

# НАНОБІОЛОГІЯ, БІОМІМЕТІКА ТА ПРИРОДНІ НАНОСТРУКТУРИ: ФІЗИКО-ХІМІЧНИЙ ТА БІОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТИ

Сімонов П.В.<sup>1</sup>, Цехмістер Я.В.<sup>1</sup>, Чекман І.С.<sup>1</sup>, Сирова Г.О.<sup>2</sup>, Нагорна О.О.<sup>3</sup>

Національний медичний університет ім. О.О. Богомольця, м. Київ, Україна; Харківський національний медичний університет, м. Харків, Україна; <sup>3</sup>Державний експертний центр МОЗ України

**Ключові слова:** нанобіологія, біоміметика, надгідрофобність, наномотори, віруси, фотонні наноструктури.

**Вступ.** Вчені з давніх-давен прагнули осягнути закони, за якими функціонують живі системи, розкрити таємницю поєднання у природних структурах унікальних властивостей, що на перший погляд здаються парадоксальними. Завдяки швидкому розвитку нових технологій та методів дослідження природних об'єктів, дослідники дійшли до висновку, що фундаментальні метаболічні процеси у живих системах відбуваються на нанорівні, а сама структура таких систем часто має нанорозмірні елементи [34].

Аналіз величин нанорозмірних фізіологічно активних речовин та біологічних об'єктів свідчить, що їх можна розподілити на декілька груп. Першу групу становлять структури більше 100 нм: лейкоцити, еритроцити, деякі органели (ядро, мтохондрії), ракові клітини, бактерії і бактеріофаги. До другої групи належать наночастинки розміром від 10 до 100 нм. Це антитіла, рибосоми, гранули глікогену тощо. Третю групу становлять речовини розміром до від 1 до 10 нм: альбумін, гемоглобін, біомембрана, фібриноген, рецептори, інсулін, жиророзчинні вітамінні (ергокальциферол, ретинол), фолієва кислота, лікарські засоби (дигоксин, кверцетин), хлорофіл рослин. До четвертої групи відносять речовини менше 1 нм, зокрема, АТФ, фруктозу, медіатори (ацетилхолін, адреналін, норадреналін), амінокислоти, молекули води, вуглекислого газу, оксиду азоту [1, 2].

Результати експериментальних досліджень свідчать, що наночастинки мають фізико-хімічні, біологічні, фармакологічні властивості, що відрізняються від таких для макророзмірних матеріалів. Можна припустити, що перебіг фізіологічних процесів на рівні капілярів, мембран, клітин та органел, дія медіаторів, функціонування іонних каналів відбувається із залученням наномеханізмів. Цікаво, що нанорозміри мають мембранні білки - мішені багатьох лікарських речовин, структури, що беруть участь у виконанні важливих клітинних функцій, таких як передача сигналів, біоелектрики, забезпечення процесів екзо- та ендцитозу [1, 3].

На сьогодні опубліковано багато робіт з опису загальних правил розробки молекулярних машин, чи наномашин, подібних до створених природою [6, 7, 8, 23]. Виявилося, що дизайн та використання наноструктурованих

систем у фізіологічних, біохімічних та імунологічних процесах - надзвичайно складне питання, що потребує міждисциплінарного підходу [4], створення нової дисципліни - нанобіології, що характеризується поєднанням знань з фізики, матеріалознавства, органічної хімії синтетичних матеріалів, інженерії та біології. Нанобіологія здатна призвести до революції у медицині та інших галузях, тому що [28]:

- 1) поєднує засоби, підходи та матеріали нанонауки та біології;
- 2) займається вирішенням біологічних задач за допомогою нанотехнологій;
- 3) розробляє способи створення молекулярних приладів із використанням біомакромолекул;
- 4) створює наномашини шляхом імітації та запозичення підходів, використовуваних природою.

Поряд із нанобіологією введено поняття "біоміметика" - використання фундаментальних принципів природи для розробки та створення прикладних систем та сучасних технологічних засобів. Це новий перспективний науковий напрям, у якому саме наноструктури будуть відігравати провідну роль. Слід зазначити, що використання біологічних структур як біотемплетів може стати високоефективним та низьковартісним шляхом синтезу складних наноматеріалів з унікальними властивостями. Здатність відтворювати біологічні форми з нанорозмірною точністю знайде застосування у тканинній інженерії, адресній доставці лікарських засобів, моделюванні та розробці сенсорних та імунологічних систем, засобів візуалізації та діагностики [10].

**Надгідрофобні матеріали та "лотос-ефект".** На сьогодні дослідники приділяють увагу вивченню природних гідрофобних матеріалів, зокрема - гідрофобного листя. Одна з рослин особливо зацікавила науковців. Це лотос, листя якого має великий кут контакту з водою (надгідрофобність) та проявляє виражену властивість самоочистки - "лотос-ефект" [11].

Поверхні листя властива ієрархічна мікро- та наноструктура зі співіснуванням мікророзмірних горбків та нанорозмірних воскових ворсинок [16]. Надгідрофобність листя лотосу пояснюється існуванням різних механізмів. По-перше, листя вкрите кристалами воску, що є суміш-

шу довгих гідрофобних вуглеводневих молекул біля 1 нм у діаметрі. По-друге, поверхня листків дуже шорстка завдяки згадуванню вище горбкам та ворсинкам [11].

Ефект надгідрофобності лежить в основі самоочистки, або "лотос-ефекту". Сферичні краплі води, легко скочуючись з надгідрофобного листка, стикаються з частинками бруду, адгезія яких надзвичайно мала завдяки ієрархічній структурі поверхні (нерівностям на різних рівнях довжин). Такі частинки можуть бути з легкістю видалені краплиною, що скочується [39].

Надгідрофобні матеріали є дуже перспективними завдяки зниженому тертю контактуючих з ними рідин та здатності до самоочистки; можуть знайти застосування у пристроях нанофлюїдики та лабораторіях на чипі.

**Молекулярні наномотори: нанобіологічний аспект.** Життя - це рух. Рух у біології - каскад механічних процесів на різних рівнях довжин, в основі якого лежить робота крихітних білкових машин, відомих як молекулярні мотори [32, 33]. Кожна клітина тіла людини містить цитоскелет, що підтримує форму клітини, уможливило деякі види рухливості і грає важливу роль у внутрішньоклітинному транспорті та поділі. Цитоскелет активується нанорозмірними молекулярними моторами - функціональними молекулярними агрегатами великої складності [26, 38].

Відомі три типи цитоплазматичних моторів: міозини, що рухаються вздовж актинових філаментів, та кінезини й динеїни, що використовують у якості колій для переміщення мікротрубки. У основі функціонування цих структур лежить процес гідролізу АТФ, завдяки якому відбуваються конформаційні зміни моторних ділянок, кінцевим результатом яких є рух наномоторів. Молекулярні мотори виконують транспортну функцію, уможливають рухливість та поділ клітин, а також, об'єднуючись у великі скупчення, забезпечують можливість руху на макрорівні [32, 33].

Крім згаданих вище поступальних молекулярних моторів у живих системах існують також роторні, найбільш відомим з яких є АТФаза, що синтезує АТФ, а отже, відіграє важливу роль у енергетичному забезпеченні клітини та організму в цілому. В 1997 році П. Д. Бойер та Д. Е. Вокер отримали Нобелівську премію з хімії за висвітлення ферментного механізму, що лежить в основі синтезу АТФ. АТФаза - це білок діаметром приблизно 10 нм та довжиною біля 25 нм з віссю, що містить дві частини - ферментний компонент F<sub>j</sub> у цитоплазмі та гідрофобний компонент F<sub>0</sub> у мембрані мітохондрій. Від'ємно заряджена ділянка F<sub>0</sub> - це біологічна нанотурбіна, що працює завдяки потоку протонів, спрямованому ззовні усередину клітини [20].

Компонент F<sub>0</sub> зумовлює обертання компоненту F<sub>j</sub> з трьома в-субодинами, на яких відбувається синтез АТФ. Одна з трьох в-субодинаць порожня, друга містить вихідну молекулу АДФ, а третя - продукт синтезу, АТФ. Різниця сили зв'язку молекул АДФ та АТФ з Р-ділянками спостерігається завдяки різним конформаціям цих ділянок, що має ключове значення при синтезі АТФ. Енергія, яка передається віссю, що обертається, ініціює вивільнення міцно зв'язаної молекули АТФ з Р-ділянки [13].

Існує декілька прикладів раціонального використання природних систем з наномоторами у створенні нанороз-

мірних пристроїв. Steinberg-Yfrach G. et al. (1998) розроблена біоміметична система перетворення сонячної енергії, що містить абсорбуючий світло порфіриновий центр, розміщений між донором та акцептором електронів. Така система може бути використана для синтезу АТФ та коферменту НАДФН<sup>+</sup>. Утворення цих двох молекул може бути використано для енергетичного забезпечення будь-яких видів ферментативних реакцій [5].

Біомотори можуть стати перспективним вибором у створенні систем силового приводу. Такі молекулярні мотори мають ряд переваг перед синтетичними приводами: по-перше, значно менші за розмірами, по-друге, здатні здійснювати більш складні рухи, по-третє, перетворюють хімічну енергію у механічну з високою ефективністю. Головний недолік біомоторів у тому, що їх ізолювання та перебудова, а також інтеграція з електронними системами - це дуже складне на сьогодні завдання. Аналіз даної проблеми підштовхнув наукову спільноту на проведення експериментів з розробки нового підходу - застосування у якості силового приводу бактеріальних джгутикових моторів, що знаходяться всередині інтактних клітин [10]. Такий метод може знайти застосування у створенні гібридних плаваючих біомікро- та біонанороботів для різних медичних потреб, таких як неінвазивний скринінг, діагностика хвороб та адресна доставка лікарських засобів [9].

**Віруси, біоміметика та генна терапія.** Віруси - найбільш поширені біологічні об'єкти на нашій планеті, можуть розглядатися як органічні наноструктури розміром від 20 до 300 нм. Ці організми у майбутньому знайдуть широке використання у нанобіології. Перевага створення біоміметичних вірусів полягає у точно визначеній кількості та орієнтації доступних функціональних груп на їхній поверхні [15].

Вчені розглядають можливість використання вірусів у якості тривимірних платформ синтезу композитних матеріалів, у противагу нанотехнологічним методам розміщення молекул у двох вимірах. Такі системи можуть бути використані у синтезі металеві нанопроволоки, попередниками якої є розташовані у порожнині вірусу наночастинки [14, 22].

Наномедицина покликана покращувати якість та продовжувати тривалість людського життя. Один з її напрямків, спрямований на досягнення цієї мети, - це генна терапія - підхід використання генів у якості медикаментів [19, 29, 36]. Багато захворювань людини мають генетичну основу, тому генна терапія є привабливою стратегією лікування. На перших етапах розвитку цього напрямку у якості систем доставки генів були запропоновані віруси. Цей вибір не є дивним, адже саме віруси - найкращі природні переносники генетичного матеріалу. Водночас відомо, що віруси у організмі людини можуть розпізнаватися як чужорідні частинки. Тому успіх терапевтичного застосування вірусних векторів має два аспекти: ефективна доставка генів та подолання захисних сил організму [21, 24, 31].

Сполучення вірусних та невірусних елементів у засобах адресної доставки генетичного матеріалу є перспективною стратегією майбутньої оптимізації генної терапії. Додання невірусних елементів до вірусу шляхом хімічної модифікації призведе до створення хемовірусу, а іміту-

вання вірусних властивостей невірусними системами - до появи штучних вірусів. У результаті комбінування цих двох підходів можливим буде отримання гібридних вірусних систем, мета створення яких - нівелювання небажаних властивостей вірусів та маскування їх первинної поверхні для зміни клітинних мішеней, одночасно зі збереженням високої внутрішньоклітинної активності вірусних частинок [12].

**Магнетосоми: синтез у природі та використання людини.** У живих істотах зустрічаються наночастинки магнітних матеріалів, переважно магнетиту ( $Fe_3O_4$ ). Такі структури, зокрема, виявлені у здатних до магнітотаксису бактерій, котрі за допомогою магнітних нанозерен, синтезованих у процесі біомінералізації, орієнтуються у магнітному полі Землі [17]. Наприклад, бактерії *Magnetospirillum magnetotacticum* біомінералізують залізо у наночастинки магнетиту - магнетосоми розміром біля 50 нм, що дозволяють організму реагувати на магнітне поле у середовищі існування. Такі наноструктури мають значний потенціал використання у нанобіології, біотехнології та медицині завдяки їх вузькому розподілу за розмірами та природній біодоступності [35].

Вченими розроблені магнетосоми для чутливого методу виявлення поверхневого антигену гепатиту В (HBsAg) у сироватці людини із використанням магнітної імунної полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР) [27, 37]. Феромагнітні магнетосоми магнетиту, отримані з бактерії *Magnetospirillum gryphiswaldense*, модифікуються олігонуклеотидами та антитілами для виявлення HBsAg. До антигену додатково приєднується кон'югат "ДНК-антитіло" для ампліфікації ПЛР. Для даного методу спостерігається 125-кратне збільшення чутливості порівняно з імуноферментним аналізом та 25-кратне - порівняно з порогом виявлення HBsAg з використанням комерційно доступних магнітних кульок. Найбільш ймовірно, що висока продуктивність магнетосом, у порівнянні зі звичайними магнітними кульками, є результатом їх нанорозміру, монодисперсності та високої намагніченості [37].

**Різноманітність та перспективи застосування фотонних наноструктур.** Багато створених природою наноструктур виявляють цікаві оптичні властивості, що забезпечують забарвлення та/або "камуфляж" живих організмів. Також до таких структур належать органи зору, такі як складні очі комах. Якщо людина зможе відтворювати об'єкти з подібними оптичними властивостями, вони знайдуть широке застосування у різних сферах науки та техніки [25].

Багато комах, птахів та риб мають на поверхні тіла фотонні наноструктури, що дозволяє їм змінювати колір в залежності від кута огляду (переливчастість) чи надає тілу "металічного" блиску. Ці візуальні ефекти є більш вираженими, ніж ті, що зумовлені пігментами, та використовуються для привертання уваги потенційних статевих партнерів чи відлякування хижаків. Подібні фотонні наноструктури, що також отримали назву "антивідбиваючі покриття", дозволяють очам метеликів бачити в умовах слабого освітлення. Поверхня таких покриттів має потовщення, упорядковані у гексагональному порядку з періодичністю 240 нм, та здатна до поступової зміни профілю показника заломлення на границі розділу між хітином

(полісахарид з показником заломлення  $n=1,54$ ) та повітрям ( $n=1$ ), наслідком чого є десятикратне зменшення відбитої здатності [30].

Фотонні кристали можна розглядати як напівпровідники, у яких електрони замінені фотонами. Створюючи періодичні структури з матеріалів, що відрізняються діелектричною сталою, можна спрямовувати потік світла крізь фотонні кристали у спосіб, подібний до того, як електрони спрямовуються крізь леговані ділянки у напівпровідниках. Існування фотонної забороненої зони (заборона проходження світла певної частоти) у таких матеріалах уможливить контролювання світла з дивовижною легкістю та створення корисних оптичних ефектів, що були неможливими при використанні традиційних засобів оптики [18].

Природні фотонні кристали можуть виступати перспективними структурними матрицями при створенні новітніх оптичних пристроїв. Прикладом є пір'я павича, переливчасті кольори якого є відображенням будови фотонних наноструктур. У досліджах Han J. et al. (2008) саме цей матеріал обрано у якості матриці для наночастинок оксиду цинку ( $ZnO$ ). Поверхневий шар кератину та кератиновий компонент, що з'єднував меланінові тяжі у покриві пір'я, слугували реакційними ділянками для формування наночастинок. У результаті синтезу *in situ* був отриманий композит нано- $ZnO$ /пір'я павича, що здатний до фотолюмінесценції завдяки наночастинкам, які впорядковано розташовані у матриці. Отриманий наноматеріал виявляє дивовижні хімічні та фізичні властивості та може знайти широке використання у оптоелектроніці та оптичному зв'язку, фотокаталізі, газових датчиках, пластичній кераміці та напівпровідниковій технології [18].

**Узагальнення.** Останні 50 років характеризуються інтенсивними дослідженнями у галузі нанонауки та нанотехнологій. Нанорозмірні структури зацікавили вчених унікальними фізичними (механічними, оптичними, електричними, магнітними), хімічними, біологічними, фармакологічними, токсикологічними та фармацевтичними властивостями порівняно з аналогічними масивними матеріалами (*in bulk*). Феномен кардинальної стрибкоподібної зміни властивостей з переходом від мікро- до нанорозмірів достеменно ще не вивчений, але вже знайшов практичне застосування у багатьох сферах науки та галузях господарства.

У статті висвітлено нанобіологічний аспект нанонауки та нанотехнологій. Нанобіологія - нова перспективна галузь, що вивчає природні наноструктури та наномеханізми, займається розв'язанням медичних завдань за допомогою нанотехнологій, поєднує знання нанонауки, біології та медицини. У свою чергу, біоміметика застосовує ці комплексні знання для створення пристроїв та систем, подібних до природних, які можуть бути використані зокрема в медицині, фармакології та фармації.

Дизайн і використання наноструктурованих систем у фізіологічних, біохімічних та імунологічних процесах потребують глибшого розуміння природних законів функціонування організму. Здатність відтворювати біологічні форми з нанорозмірною точністю знайде застосування у тканинній інженерії, адресній доставці лікарських засобів,

моделюванні та розробці сенсорних й імунологічних систем, засобів візуалізації та діагностики.

Дослідження щодо визначення ролі наномеханізмів у фізіологічних та біохімічних процесах організму тривають. Для розв'язання цієї проблеми необхідний міждисциплінарний підхід різних фахівців з позицій фізики, хімії, біології, фізіології, фармакології і токсикології.

Рецензент: д.мед. н., професор Ніженковська І.В.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Чекман І. С. Фізіологічні процеси в організмі: наномеханізми / І. С. Чекман // Лікарська справа. - 2010. - № 7-8. - С. 3-10.
2. Чекман І. С. Нанофармакологія / Чекман І. С. - К.: Задруга, 2011. - 424 с.
3. Чекман І. С. Структура та функція біомембран: вплив наночастинок / І. С. Чекман, П. В. Сімонов // Фізіол. журн. - 2011. - Т. 57, № 6. - С. 99-117.
4. Amer M. S. Raman spectroscopy, fullerenes and nanotechnology / Amer M. S. - Cambridge: RSC Nanoscience & Nanotechnology, 2010. - 287 p.
5. Ball P. Natural strategies for the molecular engineer / P. Ball // Nanotech. - 2002. - Vol. 13, № 5. - P. R15-R28.
6. Balzani V. Molecular devices and machines / V. Balzani, A. Credi, M. Venturi // Nano Today. - 2007. - Vol. 2, № 18. - P. 18-25.
7. Balzani V. Molecular devices and machines: concepts and perspectives for the nanoworld / Balzani V., Credi A., Venturi M. - Weinheim: Wiley-VCH, 2008. - 588p.
8. First-principles design of nanomachines / J. R. Banavar, M. Cieplak, T. X Hoang [et al.] // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. - 2009. - Vol. 106, № 17. - P. 6900-6903.
9. Behkam B. Bacterial flagella-based propulsion and on/off motion control of microscale objects / B. Behkam, M. Sitti // Appl. Phys. Lett. - 2007. - Vol. 90, № 2. - P. 023902-1-023902-3.
10. Berger M. Nano-society. Pushing the boundaries of technology / Berger M. - Cambridge: RSC Nanoscience & Nanotechnology, 2009. - 317 p.
11. Bhushan B. Applied scanning probe methods III. Characterization / Bhushan B., Fuchs H. - Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. - 378 p.
12. Boeckle S. Optimizing targeted gene delivery: chemical modification of viral vectors and synthesis of artificial virus vector systems / S. Boeckle, E. Wagner // AAPS J. - 2006. - Vol. 8, № 4. - P. E731-E742.
13. De Groot B. L. Proteindynamik-simulationen. Molekulare nanomaschinen unter der lupe / B. L. De Groot, R. A. Bockmann, H. Grubmuller // Phys. Unserer Zeit. - 2006. - Vol. 37, № 2. - P. 73-79.
14. Organization of metallic nanoparticles using tobacco mosaic virus templates / E. Dujardin, C. Peet, G. Stubbs [et al.] // Nano Lett. - 2003. - Vol. 3, № 3. - P. 413-417.
15. Fischlechner M. Viruses as building blocks for materials and devices / M. Fischlechner, E. Donath // Angew. Chem. Int. Ed. Engl. - 2007. - Vol. 46, № 18. - P. 3184-3193.
16. Genzer J. Biological and man-made self cleaning surfaces / J. Genzer, A. Marmur // MRS Bull. - 2008. - Vol. 33, № 8. - P. 742-746.
17. Guimaraez A. P. Principles of nanomagnetism / Guimaraez A. P. - Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. - 221 p.
18. Embedment of ZnO nanoparticles in the natural photonic crystals within peacock feathers / J. Han, H. Su, C. Zhang [et al.] // Nanotechnology. - 2008. - Vol. 19, № 36. - P. 365602.
19. Hendrie P. C. Gene targeting with viral vectors / P. C. Hendrie, D. W. Russell // Mol. Ther. - 2005. - Vol. 12, № 1. - P. 9-17.
20. Junge W. Torque generation and elastic power transmission in the rotary F(O)F(1)-ATPase / W. Junge, H. Sielaff, S. Engelbrecht // Nature. - 2009. - Vol. 459, № 7245. - P. 364-370.
21. Uptake pathways and subsequent intracellular trafficking in nonviral gene delivery / I. A. Khalil, K. Kogure, H. Akita [et al.] // Pharmacol. Rev. - 2006. - Vol. 58, № 1. - P. 32-45.
22. Biotemplate synthesis of 3-nm nickel and cobalt nanowires / M. Knez, A. M. Bittner, F. Boes [et al.] // Nano Lett. - 2003. - Vol. 3, № 8. - P. 1079-1082.
23. Kolomeisky A. B. Molecular motors: a theorist's perspective / A. B. Kolomeisky, M. E. Fisher // Annu. Rev. Phys. Chem. - 2007. - Vol. 58. - P. 675-695.
24. Kostarelos K. Synthetic, self-assembly ABCD nanoparticles; a structural paradigm for viable synthetic non-viral vectors / K. Kostarelos, A. D. Miller // Chem. Soc. Rev. - 2005. - Vol. 34, № 11. - P. 970-994.
25. Martin-Palma R. J. Replication of fly eyes by the conformal-evaporated-film-by-rotation technique / R. J. Martin-Palma, C. G. Pantano, A. Lakhtakia // Nanotechnology. - 2008. - Vol. 19, № 35. - P. 355704.
26. Nonequilibrium mechanics of active cytoskeletal networks / D. Mizuno, C. Tardin, C. F. Schmidt [et al.] // Science. - 2007. - Vol. 315, № 5810. - P. 370-373.
27. Niemeyer C. M. Immuno-PCR: high sensitivity detection of proteins by nucleic acid amplification / C. M. Niemeyer, M. Adler, R. Wacker // Trends Biotechnol. - 2005. - Vol. 23, № 4. - P. 208-216.
28. Nussinov R. Nanobiology: from physics and engineering to biology / R. Nussinov, C. Aleman // Phys. Biol. - 2006. - Vol. 3. - P. 1-2.
29. Nonviral gene delivery: techniques and implications for molecular medicine / A. L. Parker, C. Newman, S. Briggs [et al.] // Exp. Rev. Mol. Med. - 2003. - Vol. 5, № 22. - P. 1-15.
30. Parker A. R. Biomimetics of photonic nanostructures / A. R. Parker, H. E. Townley // Nat. Nanotechnol. - 2007. - Vol. 2, № 6. - P. 347-353.
31. Pouton C. W. Key issues in non-viral gene delivery / C. W. Pouton, L. W. Seymour // Adv. Drug Deliv. Rev. - 2001. - Vol. 46, № 1-3. - P. 187-203.
32. Schliwa M. Molecular motors / Schliwa M. - Weinheim: Wiley-VCH, 2003. - 604p.
33. Schliwa M. Molecular motors / M. Schliwa, G. Woehlke // Nature. - 2003. - Vol. 422, № 6933. - P. 759-765.
34. Shaefer H. E. Nanoscience. The science of the small in physics, engineering, chemistry, biology and medicine / Shaefer H. E. - Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. - 772 p.

35. *Controlled cobalt doping of magnetosomes in vivo* / S. Staniland, W. Williams, N. Telling [et al.] // *Nat. Nanotechnol.* - 2008. - Vol. 3, № 3. - P. 158-162.
36. *Thomas C. E. Progress and problems with the use of viral vectors for gene therapy* / C. E. Thomas, A. Ehrhardt, M. A. Kay // *Nat. Rev. Genet.* - 2003. - Vol. 4, № 5. - P. 346-358.
37. *Magneto immuno-PCR: a novel immunoassay based on biogenic magnetosome nanoparticles* / R. Wacker, B. Ceyhan, P. Alhorn [et al.] // *Biochem. Biophys. Res. Commun.* - 2007. - Vol. 357, № 2. - P. 391-396.
38. *Whitesides G. M. Nanoscience, nanotechnology, and chemistry* / G. M. Whitesides // *Small.* - 2005. - Vol. 1, № 2. - P. 172-179.
39. *Youngblood J. P. Bioinspired materials or self-cleaning and self-healing* / J. P. Youngblood, N. R. Sottos // *MRS Bull.* - 2008. - Vol. 33, № 8. - P. 732-741.

**НАНОБИОЛОГИЯ, БИОМИМЕТИКА  
И ПРИРОДНЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ: ФИЗИКО-  
ХИМИЧЕСКИЙ И БИОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТЫ**

Симонов П.В.<sup>1</sup>, Цехмистер Я.В.<sup>1</sup>, Чекман И.С.<sup>1</sup>,  
Сырова А.О.<sup>2</sup>, Нагорная Е.А.<sup>3</sup>

Национальный медицинский университет  
им. А.А. Богомольца, г. Киев, Украина;

<sup>2</sup>Харьковский национальный медицинский  
университет, г. Харьков, Украина;

<sup>3</sup>Государственный экспертный центр  
МЗ Украины

**Резюме.** Нанобиология - новая дисциплина, объединяющая методы, подходы и материалы нанонауки и биологии, в частности, для исследования природных наноструктур и наномеханизмов, а также для решения биологических заданий с помощью нанотехнологий. Биомиметика, в свою очередь, применяет фундаментальные принципы природы в разработке и создании прикладных систем и современных технологических устройств. Дизайн и использование наноструктурированных систем в физиологических, биохимических и иммунологических процессах требуют более глубокого понимания природных законов функционирования организма. Возможность воссоздавать биологические формы с наноразмерной точностью найдет применение в тканевой инженерии, адресной доставке лекарств, моделировании и разработке сенсорных и иммунологических систем, средств визуализации и диагностики.

**Ключевые слова:** нанобиология, биомиметика, сверхгидрофобность, наномоторы, вирусы, фотонные наноструктуры.

**NANOBIOLOGY, BIOMIMETICS, AND NATURAL  
NANOSTRUCTURES: PHYSICO-CHEMICAL  
AND BIOLOGICAL ASPECTS**

Simonov P.<sup>1</sup>, Zehmister Ya.<sup>1</sup>, Chekman I.<sup>1</sup>,  
Sirova A.<sup>2</sup>, Nagorna O.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Bogomolets National Medical University,  
Kyiv, Ukraine;

<sup>2</sup>Kharkiv National Medical University, Kharkiv, Ukraine;

<sup>3</sup>The State Expert Center, Ministry of Health  
of Ukraine

**Summary.** Nanobiology is a new discipline that unites methods and materials of nanoscience and biology in the order to investigate natural nanostructures and nanomechanisms and solve biological tasks using nanotechnology. Biomimetics uses fundamental rules of Nature in development and creation of applied systems and the state-of-the-art technological devices. Design and application of nanostructured systems urge for more profound understanding in natural laws of an organism functioning. A possibility to reconstruct biological forms with nanoscale precision will find its use in tissue engineering, drug delivery, modeling and development of sensing and immunological systems, visualization and diagnostic techniques.

**Key words:** nanobiology, biomimetics, superhydrophobicity, nanomotors, viruses, photonic nanostructures.