

УДК 001; 519.25

О.І. МРИГЛОД, Ю.В ГОЛОВАЧ

Інститут фізики конденсованих систем Національної академії наук України  
вул. Свенціцького, 1, Львів, 79011, Україна**РЕАКЦІЯ НАУКОВОЇ СПІЛЬНОТИ  
НА ЧОРНОБИЛЬСЬКУ АВАРІЮ:  
АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТЕМАТИКИ ПУБЛІКАЦІЙ**

---

*Науку як різновид людської діяльності, що має на меті отримання нового знання, також можна розглядати як об'єкт вивчення. На цьому твердженні ґрунтується так звана «наука про науку» — наукометрія. У пропонованій роботі представлено результати наукометричного дослідження, метою якого було проаналізувати, як наукова спільнота реагує на певну подію, тобто як виглядає еволюція певної наукової тематики. На основі інформації з реферативних баз даних «Scopus» та «Україніка наукова» проаналізовано дані про наукові публікації, що висвітлюють проблему Чорнобильської аварії та її наслідків. Вивчено активність публікування робіт на чорнобильську тематику від 1986 і до 2011 рр., внесок науковців із різних країн, тематичний спектр досліджень.*

*Ключові слова:* наукометрія, складні системи, реферативні бази.

**ВСТУП**

Виокремлення наукових тем — важливе й актуальне завдання сьогодення. З одного боку, суто наукознавчий інтерес вимагає виділення певних напрямів наукових досліджень, а отже — ідентифікації так званої структури науки. З другого — класифікація наукових публікацій має достатньо широке практичне застосування: під час опрацювання результатів інформаційного пошуку, окреслення тематичного спектра наукових періодичних видань та автоматизації редакційної роботи над рукописами, для тематичного позиціонування окремих авторів та авторських колективів у науковій спільноті, зрештою — для пошуку нових напрямів у науці й виявлення з-поміж них найперспективніших (так званих *hot topics*, або *emerging topics*). Серед такого кола завдань можна також виділити проблему вивчення розвитку певної наукової тематики в контексті тієї чи

іншої країни або ж регіону, а також — зіставлення сценаріїв розвитку тієї самої тематики в умовах різних національних наукових спільнот і в світовому масштабі [1]. Простеживши еволюцію певного наукового напрямку — від його зародження, становлення і аж до згасання або ж злиття з іншими напрямками, можна визначити провідні постаті науковців у цій сфері, найважливіші результати опублікованих досліджень. Методи виявлення підґрунтя того чи іншого наукового завдання могли б успішно доповнити наявні методи інформаційного пошуку і стати компасом у величезному океані публікацій для науковців, що лише починають своє дослідження.

**ФОРМУЛЮВАННЯ ПРОБЛЕМИ  
ТА ЗБІР ДАНИХ**

У цій роботі поставлено за мету простежити розвиток конкретної теми в науці. З огляду на те що однією з найбільш визнаних форм втілення наукового результату є опу-

---

© О.І. Мриглод, Ю.В Головач, 2012

бліковані праці, поставлене завдання звелося до аналізу потоку наукових публікацій та виявлення серед них тих, що належать до заданого тематичного напрямку. У ході дослідження ми спробували відповісти на ряд запитань:

- чи можна визначити, на якому етапі свого розвитку перебувають дослідження на задану тему, зокрема, констатувати зростання чи спад їхньої активності;
- як виглядає «дисциплінарний ландшафт», тобто в межах яких дисциплін цю тему найактивніше досліджують;
- який науковий внесок учених із різних країн у дослідження визначеної тематики та як можна охарактеризувати його масштаб: ця тема актуальна лише в певному географічному регіоні, чи нею активно цікавляться і на міжнародному рівні.

Було обрано коло проблем, пов'язаних з аварією на Чорнобильській АЕС у 1986 р. Такий вибір має свою особливість: пропонується тематика відносно вузька, об'єкт дослідження чітко зафіксований у часі (26 квітня 1986 р.), що дає змогу схарактеризувати реакцію наукової спільноти на конкретну подію, яка мала вплив також на соціальну, економічну, технологічну та інші сфери. Можна відразу дати інтуїтивну відповідь на запитання про масштаб обраної проблематики. З одного боку, зацікавленість чорнобильською тематикою мала б залежати від географічної віддаленості тієї чи іншої країни, з другого — категорія аварії та значущість її наслідків підвищують роль відповідної тематики до міжнародного рівня. Найімовірніше, найбільшу активність треба очікувати від науковців з України й республік колишнього Радянського Союзу.

Об'єктом нашого аналізу стали дані про публікації на чорнобильську тематику, зібрані за допомогою реферативних баз даних. З метою одержання інформації про наукові публікації у світовому масштабі було використано базу даних «Scopus» ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)), яка, поряд із «Web of Science», є однією з найавторитетніших наукових реферативних баз даних. «Scopus» містить інформацію

про близько 45,5 млн рецензованих публікацій із понад 19,5 тис. міжнародних наукових видань. На жаль, публікації українських науковців наразі лише частково відображені в таких загальноновизнаних базах, як «Scopus» чи «Web of Science». Наприклад, згідно з даними, наведеними у звітах НАН та МОН України [2], загалом українські науковці в 2003 р. опублікували понад 124 тис. наукових статей, у 2005 р. — більше ніж 150 тис. Проте в базі «Scopus» знаходимо лише близько 4600 статей за 2003 р. і приблизно 4800 статей — за 2005 р. Отже, частка наукових публікацій з України в базі «Scopus» не перевищує 5%. Для докладнішого аналізу внеску українських учених у дослідження проблеми Чорнобиля ми вирішили використати також реферативну базу даних «Україніка наукова» ([www.nbuv.gov.ua/db/ref.html](http://www.nbuv.gov.ua/db/ref.html)), що підтримується Національною бібліотекою України ім. В.І. Вернадського.

Пошук у базі даних «Scopus» здійснювався англійською мовою за таким запитом: «*Chornobyl OR Chornobyl' OR Chernobyl OR Chernobyl'*», що включає різні варіанти написання латиницею назви «Чорнобиль». Станом на березень 2012 р. було виявлено понад 8 тис. наукових публікацій, що містили згадку про Чорнобиль у назві, анотації чи серед ключових слів. Необхідно зауважити, що пошук документів за ключовими словами лише в назві статті є точнішим — його результати найбільш релевантні до запиту [3]. Відносна вузькість обраної тематики дає можливість використати менш чіткі умови й одержати більшу кількість результатів. Той факт, що лише 19 зі знайдених документів були опубліковані перед 1986 р., свідчить про те, що більшість робіт стосується саме аварії і лише в незначній кількості публікацій Чорнобиль згадано з інших причин, наприклад, технологічні аспекти й загальні проблеми, які стосуються атомних електростанцій. З іншого боку, описаний вище спосіб відбору не враховує статей, що за змістом можуть бути віднесені до релевантних, однак не згадують назви «Чорнобиль» прямо (автоматично врахувати такі статті наразі неможливо).

Пошуковий запит для бази «Україніка наукова» передбачав різні способи написання назви «Чорнобиль» латиницею, українською та російською мовами у різних відмінкових формах: «ЧАЕС, Чорнобиль, Чорнобиля, Чорнобилю» і т.д. З огляду на значно менший обсяг бази даних та охоплення нею лише матеріалів, опублікованих до 1996 р., кількість виявлених документів станом на березень 2012 р. була набагато меншою — всього 1500.

На рис. 1 зображено розподіл кількості публікацій за роками згідно з даними баз «Scopus» та «Україніка наукова». Очевидно, що просто порівняти між собою ці дві криві не можна, адже для цих баз відрізняються як загальна кількість публікацій, так і їх охоплення за роками. Проте можна помітити схожість ситуації з науковими публікаціями на чорнобильську тематику на світовому рівні та в локальному масштабі. На жаль, обмежена кількість даних не дає змоги оцінити всієї картини, однак на обох графіках бачимо виразні піки, що відповідають за збільшення кількості тематичних наукових публікацій у 2006 р. — через 20 років після аварії<sup>1</sup>. Аналогічний ефект спостережено і в 1996 р. (10 річниця) для даних із бази «Scopus». У 2011 р. (25 річниця аварії) можна було знову очікувати збільшення кількості публікацій, зокрема після трагедії в Японії. Локальний максимум бачимо і на графіку, що відповідає даним із бази «Scopus». Графік за даними із «Україніки наукової», у 2011 р. іде на спад, проте це зумовлено, радше, інертністю наповнення вказаної бази даних. Можливо, цей пік проявиться після внесення всіх даних.

<sup>1</sup> Цей ефект можна порівняти з так званим «ефектом ювілеїв» («Anniversary Effect», або «Anniversary Reaction») у психології, коли у відповідь на настання важливої дати або ювілею виникає спонтанна хвиля емоцій та/або дій (див., напр., в онлайн-словнику медичної термінології: <http://medconditions.net/anniversary-reaction.html>).

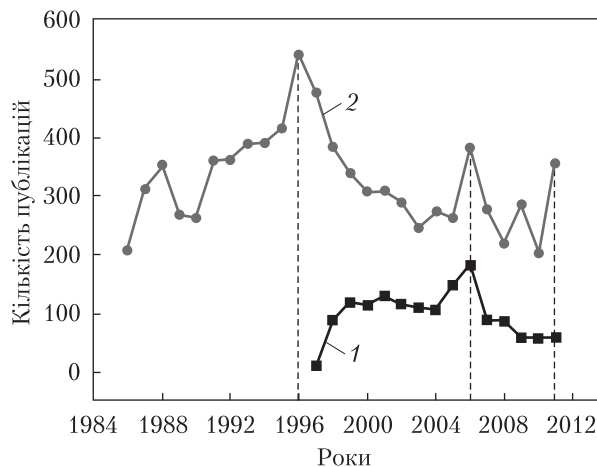
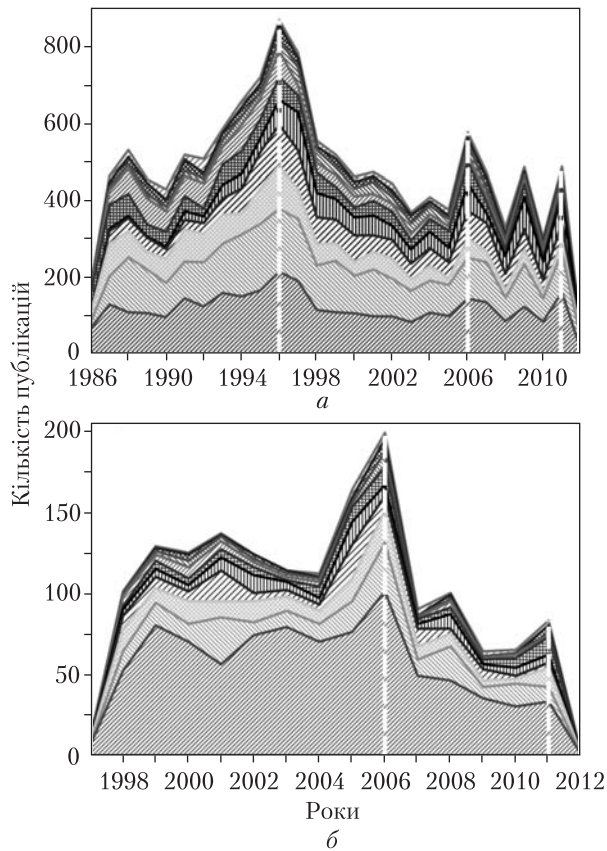


Рис. 1. Розподіл кількості публікацій на чорнобильську тематику за роками в базах даних «Україніка наукова» (1) та «Scopus» (2)

#### АНАЛІЗ ДАНИХ: «ДИСЦИПЛІНАРНИЙ ЛАНДШАФТ»

Як «Scopus», так і «Україніка наукова» пропонують власні засоби для розподілу результатів пошуку за дисциплінами<sup>2</sup>. Класифікація документів за тематичним напрямом ґрунтується переважно на експертному аналізі. Наприклад, кожне нове видання, що потрапляє в базу «Scopus», одержує набір тематичних індексів відповідно до 27 категорій у чотирьох групах: фізичні науки (Physical Sciences), науки про здоров'я (Health Sciences), соціальні науки (Social Sciences) і науки про живе (Life Sciences) [4]. Згідно з цими індексами класифікують і всі публікації видання. Аналогічно всі документи, реферовані в базі «Україніка наукова», одержують індекс рубрикатора НБУВ, що працює з 28 розділами й великою кількістю підрозділів [5]. Таким чином, використовуючи доступні засоби групування наукових публікацій за дисциплінами, маємо пам'ятати про те, що жодна класифікація не є універсальною.

<sup>2</sup> Важливо пам'ятати про те, що одна стаття може стосуватися як однієї галузі науки, так і кількох одночасно!



**Рис. 2.** Розподіл публікацій на чорнобильську тематику серед 10 домінантних дисциплін у базах даних «Scopus» (1986–2012) (а) та «Україніка наукова» (1997–2012) (б). Результати пошуку станом на березень 2012 р.

Щоб мати змогу порівняти результати роботи за обома базами, в «Україніці науковій» ми враховували належність публікацій лише до розділів, не вдаючись до детальнішого поділу. Скажімо, якщо стаття мала індекси 347-082.03, P128.37я8, P361.0, то її відносили до двох розділів: «Енергетика. Радіоелектроніка» (З) і «Медицина. Медичні науки» (Р), збільшуючи на одиницю кількість статей в обох категоріях.

Для обох наборів даних оцінювали розподіл публікацій за домінантними дисциплінами, беручи до уваги десять наукових напрямів, до яких було віднесено найбільшу кількість документів. Стосовно даних зі «Scopus», до цієї десятки у порядку спадання середньої кількості публікацій за рік увійшли:

- медицина (Medicine);
- науки про навколишнє середовище (Environmental Science);
- енергетика (Energy);
- фізика й астрономія (Physics and Astronomy);
- біохімія, генетика та молекулярна біологія (Biochemistry, Genetics and Molecular Biology);
- інженерія (Engineering);
- науки про Землю та планети (Earth and Planetary Sciences);
- біологічні науки й агрокультура (Agricultural and Biological Sciences);
- фармакологія, токсикологія і фармацевтика (Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics);
- хімія (Chemistry).

На рис. 2а відображено кількість публікацій, віднесених до кожної з перелічених вище дисциплін. Сфери, які відповідають різним галузям науки, розміщені на рисунку в тому ж порядку, що й у переліку. Найбільша кількість матеріалів на чорнобильську тематику в базі «Scopus» стосується медицини — цю сферу на рисунку показано найнижче, вона має найбільшу площу. Над медициною зображено науки про навколишнє середовище і т.д.

Аналогічним чином на рис. 2б показано розподіл публікацій за дисциплінами згідно з даними «Україніки наукової». Серед десяти наукових галузей із найбільшою середньорічною кількістю публікацій на чорнобильську тематику представлено такі:

- медицина та медичні науки;
- біологічні науки;
- енергетика та радіоелектроніка;
- сільське та лісове господарство;
- науки про Землю;
- охорона природи;
- економіка та економічні науки;
- культура, наука, освіта;
- соціологія та демографія;
- держава і право, юридичні науки.

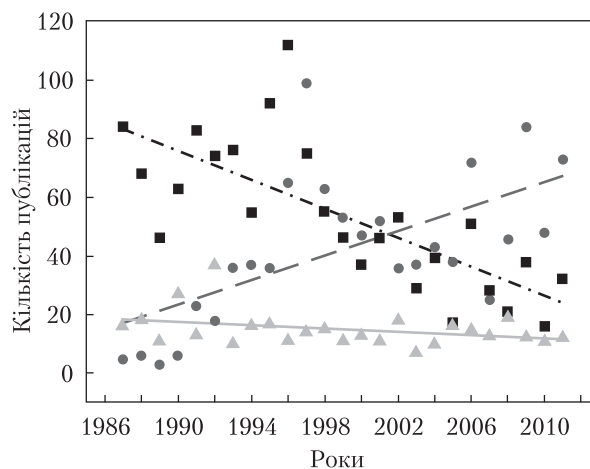
Порівнюючи наведені списки домінантних дисциплін, легко помітити, що вони значною мірою перекриваються: як українська, так і світова наука відчуває важливість



чорнобильської тематики для медицини, енергетики, наук про довкілля тощо. З іншого боку, за даними «Україніки наукової», у десятку потрапили такі галузі науки, як соціологія та демографія, культура й освіта. Звісно, публікації такого спрямування знаходимо і в базі «Scopus», проте в «Україніці науковій» їхня частка більша. І це природно, адже найбільший вплив на повсякденне життя людей аварія мала саме в межах України. Тому не дивно, що в українській базі також є публікації з мистецтвознавства, філософії та психології, а також — історії, політики тощо.

Аналізуючи рис. 2, знову спостерігаємо згадані вище два виразні максимуми в роки, відзначені круглими датами після аварії: у 1996 і 2006 рр. З цього випливає важливий висновок про відсутність чіткої тенденції до спадання кількості публікацій на чорнобильську тематику. Опрацьовуючи середньорічну кількість публікацій серед домінантних дисциплін (дані зі «Scopus» і «Україніки наукової»), бачимо, що медицина є безумовним лідером серед наукових галузей. Щобільше, за версією «Україніки наукової», медицина значно випереджає інші дисципліни: середньорічне значення для медицини становить 58, для наступної за кількістю публікацій біології — 13, а для інших дисциплін — приблизно 6,5. Значний масив даних із бази «Scopus» дає змогу простежити динаміку середньорічної кількості публікацій для кожної з наукових галузей. Для більшості дисциплін вона є приблизно сталою, тобто коливається на певному рівні (це справедливо також для даних із «Україніки наукової»). Можна, проте, виділити такі дисципліни, для яких характерне спадання або ж, навпаки, зростання інтересу до чорнобильської тематики.

На рис. 3 показано приклади таких галузей, як енергетика, біохімія, генетика, хімія, для яких лінійна апроксимація демонструє характерну тенденцію. Можливо, різна динаміка зумовлена тим, що для деяких дисциплін необхідний певний проміжок часу, щоб проявилися ті чи інші наслідки аварії.



**Рис. 3.** Приклади дисциплін, для яких спостережено різну тенденцію опублікування робіт на чорнобильську тематику (за версією бази даних «Scopus»). Символами позначено щорічне число публікацій, лініями — відповідні лінійні апроксимації: енергетика (■; штрих-пунктир); біохімія, генетика та молекулярна біологія (●; пунктир); хімія (▲; суцільна)

Крім того, можна припускати, що прикладні галузі можуть швидше «реагувати» на виникнення проблем, ніж фундаментальні.

Підсумовуючи результати аналізу «дисциплінарного ландшафту», доходимо таких висновків:

- на сьогодні не спостережено зменшення наукового інтересу до чорнобильської тематики;
- поряд із домінантними медициною чи науками про навколишнє середовище є такі наукові галузі, у яких лише починається активний розвиток напрямів досліджень, пов'язаних із наслідками аварії на ЧАЕС (наприклад, генетика, фізика);
- українські науковці досліджують чорнобильську тематику не лише в таких універсальних сферах, як медицина, біологія чи енергетика, але й у специфічних — історія, культура, мистецтво, політика тощо;
- проаналізувавши активність опублікування наукових робіт, що стосуються аварії на Чорнобильській АЕС, упродовж 1986–2010 рр., легко відзначити два максимуми, що відповідають 10 та 20 річницям трагедії. Це дає змогу передбачати наступний пік у 2011 р.

АНАЛІЗ ДАНИХ:  
МІЖНАРОДНА СПІВПРАЦЯ

Цікаво порівняти науковий інтерес до обраної тематики у світі та в Україні. Наступний крок — визначення внеску кожної окремої країни в дослідження цієї проблеми. Для того щоб проаналізувати географію «чорнобильських» публікацій, достатньо мати дані про їхніх авторів. На жаль, «Україніка наукова» не містить ані поштових адрес, ані назв установ, де працюють автори матеріалів. На основі вибіркового перегляду даних, а також зважаючи на переважно українську та російську мови публікацій і на те, що саму базу підтримує Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, можна припускати, що більшість публікацій має українське походження. Оцінити частку українських робіт, доступних для всього наукового світу, можна на основі даних зі «Scopus», що є більш детальними та містять інформацію про авторів.

Станом на березень 2011 р. із 8186 документів, знайдених у базі «Scopus», 5894 використано для вивчення питання співавторства публікацій на чорнобильську тематику<sup>3</sup>. Зручні методи для аналізу великої кількості таких даних пропонує теорія складних мереж. Перш ніж описати їх застосування, надамо коротку довідку про методи аналізу складних мереж.

Теорія складних мереж — це порівняно новий науковий напрям, що утворився на межі фізики складних систем і математичної теорії графів. Однією з характерних рис фізики складних систем є застосування фізичних методів досліджень (насамперед статистичної фізики й теорії фазових переходів) для вивчення нефізичних об'єктів [6–8]. Іншим компонентом науки про складні мережі є теорія випадкових графів (див., наприклад, [9, 10]), у якій відбулася власна еволюція об'єкта досліджень від класичного

випадкового графа Ердоша – Рені (Erdős – Rényi), де задана кількість ребер розподілена довільно та незалежно між парами із заданої кількості вершин, до складних мереж, топологія яких не є ані цілком регулярною, ані цілком випадковою [11]. Для останніх, побудованих на основі реальних даних (першими в цьому напрямі були дослідження соціальних мереж), було визначено ступені законів розподілу величин і запропоновано модель зміни мереж у часі — еволюції (див., наприклад, [12]). Перед тим як перейти до опису інструментарію теорії складних мереж, необхідно дати визначення самої мережі. Мережа (network) — це сукупність вузлів, що з'єднані зв'язками. Відмінність теорії графів і теорії складних мереж полягає в тому, що метою досліджень першої є аналіз невеликих графів, властивостей їхніх окремих вершин і ребер; друга ж розглядає статистичні властивості значно складніших графів, які прийнято називати мережами [11].

Досліджуючи складну мережу, розраховують набір стандартних величин [11–15], деякі з яких характеризують окремі вузли, інші — описують мережу в цілому. Найпростішою локальною характеристикою вузла мережі  $i$  є його ступінь (degree)  $k_i$ , який визначають як кількість приєднаних до вузла зв'язків:

$$k_i = \sum_j a_{ij},$$

де  $a_{ij}$  — кількість зв'язків, що сполучають вузол  $i$  та кожен вузол  $j$  із числа його найближчих сусідів. Так, у мережі міжнародної співпраці (кожен окремий вузол відповідає певній країні, а зв'язок між двома вузлами означає наявність спільної публікації в авторів із двох країн) ступінь вузла визначає коло країн, науковці яких є співавторами відповідного матеріалу. Середній ступінь  $\langle k \rangle$  є вже характеристикою всієї мережі, його розраховують як середнє арифметичне ступенів усіх вузлів.

Щоб охарактеризувати «лінійний розмір» мережі, можна використати поняття середнього  $\langle l \rangle$  і максимального  $l_{\max}$  (його ще називають діаметром мережі) із найкоротших

<sup>3</sup> Не всі записи про публікації містять необхідну інформацію: замість адрес авторів подають, наприклад, назву організації, за якою часто важко визначити географічну належність публікації.

шляхів [11, 13–15]. Для зв'язаної мережі з  $N$  вузлів середній найкоротший шлях визначають так:

$$\langle l \rangle = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i>j} l_{ij},$$

де  $l_{ij}$  — довжина найкоротшого шляху між вузлами  $i$  та  $j$ . Максимальний найкоротший шлях — це найбільше значення з усіх  $l_{ij}$  для цієї мережі.

Локальною характеристикою окремого вузла  $m$  є коефіцієнт кластерності  $C_m$ , який визначають як відношення наявної кількості зв'язків між його найближчими сусідами  $E_m$  до максимально можливої кількості таких зв'язків:

$$C_m = \frac{2E_m}{k_m(k_m - 1)}.$$

Коефіцієнт кластерності всієї мережі  $C$ , що є середнім арифметичним значенням  $C_m$  за всіма вузлами, характеризує тенденцію до утворення взаємозв'язаних груп вузлів. Коефіцієнт кластерності будь-якого з вузлів дерева дорівнює нулю, а для довільного вузла повністю зв'язаної мережі (поняття, еквівалентне повному графу) це значення буде рівним одиниці. Величина  $C$  відображає ймовірність зв'язку між двома випадково взятими найближчими сусідами вузла, а також містить інформацію про наявність у мережі циклів-«трикутників» (із трьома вершинами). Цикли — це специфічна форма кореляції в мережах. Для реальних мереж, зокрема соціальних, характерні високий рівень скорельованості та велике значення  $C$  [11, 13–15]. Значення коефіцієнта кластерності реальних мереж часто порівнюють із  $C_r$  — коефіцієнтом кластерності еквівалентного випадкового графа, який має такі самі, як і мережа, значення  $N$  (кількість вершин) і  $L$  (кількість ребер). Його розраховують за такою формулою [11]:

$$C_r = \frac{2L}{N^2}.$$

Однією з найважливіших характеристик мережі є розподіл ступенів її вузлів  $P(k)$ , який визначають як ймовірність того, що вузол  $i$  має ступінь  $k_i = k$ . Мережі з різними за-

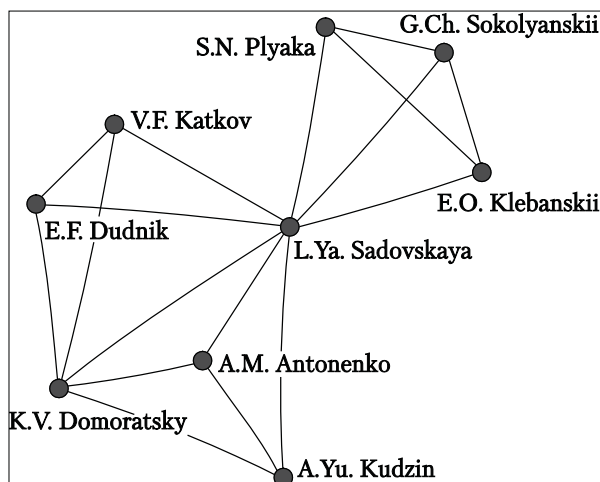
лежностями  $P(k)$  демонструють цілком відмінну поведінку (подібно до класів універсальності у фізиці критичних явищ) [11–15]. Найчастіше розподіли ступенів вузлів  $P(k)$  апроксимуються розподілами Пуассона, експоненційним і степеневим. Ті мережі, для яких  $P(k)$  описують за степеневою функцією, називають безмасштабними (scale-free) [11]. Як показує емпіричний аналіз, реальні мережі часто є саме безмасштабними. Якщо  $P(k)$  є степеневим розподілом:

$$P(k) \sim \frac{1}{k^\gamma}, \quad k \gg 1,$$

то це вказує на можливість існування в такій мережі вузлів із дуже високим ступенем, які ще називають габами (hubs). Вони надають безмасштабним мережам особливих властивостей.

Різноманітні алгоритми на мережах дають змогу згрупувати дані за ступенем їхньої близькості або ж навпаки — виявити, наскільки вони віддалені. Мережі є також чудовим засобом візуалізації даних, що робить їх зручними для сприйняття. Для кожної конкретної мережі встановлені абстрактні значення наведених вище величин мають свою інтерпретацію. Наприклад, ступінь вузла в мережі знайомств, де вузли позначають людей, а зв'язки поєднують знайомих осіб (це приклад соціальної мережі [17]), буде визначати рівень комунікабельності особи (коло її знайомих); у мережі співавторства [18], де вузли — це автори, а зв'язки — їхні спільно опубліковані праці (рис. 4), ступінь вузла вказує на число співавторів обраного автора (за умови, що всі зв'язки рівнозначні).

Середній найкоротший шлях між парою довільних вузлів у мережі громадського транспорту, де вузли — це зупинки, а зв'язки виникають за наявності сполучення між зупинками, визначає середню довжину маршруту, що з'єднає дві довільні зупинки [19]; у мережі веб-ресурсів (вузли — веб-ресурси, зв'язки — гіпертекстові переходи між ними) — середню кількість кліків, які потрібно зробити, щоб потрапити з однієї веб-сторінки на



**Рис. 4.** Фрагмент мережі співавторства журналу «Condensed Matter Physics» ([www.icmp.lviv.ua](http://www.icmp.lviv.ua)). Візуалізацію здійснено за допомогою програмного пакета Pajek [16]

будь-яку іншу [20]. Отже, досліджуючи складні мережі будь-якого виду, потрібно насамперед визначити набір стандартних величин для абстрактної мережі.

Як вузли мережі, так і її зв'язки можуть асоціюватися з певним ваговим коефіцієнтом. Його значення можна інтерпретувати по-різному, наприклад, чим більший ступінь вузла, тим більша його «вага». Візуально це можна відобразити більшим розміром кружечка. Роль зв'язку найчастіше асоціюють із кратністю, тобто кількістю зв'язків між однією і тією ж парою вузлів<sup>4</sup>. Мережі, у яких враховано кількість кратних зв'язків, називають зваженими. І навпаки, у незваженій мережі всі зв'язки рівнозначні. Наприклад, у незваженій мережі співавторства зв'язок між парою авторів виникає, коли вони опублікували хоча б одну спільну роботу.

Окрім перелічених, відомо багато інших параметрів і характеристик складних мереж, які можна розраховувати для різних видів мереж. Алгоритми, які працюють з математичними мережами та графами, дають змогу знайти найкоротші шляхи між парами вузлів

<sup>4</sup> Роль зв'язку може бути схарактеризована й по-іншому, вона, наприклад, може визначати пропускну спроможність каналу в мережі розподілення ресурсів.

(публікацій або авторів), виявити ступінь зв'язності і скорельованості мережі, з'ясувати кількість компонент зв'язності тощо.

На основі зібраних даних побудовано ряд незважених мереж співпраці (детальнішу інформацію про ці мережі та їх зображення наведено в [21]). Країни в цих мережах представлені вузлами, а кожен зв'язок між парою вузлів означає наявність хоча б однієї публікації, підготованої співавторами з двох відповідних країн. Наведемо кількісні характеристики побудованої мережі співпраці: кількість вузлів  $N = 91$ , кількість зв'язків  $L = 546$ , середній і максимальний ступені вузлів  $\langle k \rangle = 12$  і  $k_{\max} = 42$ , середній коефіцієнт кластерності  $C = 51$ , його відношення до коефіцієнта кластерності еквівалентного випадкового графа  $C/C_r = 3,8$ , середній і найдовший із найкоротших шляхів  $\langle l \rangle = 2,1$  і  $l_{\max} = 5$  відповідно. На основі викладеного бачимо, що середня кількість країн-співавторів у публікаціях на чорнобильську тематику становить 12, а максимальний авторський колектив включає 42 дослідники. Ця мережа слабо-скорельована (невелике значення коефіцієнта кластерності  $C$ ), проте досить «компактна» — характеризується невеликими діаметром ( $l_{\max}$ ) і середньою найкоротшою відстанню між довільною парою вузлів  $\langle l \rangle$ .

Публікації за 1986–2011 рр. належать авторам із 91 країни (зокрема, з деяких автономних держав у складі інших, наприклад з Фарерських островів). У мережі 19 ізольованих вузлів. Отже, згідно із зібраними даними, ці країни не співпрацювали з іншими державами у справі публікування матеріалів на чорнобильську тематику. Поява таких вузлів зумовлена різними факторами, наприклад, поодинокими публікаціями специфічного спрямування, які становлять інтерес саме в певній місцевості (так, вузол Нігерії виник завдяки статті «Radionuclide contents in food products from domestic and imported sources in Nigeria»<sup>5</sup> про продукти

<sup>5</sup> Jibiri N.N., Okusanya A.A. // Journal of Radiological Protection. — 2008. — V. 28(3). — P. 405–413.



харчування, імпортовані до цієї країни); історичними обставинами, що спричинили зміну назви країни, її розпад чи зникнення з політичної карти (приклад — статті з колишньої Чехословаччини) тощо.

Цікавим прикладом ізольованого вузла є колишній Радянський Союз. Незважаючи на те що саме на його теренах сталася Чорнобильська аварія, зібрані дані свідчать про відсутність співпраці СРСР та інших країн. Мабуть, головною причиною цього була ізольованість радянської науки від решти світу. З розпадом Союзу його колишні республіки (зокрема й Україна), що стали незалежними, активно долучилися до процесу міжнародної наукової співпраці.

Перш ніж розпочати аналіз мережі співпраці, наведемо перелік країн, що мали найширше коло міжнародного співробітництва: США — 42 країни-співавтори; Німеччина — 42; Росія — 41; Україна — 40; Велика Британія та Франція — 38. П'ятірка країн-лідерів за загальною кількістю опублікованих робіт: Росія — 1082; США — 806; Україна — 756; Велика Британія — 628; Німеччина — 593.

Звичайно, для об'єктивного порівняння внеску різних країн варто було б унормувати результати роботи їхніх науковців у сфері опублікування статей на відповідну тематику. Скажімо, проектування кількості публікацій на кількість населення країни дещо змінює позиції в списку: на першому місці опиняється Україна, а далі (у порядку зменшення показника) — Велика Британія, Росія, Німеччина, США.

У побудованій мережі співпраці всі вузли, крім згаданих 19 ізольованих, належать до однієї компоненти зв'язності, у межах якої будь-яка пара вузлів є взаємодосяжною. Вивчення еволюції цієї компоненти в часі дало змогу побачити картини співпраці в різних часових зрізах [21]. Протягом 20 років кластер співпраці поступово зростав: у 1991 р. до нього входило лише 10 країн, у 1996 р. — 42, у 2006 р. — 56, а станом на 2011 р. (через 25 років після аварії) — 72 країни, тісно пов'язані

спільними дослідженнями на чорнобильську тематику.

На перший погляд може здатися дивним, що Україна з'являється в складі кластера тільки 1991 р., проте саме цього року відбувся розпад СРСР і Україна стала незалежною державою. Безперечно, українські вчені (тоді ще представники радянської науки) працювали над зазначеною проблематикою від самого початку. Це можна сказати й про науковців інших країн. Наприклад, помітний зв'язок співавторства між Югославією та Словенією: до відокремлення Словенії її внесок був частиною внеску Югославії, проте ситуація змінилась після 1991 р.

Отже, «географія» науковців, які працюють над чорнобильською тематикою, достатньо широка. Очевидно, що найбільший внесок зробили розвинені держави, які працюють на передньому фронті науки, а також країни, причиною активності яких стала географічна близькість до місця аварії. З плином часу, коли наслідки аварії стали менш очевидними на перший погляд, але відчутними й для більш віддалених регіонів, науковий інтерес до проблеми не тільки не згас, а й вплинув на розширення кола міжнародної співпраці.

## ВИСНОВКИ

Підсумуємо одержані результати аналізу даних про публікації на чорнобильську тематику у вигляді таких тез:

- інтерес до досліджень у цій сфері не згасає (інтенсивність опублікування статей має, радше, періодичний характер);
- «дисциплінарний ландшафт» проблематики з часом змінюється: поряд із галузями науки, що незмінно в ньому домінують, як-от медицина, енергетика чи науки про навколишнє середовище, з'являються публікації на зазначену тему в галузі фізики, генетики тощо;
- в Україні розвиваються специфічні аспекти проблеми — історичні, культурні, політичні і т.д.;
- якщо розглянути масив тематичних публікацій з погляду міжнародної співпраці,

то можна виділити групу країн, що пов'язані між собою зв'язками співавторства, а також невелику частку ізольованих вузлів (припускаємо ряд причин їх виникнення).

Наступне завдання дослідження — аналіз поширення чорнобильської тематики в засобах масової інформації й порівняння одержаних результатів. Продовженням розпочатих досліджень міг би бути також так званий контент-аналіз з метою виділення найвагоміших термінів, що описують цю проблематику, виявлення їх розподілу за різними галузями науки.

Здійснений аналіз у жодному разі не має на меті визначити якість публікацій на тему Чорнобильської аварії, він лише показує статистику їх виходу. Пропоновані підходи можна застосувати для аналізу будь-якої іншої наукової тематики незалежно від її суті.

*Дослідження проведено в межах проектів: «Наукометрія: кількісний підхід до соціальних явищ» (ДКНІІ України — Міністерство досліджень і науки, Австрія) та «Динаміка і кооперативні явища в складних фізичних і біологічних середовищах» (7-ма Рамкова угода, Call: FP7-PEOPLE-2010-IRSES). Автори висловлюють вдячність Алесі Зуккалі (Центр наукових та технологічних досліджень Університету Ляйдена) за можливість ознайомитися з її статтею [3] ще до опублікування.*

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. He Q., Chen B., Pei J. et al. Detecting Topic Evolution in Scientific Literature: How Can Citations Help? // CIKM'09. Proceedings of the 18<sup>th</sup> ACM conference on information and knowledge management (2–6 November 2009, Hong Kong, China). — New York: ACM, 2009. — P. 957–966.
2. Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2003 році. Ч. 2. — К., 2004. — 145 с.; Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2005 році. Ч. 2. — К., 2006. — 181 с.; Наука у вищих навчальних закладах III–IV рівнів акредитації Міністерства освіти і науки України. Інформаційні матеріали до Міжгалузевої наради з питань розвитку науки у вищих навчальних закладах України (21 грудня 2006 р., Київ, Україна) / за ред. міністра освіти і науки України проф. С.М. Ніколаєнка.
3. Zuccala A., van Eck N.J. Poverty Research in a Development Policy Context // Dev. Policy Rev. — 2011. — V. 29, N. 3. — P. 311–330.
4. Content Coverage Guide // www.info.sciverse.com/scopus/scopus-in-detail/facts.
5. Рубрикатор Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського // www.nbuv.gov.ua/db/rubr.html.
6. Somette D. Critical Phenomena in Natural Sciences. Chaos, Fractals, Selforganization and Disorder: Concepts and Tools. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2000. — 434 p.
7. Олемской А.И. Синергетика сложных систем. Феноменология и статистическая теория. — М.: Красанд, 2009. — 379 с.
8. Stauffer D. Grand unification of exotic statistical physics // Physica A. — 2000. — V. 285, N 1–2. — P. 121–126.
9. Алексеев В.Е., Таланов В.А. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений. — М.: ИНТУИТ, 2006. — 320 с.
10. Jungnickel D. Graphs, Networks and Algorithms: 3<sup>rd</sup> Edition. — Berlin, Heidelberg: Springer, 2008. — 650 p.
11. Головач Ю., Олемской О., фон Фербер К. та ін. Складні мережі // Журнал фізичних досліджень. — 2006. — Т. 10, № 4. — С. 247–289.
12. Dorogovtsev S.N., Mendes J.F.F. Evolution of networks // Adv. Phys. — 2002. — V. 51, N 4. — P. 1079–1187.
13. Newman M.E.J. The Structure and Function of Complex Networks // SIAM Review. — 2003. — V. 45, N 2. — P. 167–256.
14. Dorogovtsev S.N., Mendes J.F.F. The shortest path to complex networks // arXiv:cond-mat/0404593.
15. Albert R., Barabási A.-L. Statistical mechanics of complex networks // Rev. Mod. Phys. — 2002. — V. 74, N 1. — P. 47–97.
16. Batagelj V., Mrvar A. Pajek: A Program for Large Network Analysis // Connections. — 1998. — V. 21, N 2 — P. 47–57.
17. Jin E.M., Girvan M., Newman M.E.J. Structure of growing social networks // Phys. Rev. E. — 2001. — V. 64, N 4. — P. 046132.
18. Newman M.E.J. Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration // PNAS. — 2004. — V. 101, Suppl. 1. — P. 5200–5205.
19. von Ferber C., Holovatch T., Holovatch Yu., Palchykov V. Network harness: Metropolis public transport // Physica A. — 2007. — V. 380. — P. 585–591.
20. Albert R., Jeong H., Barabási A.-L. Internet: Diameter of the World-Wide Web // Nature. — 1999. — V. 401, N 6749. — P. 130–131.
21. Мрилгод О., Головач Ю. Препринт Інституту фізики конденсованих систем НАН України // http://www.icmp.lviv.ua/sites/default/files/preprints/pdf/1112U.pdf.

*О.И. Мрыглод, Ю.В. Головач*

Институт физики конденсированных систем  
Национальной академии наук Украины  
ул. Свенцицкого, 1, Львов, 79011, Украина

РЕАКЦИЯ НАУЧНОГО СООБЩЕСТВА  
НА ЧЕРНОБЫЛЬСКУЮ АВАРИЮ:  
АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕМАТИКИ ПУБЛИКАЦИЙ

Наука как разновидность человеческой деятельности, имеющая своей целью получение нового знания, сама по себе тоже может быть рассмотрена как объект изучения. Такое утверждение лежит в основе так называемой «науки о науке» — наукометрии. В данной работе представлены результаты наукометрического исследования, целью которого было проанализировать, как научное сообщество реагирует на определенное событие, то есть как выглядит эволюция определенной научной тематики. На основе информации из реферативных баз данных «Scopus» и «Україніка наукова» были проанализированы данные о научных публикациях, освещающих проблему Чернобыльской аварии и ее последствий. Была изучена активность публикаций работ на чернобыльскую тематику в период от 1986 и до 2011 гг., вклад ученых из разных стран, тематический спектр исследований.

*Ключевые слова:* наукометрия, сложные системы, реферативные базы.

*O.I. Mryglod, Yu.V. Holovatch*

Institute for Condensed Matter Physics  
of National Academy of Sciences of Ukraine  
1 Svientsitskii Str., Lviv, 79011, Ukraine

REACTION OF THE ACADEMIC COMMUNITY  
ON CHORNOBYL DISASTER:  
ANALYSIS OF PUBLICATION TOPICS DYNAMICS

In our study we analyze how does an academic community react on a particular urgent task which abruptly arises and poses also scientific problems. To this end, we have chosen to examine a body of research strictly concerning Chernobyl disaster that occurred on 26 April 1986. We analyzed data about the papers that appeared in scientific journals since 1986 using the Scopus database and the Ukrainian bibliographic database Ukrainika Naukova. In order to quantify our analysis, we measured distribution of papers between different scientific fields, constructed coauthorship network and defined its main characteristics, calculated growth rates of research in different fields. In particular, our analysis allows to compare contribution of the international community to the Chernobyl-related research as well as integration of Ukraine in the international research on this subject.

*Keywords:* scientometrics, complex systems, abstract databases.

Стаття надійшла 17.10.2011 р.