

**НАНОБІОТЕХНОЛОГІЇ - ВЧОРА, СЬОГОДНІ,  
ЗАВТРА...****О. М. Дуган, М. В. Михальченко***Національний технічний університет України "Київський  
Політехнічний Інститут"***Вступ**

Все більша кількість науковців залучається до нової дисципліни, існування якої ще 10 років тому ніхто не міг передбачити. Вона виникла на стиці двох галузей, що надзвичайно стрімко розвиваються, - нанонауки і біотехнології [1]. Нанобіотехнології представляють собою багатoproфільне поле, яке охоплює великий і різноманітний спектр технологій, що походять від інженерії, фізики, хімії та біології [2].

"Шлюб" між біотехнологіями і нанотехнологіями може призвести до різкого прогресу в медичній науці. Він цілком може стати чинником викоренення багатьох захворювань людини. У розумних масштабах часу, рак і СНІД можна розглядати таким же чином, що поліомієліт і туберкульоз розглядаються зараз. Генетичні дефекти можуть бути виявлені і виправлені вже навіть до народження. Нано-роботи, вставлені в наше тіло, можуть виконувати дуже складні хірургічні завдання, такі як операції на головному мозку. Нано-машини можуть навіть вирішити проблеми на клітинному рівні. Маніпуляція генетичною інформацією всередині тіла в режимі реального часу - це тільки один із прикладів [3]. Отже, область застосування нанобіотехнології величезна і кожен день відкриваються нові сфери нашого повсякденного життя, де вони можуть знайти застосування [2].

**Мета** роботи - надати короткий огляд етапів розвитку нанобіотехнології від зачатків до сьогодення, підкреслити актуальні задачі цієї галузі, а також відзначити перспективні напрямки подальших досліджень.

**Зародження дисципліни.** Історично біотехнологія як науково-практична дисципліна, виникла тоді, коли дріжджі були

вперше використані для виробництва пива, а бактерії - для виробництва йогурту. Термін "біотехнологія" був введений в 1917 р. угорським інженером Карлом Ерекі для опису процесу великомасштабного вирощування свиней з використанням у якості корму цукрових буряків. За визначенням Ерекі, біотехнологія - це всі види робіт, при яких з сировини за допомогою живих організмів виробляються ті чи інші продукти. Таке визначення не отримало широкого розповсюдження, і у 1961 р. біотехнологія набула наступного змісту: промислове виробництво товарів та послуг за участю живих організмів, біологічних систем та процесів [4]. В той час, як 20-е сторіччя було ерою фізики, електроніки і зв'язку, наступні роки відзначаються домінуванням біологічної революції, яка вже розпочалася в другій половині 20-го століття [3]. Також у цей же час з'явився новий науковий напрямок - нанотехнології - захоплюючий фронт, який має справу з мініатюрними нанометрового розміру агрегатами і пристроями [1, 3].

Префікс "нано" походить від грецького слова "нанос", що означає "карлик", і сьогодні він використовується в якості префікса для опису об'єктів, розміром  $10^9$  м. Таким чином, нанотехнології - це галузь дослідження і виробництва об'єктів, які знаходяться у межах від 1 до 100 нм. Загальна концепція нанотехнологій була представлена 29 грудня 1959 р. Річардом Фейнманом (рис. 1) у його легендарній лекції на тему "Там знизу - багато місця" на щорічній зустрічі Американського фізичного товариства у Каліфорнійському технологічному інституті [2, 5].



**Рис. 1.** Нобелівський лауреат Річард Фейнман [3].

У той час, маніпулювання окремими атомами або молекулами було неможливе, тому що вони були занадто малі для доступних інструментів. Таким чином, його лекція мала цілком теоретичний характер і здавалась вкрай надуманою. Сьогодні ж ця лекція вважається першою віхою науки на нанорівні [2].

Сам же термін "нанотехнології" був введений у 1974 р. японським фізиком Норіо Танігучі з Токійського наукового університету і визначається як сукупність методів виробництва продуктів з заданою атомарною структурою шляхом маніпулювання атомами і молекулами. [5, 6]

Пізніше велика рушійна сила для того, щоб зробити нанотехнології важливою науковою областю, була надана американським ученим К. Еріком Дрекслером (якого також називають "батьком нанотехнології" [7]) (рис.2). У 1981 р. він опублікував статтю, в якій описав, як білкові агрегати можуть служити в якості функціональних одиниць, таких як двигуни, кабелі та насоси нано-масштабу. У цій статті Дрекслер навів порівняння компонентів, які наявні в кожній живій клітині, з компонентами, які використовуються для машинобудування [3]. Він запропонував метод побудови молекул примусовим стисканням атомів один до одного в бажані молекулярні форми, який потім охрестили "механосинтезом" [8]. Книги Дрекслера "Двигуни творення: майбутня ера нанотехнології" (1986 р.) та "Наносистеми: молекулярні машини, виробництво і обчислення" (1992 р.) остаточно закріпили напрямок молекулярної нанотехнології [3]. Він також придумав термін "сірий слиз", щоб описати те, що може статися, якщо гіпотетична самовідтворювана молекулярна нанотехнологія вийде з-під контролю [7].



**Рис. 2.** "Батько нанотехнології" Кім Ерік Дрекслер [9].

Перші 30 років нанонауки були присвячені головним чином вивченню та виготовленню матеріалів на нанорівні. У тих дослідженнях багато зусиль було присвячено зменшенню розмірів готових матеріалів. Це був той час, коли два основні підходи до виготовлення були визначені: "знизу вгору" та "зверху вниз" [2].

Підхід "знизу вгору" - це пошук засобів та інструментів для створення об'єктів, які б об'єднували більш дрібні компоненти, - одиничні молекули і атоми, що утримуються разом кова-

лентними силами. Теоретично, такими прикладами можуть бути молекулярні асемблери, де наномашини запрограмовані таким чином, щоб побудувати структуру зі швидкістю один атом або молекула в одиницю часу, або шляхом самозбірки, коли ці структури створюються спонтанно. Перевага висхідного ("знизу вгору") проектування в тому, що ковалентні зв'язки, які разом утримують одну молекулу, набагато сильніші, ніж слабкі взаємодії, які утримують більше ніж одну молекулу разом [2, 3].

Спадний ("зверху вниз") підхід відноситься до лиття, різьблення, виготовлення матеріалів малого розміру і компонентів за допомогою більш великих об'єктів, таких як механічні інструменти, лазери, наприклад, такі як використовуються сьогодні у підходах сучасної фотолітографії у виробництві кремнієвих мікросхем. В даний час технології з використанням обох підходів розвиваються, і комбінування цих підходів матиме широке застосування. Тим не менш, підхід "знизу вгору", принаймні теоретично, має набагато більший практичний і прикладний потенціал [2].

**Поняття нанобіотехнології.** Біосистеми керуються нанорозмірними процесами і структурами, які оптимізувались протягом мільйонів років. Вже багато років біологи працюють на молекулярному рівні, в діапазоні від нанометрів (ДНК і білку) до мікрометрів (клітини). Основою кожної біологічної системи являються нанорозмірні молекулярні будівельні блоки, що допомагають поширенню живих істот. Ці елементи непокоять уяву нанотехнологів протягом багатьох років, що призвело до народження нової науки нанобіотехнології [1]. Нанотехнологія надає інструменти та технологічні платформи для дослідження і трансформації біологічних систем. Біологія пропонує нанотехнології природні моделі та біо-компоненти. Різниця між "нанобіологією" і "нанобіотехнологією" полягає в технологічній частині терміну. Все, що є штучним, входить до технологічного розділу нанобіотехнології. Перше революційне застосування нанобіотехнології, ймовірно, буде в галузі електроніки та медицини. Нанобіотехнології призведуть до розробки абсолютно нових класів мікро- і наностворених пристроїв і машин, натхненням для яких будуть біо-структуровані машини, використання біомолекул в якості будівельних блоків, або використання біосистем, як виробничого обладнання [2].

На відміну від небіологічних систем, які виробляються підходом "зверху вниз", біологічні системи будуються з молекулярного рівня (підхід "знизу вгору"). Саме цим нанобіотехнологія відрізняється від нанотехнології [2, 3].

Ряд вчених розмежовують терміни "нанобіотехнологія" і "біонанотехнологія" [3, 10], проте деякі їх ототожнюють. Тому важливо розуміти різницю між цими галузями нанотехнології.

Термін "нанобіотехнологія" передбачає застосування методів нанотехнологій для розвитку і вдосконалення біотехнологічних процесів і продуктів. Це включає в себе використання методів виготовлення та маніпуляцій в нано-масштабі для формування більш чутливих і точних методів діагностики, таких як "лабораторія на чіпі" і наносенсорів в режимі реального часу. Це також включає в себе використання нано-масштабної матриці для контрольованого вивільнення препарату, а також інженерії та регенерації тканин. Також до перспективних напрямків нанобіотехнології відносять розробку нано-масштабних маніпуляторів ("нано-роботів") для виконання медичних процедур всередині організму, та нано-машин, які будуть служити в якості штучної альтернативи функціональним біологічним органам [3, 10, 11].

Під терміном "біонанотехнології" мають на увазі використання біологічних будівельних блоків та їхніх особливих властивостей для створення нано- і мікроструктур [2, 3]. Проте така практика біонанотехнології, звичайно, не обмежується біологічним застосуванням і має набагато більш широкий розмах. Наприклад, майбутні застосування біонанотехнології можуть включати в себе використання ДНК олігомерів, пептидних нанотрубок, або білкових фібрил для виготовлення металевих нанодротів, з'єднань або інших фізичних елементів в нано-масштабі, які можуть бути використані в молекулярній електроніці та нано-електромеханічних пристроях [3, 10, 12].

Тим не менш, найперспективнішим, ймовірно, буде дисципліна, яка включатиме в себе ці дві складових і визначатиметься як: машинобудування, розробка і маніпуляції суб'єктів у 1 - 100-нм діапазоні з використанням біологічних підходів на користь біологічних систем. Біологічні підходи можуть включати як спосіб імітації біологічних структур або фактичного ви-

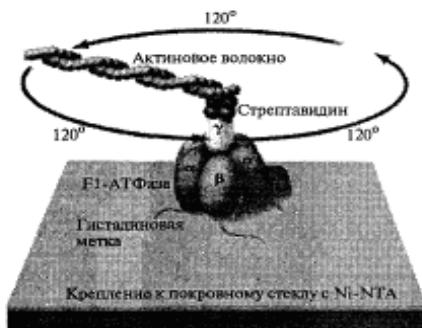
користання біологічних будівельних блоків та будівельних інструментів для складання наноструктур. У певному сенсі, перший приклад нанобіотехнологічної системи може бути виробництво рекомбінантних білків [2].

**Актуальні напрямки нанобіотехнології.** Розглянемо найбільш привабливі з точки зору перспективи галузі застосування нанобіотехнології, саме в яких зараз ведуться дослідження.

*Молекулярні двигуни і пристрої, нанороботи.* Молекулярна машина може бути визначена як сукупність певного числа молекулярних компонентів, призначених для виконання механічного руху внаслідок зовнішнього стимулу. Концепція молекулярних двигунів не нова, і справді, кожна клітина містить кілька молекулярних двигунів, як невід'ємну частину своєї регуляторної функції. Існують два основних види природних молекулярних машин: поворотні двигуни, такі як F1-АТФази джгутиків, і лінійні двигуни, такі як міозин [2, 13, 14].

F1-АТФаза є частиною значно більшого, вбудованого в мембрану комплексу, що забезпечує синтез АТФази в мітохондріях (рис. 3). Розміри даної структури не перевищують 10 нм, і вона являє собою досить надійний і функціонально досконалий двигун, робота якого забезпечується природними біохімічними процесами. У 1998 р. премія Амершама з біотехнології і фармакології була вручена молодому японському досліднику Хіроюкі Нодзому, якому вдалося експериментально продемонструвати роботу цього молекулярного двигуна, приєднавши до нього довге молекулярне актинове волокно і простеживши його обертання в оптичному мікроскопі [14, 15].

Молекулярні двигуни забезпечують транскрипцію ДНК, клітинний транспорт і скорочення м'язів. Нові вимірювальні мікроінструменти дозволяють виділити такі двигуни, вивчити принципи їх дії та пристосувати для використання в наноелектро-механічних пристроях, які будуть значно меншими за мікроелектромеханічні пристрої. На їх основі, можливо, вдасться створити штучні біологічні пристрої, які можна буде впровадити в організм і які будуть використовувати АТФ в якості "палива", так само, як це відбувається у нормальних біохімічних процесах [16].



**Рис. 3.** Молекулярний протеїновий двигун F1-ATФаза [15].

Тому детальне дослідження будови і функціонування цих молекулярних двигунів (і аналогічних їм молекулярних біосистем) дозволяє використовувати і розробляти нові молекулярні двигуни на основі біомолекул або інших хімічних компонентів, тобто має величезну наукову та практичну цінність [2, 16].

Кінцевою метою нанобіотехнології є виробництво функціональних біологічно відповідних машин в нано-масштабі. Такі машини повинні бути в змозі замінити мікро-хірургію хірургічними процедурами з суб-мікронною точністю. Можна уявити собі створення крихітних роботів, які будуть мати розміри порядку декількох мікрон, а також фактичних хірургічних скальпелів суб-мікронних розмірів. Такі мікро/нано-роботи можуть зробити справжню революцію в галузі нейрохірургії, дозволяючи дуже точні маніпуляції пошкодженими тканинами як при пухлинах головного мозку, так і при пошкодженнях кровоносних судин, не зачіпаючи здорові тканини. Нанороботи можуть також бути використані для лікування на клітинному рівні захворювань, таких як рак. У той час, як у 1966р. ідея нано-роботів дійсно була предметом наукової фантастики (у "Фантастичній подорожі" Айзека Азімова те, що ми назвали б зараз "нано-робот" був введений в тіло одного з персонажів для знищення небезпечних для життя тромбів в головному мозку) зараз, 45 років по тому, це вже стає реальністю [3].

*Самоорганізовані структури (нано-збірки).* Самоорганізація - це спонтанна організація окремих елементів у впорядковані структури. Молекулярне самоскладання є таким інстру-

ментом виготовлення, де інженерні принципи можуть бути застосовані для розробки структур з використанням основних принципів, які зустрічаються в природі. Найголовніша перевага самозбірки в тому, що вона є енергетично ефективнішою в порівнянні з прямою збіркою. В останні роки значні успіхи були досягнуті у використанні пептидів і білків в якості будівельних блоків для виробництва широкого спектру біологічних матеріалів для різного використання [2, 17, 18, 19].

Використовуючи біологічні системи в якості зразка, вчені намагаються створити шляхом самозбірки ще більш складні системи. Самозбірка стає необхідною умовою в багатьох процесах, оскільки зменшення розмірів компонентів робить маніпулювання ними занадто повільним для практичних цілей. Складні біологічні системи можна розглядати як моделі, за якими створюються окремі компоненти, що об'єднуються в подальшому єдиним можливим способом в необхідну тривимірну наноструктурну систему. Для створення нових матеріалів можна скористатися знаннями, отриманими при дослідженні біологічних систем. Наприклад, вивчивши молекулярну структуру павутини (яка є одним з найміцніших матеріалів, відомих в даний час), можна використовувати отримані дані для конструювання нових композитних полімерних матеріалів, що володіють підвищеною міцністю [16, 19].

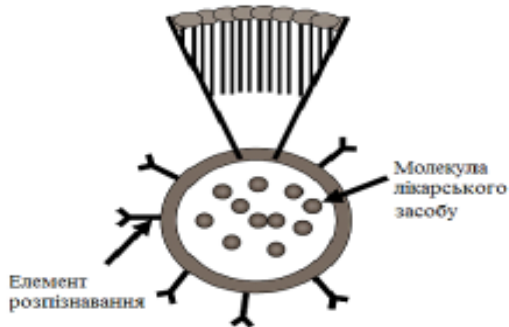
*Біомедицинні застосування нанотехнологій - наномедицина.* Хоча значний прогрес був досягнутий нещодавно, сучасна медицина обмежена як в своїх знаннях, так і в своїх інструментах лікування. І тільки в останні 50 років медицина почала дивитися на захворювання на молекулярному рівні. Потенційний вплив нанотехнологій на медицину пов'язаний з розмірами пристроїв і матеріалів, які можуть безпосередньо взаємодіяти з клітинами і тканинами на молекулярному рівні [2].

Один з безпосередніх напрямів нанотехнологій для поліпшення ефекту фармацевтичної продукції є формування нанокристалів бажаного препарату. Розмір нанокристалів має порядок 200-500 нм. Нанокристали вводять у вигляді суспензії у водному розчині. Цей метод пропонує різні переваги в порівнянні зі звичайними лікарськими формами препаратів: значно більша



розчинність гідрофобних препаратів, які не розчиняються у воді; покращення біодоступності препарату для поглинання в травному тракті; поліпшення стабільності препарату для біологічної деградації в організмі, а також хімічної і фізичної деградації, що позначається на збільшенні тривалості терміну зберігання. Наразі, розробляються нано-препарати білків з великою молекулярною масою, таких як інсулін і інші гормони для ентерального шляху введення [3, 20].

Більш складним шляхом використання нанотехнологій для доставки лікарських засобів до певних органів є використання гетерологічних нано-контейнерів - ліпосом (рис. 4).



**Рис. 4.** Використання фосфоліпідних ліпосом для доставки лікарських засобів [3].

Ліпосоми мають багато переваг через їх відносну стабільність і здатність зберігати біологічні молекули з низьким рівнем витоку. Крім того, вони складаються з натуральних біомолекул і тим самим визнаються як власний матеріал людського тіла. Така висока спорідненість має вирішальне значення для використання високо-токсичних препаратів, наприклад хімотерапевтичних агентів, які необхідні бути доставлені. Специфічна доставка таких ліпосом в точності до цільової тканини або органу дозволяє нам використовувати більшу дозу хімотерапевтичних лікарських засобів за рахунок скорочення загальних побічних ефектів шляхом зведення до мінімуму впливу препарату на здорові тканини.

Ліпосоми можуть бути використані не тільки для доставки лікарських препаратів, а й інших матеріалів, таких як фрагменти ДНК. Це означає застосування технології ліпосом для генної

терапії, що передбачає транспортування нормального гена в клітину, яка несе нефункціональний ген, що мутував [3, 21, 22].

Хоча прикладні нанобіотехнології в медицині знаходяться в зародковому стані, тим не менш, широта сучасних досліджень у області наномедицини є екстраординарною. Вона включає в себе три основних напрямки досліджень: діагностика, лікарські засоби, протези і імпланти. Сьогодні наномедицина є одним з домінуючих і провідних галузей нанобіотехнологій [2, 22, 23].

Біологічні дослідження на нанорівні. Живі організми і біомолекули є набагато складнішими, ніж інженерні матеріали. В останні декілька десятиліть дослідження були спрямовані на поєднання структури, механічної відповіді і біологічних функцій на макро- і мікрорівнях. Створені наноінструменти та методи наноманіпуляції, дозволяють спостерігати та аналізувати властивості окремих молекул, тим самим забезпечуючи можливість для вивчення біологічних процесів окремих клітин і молекулярних двигунів [2, 24, 25].

Біонаслідування і заново розроблені структури. Одна з головних цілей нанобіотехнології є розробка і створення нових матеріалів на нанорівні. Біомолекули, через їх унікальну і специфічну взаємодію з іншими біо- і неорганічними молекулами, природньо контролюють складні структури на тканинному і органному рівнях. Зважаючи на нинішній прогрес в нанорозмірному машинобудуванні і маніпуляціях, поряд з досягненнями в галузі молекулярної біології і біомолекулярних структур, біонаслідування і заново розроблені структури входять на молекулярний рівень. Очікуваною є можливість використання неорганічних поверхнево-специфічних білків для контрольованого збирання матеріалу *in vivo* чи *in vitro* [2, 26].

*ДНК-нанотехнології і наноелектроніка.* ДНК-нанотехнології притаманні всім згаданим нанотехнологічним підходам. Все більше число вчених у наноауці використовує нуклеїнові кислоти в якості будівельних блоків за допомогою підходу "знизу вгору" з метою отримання нових структур і пристроїв [2]. Здатність макромолекул ДНК до регульованої і високоорганізованої збірки робить їх ідеальним матеріалом для нанотехнологій. Наприклад, молекули ДНК застосовувалися для конструювання матриць, які шляхом самозбірки легко перетворюються в заплановані двомірні структури [16]. В ос-

танні кілька років вчені розробили технологію швидкого картування генетичної інформації в молекулах ДНК і РНК, включаючи визначення мутацій і рівнів експресії. У цій технології використовується матриця мікрочіпів ДНК, що має схожість з літографічного технологією формування малюнка при промисловому виробництві інтегральних схем. Мініатюризація пристроїв на основі схожих аналітичних процесів, зокрема електрофорезу, підвищує ефективність таких технологій і знижує вартість багатьох важливих аналітичних методик, наприклад секвенування ДНК або створення фінгерпрінт (пептидних карт) [16]. Перелік перерахованих напрямків нанобіотехнології - це не всі потенційно можливі галузі застосування цієї дисципліни. Кожен день робляться нові відкриття, з'являються нові ідеї, виготовляються нові наноінструменти, і дисципліна поповнює свій кошик новими знаннями і, відповідно, захоплює нові фронти нашого життя.

### **Висновки**

Нанобіотехнології все ще знаходяться в ранній стадії розвитку, проте їх розвиток є різноспрямованим і швидким. Вже створені нанобіотехнологічні науково-дослідні центри, які добре фінансуються, а число статей і патентних заявок зростає швидкими темпами. Крім того, нанобіотехнологічний "інструментальний ящик" в даний час швидко наповнюється новими і життєздатними засобами для біонаноманіпуляцій, що поповнюють список галузей застосування нанобіотехнології [27]. Роллю вчених і технологів в найближчі роки стане забезпечення належного використання здібностей нанобіотехнології. Ми повинні переконатися, що ця революція буде використовуватися для блага людства, а не для його знищення. Оскільки ці інструменти настільки потужні, що їх неправильне використання може привести до тяжких наслідків [3].

### **Література**

1. *Nanobiotechnology protocols / edited by Sandra J. Rosenthal and David W. Wright, 2005. - 150 p.*
2. *Nanobiotechnology: bioinspired devices and materials of the future / edited by Oded Shoseyov and Ilan Levy, 2008. - 180 p.*
3. *Plenty of Room for Biology at the Bottom. An Introduction to Bionanotechnology. Ehud Gazit, 2007.*
4. *Огурицов А. Н. Нанобиотехнология. Основы молекулярной биотехнологии: учеб. пособие / А. Н. Огурицов. - Харьков: НТУ "ХПИ", 2010. - 384 с.*

5. Дуган О. М. Токсикологічна активність деяких наноматеріалів / О. М. Дуган, М. В. Михальченко // Проблеми екологічної та медичної генетики і клітинної імунології : зб. наук. праць. - Київ; Луганськ, 2011. - Вип.2 (103). - С. 38-61.
6. Наноматеріали. Класифікація, особенности свойств, применение и технологии получения / Б.М. Балоян, А.Г. Колмаков, М.И. Алымов, А.М. Кротов. - М., 2007. - 125 с.
7. <http://ru.wikipedia.org>
8. Goodsell D. S. *Biotechnology : lessons from nature* / D. S. Goodsell, 2004. - 120 p.
9. <http://nanoengineer-1.com>
10. DNA-templated assembly and electrode attachment of a conducting silver wire / E. Braun, Y. Eichen, U. Sivan, G. Ben-Yoseph // *Nature*. - 1998. - P. 775-778.
11. Reches M. Casting metal nanowires within discrete self-assembled peptide nanotubes / M. Reches, E. Gazit // *Science*. - 2003. - P. 625-627.
12. Zhang S. Fabrication of novel biomaterials through molecular self-assembly / S. Zhang // *Nat Biotechnol*. - 2003. - P. 1171-1178.
13. Artificial molecular machines / V.V. Balzani, A. Credi, F.M. Raymo, J.F. Stoddart // *Angew Chem Int Ed Engl*. - 2000. - Vol. 39. - P. 3348-3391.
14. Protein-polymer nano-machines. Towards synthetic control of biological processes / S.S. Pennadam, K. Firman, C. Alexander, D.C. Gorecki // *J. Nanobiotechnol*. - 2004. - Vol. 2. - P. 8.
15. Noji H. The rotary enzyme of the cell: the rotation of F<sub>1</sub>-ATPase / H. Noji // *Science*. - 1998. - Vol. 282. - P. 1844-1845.
16. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направления исследований / под ред. М. К. Роко, Р. С. Уильямса и П. Аливисатоса : пер. с англ. - М.: Мир, 2002. - 292 с.
17. Design of nanostructured biological materials through self-assembly of peptides and proteins / S. Zhang, D.M. Marini, W. Hwang, S. Santoso // *Curr. Opin. Chem. Biol*. - 2002. - Vol. 6. - P. 865-871.
18. Chmielewski Ghosh I. Peptide self-assembly as a model of proteins in the pre-genomic world / I. Ghosh Chmielewski // *J. Curr. Opin. Chem. Biol*. - 2004. - Vol. 8. - P. 640-644.
19. Wu L.Q. Biofabrication: using biological materials and biocatalysts to construct nanostructured assemblies / L.Q. Wu, G.F. Payne // *Trends Biotechnol*. - 2004. - Vol. 22. - P. 593-599.
20. Emerich D.F. Nanomedicine-prospective therapeutic and diagnostic applications / D.F. Emerich // *Expert. Opin. Biol. Ther*. - 2005. - Vol. 5. - P. 1-5.

21. *Nanobiotechnology: the promise and reality of new approaches to molecular recognition* / P. Fortina, L.J. Kricka, S. Surrey, P. Grodzinski // *Trends Biotechnol.* - 2005. - Vol. 23. - P. 168-173.

22. *Labhasetwar V. Nanotechnology for drug and gene therapy: the importance of understanding molecular mechanisms of delivery* / V. Labhasetwar // *Curr. Opin. Biotechnol.* - 2005. - Vol. 16. - P. 674-680.

23. *Jain K.K. The role of nanobiotechnology in drug discovery* / K.K. Jain // *Drug Discov Today.* - 2005. - Vol. 10. - P. 1435-1442.

24. *Curtis A. Nanotechniques and approaches in biotechnology* / A. Curtis, C. Wilkinson // *Trends Biotechnol.* - 2001. - Vol. 19. - P. 97-101.

25. *Ishii Y. Single molecule nanomanipulation of biomolecules* / Y. Ishii, A. Ishijima, T. Yanagida // *Trends Biotechnol.* - 2001. - Vol. 19. - P. 211-216.

26. *Ball P. Synthetic biology for nanotechnology* / P. Ball // *Nanotechnology.* - 2005. - Vol. 16. - P. R1-R8.

27. *Investing in nanotechnology* / R. Paull, J. Wolfe, P. Hebert, M. Sinkula // *Nat. Biotechnol.* - 2003. - Vol. 21. - P. 1144-1147.

#### Резюме

**Дуган О. М., Михальченко М. В.** *Нанобіотехнології - вчора, сьогодні, завтра...*

Проведено аналіз літературних даних щодо розвитку нової та надзвичайно перспективної дисципліни - нанобіотехнології. Розглянуто наступні питання: зародження дисципліни, поняття нанобіотехнології, актуальні напрямки нанобіотехнології.

**Ключові слова:** нанобіотехнології, нанотехнології, нанороботи, наномедицина.

#### Резюме

**Дуган А. М., Михальченко М. В.** *Нанобиотехнологии - вчера, сегодня, завтра...*

Проведен анализ литературных данных по развитию новой и чрезвычайно перспективной дисциплины - нанобиотехнологии. Рассмотрены следующие вопросы: зарождение дисциплины, понятия нанобиотехнологии, актуальные направления нанобиотехнологии.

**Ключевые слова:** нанобиотехнологии, нанотехнологии, нанороботы, наномедицина.

#### Summary

**Dugan O. M., Mykhalchenko M. V.** *Nanobiotechnology - yesterday, today and tomorrow...*

The analysis of published data on the development of a new and very promising discipline - nanobiotechnology has been done. The following issues have been studied: the birth of the discipline, nanobiotechnology concepts, current trends in nanobiotechnology.

**Key words:** nanobiotechnology, nanotechnology, nanobots, nanomedicine.

**Рецензент: д.біол.н., проф.Б.П.Романюк**