

Препринти Інституту фізики конденсованих систем НАН України розповсюджуються серед наукових та інформаційних установ. Вони також доступні по електронній комп'ютерній мережі на WWW-сервері інституту за адресою <http://www.icmp.lviv.ua/>

The preprints of the Institute for Condensed Matter Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine are distributed to scientific and informational institutions. They also are available by computer network from Institute's WWW server (<http://www.icmp.lviv.ua/>)

Олеся Ігорівна Мриглод
Юрій Васильович Головач

РЕАКЦІЯ НАУКОВОЇ СПІЛЬНОТИ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКУ АВАРІЮ: АНАЛІЗ
РОЗВИТКУ ТЕМАТИКИ ПУБЛІКАЦІЙ

Роботу отримано 15 грудня 2011 р.

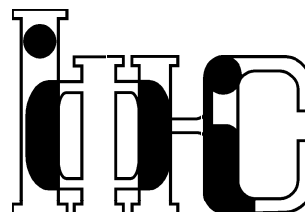
Затверджено до друку Вченою радою ІФКС НАН України

Рекомендовано до друку відділом статистичної теорії конденсованих систем

Виготовлено при ІФКС НАН України

© Усі права застережені

Національна академія наук України



ІНСТИТУТ
ФІЗИКИ
КОНДЕНСОВАНИХ
СИСТЕМ

ICMP-11-12U

О.Мриглод, Ю.Головач

РЕАКЦІЯ НАУКОВОЇ СПІЛЬНОТИ НА ЧОРНОБИЛЬСЬКУ
АВАРІЮ: АНАЛІЗ РОЗВИТКУ ТЕМАТИКИ ПУБЛІКАЦІЙ

ЛЬВІВ

УДК: 31:02; 519.1; 621.039.5

PACS: 01.30.-y, 02.10.Ox, 28.41.-i

Реакція наукової спільноти на чорнобильську аварію: аналіз розвитку тематики публікацій

О. Мриглюд, Ю. Головач

Анотація. У даній 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 із реферативних баз даних “Scopus” та “Україніка наукова” було проаналізовано дані про наукові публікації, що обговорюють проблему Чорнобильської аварії та її наслідків. Було вивчено активність опублікування робіт із чорнобильської тематики від 1986 і до 2010 року, вклад науковців із різних країн, тематичний спектр досліджень.

Reaction of the academic community to Chornobyl disaster: analysis of publication topics dynamics

O.Mryglod, Yu.Holovatch

Abstract. 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 Chornobyl 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 Chornobyl-related research as well as integration of Ukraine in the international research on this subject.

Подается в Вісник НАН України

Submitted to Bull. Nat. Acad. Sci. of Ukraine

© Інститут фізики конденсованих систем 2011
Institute for Condensed Matter Physics 2011

Вступ

Виявлення та виокремлення наукових тематик – важливе та актуальне завдання сьогодення. З одного боку, чисто наукознавчий інтерес викликає завдання виділення окремих напрямків наукових досліджень, а отже – ідентифікація так званої структури науки. З іншого боку, задача класифікації наукових публікацій має достатньо широке практичне застосування: при опрацюванні результатів інформаційного пошуку, у завданнях окреслення тематичного спектру наукових періодичних видань та автоматизації редакційної роботи над рукописами, для тематичного позиціонування окремих авторів та авторських колективів у науковій спільноті, зрештою – для пошуку нових напрямків у науці та виявлення серед них найбільш перспективних (так званих “hot topics” або “emerging topics”). Серед такого кола задач можна також виділити проблему вивчення розвитку наукових тематик в контексті тієї чи іншої країни або ж певного регіону, а також – співставлення сценаріїв розвитку однієї і тієї ж тематики в умовах різних національних наукових спільнот, а також в світовому масштабі [1]. Прослідкувавши еволюцію певної наукової тематики – від його зародження, становлення і аж до згасання або ж злиття з іншими напрямками – можна визначити ключові постаті науковців в цій області, найважливіші опубліковані результати. Методи виявлення коренів тієї чи іншої наукової задачі могли б успішно доповнити існуючі методи інформаційного пошуку та послужити компасом у величезному океані публікацій для науковців, що лише розпочинають своє дослідження.

1. Постановка задачі та збір даних

У цій роботі ми поставили за мету прослідкувати розвиток конкретної теми у науці. З огляду на те, що однією з найбільш визнаних форм втілення наукового результату є опубліковані роботи, поставлена задача звелась до аналізу потоку наукових публікацій та виявлення таких, що належать до заданого тематичного напрямку. В ході дослідження ми спробували відповісти на ряд запитань:

- Чи можна визначити, на якому етапі свого розвитку знаходяться дослідження на задану тему, зокрема, констатувати “зростання” чи “спад”?
- Як виглядає “дисциплінарний ландшафт”, тобто в рамках яких дисциплін ця тема найбільш активно досліджується?
- Який науковий вклад вчених із різних країн у дослідження певної тематики та як можна охарактеризувати його масштаб: чи ця тема

актуальна лише в певному географічному регіоні чи активно досліджується і на міжнародному рівні?

В якості досліджуваної тематики було обрано коло проблем, що пов'язані із аварією на Чорнобильській АЕС у 1986 році. Такий вибір має свою особливість: тематика є відносно вузькою, має фіксований початок в часі (26 квітня 1986 року) та, попри відповіді на вище сформульовані запитання, дає змогу охарактеризувати реакцію наукової спільноти на конкретну подію, яка мала вплив також у соціальній, економічній, технологічній та інших сферах. З іншого боку, можна відразу дати інтуїтивну відповідь щодо масштабу обраної проблематики. Очевидно, що зацікавленість Чорнобильською тематикою мала б, з одного боку, залежати від географічної віддаленості тієї чи іншої країни. З іншого боку, категорія аварії та значущість її наслідків підвищують її до міжнародного рівня. Очевидно, що найбільша активність очікується від науковців з України або ж території колишнього Радянського союзу.

Об'єктом нашого аналізу стали дані про публікації з чорнобильської тематики, зібрані за допомогою реферативних баз даних. Для того, щоб одержати інформацію про наукові публікації у світовому масштабі, було використано базу даних "Scopus" (www.scopus.com), яка, поряд із Web of Science, є однією з найавторитетніших наукових реферативних баз даних. Scopus містить дані про близько 45,5 мільйонів рецензованих публікацій із понад 19,5 тис. міжнародних наукових видань. Проте публікації українських науковців наразі лише частково відображені у таких загальновищаних базах як Scopus чи Web of Science. Наприклад, згідно із даними, наведеними у звітах НАН та МОН України [2], загалом українськими науковцями у 2003 році було опубліковано більше 124 тисяч наукових статей, у 2005 – більше 150 тисяч. Проте в результаті пошуку українських публікацій у базі Scopus знаходимо лише близько 4600 статей за 2003 рік та близько 4800 статей – за 2005. Отже, частка наукових публікацій з України у базі Scopus, не перевищує 5 %. Таким чином, для повнішого аналізу вкладу українських вчених у дослідження проблеми Чорнобиля ми вирішили використати також реферативну базу даних "Україніка наукова" (www.nbuv.gov.ua/db/ref.html), що підтримується Національною бібліотекою України ім. В.І. Вернадського та, як показують результати вибіркового аналізу, в основному, надає інформацію про публікації вчених з України.

Пошук у базі даних Scopus проводився англійською мовою за таким запитом: "Chornobyl OR Chornobyl' OR Chernobyl OR Chernobyl'", що включає різні варіанти написання латинкою назви "Чорнобиль". Станом на березень 2011 року було знайдено більше 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 у назві

є більш точним – його результати є найбільш релевантними до запиту [3]. Проте відносна вузькість вибраної тематики дає можливість використати менш чіткі умови та одержати більшу кількість результатів. Той факт, що лише 19 із знайдених документів були опубліковані перед 1986 роком, свідчить про те, що основна кількість робіт стосується саме аварії і лише у невеликій кількості публікацій Чорнобиль згадується з інших причин (наприклад, стосуються технологічних аспектів та загальних проблем, що стосуються атомних електростанцій). З іншого боку, описаний вище спосіб відбору не враховує статей, що за змістом можуть бути віднесені до релевантних, проте не згадують назви Чорнобиля явно (автоматично врахувати такі статті наразі неможливо).

Пошуковий запит для бази "Україніка наукова" включав різні способи написання назви "Чорнобиль" латинкою, українською та російською мовами (включаючи різні відмінки): "ЧАЕС, Чорнобиль, Чорнобиля, Чорнобилю" і т.д.. З огляду на значно менший розмір бази даних та покриття лише публікацій, опублікованих не раніше 1996 року, кількість знайдених документів (березень 2011 року) була набагато меншою – всього 1411.

На Рис. 1 та 2 зображено розподіл кількості публікацій за роками згідно із даними баз Scopus та "Україніка наукова", відповідно. Очевидно, що просто порівняти між собою ці рисунки не можна, адже для цих баз даних відрізняються як загальна кількість записів, так і охоплення за роками.

На Рис. 3 показано ці ж результати, але з врахуванням даних лише за 1997–2010 роки, причому кожне значення нормоване на сумарну кількість знайдених публікацій у відповідній базі даних за цей період. Вже здійснивши перший крок, можна помітити схожість ситуації з науковими публіка-

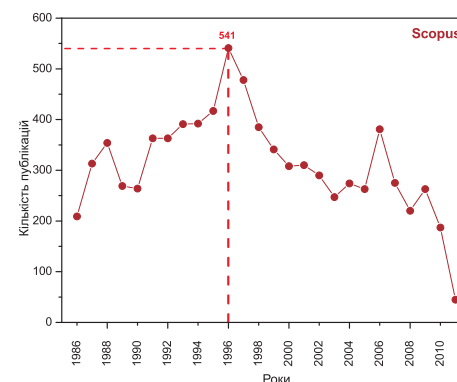


Рис. 1. Розподіл кількості публікацій із Чорнобильської тематики за роками у базі даних Scopus.

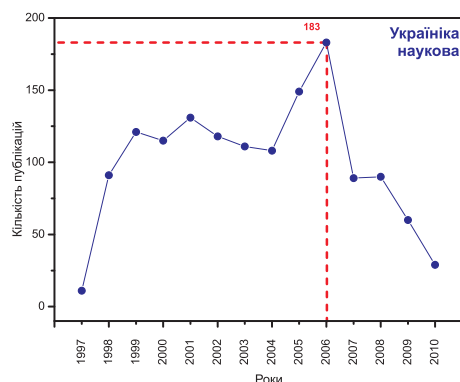


Рис. 2. Розподіл кількості публікацій із Чорнобильської тематики за роками у базі даних “Україніка наукова”.

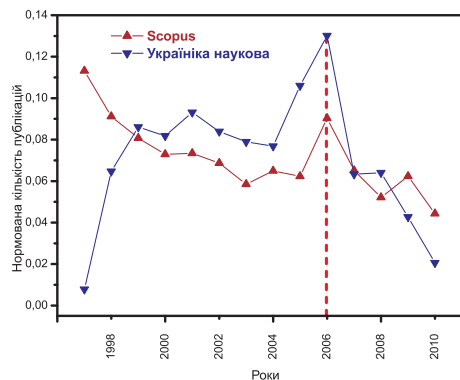


Рис. 3. Нормований розподіл кількості публікацій із Чорнобильської тематики за роками (1997–2010) у базах даних Scopus (трикутники вгору) та “Україніка наукова” (трикутники донизу).

ціями на тему Чорнобиля на світовому рівні та у локальному масштабі. На жаль, обмежена кількість даних не дає змоги оцінити всієї картини, проте на обох графіках бачимо виразні піки, що відповідають за збільшення кількості тематичних наукових публікацій у 2006 році, 20 років після аварії¹. Із Рис. 1 можна побачити, що такий же ефект спостерігався і в 1996 ро-

¹ Цей ефект можна порівняти із 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 спонтанних дій (див., напр., в он-лайн словнику медичної термінології: <http://medconditions.net/anniversary-reaction.html>).

ці (10 річниця). Можна припустити, що ситуація повториться і протягом 2011 року, коли 25 років після Чорнобильської аварії трагедія повторилася у Японії. Мінімальні значення на кінцях графіків, очевидно, є наслідком неповноти даних через технічні причини (початок функціонування бази; не остаточні дані за поточний та попередній роки).

2. Аналіз даних: “дисциплінарний ландшафт”

Як Scopus, так і “Україніка наукова” пропонують власні засоби для розподілу результатів пошуку за дисциплінами². Класифікація документів за тематичним напрямком, в основному, базується на експертному аналізі. Наприклад, кожне нове видання, що потрапляє у 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) та науки про живе (Life Sciences) [4]. Відповідно до цих індексів класифікуються й усі публікації видання. Аналогічно, усі документи, що реферуються в базі “Україніка наукова”, одержують індекс рубрикатора НБУВ, що працює із 28 розділами та великою кількістю підрозділів [5]. Таким чином, при використанні доступних засобів групування наукових публікацій за дисциплінами, пам'ятаємо про те, що кожна класифікація не є універсальною.

Щоб мати змогу порівняти результати роботи з обома базами, у випадку “Україніка наукова” ми враховували належність публікацій лише до розділів, не вдаючись до більш детального поділу. Скажімо, якщо стаття мала індекси: 347-082.03, P128.37я8, P361.0, то відносили її до двох розділів: “Енергетика. Радіоелектроніка” (З) та “Медицина. Медичні науки” (Р), а отже – збільшували на одиницю кількість статей в обидвох категоріях.

Для обох наборів даних ми оцінювали розподіл публікацій за домінуючими дисциплінами, беручи до уваги десять наукових напрямків, до яких було віднесено найбільшу кількість документів. У випадку даних зі Scopus, до цієї десятки ввійшли (Рис. 4):

- Медицина (Medicine);
- Науки про навколишнє середовище (Environmental Science);
- Енергетика (Energy);
- Фізика та астрономія (Physics and Astronomy);

² Важливо пам'ятати про те, що одна стаття може відноситись як до однієї галузі науки, так і до кількох одночасно!

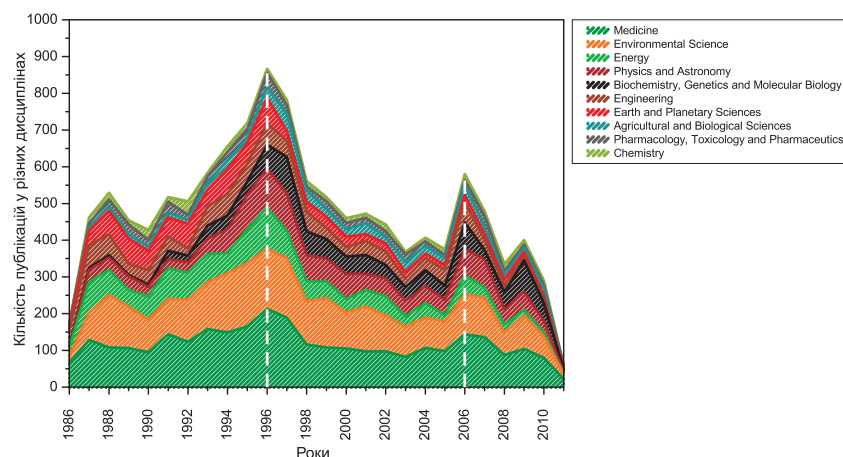


Рис. 4. Розподіл тематичних публікацій серед 10 домінуючих дисциплін у базі Scopus у 1986–2011 роках (результати пошуку станом на березень 2011).

- Біохімія; генетика та молекулярна біологія (Biochemistry, Genetics and Molecular Biology);
- Інженерія (Engineering);
- Науки про Землю та планети (Earth and Planetary Sciences);
- Біологічні науки та агрокультура (Agricultural and Biological Sciences);
- Фармакологія, токсикологія та фармацевтика (Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics);
- Хімія (Chemistry).

Серед десяти дисциплін із найбільшою кількістю чорнобильських публікацій з бази “Україніка наукова” такі (Рис. 5):

- Медицина. Медичні науки;
- Біологічні науки;
- Енергетика. Радіоелектроніка;
- Сільське та лісове господарство;
- Науки про Землю;

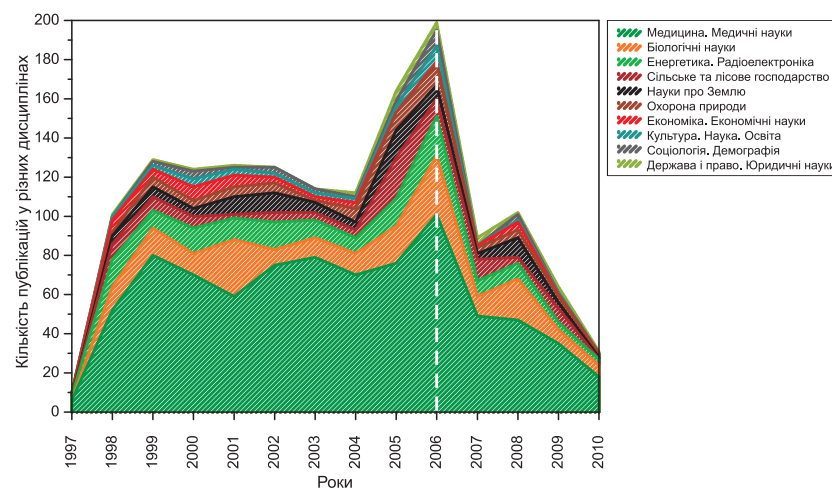


Рис. 5. Розподіл тематичних публікацій серед 10 домінуючих дисциплін у базі “Україніка наукова” у 1997–2010 роках (результати пошуку станом на березень 2011).

- Охорона природи;
- Економіка. Економічні науки;
- Культура. Наука. Освіта;
- Соціологія. Демографія;
- Держава і право. Юридичні науки.

Порівнюючи вище наведені списки домінуючих дисциплін, легко побачити, що вони значною мірою перекриваються: як українській науці, так і на світовому рівні, відчувається важливість чорнобильської тематики для медицини, енергетики, наук про довкілля тощо. З іншого боку, за даними “Україніки наукової”, в десятку потрапили такі галузі науки як соціологія та демографія, культура та освіта. Звісно, публікації такого спрямування знаходимо і в базі Scopus, проте більша їх частка саме на національному рівні. І це природно, адже найбільший вплив на повсякдення життя людей аварія мала саме на географічно ближній території. Тому не дивно, що українській базі також є публікації з мистецтвознавства, філософії та психології, а також – історії, політики, тощо.

Аналізуючи Рис. 4 та 5, знову бачимо вище згадані два виразні максимуми у роки, відзначені круглими датами після аварії: у 1996 та 2006. Ва-

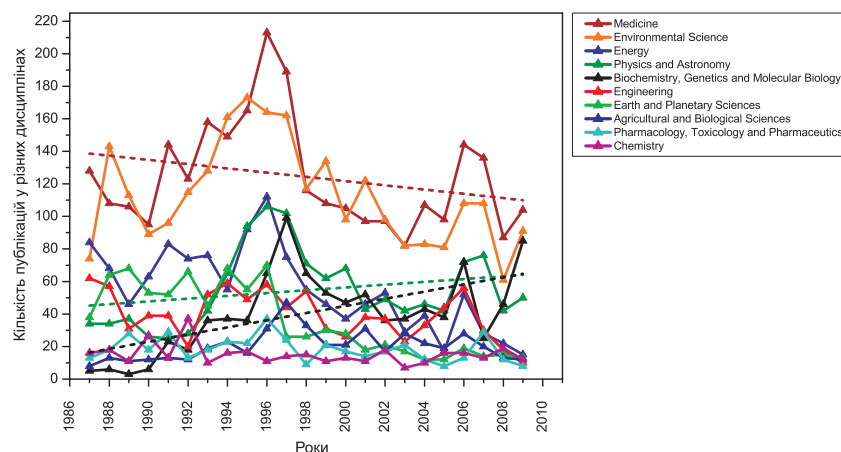


Рис. 6. Кількість публікації з чорнобильської тематики у кожній із домінуючих дисциплін бази Scopus у 1987–2009 роках (результати пошуку станом на березень 2011).

жливим висновком є відсутність помітної тенденції до спадання кількості чорнобильських публікацій. Якщо відкласти кількість публікацій в кожній з домінуючих дисциплін за роками (Рис. 6) та проігнорувати дані за перші та останні роки як неповні, то можна побачити, що медицина та науки про навколишнє середовище чітко передують за кількістю публікацій, хоча наразі демонструють повільне зменшення інтересу до тематики. З іншого боку, у таких дисциплінах як, скажімо, фізика чи генетика, намічається збільшення середньої кількості публікацій.

Можливо, це зумовлено тим, що для деяких галузей науки необхідний певний проміжок часу, щоб проявились ті чи інші наслідки аварії. Крім того можна припускати, що прикладні дисципліни можуть швидше “реагувати” на виникнення практичних проблем, ніж фундаментальні.

Ще більший відрив у кількості публікацій між медициною та іншими дисциплінами видно у випадку даних про українські публікації (Рис. 7): тоді як середньорічне значення для медицини складає порядку 58, для наступної за кількістю публікацій біології це 13, то для інших дисциплін це в околі 6,5. Вибірково здійснивши лінійну апроксимацію, також бачимо, що не можна констатувати виразної тенденції до згасання чи збільшення активності.

Підсумовуючи результати аналізу дисциплінарного ландшафту, можна зробити ряд висновків:

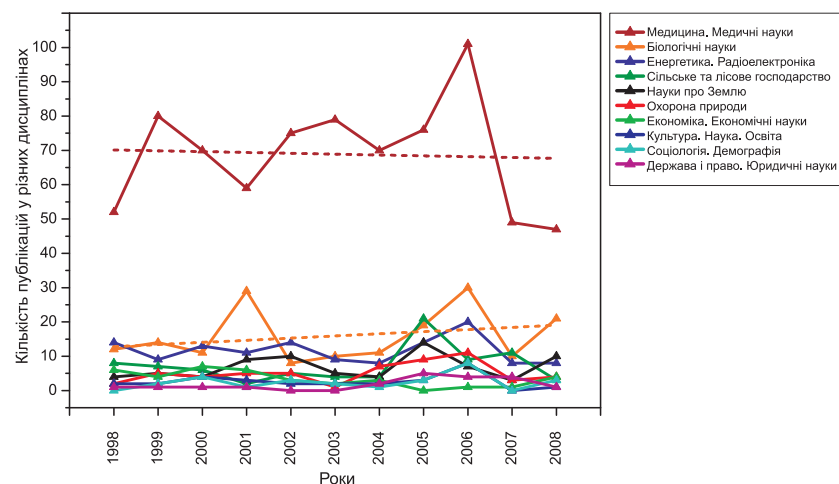


Рис. 7. Кількість публікації з чорнобильської тематики у кожній із домінуючих дисциплін бази “Україніка наукова” у 1998–2008 роках (результати пошуку станом на березень 2011).

- на даний момент не спостерігається зменшення наукового інтересу до чорнобильської тематики;
- поруч із явно домінуючими дисциплінами, такими, як медицина чи науки про навколишнє середовище, є такі області досліджень, в яких лише починається активний розвиток напрямків досліджень, пов’язаних із наслідками аварії на ЧАЕС (наприклад, генетика, фізика);
- українські науковці досліджують чорнобильську тематику не лише в таких універсальних областях як медицина, біологія чи енергетика, але й у специфічних: історія, культура, мистецтво, політика, тощо;
- розглянувши активність опублікування наукових робіт, що стосуються Чорнобиля, впродовж 1986–2010 років, легко відзначити два максимуми, що відповідають 10 та 20 річницям аварії – це дозволяє передбачати наступний пік у 2011.

3. Аналіз даних: міжнародна співпраця

Як згадувалось вище, цікавим є порівняння наукового інтересу до вибраної тематики на світовому масштабі та в Україні зокрема. Наступний

крок – визначення внеску кожної окремої країни у дослідження проблеми. Для того, щоб проаналізувати географію чорнобильських публікацій, достатньо мати дані про їх авторів. На жаль, база даних “Україніка наукова” не містить ні поштових адрес, ні назв установ авторів публікацій. На основі вибіркового перегляду даних, а також зважаючи те, що використовуються, в основному, українська та російська мови, а сама база підтримується Інститутом проблем реєстрації інформації НАН України, можна припускати, що більшість публікацій належать авторам з України. Оцінити ж частку українських робіт, доступних для всього наукового світу, можна на основі даних зі Scopus, що є більш детальними та містять інформацію про авторів.

На березень 2011 року, із 8186 документів, знайдених за пошуковим запитом у базі Scopus, 5894 були використані для вивчення картини співавторства публікацій на чорнобильську тематику³. Зручні методи для аналізу великої кількості такого роду взаємозв’язаних даних пропонує теорія складних мереж. Перш ніж описати їх застосування, введемо декілька означень та дамо коротку довідку про методи аналізу складних мереж.

Теорія складних мереж – це порівняно новий науковий напрямок, що утворився на стику фізики складних систем та математичної теорії графів. Однією із характерних рис фізики складних систем є використання фізичних методів досліджень (насамперед, статистичної фізики та теорії фазових переходів) для дослідження нефізичних об’єктів [6–8]. Іншою складовою науки про складні мережі є теорія випадкових графів (див., наприклад, [9, 10]), у якій пройшла власна еволюція об’єкту досліджень від класичного випадкового графа Ердоша-Рені (Erdős-Rényi), у якому задана кількість ребер розподілена довільно та незалежно між парами з заданої кількості вершин, до складних мереж, топологія яких не є ані цілком регулярною, ані цілком випадковою [11]. Для останніх, побудованих на основі реальних даних (серед перших тут дослідження соціальних мереж), були знайдені степені закони розподілу величин та запропонована 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. Фактично це видозмінений об’єкт вивчення теорії графів. Відмінність теорії графів та теорії складних мереж полягає у тому, що метою досліджень першої є аналіз невеликих графів, властивостей їх окремих вершин та ребер; друга ж розглядає статистичні властивості значно складніших графів, які прийнято називати мережами [11].

³ Не всі записи про публікації містять необхідну інформацію або ж замість адрес авторів подають, наприклад, назву організації, за якою часто важко визначити географічну приналежність.

При дослідженні складної мережі розраховують набір стандартних величин [11–15], деякі з яких характеризують окремі вузли, а інші – описують мережу в цілому. Найпростішою локальною характеристикою вузла мережі i є його ступінь (degree) k_i , що визначається 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 випадку мережі міжнародної співпраці (кожен окремий вузол відповідає країні, а зв’язок між двома вузлами означає наявність спільної публікації у авторів із цих двох країн) ступінь вузла визначає коло країн, у співавторстві з якими виступила дана. Середній ступінь $\langle k \rangle$ є уже характеристикою усієї мережі і розраховується як середнє арифметичне ступенів усіх вузлів.

Щоб охарактеризувати “лінійний розмір” мережі, можна використати поняття середнього $\langle l \rangle$ та максимального $l_{\max}$ із найкоротших шляхів (який ще називають діаметром мережі) [11, 13–15]. Для зв’язної мережі з вузлів, середній найкоротший шлях визначається 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, відповідно, найбільше значення з усіх l_{ij} для даної мережі.

Локальною характеристикою окремого вузла m є коефіцієнт кластерності C_m , що визначається як співвідношення 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 усієї мережі C , що є середнім арифметичним значенням C_m за усіма вузлами, характеризує тенденцію до утворення взаємопов’язаних груп вузлів, тобто зв’язність усієї мережі. Коефіцієнт кластерності будь-якого з вузлів дерева є рівним нулю, а для довільного вузла повністю зв’язаної мережі (поняття, еквівалентне повному графу) це значення буде рівним одиниці. Величина C відображає ймовірність існування зв’язку між двома випадково взятими найближчими сусідами вузла, а також містить інформацію про наявність у мережі циклів довжиною три (“трикутників”). Присутність циклів – це специфічна форма кореляції у мережах. Для реальних мереж, зокрема, для соціальних мереж, типовими

є високий рівень скорельованості та велике значення C [11, 13–15]. Часто значення коефіцієнта кластерності реальних мереж порівнюють із C_r – коефіцієнтом кластерності еквівалентного випадкового графа, який має такі ж значення N (кількість вершин) та L (кількість ребер), що й мережа, та розраховується як [11]:

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

Однією із найбільш важливих характеристик мережі є розподіл ступенів її вузлів $P(k)$, що визначається як ймовірність того, що вузол i має ступінь $k_i = k$. Мережі з різними залежностями $P(k)$ демонструють цілком відмінну поведінку, подібно до класів універсальності у фізиці критичних явищ [11–15]. Найчастіше розподіли ступенів вузлів $P(k)$ апроксимуються розподілами Пауссона, експоненційним та степеневим. При цьому ті мережі, для яких $P(k)$ описуються за степеневою функцією, називаються безмасштабними (scale-free) [11]. Як показує емпіричний аналіз, реально існуючі мережі часто виявляються 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 у такій мережі вузлів із дуже високим ступенем, які ще називають габами (hubs) і наявність яких спричиняє особливі властивості безмасштабних мереж.

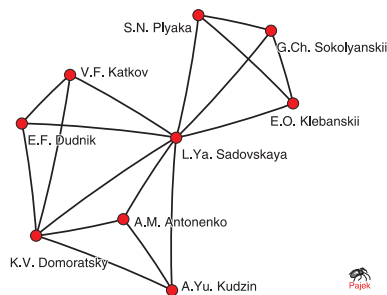


Рис. 8. Фрагмент мережі співавторства журналу “Condensed Matter Physics” (www.icmp.lviv.ua/journal). Візуалізація цієї та частини інших мереж здійснена за допомогою програмного пакету Pajek [20].

Різноманітні алгоритми на мережах дають можливість згрупувати дані за ступенем їх близькості або ж навпаки – виявити, наскільки вони віддалені. Мережі є також чудовим засобом візуалізації даних, що є зручним

для сприйняття людиною. Для кожної конкретно обраної мережі знайдені абстрактні значення перелічених величин мають свою інтерпретацію. Наприклад, ступінь вузла у мережі знайомств, де вузли позначають людей, а зв’язки пов’язують знайомих між собою осіб (це приклад соціальної мережі, [16]), буде визначати рівень комунікабельності особи (коло її знайомих); а в мережі співавторства [17], де вузли – це автори, а зв’язки – їх спільно опубліковані роботи (див. Рис. 8), ступінь вузла вказує на число співавторів в обраного автора, якщо усі зв’язки вважаються рівнозначними. 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’єднує дві довільні зупинки [18]; а в 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 будь-яку іншу [19]. Загалом при дослідженні складних мереж будь-якого виду першим кроком є знаходження набору стандартних величин для абстрактної мережі.

Як вузли мережі, так і її зв’язки можуть асоціюватись із певним ваговим коефіцієнтом. Значення цього коефіцієнту може мати різні інтерпретації, наприклад, чим більшим є ступінь вузла, тим більшою буде його “вага” – візуально це може бути відображено, наприклад, більшим розміром кружечка. Вагу зв’язку найчастіше асоціюють із кратністю, тобто кількістю зв’язків між однієюб і тією ж парою вузлів⁴. Мережі, де враховується кількість кратних зв’язків, називають зваженими. І навпаки, у незваженій мережі всі зв’язки є рівнозначними. Для прикладу, у незваженій мережі співавторства зв’язок між парою авторів виникає, коли вони опублікували хоча б одну спільну роботу.

Окрім перелічених, існує багато інших параметрів та характеристик складних мереж, які можуть розраховуватись для різних видів мереж. Алгоритми, які працюють з математичними мережами та графами, дають можливість знайти найкоротші шляхи між парами вузлів (публікацій або авторів), виявити ступінь зв’язності та скорельованості мережі, одержати кількість компонент зв’язності, тощо.

Отже, на основі зібраних даних нами було побудовано ряд незважених мереж співпраці (див. Рис. 9). Країни у цих мережах представлені вузлами, а кожен зв’язок між парою вузлів означає наявність хоча б однієї публікації, де є співавтори з обох відповідних країн. У таблиці 1 наведено значення основних параметрів побудованої мережі. Бачимо, що середня кількість країн-співавторів у чорнобильській тематиці складає 12, а

⁴Вага зв’язку може бути означена і по-іншому, наприклад, може визначати пропускну спроможність каналу у мережі розподілення ресурсів.

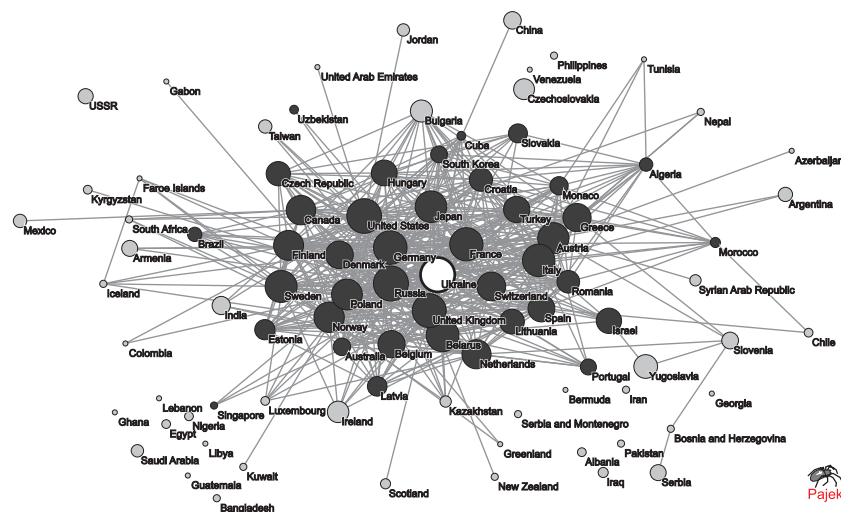


Рис. 9. Незважена мережа міжнародної співпраці за чорнобильською тематикою, побудована на основі даних за 1986–2011 роки у базі Scopus. Темно-сірим кольором виділено егоцентричний щодо України фрагмент мережі. Розміри вузлів мережі є нелінійно-пропорційними до кількості опублікованих робіт з кожної країни.

максимальне значення рівне 42. Мережа виявилась достатньо слабо скорельованою (невелике значення коефіцієнта кластерності C), проте є доволі “компактною” – характеризується невеликим діаметром ($l_{\max}$) та середньою найкоротшою відстанню між довільною парою вузлів $\langle l \rangle$.

Публікації за 1986–2011 роки належать авторам з 91 країни (включаючи деякі автономні держави у складі інших, як, наприклад Фарерські острови). З цих вузлів мережі 19 є ізольованими – отже, згідно із зібраними даними, не співпрацювали з іншими країнами у чорнобильській тематіці. Поява таких вузлів зумовлена різними факторами, наприклад, появою поодиноких публікацій специфічного спрямування, які цікаві, в основному, в даній місцевості (наприклад, вузол Нігерії виник за рахунок статті “Radionuclide contents in food products from domestic and imported sources in Nigeria”⁵ про продукти харчування, імпортовані до Нігерії); історичними обставинами, що зумовили зміну назви країни, її розпаду чи зникнення з політичної карти (приклад – статті з Чехословаччини); тощо. Цікавим прикладом ізольованого вузла є колишній Радянський Союз. Незва-

⁵Jibiri N.N., Okusanya A.A., Journal of Radiological Protection, 2008, 28, 405.

Табл. 1. Кількісні характеристики побудованої мережі співпраці із використанням таких позначень: N та L – кількість вузлів та зв’язків; $\langle k \rangle$, $k_{\max}$ – відповідно, середній та максимальний ступінь вузлів; C , C/C_r – середній коефіцієнт кластерності та його співвідношення до коефіцієнта кластерності еквівалентного випадкового графа; $\langle l \rangle$, $l_{\max}$ – середній та найдовший з найкоротших шляхів.

N	L	$\langle k \rangle$	$k_{\max}$	C	C/C_r	$\langle l \rangle$	$l_{\max}$
91	546	12	42	0,51	3,8	2,1	5

жаючи на те, що саме на його теренах сталась Чорнобильська аварія, дані свідчать про відсутність співпраці СРСР та інших країн. Мабуть, головною причиною цього є відмежованість радянської науки від решти світу. Як буде видно далі, з розпадом Союзу його колишні республіки, а відтоді – незалежні країни (зокрема й Україна), активно включились у процес міжнародної наукової співпраці.

Перед тим, як перейти до аналізу мереж співпраці, наведемо перелік країн, що мали найширше коло міжнародної співпраці: США – 42 країни-співавтори; Німеччина – 42; Росія – 41; Україна – 40; Великобританія та Франція – 38. П’ятірка країн-лідерів за загальною кількістю опублікованих робіт: Росія – 1082; США – 806; Україна – 756; Великобританія – 628; Німеччина – 593. Звичайно, для об’єктивного порівняння внеску різних країн, варто було б здійснити хоча б найпростіше нормування результатів. Скажімо, перенормування кількості публікацій на кількість населення країни дещо змінює позиції у списку: на першому місці опиняється Україна, а далі в порядку зменшення показника – Великобританія, Росія, Німеччина і США.

На Рис. 9 наведено незважену мережу співпраці, що характеризує науковий внесок різних країн у дослідження проблеми Чорнобиля. Вузол, що відповідає Україні, розміщений посередині, а також виділено усі країни, у безпосередній співпраці з якими були опубліковані роботи українських вчених – так звана егоцентрична мережа. У побудованій мережі співпраці всі вузли, крім вище згаданих 19 ізольованих, належать до однієї компоненти зв’язності (в межах якої будь-яка пара вузлів є взаємодосяжною). Вивчення еволюції цієї компоненти в часі дозволило побачити картини співпраці у різних часових зрізах. На Рис. 10 показано стан кластера станом на 5, 10 та 20 річниця після аварії. Протягом 20 років кластер співпраці поступово зростав: у 1991 р. до нього входило лише 10 країн, у 1996 – 42, у 2006 – 56, а на 2011 р., фактично 25 років після аварії, в його рамках 72 країни тісно пов’язані спільними дослідженнями на чорнобильську тематику.

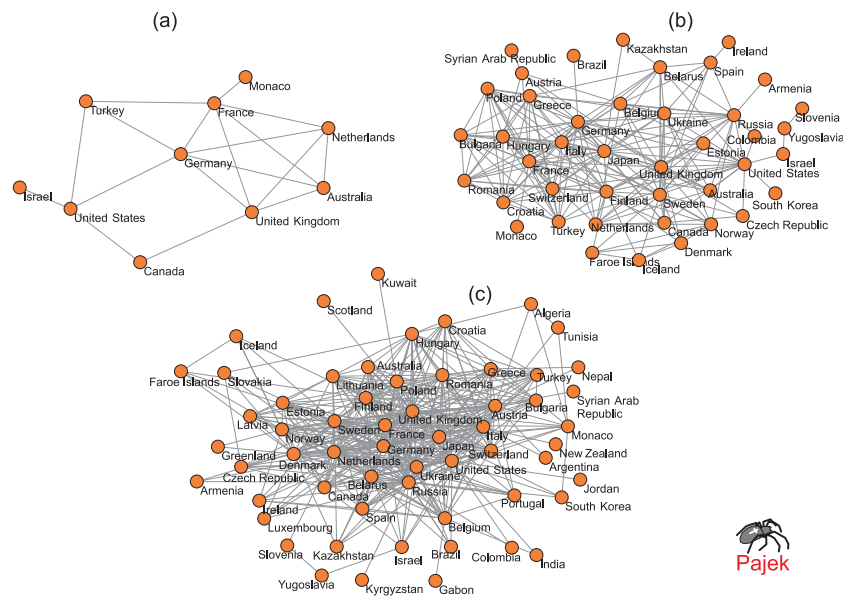


Рис. 10. Візуалізація зміни в часі зв'язного кластера мережі міжнародної співпраці за чорнобильською тематикою: (a) 5, (b) 10 та (c) 20 років після аварії на ЧАЕС.

На перший погляд, може здатися дивним, що Україна з'являється у складі кластера не раніше 1991 року, проте саме у цьому році відбувся розпад СРСР та відокремлення України як самостійної держави. Безсумнівно, що українські вчені працювали над проблематикою від самого початку в складі Союзу. Схожі моменти справедливі і для інших країн. Наприклад, можна помітити зв'язок співавторства між Югославією та Словенією: до відокремлення Словенії її внесок був частиною внеску Югославії, проте ситуація змінилась після 1991 року.

Отже, можна підсумувати, що “географія” науковців, які працюють над чорнобильською тематикою, є достатньо широкою. Очевидно, що найбільший внесок зробили розвинуті країни, які працюють на передньому фронті науки, а також – країни, причиною активності яких стала географічна близькість до місця аварії. Впродовж років, коли наслідки стали менш очевидними на перший погляд, проте помалу почали торкатись інтересів і більш віддалених регіонів, науковий інтерес до проблеми не згасав, а залучав до співпраці нових учасників.

4. Висновки

Підсумуємо одержані результати аналізу даних про публікації на тему Чорнобиля у вигляді низки тез:

- інтерес до досліджень у цій області не згасає (інтенсивність опублікування статей має швидше періодичний характер);
- дисциплінарний ландшафт проблематики з часом змінюється: поруч із галузями науки, що незмінно в ній домінують, такими як медицина, енергетика чи науки про навколишнє середовище, починають публікуватись результати в області фізики, генетики, тощо;
- в Україні мають розвиток специфічні аспекти проблеми, такі як історичні, культурні, політичні і т.д.;
- якщо розглянути масив тематичних публікацій з точки зору 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).

Наступним завданням дослідження є проаналізувати поширення чорнобильської тематики у засобах масової інформації та порівняти одержані результати. Продовженням розпочатих досліджень міг би бути також так званий контент-аналіз з метою виділення найбільш вагомих термінів, що описують дану проблематику, та, при можливості, виявлення їх розподілу за різними галузями науки.

Необхідно пам'ятати про те, що здійснений аналіз в жодному разі не покликаний визначати якість публікацій на тему Чорнобильської аварії, а лише показує статистику опублікування. Використовуючи описані підходи, можна аналізувати будь-яку іншу наукову тематику, незалежно від її суті.

Дослідження проводились у рамках проектів: “Наукометрія: кількісний підхід до соціальних явищ” (ДКНП України – Міністерство досліджень і науки, Австрія) та “Динаміка і кооперативні явища в складних фізичних і біологічних середовищах” (7-а рамкова угода, Call: FP7-PEOPLE-2010-IRSES). Автори висловлюють вдячність Алесі Зуккалі (Центр наукових та технологічних досліджень Університету Ляйдена) за надання статті [3] до її опублікування.

Література

1. Qi He, Bi Chen, Jian Pei, Baojun Qiu, Prasenjit Mitra, C. Lee Giles, Detecting Topic Evolution in Scientific Literature: How Can Citations Help? Proc. of the 18th ACM conference on Information and knowledge management CIKM, ACM New York, USA, 2009.
2. Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2003 році. Частина 2. – Київ, 2004, 145 ст.; Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2005 році. Частина 2. – Київ, 2006, 181 ст.; 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. – Київ, 21 грудня 2006 року: за редакцією міністра освіти і науки України проф. С.М. Ніколаєнка.
3. Zuccala A., van Eck N.J. Poverty Research in a Development Policy Context, Preprint [04/11/2010] of published article to appear in Development Policy Review.
4. Content Coverage Guide. <http://www.scopus.com>
5. Рубрикатор Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського. <http://www.nbuv.gov.ua/db/rubr.html>
6. Sornette D. Critical Phenomena in Natural Sciences. Springer-Verlag, New York, 2001.
7. Олемской А.И. Синергетика сложных систем. Феноменология и статистическая теория. URSS, Москва, 2009, 379 с.
8. Stauffer D., Physica A, 2000, 285, 121.
9. Алексеев В.Е., Таланов В.А. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений. БИНОМ. Лаборатория знаний.: ИНТУИТ, 2006, 320 с.
10. Jungnickel D. Graphs, Networks and Algorithms. Springer, 2008, 650 p.
11. Головач Ю., фон Фербер К., Олемської О., Головач Т., Мриглод О., Олемської І., Пальчиков В. Складні мережі, Журнал фізичних досліджень, 2006, 10, 247–291.
12. Dorogovtsev S.N., Mendes J.F.F. Evolution of networks, Adv. Phys., 2002, 51, 1079–1187.
13. Newman M.E.J. The Structure and Function of Complex Networks, SIAM Review, 2003, 45, 167–256.
14. Dorogovtsev S.N., Mendes J.F.F. The shortest path to complex networks [Електронний ресурс]. Cornell University Library, Ithaca, 2004, 25 p. [Preprint arXiv: cond-mat/0404593].
15. Albert R., Barabási A.-L. Statistical mechanics of complex networks, Rev. Mod. Phys, 2002, 74, 47–97.
16. Jin E.M., Girvan M., Newman M.E.J. Structure of growing social networks, Phys. Rev. E, 2001, 64, 046132.
17. Newman M.E.J. Coauthorship networks and patterns of scientific collaboration, PNAS, 2004, 101, 5200–5205.
18. von Ferber C., Holovatch T., Holovatch Yu., Palchykov V. Network Harness: Metropolis Public Transport, Physica A, 2007, 380, 585–591.
19. Albert R., Jeong H., Barabási A.-L., Nature, 1999, 401, 130.
20. Batagelj V., Mrvar A.: Pajek – Program for Large Network Analysis. Home page: <http://vlado.fmf.uni-lj.si/pub/networks/pajek/>

CONDENSED MATTER PHYSICS

The journal **Condensed Matter Physics** is founded in 1993 and published by Institute for Condensed Matter Physics of the National Academy of Sciences of Ukraine.

AIMS AND SCOPE: The journal **Condensed Matter Physics** contains research and review articles in the field of statistical mechanics and condensed matter theory. The main attention is paid to physics of solid, liquid and amorphous systems, phase equilibria and phase transitions, thermal, structural, electric, magnetic and optical properties of condensed matter. Condensed Matter Physics is published quarterly.

ABSTRACTED/INDEXED IN:

- Chemical Abstract Service, Current Contents/Physical, Chemical&Earth Sciences
- ISI Science Citation Index-Expanded, ISI Alerting Services
- INSPEC
- Elsevier Bibliographic Databases (EMBASE, EMBASE/Excerpta Medica, Compendex, GEOBASE, Scopus)
- "Referativnyi Zhurnal"
- "Dzherelo"

EDITOR IN CHIEF: Ihor Yukhnovskii

EDITORIAL BOARD: T. Arimitsu, *Tsukuba*; J.-P. Badiali, *Paris*; B. Berche, *Nancy*; T. Bryk, *Lviv*; J.-M. Caillol, *Orsay*; C. von Ferber, *Freiburg*; R. Folk, *Linz*; D. Henderson, *Provo*; F. Hirata, *Okazaki*; Yu. Holovatch, *Lviv*; M. Holovko, *Lviv*; O. Ivankiv, *Lviv*; W. Janke, *Leipzig*; M. Korynevskii, *Lviv*; Yu. Kozitsky, *Lublin*; M. Kozlovskii, *Lviv*; H. Krienke, *Regensburg*; R. Levitskii, *Lviv*; V. Morozov, *Moscow*; I. Mryglod, *Lviv*; O. Patsahan (Assistant Editor), *Lviv*; N. Plakida, *Dubna*; G. Röpke, *Rostock*; I. Stasyuk (Associate Editor), *Lviv*; M. Tokarchuk, *Lviv*; I. Vakarchuk, *Lviv*; M. Vavrukh, *Lviv*; A. Zagorodny, *Kyiv*

CONTACT INFORMATION:

Institute for Condensed Matter Physics
of the National Academy of Sciences of Ukraine
1 Svientsitskii Str., 79011 Lviv, Ukraine
Tel: +38(032)2760908; Fax: +38(032)2761978
E-mail: cmp@icmp.lviv.ua <http://www.icmp.lviv.ua>