

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТРАНСГРАНИЧНОГО ПОШИРЕННЯ ФІНАНСОВИХ КРИЗ

І. І. Стрельченко

Кандидат економічних наук, доцент,
докторант кафедри економіко-математичного моделювання
Державний вищий навчальний заклад «Київський національний
економічний університет імені Вадима Гетьмана»
проспект Перемоги, 54/1, м. Київ, 03680, Україна
iistrelchenko@gmail.com

У статті досліджуються особливості процесів поширення кризових явищ через фінансові та торговельні канали. Наведено основні передумови, що мають бути враховані при моделюванні їх розповсюдження. Зокрема, для опису часової структури цих процесів автором вводиться термін «латентний період» та обґрунтовується алгоритм визначення його часових меж. Проведено кількісне оцінювання ефективності запропонованої концепції. Спираючись на отримані результати здійснено відбір макроекономічних індикаторів, що характеризують стан основних каналів поширення кризових явищ і відображають деформаційні процеси в економіці за деякий час до завершення латентного періоду. В результаті проведеного аналізу та експериментального тестування сформовано систему вхідних класифікаційних характеристик, необхідних для побудови економіко-математичної моделі прогнозування наслідків поширення фінансової кризи: обсяг офіційних золотовалютних резервів без урахування золота; співвідношення грошового агрегату M2 до обсягу золотовалютних резервів; грошовий мультиплікатор; зміна грошового агрегату M0; зміна грошового агрегату M2; спред ставки відсотка по кредитах в іноземній валюті всередині країни до аналогічного показника за кордоном; коефіцієнт монетизації економіки; зростання експорту; зростання імпорту; частка експорту у ВВП.

Отримана нейронна мережа-класифікатор на базі самоорганізаційної карти Кохонена розподіляє простір вихідних точок (кожна з котрих має просторову розмірність у десять координат та характеризується часовою глибиною у тривалість латентного періоду для досліджуваної країни) на кластери, в яких динаміка таких індикаторів як ВВП, реальний обмінний курс до СПЗ, обсяг золотовалютних резервів, гарантований державний борг та вартість облігацій зовнішньої державної позики є подібною. Це дозволило сформувати базу сценаріїв можливої поведінки економік під впливом процесів поширення кризових явищ на основі макрпоказників, що характеризують стан фінансового та торговельного каналів поширення.

Ключові слова: *фінансова криза, канали поширення кризи, латентний період, макроекономічний індикатор, ранговий коефіцієнт конкордації, нейронна мережа, карта Кохонена.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТРАНСГРАНИЧНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ ФИНАНСОВЫХ КРИЗИСОВ

И. И. Стрельченко

Кандидат экономических наук, доцент,
докторант кафедры экономико-математического моделирования
Государственное высшее учебное заведение «Киевский национальный
экономический университет имени Вадима Гетьмана»

проспект Победы, 54/1, г. Киев, 03680, Украина
iistrelchenko@gmail.com

В статье исследуются особенности процессов распространения кризисных явлений через финансовые и торговые каналы. Приведены основные предпосылки, которые должны быть учтены при их моделировании. В частности, для описания временной структуры этих процессов автором вводится термин «латентный период» и обосновывается алгоритм определения его временных границ. Проведена количественная оценка эффективности предложенной концепции. Опираясь на полученные результаты осуществлен отбор макроэкономических индикаторов, характеризующих состояние основных каналов распространения кризисных явлений и отражающих деформационные процессы в экономике за некоторое время до конца латентного периода. В результате проведенного анализа и экспериментального тестирования сформирована система входных классификационных характеристик, необходимых для построения экономико-математической модели прогнозирования последствий финансового кризиса: объем официальных золотовалютных резервов без учета золота; соотношение денежного агрегата M2 к объему золотовалютных резервов; денежный мультипликатор; изменение денежного агрегата M0; изменение денежного агрегата M2; спред ставки процента по кредитам в иностранной валюте внутри страны к аналогичному показателю за рубежом; коэффициент монетизации экономики; рост экспорта; рост импорта; доля экспорта в ВВП. Полученная нейронная сеть-классификатор на основе самоорганизующейся карты Кохонена распределяет пространство исходных точек (каждая из которых имеет пространственную размерность в десять координат и характеризуется временной глубиной в продолжительность латентного периода для исследуемой страны) на кластеры, в середине которых динамика таких индикаторов как ВВП, реальный обменный курс к СПЗ, объем золотовалютных резервов, гарантированный государственный долг и стоимость облигаций внешнего государственного займа является сходной. Это позволило сформировать базу сценариев возможного поведения экономик под влиянием процессов распространения кризисных явлений на основе макропоказателей, характеризующих состояние финансового и торгового каналов распространения.

Ключевые слова: *финансовый кризис, каналы распространения кризиса, латентный период, макроэкономический индикатор, ранговый коэффициент конкордации, нейронная сеть, карта Кохонена.*

MODELING OF CROSS-BORDER SPREADING OF FINANCIAL CRISIS**Inna Strelchenko**

PhD (Economic Sciences), Docent,
DSc Candidate, Department of Economic and Mathematical Modeling
State Higher Educational Establishment
“Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman”
54/1 Peremogy Avenue, Kyiv, 03680, Ukraine
iistrelchenko@gmail.com

The article deals with the features of the crisis propagation through financial and trade channels. The basic premises that should be taken into account when modeling them are given. In particular, to describe the temporal structure of these processes, the author introduces the term «latent period» and substantiates an algorithm for determining its time boundaries. A quantitative assessment of the proposed concept efficiency was carried out. Based on the results obtained, a selection of macroeconomic indicators was carried out which characterize the main channels for the spread of crisis phenomena and describe the deformation processes well in advance of the end of the latent period. As a result of analysis and testing, a system of input classification characteristics is formed, which are necessary to build an economic and mathematical model for predicting the effects of the financial crisis spreading: total reserves excluding gold; the ratio of the M2 monetary aggregate to the total reserves; money multiplier; change in the monetary aggregate M0; change in the monetary aggregate M2; spread of interest rates on loans in foreign currency within the country to the same indicator abroad; monetization coefficient; export growth; import growth; export share in GDP.

The obtained neural network-classifier divides the space of the starting points (each of which has a spatial dimension of ten coordinates and is characterized by a time depth in the latency period for the country under study) into clusters, within which the dynamics of such indicators as GDP, national currency per SDR, total reserves excluding gold, publicly guaranteed debt and the value of external government loan bonds are similar. This allowed us to form a base of scenarios of the possible behavior of economies under the influence of the processes of the spread of crisis phenomena based on macro indicators characterizing the state of the financial and trade spreading channels.

Keywords: *financial crisis, channels of crisis spreading, latency period, macroeconomic indicator, rank coefficient of concordance, neural network, Kohonen map.*

JEL Classification: C45, F36, G15, G17

Вступ

Глобалізація та взаємне проникнення економік різних країн розмивають границі фінансових ринків і роблять їх надзвичайно вразливими до кризових процесів. Негативні тенденції, що розпочались в одній сфері господарювання, швидко перекидаються на інші та виходять за географічні межі держав. Нові умови функціонування глобального фінансового ринку потребують проведення ґрунтовних досліджень особливостей розвитку та поширення кризових явищ.

Задача макропрогнозування поведінки динамічних об'єктів і систем в умовах різких збурень навколишнього середовища вимагає використання нелінійних моделей. З іншого боку, механізм її опису має бути інтуїтивно зрозумілим та мати чітку економічну інтерпретацію для забезпечення можливості використання отриманих результатів прогнозування відповідальними особами, що приймають рішення. Також при виборі математичного інструментарію потрібно враховувати обмеженість обсягу даних, придатних для розрахунків. Це пов'язано з неоднорідністю статистичної інформації в розрізі країн світу (є відмінності в одиницях вимірювання, методиках розрахунку і т.п.). У зв'язку з цим більш-менш адекватна база даних для моделювання кризових явищ може бути сформована на основі інформації за період протікання світової фінансової кризи 2008–2009 рр., коли більшість країн почали подавати економічну статистику відповідно до методики розрахунку Міжнародного валютного фонду [1].

Крім цього, попередні фінансові кризи мали відмінні рушійні сили, джерела виникнення, канали розповсюдження та вплив на економіки країн світу. Це підводить нас до думки, що термін «макропрогнозування» в контексті поставленої задачі не може розглядатись як спроба передбачення «точки кипіння» економіки, адже для вчасної корекції державної економічної політики це не є першочерговим завданням. На думку автора, важливо однозначно визначити залежність між набором вхідних змінних, котрі є найчутливішими до різких змін в економіках країн-партнерів, та індикативними границями коливань макропоказників, що характеризують стійкість економіки до таких змін, таких як ВВП, валютний курс, обсяг золотовалютних резервів тощо [1].

Мета і завдання дослідження

Метою даного дослідження є побудова економіко-математичної моделі прогнозування розвитку фінансової кризи на основі системи макроекономічних показників, що характеризують стан основних каналів поширення у докризовий період.

На основі проведеного раніше фундаментального аналізу причин виникнення, особливостей протікання та механізмів трансграничного поширення кризових явищ [1–2] сформулюємо базові передумови, котрі необхідно враховувати під час дослідження та моделювання цих процесів:

1. Незважаючи на зрозумілий поділ фінансових криз на чотири типи (валютна, банківська, криза раптового відтоку капіталу або SS-криза (скорочено від англ. *sudden stop crisis*), суверенного зовнішнього боргу), історія протікання криз свідчить, що глобальні фінансові дисбаланси не можуть бути віднесені до якогось одного типу. Тому існує об'єктивна проблема датування початку та закінчення кризових явищ.

2. Процес транскордонного поширення кризових явищ між фінансовими ринками розподілений у часі та має визначену часову структуру.

3. Стійкість і поведінка економіки окремої країни під час поширення кризи напряму залежить від початкових макроекономічних умов, що характеризують фінансові, торговельні або інформаційні канали зараження.

Відповідно до визначених передумов сформулюємо задачі дослідження, вирішення яких дозволить досягти поставленої мети:

1. Розробка алгоритму датування часової структури процесів поширення фінансових криз.

2. Відбір макроекономічних індикаторів, що характеризують стан основних каналів поширення кризових явищ.

3. Побудова економіко-математичної моделі для прогнозування наслідків поширення фінансової кризи на основі системи макроекономічних показників, що характеризують стан основних каналів поширення у докризовий період.

Виклад основного матеріалу дослідження

Узагальнена статистика одночасного виникнення різних типів фінансових криз і хронологія їх виникнення за даними 138 країн світу в період з 1970 по 2010 роки наведена у табл. 1 і на рис. 1, відповідно.

Таблиця 1

**КРОС-СТАТИСТИКА ОДНОЧАСНОГО ВИНИКНЕННЯ РІЗНИХ ТИПІВ
ФІНАНСОВИХ КРИЗ ЗА ПЕРІОД З 1970 ПО 2010 рр.**

Тип фінансової кризи	Банківська криза	Валютна криза	Криза суверенного боргу	SS-криза
Банківська криза	134	49	16	15
Валютна криза	49	193	25	10
Криза суверенного боргу	16	25	60	6
SS-криза	15	10	6	53

Джерело: побудовано автором на основі [3]

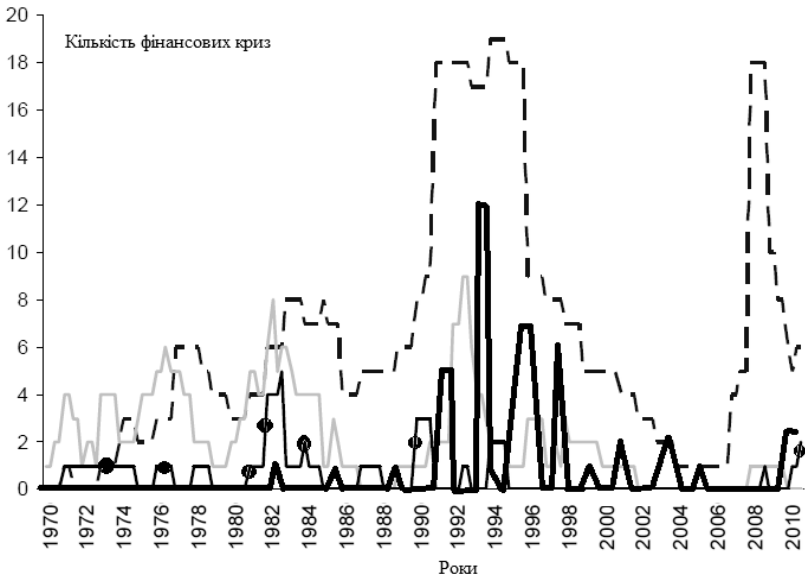


Рис. 1. Хронологія виникнення різних типів фінансових криз:

- пунктирна лінія — валютні кризи;
- сіра суцільна лінія — банківські кризи;
- чорна суцільна лінія — SS-кризи;
- чорна суцільна лінія з маркером — кризи суверенного боргу.

Джерело: побудовано автором на основі даних [3]

Результати ретроспективного аналізу різних типів фінансових криз для 138 країн світу з різним рівнем розвитку та інтеграції фінансових ринків за розглянутий період (1970–2010 рр.) дозволяють зробити висновок про складність виокремлення для аналізу монокризових епізодів.

Переважає більшість фінансових криз починається одночасно на двох (чи більше) фінансових ринках, наприклад банківському та валютному, та по внутрішніх каналах розповсюдження перетікають до інших секторів економіки, що може призвести до кризи суверенного державного боргу (наприклад, у Греції та Ісландії в 2010–2015 рр.) або викликати раптовий відтік інвестицій і стати причиною SS-кризи.

Результати проведеного аналізу дають можливість зробити висновок, що найбільша кількість фінансових криз є валютними (майже 44 % від загальної кількості). На другому місці за частотою появи — системні банківські кризи (30 %). І майже однакова кількість криз суверенного державного боргу та SS-криз відбулися протягом досліджуваного періоду — 14 % і 12 %, відповідно.

Також важливо відмітити, що маючи незначне відтермінування в часі валютна та банківська кризи досить часто відбуваються в парі — це так звані *twін*-кризи (подвійні кризи). Так, за даними табл. 1 кожна третя банківська криза супроводжується валютною кризою і кожна четверта фінансова криза, що визначається девальвацією вартості національної грошової одиниці, відбувається паралельно з системною кризою у банківському секторі.

Проведений аналіз ретроспективних даних показує, що майже половина усіх криз суверенного державного боргу супроводжуються валютними кризами. Проте лише 13 % від усіх криз девальвації вартості національної грошової одиниці врешті призводять до криз державного боргу.

Цікаво, що у 25 % випадків від усіх епізодів криз суверенного державного боргу паралельно відбуваються кризи банківські. Зворотна статистика вдвічі менша — 12 % *twін*-криз.

Найрідше трапляються поєднання криз раптової зупинки потоків капіталу з будь-яким іншим типом фінансових криз: 11 % для банківських криз, 5 % для валютних криз і 10 % для криз суверенного державного боргу.

Отже, існують об'єктивні причини, що значно ускладнюють дослідження монокриз будь-якого типу — або їх наслідки поєднуються з наслідками криз інших типів, або статистичні дані для аналізу будуть суттєво обмежені.

Тож у роботі автор не робитиме розмежування фінансових криз за типами та визначатиме тривалість кризових процесів всередині кожної окремої країни, спираючись на власне визначення об'єкта дослідження та кількісні міри для датування основних елементів у часовій структурі процесів трансграничного поширення криз на фінансових ринках, що мають чітке економічне обґрунтування.

Автор пропонує виділити в часовій структурі процесів трансграничного поширення кризових явищ окремі елементи, що є спільними для будь-якого типу фінансових криз і виникнення яких не залежить від рівня розвитку та інтеграції фінансових ринків окремих країн.

З цією метою введемо поняття: латентний період (l) — проміжок часу від початку кризи у країні-джерелі (t_0) до моменту часу, коли зафіксовано початок кризи у досліджуваній країні (t_p), та період відгуку (v) — проміжок часу від моменту t_p до моменту часу, коли зафіксовано скорочення темпів падіння економіки (t_k).

Із запропонованої термінології видно, що автор розглядає процес трансграничного поширення фінансової кризи як такий, що складається з двох епізодів:

1. Латентний період — триває до тих пір, доки через фінансові та/або торговельні канали передачі негативні зміни у фінансовому секторі країни-джерела не призведуть до падіння основних макроекономічних індикаторів у досліджуваній країні. Його ще можна визначити як період буферизації або накопичення дисбалансів в економіці. Тривалість латентного періоду обумовлюється ступенем інтеграції та розвитку внутрішнього фінансового ринку країни, до якої перенесена криза. Він також визначає час, протягом якого можуть бути створені економічні стимули та корегуючі впливи, що дозволять пом'якшити наслідки фінансової кризи.

2. Період відгуку — триває від початку кризи всередині досліджуваної країни до її закінчення, коли протягом певного часу буде зафіксоване стає зростання таких макроекономічних індикаторів, як валовий внутрішній продукт, курс національної грошової одиниці, об'єм золотовалютних резервів, а також зменшення державного боргу. Період відгуку залежить від стану економіки країни, рівня розвитку правового законодавства, що регулює грошово-фінансові відносини, рівня довіри до органів державного управління з боку населення, рівня корупції. Останні два пункти суттєво впливають на включення внутрішніх каналів

поширення кризових явищ і визначають стійкість економіки досліджуваної країни та тривалість періоду відгуку.

Як було зазначено вище, різні типи криз можуть перекриватися в одному епізоді, створюючи неоднозначні висновки щодо того, як їх класифікувати. Крім того, процес датування початку та закінчення кризових явищ в економіці прямо залежить від обраної методології.

Проте для переважної більшості фінансових криз — валютних, державного боргу та SS-криз, що складають відповідно до обчисленої статистики (див. табл. 1) 70 % від загальної кількості, спільними є механізми стримування різких коливань на внутрішніх фінансових ринках, що реалізуються Міністерством фінансів і Національним банком. Наслідками державного антикризового регулювання є суттєве скорочення золотовалютних резервів. Тому, на думку автора, саме на основі динаміки обсягів золотовалютних резервів потрібно формувати систему визначення терміну початку фінансової кризи.

Крім того, доцільно враховувати коливання курсу національної грошової одиниці (за статистикою 40 % усіх криз є валютними або відбуваються в парі із суттєвим знеціненням вартості національної грошової одиниці).

Беручи до уваги досвід, напрацьований західними фахівцями [3–6], початок кризи у досліджуваній країні внаслідок процесів трансграничного поширення кризових явищ від країни-джерела через доступні канали зараження (точку t_p) в межах даного дослідження будемо фіксувати у випадку реалізації одної або одразу двох подій:

1. коли протягом місяця фіксується зменшення вартості національної грошової одиниці на два стандартні відхилення (обчислені для вибірки з 12 щомісячних значень, що передують даному);

2. коли за місяць фіксується скорочення золотовалютних резервів більше ніж на одне стандартне відхилення (обчислене для вибірки з 12 щомісячних значень, що передують даному).

Проведемо тестування ефективності пропонованих умов датування початку кризи при визначенні термінів латентного періоду. З цією метою застосуємо показник *NSR* (англ. термін *noise-to-signal ratio* — співвідношення шуму до сигналу), що дозволяє здійснити порівняння частки хибних сигналів (шуму) індикатора з часткою ефективних реалізацій [4, 5]:

$$NSR = \frac{B}{B + D} \div \frac{A}{A + C}, \quad (1)$$

де A — кількість попереджувальних сигналів індикатора в межах сигнального вікна, що були підтверджені зафіксованими фактами настання кризи;

B — кількість попереджувальних сигналів індикатора в межах сигнального вікна, що не були підтверджені зафіксованими фактами настання кризи;

C — кількість випадків, коли факт настання кризи не супроводжувався попереджувальним сигналом індикатора;

D — кількість випадків, коли відсутність попереджувального сигналу індикатора була підтверджена фактами ненастання кризи [5].

При $NSR=1$ точність передбачення настання кризи дорівнює відсотку помилкового спрацьовування індикатора. Найкращим є індикатор, для якого значення NSR є мінімальним.

Визначимо сигнальне вікно як проміжок часу, що безпосередньо передує кризі, протягом якого індикатор повинен формувати сигнал, що вказує на появу негативних зрушень у фінансовій системі. Відповідно до запропонованого визначення латентного періоду довжина сигнального вікна дорівнює 12 місяцям.

На рис. 2 і 3 наведено приклад встановлення за запропонованим підходом меж латентного періоду поширення фінансової кризи в Україні у 2008–2009 рр. на основі динаміки відношення курсу національної грошової одиниці до СПЗ (спеціальних прав запозичення) і золотовалютних резервів, відповідно.

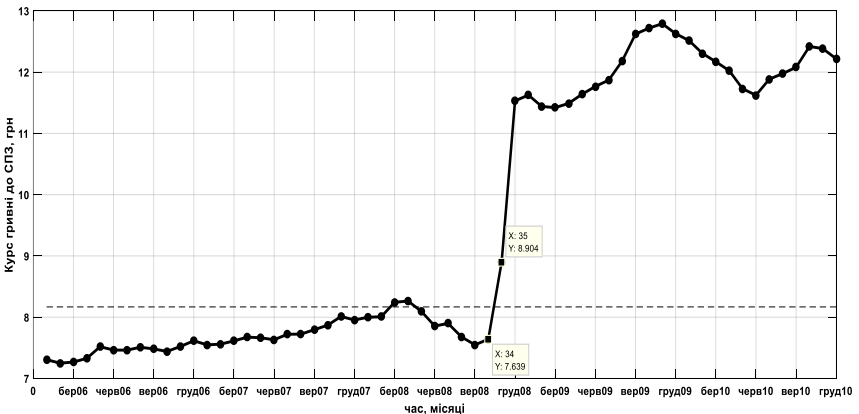


Рис. 2. Визначення границь латентного періоду та початку кризи на основі даних про зміну динаміки курсу гривні до СПЗ

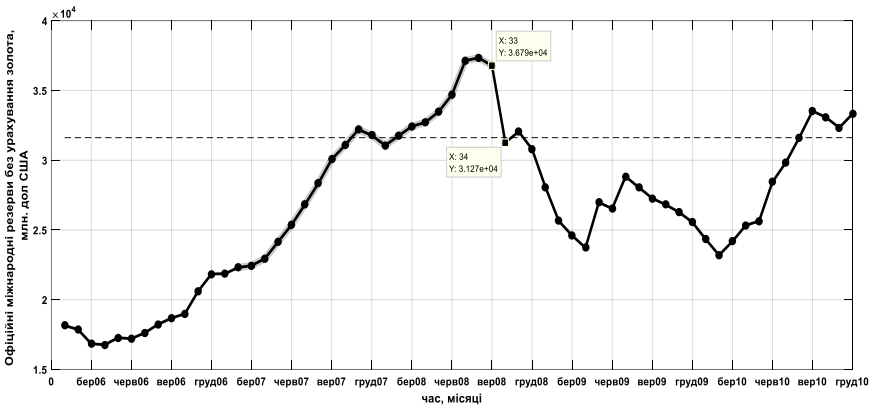


Рис. 3. Визначення границь латентного періоду та початку кризи на основі даних про зміну обсягів офіційних міжнародних резервів в Україні

Пунктирна лінія на рис. 2 відповідає верхній границі допустимих коливань обмінного курсу гривні та визначається відповідно до запропонованого алгоритму як сума середнього значення показника та двох стандартних відхилень у межах сигнального вікна. Тож кінцем латентного періоду є точка з координатами (34; 7,639), що відповідає жовтню 2008 року. Наступний місяць — точка з координатами (35; 8,904) стає початком кризи в країні. З рис. 2 можна побачити, що графік динаміки курсу гривні до СПЗ перетинає цю пунктирну лінію ще раніше — у березні 2008 року. Проте, варто зауважити, цей пункт розрахований для дванадцятимісячного періоду до жовтня 2008 року. Для березня ця границя допустимих коливань є вищою і графік її не перетинає.

Аналогічно відбувається визначення границь латентного періоду та початку кризи на основі динаміки золотовалютних резервів (див. рис. 3). Пунктирна лінія відповідає нижній границі допустимих коливань показника (різниця середнього значення та одного стандартного відхилення в межах сигнального вікна) та визначає кінцем латентного періоду вересень 2008 року.

Відповідно до запропонованої термінології в даному випадку автор визначає латентний період як проміжок часу між датою початку фінансової кризи у США — країні-джерелі (лютий 2007 р., коли найбільший на той момент банк світу HSBC був змушений списати іпотечні цінні папери загальною вартістю 10,5 млрд дол.

США, забезпечені в тому числі субстандартними кредитами) та да-тою зафіксованого зниження золотовалютних резервів і/або вартості національної грошової одиниці досліджуваної країни (України) понад 1 та 2 стандартних відхилення від середнього на вибірці з 12 попередніх щомісячних значень відповідного показника.

Аналогічно визначено тривалість латентного періоду для кожної з 66 країн тестової вибірки.

Показник *NSR* з оцінювання ефективності діагностування початку криз у досліджуваних країнах у межах аналізованого часового періоду складає:

$$NSR = \frac{B}{B+D} \div \frac{A}{A+C} = \frac{91}{91+802} \div \frac{124}{124+9} = 0,11. \quad (2)$$

Проведений аналіз точності датування границь латентного періоду дає підстави зробити висновки, що запропонована методологія дозволяє у 92 % випадків правильно ідентифікувати початок кризи всередині країни в результаті процесів трансграничного поширення кризових явищ. Так, наприклад, для України та Польщі кінець латентного періоду та початок фінансової кризи за обома досліджуваними показниками практично співпадає і припадає на серпень-вересень 2008 року. Отримана різниця в один місяць є закономірною та відображає фінансову політику Національного банку України щодо стримування знецінення національної грошової одиниці та виплати відсотків за міжнародними зобов'язаннями.

На наступному кроці проведемо відбір і тестування макроекономічних показників, що задають сукупність початкових умов і характеризують стан каналів поширення кризових явищ, є чутливими до збурень на світових фінансових ринках і можуть бути використані для класифікації економік за рівнем реакції на процеси трансграничного розповсюдження криз. У першу чергу розглянемо фінансовий і торговельний канали зараження.

Для вирішення даної задачі скористаємось щомісячними та кварталними значеннями під час кризи 2008–2009 рр. макроекономічних показників 66 країн і їх об'єднань, що відрізняються за рівнем економічного розвитку (зокрема розвинуті країни та країни, що розвиваються) та географічним розташуванням: Австралія, Албанія, Аргентина, Бангладеш, Білорусь, Болгарія, Боснія та Герцеговина, Бразилія, Бруней Даруссалам, Бутан, Вануату, Грузія, Гонконг, Данія, Євросона, Естонія, Ізраїль, Індонезія, Ісландія,

Канада, Казахстан, Камбоджа, Киргизька Республіка, Китай (провінція Макао), Китай, Латвія, Литва, Макао, Малайзія, Мальдіви, Мексика, Молдова, Монголія, М'янма, Непал, Нова Зеландія, Норвегія, Об'єднане Королівство Великобританія, Об'єднані Арабські Емірати, Папуа Нова Гвінея, Південна Африка, Південна Корея, Польща, Республіка Азербайджан, Республіка Вірменія, Російська Федерація, Румунія, Самоа, Сербія, Сінгапур, Соломонові острови, Таджикистан, Таїланд, Тонга, Туреччина, Україна, Угорщина, Філіппіни, Хорватія, Центральна Африканська Республіка, Чеська республіка, Чорногорія, Швейцарія, Швеція, Шрі Ланка, Японія. Джерелом первинної статистичної інформації є відкриті дані Міжнародного валютного фонду, Центральних банків Німеччини, Франції та України, Державного комітету статистики України та Британської банківської асоціації.

Усі розрахунки проведено на базі інструментарію математичної лабораторії MatLab2017a. По кожному індикатору було обчислено не лише абсолютні значення, а й відносні у вигляді базових темпів зростання.

Проведемо візуальний аналіз макроіндикаторів, що характеризують стан фінансового каналу поширення кризових явищ під час латентного періоду на прикладі України. З цією метою побудуємо в одному часовому вікні лінії фактичної зміни обраного показника та кількох індикативних кривих, що одержуються в результаті згладжування вихідного динамічного ряду [2]. Класичний підхід передбачає використання двох ковзних середніх із різною довжиною вікна згладжування. Точка перетину лінії фактичної зміни показника однією або двома ковзними середніми є точкою дивергенції, що позначає початок розбіжності між напрямком індикатора завчасного попередження та досліджуваним макропоказником, сповіщає про сильну корекцію існуючого тренду або його розворот, відображає суттєві зміни у каналах поширення кризових явищ та є сигналом про можливу кризу.

Результати тестування на прикладі України відібраних індикаторів, що характеризують стан фінансових каналів поширення кризових явищ, наведені на рис. 4 і 5. На кожному рисунку сірим маркером підсвічено динаміку відповідного індикатора в межах латентного періоду. Окремо винесені координати точок дивергенції. Важливо підкреслити, що усі індикатори стану фінансових каналів поширення характеризуються деформаційними процесами під час латентного періоду.

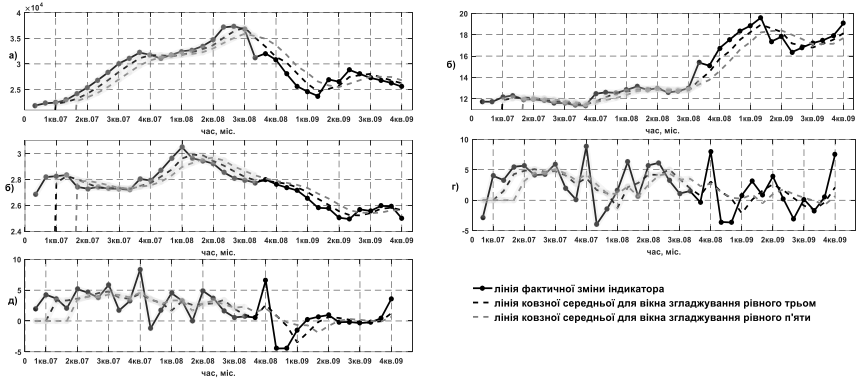


Рис. 4. Результати тестування макроекономічних індикаторів, що характеризують стан фінансових каналів поширення криз:

- а) обсяг офіційних золотовалютних резервів без урахування золота, млн дол. США;
- б) співвідношення грошового агрегату M2 до обсягу золотовалютних резервів, коеф.;
- в) грошовий мультиплікатор, коеф.;
- г) зміна грошового агрегату M0, % до попереднього періоду;
- д) зміна грошового агрегату M2, % до попереднього періоду.

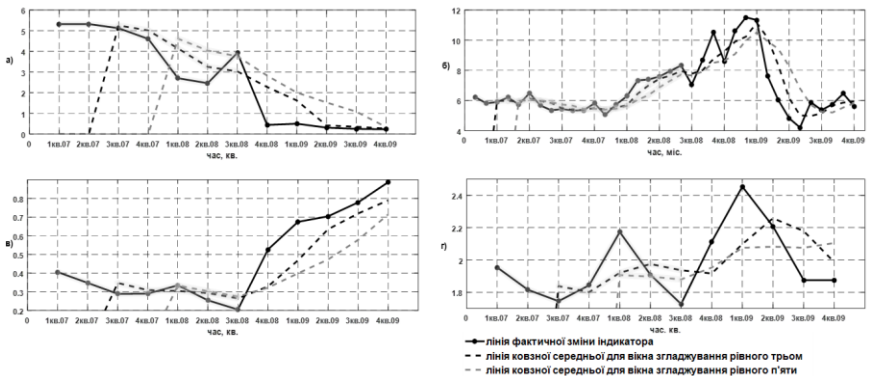


Рис. 5. Результати тестування макроекономічних індикаторів, що характеризують стан фінансових каналів поширення криз:

- а) спред ставки відсотка по кредитах в іноземній валюті всередині країни до аналогічного показника за кордоном, %;

- б) різниця між ставкою відсотка всередині країни по кредитах та депозитах, %;
- в) відношення гарантованого боргу до ВВП, коеф.;
- г) коефіцієнт монетизації економіки, коеф.

На рис. 6 наведено результати тестування на прикладі України відібраних індикаторів, що характеризують стан торговельних каналів поширення криз.

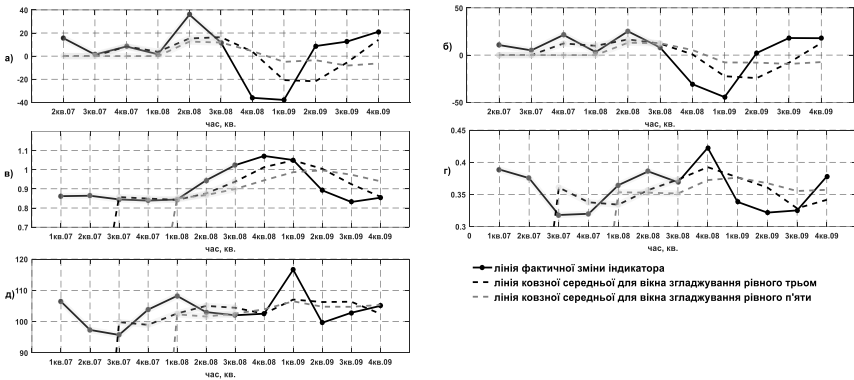


Рис. 6. Результати тестування макроекономічних індикаторів, що характеризують стан торговельних каналів поширення криз:

- а) зростання експорту, % до попереднього періоду;
- б) зростання імпорту, % до попереднього періоду;
- в) індекс умов торгівлі, коеф.;
- г) частка експорту у ВВП, коеф.;
- д) зростання випуску індустриальної продукції, %.

За результатами тестування, проілюстрованого на рис. 4–6, робимо висновок, що переважна більшість індикаторів є достатньо чутливою до негативних трансформацій у фінансовому та торговельному каналах поширення кризових явищ. Виключення становлять індекс індустриальної продукції (рис. 6.д) та різниця між ставкою відсотка всередині країни по кредитах і депозитах (рис. 5.б). Згідно з результатами тестування ці індикатори продукують сигнал про настання кризи із запізненням. Відповідні зміни у динаміці індикатора проявляються або безпосередньо в момент виникнення кризової події, або взагалі формуються через 1–2 місяці після її початку.

Характерно, що індикатори завчасного попередження, котрі описують стан фінансового каналу поширення криз, відображають деформаційні процеси на світових фінансових ринках за 1–2 квартали раніше ніж індикатори, що характеризують стан торговельного каналу.

Особливо помітні коливання в межах латентного періоду спостерігаються у динаміці індикаторів, які визначають обсяги та структуру грошової маси, що знаходиться в обігу (грошові агрегати M0 та M2), а також співвідношення між грошовим агрегатом M2 та іншим показником: обсягом золотовалютних резервів, грошовою базою, валовим внутрішнім продуктом [2].

У межах даного дослідження також проведено тестування волатильності залишків кожного з обраних індикаторів (рис. 7–9). Дане явище відоме як «кластеризація волатильності» [7–8].

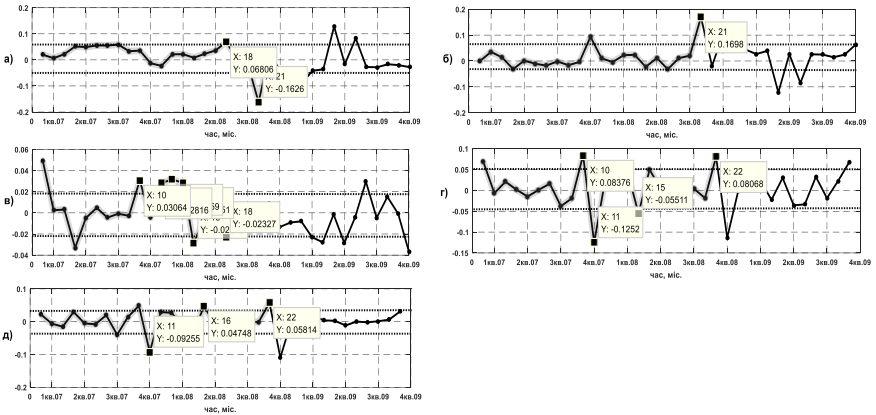


Рис. 7. Волатильність залишків рядів макроекономічних індикаторів, що характеризують стан фінансових каналів поширення криз:

- а) обсяг офіційних золотовалютних резервів без урахування золота, млн дол. США;
- б) співвідношення грошового агрегату M2 до обсягу золотовалютних резервів, коеф.;
- в) грошовий мультиплікатор, коеф.;
- г) зміна грошового агрегату M0, % до попереднього періоду;
- д) зміна грошового агрегату M2, % до попереднього періоду.

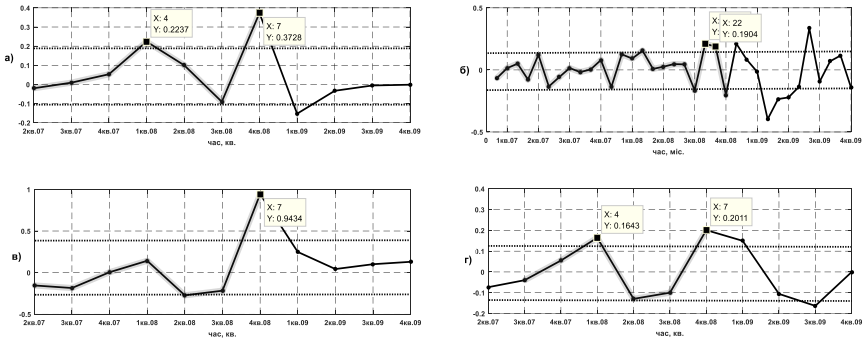


Рис. 8. Волатильність залишків рядів макроекономічних індикаторів, що характеризують стан фінансових каналів поширення криз:

- а) спред ставки відсотка по кредитах в іноземній валюті всередині країни до аналогічного показника за кордоном, %;
- б) різниця між ставкою відсотка всередині країни по кредитах та депозитах, %;
- в) відношення гарантованого боргу до ВВП, коеф.;
- г) коефіцієнт монетизації економіки, коеф.

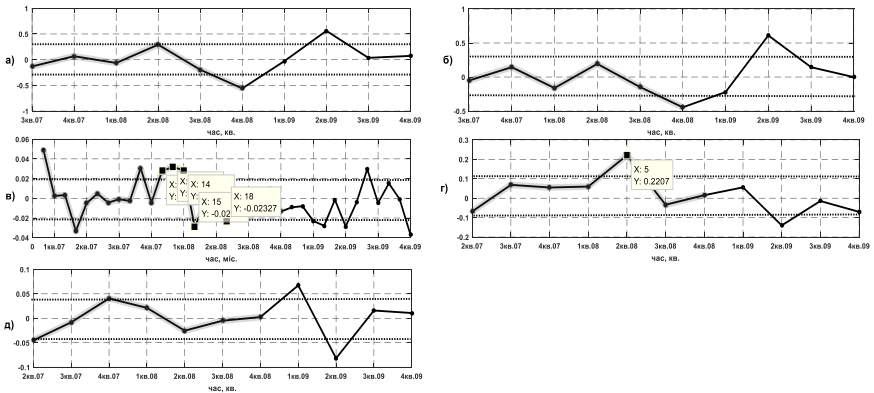


Рис. 9. Волатильність залишків рядів макроекономічних індикаторів, що характеризують стан торговельних каналів поширення криз:

- а) зростання експорту, % до попереднього періоду;
- б) зростання імпорту, % до попереднього періоду;

- в) індекс умов торгівлі, коеф.;
- г) частка експорту у ВВП, коеф.;
- д) зростання випуску індустріальної продукції, %.

За результатами тестування найбільше наростання нелінійностей у динаміці відібраних макропоказників спостерігається на рис. 7. Зазначимо, що отримані висновки щодо чутливості індикаторів до трансформаційних процесів у фінансовому каналі поширення криз збігаються з результатами тестування на основі ковзних середніх.

Також підтверджується висновок щодо недоречності використання індикатора «індекс індустріальної продукції» в якості вхідного фактора економіко-математичної моделі класифікації країн за типами реакції на кризові явища через відсутність підтвердженої інформації про можливість формування даним показником сигналів завчасного попередження негативних змін у торговельному каналі поширення фінансових криз.

У результаті попереднього аналізу та тестування широкого набору макроекономічних показників сформовано систему вхідних класифікаційних характеристик, що будуть використані для побудови економіко-математичної моделі сегментації країн за подібністю стану та поведінки каналів поширення кризи (і, відповідно, їх реакції на кризові явища в країні-джерелі):

1. обсяг офіційних золотовалютних резервів без урахування золота, млн дол. США;
2. співвідношення грошового агрегату M2 до обсягу золотовалютних резервів, коеф.;
3. грошовий мультиплікатор, коеф.;
4. зміна грошового агрегату M0, % до попереднього періоду;
5. зміна грошового агрегату M2, % до попереднього періоду;
6. спред ставки відсотка по кредитах в іноземній валюті всередині країни до аналогічного показника за кордоном, %;
7. коефіцієнт монетизації економіки, коеф.;
8. зростання експорту, % до попереднього періоду;
9. зростання імпорту, % до попереднього періоду;
10. частка експорту у ВВП, коеф.

Усі індикатори обчислені відповідно до методології МВФ, викладеної в офіційному виданні Спеціального стандарту поширення даних [9]. Потрібно відмітити, що в підсумку 70 % відібраних індикаторів презентують фінансовий канал поширення кри-

зових явищ. Також характерно, що половина обраних індикаторів є складеними — одержаними в результаті ділення одного макроекономічного показника на інший. Причому для розрахунку трьох індикаторів задіяний обсяг грошового агрегату М2. Дане спостереження є важливим для розуміння механізму процесів, що спонукають до накопичення критичних дисбалансів у фінансовому секторі [2, 10].

Відібраний набір індикаторів стану каналів поширення фінансових криз дає підґрунтя для побудови економіко-математичної моделі, що дозволить сформулювати базу сценаріїв можливої поведінки економік під впливом зовнішніх збурень. Фактично значення цих індикаторів на кінець латентного періоду за відсутності інших корегувальних впливів (макроруденціальної політики уряду) визначають реакцію і стійкість економіки під час кризи.

Під можливими сценаріями поведінки в рамках даного дослідження автор має на увазі подібність динаміки окремих макропоказників, що характеризують стійкість економічної системи до критичних змін в економіках країн-партнерів протягом двох років з початку кризи (після закінчення латентного періоду). Найчастіше в якості макропоказників, що дозволяють оцінити наслідки процесів поширення кризових явищ для окремої економіки, використовують: ВВП, валютний курс, обсяг золотовалютних резервів, ставка відсотка за ОЗДП (облігації зовнішньої державної позики), зовнішній державний борг.

Таким чином, основне завдання дослідження зводиться до встановлення відповідності між вхідними значеннями індикаторів каналів поширення на кінець латентного періоду та динамікою макропоказників, що характеризують сценарії поведінки економік під час кризи. Тобто, класифікаційна модель повинна розподіляти простір досліджуваних об'єктів (кожен з яких описується десятьма відібраними ознаками та характеризується часовою глибиною у тривалість латентного періоду для досліджуваної країни) на кластери, всередині яких динаміка таких індикаторів як ВВП, валютний курс, обсяг золотовалютних резервів, ставка відсотка за ОЗДП і зовнішній державний борг є подібною.

Практична реалізація економіко-математичної моделі розподілу країн за сценаріями поведінки внаслідок фінансових криз у країнах-партнерах була здійснена на основі нейронної мережі Кохонена. Для її побудови застосовано алгоритм, запропонований та описаний автором у [11].

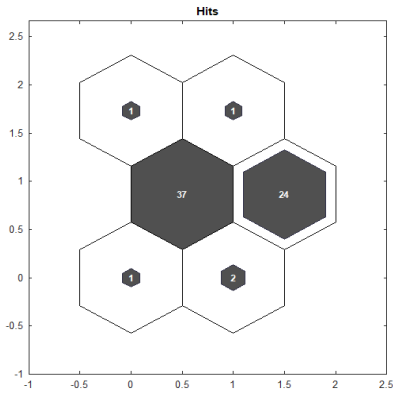
Число можливих сценаріїв визначатиме кількість кластерів карти Кохонена. Питання визначення їх оптимальної кількості є відкритим і завжди залишається на розсуд дослідника. З метою уникнення створення надлишкової множини сценаріїв, які будуть описувати одиничні залежності між обраними показниками, а також збільшення гнучкості та універсальності отриманих розв'язків автор пропонує визначати множину класів (кількість нейронів), до кожного з яких увійдуть країни зі схожими паттернами реакції на процеси поширення кризових явищ, на основі коефіцієнта конкордації [12–14].

Навчальна вибірка для конструювання карти Кохонена включає щоквартальні дані по десяти обраних індикаторах ($I_i, i = 1, \dots, 10$), які характеризують стан фінансового та торговельного каналів поширення криз під час латентного періоду для 66 країн світу. Проте тривалість латентного періоду для різних країн є відмінною, тому часовий проміжок, що увійшов до підсумкової навчальної вибірки, складає чотири квартали до завершення латентного періоду. Позначимо через L — останній квартал латентного періоду, тоді схематична структура даних підсумкової навчальної вибірки для кожної країни матиме вигляд:

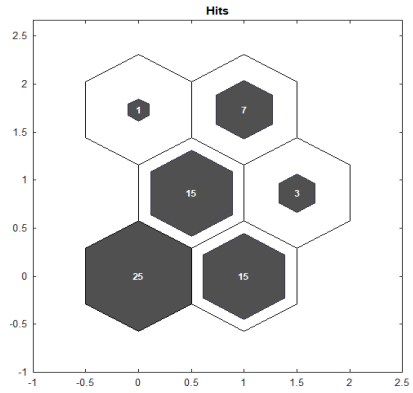
$$\begin{pmatrix} I_1^{L-3} & I_2^{L-3} & \dots & I_i^{L-3} & \dots & I_{10}^{L-3} \\ I_1^{L-2} & I_2^{L-2} & \dots & I_i^{L-2} & \dots & I_{10}^{L-2} \\ I_1^{L-1} & I_2^{L-1} & \dots & I_i^{L-1} & \dots & I_{10}^{L-1} \\ I_1^L & I_2^L & \dots & I_i^L & \dots & I_{10}^L \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Статистичні дані, що увійшли до навчальної вибірки, є однорідними, розрахованими за однією методологією. Країни в навчальній вибірці є різними за рівнем інтеграції до світового фінансового ринку, розвитку економіки та географічним розташуванням. Тож навчальну вибірку можна вважати репрезентативною.

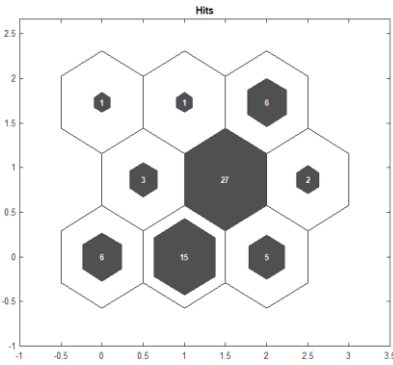
Для кращого розуміння внутрішніх механізмів і динаміки трансграничного поширення кризових явищ побудуємо чотири нейронні мережі Кохонена для кожного з останніх чотирьох кварталів латентного періоду ($L-3, L-2, L-1, L$). Результати моделювання зображені на рис. 10.



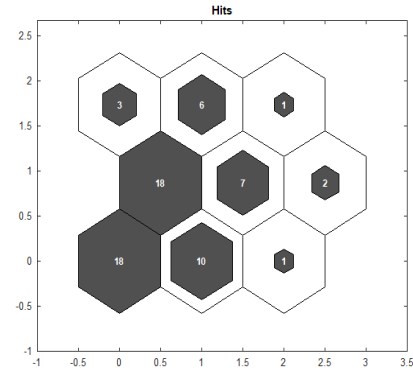
а)



б)



в)



г)

Рис. 10. Динаміка розподілу країн на карті Кохонена за станом фінансового та торговельного каналів поширення напередодні фінансової кризи 2008–2009 рр.:

- а) за 4 квартали до кінця латентного періоду;
- б) за 3 квартали до кінця латентного періоду;
- в) за 2 квартали до кінця латентного періоду;
- г) за 1 квартал до кінця латентного періоду.

На рис. 10 чітко прослідковується така тенденція:

1. За рік до початку кризи досліджувані країни розподілились за двома великими сусідніми (а, відповідно, і близькими за динамікою економічних процесів) кластерами, що включають 37 і 24 країни (рис. 10.a) та в цілому відповідають класифікації МВФ щодо розподілу економік на розвинуті та з ринками, що розвиваються.

Зокрема, до найбільшої групи (третьої кластер) увійшли країни: Албанія, Аргентина, Білорусь, Болгарія, Боснія та Герцеговина, Бразилія, Бутан, Грузія, Ісландія, Індонезія, Казахстан, Камбоджа, Киргизька Республіка, Малайзія, Мальдіви, Мексика, Молдова, Монголія, М'янма, Папуа Нова Гвінея, Південна Африка, Республіка Азербайджан, Республіка Вірменія, Румунія, Самоа, Сербія, Соломонові острови, Таджикистан, Таїланд, Тонга, Туреччина, Угорщина, Україна, Філіппіни, Центральна Африканська Республіка, Черногорія, Шрі Ланка.

До другої за розміром групи (четвертий кластер) потрапили Австралія, Бруней Даруссалам, Гонконг, Данія, Естонія, Євросоюз, Ізраїль, Канада, Китай, Королівство Великобританія, Латвія, Литва, Макао, Нова Зеландія, Норвегія, Об'єднані Арабські Емірати, Південна Корея, Польща, Сінгапур, Хорватія, Чеська Республіка, Швейцарія, Швеція, Японія.

Окремі кластери також склали: перший — Бангладеш, другий — Вануату та Фіджі, шостий — Непал. Загалом це країни, що за даними ООН входять до групи найменш розвинутих країн світу. До п'ятого кластеру потрапила Російська Федерація.

Для даного розподілу (рис. 10.a) характерні найнижчі показники коефіцієнту конкордації як для кожного окремого кластера, так і в середньому по всій карті Кохонена ($\overline{W}_{L-3} = 0,395$). Це свідчить про те, що за рік до кризи ще немає ознак її наближення, як то втеча капіталу з країн, економіки яких розвиваються, тощо. Відповідно, країни перебувають у звичному для себе режимі.

2. Наближаючись до кінця латентного періоду розміри цих двох найбільших кластерів починають зменшуватись за рахунок країн, які мігрують між ними та утворюють нові групи зі зростаючим рівнем подібності реакції показників, що характеризують рівень стійкості економік до процесів трансграничного поширення кризових явищ. В результаті зближення значень цих показників відбувається поступове зростання коефіцієнта конкордації

для країн кожного кластера, набуваючи максимального рівня за квартал до початку кризи (середнє значення за всіма кластерами карти Кохонена $W_L = 0,716$). Остання нейромережа (рис. 10.г) розподіляє країни вибірки на 9 кластерів таким чином:

перший кластер — Албанія, Болгарія, Боснія та Герцеговина, Грузія, Індонезія, Естонія, Латвія, Литва, М'янма, Об'єднані Арабські Емірати, Польща, Республіка Сербія, Румунія, Туреччина, Угорщина, Хорватія, Чеська Республіка, Чорногорія;

другий кластер — Австралія, Данія, Євразія, Нова Зеландія, Ізраїль, Королівство Великобританія, Норвегія, Швейцарія, Швеція, Японія;

третій кластер — Непал;

четвертий кластер — Бангладеш, Білорусь, Ісландія, Казахстан, Камбоджа, Киргизька Республіка, Малайзія, Молдова, Монголія, Папуа Нова Гвінея, Південна Африканська Республіка, Республіка Азербайджан, Республіка Вірменія, Російська Федерація, Таджикистан, Україна, Центральна Африканська Республіка, Шрі Ланка;

п'ятий кластер — Аргентина, Бразилія, Бруней Даруссалам, Мальдіви, Мексика, Таїланд, Філіппіни;

шостий кластер — Бутан, Вануату;

сьомий кластер — Самоа, Тонга, Фіджі;

восьмий кластер — Гонконг, Канада, Китай, Макао, Республіка Корея, Сінгапур;

дев'ятий кластер — Соломонові острови.

Аналіз результатів моделювання передкризової поведінки країн на даних за один квартал до кінця латентного періоду вказує на те, що розподіл нейромережею країн вибірки за кластерами добре узгоджується з фактичними даними про наслідки світової фінансової кризи в світі. Так, до першого та четвертого кластерів увійшли по 18 країн, переважна більшість з яких є країнами, що розвиваються. Країни обох груп характеризуються недосконалими фінансовими ринками та правилами їх функціонування (останнє більшої мірою стосується країн четвертого кластера). Тож поширення фінансової кризи 2008–2009 рр. у ці країни відбувалось у першу чергу кризь торговельні канали, а отже із запізненням, що збільшило тривалість латентного періоду на 1 місяць для країн першого кластера та 1 квартал для країн четвертого кластера. Відмінність у термінах початку кризи можна пояснити

географічним розташуванням країн першого кластера, що закономірно сприяло тісним торговельним зв'язкам із країнами з розвинутими фінансовими ринками — Євросоюзом, Японією, Китаєм та Гонконгом. Головна особливість першого кластера полягає в тому, що незважаючи на значне погіршення економічної ситуації у 2008–2009 рр., він характеризується набагато коротшим періодом рецесії та відновлення. Наприклад Польща, що мала падіння курсу злотого майже у два рази та зменшення прямих інвестицій на 16 %, вже у 2009 році отримала зростання ВВП на 1,7 %.

Країни, що увійшли до четвертого кластера, мали найгіршу динаміку відібраних показників економічної безпеки під час кризи 2008–2009 рр. і найдовший період відновлення та рецесії. Деякі з них досягли докризових показників економічного зростання лише у 2012–2013 рр. Зазначимо, що 9 із 18 країн четвертого кластера є представниками бувшого Радянського Союзу і у розглянутий період мали тісні торговельно-економічні зв'язки. У даний кластер потрапила, зокрема, Україна. За 2008 рік ВВП країни скоротився на 5,5 %, а за 2009 рік — майже на 16 %. Гривня втратила більше 50 % вартості. У четвертому кластері також знаходиться Ісландія — країна, що належить до розвинутих, проте протягом кризи 2008–2009 рр. курс національної грошової одиниці проти американського долара впав у 2 рази і країна вперше серед розвинутих країн звернулася по допомогу до МВФ.

У другий і восьмий кластери потрапила переважна більшість країн із розвинутими фінансовими ринками, які щільно інтегровані до світового. Тож поширення кризи у 2007–2008 рр. відбувалось у першу чергу через фінансові канали. Це зумовило скорочення латентного періоду на 1–3 місяці в порівнянні з першим і четвертим кластерами. У країнах кластера номер два наслідки кризи суттєво вплинули на аналізовані показники економічної безпеки, зокрема відбулося скорочення ВВП у середньому на 4,1 % у групі, фондового ринку — до 2,5 %, із відновленням докризових показників розвитку економіки у 2010–2011 рр. У той же час у країнах восьмого кластера відбулося лише скорочення темпів зростання економіки. Відповідно, країни цього кластера характеризуються найкоротшими термінами відновлення економіки. Докризові показники розвитку були досягнуті ними в період з 2009 по 2010 рр.

Яскравим прикладом поведінки країн восьмого кластера під час кризи є Канада — країна, що історично має тісні фінансово-

торговельні зв'язки із США (країною-джерелом процесів трансграничного поширення кризових явищ 2008–2009 рр.). З другої половини 2008 року, у міру розвитку глобальної економічної кризи, уряд Канади виробив антикризовий план регулювання економіки, що серед інших заходів включав підтримку фінансового сектора, великого, малого бізнесу, окремих галузей промисловості, інфраструктурних проектів. Крім того, результативними виявилися державні заходи щодо соціальної підтримки населення. У підсумку це сприяло стабільності фінансової та банківської системи країни. У результаті з 2008 року після глобальної фінансової кризи економіка Канади знову стала однією з найсильніших у світі серед країн із розвинутою економікою.

До п'ятого кластеру увійшли країни, що мають традиційно тісні торговельно-економічні зв'язки із США (Аргентина, Бразилія, Мальдіви, Мексика, Філіпіни) та Японією (Бруней Даруссалам, Таїланд, Філіпіни). Через таку особливість, кризи у цих країнах спричинили в першу чергу масову втечу інвесторів, що стало причиною зростання державного боргу, скорочення золотовалютних резервів і зменшення вартості національних грошових одиниць. Економіки країн даної групи знаходились на підйомі до початку кризи, тож процеси трансграничного поширення переважно кризь торговельні канали призвели до скорочення темпів економічного зростання. А в результаті адекватної та своєчасної програми антикризових заходів не мали катастрофічних наслідків, як, наприклад, у країнах четвертої групи.

До третього, шостого, сьомого та дев'ятого кластерів потрапили країни, що за класифікацією ООН мають найнижчі індекси рівня життя населення. Їх економіки є досить ізольованими від світового фінансового ринку, тож наслідки кризи 2008–2009 рр. є найбільш відтермінованими (до одного кварталу порівняно з іншими групами) і спричинили значні погіршення в і без того відверто слабких економічних системах.

Висновки і перспективи подальших досліджень

Отримані результати проведеного дослідження дозволяють зробити висновки, що нейромережеві моделі є ефективним інструментом завчасного виявлення ознак наближення фінансових криз. Причому за квартал до кінця латентного періоду (де його

межі визначаються на основі запропонованого автором алгоритму) вдається чітко передбачити ймовірний сценарій розвитку подій усередині економічної системи на основі системи індикаторів, що характеризують деформаційні процеси, які відбуваються у фінансовому та торговельному каналах поширення кризових явищ.

Серед подальших напрямків проведення досліджень першочерговим вбачається проведення моделювання зі встановлення коефіцієнтів еластичності між набором вхідних індикаторів і п'ятьма обраними показниками стійкості окремо для кожної з дев'яти груп країн. Отримані залежності дозволять виробити рекомендації щодо можливих антикризових заходів, спрямованих на зменшення наслідків майбутніх фінансових криз.

Список літератури

1. Стрельченко І. І. Концептуальні засади макропрогнозування на основі системи нейронних мереж. *Економічний аналіз*. 2017. Т. 27, № 2. С. 68–73.
2. Матвійчук А. В., Стрельченко І. І. Використання системи випереджальних індикаторів для прогнозування негативних зрушень на фінансовому ринку України. *Фінанси України*. 2015. № 8. С. 74–87. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Fu_2015_8_7.
3. Babecký J., Havránek T., Matějů J., Rusnák M., Šmídková K., Vašíček B. Banking, Debt, and Currency Crises: Early Warning Indicators for Developed Countries. *ECB Working Paper*. 2012. No. 1485. 43 p. URL: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1485.pdf>.
4. Kaminsky G., Lizondo S., Reinhart C. Leading indicators of currency crises. *IMF Staff Papers*. 1998. Vol. 45, No. 1. P. 1–48.
5. Ferrari S., Pirovano M. Early warning indicators for banking crises: a conditional moments approach. *MPRA Paper*. 2015. No. 62406. 24 p. URL: https://mpra.ub.uni-muenchen.de/62406/1/MPRA_paper_62406.pdf.
6. Behn M., Detken C., Peltonen T., Schudel W. Setting countercyclical capital buffers based on early warning models: Would it work? *ECB Working Paper*. 2013. No. 1604. 44 p. URL: <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1604.pdf>.
7. Engle R. F. Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*. 1982. № 50 (4). P. 987–1008.
8. Soloviev V., Belinskij A. Methods of nonlinear dynamics and the construction of cryptocurrency crisis phenomena precursors. *Proceedings of*

the 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer. Kyiv, 2018. Vol. II. P. 116–127. URL: http://ceur-ws.org/Vol-2104/paper_175.pdf.

9. The Special Data Dissemination Standard. *IMF*: website. 2013. 113 p. URL: <https://www.imf.org/external/pubs/ft/sdds/guide/2013/sddsguide13.pdf>.

10. Стрельченко І. І. Моделювання трансграничного розповсюдження кризових явищ на основі комплексу нейронних мереж. *Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці*. 2016. № 5. С. 180–198. URL: <http://nfimte.com/assets/journal/5/Strelchenko.pdf>.

11. Стрельченко І. І. Вибір оптимальної топології нейронної мережі в задачах класифікації динамічних економічних систем. *Нейро-нечіткі технології моделювання в економіці*. 2017. № 6. С. 142–157. URL: <http://nfimte.com/assets/journal/6/Strelchenko.pdf>.

12. Kendall M. G. Rank correlation methods. New York: Hafner Publishing Co, 1955. 160 p.

13. Kendall M. G., Babington B. S. The problem of m rankings. *Annals of Mathematical Statistics*. 1939. No. 10, Vol. 3. P. 275–287.

14. Legendre P. Species associations: The Kendall coefficient of concordance revisited. *Journal of Agricultural, Biological, & Environmental Statistics*. 2005. Vol. 10. P. 226–245.

References

1. Strelchenko, I. I. (2017). Konceptual'ni zasady makroprognozuvannya na osnovi systemy neyronnykh mrezh. *Ekonomichny Analiz (Economic analysis)*, 2, 68–73. DOI: 10.35774/econa2017.02.068 [in Ukrainian].

2. Matviychuk, A. V., & Strelchenko, I. I. (2015). Vykorystannya systemy vyperedzhal'nykh indyktoriv dlya prognozuvannya negatyvnykh zrushen' na finansovomu rynku Ukrainy. *Finansy Ukrainy (Finance of Ukraine)*, 8, 74–87. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Fu_2015_8_7 [in Ukrainian].

3. Babecký, J., Havránek, T., Matějů, J., Rusnák, M., Šmídková, K., & Vašíček, B. (2012, October). Banking, Debt, and Currency Crises: Early Warning Indicators for Developed Countries. *ECB Working Paper, 1485*. Retrieved from <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1485.pdf>.

4. Kaminsky, G., Lizondo, S., & Reinhart, C. (1998). Leading indicators of currency crises. *IMF Staff Papers*, 45(1), 1–48.

5. Ferrari, S., & Pirovano, M. (2015, February 2). Early warning indicators for banking crises: a conditional moments approach. *MPRA Paper, 62406*. Retrieved from https://mpra.ub.uni-muenchen.de/62406/1/MPRA_paper_62406.pdf.

6. Behn, M., Detken, C., Peltonen, T., & Schudel, W. (2013, November). Setting countercyclical capital buffers based on early warning models: Would it work? *ECB Working Paper, 1604*. Retrieved from <https://www.ecb.europa.eu/pub/pdf/scpwps/ecbwp1604.pdf>.

7. Engle, R. F. (1982). Autoregressive Conditional Heteroscedasticity with Estimates of Variance of United Kingdom Inflation. *Econometrica*, 50(4), 987–1008.

8. Soloviev, V., & Belinskij, A. (2018, May 14–17). Methods of nonlinear dynamics and the construction of cryptocurrency crisis phenomena precursors. In V. Ermolayev, M. C. Suárez-Figueroa et al. (Eds.), *Proceedings of the 14th International Conference on ICT in Education, Research and Industrial Applications. Integration, Harmonization and Knowledge Transfer (Kyiv, Ukraine)* (pp. 116–127). Retrieved from http://ceur-ws.org/Vol-2104/paper_175.pdf.

9. IMF. (2013). *The Special Data Dissemination Standard*. Retrieved from <https://www.imf.org/external/pubs/ft/sdds/guide/2013/sddsguide13.pdf>.

10. Strelchenko, I. I. (2016). Modeliuvannia transhranychnoho rozpovsiadzhennia kryzovykh yavlyshch na osnovi kompleksu neuronnykh merezh. *Nejro-nechitki tekhnolohiyi modelyuvannya v ekonomitsi (Neuro-fuzzy modeling techniques in economics)*, 5, 180–198. Retrieved from <http://nfimte.com/assets/journal/5/Strelchenko.pdf> [in Ukrainian].

11. Strelchenko, I. I. (2017). Vybir optymalnoi topolohii neuronnoi merezhi v zadachakh klasyfikatsii dynamichnykh ekonomichnykh system. *Nejro-nechitki tekhnolohiyi modelyuvannya v ekonomitsi (Neuro-fuzzy modeling techniques in economics)*, 6, 142–157. Retrieved from <http://nfimte.com/assets/journal/6/Strelchenko.pdf> [in Ukrainian].

12. Kendall, M. G. (1955). *Rank correlation methods*. New York, NY: Hafner Publishing Co.

13. Kendall, M. G., & Babington, B. S. (1939). The problem of m rankings. *Annals of Mathematical Statistics*, 10(3), 275–287.

14. Legendre, P. (2005). Species associations: The Kendall coefficient of concordance revisited. *Journal of Agricultural, Biological, & Environmental Statistics*, 10, 226–245.

Стаття надійшла до редакції 13.07.2019