

## НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИКЛАДАННЯ НАНОФАРМАКОЛОГІЇ

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця

**Ключові слова:** нанонаука, нанотехнології, наномедицина, нанофармакологія, викладання.

### Вступ

Другу половину XX та початок XXI століть можна без перебільшення назвати значним зростанням інтересу учених світу до досліджень з нанонауки, завдяки розвитку якої інтенсивно розробляються нові нанотехнології отримання наноматеріалів та дослідження їх властивостей [4, 15, 29]. Протягом цих років світ став свідком своєрідного нанотехнологічного вибуху, що сприяв впровадженню у практичну діяльність людини нових приладів, препаратів, методик для діагностики та лікування різних захворювань. Стрімко розвиваються дослідження з вивчення фізичних, хімічних, біологічних, фармакологічних, токсикологічних властивостей нанорозмірних структур. Наноструктуровані матеріали є об'єктом зростаючого інтересу для фундаментальних та прикладних наук [1, 5, 25, 26], оскільки, зі зменшенням характерних розмірів їхніх структурних одиниць до нанорівня вони набувають нових властивостей, що зумовлені квантово-розмірними ефектами і зростаючою роллю поверхневих атомів і взаємодій. Сучасний інтерес до цієї динамічної області нанонауки пов'язаний як з принципово новими фундаментальними науковими проблемами і фізико-хімічними явищами, так і з перспективами створення на їх основі вже відкритих явищ абсолютно нових квантових пристроїв і систем з широкими функціональними можливостями для опто- та наноелектроніки, вимірювальної техніки, інформаційних технологій нового покоління, засобів зв'язку, а також діагностики і лікування різних захворювань [2, 3, 13, 27].

Тому виникає необхідність висвітлення науково-методичних аспектів розвитку різних напрямків нанонауки, нанотехнологій, наномедицини та нанофармакології.

**Мета дослідження.** Узагальнити досвід викладання нанофармакології студентам на кафедрі фармакології та клінічної фармакології.

### Результати та їх обговорення

У робочій програмі з фармакології включені питання з цього напрямку світової науки. Науково методичні основи викладання нанофармакології проводиться у таких аспектах:

1. Висвітлення досягнень учених світу, України та Національного медичного університету з нанонауки, наномедицини й нанофармакології на лекціях і практичних заняттях.
2. Залучення студентів до проведення досліджень з нанофармакології в рамках роботи у науковому студентському гуртку та в якості співвиконавців планової науково-дослідної роботи кафедри.
3. Проведення науково-методичних конференцій студентів та молодих вчених з наномедицини.

1. На лекціях та практичних заняттях.

У вступній лекції з історії лікознавства студентам викладачі розповідають про розвиток (емпіричний і науковий періоди) нанонауки, нанотехнологій, наномедицини та нанофармакології [2, 5, 11, 19, 24, 29]. Народи стародавнього світу отримували матеріали за допомогою нанотехнологій. Прикладами емпіричного періоду застосування нанотехнологій, коли людство про це навіть не здогадувалося є отримання кольорового скла, глиняних та керамічних виробів у Стародавній Греції, Китаї, Римі, Єгипті, Київській Русі.

Ідея мініатюризації, з позицій науково-практичної реалізації, володіла людством з давніх часів. Про це свідчать народні билини, фантастичні літературні твори. Так, відомий англійський письменник Джонатан Свіфт (1667–1745) у повісті «Мандрівка Гулівера» описав маленьких людей – ліліпутів. Відомий російський письменник М.С. Лесков (1831–1895) у повісті «Сказ про тутьського косоного Лівшу і про стальну блоху» описав майстерність Лівши, що зумів підкувати

блону, яку з Англії привіз російський цар Олександр Павлович. Відомим є талант українського майстра М. Сябристого по виготовленню мікропортретів видатних українських письменників, поетів. Польський письменник С. Лем (1921–2006) у романі «Непереможений» описує своєрідну цивілізацію з використанням самоорганізуючих систем, біосенсорів, логічних пристроїв.

Австрійський вчений, фізик-теоретик, один із засновників квантової механіки, лауреат Нобелівської премії з фізики Е. Шредінгер (1887–1961) у лютому 1943 року в столиці Ірландії Дубліні прочитав лекцію на тему: «Що таке життя з позицій фізики». У цій лекції вперше у світі висунув ідею аперіодичного кристалу – мікросистеми великої інформаційної ємності. Яка пізніше була реалізована у розробці сучасних нанотехнологій.

Отримання та застосування колоїдних розчинів відомо з давніх часів. У цих дисперсних системах складові частини мають нанорозміри. Колоїдні розчини є у живій природі, в тому числі і в організмі людини (кров, спинномозкова рідина та ін.). В останні роки розроблені нанотехнології синтезу колоїдних розчинів металів, органічних матеріалів. Також цікаво, що ліпосоми, вже застосовуються більше 40 років, але тільки в останні роки встановлено, що ці структури мають нанорозміри [22].

Значний внесок у розвиток теоретичних досліджень з вивчення властивостей наночастинок зробив американський учений, фізик-теоретик російського походження Г.А. Гамов (1904–1968). Як встановлено Г.А. Гамовим, особлива властивість квантових частинок, в тому числі електронів, проявляється у їх здатності проникати через перешкоду, навіть коли енергія нижче потенційного бар'єру. Якщо для подолання електронем перешкоди необхідна більша енергія, ніж володіє електрон, він не відштовхнеться від перешкоди, а з втратою енергії (подібно хвилі води) подолає цю перешкоду. Відкрите Г.А. Гамовим явище отримало назву «тунельний ефект», або «тунелювання», дозволило пояснити багато фізичних явищ, зокрема, процеси при виділенні частинок з ядра, що стало основою для сучасної атомної науки і техніки, а також для створення тунельного мікроскопу, який сприяв дослідженню частинок нанорозмірів менше 0,5 нм.

У 1932 році на основі цих теоретичних досліджень нідерландський учений Ф. Церніке

(1888–1966) відкрив метод фазового контрасту і сконструював перший фазово-контрастний мікроскоп, отримавши за це у 1953 році Нобелівську премію. У 1939 році німецькі фізики Е.А. Руска і М. Кноль сконструювали електронний мікроскоп, що забезпечило можливість дослідження наноматеріалів розміром 10 нм.

1959 рік відзначився історичною подією, яка мала важливе значення для подальшого розвитку нанонауки. Американський фізик-теоретик, професор Каліфорнійського технологічного інституту, лауреат Нобелівської премії з фізики (отримав у 1965 році за дослідження з квантової електродинаміки) Р.Ф. Фейнман (1918–1988), у грудні 1959 року на щорічному засіданні Американського фізичного товариства зробив доповідь-лекцію: «Внизу багато місця: запрошення увійти в нову область фізики» (There is plenty of room at the bottom: an invitation to enter a new field of physics). Це було тим поштовхом, який стимулював теоретичні, а пізніше – і практичні дослідження з нанонауки. Слухачі лекції сприйняли її як нереальну фантастику. Сам же Р.Ф. Фейнман стверджував, що у майбутньому можна буде маніпулювати окремими атомами, і людство зможе реалізувати фантастичні ідеї: «Жоден фізичний або хімічний закон не перешкоджає нам міняти взаємне розташування атомів...». Фактично з цього часу розпочалися науково обґрунтовані дослідження з нанонауки, нанотехнологій та наномедицини [21].

На лекціях і практичних заняттях акцентується увага студентів, що значний внесок у розвиток нанонауки внесли вчені України. В 50-их роках ХХ століття академіками Б.Є. Патонем і Б.О. Мовчаном розроблена електронно-променева технологія (молекулярних пучків) за допомогою котрої можливим стало отримання спеціальних сплавів металів з надвисокою міцністю. Такі сплави застосовували для побудови космічних апаратів, у військовій галузі, авіації, металургії. Отримання таких матеріалів базувалося на найбільш передових наукових технологіях. У ті часи такі методи отримання матеріалів не мали назви «нанотехнології», але з сучасних позицій вони є типовими нанотехнологіями. На сьогодні цих нанотехнологій отримання наночастинок металів: срібла, міді, заліза, кремнію тощо [9, 15].

Інститути НАН України вивчають фізичні, фізико-хімічні, біологічні, біохімічні властивості наноматеріалів [15, 24, 26]. Так в Інституті металофізики ім. Г.В. Курдюмова (директор – академік НАН України О.М. Івасишин) розроблені методи одержання нанорозмірних дисперсних

систем за допомогою електровибуху провідників й електричного пробую рідких середовищ. Ця методика дає змогу отримувати нанопорошки металів, а також вуглецеві наноматеріали: нано-алмази, нанотрубки та фулерени. В інституті фізики НАН України (директор – член-кор. НАН України Л.П. Яценко) розроблено метод створення штучних наноструктур за допомогою стимульованих електричним полем поверхневих хімічних реакцій на інтерфейсі рідина-грань (ІІІ) золота (академік НАН України А.Г. Наумовець і професор О.А. Марченко), що має важливе значення для виявлення високої активності нанорозмірних частинок цього металу. В Інституті теоретичної фізики імені М.М. Боголюбова (дир. – академік НАН України А.Г. Загородній) ведуться дослідження з встановлення математичних закономірностей взаємодії наноматеріалів з органічними і неорганічними наноструктурами.

В Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова (директор – академік НАН України В.Ф. Мачулін) з'ясована природа переходів у гетероструктурах із квантовими точками InAs-InP, що формуються за участю важких і легких діркових станів (академік НАН України М.П. Лисиця та співавтори).

Українські вчені відомі своїми дослідженнями з вивчення властивостей наноструктур кремнію. Член-кореспондент НАН України М.Я. Валах і співробітники отримали цікаві дані про можливість керування характеристиками саморганізованих Si-Ge наноструктур шляхом зміни традиційного ненапруженого кремнієвого буферного шару. Це зумовлює зміну розміру, форми, поверхневої щільності та компонентного складу сформованих наночастинок.

У Донецькому фізико-технічному інституті ім. О.О. Галкіна НАН України (член-кореспондент НАН України В.М. Варюхін) встановлені якісні зміни властивостей кобальтиту лантану при переході до нанорозмірних частинок. Це дає підстави стверджувати, що магнітний стан кобальтиту лантану визначають розміри його елементарної поверхні. В Інституті магнетизму НАН та МОН України (директор академік НАН України В.Г. Бар'яхтар) встановлено, що зміни амплітуд осциляцій викликає також зміни осциляцій гігантського магнетоопору в металевих магнітних наноструктурах. У науково-технічному комплексі «Інститут монокристалів» (директор – академік НАН України В.П. Семиноженко) розроблено наноматеріали, які можна застосовувати в медичній практиці і фармації.

Результати досліджень українських учених дедалі активніше реалізуються на практиці. Так, Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйка НАН України (директор – академік НАН України М.Т. Картель) спільно з вітчизняними науково-медичними закладами вперше у світі розробив, дослідив і впровадив у медичну практику новий препарат сорбційно-детоксикаційної дії на основі нанокремнезему [26].

В Інституті експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького (директор – академік НАН України В.Ф. Чехун) спільно з Інститутом електрозварювання ім. Є.О. Патона розробляють нові варіанти колоїдних систем з магнітними наночастинками Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> з метою створення протипухлинних препаратів [13].

В Інституті загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України (директор – академік НАН України С.В. Волков) розроблена технологія синтезу дрібнодисперсних систем з сажі (згодом її назвали нанотрубками) і методику розчинення металів у полімерному середовищі, яку застосовують у магнітному записі інформації та хімічних засобів одержання наночастинок [2].

Тривають дослідження з нанотехнологій в інших Інститутах НАН України: фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського (директор – академік НАН України В.Г. Кошечко), фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б.І. Веркіна (директор – академік НАН України С.Л. Гнатченко), проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича (директор – академік НАН України В.В. Скороход), біохімії ім. О.В. Палладіна (директор – академік НАН України С.В. Комісаренко), фізико-хімічному інституті ім. О.В. Богатського (директор академік НАН України С.А. Андронаті).

З 80-их років ХХ століття розпочалися інтенсивні дослідження з **нанотехнологій**, що обумовило розвиток **нанонауки**. Нанонаука (Nanoscience: nanos – з грецької – карлик, гномик, science – наука, система знань) – нова галузь науки та виробництва, що вивчає фізичні, фізико-хімічні, біологічні, фармакологічні, фармацевтичні, токсикологічні властивості наночастинок розміром до 100 нм, можливість їх синтезу за допомогою нанотехнологій та застосування у різних галузях народного господарства, медицині, ветеринарії, сільському господарстві [1, 4, 23, 35].

Відомий український учений академік НАН України Б.О. Мовчан наводить таке визначення **нанотехнологій**: «Сукупність наукових знань, спо-

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

Наноматеріали займають проміжне положення між окремими атомами (молекулами) та макроструктурами і мають унікальні фізичні, хімічні, фізико-хімічні, біологічні, фармакологічні властивості, завдяки малому розміру, хімічному складу, структурі, великій площі поверхні та формі. Нанонаука і нанотехнології зародилися на перехресті різних дисциплін: фізики, хімії, біології, електроніки, матеріалознавства, медицини та інших наук, тому вчені вважають за доцільне розглядати цей напрям як розвиток наносистеми [2, 5].

Проаналізовано визначення, надані світовою науковою спільнотою поняттям, що стосуються нанонауки та нанотехнологій та інших назвах цього напрямку.

**Нанобіологія** – розділ нанонауки, що характеризується поєднанням знань з фізики, матеріалознавства, органічної хімії синтетичних матеріалів, інженерії та біології; поєднує засоби, підходи та матеріали нанонауки та біології, займається розв'язанням біологічних завдань за допомогою нанотехнологій, розробляє способи створення молекулярних приладів із використанням біомакромолекул, створює наномашини шляхом імітації та запозичення підходів, використовуваних природою [7, 20, 29].

**Наномедицина** досліджує застосування розробок нанотехнологій у медичній практиці для профілактики, діагностики і лікування різних захворювань з контролем біологічної активності, фармакологічної і токсичної дії отриманих продуктів чи медикаментів [10, 19]. Наномедицина має на меті: 1) створення наноструктурованих матеріалів та пристроїв, застосовуваних у діагностиці, адресній доставці лікарських засобів та дизайні нових високоефективних препаратів; 2) розробку та впровадження у клінічну практику нанопрепаратів; 3) розробку молекулярних машинних систем, здатних проводити діагностичні та терапевтичні процедури *in vivo* безпосередньо у необхідній ділянці тканини чи у клітинах-мішенях [10, 24, 30, 31].

**Нанофармакологія** вивчає фізичні, фізико-хімічні, біологічні, біохімічні, фармакодинамічні, фармакокінетичні властивості розроблених на основі нанотехнологій нанопрепаратів, показання і протипоказання до їх застосування, можливі

побічні ефекти. Нанофармакологія, як фундаментальний та прикладний розділ нанотехнологій, що вивчає розробку та/або відкриття нових методів доставки лікарських речовин та наномедикаментів, створених для функціонування на нанорозмірному рівні та володіючих новими унікальними властивостями, бажаними для ефективного проведення діагностичної процедури або досягнення лікувального ефекту [16, 23, 28].

**Нанофармація** досліджує технології розробки лікарських форм нанопрепаратів для ефективного застосування у медичній практиці. Основним завданням нанофармації є створення, розробка та впровадження у медичну практику нанорозмірних фармакологічних субстанцій та векторів-носіїв, застосовуваних для адресної доставки лікарських засобів та впливу на конкретну ділянку патологічного процесу та мінімізації негативних ефектів на здорові тканини. Мета нанофармації – оптимізація фармакокінетичних, фармакодинамічних та токсикологічних властивостей лікарських речовин з метою отримання максимальної терапевтичної ефективності при найменшій вираженості побічних ефектів [11, 34, 36].

**Нанотоксикологія** – галузь нанонауки, що вивчає теоретичні та практичні аспекти токсичності наноматеріалів, визначає, у якій мірі унікальні властивості наноструктур здатні становити загрозу для навколишнього середовища в цілому та здоров'я людини зокрема. Нанотоксикологія досліджує характер взаємодії наноструктур з біологічними системами, приділяючи особливу увагу взаємовідношенню між фізико-хімічними властивостями наночастинок та викликаними ними токсичними відповідями біологічних структур [12, 32, 33].

На кафедрі гігієни праці та професійних захворювань Національного медичного університету імені О.О. Богомольця (зав. кафедри членкор. НАМН, проф. О.П. Яворовський) проводяться дослідження з токсикології наносрібла при різних шляхах введення, а також вивчення умов праці при виробництві наночастинок, отриманих за технологією Б.Є. Патона і Б.О. Мовчана [12].

В Інституті медицини праці АМН України (директор – академік Ю.І. Кундієв, пров. наук. співробітник – Т.К. Кучерук, В.А. Стежка) проведені дослідження по вивченню токсикологічних властивостей нанокремнезему при інгаляційному поступленні. Встановлено, що при інгаляції наночастинки кремнезему проявляють негативний вплив не тільки на легені, а також на інші

органи (печінку, міокард, нирки). Токсикологічна активність залежить від розміру наночастинок. Частинки 6-7 нм зумовлюють більш виражені токсикологічні зміни, ніж наночастинок розміром 54-55 нм. У цьому науковому закладі також проводяться дослідження (академік НАМН України І.М. Трахтенберг) з вивчення впливу на організм важких металів, зокрема, наносвинцю та науковому обґрунтуванню засобів безпеки в умовах виробництва нанометалів [6, 18].

В Інституті гігієни та медичної екології імені О.М. Марзеєва НАМН (директор – академік НАМН А.М. Сердюк) створений відділ з вивчення безпеки нанотехнологій та наноматеріалів, у якому вивчаються протимікробні та токсикологічні властивості наносрібла, синтезованого в Інституті хімії поверхні імені О.О. Чуйка НАН та інших наукових колективах [17].

Інтенсифікація фундаментальних досліджень, розробка і впровадження нанотехнологій у практичну діяльність людини підготували появу часописів та журналів „Nanotechnology”, „Journal Nanoscience Nanotechnology”, „National Nanotechnology”, „Nano Letters”, „Nanomedicine”, „Small”, „Lab Chip”. „Langmuir”, „IEEE Proceedings Nanobiotechnology”, „Journal Biomed. Nanotechnology”, „Nano Today”, „ACS Nano”, „Nano Research”, „Nanoscale” та інших видань.

На грудень місяць 2013 року цитуються статті, що містять ключові слова нанонаука, нанотехнології, наночастинок, наноматеріали у наукометричній базі даних PubMed (електронна адреса <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>). Ключові слова мали знаходитися у тексті публікації, а наявність таких слів у назві журналу або організації, яку представляли автори, не враховували. Пошук за принципом «слово стосовно нанонауки чи нанотехнологій + додаткове слово, що характеризує науковий або прикладний напрям». Отримані наступні результати: nanoscience – 583, nanotechnology – 27624, nanoparticle – 19801, nanomaterials – 5821, biotechnology – 921, medicine – 1258, toxicology – 279, pharmacology – 2682, pharmacy – 21.

На кафедрі фармакології та клінічної фармакології дослідження з нанофармакології розпочалися 15 років тому спільно з Інститутом хімії поверхні імені О.О. Чуйка НАН України з вивчення властивостей нанодисперсного кремнезему (препарат силікс). Силікс застосовують і терапії захворювань шлунково-кишкового тракту [14]. Даний препарат випускають у флаконах (поро-

шок) і застосовують у вигляді водної суспензії. Недоліком порошку є низька седиментаційна стійкість. Тому виникла необхідність у розробці стабілізованої водної суспензії нанодисперсного кремнезему, яка була б універсальнішою та зручнішою у здійсненні терапевтичних заходів. У лабораторії кафедри розроблено нову лікарську форму – суспензію нанодисперсного кремнезему (О.В. Ніцак). Вона зменшує токсичність і негативний вплив на функцію печінки таких сполук, як натрію фторид і натрію нітрит, а також протитуберкульозних препаратів – ізоніазиду, піразинаміду, етамбутолу, що різняться механізмом негативного впливу на організм і хімічною структурою. За фармакологічною активністю суспензія нанодисперсного кремнезему перевищує препарат Силікс [14, 23]. Нині продовжуються дослідження з цим науковим колективом.

В плані продовження досліджень з нанофармакології з 2006 року розпочаті спільні розробки з Інститутом електрозварювання імені Є.О. Патона. У Міжнародному центрі електронно-променевої технології Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона під керівництвом академіка НАН України Б.О. Мовчана здійснюється синтез наночастинок органічного і неорганічного походження шляхом електронно-променевого випаровування у вакуумі. При цьому макроскопічний об'єкт-попередник (металевий злиток) атомізується шляхом нагрівання потужним електронним променем. У подальшому створений паровий потік наноматеріалу конденсується на підкладці з утворенням наночастинок металів. Шляхом варіації температури підкладки можна регулювати середній розмір отриманих наночастинок [15, 23]. За ініціативи президента НАН України, директор Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона, академіка Б.Є. Патона і ректора Національного медичного університету імені О.О. Богомольця, академіка В.Ф. Москаленка у 2008 році організована спільна лабораторія: „Електронно-променеві нанотехнології неорганічних матеріалів для медицини” Інституту електрозварювання імені Є.О. Патона і Національного медичного університету імені О.О. Богомольця [15].

Науковці лабораторії „Електронно-променева нанотехнологія неорганічних матеріалів для медицини” спільно з інститутами НАН і НАМН України, а також з вищими навчальними закладами України отримали наукові та практичні факти:

1. Розроблена технологія отримання наночастинок срібла, міді, їх композитів, а також

- нанозаліза, наноцирконію, наноалюмінію та інших металів, нановуглецю (Б.О. Мовчан).
2. Встановлені особливості фармакології наночастинок срібла, міді, заліза (Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, А.М. Дорошенко, А.О. Прискова, Д.С. Савченко, П.В. Сімонов).
  3. Наночастинки срібла, міді, та їх композити, проявляють більш виражену протимікробну дію ніж ці метали звичайних розмірів (Інститут епідеміології та інфекційних хвороб імені Л.В. Громашевського, проф. В.Ф. Марієвський, Н.М. Рубан).
  4. Розроблена технологія отримання лікарських форм: мазь, гель, емульсія наночастинок срібла, міді, їх композитів (Львівський національний медичний університет, доц. Білоус С.Б.).
  5. Розроблена технологія отримання супозиторій наночастинок срібла (Харківський національний медичний університет, проф. Звягінцева Т.В., проф. Сирова Г.О.).
  5. Встановлено, що у цих лікарських формах наночастинки срібла, міді їх композити проявляють більш виражену протимікробну дію, ніж ці метали звичайних розмірів (Інститут епідеміології та інфекційних хвороб (імені Л.В. Громашевського, проф. В.Ф. Марієвський).

Поглиблення таких досліджень з метою розробки нових високоефективних медикаментів на основі нанотехнології молекулярних пучків для лікування різних захворювань матиме важливе теоретичне та практичне значення для розвитку медичної науки і практики.

До вивчення властивостей наночастинок металів, отриманих за технологією Б.Є. Патона і Б.О. Мовчана, були залучені інші наукові колективи НАМН: Інститут медицини праці (дир. – акад. Ю.І. Кундієв), Інститут гігієни та медичної екології імені О.М. Марзєєва НАМН (директор – академік НАМН, проф. А.М. Сердюк), Інститут очних хвороб (директор – член-кор. НАМН, проф. Т.В. Пасічникова), Інститут фармакології і токсикології (дир. – член-кор. НАМН Т.А. Бухтіарова).

Одним із перших вітчизняних препаратів з ліпосом є ліпін – спільна розробка Інституту фармакології і токсикології НАМН України (директор – професор Т.А. Бухтіарова) і Харківського фармацевтичного підприємства

“Біолік”. Основний компонент препарату – нанокapsули фосфатидилхоліну, який є природним компонентом біомембран. Препарат виявляє антигіпоксичну дію, пригнічує процеси перекисного окиснення ліпідів, підвищує неспецифічний імунітет, модулює функцію адренорецепторів [22].

Для поглиблення та розширення досліджень з нанофармакології і нанотоксикології кафедрою були залучені вищі медичні заклади МОЗ України: Буковинського медичного університету, Вінницького національного медичного університету, Дніпропетровської медичної академії, Запорізького державного медичного університету, Кримського медичного університету, Луганського медичного університету, Одеського національного медичного університету, Полтавської медичної академії, Тернопільського медичного університету.

Значний цикл досліджень з нанохімії та нанобіології здійснений в Інституті біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України (директор – д.х.н., професор З.Р. Ульберг). Дослідженнями З.Р. Ульберг і співробітників (Т.Г. Грузіна, С.Н. Дибкова, Л.С. Резніченко) з’ясовані молекулярні структури комплексів нанометал-біомолекули та механізми, відповідальні за цей процес [20]. В плані продовження досліджень кафедри фармакології та клінічної фармакології з нанофармакології спільно з Інститутом біоколоїдної хімії імені Ф.Д. Овчаренка НАН України розроблена оригінальна технологія синтезу наночастинок срібла, міді, заліза, а також їх композитів з органічними сполуками (кислота аскорбінова, антибіотики). Композит нанозаліза з аскорбіновою кислотою проявляє більш виражену противоанемічну активність, ніж нанозалізо. Важливим аспектом розробок є встановлення того факту, що генотоксичність нанорозмерних металів у значній мірі залежить від розміру таких структур, а також їх форми. До проведення цих досліджень залучена лабораторія мікробіології, вірусології та мікології (зав. – проф. А.В. Руденко) Інституту урології НАМН України, в якій встановлено, що наночастинки металів також проявляють виражену протимікробну дію, в тому числі і проти патогенних грибків.

Особливу увагу вченим світу слід звернути на вивчення токсикологічних властивостей нанопрепаратів, впливу їх не тільки на організм людини, але і на довкілля, а також біоетичним аспектам дослідження властивостей наночастинок [8, 12, 17, 32, 33].

## 2. Залучення студентів до проведення досліджень з нанофармакології.

Викладачі кафедри активно залучають студентів до проведення досліджень з нанонауки, наномедицини та нанофармакології. Щорічно студенти виступають з науковими доповідями як на університетських конференціях, так і в інших вищих навчальних закладах не тільки в Україні, але і зарубіжних країнах (Російська Федерація, Болгарія, Німеччина, Чехія). Згідно реалізації запровадженої ректором університету академіком В.Ф. Москаленком програми «Старший лаборант» на кафедру зараховано 8 випускників університету: О.В. Ніцак, Т.Ю. Небесна, А.М. Дорошенко, Д.С. Савченко, А.О. Прискока, П.В. Сімонов, Г.І. Гребельник, О.А. Покотило, двоє з яких вже кандидати наук, один подав до офіційного захисту, а інші – виконують кандидатські дисертації.

## 3. Щорічне проведення науково-методичних конференцій молодих вчених з наномедицини та нанофармакології.

За ініціативи кафедри спільно з науковим студентським товариством та Радою молодих вчених університету проведено 4 конференції «YouthNanoBiotech. Молодіжний форум з нанобіотехнологій», на яких виступали з доповідями молоді вчені як Національного медичного університету, так і інших наукових колективів.

Результати проведених досліджень з нанонауки, наномедицини та нанофармакології узагальнені у 4 монографіях та «Англо-українському словнику-довіднику з нанонауки», в наукових статтях.

В Національному медичному університеті імені О.О. Богомольця дослідження з нанонауки проводяться на кафедрах: аптечної і промислової технології лікарських засобів, гігієни та екології, гістології та ембріології, гігієни праці та професійних хвороб, ендокринології, медичної і біологічної фізики, медичної та загальної хімії, мікробіології, вірусології та імунології, нейрохірургії, педіатрії №3, травматології та ортопедії, хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії.

### Заклучення

Як свідчить аналіз отриманих вченими світу, України та Національного медичного університету імені О.О. Богомольця даних з нанонауки, нанотехнологій, наномедицини, нанофармакології та нанотоксикології, триває вивчення різних властивостей наноматеріалів, можливостей їхнього застосування у діагностиці, профілактиці та лікуванні різних захворювань. Викладачі кафедри на лекціях і практичних заняттях висвітлюють питання нанонауки, наномедицини та нанофармакології.

## НАУЧНО-МЕДИЦИНСКИЕ ОСНОВЫ ПРЕПОДАВАНИЯ НАНОФАРМАКОЛОГИИ

Чекман И.С.

*Резюме.* В статье обобщен опыт кафедры фармакологии и клинической фармакологии касательно преподавания нанофармакологии студентам третьего курса. Преподаватели кафедры на лекциях и практических занятиях освещают достижения ученых мира, Украины и Национального медицинского университета по нанонауке, наномедицине и нанофармакологии. Студенты приобщаются к проведению исследований по нанофармакологии.

*Ключевые слова:* нанонаука, нанотехнологии, наномедицина, нанофармакология, преподавание

## SCIENTIFIC AND MEDICAL BASIS IN TEACHING NANOPHARMACOLOGY

Chekman I. S.

*Abstract.* An experience of Pharmacology and clinical pharmacology department concerning teaching third course students nanopharmacology has been summarized in the article. Teachers of the department during lectures and practical classes cover achievements in nanoscience, nanomedicine, and nanopharmacology made by famous scientists in Bogomolets National Medical University, Ukraine and worldwide. Students become familiar with carrying out studies in nanopharmacology.

*Key words:* nanoscience, nanotechnology, nanomedicine, nanopharmacology, teaching

**Список использованной литературы в редакції**

1. Борисевич В.Б., Каплуненко В.Г., Косінов М.В., Борисович Б.В. і співав. Наноматеріали в біології. Основи нановетеринарії. – К.: ВД «Авіцена», 2010. – 416 с.
2. Волков С.В., Ковальчук С.П., Генко В.М., Решетняк О.В. Нанохімія. Наносистеми. Наноматеріали. – Київ, Наук.думка, 2008. – 422 с.
3. Горчакова Н.О., Озейчук О.Ю., Чекман І.С. Наноматеріали і наночастинки: класифікація // Вісник Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця. – 2009. - №2. – С. 188-201.
4. Гусев А.И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии. – 2-е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 416 с.
5. Елисеев А.А., Лукашин А.В. Функциональные наноматериалы. Под ред. Ю.Д. Третьякова. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 456 с.
6. Кундієв Ю.І. Біоетика – шлях до більш майбутнього // Четвертий Національний конгрес з біоетики з міжнародною участю, Київ, 2010. – С. 28–30.
7. Лахтин В.М., Афанасьев С.С., Лахтин М.В. и соавт. Нанотехнологии и перспективы их использования в медицине и биотехнологии // Вестн. РАМН. – 2008. – №4. – С. 50–55.
8. Маланчук В.О., Чекман І.С., Степаненко В.І., Рибачук А.В. Етична медицина в аспекті застосування високих технологій (огляд літератури та власних досліджень) // Український медичний часопис. – 2010. – №6(80). – С. 115–123.
9. Мовчан Б.А. Электронно-лучевая гибридная нанотехнология осаждения неорганических материалов в вакууме // Актуальные проблемы современного материаловедения. – К.: Изд. Академперіодика, 2008. – Т. 1. – С. 227–247.
10. Москаленко В.Ф., Лісовий В.М., Чекман І.С., Горчакова Н.О. і співав. Наукові основи наномедицини, нанофармакології та нанофармації // Вісник Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця. – 2009. – №2. – С. 17–31.
11. Москаленко В.Ф., Чекман І.С., Черних В.П., Зупанець І.А. Нанонаука, нанофармакологія, нанофармація: перспективи досліджень, впровадження у медичну практику // Клінічна фармація. – 2010. – Т. 14, №1. – С. 1–5.
12. Москаленко В.Ф., Яворовський О.П. Нанотоксикологія // Вісник Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця. – 2011. – №3. – С. 3–10.
13. Наноматериалы и нанокompозиты в медицине, биологии, экологии / Под ред.. А.П. Шпака, В.Ф. Чехуна // Составители П.П. Гробик, В.В. Туров. – Киев: Наук. Думка, 2011. – 444 с.
14. Ніцак О.В., Казак Л.І., Чекман І.С. Ефективність суспензії нанодисперсного кремнезему при гепатиті, викликаному ізоніазидом // Фармакологія та лікарська токсикологія. – 2008. – №1-3. – С. 66–69.
15. Патон Б.Є., Москаленко В.Ф., Чекман І.С., Мовчан Б.О. Нанонаука і нанотехнології: технічний, медичний і соціальний аспекти // Вісник Національної академії наук України. – 2009. – № 6. – С. 76–80.
16. Сейфула Р.Д., Тимофеев Ф.Б., Орджоникідзе З.Г. и др. Проблемы использования нанотехнологии в фармакологии // Эксперимент. и клин. фармакология. – 2008. – Т. 71, № 1. – С. 61–69.
17. Сердюк А.М. Біоетичні проблеми в сучасній гігієні та медичній екології // Четвертий Національний конгрес з біоетики з міжнародною участю, Київ, 2010. – С. 37.
18. Трахтенберг І.М., Апахтіна О.Л., Дмитруха Н.М. Етичні аспекти впровадження наноматеріалів // Четвертий Національний конгрес з біоетики з міжнародною участю, Київ, 2010. – С. 81–82.
19. Уварова І.В., Максименко В.Б., Ярмола Т.М. Наноматеріали та їх використання у медичних виробках. – К.: КІМ, 2013. – 172 с.
20. Ульберг З.Р., Грузина Т.Г., Перцев Н.В. Коллоидно-химические свойства биологических наносистем. Биомембраны. В книге „Коллоидно-химические основы нанонауки”. Академперіодика, Киев, 2005. – С. 199-237.
21. Фейнман Р. Внизу полным полно места: приглашение в новый мир физики // Рос. хим. ж. – 2002. – Т. XLVI, №5. – С. 406–409.
22. Хромов О.С., Соловійов А.І. Експериментальне обґрунтування застосування фосфатидилхолінових ліпосом у медицині // Фармакологія і лікарська токсикологія. – 2008. – Т. 4, №5. – С. 88–98.
23. Чекман І.С. Нанофармакологія. – К.: Задруга, 2011. – 424 с.
24. Чекман І.С., Маланчук В.О., Рибачук А.В. Основи наномедицини. – Київ, Видавництво «Поліграф Плюс». – 2012. – 247 с.
25. Чекман І. С., Сімонов П.В. Природні наноструктури та наномеханізми. – К.: Задруга, 2012. – 104 с.
26. Чуйко А.А., Погорелый В.К., Пентюк А.А. и соавт. Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния. – К.: Наукова думка, 2003. – 415 с.
27. Щука А.А. Наноэлектроника. – М.: Физматкнига, 2007. – 464 с.
28. Ashai Z. A., Pukhta M. A., Abbas Z. et al. Nanopharmacology // JK-Practitioner. – 2012. – Vol. 17, № 1–3. – P. 83–85.