



**ПРОКОПЕНКО**  
**Віталій Анатолійович** —  
доктор технічних наук, директор  
Інституту біоколоїдної хімії  
ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України

## ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ТА ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ СУЧАСНОЇ БІОКОЛОЇДНОЇ ХІМІЇ

### Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 14 червня 2023 року

*У доповіді зазначено, що фундаментальні та прикладні дослідження, які виконуються в Інституті біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України, становили підґрунтя для створення нового перспективного технологічного напрямку — колоїдної біотехнології. Також розроблено інноваційні технологічні рішення, методи, методики та матеріали, які мають застосування в різних галузях — в екології, біогеохімії, матеріалознавстві, наномедицині, ветеринарії тощо.*

Вельмишановний Анатолію Глібовичу!  
Вельмишановні присутні!

Вивчення властивостей та станів біологічних систем, насамперед клітин, у процесах їх взаємодії з мінеральними фазами мікро- та нанорозмірів привело до відкриття явища вибіркової гетерокоагуляції мінеральних колоїдних частинок з мікроорганізмами, а також явища дифузюфорезу, які в реєстрі Держкомвинаходів зареєстровані як відкриття під № 361 і № 376 відповідно.

Результати фундаментальних досліджень цих явищ становили основу нового розділу колоїдної науки — біоколоїдної хімії, яка ґрунтується на базових уявленнях про колоїди. Біоколоїдні процеси, однак, визначаються чотирма факторами, що принципово відрізняють їх від традиційних:

1) наявність дисперсної фази клітин і біополімерів та висококонтентованого і складного за вмістом електроліту дисперсійного середовища (як, наприклад, у плазмі крові);

2) складна, комплексна природа (білки, ліпіди тощо) зовнішньої оболонки біологічних клітин і мікроорганізмів, які цією оболонкою контактують одні з одними та/або з мінеральними частинками через відповідні приповерхневі структури і дисперсійне середовище;

3) безперервна зміна складу дисперсійного середовища в результаті життєдіяльності «живих» дисперсних фаз — клітин і мікроорганізмів;

4) наявність реакції (відгуку) живих клітин та мікроорганізмів на зміну навколишнього — дисперсійного — середовища,

яка у свою чергу викликає нові зміни цього середовища за складом та структурою приповерхневих утворень, що значною мірою впливає на будову і властивості такої біоколоїдної системи в цілому.

Ці чотири фактори визначають основний зміст біоколоїдної хімії — вивчення процесів взаємодії між об'єктами живої та неживої природи, на чому, як одному з ключових питань, акцентував увагу академік В.І. Вернадський.

Концепція, яка лежить в основі механізмів біоколоїдних процесів, ґрунтується на закладеній природою селективній взаємодії біологічних клітин з колоїдними мінеральними частинками. Ця концепція вперше дала змогу розглянути в комплексі такі процеси, як:

- спрямований рух мінеральних частинок поблизу живої клітини — дифузіїфорез;
- зворотну і незворотну адгезію мінеральних частинок на поверхні клітини;
- проникнення мінеральних частинок усередину клітини через плазматичну мембрану і «вбудовування» їх у клітинні структури.

Дослідження цих процесів та їх механізмів дозволили сформулювати поняття металофільності як генетично детермінованої властивості, що відображає систему взаємодій клітин з мікро- і наночастинками мінеральної природи і включає:

- здатність клітин акумулювати (в тому числі й селективно) метали в кількостях, які значно перевищують їх кількості у навколишньому середовищі;
- прояв металорезистентності клітин мікроорганізмів;
- нездатність клітин мікроорганізмів розвиватися в середовищах, позбавлених певних металів.

У сукупності ці уявлення дозволили розробити методологічні принципи низки прикладних напрямів та інноваційні рішення у гірничозбагачувальній галузі, агропромислового виробництва, екологічній безпеці, охороні здоров'я та ветеринарії.

Напрямок «колоїдні біотехнології» — це створення і використання у промисловості біотехнологічних процесів збагачення металів, таких

як золото, платина, вольфрам, ніобій тощо, з руд та іншої дисперсної сировини. Ми створили технологію «Біоселект», на основі якої можна розробляти процеси вилучення-збагачення широкого кола об'єктів металургії та гірничозбагачувального комплексу. За цією технологією спеціально розробленими методами можна отримувати асоціати мікроорганізмів, які використовуються як високоселективні флокулянти та сорбенти в стандартних процесах флотації при вилученні, зокрема, золота (апробовано на двох золотовидобувних фабриках), оксиду вольфраму (апробовано на кавказькому Тирніаузькому ГЗК). Цю технологію запропоновано також як альтернативу гравітаційному процесу на Мужіївському золоторудному родовищі в Україні. Додавання ~20 г мікроорганізмів на тону руди в стандартному технологічному процесі флотаційного збагачення дозволяє підвищити ступінь вилучення золота на 5—20 %, а оксиду вольфраму — на 5—10 %. Цю технологію можна також застосовувати для вилучення радіонуклідів, широкого кола токсичних сполук з природних і техногенних вод.

В іншій розробленій нами технології «Біоцитан» втілено закономірності переведення мікроорганізмами іонів металів в окремі дисперсні фази для мікробіологічного руйнування особливо токсичних реагентів — ціанідів та роданідів як компонентів викидних технологічних розчинів гідрометалургії з одержанням додаткових кількостей металів, які в іншому разі втрачаються.

Ще одним цікавим, на наш погляд, рішенням є створення ферумвмісних біокомпозитів на основі клітин, наприклад мікроводорості (*Chlorella vulg.*), та ферумоксигенвмісних мінеральних фаз, утворених цими клітинами як на своїй поверхні, так і всередині за рахунок відновної сорбції феруму з водних розчинів солей заліза.

Такий біокомпозит здатний вилучати, наприклад, дисперсне золото з руди. Він може акумулювати частинки золота як мембраною, так і ферумоксигенвмісними фазами, а також дає змогу вилучати утворений агрегат за допо-

могою магнітної сепарації з високими показниками (85 % мас. і більше).

На превеликий жаль, усі зазначені вище практичні розробки, незважаючи на те, що деякі з них було доведено навіть до промислового впровадження, з відомих політичних та економічних причин не отримали подальшого логічного розвитку. Однак з огляду на те, що частина вчених і фахівців, які брали участь у їх створенні, ще активно працюють, ми сподіваємося, що якраз зараз є шанс, що напрацьований досвід у цій галузі може бути ефективно втілений в життя.

З'ясування первинних механізмів акумуляції металів або їх сполук, вибірковість процесу, а також перехід до нанорозмірних систем дали змогу встановити механізми процесів взаємодії наночастинок деяких металів (Au, Ag, Fe, Bi, Cu, Se та ін.) з різними за природою клітинами (еукаріотичними та прокаріотичними), їх структурами і компонентами.

За цим напрямом в Інституті біологічної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України проводять роботи, спрямовані на розроблення:

- засобів діагностики та цільової терапії онкологічних захворювань з використанням наночастинок металів;
- високоефективних комплексних метало-вмісних імунобіологічних препаратів (пробіотиків, вакцин тощо);
- фармпрепаратів на основі наночастинок металів для лікування туберкульозу, сепсису, нозокоміальних інфекцій;
- наноконструкцій з використанням наночастинок золота для цільової доставки кардіотропних та антиапоптозних препаратів;
- технологій застосування та впровадження в практику фармпрепаратів на основі наночастинок металів;
- протианемійного препарату на основі наночастинок заліза.

Крім того, ми проводимо сертифікацію наночастинок металів як біологічно активних субстанцій відповідно до норм ЄС.

Результати досліджень засвідчили широкий спектр біологічної активності нанорозмірних частинок, синтезованих ученими нашого Ін-

ституту. Особливу роль відіграють наносистеми на основі золота і срібла. Ми навчилися отримувати їх зразки різних геометричних форм, різних розмірів, що є важливим, а іноді й принциповим для фармакологічних властивостей таких систем та їхньої біобезпечності. Розроблено також пакет нормативних документів щодо одержання нанорозмірних частинок та контролю їх біологічної безпечності.

Це уможливило формування нових унікальних підходів до ключових проблем наномедицини, нанобіотехнологій та нанофармації. Насамперед це боротьба із соціально небезпечними захворюваннями — туберкульозом, септичними ураженнями та ін., ризики активного поширення яких у воєнний та повоєнний час є доволі великими. Так, в Інституті розроблено активні субстанції для лікування туберкульозу, зокрема його резистентних форм, на основі наночастинок металів та їх кон'югатів з ізоніазидом. Для цього було синтезовано біобезпечні наночастинок металів з високою туберкулоцидною активністю щодо клінічних ізолятів. Роботи в цьому напрямі активно продовжуються.

Крім того, ми працюємо над створенням методів подолання антибіотикорезистентності бактерій — збудників інфекційних хвороб людини і тварин із застосуванням нанобіокомпозитного матеріалу на основі лактобактерій і біогенних наночастинок срібла у складі пробіотика.

В Інституті розроблено засоби з нанорозмірними частинками для потреб медицини, ветеринарії, косметології. Зокрема, експериментальний препарат «Nano-Ag/Au» показав значно більшу ефективність порівняно з препаратами на основі декаметоксину та хлоргексидину біглюконату, до того ж він істотно прискорює відновлення кісткової тканини при переломах, зокрема при щелепно-лицевих травмах. Іншими прикладами є протианемійний препарат «Нанофер», біостимулятор для росту птиці на основі наночастинок вісмуту «Нановіс-К», лінійка аплікаційних лікувальних і реабілітаційних засобів «Пелосид» на основі глибоководних донних пелітових від-

кладень Чорного моря, зразки лікувальної косметики з наночастинками Au, Ag, ZnO (бальзами для губ, креми, УФ-фільтри для шкіри).

Ще одна цікава наша розробка медичного призначення — це кровоспинний засіб «Коагулокс+», який ми випустили дослідними партіями й отримали позитивні висновки кількох експертних центрів. Цей препарат характеризується прискороною кровоспинною, антибактеріальною та регенеративною дією.

На основі гібридних гідрогелів створено матеріали для протиопікової терапії, проведення відновних та реконструктивних імплантаційних операцій в окулоорбітальній ділянці та на обличчі загалом, що зараз є особливо актуальним через значне збільшення кількості пацієнтів з такими травмами, що постраждали внаслідок бойових дій.

Інша розробка для військової та цивільної медицини — біокомпозитний матеріал на основі синтетичного гідроксиапатиту та  $\beta$ -трикальційфосфату для відновлення кісток при лікуванні чи протезуванні травмованих кінцівок. Створено модельні імплантати з регульованою швидкістю резорбції та високими антибактеріальними властивостями і розроблено одностадійний технологічний процес одержання гранульованого матеріалу.

Встановлено, що наночастинки можуть бути активними модуляторами метаболізму мікробіоти. На реальних системах, у тому числі промислових штаммах бактерій *Clostridium* та *E. coli*, спільно з Інститутом ветеринарної медицини НААН України ми провели дослідження, які довели, що нанорозмірні сферичні частинки міді (20 нм) та заліза (40 нм) зумовлюють приріст біомаси більш ніж утричі. Це відкриває шлях до суттєвої інтенсифікації процесу, який є визначальним у виробництві промислових мікроорганізмів — продуцентів ветеринарних імунобіологічних засобів (вакцин, пробіотиків тощо). Це дуже важливо для повоєнного відновлення обсягів виробництва продукції тваринництва.

Не можу обійти увагою і таку важливу тему наших досліджень, як діагностика захворювань та біосенсорика. Встановлено, що вико-

ристання нанопризм золота, модифікованих полісахаридами, є ефективним для біодетекції ракових клітин та біополімерів, як супутників різних захворювань. Річ у тім, що нанокристали золота, модифіковані полісахаридами, селективно агрегують з раковими клітинами. Темнопольна оптична мікроскопія завдяки плазмонному резонансу дозволяє досить легко визначити ракові клітини, агреговані з кристалами, оскільки вони яскраво світяться.

Наночастинки золота різної геометрії дозволяють створити нанокompозити та наноплівки, які значно підвищують ефективність роботи електрохімічних сенсорів для детектування метаболітів, пов'язаних із соціально значущими захворюваннями людини. Розроблено оптичні біо- та наносенсори з високою чутливістю і великою швидкістю відгуку на вископатогенні бактерії. Принцип їх дії ґрунтується на специфічних хромогенних реакціях наночастинок металів з патогенними бактеріями, що пришвидшує реакцію у 6 разів і забезпечує вищу чутливість порівняно з контролем.

Створено пристрій для кількісного визначення концентрацій коліформних бактерій, а також відповідне програмне забезпечення, яке можна встановити на смартфоні.

Ще один важливий результат — наночастинки в комплексі з ферментами (зокрема, глюкозооксидазою) на поверхні планарних електродів істотно підвищують чутливість і специфічність визначення аналітів на стандартних приладах. Учені нашого Інституту створили низку експресних біосенсорних аналізаторів стану ґрунтів за показниками забрудненості та якості харчових продуктів. Серед переваг таких аналізаторів — портативність, експресність (загальний час аналізу відібраних проб не перевищує 30 хв), низька собівартість, відсутність потреби у спеціально навченому персоналі та високий рівень чутливості. Ці мобільні прилади для експрес-аналізу можуть стати важливим елементом у роботі військової санітарної служби та відповідних агроекологічних служб.

На жаль, в Україні значні площі продуктивних земель є виснаженими, забрудненими

токсичними речовинами, мають зруйновану структуру. В Інституті створено нанокompозити та розроблено відповідні процеси ремедіації деградованих і малопродуктивних земель. Ми запропонували нанобіосубстрати, створені на основі гумінових та фульвокислот, поліметалевих наночастинок та екзополімерів, які серед іншого характеризуються високою структуротвірною здатністю.

Крім того, розроблено і перевірено в промислових умовах біоколоїдний процес екоконверсії мулових відходів у гелеві нанокompозитні субстрати для рослинництва. Цю безвідходну «зелену» технологію повної утилізації мулових осадів можна застосовувати на станціях біоочищення муніципальних стічних вод з одночасним одержанням комплексу матеріалів для ремедіації ґрунтів.

Ще один напрям розробок Інституту пов'язаний з процесуванням харчових продуктів. Застосування імпульсної електрообробки біомаси збільшує вихід продукції більш як на 50 %, забезпечує високу якість і чистоту екстрактів, зменшує їх деградацію, час процесування, витрати енергії та знижує вплив на довкілля.

Результати зазначених вище робіт узагальнено у понад 400 наукових публікаціях, як правило, у виданнях високого міжнародного рівня. Серед них — 17 колективних монографій, 12 з яких англомовні. Прикладні розробки захищено близько 100 патентами, в тому чис-

лі й закордонними. Отримані нами результати регулярно доповідаються на вітчизняних і міжнародних наукових конференціях і симпозиумах.

Стратегія подальшого розвитку Інституту біоколоїдної хімії ім. Ф.Д. Овчаренка НАН України відповідає пріоритетним напрямам розвитку науки і техніки України на 2018—2024 рр. і перебуває у руслі сучасних світових наукових тенденцій. Ми також враховуємо реалії сьогодення, намагаючись переорієнтуватися на потреби воєнного та повоєнного часу, зосередившись на таких основних наукових напрямках:

- біоколоїдна хімія природних та синтетичних дисперсних систем і матеріалів, біоекологія, біосенсорні системи, наномедицина;
- фізична та колоїдна хімія дисперсних матеріалів, нанорозмірні колоїдні системи та наноматеріали, макрокінетика і фрактальні властивості дисперсних систем;
- біотехнології збагачення мінеральної сировини та захисту навколишнього середовища, колоїдно-хімічне матеріалознавство, принципи, методи і технології одержання наноматеріалів та їх практичне використання, насамперед для військових потреб і завдань повоєнного відновлення країни.

Дякую за увагу!

*За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик*

Vitalii A. Prokopenko

*F.D. Ovcharenko Institute of Biocolloidal Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8708-6502>

#### FUNDAMENTAL AND APPLIED ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF MODERN BIOCOLLOIDAL CHEMISTRY

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, June 14, 2023

The report states that fundamental and applied research carried out at the F.D. Ovcharenko Institute of Biocolloidal Chemistry of the NAS of Ukraine formed the basis for the creation of a new promising technological direction — colloidal biotechnology. Innovative technological solutions, methods, techniques and materials which are used in various fields — environmental science, biogeochemistry, materials science, nanomedicine, veterinary medicine, etc. have also been developed.

**Cite this article:** Prokopenko V.A. Fundamental and applied aspects of the development of modern biocolloidal chemistry. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (8): 74–78. <https://doi.org/10.15407/visn2023.08.074>