

Б. ПАТОН, В. МОСКАЛЕНКО, І. ЧЕКМАН, Б. МОВЧАН

НАНОНАУКА І НАНОТЕХНОЛОГІЇ: ТЕХНІЧНИЙ, МЕДИЧНИЙ ТА СОЦІАЛЬНИЙ АСПЕКТИ

Провідні вчені прогнозують, що широке впровадження нанотехнологій у виробничу діяльність людини стане своєрідною нанореволюцією XXI століття. Зважаючи на таку перспективу, вітчизняні науковці активно зайнялися питаннями нанонауки та створення нанотехнологій. Про це, зокрема, свідчить швидкий розвиток таких напрямів, як наноелектроніка, наномедицина, нанофармакологія, нанобіологія, наноприлади і нанопрепарати. Практичні розробки вже застосовано в досить широкій сфері – електроніці, інформаційних технологіях, медицині, фармакології, фармацевтиці, сільському господарстві, авіації, космонавтиці, військовій справі, мікрохвильовій техніці, сонячних батареях, радіозв'язку, радіології і радіонавігації, молекулярній біології, медичних технологіях, екологічному моніторингу тощо.

Нанонаука (Nanoscience) вивчає фізичні, фізико-хімічні, біологічні, фармакологічні, токсикологічні властивості наночастинок розміром до 100 нм, можливість їх синтезу за допомогою нанотехнологій та застосування в різних галузях народного господарства, клінічній медицині, фармакології, фармацевтиці, біології. Цей новий напрям науки виник у результаті поєднання фундаментальних досліджень з фізики, хімії, фізико-хімії, математики, матеріало-

знавства, біології, генетики, медицини, а також на основі сучасних технічних досягнень із визначення розміру наночастинок і їх синтезу різними методами. Тому нанонауку слід розглядати як один із важливих аспектів цивілізаційного розвитку, що охоплює широке коло проблем техніки, енергетики, біології, охорони здоров'я, навколишнього середовища.

Нанотехнологія (Nanotechnology) – сукупність наукових знань, способів і засобів,

© ПАТОН Борис Євгенович. Академік НАН України. Президент Національної академії наук України. Директор Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона.

МОСКАЛЕНКО Віталій Федорович. Член-кореспондент АМН України. Ректор Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця.

ЧЕКМАН Іван Сергійович. Член-кореспондент НАН України. Завідувач кафедри фармакології та клінічної фармакології Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця.

МОВЧАН Борис Олексійович. Академік НАН України. Головний науковий співробітник Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України (Київ). 2009.

спрямованого, регульованого складання (синтезу) із окремих атомів і молекул різних речовин, матеріалів і виробів із лінійним розміром елементів структури до 100 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$; $1 \text{ нм} = 10 \text{ \AA}$) [6, 7].

Широке впровадження нанотехнологій у різні сфери людської діяльності, на думку фахівців, перевершить такі досягнення людства, як освоєння космосу, комп'ютеризація, створення мережі Інтернет і мобільного зв'язку в другій половині ХХ століття [4, 16, 18].

Розвиток нанотехнологій та впровадження їхніх результатів буде зосереджено в майбутньому переважно на таких напрямках:

I. Розроблення нових економічно вигідніших методів синтезу наноматеріалів та реєстрації величини наночастинок.

II. Створення нових наноматеріалів для промисловості, авіації, космічної техніки та інших галузей народного господарства.

III. Упровадження наноматеріалів для інформаційних технологій, електроніки, комп'ютеризації виробництва та медицини, фармакології, фармації.

IV. Розроблення нанобіотехнологій та впровадження отриманих нанобіосенсорів, нанореактивів у біологічні лабораторні дослідження.

V. Створення нових нанопрепаратів для діагностики та лікування різних захворювань.

На сьогодні розроблено й освоєно декілька методів синтезу наноматеріалів: газофазовий і плазмохімічний синтез, електронно-променева технологія — молекулярні пучки, осаджування з колоїдних розчинів, термічне розкладання та відновлення, механосинтез, детонаційний синтез і електровибух, синтез високодисперсних оксидів у рідких металах, високотемпературний синтез та інші. Перелічені методи детально описано в низці наукових публікацій [3, 4, 6, 7, 17].

На сучасному етапі перед ученими світу постало завдання розробити високопродуктивні, економічно вигідні та безпечні для зовнішнього середовища технології отримання наноматеріалів. Зокрема, розроблення принципово нових лікарських засобів для профілактики та лікування різних захворювань науковці вважають одним із актуальних завдань медичної практики [2, 12, 18].

Завдяки інтенсивному розвитку наноелектроніки, нанотехнологій, наномедицини, наноелектроніки, нанофармакології, нанобіології та інших напрямів на сьогодні знайдено практичне застосування для таких наноматеріалів і наночастинок, як ліпосоми, фулєрени, дендримери, наносфери, наностержні, наноплівки, нанотрубки, нанокомпозити, нанокристали, нанодротинки, нанопорошки, нанороботи, нанокапсули, нанобіосенсиори, нанопристрої, нанобіоматеріали, наноструктурні рідини (колоїди, міцели, гелі, полімери), нанопрепарати та ін. [4, 5, 7, 9, 10, 20].

Останніми роками проведено дослідження фізичних, фізико-хімічних, квантово-хімічних властивостей малих атомних агрегацій (кластерів, наночастинок, ізольованих нанокристалів), що сприятиме активнішому впровадженню продуктів нанотехнологій у практичну діяльність людини [1, 4, 7, 9, 13, 19]. Дослідники з'ясували, що велика площа поверхні наночастинок і відповідна поверхнева енергія роблять суттєвий внесок у їхні різнобічні властивості. Насамперед це відбивається на термодинамічних умовах фазових перетворень. У наночастинках виникають фази, які не існують у цій речовині звичайного, ненанового стану. Зі зменшенням розміру частинки поверхнева енергія збільшується. Метали нанорозмірів виявляють інші властивості, що проявляється зміною механічних, фізичних, фізико-хімічних параметрів. Перехід від макро-

розмірів до наночастинок супроводжується зміною міжатомних відстаней та періодів кристалічної решітки, що зумовлює виникнення своєрідних властивостей наноструктур. Зміни функції розподілу частот атомних коливань (функція розподілу частот) впливають на термодинамічні характеристики нанокристалів, зокрема на їхню теплоємність. У нанометалів виявляються особливі магнітні властивості таких наночастинок, які зумовлені дискретністю їхніх електронних та фонових станів. Змінюються оптичні властивості наночастинок: відрізняється розсіювання і поглинання світла наночастинок порівняно з макроскопічними розмірами цього матеріалу. Найкращим об'єктом для дослідження властивостей наночастинок є золото. Гранульовані плівки з наночастинок золота (розмірами 4 нм) мають виражений максимум поглинання в області $\lambda = 560\text{--}600$ нм. Таке явище характерне і для інших металів.

Для ефективного застосування результатів нанотехнологій майже в усіх країнах світу створюють нові спеціальні лабораторії, центри, інститути, комітети та інші установи (як державні, так і приватні), у яких проводять дослідження з різних напрямів нанонауки. У США в 2000 р. створено науковий центр «Національна Нанотехнологічна Ініціатива», де зосереджено основні дослідження з цього наукового напрямку, у Російській Федерації функціонує Комітет із нанотехнологій при президентові країни і затверджено державну програму «Стратегія розвитку нашої індустрії». Головною організацією, відповідальною за реалізацію цієї програми, призначено російський науковий центр «Курчатовський інститут». Стрімко прогресує нанонаука в Японії, фірми якої розвивають і вдосконалюють методики в галузі мікроскопії. Значного розвитку дослідження з нанотехнологій та наномедицини набули в країнах

ЄС. На розвиток цих досліджень виділяють значні кошти, створюють творчі наукові колективи.

В Україні також активно проводять дослідження в галузі нанонауки. У Національній академії наук у межах спеціальної програми «Наноструктурні системи, наноматеріали, нанотехнології» здійснюють дослідження з фізики металів і сплавів, хімії поверхні, порошкових технологій, мікроелектроніки, колоїдних нанорозчинів, сорбентів, лікарських засобів, в основу яких покладено нанотехнології. Міністерство освіти і науки України спільно з Міністерством промислової політики затвердило українсько-російську міжвідомчу науково-технічну програму «Нанофізика і нанoeлектроніка». Проблеми застосування наноматеріалів у клінічній практиці вивчають в Академії медичних наук України, національних та медичних університетах України.

Своїми дослідженнями з вивчення фізичних, фізико-хімічних, біохімічних основ нанонауки відомі й інститути НАН України [1, 3, 7, 10, 14]. В Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова (директор – академік НАН України А.П. Шпак) розроблено методи одержання нанорозмірних дисперсних систем за допомогою електровибуху провідників і електричного пробою рідких середовищ. Ця методика дозволяє отримувати нанопорошки металів, а також вуглецеві наноматеріали: наноалмази, нанотрубки та фулереми. Установлено високу сорбційну активність нанодисперсного апатиту кальцію, який можна застосовувати як трансплантат при переломах кісток. Виявлено ранні стадії кристалізації в аморфних стрічках. Одним із структурних складників сплавів системи Fe-Si-B у рідкому та аморфному станах є кристалічні кластери розміром 3–4 нм. На базі цього наукового закладу проводять міжнародні конференції з нанотехнологій, на яких

узагальнюють результати досліджень із нанонауки в світі.

В інституті фізики НАН України (директор член-кореспондент НАН України Л.П. Яценко) розроблено метод створення штучних наноструктур за допомогою стимульованих електричним полем поверхневих хімічних реакцій на інтерфейсі рідина-грань (ІІ) золота (академік НАН України А.Г. Наумовець і д.ф.-м.н. О.А. Марченко), що має важливе значення для встановлення високої активності нанорозмірних частинок цього металу. При дослідженні міжчастинкової взаємодії орієнтованих анізотропних феромагнітних наночастинок установлено виникнення коерцитивного поля при температурах, вищих від температури блокування T_b та до формування «супермагнітного» стану з корельованим напрямком магнітних моментів (член-кореспондент НАН України С.М. Рябченко та співав.).

В Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова (директор — академік НАН України В.Ф. Мачулін) з'ясовано екситонну природу переходів у гетероструктурах із квантовими точками InAs-InP та ідентифіковано екситони, що формуються за участі важких і легких діркових станів (академік НАН України М.П. Лисиця і співав.). За допомогою розробленої технології формування люмінесціювальних Si-нанокластерів установлено значне збільшення концентрації випромінювальних центрів при відпалі в атмосфері H_2 або O_2 , що дозволяє приблизно на порядок збільшити інтенсивність свічення (член-кореспондент НАН України В.Г. Литовченко і співав.). За допомогою поляризаційної модуляції випромінювання встановлено особливості поверхневого плазмонного резонансу в нанорозмірних плівках золота, нанесених на поверхню призми повного внутрішнього відбиття (Б.К. Сердега і співав.).

Українські вчені відомі своїми дослідженнями з вивчення властивостей наноструктур кремнію. Член-кореспондент НАН України М.Я. Валах (разом із співавторами) отримав цікаві дані про можливість керування характеристиками самоорганізованих Si-Ge наноструктур шляхом зміни традиційного ненапруженого кремнієвого буферного шару на напружений шар твердого розчину Si-Ge, що приводить до зміни розміру, форми, поверхневої щільності та компонентного складу сформованих наночастинок.

У Донецькому фізико-технічному інституті ім. О.О. Галкіна НАН України (директор — член-кореспондент НАН України В.М. Варюхін) установлено якісні зміни властивостей кобальтиту лантану при переході до нанорозмірних частинок. Це дає підстави стверджувати, що магнітний стан кобальтиту лантану визначають розміри його елементарної поверхні.

В Інституті магнетизму НАН України та МОН України (директор — академік НАН України В.Г. Бар'яхтар) з'ясовано, що неідеальність інтерфейсу зумовлює виникнення додаткових осциляцій коефіцієнта проходження електронів через металевий прошарок. Це спричиняє значний зсув фаз, зміни амплітуд осциляцій, зміни осциляцій гігантського магнетоопору в металевих магнітних наноструктурах. Відзначений ефект спостерігаємо в дво- та тришарових плівках ФМ/РЗМ при зміні в них товщин немагнітних металевих прошарків (члени-кореспонденти АПН України А.М. Погорілий і В.Ф. Лось).

У науково-технічному комплексі «Інститут монокристалів» (директор — академік НАН України В.П. Семиноженко) розроблено наноматеріали, які можна застосовувати в медичній практиці та фармації.

Результати проведених вітчизняними вченими досліджень упроваджують у практику. Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка

НАН України (директор — член-кореспондент НАН України М.Т. Картель) спільно з вітчизняними науково-медичними закладами вперше у світі розробив, дослідив та впровадив у медичну практику новий препарат сорбційно-детоксикаційної дії на основі нанокремнезему «Силікс» [13]. На кафедрі фармакології та клінічної фармакології Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця розроблено нову лікарську форму — суспензію на основі нанодисперсного кремнезему. Вона мінімізує токсичність і негативний вплив на функцію печінки таких сполук, як фторид і нітрит натрію, а також протитуберкульозних препаратів: ізоніазиду, піразинаміду, етамбутолу, що різняться механізмом негативного впливу на організм і хімічною структурою. За фармакологічною активністю суспензія нанодисперсного кремнезему перевищує препарати звичайного кремнезему [9, 12].

Інститут експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького (директор — академік НАН України В.Ф. Чехун) спільно з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона розробляє нові варіанти колоїдних систем з магнітними наночастинками Fe_3O_4 з метою створення протипухлинних препаратів [3]. В Інституті епідеміології та інфекційних хвороб ім. Л.В. Громашевського АМН України (директор — професор В.Ф. Марієвський), лабораторії електронно-променевої технології неорганічних матеріалів для медицини Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона та Національному медичному університету ім. О.О. Богомольця встановлено, що наночастинки срібла та міді проявляють більш виражену протимікробну дію стосовно *Staphylococcus aureus*, ніж звичайні препарати цих металів.

Майже 50 років вивчають нанотехнології в Інституті загальної та неорганічної хімії ім. В. Вернадського НАН України (ди-

ректор — академік НАН України С.В. Волков). Тут винайшли технологію синтезу «дрібнодисперсних систем із сажі» (її згодом назвали нанотрубки) і методику розчинення металів у полімерному середовищі, яку застосовують під час магнітного запису інформації та хімічного одержання наночастинок [1]. Дослідження з нанотехнологій проводять і в інших Інститутах НАН України: фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського (почесний директор — академік НАН України В.Д. Походенко), фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна (директор — член-кореспондент НАН України С.Л. Гнатченко), проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича (директор — академік НАН України В.В. Скороход), біохімії ім. О.В. Палладіна (директор — академік НАН України С.В. Комісаренко), фізико-хімічному інституті ім. О.В. Богатського (директор — академік НАН України С.А. Андронаті).

Першим вітчизняним препаратом із ліпосом є ліпін — спільна розробка Інституту фармакології і токсикології АМН України (директор — професор Т.А. Бухтіярова) і Харківського фармацевтичного підприємства «Біолік». Основний компонент препарату — нанокапсули фосфатидилхоліну, який є природним компонентом біомембран. Препарат здійснює антигіпоксичну дію, пригнічує процеси перекисного окислення ліпідів, підвищує неспецифічний імунітет. Дослідження у сфері нанонауки, нанотехнологій і наномедицини проводять і в інших наукових колективах України.

У спільній науковій лабораторії «Електронно-променевої нанотехнології неорганічних матеріалів для медицини» Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона і Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця розроблено технологію отримання наночастинок міді та срібла, вивчення їхньої фармакологічної

активності, а також методи визначення розмірів таких наночастинок [6, 7, 8, 12]. Ці наукові розроблення проводять спільно з Інститутом біохімії ім. О.В. Палладіна НАН України, Інститутом епідеміології та інфекційних хвороб ім. Л.В. Громашевського АМН України, кафедрами Національного університету ім. Т.Г. Шевченка, Харківського Національного медичного університету, Львівського медичного університету ім. Данила Галицького. Продовження досліджень з метою розроблення нових високоефективних медикаментів на основі нанотехнології молекулярних пучків для лікування різних захворювань матиме важливе теоретичне та практичне значення для розвитку медичної науки і практики.

Слід звернути увагу на необхідність поглибленого вивчення фізіологічних, біохімічних та фізико-хімічних механізмів дії нових нанопрепаратів, а також розроблення фармацевтичних технологій отримання адекватних лікарських форм задля їх успішного застосування в медичній практиці.

Однією з важливих медико-соціальних проблем, пов'язаних із упровадженням наноматеріалів у народне господарство, є дослідження можливого потенційно негативного впливу наночастинок на організм людини, тварин, навколишнє середовище. Це вимагає проведення фундаментальних досліджень із вивчення фізіологічних, біохімічних і біофізичних механізмів дії наночастинок на різні органи і системи організму, на функцію мембран клітин, мітохондрій, рибосом, ферментів, ДНК, РНК. Не менш важливим медико-соціальним аспектом нанонауки є нанотоксикологія, дослідження з якої, на жаль, розвиваються досить повільно [15, 20, 21].

Перед ученими різних спеціальностей стоять завдання ґрунтовніше вивчити позитивні властивості продуктів нанотехно-

логій — наночастинок, а також їхню можливу негативну дію як на організм людини, так і на зовнішнє середовище з метою запобігання таким впливам.

Наночастинки починають застосовувати для наукових розроблень у галузі біофізики, молекулярної біології, протеоміки, генетики, зокрема, для створення біомаркерів. Магнітні наночастинки, на які нанесені антитіла та фрагменти ДНК, мають властивість посилювати сигнал із численних маленьких біомолекул. Це дозволить діагностувати хворобу на ранніх стадіях й ефективніше лікувати різні захворювання. Наночастинки можуть утворювати комплекси з продуктами обміну речовин організму, лікарськими засобами, покращуючи їхню розчинність та стабілізуючи їх, унаслідок чого медикаменти краще засвоюються клітинами організму.

Одна з важливих властивостей наночастинок — здатність виступати переносником фізіологічно активних речовин, ксенобіотиків та лікарських засобів. Найчастіше застосовують такі наночастинки: альбумін, ліпосоми, поліетиленглікольмісні структури, фулерени, дендримери, хітозан, нанотрубки та інші [1, 12, 17].

Актуальним напрямом інтенсифікації медичного аспекту наномедицини і нанобіотехнологій є розроблення нових методів вивчення впливу наночастинок на живу структуру з визначенням кількісних і якісних показників.

Дуже важливе завдання — підготовка науково-педагогічних кадрів, які досліджуватимуть і готуватимуть фахівців із нанонауки, поширюватимуть інформацію про отримані результати як у вітчизняних наукових школах, так і репрезентуватимуть їх міжнародному співтовариству. Розв'язати його можна лише на основі міждисциплінарного співробітництва і державної підтримки, фінансового, організаційного та технічного забезпечення нау-

Кількість друкованих робіт з нанотехнології вуглецю та металів, за даними Інтернету, на 1.04.2009 р.

Нанометали	Усього наукових статей	Наукові статті до 2006 р.	Наукові статті 2006–2009 рр.	Рік першої публікації
Нанотехнології вуглецю (Nanotechnology carbon)	1917	588	1329	1992
Нанотехнології золота (Nanotechnology gold)	1302	743	559	2000
Нанотехнології титану (Nanotechnology titanium)	430	27	303	2002
Нанотехнології срібла (Nanotechnology silver)	414	191	223	2000
Нанотехнології свинцю (Nanotechnology lead)	412	156	256	1997
Нанотехнології алюмінію (Nanotechnology aluminum)	398	155	243	2001
Нанотехнології заліза (Nanotechnology iron)	362	192	170	1978
Нанотехнології цинку (Nanotechnology zinc)	365	122	243	2000
Нанотехнології натрію (Nanotechnology sodium)	353	140	193	2001
Нанотехнології міді (Nanotechnology copper)	220	118	112	2000
Нанотехнології магнію (Nanotechnology magnesium)	95	32	63	2002
Нанотехнології марганцю (Nanotechnology manganese)	69	22	47	2002
Нанотехнології фосфору (Nanotechnology phosphorus)	41	10	31	2003
Нанотехнології ртуті (Nanotechnology mercury)	29	10	19	2002
Нанотехнології вісмуту (Nanotechnology bismuth)	25	8	17	2001

кових колективів необхідним обладнанням. Позитивну роль мають відіграти залучення до досліджень у галузі нанонауки молодих учених, їхнє стажування за кордоном у всесвітньо відомих центрах із нанотехнологій. У США вже створено навчальні центри з підготовки фахівців із нанотехнологій, така ж робота триває в інших країнах. Варто запозичити їхній досвід й Україні.

Для української науки доцільно вивчити досвід зарубіжних наукових колективів, які досліджують різні аспекти розвитку нанотехнологій з метою зосередження зусиль на тих напрямках, у яких українські вчені

зможуть отримати найбільш вагомі результати. До таких напрямків слід віднести розроблення технологій отримання наноматеріалів із металів і вуглецю. Аналіз світових розроблень із отримання наночастинок із металів свідчить про зацікавленість зарубіжних дослідників проблемами вивчення властивостей наноматеріалів із вуглецю та металів (див. табл.).

Аналізуючи дані таблиці, можна зробити такі узагальнення. Інтенсивні дослідження щодо розроблення технології отримання наночастинок із вуглецю та металів, які проводять учені в світі, значно інтенсифікувалися за останні роки.

Так, за 2006–2009 роки кількість публікацій зросла на 60–70% порівняно з 1977–2005 роками.

Учені України також мають досвід розроблення наночастинок із вуглецю та металів. Одним із перспективних напрямів цих досліджень могло б стати розроблення наноматеріалів із вуглецю та металів для створення нових установок, методів діагностики та лікування захворювань.

Аналіз даних літератури та результатів власних досліджень дозволяє визначити такі напрями наукових розроблень у сфері нанотехнологій, наномедицини і нанофармакології:

1. Розроблення нових технологій отримання наночастинок, особливо композитів органічного та неорганічного походження, урахувавши не тільки виробничі аспекти, але й економічні та соціальні фактори.

2. Розроблення нових наноприладів для застосування їх у техніці, біології, медицині, сільському господарстві, в інших сферах людської діяльності.

3. Створення на основі сучасних нанотехнологій нових медикаментів та їхніх лікарських форм для зовнішнього, внутрішнього, парентерального та інгаляційного застосування, вивчення механізмів лікувальної дії таких нанопрепаратів. Це дозволить розробити методи лікування таких важких захворювань, як злоякісні пухлини, гострі й хронічні запальні процеси, хвороби генетичного походження.

4. Дослідження токсикології наноматеріалів, нанопрепаратів; вивчення не тільки медичних аспектів роботи з такими матеріалами, але і їхнього впливу на організм людини та навколишнє середовище.

5. Установлення всіх аспектів взаємодії наноструктур із організмом людини та зовнішнім середовищем.

Важко спрогнозувати нині, у якому напрямі дослідження нанонауки розвивати-

муться найбільш ефективно та як їхні результати змінять життєдіяльність людини, вплинуть на розвиток народного господарства. У суспільстві, на жаль, вже склалися певні негативні стереотипи щодо цих прогресивних наукових напрямів. Це, безперечно, позначається на медико-соціальних аспектах нанонауки, подеколи стаючи на заваді науковому прогресу. Слід зауважити, що нанотехнології і нанопродукти жодним чином не спровокують ріст безробіття, зміну клімату, не призведуть до погіршення якості життя. Уже сьогодні існують наноприклади, нанопрепарати для лікування захворювань, нанореактиви для діагностики різних хвороб. За невеликий період розвитку нанонауки та нанотехнологій це вагомими результатами.

1. Волков С.В., Ковальчук Є.П., Огенко В.М., Решетняк О.В. Нанохімія. Наносистеми. Наноматеріали. — К.: Наукова думка, 2008. — 423 с.
2. Головенко М., Ларіонов В. Адресна доставка наносистемами лікарських засобів до головного мозку // Вісник фармакології та фармації. — 2008. — №4. — С. 8-16.
3. Горбик П.П., Чехун В.Ф., Шпак А.П. Физико-химические и медико-биологические аспекты создания полифункциональных наноконструктов и нанороботов // Тези конференції «Нанорозмірні системи. Будова-властивості-технології». — К., 2007. — С. 422.
4. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. — 2-е изд., испр. — М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2007. — 416 с.
5. Дубок В.А., Шинкарук А.В. Классификация биологических свойств неорганических биоматериалов как основа их усовершенствования и применения // Тези конференції «Нанорозмірні системи. Будова-властивості-технології». — К., 2007. — С. 24.
6. Мовчан Б.А. Электронно-лучевая нанотехнология и новые материалы в медицине — первые шаги // Вісник фармакології і фармації. — 2007. — №12. — С. 5–13.
7. Мовчан Б.А. Электронно-лучевая гибридная нанотехнология осаждения неорганических материалов в вакууме // Актуальные проблемы современного материаловедения. — К.: Изд. Академперіодика, 2008. — Т. 1. — С. 227–247.
8. Москаленко В.Ф., Розенфельд Л.Г., Мовчан Б.О., Чекман І.С. Нанотехнології, наномедицина, нано-

- фармакологія: стан, перспективи наукових досліджень, впровадження в медичну практику // 1 національний конгрес «Человек и лекарство – Украина». – К., 2008. – С. 167–168.
9. *Ницак О.В., Казак Л.І., Чекман І.С.* Ефективність суспензії нанодисперсного кремнезему при гепатиті, викликаному іонізаційним // Фармакологія та лікарська токсикологія. – 2008. – №1-3. – С. 66–69.
 10. *Ткаченко М.Л., Жиякина Л.Е., Мошенский Ю.В.* Лекарственные евтектики как перспективные материалы для фармацевтической технологии // Тези конференції «Нанорозмірні системи. Будова-властивості-технології». – К., 2007. – С. 440.
 11. *Трефилов В.И.* Фуллерены – основа материалов будущего. – К.: Изд-во АДЕФ – Украина, 2001. – 148 с.
 12. *Чекман І.С.* Нанофармакологія: експериментально-клінічний аспект // Лікарська справа. – 2008. – №3-4. – С. 104–109.
 13. *Чуйко А.А., Погорельый В.К., Пентюк А.А.* и соавт. Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния. – К.: Наукова думка. – 2003. – 415 с.
 14. *Шпак А.П.* Звіт про діяльність Національної академії наук України у 2008 році. – К., 2009. – 298 с.
 15. *Baum A. N. B., Hartmann G. K., Grieger G.* et al. Ecotoxicity of engineered nanoparticles to aquatic invertebrates: a brief review and recommendations for future toxicity testing // *Ecotoxicology*. – 2008. – Vol. 17. – P. 387–395.
 16. *Caruthers S.D., Wickline S.A., Lanza G.M.* Nanotechnological application in medicine // *Current Opinion in Biotechnology*. – 2007. – Vol.18. – P. 26–30.
 17. *Christian P. Von der Kammer F. Baalousha M.* Nanoparticles: structure, properties, preparation and behaviour in environmental media // *Ekotoxicology*. – 2008. – Vol. 17. – P. 326–43.
 18. *Jain K.K.* Nanomedicine: application of nanobiotechnology in medical practice // *Med. Princ. Pract.* – 2008. – Vol. 17. – №2. – P. 89-101.
 19. *Lim I-Im. S., Pan Yi., Mott D.* et al. Assembly of gold nanoparticles mediated by multifunctional fullerenes // *Langmuir*. – 2007. – Vol. 23. – P. 10715–10724.
 20. *Medina C., Santos-Martinez M.J., Radomski A.* et al. Nanoparticles: pharmacological and toxicological significance // *Br. J. Pharmacol.* – 2007. – Vol. 150. – P. 552–558.
 21. *Yang W., Peters J.I., Williams R.O.* Inhaled nanoparticles review // *Int. J. Pharm.* – 2008. – Vol. 356. – №1-2. – P. 239–247.

Б. Патон, В. Москаленко, І. Чекман, Б. Мовчан

НАНОНАУКА І НАНОТЕХНОЛОГІЇ: ТЕХНІЧНИЙ, МЕДИЧНИЙ ТА СОЦІАЛЬНИЙ АСПЕКТИ

Резюме

Учені активно займаються нанонаукою та нанотехнологією задля впровадження отриманих наноматеріалів у практичну діяльність людини. В оглядовій статті узагальнено результати досліджень, у тому числі виконаних за участю авторів, зокрема технічний, медичний і соціальний аспекти нанонауки й нанотехнологій. Розроблено електронно-променеви технології отримання наночастинок оксидів металів. Установлено, що оксиди міді та срібла мають більш виражену протимікробну дію, ніж звичайні оксиди цих металів. Автори наголошують на необхідності розроблення економічно вигідних технологій отримання наноматеріалів та поглибленого вивчення механізмів їхньої дії на живі структури і навколишнє середовище.

Ключові слова: наномедицина, нанопрепарати, наночастинки, механізми дії наноматеріалів.

Paton B.E., Moskalenko V.F., Chekman I.S., Movchan B.O.

NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGIES: TECHNICAL, MEDICAL, SOCIAL ASPECTS

Summary

Scientists all over the world make intensive investigations in nanoscience and nanotechnology for adoption of their results in human activity. In the review literary data and results of own researches in nanoscience and nanotechnologies are summarized, especially their technical, medical and social aspects. Electron-beam technology of atomic-molecular beams for production of metallic oxides nanoparticles. It was shown, that nanoparticles of copper oxide and silver oxide have much more significant antimicrobial activity than usual oxides of these metals. Special attention was paid to necessity of development economically sound technologies for production of nanomaterials and thorough study of its influence on live organisms and environment.

Key words: nanomedicine, mechanisms of nanomaterials action.