується два параметри –  $\Delta t$  та  $n$ . Параметр  $\Delta t$  є шаблонним (чи модельним) часовим інтервалом для даних, а параметр  $n$  є кроком переміщення часового вікна.

При порівнянні між собою кількох активів, які помітно відрізняються за величиною, часто використовують нормалізовану волатильність, що визначається для кожного активу таким чином:

$$v_T^i = v_T^i(t) = \frac{V_T^i}{\sqrt{\langle (V_T^i)^2 \rangle - \langle V_T^i \rangle^2}}, \quad (4)$$

де  $\langle \dots \rangle$  означає середній час, отриманий для вікон, що не перекриваються, для різних часових масштабів  $T$ .

На рис. 3 наведено у приведеному масштабі величини нормалізованих волатильностей і прибутковостей. Логічно, що в передкризовий період разом із прибутковостями зростають і волатильності.

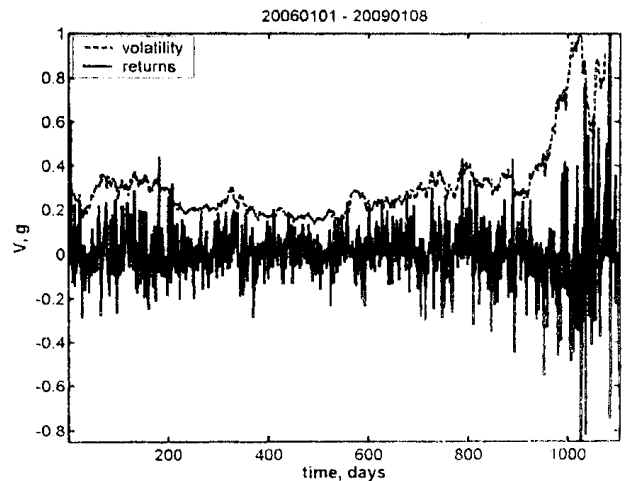


Рис. 3. Зростання нормалізованих прибутковостей  $g$  і волатильності  $V$  крос-курсу євро – долар при наближенні до кризи

Отже, передвісниками – індикаторами наближення валютної кризи можуть слугувати підвищені значення нормалізованих прибутковостей і волатильностей.

Наступний індикатор вдається сконструювати, використовуючи вейвлет-аналіз [11; 12]. Необхідність дослідження часових рядів із різними частотними характеристиками привела до розвитку методів, що базуються на частотно-часовому аналізі. Вейвлетне часово-частотне представлення ряду не робить жодних припущень стосовно його стаціонарності і дозволяє визначати динамічні зміни разом з їх локалізацією. При проведенні вейвлет-аналізу поданий часовий ряд (сигнал) розкладається на сигнали з кінцевою енергією в ортонормованому базисі  $L^2(\mathbb{R})$  шляхом відображення та масштабування наперед заданої функції  $\psi$  із заданими властивостями, що називається материнським вейвлетом [11]. Унаслідок декомпозиції сигналу отримується набір вейвлет-коефіцієнтів (здебільшого, комплексних),  $C_j(t)$ , що

характеризуються двома параметрами: масштабом материнського вейвлета  $j$  та його локалізацією  $t$  [12].

Оскільки енергія сигналу визначається як квадрат функції, що його описує  $E = \int s^2 ds$ , застосування поняття енергії до коефіцієнтів вейвлет перетворення, що теж інтерпретуються як сигнал у просторі  $L^2(R)$ , дає змогу використовувати методи розрахунку ентропії в частотно-часовому просторі [13].

На основі енергії вейвлет-коефіцієнтів нами було визначено два показники вейвлет ентропії – масштабової та точкової ентропії. У випадку розрахунку масштабової вейвлет ентропії формула Шеннона застосовується до оброблених даних за масштабами, в іншому випадку обробка даних проводиться за часовою шкалою [13].

При розрахунку масштабової ентропії спочатку визначається розподіл щільності ймовірності енергій

$$P_{ij} = \frac{C_{ij}^2}{E_{tot}}$$

де  $C_{ij}$  – вейвлет-коефіцієнт на масштабі  $i$  в момент часу  $j$ ;

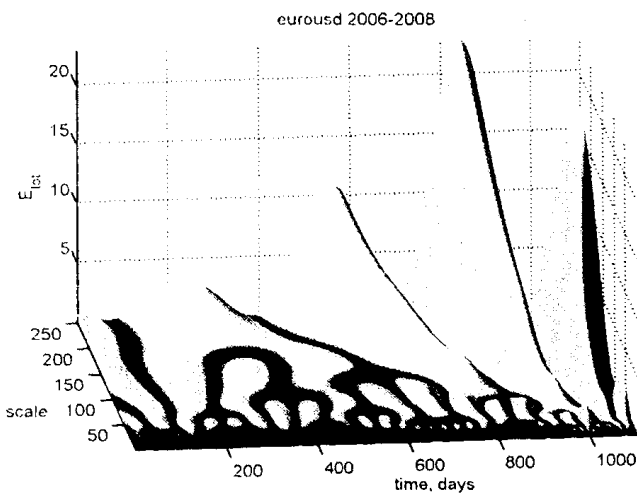
$$E_{tot} = \sum_i \sum_j C_{ij}^2$$

Для розрахунку ентропії знаходимо значення функції

$$E_{WT} = -\sum_i \left( \left( \sum_j P_{ij} \right) \cdot \log_2 \sum_j P_{ij} \right)$$

Поведінку вейвлет ентропії при моделюванні криз різної природи розглянуто нами в [13]. На можливість передбачити критичні явища вказує і поведінка енергетичних поверхонь, отриманих при вейвлет-перетворенні вихідного ряду у процесі розрахунку вейвлет-ентропії.

На *рис. 4* така поверхня представлена для курсу євро – дол. США.



*Рис. 4.* Енергетична поверхня для коефіцієнтів вейвлет-перетворення часового ряду євро – дол. США

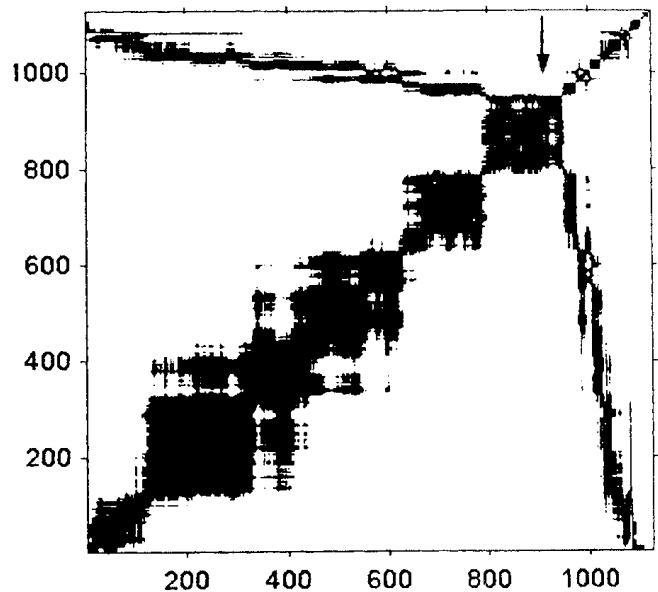
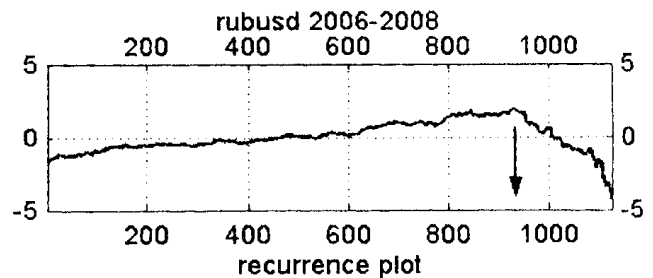
Відмітимо, що для всіх розглянутих курсів картина, зображена на *рис. 4*, має універсальний характер. А саме: точки кризи відповідає третій, по-

чинаючи зліва, максимум. Передують кризі ще два максимуми. Четвертий максимум за величиною вже менший від попереднього (третього) і він символізує спад флуктуацій, або післякризове затухання. Тобто до кризи ми маємо так звану комбінацію із трьох наростаючих хвиль, яка і слугує індикатором – передвісником кризового явища.

Нарешті, дослідимо прогностичність відносно нової модифікації методів нелінійної динаміки, які засновані на моделюванні рекурентних властивостей часових рядів, що містять кризу.

Рекурентність (повторюваність) станів у значенні проходження подальшої траєкторії достатньо близько до попередньої є фундаментальною властивістю дисипативних динамічних систем.

Суть цієї фундаментальної властивості в тому, що, попри те, що навіть найменше збурення у складній динамічній системі може привести систему до експоненціального відхилення від її стану, через деякий час система прагне повернутися до стану, деяким чином близького до попереднього, і проходить при цьому подібні етапи еволюції. Формально (див., наприклад [14]) метод зводиться до способу відображення  $m$ -вимірної фазової траєкторії станів системи  $\vec{x}(t)$  завдовжки  $N$  на двовимірну квадратну двійкову матрицю розміром  $N \times N$ , у якій чорна точка відповідає повторенню стану за деякого часу  $i$  в деякий інший час  $j$ , а обидві координатні осі є осями часу (*рис. 5*).



*Рис. 5.* Рекурентна діаграма (нижня частина рисунку) кризи російського рубля щодо американського долара (точка кризи відмічена стрілкою)

Таке представлення було назване рекурентною діаграмою (*recurrence plot*), оскільки воно фіксує інформацію про рекурентну поведінку системи. Зовнішній вигляд рекурентної діаграми дозволяє судити про характер процесів, які проходять у системі, наявності і впливі шуму, станів повторення і завмирання (ламінарності), здійснені в ході еволюції системи різних змін стану (екстремальних подій).

На рекурентній діаграмі нестационарні часові ряди відображаються у вигляді дрібномасштабних структур – текстур, яка складається з простих точок, діагональних, горизонтальних і вертикальних ліній. Комбінації вертикальних і горизонтальних ліній формують прямокутні кластери точок (див. *рис. 5*). Саме ці комбінації використовуються для обчислення мір кількісного аналізу рекурентних діаграм (*recurrence quantification analysis*). Він зводиться до обчислення ряду мір на основі підрахунку густини рекурентних точок і побудови частотного розподілу для згаданих вище дрібномасштабних структур, зокрема, довжин діагональних ліній, густини вертикальних і горизонтальних структур та інших [14; 15]. Обчислення цих мір у підматрицях рекурентної діаграми показує поведінку цих мір у часі. Дослідження цих мір показали, що їх застосування може сприяти виявленню кризової динаміки [15].

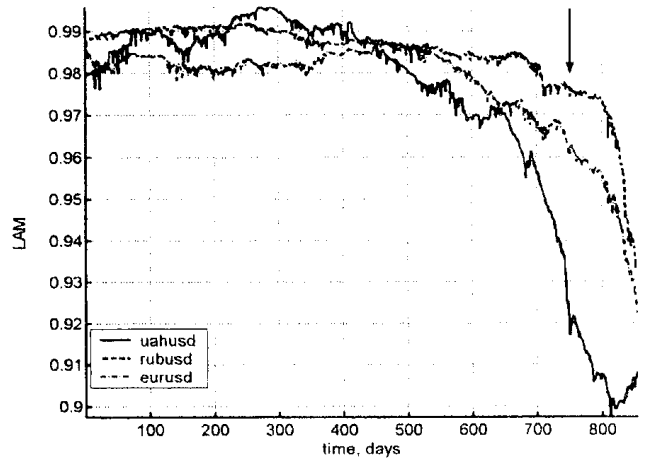
*Рис. 5* демонструє, який вигляд має рекурентна діаграма для кризового валютного ряду. Видно, що розподіл дрібномасштабних структур діаграми в міру наближення до точки кризи.

За кількісну міру рекурентного аналізу ми обрали так звану ламінарність, яка характеризує зміну однорідного (ламінарного) стану. У докризовий період міра ламінарності (LAM) практично не змінюється (*рис. 6*). При розрахунках використовувалось вікно шириною 250 днів, а крок руху вікна вздовж часового ряду дорівнював одному дню. З наближенням кризового стану параметр LAM зменшується.

Характерні особливості мають і інші кількісні міри, які в цій роботі не наводяться. Причому, ми спостерігали аналогічні залежності і під час криз 1990-х років.

Тому можна стверджувати, що динаміка рекурентних діаграм, яку відображають кількісні міри ре-

курентного аналізу, також дозволяє будувати передвісники валютних криз.



*Рис. 6.* Динаміка параметра ламінарності для поведінки валютних ринків України, Росії і країн зони євро протягом останніх трьох років

**Висновки.** Таким чином, одержані в роботі результати можна звести до таких тверджень:

- валютні кризи, які відбуваються на тлі глобальної фінансової кризи, мають певну специфіку. Вона стосується, перш за все, відсутності локалізації в часі, характерної для криз 90-х років ХХ століття;
- існуючі індикатори – передвісники кризових явищ виявилися неспроможними щодо виконання покладених на них функцій – кризи стали неочікуваними, а наслідки найбільш руйнівними з часів Великої депресії 1929 року;
- розроблені нами методики, обрані показники стану валютної системи можна використовувати як для класичних криз, так і в умовах поточної кризи. При цьому найнадійніший прогноз дає метод вейвлет-перетворення вихідного часового ряду.

Подальші дослідження дозволять сформулювати кількісні характеристики індикаторів – передвісників кризових явищ, а також створити на їх основі дієздатну систему раннього попередження небажаних подій.

#### Список використаної літератури

1. Soros G. The New Paradigm for Financial Markets: The Credit Crisis of 2008 and What It Means / Soros G. – NY: Public Affairs, 2008. – 162 pp.
2. Paul Krugman. The Return of Depression Economics and the Crisis of 2008 / Paul Krugman – NY: W. W. Norton & Company, 2008. – 224 pp.
3. Трунин П. В. Мониторинг финансовой стабильности в развивающихся экономиках (на примере России) / Трунин П.В., Каменских М.В. – М.: ИЭПП, 2007. – 106 с. : ил. – (Научные труды / Институт экономики переход. периода. № 111).
4. Eichengreen B. Exchange market mayhem / Eichengreen B., Rose A., Wyplosz C. // The antecedents and aftermath of speculative attacks. Economic Policy. – 1995. – October. – P. 249–312.
5. Frankel J. A. Currency Crashes in Emerging Markets: An Empirical Treatment / Frankel J. A., Rose A. K. // Journal of International Economics. – 1996. – Vol. 41. – November. – P. 351–366.
6. Corsetti G. Paper tigers? A model of the Asian crisis / Corsetti G., P. Pesenti and N. Roubini // NBER Working Paper. – 1998. – No. 6783. – November.

7. Kaminsky G. Leading Indicators of Currency Crises / Kaminsky G., Lizondo S., Reinhart C. // IMF Staff Papers. – 1998. – Vol. 45. – March. – P. 1–48.
8. Kaminsky G. Currency and banking crises: the early warnings of distress // IMF working paper. – 1999. – No. 178. – December.
9. Hawkins J. Measuring Potential Vulnerabilities in Emerging Market Economies / Hawkins J., Klau M. // BIS Working Paper. – 2000. – No. 91. – October.
10. Історичні значення валютних курсів ринку Форекс [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.oanda.com/convert/fxhistory>.
11. Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения // Успехи физических наук. – 1996. – Т. 166. – № 11. – С. 1145–1170.
12. Дремин И. М. Вейвлеты и их использование / Дремин И. М., Иванов О. В., Нечитайло В. А // Успехи физических наук. – 2001. – Т. 171. – № 5. – С. 465–501.
13. Соловйов В. М. Використання ентропійних показників для вимірювання складності економічних систем / Соловйов В. М., Данильчук Г. Б // Вісник Криворізького економічного інституту. – Кривий Ріг: КЕІ КНЕУ, 2008. – Вип. 2(14). – С. 61–69.
14. Marwan N. Recurrence plots for the analysis of complex systems / Marwan N., Romano M. C., Thiel M., Kurths J. // Phys.Rep. – 2007. – V. 438. – P. 237–329.
15. Соловйов В. М. Застосування кількісного аналізу рекурентних діаграм для моделювання універсальних властивостей кризових явищ / Соловйов В. М., Щерба В. В. // Моделювання та інформаційні системи в економіці: Міжвідомчий наук. збірник. – К.: КНЕУ, 2008. – Вип. 79. – С. 75–85.
16. Передвісники критичних явищ в складних економічних системах / Дербенцев В. Д., Соловйов В. М., Сердюк О. В. // 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.

**Summary.** In the article the considered features of flowing of currency crisis are on a background global financial. It becomes firmly established that inability of classic precursors of the crisis phenomena foresees creation of new, which must, unlike existing, take into account internal descriptions of the complex socio-economic system. Such which are based on the results of wavelet are offered in quality of similar precursors, recurrent and to the entropy analysis.

**Keywords:** global finance crisis, currency market, critical phenomena, indicators-precursors of the crisis phenomena, volatility, wavelets, entropy, recurrence plot.