



Розділ II. Біофізика та біохімія

УДК 57.083.8:620.5

DOI: <https://doi.org/10.29038/NCBio.24.1-6>

Перспективи використання нанотехнологій у біологічних дослідженнях нового покоління

Віталій Гнатюк, Ірина Расторгуєва, Наталя Пшенична

Бердянський державний педагогічний університет

Адреса для листування: natali122436@gmail.com

Отримано: 11.02.24; прийнято до друку: 15.05.24; опубліковано: 06.06.24

Резюме. Мета статті – оцінити, як нанотехнології можуть покращити знання про біологічні системи та уможливити інноваційні дослідницькі підходи. У статті наведено результати останніх наукових робіт, які показують вплив нанотехнологій на біологічні дослідження, що включають досягнення в галузі візуалізації, доставки ліків та біосенсорки. Висновки підкреслюють трансформаційний потенціал нанотехнологій у біологічних дослідженнях, що сприяє прогресу в таких галузях, як персоналізована медицина, регенеративна біологія та інженерія біоматеріалів. Нанотехнології забезпечують можливість високоточного управління і дослідження біологічних систем, пропонуючи нові шляхи для наукових відкриттів і технологічних інновацій.

Ключові слова: нанотехнології; лікарські засоби; біомедицина; наноматеріали; персоналізована медицина; біосенсори.

Perspectives of using nanotechnologies in next-generation biological research

Vitaliy Hnatiuk, Iryna Rastorguyeva, Natalia Pshenycha

*Department of Biology, Health of a Person and Physical Rehabilitation, Faculty of Physical Culture,
Berdiansk State Pedagogical University, Zaporizhzhia, Ukraine*

Correspondence: natali122436@gmail.com

Abstract. Nanotechnologies hold significant potential to revolutionize biological research for future generations. This article explores the current state, potential applications, and future prospects of nanotechnologies in biological research. The relevance of this issue is driven by the need for advanced tools to study complex biological phenomena at the nanoscale. The aim of the article is to assess how nanotechnologies can enhance our understanding of biological systems and enable innovative research approaches.

The article presents the results of recent scientific studies demonstrating the impact of nanotechnologies on biological research, including advancements in visualization, drug delivery, and biosensing. Nanomaterials such as quantum dots and nanoscale biosensors enable new insights into cellular processes and disease mechanisms. Nano-engineered drug delivery systems have shown promising results for targeted therapy, reducing side effects, and improving treatment efficacy.

The conclusions underscore the transformative potential of nanotechnologies in biological research, contributing to advancements in fields such as personalized medicine, regenerative biology, and biomaterials engineering. Nanotechnologies enable precise control and investigation of biological systems, offering new pathways for scientific discoveries and technological innovations.

This article outlines future research directions in this field, addressing challenges such as biosafety, scalability, and integration of nanodevices into complex biological systems. Resolving these issues will unlock further opportunities for applying nanotechnologies in biological research. Future investigations involve developing multifunctional nanosystems capable of real-time monitoring, precise cellular-level interventions, and integration with advanced data analytics to gain comprehensive biological insights.

Thus, nanotechnologies form the foundation for transforming next-generation biological research, promising innovative tools and methodologies to study complex processes occurring in the nanoscale realm.

Key words: nanotechnology; pharmaceuticals; biomedicine; nanomaterials; personalized medicine; biosensors.

ВСТУП

Нанотехнології мають великі перспективи для просування біологічних досліджень на нові межі, особливо в контексті досліджень нового покоління. Використовуючи нанорозмірні матеріали та пристрої, науковці можуть заглибитися в біологічні системи з до цього часу недосяжною точністю та чутливістю. Інтеграція нанотехнологій у біологічні дослідження відкриває переконливі перспективи, які здатні зробити переворот у цій галузі.

Мета статті – оцінити, як нанотехнології можуть покращити знання про біологічні системи та уможливити інноваційні дослідницькі підходи.

Останні наукові дослідження в галузі застосування нанотехнологій у біологічних дослідженнях показали значні перспективи для розвитку наукового дослідження нового покоління [1, с. 59]. У низці основних публікацій висвітлено інноваційні застосування та поточні виклики в цій галузі, що стрімко розвивається [2, с. 141].

Дослідження [3–4] показали значний прогрес у використанні нанотехнологій для цільової доставки ліків і генної терапії. У цих публікаціях [2–3] показано, як нанорозмірні носії можуть ефективно транспортувати терапевтичні агенти через біологічні бар'єри, підвищуючи точність і зменшуючи побічні ефекти. Водночас залишаються проблеми з оптимізацією стабільності наночастинок та забезпеченням механізмів контрольованого вивільнення.

У роботі Манічева Н. [5, с. 58] досліджуються нові біосенсори на основі наноматеріалів і технології візуалізації для клітинного та молекулярного аналізу. Ці роботи [5–6] представляють надзвичайно чутливі та спеціалізовані технології, здатні виявляти найдрібніші біологічні сигнали. Незважаючи на такі досягнення, інтеграція цих технологій у практичні діагностичні інструменти залишається в фокусі уваги через проблеми, пов'язані зі стандартизацією та відтворюваністю.

Останні роботи Павлюк Р. [7] та Остапенко Т. [8] свідчать про потенціал наноматеріалів у застосуванні в тканинній інженерії. Нанорозмірні каркаси та субстрати пропонують особливі переваги для сприяння адгезії, проліферації та диференціації клітин. Разом з тим, зберігаються сумніви щодо довготривалої біосумісності та масштабованості цих підходів для клінічного застосування.

Незважаючи на те, що ці напрацювання показують трансформаційний потенціал нанотехнологій у біологічних дослідженнях, декілька не вирішених питань заважають їх подальшому впровадженню. Серед найважливіших проблем – потреба в стандартизованих методах визначення характеристик наноматеріалів, комплексних оцінках токсичності та нормативно-правовій базі, що регулює їхнє використання в біологічних умовах.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Інформаційною основою статті стали наукові доробки вітчизняних вчених у галузі нанотехнологій та біологічних досліджень.

У роботі використовуються аналітичні методи для аналізу поточних тенденцій та досягнень у застосуванні нанотехнологій у біологічних дослідженнях, з особливим акцентом на визначенні ключових викликів та можливостей.

Завдяки узагальненню у цій статті інтегруються різноманітні результати з існуючої наукової літератури для розробки всебічного огляду того, як нанотехнології змінюють методології та стратегії біологічних досліджень у подальшому.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Нанотехнології здійснили справжню еволюцію в біологічних дослідженнях, об'єднавши принципи фізики, хімії, інженерії та біології на нанорівні, який визначається розмірами від 1 до 100 нанометрів. Така інтердисциплінарна діяльність відкрила нові можливості для вивчення біологічних систем та розробки інноваційних рішень для різноманітних біомедичних проблем.

В основі нанотехнологій у біологічних дослідженнях закладена здатність маніпулювати та конструювати матеріали на нанорівні. Це включає розробку і синтез наноматеріалів зі специфічними властивостями, адаптованими для біологічних застосувань. Наночастинки, нанотрубки, нанодропи і квантові точки – це приклади наноматеріалів, які активно використовуються в біологічних дослідженнях завдяки своїм винятковим фізичним і хімічним характеристикам у цьому вимірі [8, с. 30].

Застосування наноматеріалів у біологічних дослідженнях є дуже різноманітним та ефективним. Одним із важливих напрямків є біовізуалізація, де флуоресцентні наночастинки використовуються як контрастні речовини для візуалізації клітин і тканин з високою роздільною здатністю. Такі наночастинки дають змогу науковцям візуалізувати клітинні структури і процеси з високою чіткістю і точністю, що полегшує вивчення складних біологічних явищ, таких як клітинна сигналізація, експресія генів і розвиток хвороб.

Нанотехнології відіграють важливу роль у сфері розробки ліків та лікування. Наночастинки можна функціоналізувати для інкапсуляції ліків, захищаючи їх від пошкодження та забезпечуючи цільову доставку до певних клітин чи тканин. Цей підхід підвищує ефективність медикаментів, одночасно зменшуючи побічні ефекти, що є значною перевагою над традиційними методами системного введення ліків.

Наноматеріали застосовуються в біосенсоріці для виявлення біомолекул і патогенних мікроорганізмів з високою чутливістю і специфічністю. Біосенсори на основі наноматеріалів забезпечують швидку і точну діагностику, що є важливим для раннього виявлення та моніторингу захворювань [9, с. 91].

Нанотехнології в біологічних дослідженнях мають багато переваг порівняно з традиційними методами. По-перше, нанорозмірність цих матеріалів дає змогу досліджувати взаємодії на молекуляр-

ному та клітинному рівнях, що забезпечує краще розуміння біологічних процесів. Такий точний контроль над процесами є особливо корисним при розробці біоматеріалів для тканинної інженерії та регенеративної медицини.

По-друге, нанотехнології дозволяють проводити мультиплексні аналізи та високопродуктивний скринінг завдяки малому розміру та великій площі поверхні наночастинок. Це прискорює відкриття нових ліків і біомаркерів, скорочуючи час і витрати на розробку препаратів.

Наноматеріали можуть імітувати структурні та функціональні властивості природних біомолекул, що полегшує створення матеріалів, розроблених на основі біотехнологій, з властивостями, пристосованими для конкретних застосувань. Так, наприклад, наноструктуровані каркаси можуть сприяти адгезії та росту клітин, що є важливим для регенерації тканин та технологій «орган-на-чипі».

Нанотехнологія відкриває нові можливості для неінвазивної діагностики та терапії. Наносенсори можуть виявляти біомаркери в біологічних рідинах, завдяки чому можна отримати важливу інформацію для діагностики та прогнозування захворювань без інвазивних процедур.

У середовищі новітніх технологій нові підходи в нанотехнологіях здійснюють цілу низку змін у різних галузях – від медицини до біології і не тільки.

Інноваційні методи дозволяють використовувати унікальні властивості наноматеріалів для вирішення складних завдань моніторингу біологічних процесів, доставки ліків, регенерації тканин та молекулярних досліджень у клітинах [1, с. 65].

Наносенсори – це трансформаційний інструмент для моніторингу біологічних процесів на клітинному та молекулярному рівнях у реальному часі. За допомогою цих невеликих сенсорів, зазвичай виготовлених з наночастинок або нанорозмірних матеріалів, можна виявляти специфічні біомолекули або зміни фізіологічних параметрів з високою чутливістю і точністю. Наприклад, флуоресцентні наносенсори можуть бути сконструйовані таким чином, щоб випромінювати сигнали при зв'язуванні з певними молекулами, даючи змогу дослідникам відстежувати біохімічні реакції або контролювати клітинну активність в живих тканинах. Ці можливості мають важливі наслідки для розуміння прогресування хвороб, реакції на ліки та впливу навколишнього середовища на біологічні системи.

Ще одним напрямком є використання наночастинок у цільовій доставці ліків. Наночастинки

можуть бути розроблені для інкапсуляції терапевтичних агентів, таких як ліки або нуклеїнові кислоти, захищаючи їх від деградації і забезпечуючи точну доставку до конкретних клітин або тканин. Функціоналізуючи наночастинок за допомогою цільових ланок, можна спрямовувати лікарські препарати в осередки захворювань, підвищуючи ефективність лікування та мінімізуючи системні побічні ефекти. Цей підхід має значні перспективи для персоналізованої медицини та покращення результатів лікування раку, інфекційних захворювань та хронічних захворювань [10, с. 9].

Наноімпланти розвиваються як трансформаційна стратегія для регенерації та відновлення тканин. Ці малі імпланти, що складаються з біосумісних наноматеріалів, можуть імітувати позаклітинний матрикс і забезпечувати структурну підтримку для сприяння росту і регенерації тканин. Наноімпланти можуть бути завантажені факторами росту, стовбуровими клітинами або генетичними матеріалами, щоб стимулювати процеси відновлення та регенерації тканин у місці пошкодження. Зокрема, нановолокнисті каркаси можуть сприяти регенерації кісткової, хрящової або нервової тканин, що є потенційним рішенням для лікування травматичних ушкоджень і дегенеративних захворювань.

Нанотехнологічні методи сприяють поглибленню знання про молекулярні механізми в клітинах. Нанорозмірні інструменти, такі як атомно-силова мікроскопія (АСМ) та методи одномолекулярної візуалізації, дозволяють дослідникам візуалізувати біомолекули та маніпулювати ними з високою точністю. АСМ може картографувати топографію і механічні властивості клітинних структур, тоді як методи мікроскопії надвисокої роздільної здатності дають змогу отримувати зображення з високою роздільною здатністю молекулярних взаємодій і динаміки в живих клітинах. Ці методи дозволяють отримати важливу інформацію про клітинні сигнальні шляхи, білкові взаємодії та механізми внутрішньоклітинного транспорту, що відкриває шлях до нових терапевтичних цілей та стратегій розробки лікарських засобів [10].

Інтеграція нанотехнологій у біологічні дослідження відкриває як широкі можливості, так і значні виклики, які необхідно подолати, щоб повністю розкрити потенціал цієї галузі (табл. 1). Технічні перешкоди, етичні міркування та майбутні перспективи – все це формує траєкторію розвитку нанотехнологій в біології.

Таблиця 1

Виклики використання нанотехнологій у біологічних дослідженнях нового покоління [11]

Виклики	Характеристика
1	2
Біологічна сумісність	Забезпечення того, щоб наночастинок не викликали токсичності або небажаних імунних реакцій при взаємодії з біологічними системами
Ефективність доставки	Досягнення цільової доставки наночастинок до конкретних клітин або тканин в організмі при мінімізації нецільових ефектів
Поглинання клітинами	Забезпечення ефективного поглинання наночастинок клітинами, що представляють інтерес, для здійснення бажаних біологічних ефектів або функцій візуалізації

1	2
Довготривала стабільність	Підтримання структурної та функціональної цілісності наночастинок у біологічних середовищах протягом тривалого часу
Регуляторне схвалення	Відповідність суворим регуляторним вимогам щодо безпеки та ефективності перед впровадженням нанотехнологій у клінічне застосування
Стандартизація методів	Створення узгоджених протоколів і методологій для синтезу, характеристики та застосування наноматеріалів у дослідженнях
Оцінка ризиків та управління ними	Виявлення та зменшення потенційних ризиків, пов'язаних із впливом наноматеріалів, їх утилізацією та впливом на навколишнє середовище
Масштабованість та вартість	Вирішення питань економічної ефективності та масштабованості нанотехнологій для забезпечення їх широкого впровадження та комерціалізації
Етичні та соціальні наслідки	Розгляд широких етичних та соціальних наслідків використання передових нанотехнологій у біологічних дослідженнях та медицині

Джерело: власна розробка авторів.

Однією з важливих технічних проблем є точний контроль і відтворюваність синтезу та визначення характеристик наноматеріалів. Створення однорідних наночастинок з певними властивостями, такими як розмір, форма і хімія поверхні, залишається складним завданням. Варіабельність синтезу може впливати на продуктивність і безпеку наноматеріалів, що вимагає жорстких заходів контролю якості для забезпечення узгодженості та надійності в біологічних застосуваннях.

Ще однією технічною перешкодою є створення ефективних стратегій таргетування наноматеріалів у біологічних системах. Досягнення селективної доставки наночастинок до певних клітин або тканин, уникаючи при цьому нецільових ефектів, має важливе значення для терапевтичного успіху та мінімізації потенційної токсичності. Розробка надійних лігандів-мішеней та оптимізація властивостей наночастинок для покращення поглинання клітинами і проникнення в тканини є актуальними завданнями в цій галузі [11, с. 15].

Етичні міркування, пов'язані з використанням нанотехнологій в біології, мають першочергове значення. Потенційні ризики, пов'язані зі створенням наноматеріалами, такі як вплив на навколишнє середовище, довгострокова безпека та непередба-

чувані наслідки для біологічних систем, потребують уважного оцінювання та регулювання. Забезпечення прозорості дослідницьких практик, вирішення суспільних проблем і встановлення етичних принципів відповідального розвитку і впровадження нанотехнологій є важливими для зміцнення довіри і прийняття нанотехнологій суспільством.

До того ж виникають етичні проблеми, пов'язані зі збалансованим розподілом досягнень нанотехнологій та доступом до інноваційних методів лікування. Вирішення питань цінової доступності, інклюзивності та відкритості у сфері охорони здоров'я та біотехнологій є необхідним для запобігання нерівності в отриманні вигоди від досягнень нанотехнологій [12, с. 98].

Перспективи нанотехнологій в біології є обнадійливими. Подальший розвиток розробки наноматеріалів, методів їх виготовлення та технологій візуалізації сприятиме інноваціям у сфері доставки ліків, діагностики, регенеративної медицини та персоналізованої охорони здоров'я. Наночастинки з багатофункціональними можливостями, такі як терапевтичні препарати в поєднанні з засобами візуалізації, мають великий потенціал для точної медицини і таргетованої терапії.

Таблиця 2

Перспективи використання нанотехнологій у біологічних дослідженнях нового покоління [11–12]

Перспективи використання	Характеристика
1	2
Покращена цільова обробка та доставка ліків	Наночастинки можуть бути сконструйовані таким чином, щоб доставляти ліки точно до певних клітин або тканин, підвищуючи ефективність та зменшуючи побічні ефекти
Покращена візуалізація та діагностика	Нанорозмірні зонди та контрастні речовини дозволяють отримувати зображення з високою роздільною здатністю для раннього виявлення захворювань та точної діагностики
Регенеративна медицина	Наноматеріали можуть підтримувати регенерацію тканин, створюючи каркаси або забезпечуючи доставку факторів росту і стовбурових клітин до пошкоджених ділянок
Точна медицина	Нанотехнології дозволяють проводити персоналізоване лікування, пристосоване до індивідуальних генетичних профілів і особливостей захворювання

Закінчення таблиці 2

1	2
Біосенсори та визначення	Наносенсори забезпечують чутливе виявлення біомаркерів, патогенів або факторів навколишнього середовища в реальному часі, що має важливе значення для досліджень
Терапевтичні інновації	Нанотехнології, такі як інструменти для редагування генів або РНК-інтерференції, відкривають нові шляхи для лікування раніше невиліковних захворювань
Мініатюризація та автоматизація	Нанопристрої дозволяють зменшувати розміри експериментальних установок і автоматизованих процесів, підвищуючи ефективність і знижуючи витрати
Біологічні інтерфейси та імплантати	Наноструктуровані матеріали можуть покращити біосумісність імплантатів та інтерфейсів, що полегшує інтеграцію з біологічними системами
Відновлення довкілля	Наночастинки можна використовувати для цілеспрямованого видалення забруднювачів і токсинів з ґрунту, води та повітря, допомагаючи в очищенні довкілля
Інноваційні технології	Нанотехнології стимулюють інновації в таких галузях, як синтетична біологія, біоінформатика та нейротехнології, що сприяє просуванню біологічних досліджень

Джерело: власна розробка авторів.

До того ж поєднання нанотехнологій зі штучним інтелектом, робототехнікою та аналітикою великих даних зробить справжню революцію в біологічних дослідженнях і прискорить розробку нових терапевтичних методик. Нанорозмірні пристрої, здатні здійснювати моніторинг і впливати на біологічні системи в режимі реального часу, можуть відкрити нову епоху персоналізованої, адаптивної медицини.

У цій галузі співпраця між різними дисциплінами – від хімії та інженерії до біології та медицини – матиме вирішальне значення для втілення фундаментальних відкриттів у практику. Інвестиції в дослідницьку інфраструктуру, підготовку кадрів та міждисциплінарну освіту сприятимуть інноваціям та комерціалізації нанотехнологій для біологічного та медичного застосування.

ВИСНОВКИ

Отже, нанотехнології трансформували біологічні дослідження, забезпечивши потужні інструменти для зондування, маніпулювання та інженерії біологічних систем на нанорівні. Інтеграція наноматеріалів у різні аспекти біологічних досліджень розширила можливості вивчення фундаментальних біологічних процесів і призвела до розробки нових діагностичних, терапевтичних і регенеративних рішень зі значними перевагами над традиційними

методами. Із подальшим розвитком цієї галузі вплив нанотехнологій на біологію та медицину зростатиме в рази, відкриваючи інноваційні підходи до вирішення поточних і майбутніх біомедичних проблем.

Таким чином, нові підходи і технології в нанотехнологіях сприяють трансформаційному прогресу в багатьох галузях науки. Наносенсори дозволяють здійснювати точний моніторинг біологічних процесів, наночастинки змінюють спосіб адресної доставки ліків для покращення терапевтичних результатів, наноімплантати пропонують інноваційні рішення для регенерації та відновлення тканин, а нанотехнологічні методи дають змогу отримати небувалі знання про молекулярні механізми в клітинах. Розвиваючись і зближуючись, ці технології мають величезний потенціал для революційних змін в охороні здоров'я, біотехнологіях і фундаментальному вивченні життя на нанорівні.

Незважаючи на існуючі проблеми, перспективи нанотехнологій в біології є величезними і трансформаційними. Подолання технічних перешкод, врахування етичних міркувань та міждисциплінарна співпраця стануть ключовими факторами для реалізації повного потенціалу нанотехнологій для просування біологічних досліджень, покращення результатів охорони здоров'я та формування майбутнього медицини.

ЛІТЕРАТУРА

- Ніщененко, М. П., Панько, Я. І., Смельяненко, А. А. Застосування нанотехнологій в ветеринарній медицині та ветеринарній фізіології (оглядова стаття). *Аграрний вісник Причорномор'я*, 2018, 91, с. 57–67.
- Горбик, П. П. Медико-біологічні наноконструкції з функціями нанороботів: стан досліджень, розробок та перспективи

практичного впровадження. *Хімія, фізика та технологія поверхні*, 2020, 11 (1), с. 128–143. DOI: 10.15407/hftp11.01.128.

- Базилук, Ж. Еволюція методів секвенування ДНК та перспективи їх використання в судовій молекулярно-генетичній експертизі. *Молодий вчений*, 2020, 11 (87), с. 123–127. DOI: 10.32839/2304-5809/2020-11-87-27.
- Коць, С. Я. Біологічна фіксація азоту: досягнення та перспективи розвитку. *Фізіологія рослин та генетика*, 2021, 53 (2), с. 128–159.

5. Манічева, Н. В., Манічева, А. В., Трапезникова, О. С. «Біонічні гриби» – новий спосіб отримання електроенергії за допомогою бактерій і нанотехнологій. *Фізика та медицина у сучасному житті*, 2020, 6, с. 57–60.
6. Zhylin, M., Mendelo, V., Karpenko, Y., Samara, O., Kampi, Y. Mental and Behavioural Disorders as a Result of Using Alcohol and Psychoactive Substances. *Revista de Cercetare si Interventie Sociala*, 2023, 81, p. 117–128. DOI: 10.33788/rcis.81.7.
7. Павлюк, Р. Ю., Погарська, В. В., Михайлов, В. М., Погарський, О. С., Тельонков, О. Є., Лосева, С. М. Визначення комплексу БАР хлорофіловмісних овочів та розробка нанотехнологій продуктів для здорового харчування. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, 2018, 1, с. 55–78.
8. Остапенко, Т. Г. Характеристики глобальної економіки нанотехнологій. *Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки*, 2018, 1 (28), с. 27–31.
9. Пахолок, О. В., Пушкар, Г. О., Галик, І. С., Семак, Б. Д. Роль нанотехнологій у розвитку текстильної наоосвіти в Україні. *Товарознавчий вісник*, 2022, 1 (15), с. 79–93. DOI: 10.36910/6775-2310-5283-2022-15-7.
10. Бутко, Б. О. Тенденції розвитку світового ринку нанотехнологій та нанопродукції. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*, 2019, 30 (69), с. 7–12. DOI: 10.32838/2523-4803/69-4-2.
11. Остапенко, Т. Г. Розвиток нанотехнологічних досліджень як фактор активізації міжнародних торговельних відносин. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління*, 2021, 32 (71), с. 9–19. DOI: 10.32838/2523-4803/71-1-2.
12. Бурак, В. Г. Оптимізація технологічних процесів при виробництві комбінованих продуктів та підвищення якості сировини. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 2018, 1, с. 92–102.
13. Баюрко, Н. В., Нікітченко, Л. О. Формування інтелектуальних умінь учнів на уроках біології засобами сучасних інформаційно-комунікаційних технологій. *Актуальні питання сучасної біологічної науки та методики її викладання*, 2022, 1, с. 98–108.