

І. С. Чекман

# Науково-методичні основи викладання нанофармакології

*Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, м. Київ*

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

Друга половина XX та початок XXI століть характеризуються значним зростанням інтересу вчених світу до досліджень з нанонауки, завдяки розвитку якої інтенсивно розробляються нові нанотехнології отримання наноматеріалів та дослідження їхніх властивостей [1–3]. Протягом цих років світ став свідком своєрідного нанотехнологічного вибуху, що сприяв впровадженню в практичну діяльність людини нових приладів, препаратів, методик діагностики та лікування різних захворювань. Стрімко розвиваються дослідження з вивчення фізичних, хімічних, біологічних, фармакологічних, токсикологічних властивостей нанорозмірних структур. Наноструктуровані матеріали є об'єктом досліджень фундаментальних та прикладних наук [4–7], оскільки, зі зменшенням характерних розмірів їхніх структурних одиниць до нанорівня, вони набувають нові властивості, зумовлені квантово-розмірними ефектами та 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 їхній основі абсолютно нових квантових пристроїв і систем з широкими функціональними можливостями для опто- та наноелектроніки, виміральної техніки, інформаційних технологій нового покоління, засобів зв'язку, а також діагностики й лікування різних захворювань [8–11].

Тому виникає необхідність висвітлення науково-методичних аспектів

розвитку різних напрямів нанонауки, нанотехнологій, наномедицини та нанофармакології.

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

**Результати та їх обговорення.** У робочу програму з фармакології включені питання з цього напрямку світової науки. Науково методичні основи викладання нанофармакології полягають у наступному:

- 1) На лекціях та практичних заняттях висвітлюються досягнення учених світу, України та Національного медичного університету імені О. О. Богомольця з нанонауки, наномедицини й нанофармакології.
- 2) Залучення студентів до проведення досліджень з нанофармакології.
- 3) Проведення науково-методичних конференцій молодих вчених з нано-медицини.

*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 [3, 5, 8, 12–14]. 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.

Ідею мініатюризації з позицій науково-практичної реалізації людство мало 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 тульського косоногого Лівшу і про сталю блоху» описав майстерність Лівши, що зумів підкувати блоху, яку з Англії привіз російський цар Олександр Павлович. Відомим є талант українського майстра М. Сябрістого з виготовлення мікропортретів видатних українських письменників, поетів. Польський письменник С. Лем (1921–2006) у романі «Непереможений» описує своєрідну цивілізацію, що використовує самоорганізуючі системи, біосенсиори, логічні пристрої.

Австрійський учений, фізик-теоретик, один з засновників квантової механіки, лауреат Нобелівської премії з фізики Е. Шредингер (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 в розробці сучасних нанотехнологій.

Отримання та застосування колоїдних розчинів відомо з давніх часів. У цих дисперсних системах складові частини мають нанорозміри. Колоїдні розчини є в живій природі, у тому числі й в організмі людини (кров, спинномозкова рідина та ін.). Останніми роками розроблено нанотехнології синтезу колоїдних розчинів металів, органічних матеріалів. Також цікаво, що ліпосоми вже застосовуються понад 40 років, але тільки останніми роками встановлено, що ці структури мають нанорозміри.

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, у тому числі електронів, проявляється в здатності проникати через перешкоду, навіть коли енергія нижче потенційного бар'єра. Якщо для подолання електроном перешкоди необхідна більша енергія, ніж має електрон, то він не відштовхнеться від перешко-

ди, а з втратою енергії (подібно до 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 та техніки, а також для створення тунельного мікроскопа, який сприяв дослідженню частинок нанорозмірів менших, ніж 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 в 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 [15].

На лекціях і практичних заняттях акцентується увага студентів на тому,

що значний внесок у розвиток нанонауки внесли вчені України. У 50-х роках ХХ століття академіками Б. Є. Патонем і Б. О. Мовчаном розроблено електронно-променеву технологію (молекулярних пучків), за допомогою якої 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 найпередовіших наукових технологіях. У ті часи такі методи отримання матеріалів не мали назви «нанотехнології», але з сучасних позицій, вони є типовими нанотехнологіями. На основі цих нанотехнологій отримані наночастинки металів: срібла, міді, заліза, кремнію тощо [2, 16].

Інститути НАН України вивчають фізичні, фізико-хімічні, біологічні, біохімічні властивості наноматеріалів [2, 7, 14]. Так в Інституті металофізики імені Г. В. Курдюмова (директор – академік О. М. Івасишин) розроблено методи одержання нанорозмірних дисперсних систем за допомогою електровибуху провідників й електричного пробою рідких середовищ. Ця методика дає змогу отримувати нанопорошки металів, а також вуглецеві наноматеріали: наноалмази, нанотрубки та фулерени. В інституті фізики НАН України (директор – член-кореспондент 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 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 (директор – академік А. Г. Загородній) ведуться дослідження з встановлення математичних закономірностей взаємодії наноматеріалів з органічними і неорганічними наноструктурами.

В Інституті фізики напівпровідників імені В. Є. Лашкарьова (директор – академік В. Ф. Мачулін) з'ясована природа переходів у гетероструктурах з

квантовими точками InAs-InP, що формуються за участю важких і легких діркових станів (академік 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 щодо можливості керування характеристиками самоорганізованих Si-Ge наноструктур шляхом зміни традиційного напруженого кремнієвого буферного шару. Це зумовлює зміну розміру, форми, поверхневої щільності та компонентного складу сформованих наночастинок.

У Донецькому фізико-технічному інституті імені 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 В. Г. Бар'яхтар) встановлено, що зміни амплітуд осциляцій викликає також зміни осциляцій гігантського магнетоопору в металевих магнітних наноструктурах. У науково-технологічному комплексі «Інститут монокристалів» (директор – академік В. П. Семиноженко) розроблено наноматеріали, які можна застосовувати в медичній практиці та фармації.

Результати досліджень українських учених дедалі активніше реалізуються на практиці. Так, Інститут хімії поверхні імені О. О. Чуйка НАН України (директор – академік 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 [27].

В Інституті експериментальної патології, онкології і радіобіології імені Р. Є. Кавецького (директор – академік В. Ф. Чехун) спільно з Інститутом електрозварювання імені Є. О. Патона розробляють нові варіанти колоїдних

систем з магнітними наночастинками  $Fe_3O_4$  з метою створення протипухлинних препаратів [10].

В Інституті загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України (директор – академік С. В. Волков) розроблено технологію синтезу дрібнодисперсних систем з сажі (згодом її назвали нанотрубками) і методу розчинення металів у полімерному середовищі, яку застосовують у магнітному записі інформації, та хімічних засобів одержання наночастинок [8].

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

З 80-х років ХХ століття розпочалися інтенсивні дослідження з нанотехнологій, що зумовило розвиток нанонауки. Нанонаука (Nanoscience: *nanos* – з грецької – карлик, *gnomik*, *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 їхнього синтезу за допомогою нанотехнологій та застосування в різних галузях народного господарства, медицині, ветеринарії, сільському господарстві [1, 4, 17, 18].

Відомий український учений академік Б. О. Мовчан наводить таке визначення **нанотехнологій**: «Сукупність наукових знань, способів і засобів, направлено регульованого складання (синтезу) із окремих атомів і молекул різних речовин, матеріалів та виробів з лінійним розміром елементів структури до 100 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ;  $1 \text{ нм} = 10 \text{ \AA}$ )» [16].

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 [5, 8].

Проаналізовано визначення, надані світовою науковою спільнотою поняттям, що стосуються нанонауки та нанотехнологій та інших назв 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 з використанням біомакромолекул, створює наномашини шляхом імітації та запозичення підходів, використовуваних природою [3, 19, 20].

**Наномедицина** досліджує застосування розробок нанотехнологій у медичній практиці для профілактики, діагностики та лікування різних захворювань з контролем біологічної активності, фармакологічної та токсичної дії отриманих продуктів чи медикаментів [13, 21]. **Наномедицина** має на меті: 1) створення наноструктурованих матеріалів та пристроїв, застосовуваних у діагностиці, адресній доставці лікарських засобів та дизайні нових високо-ефективних 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 в клітинах-мішенях [14, 21–23].

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

застосування, можливі побічні ефекти. Нанофармакологія – 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 [17, 24, 25].

**Нанофармація** досліджує технології розробки лікарських форм нано-препаратів для ефективного застосування у медичній практиці. Основним завданням нанофармації є створення, розробка та впровадження в 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 [12, 26, 27].

**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 взаємовідношенням між фізико-хімічними властивостями наночастинок та викликаними ними токсичними відповідями біологічних структур [28–30].

На кафедрі гігієни праці та професійних захворювань Національного медичного університету імені О. О. Богомольця (зав. кафедри член-кореспондент НАМН України, професор 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 [28].

В Інституті медицини праці НАМН України (директор – академік Ю. І. Кундієв, провідні наукові співробітники – Т. К. Кучерук, В. А. Стежка) проведено дослідження з вивчення токсикологічних властивостей нанокремнезему при інгаляційному надходженні. Встановлено, що при інгаляції наночастинок кремнезему чинять 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 наночастинки 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 наукового обґрунтування засобів безпеки в умовах виробництва нанометалів [31, 32].

В Інституті гігієни та медичної екології імені О. М. Марзеєва (директор – академік НАМН України А. М. Сердюк) створений відділ з вивчення безпеки нанотехнологій та наноматеріалів, де вивчаються протимікробні та токсикологічні властивості наносрібла, синтезованого в Інституті хімії поверхні імені О. О. Чуйка НАН України та інших наукових колективах [33].

Інтенсифікація фундаментальних досліджень, розробка та 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, наночастинки, наноматеріали в наукометричній базі даних PubMed (електронна адреса <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>). Ключові слова мали знаходитися в тексті публікації, а наявність таких слів у

назві журналу або організації, яку представляли автори, не враховували. При пошуку за принципом «слово стосовно нанонауки чи нанотехнологій + додаткове слово, що характеризує науковий або прикладний напрям», отримано 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 Національного медичного університету імені О. О. Богомольця 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 для терапії захворювань шлунково-кишкового тракту [34]. Даний препарат випускають у флаконах (порошок) 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 за механізмом негативного впливу на організм і хімічною структурою. За фармакологічною активністю суспензія нанодисперсного кремнезему перевищує препарат Силікс [17, 34]. Нині цей науковий колектив продовжує дослідження.

У 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 Б. О. Мовчана здійснюється синтез наночастинок органічно-

го та 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 [2, 17]. За ініціативою президента НАН України, директора Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона академіка Б. Є. Патона у 2008 році організовано спільну лабораторію «Електронно-променеві нанотехнології неорганічних матеріалів для медицини» Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона і Національного медичного університету імені О. О. Богомольця [2].

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. Розроблено технологію отримання наночастинок срібла, міді, їхніх композитів, а також нанозаліза, наноцирконію, наноалюмінію та інших металів, нановуглецю (Б. О. Мовчан).
2. Встановлено 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 їхні композити проявляють більш виражену протимікробну дію, ніж ці метали звичайних розмірів (Інститут епідеміології та інфекційних хвороб імені Л. В. Громашевського, професор В. Ф. Марієвський, Н. М. Рубан).
4. Розроблено технологію отримання лікарських форм: мазь, гель, емульсія наночастинок срібла, міді, їх композитів (Львівський національний медичний університет, доцент С. Б. Білоус).
5. Розроблено технологію отримання супозиторіїв наночастинок срібла (Харківський національний медичний

університет, професор Т. В. Звягінцева, професор Г. О. Сирова).

5. Встановлено, що в цих лікарських формах наночастинки срібла, міді, їхні композити проявляють більш виражену протимікробну дію, ніж ці метали звичайних розмірів (Інститут епідеміології та інфекційних хвороб імені Л. В. Громашевського, професор В. Ф. Марієвський).

Цікавими є дослідження з вивчення впливу нанометалів за умов ембріогенезу (ДУ «Дніпропетровська медична академія», професор В. Ф. Шаторна, доктор медичних наук О. О. Савенкова).

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 України: Інститут медицини праці (директор – академік Ю. І. Кундієв), Інститут гігієни та медичної екології імені О. М. Марзєєва (директор – академік НАМН України А. М. Сердюк), Інститут очних хвороб (директор – член-кореспондент НАМН України Т. В. Пасічникова), Інститут фармакології та токсикології (директор – член-кореспондент НАМН України Т. А. Бухтіарова).

Одним з перших вітчизняних препаратів ліпосом є Ліпін – спільна розробка Інституту фармакології та токсикології НАМН України та Харківського фармацевтичного підприємства «Біолік». Основний компонент препарату – нанокапсули фосфатидилхоліну, який є природним компонентом біомембран. Препарат виявляє антигіпоксичну дію, пригнічує процеси перекисного окиснення ліпідів, підвищує неспецифічний імунітет, модулює функцію адренорецепторів [35].

Для поглиблення та розширення досліджень з нанофармакології та нанотоксикології кафедрою були залучені вищі медичні заклади МОЗ України: Буковинський медичний університет,

Вінницький національний медичний університет, Дніпропетровська медична академія, Запорізький державний медичний університет, Кримський медичний університет, Луганський медичний університет, Одеський національний медичний університет, Полтавська медична академія, Тернопільський медичний університет.

Значний цикл досліджень з нанохімії та нанобіології здійснений в Інституті біоколоїдної хімії імені Ф. Д. Овчаренка НАН України (директор – доктор хімічних наук, 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]. У 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 їхніх композитів з органічними сполуками (кислота аскорбінова, антибіотики). Композит нанозаліза з аскорбіновою кислотою проявляє більш виражену протианемічну активність, ніж нанозалізо. Важливим аспектом розробок є встановлення того факту, що генотоксичність нанорозмірних металів значною мірою залежить від розміру таких структур, а також їхньої форми. До проведення цих досліджень залучено лабораторію мікробіології, вірусології та мікології (завідувач – професор А. В. Руденко) Інституту урології НАМН України, у якій встановлено, що наночастинки металів також проявляють виражену протимікробну дію, у тому числі проти патогенних грибів.

Особливу увагу вченим світу слід звернути на вивчення токсикологічних властивостей нанопрепаратів, впливу їх не тільки на організм людини, але й на довкілля, а також на біоетичні аспекти дослідження властивостей наночастинок [28–30, 33, 36].

2. *Залучення студентів до проведення досліджень з нанофармакології.* Викладачі кафедри активно залучають студен-

тів 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 (Російській Федерації, Болгарії, Німеччині, Чехії). Згідно з реалізацією запровадженої ректором університету академіком НАМН України В. Ф. Москаленком програми «Старший лаборант» на кафедрі зараховано 8 випускників університету, а саме: 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 мають науковий ступінь кандидата наук, один подав документи до офіційного захисту, а інші – виконують кандидатські дисертації.

3. *Щорічне проведення науково-методичних конференцій молодих вчених з наномедицини та нанофармакології.* За ініціативою співробітників 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 імені О. О. Богомольця, так і інших наукових колективів.

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

У 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 ученими 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 в діагностиці, профілактиці та лікуванні різних захворювань. Викладачі кафедри на лекціях і практичних заняттях висвітлюють питання нанонауки, наномедицини та нанофармакології.

1. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / А. И. Гусев. – [2-е изд., испр.]. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 416 с.
2. Нанонаука і нанотехнології: технічний, медичний і соціальний аспекти / Патон Б. Є., Москаленко В. Ф., Чекман І. С., Мовчан Б. О. // Вісник Національної академії наук України. – 2009. – № 6. – С. 76–80.
3. Boisseau P. Nanoscience. Nanobiotechnology and nanobiology / P. Boisseau, P. Houdy, M. Lahmani. – Berlin, Heidelberg : Springer, 2010. – 1200 p.
4. Наноматеріали в біології. Основи нановетеринарії / Борисевич В. Б., Каплуненко В. Г., Косінов М. В. [та ін.]. – Київ : ВД «Авіцена», 2010. – 416 с.
5. Елисеев А. А. Функциональные наноматериалы. Под ред. Ю. Д. Третьякова / А. А. Елисеев, А. В. Лукашин. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 456 с.
6. Чекман І. С. Природні наноструктури та наномеханізми / І. С. Чекман, П. В. Сімонов. – Київ : Задруга, 2012. – 104 с.
7. Медицинская химия и клиническое применение диоксида кремния / Чуйко А. А., Погорельый В. К., Пентюк А. А. [и др.]. – Киев : Наукова думка, 2003. – 415 с.
8. Нанохімія. Наносистеми. Наноматеріали / [Волков С. В., Ковальчук С. П., Генко В. М., Решетняк О. В.]. – Київ : Наукова думка, 2008. – 422 с.
9. Горчакова Н. О. Наноматеріали і наночастинки: класифікація / Горчакова Н. О., Озейчук О. Ю., Чекман І. С. // Вісник Національного медичного університету ім. О. О. Богомольця. – 2009. – № 2. – С. 188–201.
10. Наноматериалы и наноконкомпозиты в медицине, биологии, экологии / Под ред. А. П. Шпака, В. Ф. Чехуна; составители П. П. Гробик, В. В. Туров. – Киев : Наукова Думка, 2011. – 444 с.
11. Шука А. А. Наноэлектроника / А. А. Шука. – Москва : Физматкнига, 2007. – 464 с.
12. Мосин О. В. Физиологическое воздействие наночастиц сере боа на организм человека / Мосин О. В. // NanoWeek. – 2008. – № 3. – С. 34–37.



13. Уварова І. В. Наноматеріали та їх використання у медичних виробках / І. В. Уварова, В. Б. Максименко, Т. М. Ярмола. – Київ : КІМ, 2013. – 172 с.
14. Чекман І. С. Основи наномедицини / І. С. Чекман, В. О. Маланчук, А. В. Рибачук. – Київ, Видавництво «Поліграф Плюс», 2012. – 247 с.
15. Фейнман Р. Внизу полным полно места: приглашение в новый мир физики / Р. Фейнман // Рос. хим. ж. – 2002. – Т. XLVI, № 5. – С. 406–409.
16. Мовчан Б. А. Электронно-лучевая нанотехнология и новые материалы для медицины / Мовчан Б. А. // Вісник фармакології і фармації. – 2007. – № 12. – С. 5–13.
17. Чекман І. С. Нанофармакологія / І. С. Чекман. – Київ : Задруга, 2011. – 424 с.
18. Shaefer H. E. Nanoscience. The science of the small in physics, engineering, chemistry, biology and medicine / H. E. Shaefer. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. – 772 p.
19. Нанотехнологии и перспективы их использования в медицине и биотехнологии / Лахтин В. М., Афанасьев С. С., Лахтин М. В. [и др.] // Вестн. РАМН. – 2008. – № 4. – С. 50–55.
20. Ульберг З. Р. Коллоидно-химические свойства биологических наносистем. Биомембраны / Ульберг З. Р., Грузина Т. Г., Перцев Н. В. // В книге «Коллоидно-химические основы нанонауки». – Киев : Академперіодика, 2005. – С. 199–237.
21. Мовчан Б. А. Электронно-лучевая гибридная нанотехнология осаждения неорганических материалов в вакууме / Мовчан Б. А. // Актуальные проблемы современного материаловедения. – Киев : Изд. Академперіодика, 2008. – Т. 1. – С. 227–247.
22. Jain K. K. Nanomedicine: application of nanobiotechnology in medical practice / Jain K. K. // Med. Princ. Pract. – 2008. – V. 17, № 2. – P. 89–101.
23. Liu Y. Nanomedicine for drug delivery and imaging: a promising adventure for cancer therapy and diagnosis using targeted functional nanoparticles / Liu Y., Miyoshi H., Nakamura M. // Int. J. Cancer. – 2007. – V. 120, № 21. – P. 2527–2537.
24. Проблеми ісаользования нанотехнологии в фармакологии / Сейфула Р. Д., Тимофеев Ф. Б., Орджоникидзе З. Г. [и др.] // Эксперимент. и клин. фармакология. – 2008. – Т. 71, № 1. – С. 61–69.
25. Nanopharmacology / Ashai Z. A., Pukhta M. A., Abbas Z. [et al.] // JK-Practitioner. – 2012. – V. 17, № 1–3. – P. 83–85.
26. Nanopharmacy: inorganic nanoscale devices as vectors and active compounds / Rivera G. P., Huhn D., del Mercato L. L. [et al.] // Pharmacol. Res. – 2010. – V. 62, № 2. – P. 115–125.
27. Varshney H. M. «Nanotechnology» current status in pharmaceutical science: a review / Varshney H. M., Shailender M. // Int. J. Ther. Appl. – 2012. – V. 6. – P. 14–24.
28. Москаленко В. Ф. Нанотоксикологія / Москаленко В. Ф., Яворовський О. П. // Вісник Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця. – 2011. – № 3. – С. 3–10.
29. Nanoparticles: pharmacological and toxicological significance / Medina C., Santos-Martinez M. J., Radomski A. [et al.] // Br. J. Pharmacol. – 2007. – V. 150. – P. 552–558.
30. Pourmend A. Abdollahi M. Current opinion on nanotoxicology / Pourmend A., Abdollahi M. // Daru. – 2012. – V. 20, 1. – P. 1–3.
31. Кундієв Ю. І. Біоетика – шлях до більш майбутнього / Кундієв Ю. І. // Четвертий Національний конгрес з біоетики з міжнародною участю. – Київ, 2010. – С. 28–30.
32. Трахтенберг І. М. Етичні аспекти впровадження наноматеріалів / Трахтенберг І. М., Апихтіна О. Л., Дмитруха Н. М. // Четвертий Національний конгрес з біоетики з міжнародною участю. – Київ, 2010. – С. 81–82.
33. Сердюк А. М. Біоетичні проблеми в сучасній гігієні та медичній екології / Сердюк А. М. // Четвертий Національний конгрес з біоетики з міжнародною участю. – Київ, 2010. – С. 37.
34. Ніцак О. В. Ефектність суспензії нанодисперсного кремнезему при гепатиті, викликаному ізоніазидом / Ніцак О. В., Казак Л. І., Чекман І. С. // Фармакологія та лікарська токсикологія. – 2008. – № 1–3. – С. 66–69.
35. Хромов О. С. Експериментальне обґрунтування застосування фосфатидилхолінових ліпосом у медицині / Хромов О. С., Соловійов А. І. // Фармакологія і лікарська токсикологія. – 2008. – Т. 4, № 5. – С. 88–98.
36. Етична медицина в аспекті застосування високих технологій (огляд літератури та власних досліджень) / Маланчук В. О., Чекман І. С., Степаненко В. І., Рибачук А. В. // Український медичний часопис. – 2010. – № 6 (80). – С. 115–123.

### **І. С. Чекман**

#### **Науково-методичні основи викладання нанофармакології**

У статті узагальнено досвід кафедри фармакології та клінічної фармакології Національного медичного університету імені О. О. Богомольця щодо викладання нанофармакології студентам III курсу. Викладачі кафедри на лекціях та практичних заняттях висвітлюють досягнення вчених світу, України, Національного медичного університету в галузі нанонауки, наномедицини та нанофармакології. Студентів залучають до проведення досліджень з нанофармакології.

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

---

---

**И. С. Чекман**

**Научно-медицинские основы преподавания нанофармакологии**

В статье обобщен опыт кафедры фармакологии и клинической фармакологии Национального медицинского университета имени А. А. Богомольца по преподаванию нанофармакологии студентам III 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*

**I. S. Chekman**

**Scientific and medical basis in teaching nanopharmacology**

An experience of Pharmacology and clinical pharmacology department of Bogomolets National Medical University concerning teaching in nanopharmacology to third course students 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*

---

*Надійшла: 9 листопада 1915 р.*

**Контактна особа:** Чекман І. С., професор, кафедра фармакології та клінічної фармакології, Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, буд. 34, просп. Перемоги, м. Київ.  
Тел.: + 38 0 44 454 49 24.