

© Микитюк М.В.

УДК 577.1:61

## НАНОЧАСТИНКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ В БІОЛОГІЇ І МЕДИЦИНІ

Микитюк М.В.

НИИ генетических и иммунологических основ развития патологии и фармакогенетики, Высшее государственное учебное заведение Украины «Украинская медицинская стоматологическая академия», г. Полтава

*Нанотехнологии – совокупность научных знаний, способов и средств направленного, регулируемого синтеза из отдельных атомов и молекул разных веществ, материалов та изделий с линейным размером элементов структуры до 100 нм. Исходя из ускоренных темпов развития нанонауки и увеличения количества и разнообразия созданных наноматериалов, актуальным заданием наномедицины является изучение возможностей применения нанотехнологических разработок в медицинской практике для профилактики, диагностики и лечения заболеваний. В обзорной статье рассмотрен исторический аспект открытия и классы наночастиц, обобщены данные литературы и собственных исследований по использованию нанотехнологий в области медицины и биологии. Рассмотрены противовирусные, противоопухолевые, кардиотропные, антиоксидантные и фотодинамические свойства новых наноструктур. Исследованы перспективы применения наночастиц для диагностики, доставки препаратов, создания биологически совместимых структур.*

Ключевые слова: Нанотехнологии, наночастицы и наносистемы, наноматериалы, наномедицина.

Сучасний етап розвитку науки характеризується подальшою мініатюризацією технологічних процесів, що призводить до формування принципово нового напрямлення – нанотехнологій. В останні роки нанотехнології завойовують передові позиції в хімії, біології та медицині. Швидкими темпами розвивається нанонаука, привертаючи загальну увагу новими досягненнями й соціальним значенням. [1]. Поняття «нанонаука» охоплює широке поле діяльності. Вчені всього світу проводять інтенсивні дослідження з нанотехнологій, наноелектроніки, наномедицини, нанобіології, нанотермодинаміки, наноматеріалів, нанопрепаратів [23].

Початком розвитку нанонауки можна вважати доповідь відомого американського вченого, лауреата Нобелівської премії з фізики Річарда Фейнмана, що відбулася в грудні 1959 р. на щорічному засіданні Американського фізичного товариства та мала назву: «Внизу багато місця: запрошення увійти у нову галузь фізики» (“There is plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new field of physics”) (Фейнман Р.Ф., 2002) У своїй доповіді Р. Фейнман вперше підняв проблему створення та застосування зверхмалих об’єктів, розмір яких буде вимірюватися у нанометрах [24]. Вперше термін «нанотехнології» був запропонований у 1974 році японським фізиком Норіо Тянігучі в доповіді «Про концептуальні основи нанотехнологій» на міжнародній конференції «International Conference on Precision Engineering» [26].

Нанотехнології (з грец.: nanos – карлик, гномик; te-hno – майстерність, ремесло; logos - наука) – сукупність наукових знань, способів і засобів спрямованого, регульованого складання (синтезу) із окремих атомів і молекул різних речовин, матеріалів та виробів із лінійним розміром елементів структури до 100 нм (1 нм = 10<sup>-9</sup>м) (Мовчан Б.А., 2008) [13]. В той же час, об’єктами нанотехнологій можуть бути макроскопічні об’єкти, атомарна структура яких створюється під контролем на рівні окремих атомів. Так, наприклад створення атомного силового мікроскопа дозволило спостерігати та візуалізувати живі клітини, субклітинні структури та детекцію молекулярних структур [70].

Наномедицина вивчає можливість застосування нанотехнологічних розробок (наноприладів, нанопрепаратів) у медичній практиці для профілактики, діагностики і лікування різних захворювань з контролем біологічної активності, фармакологічної та токсикологічної дії отриманих продуктів чи медикаментів [30].

Відомо, що властивості речовини залежать від розмірів зразка. Однією з головних причин змінення фізичних та хімічних властивостей малих часточок при зменшенні їх розмірів є зростання відносної долі «поверхневих» атомів, що знаходяться в інших умовах (координаційне число, симетрія локального оточення та ін.), ніж атоми всередині об’ємної фази. З енергетичної точки зору зменшення розмірів частинок призводить до збільшення ролі поверхневої енергії [8]. Таким чином, наночастинки речовини часто володіють властивостями, яких немає у макророзмірних зразків цих речовин. При дослідженні нанорозмірних матеріалів було виявлено значні зміни хімічних, фізичних та фізико-хімічних параметрів речовини. У нанометровому діапазоні змінюються електропровідність речовин, термостійкість, магнітні властивості, коефіцієнт оптичної щільності, вплив на організм людини та ін. [7, 9, 22, 39, 48]. Наночастинки, завдяки маленьким розмірам легко проникають у людський організм через органи дихання, травлення, шкіру та проявляють більш виражену біологічну активність внаслідок великої площі поверхні на одиницю маси [26, 44, 46, 57]. Зміна фізико-хімічних механізмів дії наночастинок зумовлена тим, що більшість атомів знаходиться на поверхні. Таке розташування змінює фізичні, хімічні, біологічні, токсикологічні властивості речовини та сприяє полегшенню взаємодії наночастинок з живим організмом. Наночастинки срібла та золота стають активними каталізаторами хімічних реакцій, а також безпосередньо беруть участь в них. Встановлено, що наночастинок золота та срібла розміром від 5 до 60 нм набувають унікальних оптичних властивостей, міцності та великої площі поверхні, що дозволяє використовувати їх у діагностиці різних захворювань. [9, 40, 71, 80, 86].

За визначенням Балабанова В.І. (2009) **наночастинок** – маленькі часточки розміром 1-100 нм, які ма-

ють специфічні фізичні, хімічні, біологічні, фармакологічні, фармацевтичні та фізико-хімічні властивості різних матеріалів [2]. Отже, будь яка комбінація атомів із структурним радіусом менше 100 нм може розглядатися як наночастинка. Як видно із таблиці 1 багато біологічних об'єктів мають розміри наночастинок, що зумовлює їхню високу біохімічну та фармакологічну активність, здатність впливати на обмін речовин в організмі людини [27].

Для медицини та біології нанорозмірні об'єкти повинні мати розмір до 1 мкм (1000 нм), тому зазначене поняття у цій галузі дещо менш суворе, ніж у фізиці або хімії. Важливо, щоб наноб'єкт міг проходити крізь пори капілярів розміром 100-200 нм [1]. На думку деяких авторів використання наноб'єктів, розміром 500

та 1000 нм більш доцільне, оскільки такі переносники лікарської речовини не зможуть проникнути крізь ендотеліальні клітини капілярів нормальної тканини, але легко долають ендотелій магінізованої [35, 65]. Більшість існуючих нині нанопрепаратів використовуються для цільової доставки лікарських засобів і являють собою комплекс відомої фармакологічної речовини і наночастинок. Такі комплекси використовуються для діагностики з метою більш глибокого проникнення лікарських засобів до патологічного вогнища, а також зменшення дози препаратів [28]. Наночастинки, які застосовуються у медицині, розрізняють в залежності від речовини, типу зв'язку та форми кластерів, що їх утворюють (рис. 1).

Табл. 1.  
Розмір біологічних зразків та технологічно створених нанопродуктів

Найменування об'єкту		Розмір
Мікрооб'єкти	Пиловий кліщ	200 - 400 мкм
	Діаметр людського волоса	80 - 120 мкм
	Пилок Амброзії полинелистої ( <i>Ambrosia artemisifolia</i> )	17 - 22 мкм
	Еритроцити людини	7,2 - 7,5 мкм
	Лейкоцити людини (лімфоцит)	4,5 - 10 мкм
	Спори гриба <i>Aspergillus fumigatus</i>	2 - 8 мкм
	Бактерія Кишкова паличка ( <i>Escherichia coli</i> )	1 - 3 мкм
	Бактерія Золотистого стафілококу ( <i>Staphylococcus aureus</i> )	0,5 - 1,5 мкм
Наноб'єкти	Вірус ВІЛ	100-120 нм
	Ліпосома	25-200 нм
	Діаметр клітинного ядра	25-200 нм
	Молекула ДНК/РНК	2 - 10 нм
	Пептид	≈ 1 нм
	Наночастинки золота	1 - 100 нм
	Наночастинки срібла	5 - 50 нм
	Діаметр пори клітинної мембрани	0,4 - 4,0 нм
	Діаметр нанотрубки	0,7-100 нм
	Фулерен C <sub>60</sub>	0,7 нм
	Молекула гемоглобіну	0,4 нм
	Молекула води	0,3 нм
	Молекула вуглецю	0,1 нм

**Ліпосоми** складаються з одно- або двошарової ліпідної оболонки, яку отримують із природних нетоксичних фосфоліпідів і холестерину та рідкого фармацевтичного інгредієнту або лікарської речовини. Оптимальний розмір ліпосом від 100 нм до 500 нм [16]. Серед їх переваг можна відзначити високу механічну стійкість ліпідної оболонки, здатність переносити лікарські речовини до уражених органів, високу біоспівідність та здатність до біодеградації. Недоліком ліпосом для застосування у медицині є їхня нестій-

кість та нетривале перебування у кров'яному руслі внаслідок захоплення макрофагами і виведення із організму [3, 31].

Для запобігання фагоцитозу ліпосоми вкривають поліетиленгліколем, що значно збільшує термін перебування їх в організмі. На поверхню ліпосоми можуть бути нанесені ліганди для клітин-мішеней, що дозволяє їй прикріплюватися та накопичуватися у середовищі патологічного процесу [15].

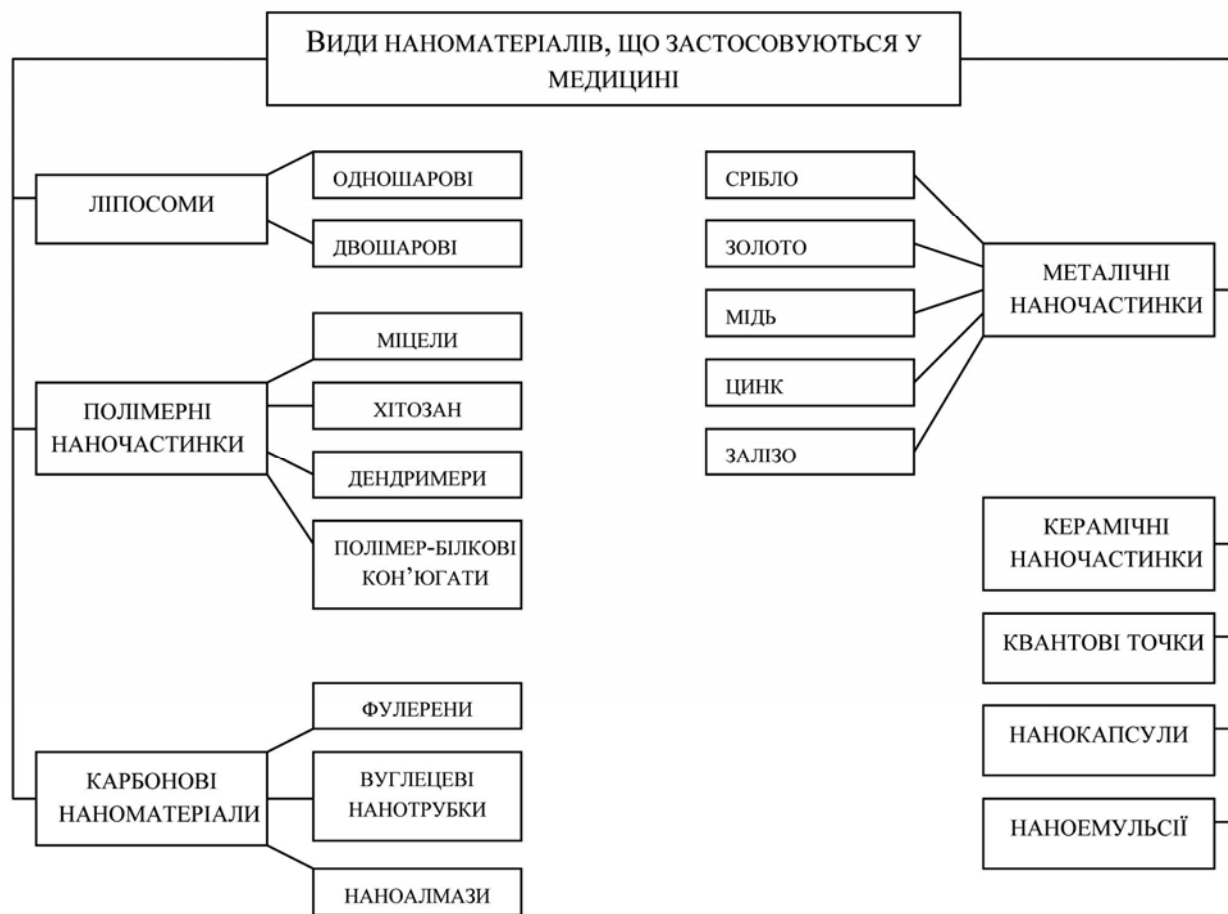


Рис 1. Наночастинки, які застосовуються в біології та медицині.

Відомі дослідження з розробки та використання ліпосомальних форм цитостатиків в онкології [11].

**Полімерні наночастинки** – найбільш широкий та досліджений клас наноматеріалів, до складу якого входять природні біополімери і синтетичні наночастинки. Полімерні міцели – сферичні колоїдні частинки з гідрофобним ядром та гідрофільною оболонкою. Фармакологічна речовина може знаходитися як в середині ядра так і приєднуватись до поверхні міцели. Як і ліпосоми, міцели можуть нести на своїй поверхні ліганди (наприклад, до клітин пухлини). Переваги інкапсуляції активних речовин в полімерну матрицю забезпечують їм захист від навколишнього середовища або умов обробки та їх контрольоване вивільнення [52]. Полімерні сполуки з невеликими молекулами, пептидами, протеїнами або полінуклеотидами широко використовуються для покращення терапевтичних властивостей лікарських речовин. На теперішній час створені комплекси міцел з естрадіолом, індометацином, амфотерицином, циклоспорином, ібупрофеном та інш. [15, 35]. Сполучення полімерів із наркотичними речовинами може подовжити період напіврозпаду, підвищити стабільність та розчинність, знизити імуногенність та антигенність їх в тканинах і клітинах. Найбільш дослідженими на даний момент полімерами є N-(2-гідроксипропіл) метакриламід сополімер (HPMA), поліглутамінова кислота (PGA) та поліетиленгліколь (ПЕГ). Зокрема ПЕГ, завдяки його розчинності, багатифункціональності, низькій токсичності, імуногенно-

сті та антигенності часто використовують для кон'югації з білком [79]. Проводилися дослідження по використанню полі – (L-глутамінової кислоти)-паклітакселу (PG-TXL) в якості «нанокур'єра» для цільової доставки ліків. Результати ранніх доклінічних досліджень новостворених полімеркон'югатів, в якості нового класу протипухлинних препаратів, продемонстрували ряд переваг у порівнянні із звичайними ліками - зменшення побічних ефектів, підвищення терапевтичної ефективності, простота введення препарату та краще сприймання пацієнтом [43].

В останні роки все більший інтерес представляє використання **хітозану** для інкапсуляції активних компонентів, що зумовлене його біосумісністю, відсутністю токсичності та здатності до біологічного розпаду [52]. Групою вчених розроблено нові наносистеми переносу мРНК, що складаються із біосумісних полімерів глікольхітозана (GC) та позитивно заряджених полімерів поліетиленіміна (PEI). В поєднанні із 5β-solanic кислоту шляхом самоорганізації формувалися наночастинки GC-PEI. Результати досліджень показали, що ці комплекси перспективні в якості стабільних та ефективних нанорозмірних систем доставки для лікування пухлин [54]. Хітозан використовувався для досягнення високої концентрації в тканинах пухлини та подолання побічних ефектів в якості носія протипухлинного препарату паклітаксел [74]. Також досліджувалася можливість використання підготовлених сферичних наночастинок хітозану в якості систем

для доставки очних ліків. Наночастинки хітозан/сульфобутилетер- $\beta$ -циклодекстрина в сполученні з еконазолнітратом показали ефективну протигрибкову дію та виявилися найбільш перспективними носіями для контрольованої доставки ліків до ока [63]

**Дендримери** - це новий клас полімерних наноматеріалів. Вони представляють собою макромолекули, що мають широко розгалужену 3D структуру, яка забезпечує високий ступінь функціональності поверхні та універсальність [66]. Дендритні молекули мають багато розгалужень (міцели), що дозволяє включення до них наночастинок та частинок металів. Існує велика кількість цих фрактальних конструкцій, розчинність яких залежить від модифікації поверхні. Відомо більш ніж 160 різноманітних полімерів, що мають дендритну структуру [34]. Високорозчинні нейтральні дендримери застосовуються як засоби візуалізації при проведенні МРТ, доставки радіоактивних ізотопів та ліків [67]. Дослідження показали, що сполуки дендримерів поліамідоаміну (PAMAM) з рибофлавіном здатні долати клітинну мембрану та поглинатися клітинами пухлини. Поєднання комплексу «дендример-рибофлавін» із метотрексатом значно пригнічує ріст клітин [76]. Для лікування новоутворень нанокомпозити радіоактивних дендримерів можуть бути доставлені безпосередньо до пухлини, вивільнюючи розчин наночастинок у мікросудини [34]. Дендримери використовують в якості носіїв для генів, нуклеїнових кислот, біологічно-активних молекул та пептидів і білків, спрямованих на модуляцію клітинних функцій *in vitro* та *in vivo* [68].

Не відкидаючи роль інших наночастинок, слід відзначити, що бурхливий розвиток нанотехнології набули із відкриттям наноструктур вуглецю – фулеренів, нанотрубок та нанодіамантів [21].

Згідно рекомендації IUPAC (Міжнародна спілка теоретичної та прикладної хімії), **фулерени** визначають як замкнені сферичні багатогранники, цілком побудовані з трічі координованих атомів вуглецю, що мають 12 пентагональних та  $n$  гексагональних граней, де  $n > 20$ . В назві фулеренів враховується число атомів вуглецю в молекулі, при цьому найбільш стабільним є фулерени, що відповідають правилу ізольованих пентагонів. В такій молекулі кожен пентагон оточений п'ятьма гексагонами. Першим стабільним та найбільш дослідженим фулереном є  $C_{60}$ , другим –  $C_{70}$ , всі наступні фулерени мають хоча б один ізомер, що відповідає правилу ізольованих пентагонів [25]. Завдяки високій електронегативності  $C_{60}$  здатен приєднувати до себе радикали різної хімічної природи та утворювати широкий клас хімічних сполук на основі фулерену [32]. Молекули фулерену відповідають основним вимогам для створення лікарських засобів: малотоксичні, здатні долати мембрану клітини, не ушкоджуючи її, мають всередині порожнину, в яку можна помістити атоми металів (ендоедральні фулерени) або радіоактивні частинки та ін. Ендоедральні фулеренові комплекси можуть бути застосовані в якості рентген-контрастного засобу. На сьогодні проводяться доклінічні дослідження лікарських засобів на основі фулеренових наносфер модифікованих хімічними групами для зв'язування з визначеними біологічними мішенями.

Фулерени та їх похідні мають біологічну активність, проявляючи анти- або прооксидантні властивості в залежності від субстрату та умов оточуючого се-

редовища [20], і вважаються перспективними в якості потенційних носіїв ліків та радіоактивних міток [29, 37]. Під дією ультрафіолету молекула фулерену збуджується та стає здатною утворювати радикали або передавати свою енергію молекулярному кисню, переводячи його у синглетний стан. Всі ці активні форми речовини можуть атакувати біомолекули: ліпіди, білки, нуклеїнові кислоти, призводячи до окислення нуклеотидів та руйнування ДНК. Ці властивості фулеренів використовуються для фотодинамічної терапії, що є одним із засобів лікування раку [4]. Після введення фулеренів або похідних в кров, відбувається їх накопичення в пухлині. Спрямоване опромінення призводить до збудження молекул фотосенсибілізатора та генерації активних форм кисню, що викликає апоптоз ракових клітин та руйнування пухлини. Також є дані, що нітроксидні метанофулерени в комбінації з циклофосфамідом мають протипухлинну дію при лейкемії [49].

**Вуглецеві нанотрубки (ВНТ)** - мультифункціональні матеріали, які активно досліджуються у зв'язку з їх унікальними фізико-хімічними властивостями [84]. Вони існують у різноманітних формах та можуть бути хімічно модифіковані функціональними групами біомолекул. ВНТ мають унікальні механічні, електро- та теплопровідні властивості та широко використовуються у різних галузях. Здатність ВНТ долати біологічні мембрани та проникати через гематоенцефалічний бар'єр є підґрунтям для проведення досліджень з використання їх в якості носіїв для адресної доставки ліків. Одношарові ВНТ (ОШНТ) представляють собою безшовну одномірну циліндричну трубку діаметром 0,8-2 нм та довжиною до кількох мікрометрів, які складаються з молекул вуглецю, об'єднаних в гексагони [36]. Багатшарові вуглецеві нанотрубки (БШНТ) можна представити у вигляді концентричних шарів графену діаметром 2-100 нм. Довжина нанотрубок може коливатися від сотні нанометрів до десятка мікрон [38]. Завдяки здатності до підвищення клітинної адгезії, зумовленою великою шорсткою поверхнею і гнучкістю, ВНТ є перспективними для використання в галузі тканинної інженерії для регенерації тканин [83].

Групою вчених [64] розроблено методи, що є підґрунтям нової стратегії для функціоналізації нанотрубок. ОШНТ були функціоналізовані з ліпідами та природними амінокислотами в комплексі з мРНК. При введенні цього комплексу мишам відбувалося пригнічення ендогенного гену аполіпропротеїну В (АроВ) в печінці та плазмі крові, та зниження загального холестерину плазми. Ці результати свідчать, що нанотрубки можуть бути функціоналізовані для системної доставки мРНК та інших препаратів. Завдяки великій площі поверхні ВНТ можуть доставити більшу кількість терапевтичних агентів, в тому числі ДНК та РНК, до уражених органів та тканин. Крім того, завдяки унікальним оптичним та електричним властивостям, ВНТ здатні доставляти ДНК/мРНК не лише в клітини імунної системи, але й забезпечують контрольоване вивільнення ДНК/мРНК при генній терапії [42].

Зовнішня оболонка ВНТ може бути функціоналізована для спрямованої доставки ліків та візуалізації. Проте існує проблема отримання чистих ВНТ, вільних від металічних каталізаторів (залізо, нікель, кобальт, ітрій) або аморфного вуглецю [56].

**Нанодіаманти** (НД) складаються з флуоресцентних вуглецевих наночастинок. Спочатку вони були розроблені для обробки промислових об'єктів, але потім завдяки фотостабільності та відсутності флуоресцентного відсвічування стало можливим спостереження НД у живих клітинах. Вченими проведено ряд досліджень з кон'югації НД із білками (декстрин, бичачий сироватковий альбумін) та цукрами. У цій роботі була доказана стабільність та нетоксичність цих наночастинок та можливість використання їх для доставки малих доз препаратів до тканин. Модифіковані НД активно зв'язують різні лікарські препарати, здатні проникати до клітин-мішеней, таких як мікроорганізми, клітини імунної системи або ракові клітини, та передавати лікарський препарат безпосередньо у клітину. Завдяки високій сорбційній здатності нанодіаманти можуть використовуватися в медицині як ентеросорбенти для виведення небажаних та токсичних сполук [73].

Є дані про використання НД в якості носія для протипухлинного препарату доксорубіцина, який широко використовується для хіміотерапії. Дослідження проводили *in vitro* на клітинах людської колоректальної карциноми та макрофагах щурів. Доксорубіцин адсорбували на групах діамантів та транспортували до клітин карциноми. Досягнувши ракової клітини групи нанодіамантів розпадалися на окремі одиниці та доставляли препарат точно за призначенням. При цьому вивчення експресії генів, пов'язаних із запальним процесом та відповідальних за апоптоз не виявило ніякої токсичності, запалення або смерті клітини, що демонструвало відсутність негативної побічної дії НД [85].

В медичній практиці широко застосовують наночастинок чистих металів та оксидів. Важливою властивістю наночастинок металів при введенні в організм є їх пролонгована дія та низька токсичність у порівнянні із солями відповідних металів [6].

На теперешній час велика увага приділяється вивченню механізмів та перспективам застосування **наночастинок срібла**. Бактерицидні властивості срібла відомі давно. Вчені встановили, що наночастинок срібла мають бактерицидну дію, до того ж чим менше частинки, тим цей ефект більший. [69]. Антибактеріальна активність наносрібла визначається хемосорбованими іонами, які утворюються на поверхні частинок внаслідок великої чутливості срібла до кисню. Завдяки великій поверхні та високій реактивності, металічне наносрібло здатне виявляти унікальні фізичні, хімічні та біологічні властивості. Наночастинок срібла є перспективним антибактеріальним матеріалом, який застосовується у стоматології, гнійній хірургії, травматології, дерматології та для лікування гострих респіраторних захворювань [12]. Вивчення токсичності наносрібла в експерименті *in vivo* показало, що воно впливає на експресію гена казеїнкінази-1ε та циркадіанного гена *Per2*. Це може порушувати метаболізм у клітинах шляхом впливу наночастинок срібла на експресію протеїнкіназ, які контролюють важливі метаболічні процеси в організмі [33].

Окрім наносрібла широкого застосування у медицині набули **наночастинок золота**. В основному препарати, що містять нанозолото використовуються для лікування синовітів при ревматоїдному артриті. Ведуться розробки по створенню протипухлинних

препаратів на основі наночастинок золота. За повідомленням De Jong W.H., Borm P.J., 2008 наночастинок золота здатні виявляти токсичність відносно ракових клітин після активації лазерним випромінюванням [45]. Нанозолото може використовуватися для фототермальної терапії та в галузі генної інженерії для доставки генів [15, 82].

Як речовини, що мають бактерицидні властивості знайшли своє застосування в медицині та біології наночастинок міді. Російськими вченими створено препарат для покриття поверхні рани на основі тканин та нетканних матеріалів, який містить наночастинок міді. [17]. Наявність наночастинок у такому покритті забезпечує більш високу активність металу, а спосіб нанесення цих наночастинок (магнетронне напылення) забезпечує стерильність. Антибактеріальні властивості міді також використовуються для антисептичної обробки тканин матеріалів медичного призначення та знезараження питної води [18, 19].

Основними властивостями, завдяки яким **наночастинок оксиду цинку** (ZnO) набули широкого поширення, є бактеріальна та фотокаталітична дія. Фотокаталітична активність частинок ZnO полягає в тому, що під дією світла вони здатні захоплювати електрони сусідніх молекул. Якщо наночастинок знаходяться у водному середовищі, то цей процес веде до утворення активних форм кисню, переважно гідроксилрадикалів [77, 78]. Це зумовлює антисептичні властивості та може бути використано для спрямованої модифікації поверхні наночастинок. Групою зарубіжних вчених показано, що наночастинок ZnO демонструють сильну селективну здатність вбивати ракові клітини шляхом активації Т-клітин та генерації активних форм кисню. Крім того ZnO здатен індукувати апоптоз та регулювати окислювально-відновлювальні реакції у клітинах [51].

Відомо, що цинк має потужну протекторну дію при алкогольній інтоксикації. Групою вчених встановлено, що при підшкірному введенні білим щурам **наночастинок цинку** в дозі 0,05-100 мг/кг стимулюються обмінні процеси, підсилюється ферментативне окислення продуктів ПОЛ, знижується летальність та зменшується коефіцієнт добровільного вживання етанолу при алкогольній інтоксикації [6]. Таким чином, було показано, що створення в організмі депо високодисперсного порошку цинку (наночастинок розміром 40-100 нм), що забезпечує поступове надходження мікроелементу в організм в дозах близьких до фізіологічних, може сприяти регуляції обмінних процесів та позбавленню від етанолової залежності [14].

**Наночастинок оксиду заліза** завдяки своїм магнітним властивостям та токсичності для деяких клітин ракових пухлин мозку можуть стати інструментом як для візуалізації, так і для лікування цих новоутворень. Групою зарубіжних вчених розроблено наночастинок оксиду заліза діаметром 10 нм, що вкриті полімером та біокон'юговані із антитілами проти молекул геліобластоми. Було показано, що ці наночастинок зв'язуються з клітинами гліобластоми людини та вбивають їх, не виявляючи при цьому токсичності по відношенню до здорових астроцитів [50]. Нанооксид заліза також використовують в якості магніторезонансних контрастних речовин (МРКР) при проведенні МРТ завдяки його парамагнітним та супрамагнітним властивостям. МРТ у поєднанні із залізовмісними МРКР

забезпечують отримання цінної діагностичної інформації при злоякісних пухлинах та метастазах у печінці, кістковому мозку, а також при наявності гемангіом, кіст, вузлових гіперплазій. Наночастинки заліза ультрамалого розміру (20 нм) використовуються для МР-ангіографії у людини. Стала можливою візуалізація аорти, нижньої порожнистої та воротної вен, коронарної, центральної, сегментарних та субсегментарних артерій. Наночастинки супрамагнітного оксиду заліза допомагають виявляти ішемічні ураження головного мозку на ранніх стадіях, ділянки ішемії міокарду, оцінювати функцію нирок та їх гемодінаміку. [32]

**Керамічні наночастинки** представляють собою неорганічні пористі матриці, що мають кремнієве ядро та зовнішню оболонку, сформовану атомами металу, наприклад титану чи алюмінію. Вони використовуються для створення лікарських засобів і фармацевтичних транспортних систем [10]. Використання металів або вуглецю дозволяє створювати переносники лікарських речовин, які мають унікальні властивості – активність та звільнення терапевтичного агента може бути модульована термічним впливом (інфрачервоним випромінювання), а також зміною магнітного поля [10]. Групою вчених створено систему з наноканул, які мають кальцієве ядро, вкрите полімерами та внутрішню порожнину, що містить інсулін. Така наносистема в експерименті *in vivo* виявилася більш ефективною ніж звичайне підшкірне введення інсуліну [41]. Перспективними є дослідження по використанню керамічних наночастинок для створення ортопедичних та стоматологічних біоматеріалів [59].

Проте, існують дані, що керамічні наночастинки здатні акумулюватися в організмі, що може призводити до небажаних наслідків [29].

Зменшення сфероїдальних частинок до нанометрових розмірів призводить до появи так званих «квантових розмірних ефектів». Це призводить до утворення «квантових точок», «квантових кристалітів» та інших об'єктів із нульовою розмірністю [8]. **Квантові точки (КТ)** представляють собою напівпровідникові нанокристали, які характеризуються фотостабільністю, постійною довжиною оптичної хвилі та високою здатністю до поглинання світла. Отримують їх з вуглецю, металів (Cu, Au, Ag, Ni, Pb) і бінарних сплавів, з атомів елементарних (Si, Ge) та бінарних напівпровідникових сполук (GaAs, GaN, WS<sub>2</sub>, MoS<sub>2</sub>, Ag<sub>2</sub>S), оксидів (TiO<sub>2</sub>, ZnO, SiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, MnO<sub>2</sub>, V<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), нітритів бару, алюмінію, силіцію, германію, електропровідних полімерів, нуклеотидів [29]. Унікальні фізичні властивості КТ надають можливість використання їх в якості флуоресцентних міток для біомолекул. Основним застосуванням цих наночастинок є діагностика пухлин, візуалізація клітинних органел та виявлення деяких білків. Завдяки високій фотостабільності потенційною сферою використання КТ є ангіографія [58]. Типові КТ мають розмір 2-8 нм і, як правило, складаються із напівпровідникового ядра та оболонки [81]. Вони можуть бути кон'юговані з антитілами, олигонуклеотидами або вкриті стрептавідином. Все це дозволяє спрямувати КТ до цілі аналіта або використовувати їх як флуоресцентні мітки. Вченими були розроблені кон'югати КТ з різними пептидами для виявлення клітин карциноми молочної та раку передміхурової залози [62].

**Наноканули (колодоїсоми)** – молекулярні контейнери сферичної форми, що складаються із полімерної, ліпідної або будь якої іншої оболонки та мають достатньо велику внутрішню порожнину для розміщення у ній молекул відповідного розміру або форми [72]. Наноканули застосовують для контрольованого введення інкапсульованих біологічно активних речовин: лікарських препаратів (в тому числі нерозчинних в воді або нестабільних), пептидів та білків (що мають функції гормонів та цитокінів), а також генетичних конструкцій, що несуть гени ферментів, гормонів, цитокінів [5, 75]. Наноканули мають бути хімічно стабільні, біоактивні, біосумісні з організмом, захищати капсульовану речовину від небажаної дії, наприклад передчасного розчинення. Модифікація оболонки наноканул специфічними антигенами, рецепторами або лігандами спрямована на здатність реагувати на зміни навколишнього середовища (наприклад рН), що дає можливість створення молекулярних контейнерів для доставки та контрольованого вивільнення ліків [60, 61]. Застосування наноканул з великою кількістю пор на поверхні в якості переносників протиракових препаратів в орган, де розвивається злоякісна пухлина, дозволяє значно зменшити побічні ефекти при фармакотерапії злоякісних новоутворень [29].

**Наноемульсії** представляють собою рівномірно розподілені нанокраплинки однієї рідини в іншій, що не змішуються між собою [47]. Наноемульсії можна отримати двома способами: конденсаційним – формування краплинок потрібного розміру з центрів каплеутворення, та диспергаційним – дробленням порівняно великих краплинок до нанорозмірних. Наноемульсії створюють з метою покращення ефективності та безпеки застосування різних лікарських засобів. Дослідницькими групами із Національного Інституту Раку (National Cancer Institute, США) та Північно-Західного Університету (Northeastern University, США) під керівництвом професора Мансура Аміджі (Mansoor Amiji) досліджено терапевтичний ефект наноемульсії, яка складається із речовин рослинного походження - паклітакселу і куркуміну та інгібує ракові процеси в клітинах. В експериментах *in vitro* на культурах ракових клітин наноемульсія проявляла супресуючу дію та призводила до апоптозу ракових клітин [53].

Швидкий розвиток нанотехнологічної отрасли привів до значного збільшення кількості різноманітних наноматеріалів, що відрізняються між собою як за хімічним складом, так і за формою, розміром, модифікацією поверхні. Отже завданнями наномедицини на сьогодні є:

1. Створення окремих наночастинок та наносистем (неорганічні та органічні сполуки, біологічно сумісні полімерні структури) для транспортування та векторної доставки лікарських речовин.
2. Створення нового класу флуоресцентних міток для біомолекул з метою більш точної візуалізації та діагностики різних захворювань.
3. Розробка сучасних методів впливу на уражені органи без негативної дії на інші органи і системи організму, що значно підвищує якість лікування та діагностики.

4. Розробка нанобіотехнологій для створення біологічно сумісних імплантатів та трансплантатів (заміщення уражених тканин, кісток, сухожиль).

5. Досліджень токсикологічного впливу наноматеріалів на організм людини, встановлення усіх аспектів їх взаємодії із зовнішнім середовищем.

Наведені дані свідчать про широке впровадження результатів досліджень з нанонауки в галузі медицини та фармакології. Розробки вітчизняних та зарубіжних вчених показують, що наноматеріали, навіть у невисоких дозах, здатні проявляти біологічну активність та впливати на життєдіяльність клітин.

В останні роки спостерігається чітка тенденція до збільшення публікацій наукових робіт з нанотехнологій. Проте отримані результати вказують на недостатнє вивчення функцій, властивостей та впливу наноматеріалів на організм при імунopatологічних станах. Це уповільнює розробку та впровадження нових лікарських препаратів спрямованої дії в практичній медицині.

### Література

1. Артамонова Н.О., Масіч О.В., Павліченко Ю.В. Нанотехнології в медицині та онкології // Український радіологічний журнал. – 2010. – №18. – С. 102-111.
2. Балабанов В.И. Нанотехнологии. Наука будущего. – М.: Эксмо, 2009. – 220 с.
3. Барсуков Л.И. Липосомы // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – №10. – С. 2-9.
4. Боздаганян М.Е. Фуллерены и перспективы их применения в биологии и медицине [Электронный ресурс] / М.Е. Боздаганян // Росийский электронный журнал. – 2009. – Режим доступа к журн. [http://www.nanorf.ru/events.aspx?cat\\_id=223&d\\_no=1514](http://www.nanorf.ru/events.aspx?cat_id=223&d_no=1514).
5. Глик Б., Пастернак Дж. Молекулярная биотехнология: Принципы и применение. — М.: Мир, 2002. — 589 с.
6. Глущенко Н.Н., Скальный А.В. Токсичность наночастиц цинка и его биологические свойства // Актуальные проблемы тарнспортной медицины. – 2010. – №3(21). – С118-120.
7. Головин Ю.И. Введение в нанотехнику. – М.: Машиностроение, 2007 – 496 с.
8. Губин С.П., Кокшаров Ю.А, Хомутов Г.Б. и др. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства // Успехи химии. – 2005. – №74(6). – С. 539–574.
9. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. 2-е изд., испр. – М.: Физматлит, 2007. – 416 с.
10. Дмитриева Е.Г. Наночастицы в медицине и фармацевтике // Сборник научных трудов "Фундаментальные науки и практика" с материалами Третьей Международной Телеконференции "Проблемы и перспективы современной медицины, биологии и экологии" - Том 1. - № 4. - Томск – 2010.
11. Дудниченко А. С., Краснопольский Ю. М., Швец В. И. Липосомальные лекарственные препараты в эксперименте и клинике. – Х.: Каравелла. — 2001. – 143 с.
12. Коненков В.И., Бурмистров В.А., Рачковская Л.Н. и др. // Rusnanitech. Международный форум по нанотехнологиям. 3-5.12.08. Стенд. докл. 10. Нанотехнол. в мед.
13. Мовчан Б.А. Электронно-лучевая гибридная нанотехнология осаждения неорганических материалов в вакууме. В кн.: И.К. Походня, В.З. Туркевич, В.М. Ажажа (ред.). Актуальные проблемы современного материаловедения. К.: Академперіодика, 2008. – Т.1. – С. 227-247.
14. Некрасов В.И., Скальный А.В. Элементарный статус лиц вредных и опасных профессий. – Оренбург: РИК ОГУ, 2006. – 230 с.
15. Пасечников Н.В., Мальцев Э.В., Мороз О.А. Нанотехнологии, наномедицина, офтальмология (сообщение 2) // Офтальмологический журнал. – 2009. – № 6. – С. 83-89.
16. Пат. 2216315 Франция, ; № FR 91/01203. Спроб получения липосом / Грегориадис Г., Зади Б., Джайасекера П.Н.; заявитель и патентообладатель Грегориадис Грегори - №112 16.06.1999 ; заявл. 11.06.1998; опубл. 17.12.1998; приор. 11.06.1998 (Франция).
17. Пат. 2314834 Российская Федерация, МПК А61L15/18, А61L15/44, А61P17/02, А61F13/00 Раневое покрытие / Добыш С.В., Волков А.А.; заявитель и патентообладатель Добыш С.В., Волков А.А. – № 2006124606/15; заявл. 10.07.06 ; опубл. 20.01.08.
18. Пат. 2422377 Российская Федерация, МПК C02F1/50, A01N25/00, B22F9/19 Биоцидный концентрат / Голубев В.Н. Коленкор И.А., Слепцов В.В., Тягинский А.Ю., Церулев М.В., Шмидт В.И.; заявитель и патентообладатель Слепцов В.В. – № 2009126984/07; заявл. 15.07.09 ; опубл. 20.01.11.
19. Пат. 2431656 Российская Федерация, МПК C11D9/18, C11D9/22, C11D9/50 Мыло туалетное с антимикробными свойствами / Беклемышев В.И., Махони И.И., Мауджери У.О.Д., Абрамян А.А., Солодвников В.А., Филиппов К.В., Афанасьев М.М.; заявитель и патентообладатель ЗАО «Институт прикладной нанотехнологии», Фонд Сальваторе Мауджери Клиника Труда и Реабилитации, СИБ Лэборетрис Лимитед. – № 2010115401/04; заявл. 20.04.10 ; опубл. 20.10.11
20. Пиотровский Л.Б. Фуллерены в дизайне лекарственных веществ // Российские нанотехнологии. – 2007. – Т. 2, № 7-8. – С. 6-18.
21. Пиотровский Л.Б., Еропкин М.Ю., Еропкина Е.М. и др. Механизмы биологического действия фуллеренов – зависимость от агрегатного состояния // Психофармакол. биол. наркол. – 2007. – Т. 7, № 2. – С. 1548-1554.
22. Пул Ч.П., Оуэнс Ф.Дж Нанотехнологии. 2-е доп. – М.: Техносфера, 2006 – 256 с.
23. Розенфельд Л.Г., Москаленко В.Ф., Чекман И.С. и др. Нанотехнологии, наномедицина: перспективы научных исследований та впровадження їх результатів у медичну практику // Український медичний часопис. – 2008. – 5(67) – С. 63-68.
24. Фейнман Р.Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики. // Рос. хим. журн. – 2002. – №46(5). – С. 4-9.
25. Химия фуллеренов [Электрон. ресурс] / Л.Н. Сидоров, Ю.А. Макеев // Соросовский образовательный журнал – 2000. – Режим доступа до журн. <http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/993.html>
26. Чекман И.С. Нанонаука: історичний аспект, перспективи досліджень // Укр. мед. часопис. – 2009. – №3(71). – С. 19-21.
27. Чекман И.С. Наночастилки: властивості та перспективи застосування / Укр. біохім. журн. – 2009. – Т.1. - № 1. – С.122-129.
28. Чекман И.С. Фармакологічні та фармацевтичні основи нанопрепаратів // Лікарська справа. – 2010. – №.1-2. – С. 3-9.
29. Чекман И.С., Горчакова Н.О., Озейчук О.Ю. Наноматеріали і наночастилки: класифікація // Науковий вісник національного медичного університету ім. О.О. Богомольця. – 2009. – № 2. – С. 188-201.
30. Чекман И.С., Горчакова Н.О., Охотнікова О.М., Яковлева Н.Ю. Нанотехнології в педіатричній практиці: стан, перспективи досліджень // Укр. мед. часопис. – 2010. – №6(80). – С.47-50.
31. Чекман И.С., Прискока О.А., Нанотехнології у розробці систем доставки лікарських засобів // Український медичний часопис. – 2010. – №1(75) – С. 14-18 .
32. Шимановский Н.Л. Нанотехнологии в современной фармакологии // Клиническая фармакология. – 2009. – № 1. – С. 131-135.
33. Яворовський О.П., Мінченко О.Г., Мінченко Д.О. и др. Експресія казеїнкінази-1ε та Per2 у печінці, легенях, нирках, сім'яниках та міокарді при дії на організм шурів наночастинок срібла // Журн. АМН «України» – 2010. – т. 16, № 1. – С. 160-167.
34. Balogh L., Bielinska A., Eichman J. D. et al. Dendrimer nanocomposites in medicine // Chimica Oggi. – 2002. – Vol. 20. – P. 35-40.
35. Bawarski W.E., Parm D., Chidlovsky E. et al. Emerging nanopharmaceuticals // Nanotechnology: Nanotechnology, Biology, and Medicine. – 2008. – Vol. 4. – P. 273-282.
36. Borrelli I. Nanotubes and occupational medicine // G Ital Med Lav Ergon. – 2007. – Vol. 29. – P. 851-852.

37. Bosi S., Da Ros T., Spalluto G. et al. Fullerene derivatives: an attractive tool for biological applications // *Eur. J. Med Chem.* – 2003. – Vol. 286. – P. 344-353.
38. Carbon Nanotubes in Regenerative Medicine [Электронный ресурс] / Paratala B.S., Sithareman B. // *Carbon Nanotubes for Biomedical Applications, Carbon Nanostructures.* – 2011. – P. 27-40. — Режим доступа до журн. : DOI: 10.1007/978-3-642-14802-6\_2, [springer.com/cda/content/document/cda\\_...?SGWID...](http://springer.com/cda/content/document/cda_...?SGWID...)
39. Caruthers S.D., Wickline S.A., Lanza G.M. Nanotechnological applications in medicine. // *Curr. Opin. Biotechnol.* – 2007. – Vol. 18(1). – P. 26-30.
40. Chan T.L., Tiago M.L., Kaxiras E. et al. Size limits on doping phosphorus into silicon nanocrystals // *Nano Lett.*, – 2008. – Vol. 8(2). – P. 596-600.
41. Cherian A.K., Rana A.C., Jain S.K. Self-assembled carbohydrate-stabilized ceramic nanoparticles for the perenteral delivery of insulin // *Drug. Dev. Ind. Pharm.* – 2000. – Vol. 26. – P. 459-463.
42. Cheunga W., Pontorieroa F., Taratula O. et al. DNA and carbon nanotubes as medicine // *Advanced Drug Delivery Reviews.* – 2010. – Vol. 62. – P. 633-649.
43. Chun Li., Wallacea S. Polymer-drug conjugates: Recent development in clinical oncology // *Advanced Drug Delivery Reviews.* – 2008. – Vol. 60. – P. 886-898.
44. Danov K.D., Kralchevsky P.A., Boneva M.P. Electroding force acting on solid particles at a fluid interface // *Langmuir.* – 2004. – Vol. 20(15) – P. 6139-6151.
45. De Jong W.H., Borm P.J. Drug delivery and nanoparticles: applications and hazards // *Intern. J. Nanomedicine.* – 2008. – Vol. 3, № 2. – P. 133-149.
46. Diegoli S., Manciuola A.L., Begum S. et al. Interaction between manufactured gold nanoparticles and naturally occurring organic macromolecules // *Sci. Total Environ.* – 2008. – Vol. 402 (1). – P. 51-61.
47. Ejjkel J., van den Berg A. Nanofluidics: what is it and what can we expect from it? // *Microfluid Nanofluid.* - 2005. – Vol.1. – P. 249-267.
48. Elder J.B., Liu C.Y., Apuzzo M.L. Neurosurgery in the realm of 10<sup>-9</sup>, Part 2: applications of nanotechnology to neurosurgery – present and future // *Neurosurgery.* – 2008. – Vol. 62 (2). – P. 269-284.
49. Gubskaya V.P., Bereshnay L.Sh., Gubaidillin A.T. et al. Synthesis, structure and biological activity of nitroxid malonat methanofullerenes // *Org. Biomol. Chem.* – 2007. – Vol. 5. – P. 976-981.
50. Hadjiapanayis C.G., Machaidze R., Kaluzova M., et al. EGFRVIII Antibody-Conjugated Iron Oxide Nanoparticles for Magnetic Resonance Imaging-Guided Convection-Enhanced Delivery and Targeted Therapy of Glioblastoma // *Cancer Res.* – 2010. – Vol. 70. – P. 6303-6312.
51. Hanley C., Layne J., Punnoose A. et al. Preferential killing of cancer cells and activated human T cells using ZnO nanoparticles // *Nanotechnology.* – 2008 – Vol.19. – P. 1396-1405.
52. Harris R., Lecumberria E., Mateos-Aparicio I. et al. Chitosan nanoparticles and microspheres for the encapsulation of natural antioxidants extracted from *Ilex paraguariensis* // *Corbogydrat Polymers.* – 2011. – Vol. 84. – P. 803-806.
53. <http://www.nanonewsnet.ru/news/2009/ustoichivye-k-khimioterapii-opukholi-poddayutsya-deistviyu-nanochastits> NanoWeek » 28.04-4.05.2009. №65 » Устойчивые к химиотерапии опухоли поддаются действию наночастиц.
54. Huha M.S., Leea S.Y., Parka S. et al. Tumor-homing glycol chitosan/polyethylenimine nanoparticles for the systemic delivery of siRNA in tumor-bearing mice // *J. Controlled Release.* – 2010. – Vol. 144. – P. 134-143.
55. Jain K.K. Nanotechnology in clinical laboratory diagnostics // *Clin. Chim. Acta.* – 2005. – V. 358. – P. 37-54.
56. Kaiser J., Wick P., Manser P., Spohn P. et al. Single walled carbon nanotubes (SWCNT) affect cell physiology and cell architecture // *J. Mater. Sci. Mater. Med.* – 2008. – Vol. 19(4). – P. 1523-1527.
57. Kralchevsky P.A., Nagayama K. Capillary interactions between particles bound to interfaces, liquid films and biomembranes // *Adv. Colloid Interfaces Sci.* – 2000. – Vol. 85(2-3). – P. 145-192.
58. Larson D.R., Zipfel W.R., Williams R.M. et al. Water-soluble quantum dots for multiphoton fluorescence imaging in vivo // *Science.* – 2003. – Vol. 300. – P. 1434-1436.
59. Liu H, Webster T.J. Mechanical properties of dispersed ceramic nanoparticles in polymer composites for orthopedic applications // *Int J Nanomedicine.* – 2010. – Vol. 15(5). – P. 299-313.
60. Liu X., Liu Y., Li G. R. et al. One-Pot 18 Component Synthesis of an Octahedral Nanocontainer Molecule // *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* - 2006. – Vol. 45. – P. 901-904.
61. Liu X., Warmuth R. Solvent Effects in Thermodynamically Controlled Multi-Component Nanocapsule Syntheses // *J. Am. Chem. Soc.* – 2006. – Vol. 128. – P. 14120 – 14127.
62. Machalet X., Pinaud F.F., Bentolila L.A. et al. Quantum dots for live cells, *in vivo* imaging, and diagnostics // *Science.* – 2005. – Vol. 307. – P. 538-544.
63. Mahmouda A.A., El-Fekya G.S., Rabab K., Chitisan/sulfobutyleter-β-cyclodextrin nanoparticles as a potential approach for ocular drug delivery // *International Journal of Pharmaceutics.* – 2011. – Vol. 413. – P. 229-236.
64. Mc Carroll J., Baigude H., Yang C.S. et al. Nanotubes functionalized with lipids and natural amino dendrimers: a new strategy to create nanomaterials for delivering systemic RNAi // *Bioconjug. Chem.* – 2010. – Vol. 21(1). – P. 56-63.
65. Medina M.H., Correac J.A., Baratad C. Micro-evolution due to pollution: Possible consequences for ecosystem responses to toxic stress // *Chemosphere.* – 2007. – Vol. 67. – P. 2105-2114.
66. Nanjwadea B.K., Bechraa H.M. et al. Dendrimers: Emergin polymers for drug-delivery systems // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* – 2011. – Vol. 83. – P. 360-366.
67. Newkome G.R., Shreiner C.D. Poly(amidoamine), polypropylenimine, and related dendrimers and dendrons possessing different 1→2 branching motifs: An overview of the divergent procedures // *J. Polymer.* – 2008. – Vol. 49. – P. 167-173.
68. Oliveria J.M., Salgado A.J., Soucas N. et al. Dendrimers and derivatives as a potential therapeutic tool in regenerative medicine strategies // *Progress in Polymer Science.* – 2010. – Vol. 35. – P. 1163-1194.
69. Panáček A., Kvítek L., Pucek R. et al. Silver Colloid Nanoparticles: Synthesis, Characterization, and Their Antibacterial Activity // *J. Phys. Chem. B.* – 2006. – Vol. 110, № 33. – P. 16248-16253.
70. Pereira R.S. Atomic force microscopy as a novel pharmacological tool // *Biochem Pharmacol.* - 2001. – № 62(8) – P. 975-983.
71. Pisanic T.R.<sup>2nd</sup>, Blacwell J.D., Shubayev V.I. et al. Nanotoxicity of iron oxide nanoparticle internalization in growing neurons // *Biomaterials.* – 2007. – Vol. 28(16). – P. 12445-12449.
72. Rue N.M., Sun J., Warmuth R. Polyimine Container Molecules and Nanocapsules. // *Isr. J. Chem.* - 2011. – Vol. 51. – P. 743-768.
73. Safronova V.G., Polyashova T.I., Kulakova I.I. et al. Reakction of immune cells on nanodiamonds particles // *Materials of 3<sup>rd</sup> International Symposium "Detonation Nanodiamonds: Technology, Properties and Applications", Saint-Petersburg, Russia, (2008) – C. 121-126.*
74. Sahu S.K., Maiti T.K., Ghosh S.K. et al. Hydrophobically modified carboxymethyl chitosan nanoparticles targeted delivery of paclitaxel // *J Drug Target.* – 2011. – Vol. 19(2). – P. 104-113.
75. Schwarz J. A., Contescu C., Putyera K. Dekker encyclopedia of nanoscience and nanotechnology. – CRC Press, 2004. — 2739 p.
76. Thomas T.P., Choi S.K., Li M.H. et al. Design of riboflavin-presenting PAMAM dendriters as a new nanoplatform for cancer-targeted delivery // *Bioorg Med Chem Lett.* – 2010. – Vol. 20(17). – P. 5191-5194.
77. Thurn K.T., Brown E.M.B., Wu A. et al. Nanoparticles for Applications in Cellular Imaging // *Nanoscale Res. Lett.* – 2007. – Vol. 2. – P. 430-441;
78. Ulah R., Dutta J. Photocatalytic activities of ZnO nanoparticles synthesized by wet chemical techniques // *International Conference on Emerging Technologies.* – 2006. – V. 16. – P. 353-357.



79. Veronesea F.M., Pasuta G. Drug–Polymer Conjugates // Comprehensive Medicinal Chemistry. – 2010. – V. 5. – P. 1043-1068.
80. Wang Z., Tan B., Hussain I. et al. Design of polymeric stabilizers for size-controlled synthesis of monodisperse gold nanoparticles in water // Langmuir. – 2007. – Vol. 23(2). – P. 644-649.
81. West J.L., Halas N.J. Engineered nanomaterials for biophotonics applications: improving sensing, imaging, and therapeutics // Annu Rev Biomed Eng. 2003. – Vol. 5. – P. 285-292.
82. Yang D.P., Cui D.X. Advances and prospects of gold nanorods // Chem. Asian J. – 2008. – Vol. 3(12). – P. 2010-2022.
83. Yildirim E.D., Yin X., Nair K. et al. Fabrication, characterization, and biocompatibility of single-walled carbon nanotube-reinforced alginate composite scaffolds manufactured using freeform fabrication technique // J. Biomed. Mater. Res. Part B Appl. Biomater. – 2008. – Vol. 87(2). – P. 406-414.
84. Zang L., Webster T. Nanotechnology and nanomaterials: promises for improved tissue regeneration // Nano Today. – 2009. – Vol. 4(1). – P. 66-80.
85. Zang XQ., Chow E.K., Chen M. et al. Nanodiamond Therapeutic Delivery Agents Mediate Enhanced Chemoresistant Tumor Treatment // Sci. Transl. Med. – 2011. – Vol. 3. – P. 73.
86. Zavalice F., Zhao T., Zheng H. et al. electrically assisted magnetic recording in multiferroic nanostructures. // Nano Lett. – 2007. – Vol. 7(6). – P. 1586-1590.

### Summary

#### NANOPARTICLES AND PROSPECTS FOR THEIR APPLICATION IN BIOLOGY AND MEDICINE

Mikityuk M.V.

Key words: nanotechnology, nanoparticles and nanosystems, nanomaterials, nanomedicine

Nanotechnology is a set of scientific knowledge, methods and facilities of controlled regulated synthesis from separate atoms and molecules of different substances, materials and items with linear dimension of structure elements up to 100 nm. Based on the accelerated development of nanoscience, as well as on the increase of number and diversity of created nanomaterials, the relevant task of nanomedicine is to examine the possibility of application the nanotechnology developments in medical practice for prevention, diagnostics and treatment of diseases. The review article describes the historical aspect on discovery and classification of nanoparticles, summarizes the data of research literature and provides the author's own research on the application of nanotechnology in medicine and biology. The antiviral, antitumoral, cardiotropic, antioxidant and photodynamic properties of the new nanostructures have been considered. The prospects for the application of nanoparticles in diagnostics, drug delivery and creation of the biocompatible structures have been observed.

Research Institute for Genetic and Immunological Grounds of Pathology and Pharmacogenetics

Higher State Educational Establishment of Ukraine "Ukrainian Medical Stomatological Academy", Poltava

*Матеріал надійшов до редакції 22.11.2011*