

# НАНОТЕХНОЛОГІЇ, НАНОМЕДИЦИНА: ПЕРСПЕКТИВИ НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ ЇХ РЕЗУЛЬТАТІВ У МЕДИЧНУ ПРАКТИКУ

*Л.Г. Розенфельд<sup>1</sup>  
В.Ф. Москаленко<sup>2</sup>  
І.С. Чекман<sup>2</sup>  
Б.О. Мовчан<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Інститут отоларингології  
ім. О.С. Коломійченка АМН України, Київ*

*<sup>2</sup>Національний медичний університет  
ім. О.О. Богомольця МОЗ України, Київ*

*<sup>3</sup>Інститут електрозварювання  
ім. Є.О. Патона НАН України, Київ*

**Резюме.** *В оглядовій статті узагальнено дані літератури та власних досліджень з нанотехнологій, наномедицини, перспективи наукових досліджень та впровадження результатів у медичну практику. Автори проаналізували за даними інтернету та наукових публікацій стан досліджень у різних галузях нанонауки: нанотехнології, наномедицині, наноелектроніці, нанобіології, нанобіотехнології, нанотоксикології, синтезі наноматеріалів, нанопрепаратів. Дослідження з різних напрямків нанонауки інтенсивно розвиваються в останні 2–3 роки, в тому числі і в Україні. Звернуто увагу на необхідність вивчення фізіологічних, біохімічних та фізико-хімічних механізмів дії наночастинок та можливого токсичного впливу їх на організм людини.*

**Ключові слова:** *нанотехнології, наномедицина, нанофізіологія, нанофармакологія, нанотоксикологія.*

Нанотехнології, наномедицина, нанофармакологія займають особливе місце серед сучасних напрямків науково-практичної діяльності людини. Термін «нанотехнологія» (з грецької: nanos — карлик, гномик, techno — майстерність, logos — наука, система знань) запропонований японським вченим Норіо Танігучі у 1974 р. в доповіді «Про концептуальні основи нанотехнологій» на міжнародній конференції «International Conference on Precision Engineering» (Taniguchi N., 1974) і стосується об'єктів розмірами  $10^{-9}$  метра (від 1 до 100 нм).

Історія виникнення та наукового становлення нанотехнологій (починається з другої половини ХХ ст.) повна геніальних передбачень і реалізації ідей, багато з яких впроваджено у різні галузі народного господарства, медичну практику, авіацію, космонавтику тощо. Виповнюється 50 років з того часу, коли у грудні 1959 р. американський вчений-фізик, лауреат Нобелівської премії Річард Фейнман зробив доповідь-лекцію на щорічному засіданні американського фізичного товариства: «Внизу багато місця: запрошення увійти в новий розділ фізики» (There is plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new field of physics. Точний переклад українською мовою: «Є надмір місця на дні — запрошую увійти в новий розділ фізики») (Фейнман Р.Ф., 2002). Ця лекція на сьогодні вважається першою прямою вказівкою на необхідність розпочинати науково-практичні дослідження в масштабі нанорозмірів.

Нанотехнології почали впроваджуватися у різні галузі народного господарства в кінці 80-х років ХХ ст., після виходу у 1986 р. книги співробітника Массачусетського технологічного інституту К.Е. Дрекслера «Машини творення: прихід ери нанотехнологій» (Бостон, США). Основні положення можливих досліджень з нанотехнологій та впровадження їх у різні галузі діяльності людини викладені К.Е. Дрекслером в оглядовій статті «Молекулярні машини: фізичні принципи і стратегії їх впровадження» (Drexler K.E., 1994).

Суттєвий внесок у методи досліджень з нанотехнологій і наномедицини внесли швейцарські вчені з Цюрихської дослідної лабораторії ІВМ Герд Біннінг і Гейнріх Рорер, які у 1981 р. сконструювали принципово новий скануючий тунельний мікроскоп (Нобелівська премія за 1986 р.), що дозволяв досягати атомного розділення (до 0,1 нм) та проводити дослідження з вивчення структури та фізичних властивостей різних розмірів наночастинок органічних і неорганічних сполук.

Протягом останніх років вчені світу проводять інтенсивні дослідження з нанотехнологій, на-

ноелектроніки, наномедицини, нанобіології, нанотермодинаміки, наноматеріалів, нанопрепаратів, що об'єднуються під загальним терміном «нанонаука». Практичні розробки з нанотехнологій реалізувалися у такі наноматеріали: нанопрепарати, фулерени, ліпосоми, дендримери, наносфери, наностержні, наноплівки, нанотрубки, наноконструкції, нанокристали, нанодротинки, нанопорошки, нанороботи, нанокапсули, нанобіосенсори, нанопристрої, нанобіоматеріали, наноструктурні рідини (колоїди, міцели, гелі, полімери) (Weber D.O., 1999; Трефилов В.И. и соавт., 2001; Русанов А.И., 2006; Гладченко Г.О. и соавт., 2007; Дубок В.А., Шинкарук А.В., 2007; Сергеев Г.Б., 2007; Рамбиди Н.Г., 2007; Caruthers S.D. et al., 2007; Jain K.K., 2007; Lok C.N. et al., 2007; Laurent S. et al., 2008).

При проведенні досліджень у нанометровому діапазоні суттєво змінюються фізичні, хімічні, фізико-хімічні властивості наноречовин і наноматеріалів, зокрема міцність, електропровідність, термостійкість, магнітні властивості, коефіцієнт оптичного заломлення світла, фоновий спектр, теплоємність, вплив на організм людини та ін. (Пул Ч.П. мл., Оуэнс Ф.Дж., 2006; Головин Ю.И., 2007; Гусев А.И., 2007; Кобаяси Н., 2007; Caruthers S.D. et al., 2007; Elder J.V. et al., 2008).

Спеціалісти з нанотехнологій зосередили також наукові дослідження на розробці технології отримання наночастинок зі срібла, золота, міді, заліза, вису, цинку, титану, фосфору, магнію (Shen G. et al., 2005; Jia R.R. et al., 2005; Мовчан Б.А., 2007; Buchold D.H., Feldmann C., 2007; Garcia M.A. et al., 2007; Lok C.H., et al., 2007; Shankar K. et al., 2007; Москаленко В.Ф. та співавт., 2008; Chan T.L. et al., 2008; Garitaonandia J.S. et al., 2008; Farah A.A. et al., 2008; Laurent S. et al., 2008). Встановлено, що наночастинок металів розміром від 5 до 60 нм проявляють інші властивості, ніж такі ж більших розмірів (Гусев А.И., 2007; Pisanic T.R. 2<sup>nd</sup> et al., 2007; Wang Z. et al., 2007; Zavaliche F. et al., 2007; Martin J.E. et al., 2008; Peor N. et al., 2008; Smith D.K., Korgel B.A., 2008).

Одним із важливих напрямків досліджень з нанобіотехнологій є застосування наночастинок як субстанції для створення нових медикаментів. Наночастинок можуть також виступати як переносники лікарських засобів (Laval J.M. et al., 2000; Lim I.I. et al., 2007; Levy-Nissenbaum E. et al., 2008; Peek L.J. et al., 2008). Крім того, новим напрямком нанофармакології є розробка нанопрепаратів з утворенням комплексу між відомими лікарськими засобами і наночастинками, нанокапсулами, нанотрубками, дендримерами, що сприятиме більш глибокому проникненню таких медикаментів до патологічного процесу, зумовлюючи проведення ефективної фармакотерапії захворювання.

Завдання дослідників — встановити фізико-хімічні властивості наночастинок, механізми їх дії на організм, зовнішнє середовище. Впровадження нанотехнологій у різні галузі народного господарства, зокрема обчислювальну і мікрохвильову техніку, сонячні батареї та фотоекрани, радіозв'язок, радіологію та радіонавігацію, молекулярну біологію, медичні тех-

нології, контроль навколишнього середовища, створення ноелектричних приладів, наномедикаментів буде своєрідною нанореволюцією XXI ст., і наслідки її будуть більш значущими, ніж комп'ютеризація діяльності людини у другій половині XX ст. До 2012 р. понад 80% лікарських засобів у США будуть вироблятися на основі нанотехнологій (Kreuter J., 1978; Суздалев И.П., 2006; Шайтан К.В. и соавт., 2006; Головин Ю.И., 2007; Agoramorthy G., Chakraborty S., 2007; Gordon A.T. et al., 2007; Jain K.K., 2007).

Які ж розміри біологічних, хімічних та ботаничних об'єктів в нанометрах, з якими проводять дослідження (табл. 1)?

**Таблиця 1**

**Розміри хімічних, біологічних та ботаничних об'єктів**

Об'єкт	Розміри, нм
Зріст людини (2 м)	2 000 000 000
Лейкоцит (нейтрофільний гранулоцит)	10 000–15 000
Еритроцит	8 000–10 000
Ядро клітини	4 000–40 000
Мітохондрія	1 500–2000
Раківі клітини	400–500
Бактерії	330–1000
Віруси	100–200
Ліпосоми	50
Рибосоми	15–20
Аморфний SiO <sub>2</sub>	5–10
Антигін	10
Мембрана клітини	6–10
Молекула атропіну	5
Молекула ДНК (діаметр)	2,5
Фулерени C <sub>60</sub>	1,0
Молекула води	0,3 нм
Атом водню	0,1 нм

У науковій літературі є декілька визначень нанотехнології. Спеціалісти державної програми США «Національна нанотехнологічна ініціатива» наводять таке визначення нанотехнології: «Нанотехнологія — це дослідження і технологічні розробки на атомному, молекулярному чи макромолекулярному рівнях у шкалі розмірів приблизно від 1 до 100 нм, що проводяться для одержання фундаментальних знань про природу явищ та властивостей матеріалів у нанощкалі, а також для створення і використання структур, приладів і систем, що набувають нових якостей завдяки своїм маленьким розмірам. Нанотехнологічні дослідження та розробки включають контрольовані маніпуляції нанорозмірними структурами та їх інтеграцію у більш великі компоненти, системи і архітектури» (Gordon A.T. et al., 2007).

Доцільно дати таке визначення нанотехнології: «Нанотехнологія — сукупність наукових знань, способів і засобів спрямованого регульованого складання (синтезу) із окремих атомів і молекул різних речовин, матеріалів та виробів з лінійним розміром елементів структури до 100 нм (1 нм=10<sup>-9</sup> м; 1 нм=10 Å)» (Мовчан Б.А., 2007).

Наномедицина досліджує доцільність застосування матеріалів нанотехнологій у медичній практиці для профілактики, діагностики і лікування захворювань з контролем біологічної активності, фармакологічної та токсикологічної дії отриманих продуктів чи медикаментів.

Інтенсивний розвиток досліджень з нанотехнологій сприяв створенню практично у всіх країнах світу нових спеціальних лабораторій, центрів, інститутів,

де досліджуються різні аспекти таких технологій. У США у 2000 р. створений науковий центр — Національна нанотехнологічна ініціатива, у Японії — Нанотехнологічний центр, у Росії — Комісія з нанотехнологій при президентові країни.

В Україні Національною академією наук розроблена комплексна програма з нанотехнологій, до виконання якої залучені різні наукові установи держави. Інститутом хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України (директор — чл.-кор. НАН України М.Т. Картель) спільно з вітчизняними науково-медичними закладами вперше у світі розроблено, досліджено та впроваджено в медичну практику новий препарат сорбційно-детоксикаційної дії Силікс на основі нанокремнезему (Чуйко А.А. (ред.), 2003). На кафедрі фармакології та клінічної фармакології Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця спільно з інститутом хімії поверхні НАН України ім. О.О. Чуйка ведуться спільні дослідження щодо розробки нових лікарських препаратів з нанодисперсного кремнезему. Встановлено, що суспензія нанодисперсного кремнезему знижує токсичність і негативний вплив на функцію печінки таких сполук, як натрію фторид і натрію нітрит, а також протитуберкульозних препаратів: ізоніазиду, піразинамиду, етамбутолу, що різняться механізмом негативного впливу на організм і хімічною структурою. Суспензія нанодисперсного кремнезему за фармакологічною активністю перевищує препарати звичайного кремнезему (Чекман І.С., Ніцак О.В., 2007).

У міжнародному центрі електронно-променевих технологій Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (директор — академік НАН України Б.Є. Патон) тривалий час проводяться дослідження з розробки сучасних нанотехнологій, результати яких впроваджені в авіаційну промисловість, космічну галузь, а в останні роки — і медицину (Мовчан Б.А., 2007). У січні 2008 р. створено спільну лабораторію «Електронно-променева нанотехнологія неорганічних матеріалів для медицини» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона та Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця щодо розробки нових нанопрепаратів (Москаленко В.Ф. та співавт., 2008).

Інститут молекулярної біології і генетики НАН України (директор — академік НАН України Г.В. Єльська) відомий дослідженнями зі створення біосенсорів, розроблених на основі нанотехнологій. В Інституті експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.С. Кавецького НАН України (директор — академік НАН України В.Ф. Чехун) спільно з Міжнародним центром електронно-променевих технологій Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона проводяться дослідження з розробки нових протипухлинних препаратів на основі оксидів заліза, отриманих за допомогою електронно-променевої нанотехнології (Горбик П.П. і соавт., 2007).

Дослідження з нанотехнологій в Інституті загальної та неорганічної хімії ім. В.І Вернадського НАН України проводять майже 50 років, зокрема розроблено технологію синтезу «дрібнодисперсних систем з сажі», яку пізніше назвали нанотрубки, а також методу розчинення металів у полімерному середовищі,

що згодом почали застосовувати в магнітному записі інформації, та хімічних засобів одержання наночастинок (Волков С.В., 2008 р.). Першим вітчизняним препаратом з ліпосом є Ліпін — спільна розробка Інституту фармакології і токсикології АМН України (директор — д-р мед. наук, професор Т.А. Бухтіарова) та Харківського фармацевтичного підприємства «Біолік».

Українськими вченими розроблено біокерамічний наноккомпозит «Синтекость», основу якого становлять різні види біоактивних керамік, що дозволені для застосування в медичній практиці. Завдяки нанорозмірам біоактивна кераміка є синтетичним матеріалом і сприяє повному відновленню структури природної кістки. «Синтекость» застосовується для заповнення порожнин після видалення кіст, пухлин кісток, при заміні частини кістки внаслідок оперативних втручань. «Синтекость» можна застосовувати в ортопедії, отоларингології, нейрохірургії, стоматології (Розенфельд Л.Г. і соавт., 2008).

Результати фундаментальних досліджень і впровадження результатів нанотехнологій у практичну діяльність людини сприяли появі нових журналів: «Journal of Nanoscience and Nanotechnology» (<http://www.aspbs.com/jnn>), «Nature Nanotechnology» (<http://www.nature.com/nnano/archive/index.html>), «Nano Letters» (<http://pubs.acs.org/NanoLett>), «Nanomedicine: nanotechnology, biology, and medicine» (<http://www.nanomedjournal.com>), «Small» (<http://www3.interscience.wiley.com/journal/107640323/home>), «Lab on a Chip» (<http://www.rsc.org/Publishing/Journals/LC/Index.asp>), «Langmuir: the ACS journal of surfaces and colloids» (<http://pubs.acs.org/journals/langd5/index.html>), «IEE proceedings. Nanobiotechnology» («IET. Nanobiotechnology»: <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=4123961>), де публікуються наукові статті з нанорозробок. Наукові публікації з результатами досліджень з різних питань нанонауки виходять також і в інших періодичних виданнях.

Проаналізувавши в інтернеті кількість опублікованих наукових робіт, присвячених дослідженням в галузі нанонауки, на кінець липня 2008 р., можна зробити висновок, що інтенсивність дослідження значно підвищилась за останні 2 роки (табл. 2).

У цей аналіз не включені наукові дослідження, опубліковані в тих журналах, матеріали яких не розміщені в інтернеті. Тому можна переконливо стверджувати, що кількість публікацій з нанонауки значно більша.

Уряди країн світу виділяють значні кошти на проведення досліджень на основі нанотехнологій (табл. 3). Фінансування досліджень з нанотехнологій, наномедицини і нанофармакології збільшується. На 2008 р. Конгрес США виділив близько 1,5 млрд дол. У квітні 2007 р. тодішній президент (нині — прем'єр-міністр) Російської Федерації В.В. Путін назвав нанотехнології одним із головних пріоритетів економічного розвитку держави. Уряд Російської Федерації затвердив бюджет на нанотехнології в розмірі 130 млрд руб. на 2007–2008 рр. Це фінансування зіставне з таким у США, Японії та Німеччині. За даними РОСНАНО («Российская корпорация нанотехно-

Таблиця 2

Кількість друківаних робіт з нанонауки за даними інтернету на 01.08.2008 р.				
	Всього наукових статей	Наукові статті до 2006 р.	Наукові статті 2006–2008 рр.	Рік першої публікації
<b>Напрямки нанології</b>				
Нанотехнології (Nanotechnology)	14 512	6302	8210	1991
Нанонаука (Nanoscience)	1353	412	941	1998
Наномедицина (Nanomedicine)	720	56	664	1999
Нанофармакологія (Nanopharmacology)				
Нанобіотехнологія (Nanobiotechnology)	378	180	198	2000
Наноелектроніка (Nanoelectronics)	201	82	119	1991
Нанобіологія (Nanobiology)	126	22	104	1994
Нанофізіологія (Nanophysiology)	43	14	29	1999
Нанотоксикологія (Nanotoxicology)	33	5	28	2004
<b>Наноматеріали</b>				
Наночастинки (Nanoparticles)	18 273	8663	9610	1978
Наностержні (Nanorods)	6943	3007	3936	1992
Нанотрубки (Nanotubes)	6286	2576	3710	1992
Фулерени (Fullerenes)	3273	1343	1930	1991
Наносфери (Nanospheres)	2768	1178	1590	1984
Квантові мітки (Quantum dots)	2456	1089	1367	1987
Дендримери (Dendromeres)	2259	980	1277	1990
Нанодріт (Nanowires)	1794	876	918	1993
Нановолокна (Nanofibers)	683	289	394	1994
Нанокapsули (Nanocapsules)	448	237	211	1978

логий») в 2018 р. об'єм ринку нанопродукції планується на рівні 3 трлн дол.

Таблиця 3  
Фінансування наукових досліджень у галузі нанотехнологій (дол. США, млн) (Agoramoorthy G., Chakraborty S., 2007; Gordon A.T. et al., 2007)

Region	2001	2005
Європа	~ 225	~ 1050
Японія	~ 465	~ 950
США	~ 465	~ 1081
Інші країни	~ 1535	~ 4081

Очевидно (див. табл. 3), що фінансування наукових досліджень у галузі нанотехнологій постійно зростає. Збільшується також кількість патентів, що реєструється в різних країнах світу. Лише в Ізраїлі у 2007 р. зареєстровано понад 150 патентів у галузях медицини та фармакології (в Україні — 1 — з нанодисперсного кремнезему).

На сьогодні у світовій літературі недостатньо досліджень з вивчення фізіологічних, біохімічних, молекулярних, фізико-хімічних механізмів дії наночастинок, впливу їх на функцію серцево-судинної, нервової, видільної, імунної систем, органів травлення (Володина Л.А., Ольховская И.П., 2007; Нищенко М.М. та співавт., 2007; Pelling A.E., Horton M.A., 2008). Значний теоретичний і практичний інтерес викличуть наукові розробки щодо встановлення біофізичних механізмів дії наночастинок на функцію органів і систем організму, різних клітин, їх мембран, мітохондрій, рибосом, ферментів, ДНК, РНК.

Як свідчить аналіз проведених досліджень, механізми лікувального впливу наночастинок на організм людини, дію на навколишнє середовище вивчені недостатньо. Ще менше досліджень з нанотоксикології (Lacerda L. et al., 2006; Duffin R. et al., 2007; Fischer H.C., Chan W.C., 2007; Baun A. et al., 2008; Igarashi E., 2008). Українська токсикологічна наука має великий досвід вивчення токсикології солей важких металів, полімерних і пластичних мас. Доцільно прискорити дослідження з нанотоксикології, розробити нові методи вивчення впливу на організм людини і тварини наноматеріалів та нанопрепаратів (лікарських засобів). Нанофармакологія та нанотоксикологія мають стати

теоретичною і практичною основою при розробці нових наномедикаментів.

Розробляються нанотехнології отримання нових високоефективних препаратів для лікування та діагностики деяких захворювань (Weber D.O., 1999; Leary S.P. et al., 2005; Ткаченко М.Л. и соавт., 2007; Чекман І.С., Ніцак О.В., 2007; Москаленко В.Ф. та співавт., 2008; Peek L.J. et al., 2008). При подальшому поглибленому вивченні фізіологічних механізмів дії нових нанопрепаратів та можливого побічного впливу розробка фармацевтичних технологій отримання адекватних лікарських форм сприятиме проведенню більш ефективної фармакотерапії різних патологічних станів. Сучасні нанотехнології пропонують методи впливу на уражені органи без негативної дії на інші органи і системи органів, що значно підвищує якість лікування.

Сучасні розробки з нанотехнологій вчених світу, зокрема України, створюють умови для впровадження у практичну діяльність людини не лише нових приладів для різних галузей промисловості, але й принципово нових високоефективних препаратів для лікування та діагностики багатьох захворювань, в тому числі тих, які на сьогодні невиліковні.

## ЛІТЕРАТУРА

Володина Л.А. Ольховская И.П. (2007) К механизму токсического действия наночастиц меди на бактерии *Escherichia coli*. В кн.: Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології. Матеріали конф., 21–23 листопада 2007 р., Київ, с. 441.

Гладченко Г.О., Карачевцев М.В., Валеев В.А., Леонтьев В.С. (2007) Адсорбция и гибридизация природных и синтетических нуклеиновых кислот на одностенных углеродных нанотрубках. В кн.: Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології. Матеріали конф., 21–23 листопада 2007 р., Київ, с. 420.

Горбик П.П., Чехун В.Ф., Шпак А.П. (2007) Физико-химические и медико-биологические аспекты создания полифункциональных нанокомпозитов и нанороботов. В кн.: Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології. Матеріали конф., 21–23 листопада 2007 р., Київ, с. 422.

Гусев А.И. (2007) Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. 2-е изд., испр. Физматлит, Москва, 416 с.

Головин Ю.И. (2007) Введение в нанотехнику. Машиностроение, Москва, 496 с.

- Дубок В.А., Шинкарук А.В.** (2007) Классификация биологических свойств неорганических биоматериалов как основа их усовершенствования и применения. В кн.: Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології. Матеріали конф., 21–23 листопада 2007 р., Київ, с. 24.
- Кобаяси Н.** (2007) Введение в нанотехнологию (Пер. с японск.). Бином. Лаборатория знаний, Москва, 134 с.
- Мовчан Б.А.** (2007) Электронно-лучевая нанотехнология и новые материалы в медицине — первые шаги. Вісн. фармакології і фармації, 12: 5–13.
- Москаленко В.Ф., Розенфельд Л.Г., Мовчан Б.О., Чекман І.С.** (2008) Нанотехнології, наномедицина, нанофармакологія: стан, перспективи наукових досліджень, впровадження в медичну практику. В кн.: Человек и лекарство — Украина. Матеріали І Національного конгресу, 26–28 березня, 2008 р., Київ, с. 167–168.
- Нищенко М.М., Патока В.І., Шевченко М.А. та ін.** (2007) Емісійні властивості вуглецевих наноструктурних матеріалів. В кн.: Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології. Матеріали конф., 21–23 листопада 2007 р., Київ, с. 215.
- Пул Ч.П. мл., Оуэнс Ф.Дж.** (2006) Нанотехнологии. 2-е доп. изд. Техносфера, Москва, с. 119–120.
- Рамбиди Н.Г.** (2007) Нанотехнологии и молекулярные компьютеры. Физматлит, Москва, 256 с.
- Розенфельд Л.Г., Дубок В.А., Брик А.Б., Шинкарук А.В.** (2008) Биоактивный керамический наноккомпозит синтетический и перспективы его применения для пластики костной ткани. Мистецтво лікування, 50(4): 98–71.
- Русанов А.И.** (2006) Нанотермодинамика: химический поход. Журн. Всесоюз. хим. о-ва Рос. хим. журн., L(2): 145–151.
- Сергеев Г.Б.** (2007) Нанохимия. 2-е изд., испр. и доп. Издательство Московского государственного университета, Москва, 211 с.
- Суздаев И.П.** (2006) Нанотехнология. Физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов. КомКнига, Москва, 592 с.
- Ткаченко М.Л., Жиякина Л.Е., Мощенский Ю.В.** (2007) Лекарственные эвтектики как перспективные материалы для фармацевтической технологи. В кн.: Нанорозмірні системи: будова, властивості, технології. Матеріали конф., 21–23 листопада 2007 р., Київ, с. 440.
- Трефилов В.И., Щур Д.В., Тарасов Б.П. и др.** (2001) Фуллерены — основа материалов будущего. АДЕФ-Украина, Киев, 148 с.
- Фейнман Р.Ф.** (2002) Внизу полным полно места: приглашение в новый мир физики. Журн. Всесоюз. хим. о-ва Рос. хим. журн., XLVI(5): 4–6.
- Чекман І.С., Ніцак О.В.** (2007) Нанофармакологія: стан та перспективи наукових досліджень. Вісн. фармакології та фармації, 11: 7–10.
- Чуйко А.А. (ред.)** (2003) Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния. Наукова думка, Киев: 415.
- Шайтан К.В., Турлей Е.В., Голик Д.Н. и др.** (2006) Динамический молекулярный дизайн био- и наноструктур. Журн. Всесоюз. хим. о-ва Рос. хим. журн., L(2): 53–65.
- Agaromoorthy G., Chakraborty C.** (2007) Re: introduction to nanotechnology: potential applications in physical medicine and rehabilitation. Am. J. Phys. Med. Rehabil., 86(12): 1031–1032.
- Baun A., Hartmann N.B., Grieger K., Kusk K.O.** (2008) Ecotoxicity of engineered nanoparticles to aquatic invertebrates: a brief review and recommendations for future toxicity testing. Ecotoxicology, 17(5): 387–395.
- Buchold D.H., Feldmann C.** (2007) Nanoscale gamma-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(OH) hollow spheres: synthesis and container-type functionality. Nano Lett., 7(11): 3489–3492.
- Caruthers S.D., Wickline S.A., Lanza G.M.** (2007) Nanotechnological applications in medicine. Curr. Opin. Biotechnol., 18(1): 26–30.
- Chan T.L., Tiago M.L., Kaxiras E., Chelikowsky J.R.** (2008) Size limits on doping phosphorus into silicon nanocrystals. Nano Lett., 8(2): 596–600.
- Drexler K.E.** (1994) Molecular nanomachines: physical principles and implementation strategies. Annu. Rev. Biophys. Biomol. Struct., 23: 377–405.
- Duffin R., Mills N.L., Donaldson K.** (2007) Nanoparticles — a thoracic toxicology perspective. Yonsei Med. J., 48(4): 561–572.
- Elder J.B., Liu C.Y., Apuzzo M.L.** (2008) Neurosurgery in the realm of 10<sup>-9</sup>, Part 2: applications of nanotechnology to neurosurgery — present and future. Neurosurgery, 62(2): 269–284.
- Farah A.A., Alvarez-Puebla R.A., Fenniri H.** (2008) Chemically stable silver nanoparticle-crosslinked polymer microspheres. J. Colloid Interface Sci., 319(2): 572–576.
- Fischer H.C., Chan W.C.** (2007) Nanotoxicity: the growing need for in vivo study. Curr. Opin. Biotechnol., 18(6): 565–571.
- Garcia M.A., Merino J.M., Fernández Pinel E. et al.** (2007) Magnetic properties of ZnO nanoparticles. Nano Lett., 7(6): 1489–1494.
- Garitaonandia J.S., Insausti M., Goikolea E. et al.** (2008) Chemically induced permanent magnetism in Au, Ag, and Cu nanoparticles: localization of the magnetism by element selective techniques. Nano Lett., 8(2): 661–667.
- Gordon A.T., Lutz G.E., Boninger M.L., Cooper R.A.** (2007) Introduction to nanotechnology: potential applications in physical medicine and rehabilitation. Am. J. Phys. Med. Rehabil., 86(3): 225–241.
- Igarashi E.** (2008) Factors affecting toxicity and efficacy of polymeric nanomedicines. Toxicol. Appl. Pharmacol. 229(1): 121–134.
- Jain K.K.** (2007) Applications of nanobiotechnology in clinical diagnostics. Clin. Chem., 53(11): 2002–2009.
- Jia R.R., Wu C.P., Yang Y.X. et al.** (2005) Preparation of new amino acid complex nanoparticles of bismuth and leucine. Amino Acids, 28(4): 409–412.
- Kreuter J.** (1978) Nanoparticles and nanocapsules — new dosage forms in the nanometer size range. Pharm. Acta. Helv., 53(2): 33–39.
- Lacerda L., Bianco A., Prato M., Kostarelos K.** (2006) Carbon nanotubes as nanomedicines: from toxicology to pharmacology. Adv. Drug Deliv. Rev., 58(14): 1460–1470.
- Laval J.M., Mazeran P.E., Thomas D.** (2000) Nanobiotechnology and its role in the development of new analytical devices. Analyst, 125(1): 29–33.
- Laurent S., Forge D., Port M. et al.** (2008) Magnetic iron oxide nanoparticles: synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications. Chem. Rev., 108(6): 2064–2110.
- Leary S.P., Liu C.Y., Yu C., Apuzzo M.L.** (2005) Toward the emergence of nanoneurosurgery: part I — progress in nanoscience, nanotechnology, and the comprehension of events in the mesoscale realm. Neurosurgery, 57(4): 606–634.
- Levy-Nissenbaum E., Radovic-Moreno A.F., Wang A.Z. et al.** (2008) Nanotechnology and aptamers: applications in drug delivery. Trends Biotechnol., 26(8): 442–449.
- Lim I.I., Pan Y., Mott D. et al.** (2007) Assembly of gold nanoparticles mediated by multifunctional fullerenes. Langmuir, 23(21): 10715–10724.
- Lok C.N., Ho C.M., Chen R. et al.** (2007) Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities. J. Biol. Inorg. Chem., 12(4): 527–534.
- Martin J.E., Herzing A.A., Yan W. et al.** (2008) Determination of the oxide layer thickness in core-shell zerovalent iron nanoparticles. Langmuir, 24(8): 4329–4334.
- Peek L.J., Middaugh C.R., Berkland C.** (2008) Nanotechnology in vaccine delivery. Adv. Drug Deliv. Rev., 60(8): 915–928.

Pelling A.E., Horton M.A. (2008) An historical perspective on cell mechanics. *Pflugers Arch.*, 456(1): 3–12.

Peor N., Sfez R., Yitzchaik S. (2008) Variable density effect of self-assembled polarizable monolayers on the electronic properties of silicon. *J. Am. Chem. Soc.*, 130(12): 4158–4165.

Pisanic T.R. 2nd, Blackwell J.D., Shubayev V.I. et al. (2007) Nanotoxicity of iron oxide nanoparticle internalization in growing neurons. *Biomaterials*, 28(16): 2572–2581.

Shankar K., Mor G.K., Prakasam H.E. et al. (2007) Self-assembled hybrid polymer-TiO<sub>2</sub> nanotube array heterojunction solar cells. *Langmuir*, 23(24): 12445–12449.

Shen G., Bando Y., Lee C.J. (2005) Synthesis and evolution of novel hollow ZnO urchins by a simple thermal evaporation process. *J. Phys. Chem. B.*, 109(21): 10578–10583.

Smith D.K., Korgel B.A. (2008) The importance of the CTAB surfactant on the colloidal seed-mediated synthesis of gold nanorods. *Langmuir*, 24(3): 644–649.

Taniguchi N. (1974) On the basic concept of nanotechnology. In: *Proc. ICPE*.

Wang Z., Tan B., Hussain I. et al. (2007) Design of polymeric stabilizers for size-controlled synthesis of monodisperse gold nanoparticles in water. *Langmuir*, 23(2): 885–895.

Weber D.O. (1999) Nanomedicine. *Health Forum J.*: 42(4): 32, 36–37.

Zavaliche F., Zhao T., Zheng H. et al. (2007) Electrically assisted magnetic recording in multiferroic nanostructures. *Nano Lett.*, 7(6): 1586–1590.

## НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОМЕДИЦИНА: ПЕРСПЕКТИВЫ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ВНЕДРЕНИЯ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ В МЕДИЦИНСКУЮ ПРАКТИКУ

Л.Г. Розенфельд, В.Ф. Москаленко, И.С. Чекман,  
Б.А. Мовчан

**Резюме.** В обзорной статье обобщены данные литературы и собственных исследований относительно нанотехнологий, наномедицины, перспективы научных исследований и внедрения их результатов в медицинскую практику. Авторы проанализировали по данным интернета и научных публикаций состояние исследований в различных отраслях нанонауки: нанотехнологии, наномедицине, наноэлектронике, нанобиологии, нанобиотехнологии, нанотоксикологии, синтезе наноматериалов, нанопрепаратов.

*Исследования в различных областях нанонауки интенсивно развиваются в последние 2–3 года, в том числе и в Украине. Обращено внимание на необходимость изучения физиологических, биохимических и физико-химических механизмов действия наночастиц и возможного токсического влияния их на организм человека.*

**Ключевые слова:** нанотехнологии, наномедицина, нанофизиология, нанофармакология, нанотоксикология.

## NANOTECHNOLOGY, NANOMEDICINE: PROSPECTS FOR SCIENTIFIC INVESTIGATIONS AND IMPLEMENTATION OF THEIR RESULTS INTO CLINICAL PRACTICE

L.G. Rozenfeld, V.F. Moskalenko, I.S. Chekman,  
B.O. Movchan

**Summary.** Review article summarizes literary data and own study results on nanotechnology, nanomedicine, prospects for scientific investigations and implementation of their results into clinical practice. Current state of investigations in different fields of nanoscience (nanotechnology, nanomedicine, nanoelectronics, nanobiology, nanobiotechnology, nanotoxicology, synthesis of nanomaterials, nanodrugs) has been analyzed by the internet data. Researches in different fields of nanoscience have been developing intensively during last 2–3 years, also in Ukraine. Special attentions is paid to studying of the physiological, biochemical and physicochemical mechanisms of nanoparticles action and their possible toxic influence on human organism.

**Key words:** nanotechnology, nanomedicine, nanophysiology, nanopharmacology, nanotoxicology.

**Адреса для листування:**

Чекман Іван Сергійович  
04050, Київ, вул. Герцена, 17–25, кв. 154  
E-mail: chekman\_ivan@yahoo.co.uk

## РЕФЕРАТИВНА ІНФОРМАЦІЯ

### Viagra в спорті — под вопросом По матеріалам BBC

Всемирное антидопинговое агентство (WADA) официально подтвердило, что рассматривает возможность включения Viagra/Виагра (сильденафил) в список препаратов, запрещенных к применению участниками международных соревнований.

Препараты сильденафила, назначаемые при эректильной дисфункции, применяют у спортсменов-спринтеров с целью увеличить приток крови в мышцы. Считается также, что сильденафил может повышать выносливость спортсмена, особенно если состязания проходят в местах с плохой

экологией (Олимпиада в Пекине) или на большой высоте.

«Это вещество находится в зоне внимания WADA. В данный момент агентство финансирует исследовательский проект, в котором изучают потенциал повышения [этим веществом] атлетических возможностей на разных высотах», — заявил Би-Би-Си представитель WADA. Ожидается, что результаты исследований будут получены в следующем году.

Сейчас спортсмены могут на совершенно законных основаниях принимать сильденафил и не бояться обнаружения его следов в своих анализах на допинг.