

I.С. Чекман

Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця, Київ

«ЗЕЛЕНІ» НАНОТЕХНОЛОГІЇ Й НАНОПРОДУКТИ: ДОСЯГНЕННЯ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ



Узагальнено літературні дані та результати власних досліджень, що торкаються нанотехнологій, а також описані фармакологічні та токсикологічні властивості «зелених» (тобто безпечних) нанопродуктів. Сьогодні забезпечення охорони довкілля вимагає впровадження у практичну діяльність «зелених» нанотехнологій. Безпечні нанотехнології мають докорінно змінити виробничі процеси, зменшити їх негативний вплив на довкілля, замінити небезпечні матеріали (в тому числі і лікарські засоби) та способи їх отримання на сучасні безпечні вироби в різних галузях діяльності людини.

Ключові слова: зелені нанотехнології, нанопродукти, наномедицина, нанофармакологія, нанотоксикологія, зменшення негативного впливу.

Наноматеріали і нанотехнології, торкаючись практично всіх галузей людської діяльності, пронизують структури живого і неживого довкілля, мають важливе соціальне, технічне й медичне значення [1, 2, 3]. Практично кожна людина у будь-якій сфері своєї діяльності тим чи іншим чином пов'язана з наносвітом. Швидко впровадження наноматеріалів у виробництво і все більш тісний контакт з ними живих організмів, в тому числі людини, супроводжується відсутністю ґрунтовних знань про їх можливий токсичний вплив [4, 5, 6]. Питання токсичності наноматеріалів вимагає комплексного підходу, залучення спеціалістів різних профілів, у першу чергу токсикологів і фармакологів [7, 8].

Матеріали, розроблені на основі нанотехнологій, дедалі ширше входять у наш побут. Сучасні сонцезахисні безбарвні креми містять наночастинки оксидів титану та цинку, які відбивають ультрафіолетові промені. Компанія NanoTex (США, штат Каліфорнія) розробила технологію отримання тканин, що не вбира-

ють бруд, на основі покриття їх нановолокнами, які не поглинають інші матеріали (зокрема різний бруд). У новій рідині для очищення скла містяться наночастинки двооксиду титану, що прискорює руйнування і зісковзування сторонніх часточок зі скла та інших гладеньких поверхонь. Нанотехнології сприятимуть розробці товарів з поліпшеними механічними, хімічними, біологічними, оптичними, електронними властивостями та лікарських засобів з ефективнішою терапевтичною дією.

Перспективними є такі матеріали та лікарські засоби на основі нанотехнологій [4, 5, 9, 10, 11, 12, 13]:

- ✦ термостійкі покриття для супутників, турбін, двигунів, автомобілів, інструментів, інших машин, полімерних, деревинних, текстильних матеріалів з метою захисту від зношення й тривалішого застосування;
- ✦ самоочищувальні поверхневі плівки для кераміки, текстильних виробів, покриття різних предметів;
- ✦ антикорозійні матеріали для захисту труб, інструментів, машин; покриття, що захищають днища кораблів від обростання ракушняком;

- ✦ надтонкі компоненти для транзисторів, комп'ютерів, мобільних телефонів, магніторезистивні сенсори, елементи пам'яті;
- ✦ фото- та електрохромні вікна, антиблікові екрани, ефективніші сонячні батареї;
- ✦ матеріали для теплозахисту будинків та термоізоляції різного обладнання.

Крім наноматеріалів технічного призначення на основі нанотехнологій розробляються і впроваджуються в практику нові лікарські засоби різного механізму дії та спектру застосування.

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 етиловий спирт, натрію фторид і натрію нітрит, а також протитуберкульозних препаратів: ізоніазид, піразинамід, етамбутол, що різняться хімічною структурою і механізмом негативного впливу на організм. За фармакологічною активністю суспензія нанодисперсного кремнезему перевищує препарати звичайного кремнезему.

Можна назвати ще ряд нових препаратів лікарського призначення, розроблених із застосуванням нанотехнологій, серед них:

- ✦ біологічно сумісні матеріали для заміщення патологічних тканин, кісток, сухожиль;
- ✦ лабораторії на чипі (*labs-on-a-chip*) для ранньої діагностики та ефективного лікування захворювань;
- ✦ нанобіосенсори для використання в різних сферах діяльності людини – хімії; фармацевтиці; косметичі; в галузі охорони здоров'я (діагностика захворювань, регуляція біологічних процесів в організмі); для моніторингу і захисту довкілля; для захисту від біологічного тероризму і т. ін.

У 2004 р. була заснована Міжнародна рада з нанотехнологій (International Council on Nanotechnology – ICON), яка аналізує і розповсюджує всю доступну інформацію щодо нанотех-

нологій, переваг і недоліків наноматеріалів. ICON також вживає заходів щодо зниження ризику вживання нових нанотехнологій і нанопродуктів для здоров'я людини, тварин і стану довкілля. Для цього ICON співпрацює з ученими, інженерами, виробничниками, представниками громадських організацій, які працюють у галузі охорони довкілля. ICON також активно досліджує взаємодію наноматеріалів з клітинами *in vitro* й *in vivo*, розробляє стандарти і термінологію, аналізує суспільну думку щодо наноматеріалів.

Наноматеріали володіють різноманітними властивостями. Наприклад, вуглецеві нанотрубки є міцнішими, гнучкішими і термостабільнішими, ніж сталь, пластмаси та кераміка; їх важко зруйнувати, при розрізанні вони можуть самостійно «заліковуватися». Це відкриває нові перспективи для інженерів-технологів. Наноматеріали мають якісно нові властивості порівняно з матеріалами звичайних розмірів.

Нанотехнології є однією з найважливіших науково-дослідних програм уряду США. Під контролем державної установи – Національна нанотехнологічна ініціатива (National Nanotechnology Initiative – NNI) – працює Управління охорони навколишнього середовища (Environmental Protection Agency – EPA), що проводить дослідження у галузі нанотехнологій і досліджує можливий негативний вплив нанотехнологій на навколишній світ та токсичність отриманих за їх допомогою продуктів. За підтримки цих організацій у січні 2006 р. у м. Майамі (штат Флорида, США) проведено перший симпозіум з нанотоксикології, на якому були підсумовані результати досліджень у цьому напрямку.

Науково-дослідна діяльність EPA проводиться за такими напрямками:

- ✦ наукові дослідження щодо захисту навколишнього середовища з метою розробки дешевих, швидких і простих методів очищення води і ґрунту від токсичних речовин, надчутливих наносенсорів для виявлення ксе-

нобіотиків; налагодження «зелених» виробництв наноматеріалів; створення нових нанокаталізаторів, оскільки за допомогою каталітичних реакцій можна значно прискорити й здешевити очистку навколишнього середовища;

- ✦ вивчення можливого негативного впливу наноматеріалів, лікарських засобів — їх токсичності та особливостей фармакокінетики й фармакодинаміки;
- ✦ розробка нових наноструктурних фотокаталізаторів, використання наносорбентів, наномембран для очищення повітря від вихлопних газів; вивчення можливого негативного впливу наночастинок на організм людини при їх виробництві.

«Зелені» нанотехнології – це такі технології, в яких використовуються безпечні для довкілля хімічні, технологічні та виробничі процеси, а отримані за їх допомогою наноматеріали не проявляють негативного впливу на організм людини й тварин.

Нанотехнології здатні змінити виробничі процеси двома способами: а) за рахунок швидкого скорочення відходів виробництва й підвищення його ефективності; б) завдяки використанню наноматеріалів як каталізаторів, що дасть змогу позбутися токсичних і брудних матеріалів, а також кінцевих продуктів. В ідеалі, «зелені» нанотехнології мають докорінно змінити виробничі процеси, зменшити їх негативний вплив на довкілля, замінити небезпечні матеріали та способи їх отримання на безпечні. Для досягнення цих цілей наукові дослідження слід проводити за такими напрямками [5, 9, 14, 15]:

- ✦ введення інформації у біомолекули для біосинтезу нових молекул з використанням нанотехнологій;
- ✦ створення молекул у мікро- і нанореакторах, самоскладання молекул як основа для нових нанопродуктів;
- ✦ синтез на атомному рівні нових поліпшених нанокаталізаторів для виробничих процесів;

- ✦ удосконалення виробничих процесів на основі нанотехнологій з метою заощадження енергії;
- ✦ використання альтернативної енергії на основі сонячних батарей і паливних елементів, розробка вдосконалених способів передачі енергії;
- ✦ зменшення токсичності наноматеріалів шляхом їх функціоналізації;
- ✦ сумісне застосування нанопродуктів з метаболітними лікарськими засобами з метою зменшення негативного впливу на організм людини.

Значення «зеленої» хімії і «зелених» нанотехнологій світова наукова спільнота гідно оцінила, і в 2005 р. *Роберту Граббсу* із Каліфорнійського технологічного інституту (США), *Ричарду Шпроку* із Массачусетського технологічного інституту (США) та *Іву Шовну* із Інституту нафти (Франція) було присуджено Нобелівську премію з хімії — «за внесок у розвиток методу метатезису в органічному синтезі». Основне значення метатезису полягає у переключенні хімічних зв'язків, коли виникає перегрупування атомів, тобто змінюється вуглецевий скелет однієї або двох молекул. Цей тип реакцій має величезне значення у хімічній промисловості (наприклад, при синтезі пластмас, лікарських засобів, барвників), оскільки витрачається менше енергії і зменшується кількість побічних продуктів.

Як і тисячі років тому, коли у результаті соціально-економічного й історичного прогресу після бронзового настав залізний вік, так і сьогодні на зміну інформаційному приходиться новий вік — вік наноматеріалів з дивовижними властивостями. Саме за такі незвичайні властивості та їх універсальність багато наноматеріалів (напр., дендримери, вуглецеві нанотрубки, нанооболонки, квантові мітки, нанокільця, наноскорини, фулерени, мікрокапсули) часто називають розумними матеріалами (*smart materials*). Але прогрес не зупиняється — триває подальший пошук наноматеріалів з поліпшеними властивостями (нанотрубки, фулерени тощо).

Науковці та виробничники надзвичайно захоплені вивченням властивостей карбонових нанотрубок, адже ці структури мають багато унікальних властивостей, одна з них – їх міцність. На другому місці – здатність значно краще проводити електроенергію, ніж мідь. Учені та інженери працюють над створенням на основі нанотрубок квантового проводу, який матиме електричну провідність в 10 раз більшу, ніж мідь, буде в 6 разів легшим від сталі, матиме більшу міцність і менше теплове розширення. Це сприятиме значному зменшенню втрат електрики на шляху її передачі до споживача. У міру розробки нових наноматеріалів і відкриття їхніх властивостей з'являться нові сфери їх застосування і найважливішою, безперечно, буде енергетика. Лауреат Нобелівської премії *Ричард Смолі* (1943–2005) був прихильником і активним дослідником альтернативних джерел енергії, отриманих, зокрема, на базі нанотехнологій. На його думку, головними джерелами енергії будуть: сонячна, ядерна, геотермальна та нанотехнологічна.

Сьогодні практично всі галузі діяльності людини (включаючи індустрію, хімію, енергетику, електроніку, сільське господарство, біологію, медицину, фармацію) так чи інакше пов'язані з наномасштабними об'єктами [4, 14, 15]. Наноматеріали і нанотехнології використовуються для створення нових матеріалів з дивовижними властивостями. Наприклад, наноматеріали для покриття використовуються у різних галузях техніки – аерокосмічній, автомобільній, військово-промислового комплексу тощо, – підвищуючи довговічність, надійність, ефективність деталей завдяки запобіганню їх корозії, окисленню, перегріванню.

Нанооболонки є наночастинками нового типу з налаштовуваними оптичними властивостями, які складаються з діелектричного ядра (напр., кремнію) і надтонкої оболонки (напр., золото). Золоті нанооболонки володіють підвищеною оптичною абсорбцією, зумовленою активною взаємодією світла й електронів цього металу. Нанооболонки можуть застосовува-

тися для оптичного аналізу крові та інших біологічних рідин, цільової доставки лікарських засобів до осередку патологічних процесів, фототермічної абляції ракових клітин, а також як біологічні наносенсори.

Каталізатори – це речовини, які прискорюють хімічні реакції, але при цьому хімічно не змінюються. Природними каталізаторами є ферменти організму (пепсин, хімотрипсин, амілаза та ін.) Нанотехнології мають значний потенціал для розробки нових каталізаторів для фармацевтичної, харчової, хімічної, нафтопереробної промисловості, сільського господарства. Ще одна галузь можливого застосування нанокаталізаторів – взаємодія природних і штучних каталізаторів.

За даними *Л. Уільямса* й *У. Адамса* [9], у найближчі 50 років людство зіткнеться з такими найтяжчими проблемами (*по зменшенню важливості*):

- 1) нестача енергії;
- 2) забруднення води;
- 3) нестача їжі;
- 4) забруднення навколишнього природного середовища;
- 5) перенаселення планети;
- 6) хвороби;
- 7) війни/тероризм;
- 8) бідність;
- 9) неписьменність;
- 10) виснаження ґрунту.

Аналіз цих проблем свідчить, що найважливішою з них є брак енергії. Але надзвичайно тривожними є також забруднення води й довкілля, особливо за рахунок спалювання нафти, газу, вугілля, деревини, продуктів життєдіяльності людини і тварин. Це спричиняє зростання в атмосфері концентрації вуглекислого газу, сажі й інших ксенобіотиків, які зрештою призводять до глобального потепління. Посилюється забруднення води внаслідок потрапляння у водне середовище викидів стічних вод, відходів промислових і сільськогосподарських підприємств.

Нині чимало світових компаній щедро інвестують кошти у нанотехнологічні проекти (див. табл.).

Нанопродукція зарубіжних фірм (Л. Уільямс, У. Адамс з доповненнями)

Компанія	Продукція
Acadia Research Corp.	Ідентифікація генів, молекулярна характеристика захворювань
Altair Nanotechnologies Inc.	Наноматеріали на основі титану, літію для феромагнітних шпинелів
Applied Nanofluorescence, LLC	Оптичні наноінструменти для вивчення нанотрубок
IbmArryx, Inc.	Нанопінцети для маніпулювання наночастинками
ASML+IBM	Напівпровідникова нанотехніка
California Molecular Electronics Corp.	Інтелектуальна власність у галузі молекулярної електроніки
Carbon Nanotechnologies, Inc.	Комерційне виробництво вуглецевих нанотрубок
Cima Nanotech, Inc.	Дрібні, наддрібні і нанорозмірні порошки
Dendritech, Inc.	Виробництво дендримерів
Dendritic Nano Technologies, Inc.	Виробництво дендримерів з широким діапазоном застосування (наприклад, медикаменти)
Dow Chemical	Розробка наномасштабних полімерів
EnviroSystems	Дезинфікуючі наноемульсії для лікарень
eSpin Technologies, Inc.	Виробництво полімерних нановолокон
Front edge	Надтонкі акумулятори
Hysitron	Науково-дослідні та промислові інструменти для вимірювання наномасштабних характеристик: міцності, пружності, тертя, зношення й адгезії
Intematix Corp.	Електронні матеріали; каталізатори для мембран паливних елементів
Kereos Inc.	Наночастинки для візуалізації хвороб і терапевтичного лікування
Lumera	Полімерні матеріали
Lux Research/Capital	Розвиток нанотехнологій отримання нанопродуктів
Mecular electronics Corp.	Електронні і оптоелектронні прилади
Molecular Imprints	Інструменти для нанодруку в напівпровідниковій та електронній промисловості
NanoDynamics	Наночастинки срібла, міді, нікелю; наноксиди; вуглецеві наноструктури
NanoElectronics	Нові наноматеріали для елементів електросхем
NanoGram Corp.	Хімічні сполуки для комп'ютерних чипів
Nanohorizons	Виробництво тонкоплівкових структур на основі ліцензії
NanoInk Inc.	Виявлення бактерій сибірської язви
NanoOpto	Наноструктури для оптичних наносистем
Nanophase Technologies	Підготовка і комерційне виробництво нанопорошків оксидів металів
Nanopoint	Візуалізація внутрішніх компонентів біологічних клітин з роздільною здатністю 50 нм (в інфрачервоному, видимому й ультрафіолетовому діапазонах)
Nanoproducts, Inc.	Наномасштабні порошки, дисперсії і продукти на їх основі
NanoSpectra Biosciences, Inc.	Неінвазійна терапія на основі нанооболонки
Nanosphere	Аналіз і виявлення нуклеїнових кислот і білків
Nanosys, Inc.	Гнучкі тонкоплівкові компоненти для електроніки, біоматеріалів і сонячних батарей
Nano-Tex	Нанотехнологічні тканини і покриття
Nanotherapeutics, Inc.	Адресна доставка медикаментів за допомогою наночастинок
Neo-Photonics Corp.	Наномасштабні оптичні компоненти
Novation Environmental Technologies	Очищення води наномасштабними фільтрами
Ntera	Електронні чорнила і цифровий папір
Starpharma	Розробка наномедикаментів на основі дендримерів
TheraFuse, Inc.	Нанотехнології цільової доставки лікарських засобів

Наприклад, американська хімічна компанія Dow Chemical Company з щорічним обсягом продажу продукції близько 33 млрд. дол. США і клієнтами більше, ніж у 180 країнах, об'єднала свої зусилля з компанією Starpharma (Мельбурн, Австралія) і компанією Dendritic Nano-Technologies, Inc (DNT) для розробки нанопродуктів за допомогою наномасштабних полімерів. Компанія DNT отримала більше 30-и патентів на дендримери й продала ліцензії на більше двохсот типів цих структур іншим фармацевтичним, діагностичним і біотехнологічним компаніям. Компанія розробляє продукти для роботи з білками й антитілами, працює над створенням протизапальних лікарських засобів та проведенням нанодіагностики різних захворювань, здійснює цільову доставку препаратів до осередку патологічного процесу.

У 2004 р. компанія Starpharma однією з перших розпочала розробку нанопрепаратів на основі дендримерів для боротьби з вірусом імунодефіциту людини (ВІЛ). Компанія Dow Chemical Company також здійснює наукові розробки з пошуку лікарських засобів на основі дендримерів. У таблиці представлені деякі сучасні нанотехнологічні компанії та їхня продукція.

Американські учені порівнюють стрімкий розвиток нанотехнологій із «золотою лихоманкою», яка спостерігалася на цьому континенті понад 100 років тому. Але більшість науковців, інженерів, виробничників світу переконані: нанотехнології та отримані на її основі наноматеріали принесуть значно більше користі людству, ніж золотий пісок у регіоні Каліфорнії. Нанотехнології є мультидисциплінарними напрямками досліджень. Тому один, навіть геніальний учений, не зможе зробити суттєвого прориву в науці без залучення інших спеціалістів — фізиків, хіміків, фізико-хіміків, біологів, біотехнологів, матеріалознавців, медиків, фармакологів, фармацевтів, інженерів різних профілів, фахівців з комп'ютерних технологій.

Соціологічні дослідження показали, що нанотехнології позитивно сприймаються суспіль-

ством. Це важливо, тому що люди звикли в усьому новому бачити і «темний бік». Не дивно, що кожне нове відкриття сприймається одними із захопленням, іншими — з недовірою, скепсисом. Будь-яке видатне наукове відкриття може принести багато корисного суспільству, але за умов недостатнього вивчення його можливих наслідків може відкрити ящик Пандори з непередбаченими негативними ефектами.

Ще не так давно людство захоплювалося властивостями азбесту, фреону, ДДТ, радію, антибіотиками, нейротропними лікарськими засобами, зокрема транквілізаторами тощо. Але коли виникають проблеми із застосуванням тих чи інших засобів — настає розчарування. Деякі дослідники вважають, що нанотехнології і наноматеріали допоможуть вирішити багато загальних проблем людства (вилікувати рак, інфекційні захворювання, забезпечити населення дешевою і безпечною енергією), але водночас вони здатні й знищити усе живе на Землі. Проте кожен поміркований і відповідальний учений не передбачає завдати шкоди людству своїми відкриттями. 50 років тому вважалося, що людство загине внаслідок ядерної війни. Цього не сталося, хоча ризики війни, хай і не такої масштабної, залишилися.

Всебічні і ґрунтовні дослідження в області нанотехнологій та наноматеріалів із залученням спеціалістів різних напрямів діяльності можуть показати, які вигоди і водночас загрози можуть принести людині наноматеріали та нанопрепарати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Патон Б., Москаленко В., Чекман І., Мовчан Б. Нанонаука і нанотехнології: технічний, медичний та соціальний аспекти // Вісн. НАН України. — 2009. — № 6. — С. 18–26.
2. Москаленко В.Ф., Лісовий В.М., Чекман І.С. та ін. Наукові основи наномедицини, нанофармакології та нанофармації // Вісник Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця. — 2009. — № 2. — С. 17–31.
3. *Nanotechnological applications in medicine* // Current Opinion Biotechnology. — 2007. — Vol. 18. — P. 26–30.

4. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. — 2-е изд испр. — М.: Физматлит, 2007. — 416 с.
5. Фостер Л. Нанотехнологии. Наука, инновации и возможности. Пер. с англ. — М.: Техносфера, 2008. — 352 с.
6. Hans C.F., Warren C.W. Nanotoxicity: the growing need for in vivo study // Current opinion in Biotechnology. — 2007. — Vol. 18. — P. 565–571.
7. Чекман І.С., Сердюк А.М., Кундієв Ю.І., Трахтенберг І.М. та ін. Нанотоксикологія: напрямки досліджень (огляд) // Довкілля та здоров'я. — 2009. — № 1 (48). — С. 3–7.
8. Hardman R.A. Toxicologic Review of quantum dots: toxicity depends on physicochemical and environmental factors // Environmental Health Perspectives. — 2006. — Vol. 114, N 2. — P. 165–172.
9. Уильямс Л., Адамс У. Нанотехнологии без тайн. Пер. з англ. — М.: Эксмо, 2010. — 368 с.
10. Hoet P., Bruske-Hohlfeld I., Salata O. Nanoparticles — known and unknown health risks // Journal of Nanobiotechnology. — 2004. — Vol. 2. — P. 12–15.
11. Чекман І.С. Нанонаука: перспективи наукових досліджень // Наука та інновації. — 2009. — Т. 5, № 3. — С. 89–93.
12. Demidov V.V. Nanobiosensors and molecular diagnostics: a promising partnership // Expert. Rev. Mol. Diag. — 2004. — Vol. 3, N 4. — P. 267–268.
13. Becker Th., Hitzmann B., Maffier K., et al. Future aspects of bioprocess monitoring // Adv. Biochem. Engin — 2007. — Vol. 105. — P. 249–293.
14. Sayes C.M., Liang F., Hudson J.L., Mendez J., et al. Functionalized density dependence of single-walled carbon nanotubes cytotoxicity in vivo // Toxicol. Lett. — 2006. — Vol. 161, № 2. — P. 135–142.
15. Hou Y., Tang J., Zhang h., Qian C., et al. Functionalized few-walled carbon nanotubes for mechanical reinforcement of polymeric composites // ACS Nano. — 2009. — Vol. 3, № 5. — P. 1057–1062.

И.С. Чекман

«ЗЕЛЕННЫЕ» НАНОТЕХНОЛОГИИ И НАНОПРОДУКТЫ: ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обобщены литературные данные и результаты собственных исследований, касающихся нанотехнологий, а также описаны фармакологическое и токсикологическое свойства «зеленых» (т.е. безопасных) нанопродуктов. Сегодня обеспечение охраны окружающей среды требует внедрения в практическую деятельность «зеленых» нанотехнологий. Безопасные нанотехнологии должны коренным образом изменить производственные процессы, уменьшить их отрицательное влияние на окружающую среду, заменить опасные материалы (в том числе и лечебные средства) и способы их получения на современные безопасные изделия в разных областях деятельности человека.

Ключевые слова: зеленые нанотехнологии, нанопродукты, наномедицина, нанофармакология, нанотоксикология, уменьшение отрицательного влияния.

I.S. Chekman

«GREEN» NANOTECHNOLOGIES AND NANOPRODUCTS: ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF INVESTIGATIONS

Literature data and own research results related to nanotechnologies, pharmacological and toxicological properties of nanoproducts are summarized. Today maintenance of environmental protection requires introduction of «green» nanotechnologies into practice. Safe nanotechnologies can radically change the production processes, reduce their negative impact on the environment, and replace hazardous materials and methods of their production in different branches of human activity, including drugs.

Key words: green nanotechnologies, nanoproducts, nanomedicine nanopharmacology, nanotoxicology, negative impact reducing.

Надійшла до редакції 12.09.10