

НАНОНАУКА В УКРАЇНІ: ДО ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ (історичний аспект і сучасність)

I.C. Чекман, чл.-кор. НАН і НАМН України, д. мед. н., професор

"Є надмір місця на дні — запрошую в нову царину фізики"

Ричард Фейнман (1918-1988), американський фізик, лауреат Нобелівської премії

РЕЗЮМЕ. В оглядовій статті узагальнено історичні етапи розвитку нанотехнології як галузі науки і техніки від початку — лекції видатного американського фізика Р. Фейнмана до наших часів. На сьогодні ця галузь є однією із найактивніше досліджуваних у світі, щороку публікуються тисячі статей з тематики нанотехнологій у десятках спеціалізованих журналів. В Україні дослідження у галузі нанотехнологій також набули широкого розмаху. В них бере участь значна кількість науково-дослідних інститутів, вищих навчальних закладів, лабораторій. Актуальними в наш час є біоетичні, фармакологічні, токсикологічні фізико-хімічні, фармацевтичні та клінічні аспекти застосування наноматеріалів. Ключові слова: нанотехнології, нанонаука, наноматеріали.

РЕЗЮМЕ. В обзорной статье обобщены этапы развития нанотехнологии как отрасли науки и техники от начала — лекции выдающегося американского физика Р. Фейнмана до настоящего времени. На сегодняшний день эта отрасль является одной из наиболее изучаемых в мире, каждый год публикуются тысячи статей по тематике нанотехнологий в десятках специализированных журналах. В Украине исследования в отрасли нанотехнологий также приобрели широкий размах. В них вовлечен целый ряд научно-исследовательских институтов, высших учебных заведений, лабораторий. Актуальными в наше время являются биоэтические, фармакологические, токсикологические, физико-химические, фармацевтические и клинические аспекты использования наноматериалов. Ключевые слова: нанотехнологии, нанонаука, наноматериалы.

SUMMARY. Stages of nanotechnology development — from lection of prominent American physics R. Feynman to nowadays were summarized in this review. At the current time this branch is one of the most extensively studied in the world, and every year thousands of articles in various specialized journals is published. Research in the field of nanotechnology is steadily growing too. A number of scientific institutions, higher education establishments and laboratories are involved in this research. Actual aspects of application of nanomaterials nowadays are bioethical, pharmacological, toxicological, physical-chemical, pharmaceutical and clinical.

Key words: nanotechnology, nanoscience, nanomaterials.

Нанонаука (Nanoscience: nanopos з грецької — карлик, гномик, science — наука, система знань) — нова галузь, що вивчає фізичні, фізико-хімічні, біологічні, фармакологічні, фармацевтичні, токсикологічні властивості наночастинок розміром до 100 нм, можливість їх синтезу за допомогою нанотехнологій та застосування у різних сферах народного господарства, біології, медицині, аграрному секторі. Нанорозмірами є величини від 0,1 до 100 нанометрів, від 100 до 1000 нанометрів — це мікророзміри, а понад 1000 нанометрів класифікують як макророзміри. Величини менше одного нанометра вимірюються в ангстремах (10^{-10}). Ця одиниця названа на честь шведського фізика й астронома, одного із засновників спектрального аналізу А.Й. Ангстрема (1814-1874).

Цікава історія грецького префікса "нано", а також "нанно". Як свідчать історичні факти, за 600 років до нашої ери на місці нинішнього французького міста Марселя мешкало плем'я лігурів. Столицею племені був порт Фокей з правителем-царем по імені Нанн. Коли у царя підросла дочка і її можна було видавати заміж, він зап-

росив на свято до Фокея багато гостей, і з-поміж них донька мала обрати собі майбутнього чоловіка. Гостей пригощали нанно — солодкими медовими пряниками. І досі у марсельському порту місцеві кулінари готують такі ж самі медові пряники — нанно (слово нанно пишеться з двома н). Про цю давню історію не згадали вчені і конструктори, які винайшли прилад, що давав змогу бачити мізерні предмети невлочувані оком людини. Прилад назвали мікроскопом від грецького "мікрос" — малий.

У 1909 році в німецькому місті Кіле на семінарі товариства зоологів університетський професор Х. Ломан запропонував називати мікроскопічні водорості "нанопланктонами". І сьогодні зоологи випускають "Журнал досліджень нанопланктону". Відкриття у фізиці і хімії, здійснені на початку ХХ століття, потребували нових позначень. Міжнародний комітет з мір і ваги запровадив такі назви: префікс для множника 1000 (10^3) — "кіло" (з грецької "chilioi" — тисяча, для 10^{-3} — "мілі" (з латини "millesimus" — тисячний), для 10^{-9} (нано з грецької "nanos" — карлик), для 10^{-12} — "пікколо" (з італійського piccolo — маленький).

Як часто буває в науці, новий напрямок пов'язують з іменем ученого, чиє відкриття започаткувало його. Розвиток нанонауки та нанотехнологій слід розглядати з аналізу життя та діяльності лауреата Нобелівської премії (1965 рік) Ричарда Філіппса Фейнмана (1918-1988), яку він отримав за створення вчення з квантової електродинаміки, видатного американського фізика-теоретика ХХ століття. Американського вченого Р.Ф. Фейнмана і російського Л.Д. Ландау вважають найвидатнішими фізиками-універсалами. Фактично Р. Фейнман заклав основи нанонауки.

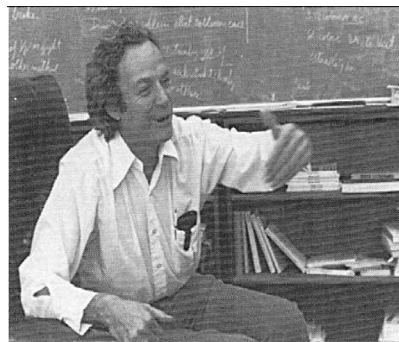


Рис. 1. Р. Фейнман в університеті Калтех, 1974 р. [38]

Кількість друкованих статей з нанонауки
(за даними мережі Інтернет на 1 лютого 2011 р.)



Рис. 2. Р. Фейнман з дружиною на урочистому прийомі в Стокгольмській ратуші після вручення Нобелівської премії, 1965 р. [38]

Уперше термін для позначення матеріалів з точністю до нанометра ввів у 1974 р. японський учений-фізик, фахівець у галузі матеріалознавства Норіо Танігучі, в доповіді "Про концептуальні основи нанотехнологій", прочитаній на міжнародній конференції "International Conference on Precision Engineering". Н. Танігучі запропонував називати структури розмірами від 1 до 100 нанометрів "наночастинками", а методи їх отримання — нанотехнологіями.

Друга половина ХХ ст. позначена стрімкими досягненнями у різних галузях народного господарства, фізиці, хімії, медицині, лікознавстві, біології, науці про космос, військовій техніці. Одним із видатних відкриттів людства кінця минулого століття є вивчення властивостей природних і синтетичних матеріалів нанорозмірів. Слова з префіксом "нано" — нанонаука, нанотехнології, наноелектроніка, нанобіологія, нанобіотехнології, наномедицина, нанофармакологія, а в останні роки — наносвіт — почали вживати фахівці різних напрямків діяльності. Справжній бум у царині нанонауки та наноматеріалів, що почався близько 30 років тому, зумовив необхідність у дослідженнях наооб'єктів, які мають своєрідні, часто несподівані, техногенні, фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні, фармакологічні, токсикологічні властивості, відмінні від частинок макророзмірів і навіть мікророзмірів. Теоретичні узагальнення, які стосуються нанонауки, дещо випереджали можливість їх практичної реалізації. Слід зазначити, що застосування методів прямої візуалізації наноматеріалів і наночастин-

Напрямки нанології	Всього наукових праць	Статей до 2006 р.	Наукові статті 2006-2011 рр.	Рік першої публікації
Нанотехнології (Nanotechnology)	25521	6302	19219 1978	1978
Нанотехнології у фармакології (Nanotechnology in pharmacology)	3411	848	2563	1997
Нанонаука (Nanoscience)	2822	412	2410	1998
Наномедицина (Nanomedicine)	1990	56	1934	1999
Нанотехнології у фармації (Nanotechnology in pharmacy)	694	231	463	1998
Нанобіотехнологія (Nanobiotechnology)	670	180	490	2000
Наноелектроніка (Nanoelectronics)	296	82	214	1991
Нанобіологія (Nanobiology)	236	22	214	1994
Нанотоксикологія (Nanotoxicology)	206	5	201	2004

нок, таких як тунельна електронна мікроскопія, рентгеноструктурний аналіз, а також відомих спектроскопічних методів, дало змогу детальноше вивчити їхні властивості.

Наноматеріали закладені у підвалинах наносвіту (на рівні молекул, атомів), торкаючись практично всіх галузей наукових досліджень нанонауки і нанотехнологій, дивовижним чином пронизують усе довкола людини, включаючи структури живого і неживого довкілля. Практично кожна людина у будь-якій сфері своєї діяльності тим чи іншим чином пов'язана з наносвітом.

Дослідження фізичних, хімічних, фізико-хімічних, фармакологічних, біохімічних, біофізичних механізмів взаємодії наночастинок з біологічними об'єктами (клітинами макро- та мікроорганізмів) допоможе не тільки з'ясувати їх позитивний чи негативний вплив на біоструктури та навколишній світ, а й сприятиме пошуку з-поміж них ефективних і безпечних протекторів функціональної активності клітин і органів, широкому застосуванню у техніці, сільському господарстві, медицині як високоефективних препаратів, а також носіїв цільової

доставки лікарських засобів і фізіологічно активних речовин до вогнища патологічного процесу. Завдяки цим дослідженням деякі наноматеріали вже застосовують у практичній діяльності людини. Наприклад, надтверді сплави металів у техніці, ліпосоми у медицині, фулерени і дендримери для діагностики захворювань і цільової доставки лікарських засобів.

В усіх країнах світу проводяться інтенсивні дослідження з нанонауки та впровадження результатів нанотехнологій у практичну діяльність людини. За 30-и літній період розвитку нанонауки вона знайшла своє застосування у технічних, біологічних, медичних, аграрних напрямках. Інтенсифікація фундаментальних досліджень, розробка і впровадження нанотехнологій у практичну діяльність людини підготували появу часопису "Nanotechnology", а також нових журналів: "Journal Nanoscience Nanotechnology", "National Nanotechnology", "Nano Letters", "Nanomedicine", "Small", "Lab Chip". "Langmuir", "IEE Proceedings Nanobiotechnology", "Journal Biomed. Nanotechnology", "Nano Today", "ACS Nano", "Nano Research",

"Nanoscale" та інших видань. Кількість публікацій за темою нанотехнологій і наноматеріалів неухильно зростає.

В Україні проводяться також дослідження з нанонауки, зокрема, у системі Національної академії наук, Цей аспект проблеми потребує детального висвітлення в іншій публікації. У цій статті звернуто увагу на дослідження з нанонауки в Національній академії медичних наук та медичних (фармацевтичних) університетах України.

В інститутах НАМН спільно з НАН України та вищими навчальними медичними закладами України проводяться дослідження з розробки технологій отримання наночастинок та вивчення їх властивостей з метою впровадження нових ефективних нанопрепаратів у медичну практику.

З ініціативи президента НАН України академіка Б.Є. Патона та ректора Національного медичного університету імені О.О. Богомольця академіка В.Ф. Москаленка у січні 2008 року створена спільна наукова лабораторія між Інститутом електродозарювання імені Є. О. Патона і Національним медичним університетом імені О.О. Богомольця: "Електронно-променева нанотехнологія неорганічних матеріалів для медицини".

Слід підкреслити, науковці цієї лабораторії спільно з інститутами НАМН та вищими навчальними закладами України отримали цікаві наукові факти:

1. Розроблена технологія отримання наночастинок срібла, міді, їх композитів, а також нанозаліза, нанодирконію, наноалюмінію, інших металів, нановуглецю.
2. Вивчені особливості взаємодії наночастинок срібла, міді, заліза з компонентами біомембрани (Національний медичний університет імені О.О. Богомольця — ректор академік НАМН В.Ф. Москаленко), що має важливе значення для встановлення механізму дії наночастинок.
3. Встановлено, що наночастинки срібла, міді та їх композити проявляють більш виражену протимікробну дію, ніж ці метали звичайних розмірів (Інститут епідеміології та інфекційних хвороб — директор проф. В.Ф. Марієвський).

4. Розроблена технологія отримання лікарських форм: мазь, гель, емульсія наночастинок срібла, міді, їх композитів (Львівський національний медичний університет, ректор проф. Б.С. Зіменковський, доц. Білоус С.Б.).

5. Розроблена технологія отримання супозиторій наночастинок срібла (Харківський національний медичний університет, ректор — член-кор. НАМН, проф. В.М. Лісовий, проф. Звягінцева Т.В., доц. Сирова Г.О.).

5. Встановлено, що у цих лікарських формах, наночастинки срібла, міді, їх композити проявляють більш виражену протимікробну дію, ніж ці метали звичайних розмірів (Інститут епідеміології та інфекційних хвороб — директор проф. В.Ф. Марієвський).

В Інституті гігієни та медичної екології імені О.М. Марзеєва НАМН (директор — академік НАМН, проф. А.М. Сердюк) вперше в системі академії створений відділ з вивчення безпеки нанотехнологій та наноматеріалів, у якому вивчаються протимікробні та токсикологічні властивості наносрібла, синтезованого в Інституті хімії поверхні імені О.О. Чуйка НАН та інших наукових колективах.

У вивченні властивостей наночастинок металів, отриманих за технологією Б.Є. Патона і Б.О. Мовчана, беруть також участь наукові колективи НАМН:

1. Інститут гематології і трансфузіології (директор — проф. П.М. Перехрестенко).
2. Інститут очних хвороб (директор — проф. Т.В. Пасічникова).
3. Інститут мікробіології та імунології імені І.І. Мечнікова (директор — проф. Ю. Л. Волянський).
4. Інститут медицини праці (дир. — акад. Ю.І. Кундієв)
5. Інститут фармакології і токсикології (дир. — проф. Т.А. Бухтіарова)

Різні напрямки наукових досліджень з наномедицини проводяться у вищих навчальних медичних (фармацевтичних) закладах:

1. Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця (ректор — акад. В.Ф. Москаленко).
2. Харківський національний медичний університет (ректор — член-кор. В.М. Лісовий).
3. Львівський національний медичний університет (ректор — проф.

В.П. Зіменковський).

4. Національний фармацевтичний університет (ректор — член-кор. НАН В.П. Черних).
5. Вінницький національний медичний університет (ректор — акад. В.М. Мороз).
6. Запорізький медичний університет (ректор — проф. О.М. Колесник).
7. Дніпропетровська медична академія (ректор — акад. Г.В. Дзяк).
8. Одеський медичний університет (ректор. — акад. В.М. Запорожан).
9. Тернопільський медичний університет (ректор. — член-кор. Л.А. Ковальчук).
10. Луганський медичний університет (ректор — проф. В.М. Івченко).
11. Полтавська медична академія (ректор — проф. М.В. Ждан).
12. Національна медична академія післядипломної освіти (ректор — член-кор. Ю.В. Вороненко).

Цікаві дослідження проводяться у Дніпропетровській медичній академії (професор В.Ф. Шаторна) з вивчення впливу наночастинок на ембріогенез. В Одеському медичному університеті вивчають вплив наночастинок на імунну систему організму, Запорізькому медичному університеті — на енергетичний обмін в організмі тварин, Тернопільському медичному університеті — функцію паренхіматозних органів, Національній медичній академії післядипломної освіти — ефективність застосування наночастинок при діабеті.

За рекомендацією Відділу освіти і науки МОЗ України планується узагальнити дослідження з наномедицини з метою прискорення таких розробок із залученням усіх вищих медичних і фармацевтичних закладів, а також розробки програми та навчального посібника з нанотехнологій та наномедицини.

В Інституті хімії поверхні ім. О.О.Чуйка НАН України (О.О.Чуйко, В.О. Покровський, Є.П. Воронін) спільно зі співробітниками Вінницького національного медичного університету ім. М.І. Пирогова (ректор — академік НАМН В.М. Мороз) розроблений препарат "Силікс"- аморфний порошок нанодисперсного кремнезему, отриманого хімічним способом, який застосовується у медичній практиці.

На кафедрі фармакології та клінічної фармакології (зав. член-кореспондент НАН і НАМН, проф. І.С. Чекман) спільно з Інститутом хімії поверхні імені О.О. Чуйка НАН України протягом останніх 10-и років проводяться дослідження по вивченню властивостей з нанодисперсного кремнезему. Розроблена технологія і вивчені властивості нової оригінальної суспензії нанодисперсного кремнезему, Встановлено, що суспензія нанодисперсного кремнезему має виражені сорбційні властивості, зменшує токсичність ксенобіотиків різного механізму токсичної дії та хімічної структури, яку заплановано випускати на заводі "Біофарма".

В Інституті фармакології і токсикології НАМН України (директор — проф. Т.А. Бухтіарова) розроблена технологія отримання препарату ліпін, що є наноструктурою ліпосом. Препарат проявляє виражену фармакологічну активність і випускається як лікарський засіб. В досліджах *in vivo* та *in vitro* на різних патологічних моделях (гіпоксія, ішемія міокарда, геморагічний шок, вплив радіації) встановлена профілактична та лікувальна дія фосфатидилхолінових ліпосом на стан тканинного метаболізму, функцію судин, діяльність серця та стан гемодинаміки (Т.А. Бухтіарова Т.А., А.С. Григор'єва, А.І. Соловійов, М.А. Мохорт, Н.М. Серединська, О.С. Хромов).

В Інституті медицини праці НАМН України (директор — академік Ю.І. Кундієв, пров. наук. співробітники — Т.К. Кучерук, В.А. Стежка) проведені дослідження по вивченню токсикологічних властивостей нанокремнезему при інгаляційному надходженні в організм. Встановлено, що при інгаляції наночастинки кремнезему справляють негативний вплив не тільки на легені, а також на інші органи (печінку, міокард, нирки). Токсикологічна активність залежить від розміру наночастинок. Частилки 6-7 нм зумовлюють більш виражені токсикологічні зміни, ніж наночастинки розміром 54-55 нм.

У цьому науковому закладі також проводяться дослідження (академік НАМН І.М. Трахтенберг) з вивчення впливу на організм важких металів, зокрема наносвинцю та науковому обґрунтуванню засобів

безпеки в умовах виробництва нанометалів.

На кафедрі гігієни праці та професійних захворювань Національного медичного університету імені О.О. Богомольця (зав. кафедри член-кор. НАМН, проф. О.П. Яворовський) проводяться дослідження з токсикології наносрібла при різних шляхах введення, а також вивчення умов праці при виробництві наночастинок.

Дослідження з нанотоксикології мають важливе практичне значення. Тому в усьому світі вчені починають досліджувати токсичні властивості наноматеріалів, зокрема можливий негативний їх вплив на організм людини та довкілля.

Відомий вітчизняний учений-гігієніст, академік НАН України Ю.І. Кундієв, характеризуючи біоетичні аспекти нанотехнологій і наноматеріалів, зазначив: "У той же час часто забувають про можливість непередбачуваного впливу на людину та її геном, нехтують досить простою істиною — в світі немає нічого ідеального. Тому потрібен ретельний аналіз не тільки науково-технічної, а й морально-етичної складової досягнень та подальшого розвитку нанотехнологій. Розвиток таких напрямків, як нанобезпека, нанотоксикологія, не має бути другорядним. Саме біоетика повинна зламати існуючий стереотип, коли технології, навіть найпривабливіші, широко впроваджуються без їх попереднього глибокого і всебічного вивчення"

Таким чином, українськими вченими, проводячи дослідження з нанотехнологій, наномедицини, нанофармакології, нанотоксикології, досягнуто наступне:

1. Розроблено технології отримання наноматеріалів органічного та неорганічного походження.
2. Впроваджено у медичну практику нанопрепарати:
 - 2.1. Препарат нанодисперсного кремнезему — силікс для лікування гострих отруєнь.
 - 2.2. Препарати ліпосом (ліпін, ліподокс, ліпофлавіон) для лікування токсичних уражень печінки.
3. Планується до впровадження:
 - 3.1. Суспензія нанодисперсного кремнезему для лікування гострих отруєнь різного генезу.
 - 3.2. Мазь і гель наносрібла для лікування мікробних захворювань

шкіри та слизових оболонок.

3.3. Таблетки нанозаліза для лікування анемії.

3.4. Нанокераміка для покращення зростання кісток.

Перспективи досліджень з нанотехнологій:

1. Розробляти нові технології отримання наночастинок, особливо композитів органічного та неорганічного походження.
2. Створити лікарські форми для зовнішнього, внутрішнього, інгаляційного та парентерального застосування.
3. Вивчити механізми лікувальної дії нових нанопрепаратів.
4. Дослідити токсикологію наноматеріалів.
5. Встановити усі аспекти взаємодії наноструктур з організмом та зовнішнім середовищем.
6. Розробити державну наукову тему: "Вивчення властивостей наночастинок срібла, міді, заліза, вісмуту, а також органічних наноструктур для впровадження у медичну практику нових оригінальних лікарських засобів".

Без сумніву, у цій короткій статті немає можливості висвітлити усі аспекти наукових досліджень з нанонауки вченими-медиками України.

Наприкінці ХХ — на початку ХХІ століття фундаментальна наука, базуючись на сучасних високих технологіях, презентувала людству такі вражаючі відкриття, які перевершили художню уяву найсміливіших фантастів. Розшифровано геном людини, клоновано перші організми, людський розум дедалі активніше проникає у світ наноматерії. Сміливі мрії науковців стають реальністю. І тут виникає кілька проблем.

1. А чи готова людина вміло використати здобутки науково-технічного прогресу на благо собі і цивілізації, чи узгоджується з високою креативністю розуму рівень її моралі та відповідності.

2. Освоюючи наноматеріали, довільно комбінуючи гени, створюючи кіберорганізми, чи не порушує людина певний баланс у Природі, ту крихку і тонку структуру, яка зветься рівновагою систем, гармонією духу й матерії?

3. Вільно маніпулюючи з такими субстанціями, як наночастинки, варіації генів, нанобіомоторами, чи

не зухвало ми втручаємося у простір, який є принципово непізнаний, і чи нашкодимо ми живій і неживій природі?

4. Парадигма антропоцентризму, що домінує ще з доби Відродження, поступово витісняється парадигмою біоцентризму, але, на жаль, не у швейцарському понятті "благоговіння перед життям", а в нестримному бажанні переформатувати Природу по-своєму. Так, ми втрачаємо щось дуже цінне, ор-

ганічне, натомість спостерігаємо експансію штучних новотворів і конструкцій, які не завжди є безпечними для людини і довкілля. І з глибин античності знову долинає до нас заклик Гіппократа: "Не нашкодь!".

Тому злободенним є скрупульозне і всебічне дослідження всього того, що нині створює людство у надрах наносвіту. Отже, слід акцентувати увагу вчених різних спеціальностей не тільки на розробці нових тех-

нологій отримання наноматеріалів, а й насамперед на поглибленому вивченні фізичних, фізико-хімічних, квантово-хімічних, фізіологічних, біохімічних, фармакотоксичних їх властивостей, молекулярних механізмів дії нових нанопрепаратів і можливому побічному впливі на організм та довкілля, створенні фармацевтичних технологій отримання адекватних лікарських форм з метою успішного застосування у медичній практиці.

ЛІТЕРАТУРА

1. Борисевич В.Б. Наноматеріали в біології. Основи нановетеринарії. / В.Б. Борисевич, В.Г. Каплуненко, М.В. Косінов [та ін.]. — К.: ВД "Авіцена", 2010. — 416 с.
2. Нанохімія. Наносистеми. Наноматеріали / С.В. Волков, С.П. Ковальчук, В.М. Генко, О.В. Решетняк — К.: Наукова думка, 2008. — 422 с.
3. Гродзинський Д.М. Біоетика та проблеми біорізноманіття / Д.М. Гродзинський // Четвертий Національний конгрес з біоетики з міжнародною участю, Київ. — 2010. — С. 37-38.
4. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. / А.И. Гусев — 2-е изд., испр. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. — 416 с.
5. Елисеев А.А. Функциональные наноматериалы. / А.А. Елисеев, А.В. Лукашин; ред. Ю.Д. Третьяков. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 456 с.
6. Кац Е.А. Фуллерены, углеродные нанотрубки и нанокластеры: Родословная форм и идей. / Е.А. Кац — М.: Изд-во ЛКИ, 2008. — 296 с.
7. Кундієв Ю.І. Біоетика — шлях до більш майбутнього / Ю.І. Кундієв // Четвертий Національний конгрес з біоетики з міжнародною участю, Київ. — 2010. — С. 28-30.
8. Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния. / ред. А.А. Чуйко — К.: Наукова думка, 2003. — 415 с.
9. Мовчан Б.А. Электронно-лучевая гибридная нанотехнология осаждения неорганических материалов в вакууме / Б.А. Мовчан; ред. И. К. Походня // Актуальные проблемы современного материаловедения в 2т. Т. 2. — К.: Изд. Академперіодика, 2008. — Т. 1. — С. 227-247.
10. Москаленко В.Ф. Наукові основи наномедицини, нанофармакології та нанофармації / В.Ф. Москаленко, В.М. Лісовий, І.С. Чекман [та ін.] // Вісник Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця. — 2009. — №2. — С. 17-31.
11. Патон Б.Є. Нанонаука і нанотехнології: технічний, медичний та соціальний аспекти / Б.Є. Патон, В.Ф. Москаленко, І. С. Чекман, Б.О. Мовчан // Вісн. НАН України. — 2009. — №6. — С. 18-26.
12. Пул Ч. Нанотехнологии / Ч. Пул, Ф. Оуенс — 2-е изд., доп. — М.: Техносфера, 2006. — 336 с.
13. Сердюк А.М. Біоетичні проблеми в сучасній гігієні та медичній екології / А.М. Сердюк // Четвертий Національний конгрес з біоетики з міжнародною участю, Київ. — 2010. — С. 37.
14. Трахтенберг І.М. Етичні аспекти впровадження наноматеріалів / І.М. Трахтенберг, О.Л. Апіхтіна, Н.М. Дмитруха // Четвертий Національний конгрес з біоетики з міжнародною участю, Київ, 2010. — С. 81-82.
15. Уильямс Л. Нанотехнологии без тайн / Л. Уильямс, У. Адамс — пер. з англ. — М.: Эксмо, 2010. — 368 с.
16. Фейнман Р. Внизу полным полно места: приглашение в новый мир физики / Р. Фейнман // Рос. хим. ж. — 2002. — Т. XLVI, №5. — С. 406-409.
17. Чекман І.С. Фармакологічні та фармацевтичні основи нанопрепаратів / І.С. Чекман // Лікарська справа. Врачебное дело. — 2010. — №1-2. — С. 3-10.
18. Чекман І.С. Нанотоксикологія: напрямки досліджень (огляд) / І.С. Чекман, А.М. Сердюк, Ю.І. Кундієв, І.М. Трахтенберг // Довкілля та здоров'я. — 2009. — №1 (48). С. 3-7.
19. Шука А.А. Нанoeлектроніка. / А.А. Шука — М.: Физматкнига, 2007. — 464 с.
20. Christian P. Nanoparticles: structure, properties, preparation and behavior in environmental media / Christian P., Von der Kammer F. Baalousha M., Hofmann T. // Ecotoxicol. — 2008. — Vol. 17, №5. — P. 326-343.
21. Drexler K. E. Engines of creation: The coming era of nanotechnology. / Drexler K. E. — Anchor. — 1987. — 320 p.
22. Fischer H.C. Nanotoxicity: the growing need for in vivo study / H.C. Fischer, W.C. Chan // Curr. Opin. Biotechnol. — 2007. — Vol. 18, №6. — P. 565-571.
23. Gewin V. Nanobiotechnology: small talk / V. Gewin // Nature. — 2006. — Vol. 444, №7118. — P. 514-515.
24. Gordon A.T. Introduction to nanotechnology: potential application in physical medicine and rehabilitation / A.T. Gordon, G.E. Lutz, M.L. Boninger, R.A. Cooper // Am. J. Phys. Med. Rehabil. — 2007. — Vol. 86, №3. — P. 225-241.
25. Hannah W. Nanotechnology, risk and the environment: a review / W. Hannah, P.B. Thompson // J. Environ. Monit. — 2008. — Vol. 10, №3. — P. 291-300.
26. Jain K.K. Nanomedicine: application of nanobiotechnology in medical practice / K.K. Jain // Med. Princ. Pract. — 2008. — Vol. 17, №2. — P. 89-101.
27. Kahru A. From ecotoxicology to nanoecotoxicology / A. Kahru, Dubourguier H.C. // Toxicology. — 2010. — Vol. 269, № 2-3. — P. 105-119.
28. Knopp D. Review: Bioanalytical applications of biomolecule-functionalized nanometer-sized doped silica particles / D. Knopp, D. Tang, R. Niessner // Anal. Chim. Acta — 2009. — Vol. 647, №1. — P. 14-30.
29. Medina C. Nanoparticles: pharmacological and toxicological significance / C. Medina, M. J. Santos-Martinez, Radomski A. [et al.] // Br. J. Pharm. — 2007. — Vol. 150, №5. — P. 552-558.
30. Introduction to metallic nanoparticles / V.V. Mody, R. Siwale, A. Singh,

- H.R. Mody // *J. Pharm. Bioallied Sci.* — 2010. — Vol. 2. — №4. — P. 282-289.
31. Nanomedicine: current status and future prospects / S.M. Moghimi, A.C. Hunter, J.C. Murray // *FASEB J.* — 2005. — Vol. 19, №3. — P. 311-330.
 32. Pan D. Nanomedicine: perspective and promises with ligand-directed molecular imaging / D. Pan, G.M. Lanza, S.A. Wickline, Caruthers S.D. // *Eur. J. Radiol.* — 2009. — Vol. 70, №2. — P. 274-285.
 33. Nanopharmacy: Inorganic nanoscale devices as vectors and active compounds / Gil.P. Rivera, D. Huhn, L.L. del Mercato, D. Sasse [et al.] // *Pharmacol. Res.* — 2010. — Vol. 62. — №2. — P. 115 — 125.
 34. Silva G.A. Introduction to nanotechnology and its applications to medicine / G.A. Silva // *Surg. Neurol.* — 2004. — Vol. 61, №3. — P. 216-220.
 35. Silva G.A. Nanotechnology applications and approaches for neuroregeneration and drug delivery to the central nervous system / G.A. Silva // *Ann. NY Acad. Sci.* — 2010. — Vol. 1199. — P. 221-230.
 36. Teli M.K. Nanotechnology and nanomedicine: going small means aiming big / M.K. Teli, S. Mutalik, G.K. Rajanikant // *Curr Pharm Des.* — 2010. — Vol. 16, № 16. P. 1882-1892.
 37. Whitesides G.M. Nanoscience, nanotechnology and chemistry / G.M. Whitesides // *Small.* — 2005. — Vol. 1, №2. — P. 172-179.
 38. Yang W. Inhaled nanoparticles — a current review / W. Yang, J.I. Peters, R.O. Williams // *Int. J. Pharm.* — 2008. — Vol. 356, №1-2. — P. 239-247.
 39. Nanoparticles in medicine: therapeutic applications and developments / L. Zhang, F. X. Gu, J.M. Chan [et al.] // *Clin. Pharmacol. Ther.* — 2008. — Vol. 83, 5. — P. 761-769.
 40. New technology and clinical application of nanomedicine / L. Zuo, W. Wei, M. Morris [et al.] // *Med. Clin. North Am.* — 2007. — Vol. 91, №5. — P. 845-862.

Надійшла до редакції: 25.03.2011