



ЗА ПІДСУМКАМИ РОКУ

Інтерв'ю з Президентом НАН України академіком А.Г. Загороднім

— **Анатолію Глібовичу, як 2021 рік минув для Академії? Якими важливими подіями запам'ятався?**

— Минулий рік важко назвати райдужним і безтурботним, але, на щастя, він відзначився не тільки труднощами, а й успіхами та приємними подіями.

Що стосується внутрішнього життя Академії, то минулої весни вона отримала гідне поповнення персонального складу новими членами — було обрано 30 академіків і 73 члени-кореспонденти, а також 27 іноземних членів. Всі вони — провідні фахівці у своїй галузі. Новообрані академіки і члени-кореспонденти представляють різні регіони України, як академічні, так і позаакадемічні установи. Суттєво зменшився середній вік членів Академії, а ще серед обраних кандидатів значно більше жінок, ніж будь-коли за весь час існування Академії.

Також протягом минулого року відбулися вибори директорів у понад 50 інститутах. Близько половини цих нових директорів обрано вперше.

Академія долучилася до відзначення важливої для нашої держави події — 30-ї річниці Незалежності. З цієї нагоди ми провели ювілейну сесію Загальних зборів, де представили здобутки вітчизняної академічної науки та внесок наших учених у розвиток України. Було проведено й інші заходи — конференції, круглі столи тощо, видано низку наукових праць, присвячених становленню України як суверенної та незалежної держави. 30-річчю нашої Незалежності присвячена підготовлена нашими соціогуманітаріями Національна доповідь «Україна як цивілізаційний суб'єкт історії та сучасності».

До Дня Незалежності першого віцепрезидента Національної академії наук України академіка Володимира Павловича Горбуліна було відзначено найвищою державною нагородою — званням Герой України з врученням ордена Держави. Його заслуги перед Українською державою важко переоцінити.

Не можу не відзначити і те, що минулого року вперше була присуджена Національна премія України імені Бориса Патона. Як відомо, вона була заснована замість Державної премії Укра-

їни в галузі науки і техніки. І ось наприкінці минулого року Указом Президента України було оголошено перших лауреатів цієї Премії. Серед авторських колективів премійованих робіт багато науковців нашої Академії.

Ще одна важлива подія для Академії. Минулого року на базі дванадцяти наших інститутів і Київського академічного університету було започатковано Асоціацію академічного співробітництва «Академ.Сіті». Це крок до створення за підтримки Федерального міністерства освіти і наукових досліджень Німеччини наукового парку «Академ.Сіті». Його мета — об'єднати академічну науку та бізнес-середовище і забезпечити їх ефективну взаємодію у сфері розвитку високих технологій.

Вдалося й дещо оновити та осучаснити об'єкти дослідницької інфраструктури. Відкрито лабораторію полімерного матеріалознавства в Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона. У НТК «Інститут монокристалів» завершено повну комплектацію обладнання Центру з контролю якості лікарських засобів, де за унікальними для України методами перевіряють якість вітчизняних і зарубіжних фармпрепаратів. В Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича розпочато створення матеріалознавчого центру з оцінки відповідності та взаємозамінності матеріалів критичного імпорту. В Інституті молекулярної біології і генетики створюється сучасна лабораторія для роботи з інфекційними матеріалами. До речі, у бюджеті Академії на 2022 р. закладено триразове збільшення видатків на придбання сучасного обладнання та модернізацію наявного.

Ще одна вага як для Академії, так і для держави в цілому подія — фізичний пуск ядерної підкритичної установки «Джерело нейтронів», яка має стати основою створення сучасної експериментальної бази для наукового супроводу ядерної енергетики України, а також для досліджень з нейтронами в галузі ядерної фізики й енергетики, радіаційної медицини, радіаційного матеріалознавства, виробництва медичних ізотопів. Наприкінці березня цього року заплановано провести в Харкові міжна-

родну нараду МАГАТЕ з ядерних підкритичних систем за участю фахівців з 30 країн світу, де буде обговорено можливість створення на базі «Джерела нейтронів» міжнародного наукового центру з ядерної фізики та медицини.

— Розкажіть, будь-ласка, якими найвагомішими науковими результатами відзначився минулий рік.

— Отримано чимало результатів дійсно високого рівня. Передусім це стосується фундаментальних досліджень.

Вчені Інституту математики у співпраці із зарубіжними колегами побудували базисні розв'язки рівняння Клейна—Гордона, які дозволять ефективно описувати осциляційні процеси. Цей проривний результат опубліковано у статті дуже престижного у світі журналу «Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America». До речі, це перша стаття з математики, опублікована в цьому виданні авторами з країн колишнього СРСР.

У Математичному відділенні Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна доведено висунуту більш ніж 30 років тому гіпотезу універсальності локального розподілу власних значень для моделі випадкових стрічкових матриць, яка є аналогом славнозвісної гіпотези Андерсона про фазову границю між зонами локалізації та делокалізації в моделі магнетиків з випадковим потенціалом.

Вчені Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова вперше у світі створили теорію інтегрування швидкоосцилювальних функцій, що дасть змогу підвищити стійкість стеганоалгоритмів у галузі кібербезпеки та захисту інформації. Крім того, результати можуть використовуватися при розв'язанні високоточних задач з цифрової обробки сигналів і зображень.

Науковці Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем отримали результат світового рівня в теорії штучного інтелекту, а саме здійснили нове доведення теореми Неймана про сідлову точку (визначення мінімаксу), яке, на відміну від наявних, має велике практичне значення

для вирішення низки складних задач не лише в розпізнаванні, а й в економіці, прикладній механіці, електротехніці та інших прикладних галузях. Здійснене доведення пройшло сувору експертизу і було прийнято до публікації в журналі Американської математичної асоціації «American Mathematical Monthly», заснованому ще наприкінці XIX ст.

Науковці Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова створили фізичні застави нового напрямку в мікроелектроніці — так званої «долиноелектроніки», який базується на присутності в електронних спектрах багатьох напівпровідників різних мінімумів — долин, у яких можуть накопичуватися електрони або дірки. Керування долинами шляхом застосування зовнішніх чинників — електричного або магнітного поля, деформації, температури — дозволяє обирати найбільш зручні шляхи руху зарядів, чим створюються великі струми за мінімальних напруг.

Ще один дуже важливий результат належить нашим фізикам-теоретикам. Як відомо, релятивістське квантове рівняння, яке встановило існування в електрона власного механічного моменту — спіну, було винайдено Полем Діраком ще у 1928 р. Але досі не було виконано аналіз розподілу спіну в різних станах, наприклад, атома гідрогену. В Інституті теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова шляхом тонкого симетричного аналізу цього рівняння для руху електрона в кулонівському полі ядра було знайдено точні розв'язки рівняння Дірака, встановлено напрямки спінів у різних квантових станах гідрогену та запропоновано експерименти для перевірки передбачень теорії.

Дуже нетривіальний результат отримано в Донецькому фізико-технічному інституті ім. О.О. Галкіна, де вперше показано, як рівномірний зсув одних областей металевих зразків перетворюється на турбулентний, при цьому виникає перемішування різних областей металу. Фактично йдеться про екологічно чисту «твердофазну металургію», особливості якої лише починають вивчатися. Вона не зможе замінити традиційну, але, безумовно, є надзвичайно перспективною для отримання кон-

струкційних і функціональних матеріалів малих розмірів, а головне — для медицини.

Нарешті, не можемо не відзначити здобутки Радіоастрономічного інституту, в якому досягнуто рекордних результатів з вимірювання енергій станів сильно збуджених атомів, що допомогло відкрити міжзоряні середовища з холодною плазмою та зробити висновки щодо вирішального впливу вуглецю на еволюційні процеси в Галактиці.

У рамках міжнародного експерименту CUPID-Mo, метою якого був пошук безнейтринного подвійного бета-розпаду ядра молибдену-100, за участі науковців Інституту ядерних досліджень отримано одне з найбільш жорстких обмежень на масу нейтрино Майорани на рівні 0,5 еВ. Цей результат буде використано в розробленні нових теорій розширень Стандартної моделі елементарних частинок. Крім того, досягнута чутливість показує можливість проведення великомасштабного експерименту наступного покоління CUPID, заснованого на подібних методах реєстрації ефекту подвійного бета-розпаду і спрямованого на дослідження природи і властивостей нейтрино на недосяжному раніше рівні чутливості.

Учені Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського розробили новий метод синтезу наноматеріалів електричним вибухом. Уперше без використання допоміжних речовин створено нові типи каталітичних плазмових нанопокриттів з триоксиду вольфраму на нержавіючій сталі. Такі нанопокриття є вкрай важливими при розробленні касетних каталізаторів для каталітичного спалювання метану в газотурбінних установках типу XONON.

В Інституті фізіології ім. О.О. Богомольця з використанням створеного вченими Інституту програмних систем спеціалізованого комп'ютерного симулятора для дослідження гіпотез розвитку есенціальної (первинної) гіпертонії отримано результат світового рівня, зокрема висновок про те, що первинна гіпертонія є компенсаторною реакцією організму на погіршення обміну речовин у клітинах, яке найчастіше зумовлене віковим накопичуван-

ням мутацій у мітохондріях клітин. Цей науковий результат може стати імпульсом для створення ефективних технологій профілактики та лікування первинної гіпертонічної хвороби.

Упродовж минулого року отримано чимало здобутків і у сфері соціогуманітарних досліджень. Історики дослідили регіональні стратегії соціокультурного розвитку України в контексті євроінтеграційних процесів ХХ—ХХІ ст., визначили геополітичні чинники, що зумовлюють регіоналізацію країни, проаналізували специфічні особливості територіальних соціумів та регіональних ідентичностей. Політологи провели аналіз процесів трансформації політичного режиму в Україні за період незалежності, дослідили проблеми становлення конституційної моделі публічної влади, конституційно-правові проблеми децентралізації публічної влади.

Вийшли друком окремі томи та багатомники енциклопедичних, хрестоматійних видань. Наприклад, підготовлений співробітниками Інституту історії України тритомник «Україна. Нариси історії». До 30-річчя Незалежності України в Інституті політичних і етнонаціональних досліджень ім. І.Ф. Кураса вийшла друком колективна монографія «Політичний процес у незалежній Україні: підсумки і проблеми». Побачив світ наступний, 23-й том «Енциклопедії сучасної України». Це видання, над яким працюють науковці багатьох академічних інститутів спільно з ученими галузевих академій наук та закладів вищої освіти України, належить до числа пріоритетних гуманітарних проєктів Академії. Видавництво «Фоліо» завершило випуск фундаментальної праці Інституту народознавства «Церковне мистецтво України». Минулого року видано другий і третій її томи, присвячені образотворчому і декоративному мистецтву. Знаковою подією у гуманітаристиці стала і поява другої книги 7-го тому нової академічної 12-томної «Історії української літератури». Серед фундаментальних лексикографічних проєктів, реалізованих установами Академії, відзначу черговий, 12-й том 20-гомого «Словника української мови».

— Чи були серед минулорічних результатів розробки більш практичного спрямування, такі, що плануються до впровадження найближчим часом або вже впроваджені у виробництво?

— Звісно! І таких результатів було чимало. Так, в Інституті технічної механіки розроблено і виготовлено комплекс наукової апаратури для дослідження стану замагніченої плазми в іоносфері Землі. Ця апаратура встановлена на українському супутнику «Січ-2-30», який було виведено на орбіту 13 січня ракетою Falcon 9 компанії SpaceX.

Для підвищення ефективності відпрацювання крутих викидонебезпечних вугільних пластів та забезпечення безпеки праці гірників Інститутом геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова вдосконалено і впроваджено спосіб гідроімпульсного розпушування таких пластів. Метод використовується для запобігання раптовим викидам вугілля і газу на шахті «Центральна» ДП «Торецьквугілля». Також на його основі розробляється галузевий стандарт, який дозволить підвищити рівень безпеки праці і ведення гірничих робіт.

В Інституті електрозварювання ім. Є.О. Патона виготовлено та випробувано макет компактного багатоцільового апарата, який генерує короткі високочастотні імпульси високої потужності і може бути прототипом для розроблення обладнання для руйнування клітин злоякісних пухлин з неповерненням онкологічного процесу. Також у цьому інституті виготовлено й випробувано в лабораторних умовах макети нових електрохірургічних інструментів для видалення кальційних утворень із магістральних судин та розроблено рекомендації з впровадження розробок у медичну практику України.

В Інституті проблем матеріалознавства ім. І.М. Францевича розроблено сплави на основі TiAl для лопатей турбін авіадвигунів нового покоління. Отримані сплави поєднують високу міцність і жароміцність за температур 700 і 750 °С з доброю пластичністю та тріщиностійкістю. В цьому ж інституті створено ультрависокотемпературну кераміку для авіакосмічної

техніки, газотурбінних двигунів тощо. За робочої температури 1800–2000 °С подібний матеріал має міцність близько 800 МПа та високу стійкість до окиснення. Ринок таких матеріалів у США, Китаї становить сотні мільйонів доларів США. В Україні використання цієї кераміки і виробів з неї передбачається у КБ «Південне» та асоційованих з ним організаціях.

Фізико-технологічним інститутом металів і сплавів розроблено та впроваджено в АТ «Мотор Січ» і ДП «Івченко-Прогрес» новий дисперсійно-зміцнювальний сплав системи Al-Mg-PM-P3M для виготовлення виробів до газотурбінних двигунів методом ізотермічного пресування. За механічними властивостями сплав перевищує наявні аналоги на 20–30 %, має кращу корозійну стійкість, є перспективним для галузі газотурбобудування України.

Вже проведено клінічні випробування розробленого та виготовленого в Інституті термоелектрики дослідного зразка термоелектричного приладу для безконтактного контрольованого охолодження очей людини. Прилад призначений для лікування гострих і хронічних захворювань ока, зниження внутрішньочного тиску, зменшення больового синдрому та запальних процесів ока. Він є оригінальним і не має світових аналогів.

На підприємствах металургійної галузі впроваджено низку розробок Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова. Зокрема, на ПАТ «Інтерпайп НТЗ» застосовується модернізоване обладнання, яке дозволило підвищити ефективність виробництва залізничних коліс шляхом зниження витрат на повторну термічну обробку та припусків на механічну обробку, а також збільшити надійність і довговічність продукції. Цим же інститутом впроваджено систему автоматизованого контролю теплових втрат у системі охолодження доменної печі № 2 Металургійного комбінату «Азовсталь». Використання розробки дає змогу отримувати інформацію щодо теплових втрат та коригувати режими роботи доменної печі для підвищення ресурсу роботи системи охолодження.

Спільними зусиллями фахівців Інституту проблем машинобудування ім. А.М. Підгор-

ного та АТ «Турбоатом» продовжилася робота зі створення унікальних гідроагрегатів для 3-ї черги Дністровської ГАЕС (гідроагрегати 5–7), які мають розширений діапазон експлуатації — 40–100 % від номінальної потужності (замість нинішнього 70–100 %) в турбінному режимі, а також підвищений ККД.

Науковці Інституту електродинаміки розробили нові типи фотоелектричних перетворювачів та програмне забезпечення, що дає змогу забезпечити роботу таких дахових електростанцій невеликої потужності як на мережу, так і автономно за відсутності мережі. Вартість такого обладнання втричі менша, ніж у закордонних аналогів.

В Інституті ядерних досліджень винайшли можливість підвищення терапевтичного ефекту в адронній терапії шляхом просторового фракціонування адронних пучків. Застосування відповідного обладнання на медичному прискорювачі Національного інституту раку (м. Київ) дало змогу сформувати оптимальне поле з толерантною дозою в здорових тканинах при максимальній дозі в раковій пухлині та продемонструвало його високу ефективність і надійність роботи, що також доводить можливість впровадження нових методик просторово фракціонованої радіаційної терапії на наявних прискорювачах.

Науковцями Інституту хімії високомолекулярних сполук вперше створено пінополіуретанові композиційні матеріали, що містять у своєму складі антибактеріальний препарат лізоцим. Такі матеріали є нетоксичними та біосумісними, а головне, здатні до біодеградації з подальшим пролонгованим вивільненням лізоциму. Спільно з кафедрою хірургії та проктології Національного університету охорони здоров'я України ім. П.Л. Шупика вже проведено успішні випробування цих матеріалів у хірургічній практиці.

Учені Інституту сорбції та проблем екології для виготовлення високопотужних накопичувачів електроенергії розробили методи модифікування наноструктурних електродних матеріалів за допомогою мікрохвильової обробки. Спільно з ТОВ «Юнаско Україна» вже

виготовлено дослідну партію накопичувачів, які продемонстрували рекордно високі питому потужність та струм розряду, а також можливість тривалої роботи в діапазоні температур від -40 до $+60$ °С. Такі накопичувачі мають великі перспективи застосування в електро-транспорті, для портативних пристроїв електрозварювання, у вітроенергетиці, а також для запуску двигунів важкої військової техніки.

Дослідження наших соціогуманітаріїв були надійним підґрунтям їхньої активної науково-експертної діяльності, підготовки численних програмних і прогнозних документів, експертних висновків, інформаційно-аналітичних матеріалів, пропозицій та рекомендацій, важливих для розвитку держави і суспільства.

У Національній бібліотеці України ім. В.І. Вернадського розроблено інформаційну архітектуру наукової цифрової платформи «ResearchUA», спрямовану на розвиток електронної дослідницької інфраструктури України та формування бібліотечного сегменту всеукраїнського цифрового наукового простору. У тестовому режимі відповідний інтерфейс уже реалізовано на порталі бібліотеки.

Археологи підготували текст та серію тематичних карт для атласу, який містить інформацію про об'єкти археологічної спадщини, розташовані в межах сучасного Києва. Пам'ятки належать до всіх історичних епох від періоду палеоліту до епохи раннього модерного часу. Інформація з реєстру конвертована до геоінформаційної системи «Атлас давнього Києва».

— Чим Академія може бути корисною для вирішення найгостріших проблем нашої держави сьогодні?

— Передусім наші науковці продовжують працювати для протидії пандемії коронавірусної інфекції. Створена ще на початку пандемії на базі Інституту математичних машин і систем робоча група з моделювання поширення коронавірусу в Україні регулярно готує аналіз поточної ситуації та короткотермінові прогнози. Ці прогнози користуються увагою у ЗМІ та стали орієнтиром для ухвалення управлінських рішень.

Науковці Інституту молекулярної біології і генетики єдині в Україні вивчають мутації коронавірусу за допомогою методу секвенування нового покоління. А в Інституті біології клітини й Інституті біохімії ім. О.В. Палладіна тривають дослідження зі створення прототипів вітчизняних вакцин проти COVID-19.

Вчені Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова в рамках виконання проєкту за грантом Національного фонду досліджень уперше в Україні у взаємодії з лікарями-реабілітологами створили інтелектуальну інформаційно-аналітичну систему супроводження на основі штучного інтелекту процесів реабілітації пацієнтів після тяжких уражень, спричинених COVID-19.

Активно долучився до боротьби з коронавірусною інфекцією Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона. Зокрема, там створено обладнання для знезараження повітря методами фотокаталізу і плазмохімії, яке можна вбудовувати в системи централізованого кондиціонування, наприклад у громадських будівлях і спорудах, без реконструкції системи вентиляції.

Суспільно-політичні наслідки пандемії в українському суспільстві досліджували наші вчені-соціологи. Також соціологи й демографи розробили Програму Всеукраїнського перепису населення 2023 року. Економісти запропонували комплекс заходів з економічної трансформації Донецької та Луганської областей.

Одним із найважливіших пріоритетів нашої Академії залишалися дослідження та розробки, спрямовані на підвищення обороноздатності та безпеки держави.

Фахівці Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона та Фізико-технологічного інституту металів та сплавів розробили технології виготовлення і відновлення елементів артилерійських снарядів.

Матеріалознавці продовжували також роботи з виготовлення і ремонту елементів газотурбінних двигунів авіаційного та морського призначення.

Науковці інститутів проблем реєстрації інформації, фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова та НТК «Інститут монокристалів» розробили технології виготовлення окремих

наукомістких елементів для військових систем стеження та самонаведення.

Вчені Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова, Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем, Головної астрономічної обсерваторії в інтересах розвитку вітчизняної безпілотної авіації розробили технології захисту спеціальних мереж, автономного виявлення, супроводження цілей та автономної навігації. Також за цим напрямом у Науковому центрі аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук створено технологію автоматизованого виявлення мін з використанням багатоспектральної зйомки з БпЛА.

— Минуло трохи більше року Вашої роботи на посаді Президента Академії? Що із запланованого вже вдалося зробити, а що ні?

— Насамперед зупинюся на реалізації першочергових заходів з реформування Академії. Ці заходи були визначені та задекларовані рішеннями наших Загальних зборів і Президії, представлені та підтримані на засіданні Національної ради України з питань розвитку науки і технологій. Всі вони спрямовані на головну мету — підвищення ефективності діяльності Академії.

Відзначу, що ця робота велася постійно протягом останніх років, але за минулий рік суттєво поживилася, і багато із запланованого було реалізовано.

Ми продовжили оптимізацію структури Академії. Наприкінці року було прийнято відповідні постанови Президії НАН України щодо ліквідації або реорганізації шляхом приєднання 11 установ. Також протягом минулого року 17 організацій передано до сфери управління Фонду державного майна України для подальшої приватизації.

Розпочалася робота з оптимізації мережі відділень НАН України та коригування їхніх назв. При секціях НАН України створено відповідні комісії для проведення аналізу основних наукових напрямів і кадрового складу відділень.

У 2021 р. завершено перший цикл оцінювання ефективності діяльності академічних установ за методикою, розробленою з урахуванням

досвіду оцінювання наукових установ в європейських країнах. Результати цього оцінювання стали основою для розроблення заходів з оптимізації внутрішньої структури Академії, а також вдосконалення розподілу бюджетних коштів.

Запроваджено конкурсні підходи до відбору нових академічних цільових програм і цільових проектів. Здійснено огляд витрат державного бюджету у сфері наукової та науково-технічної діяльності наукових установ нашої Академії за 2017—2019 рр. За його наслідками передбачено низку заходів, які сприятимуть підвищенню ефективності використання бюджетних коштів. Це, зокрема, зміни до Порядку конкурсного відбору наукових і науково-технічних робіт для фінансування за бюджетною програмою «Підтримка пріоритетних напрямів наукових досліджень».

Було започатковано нові бюджетні програми «Забезпечення житлом вчених НАН України» (за цією програмою було придбано 13 квартир для наукових працівників установ Академії) та «Створення сучасної спеціалізованої лабораторії для роботи з інфекційними матеріалами». Також розпочато надання фінансової підтримки науковим колективам, що отримали гранти міжнародних програм і фондів на виконання проектів з неповним фінансуванням статей видатків.

Минулого року було затверджено оновлений Статут Академії, в якому відображено зміни до Закону України «Про наукову і науково-технічну діяльність» та деяких інших державних нормативно-правових актів, урегульовано низку процедур роботи Загальних зборів Академії, виборчого процесу, унормовано зміни в структурі управління НАН України, уточнено статус регіональних наукових центрів, відображено нові форми підтримки наукової молоді тощо. Загалом нова редакція нашого Статуту істотно посилює демократичні засади академічного устрою.

Вже розпочала активну роботу Науково-технічна рада НАН України, завданням якої є залучення Академії до вирішення актуальних науково-технічних проблем галузей економіки і соціальної сфери та сприяння прискоренню

впровадження наукових розробок академічних установ. Діяльність ради сприяла налагодженню ефективної співпраці з великими підприємствами, зокрема з ДП «Запорізьке машинобудівне конструкторське бюро «Прогрес» імені академіка О.Г. Івченка», ДП «Конструкторське бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля», Нікопольським заводом трубопровідної арматури. Укладено нові угоди про співробітництво з ДП «Антонов», АТ «Турбоатом».

Багато заходів вживалися і для підтримки наукової молоді. Фінансування дослідницьких лабораторій та груп молодих учених було збільшено вдвічі порівняно з попереднім роком — до 44,5 млн грн. А на 2022 р. передбачено 50 млн грн. Розпочато виконання програми постдокторальних досліджень, за якою вже проведено два конкурси й відібрано 25 «постдоків». І зараз оголошено додатковий конкурсний відбір.

Також для молодих вчених Національної академії наук України — кандидатів наук (докторів філософії) і докторів наук започатковано стипендію імені академіка НАН України Б.Є. Патона. Вже проведено перший конкурс та визначено 15 стипендіатів-переможців.

Тож результати є! Можливо, хтось буде вважати темпи реформування недостатньо швидкими, але, на мою думку, головним тут є принцип Гіппократа «Не нашкодь».

— Які першочергові завдання Академія поставила собі на найближче майбутнє?

— У планах на найближче майбутнє продовжувати удосконалювати діяльність Академії, принципи її організації та функціонування.

Як я вже зазначив, минулого року Академія провела значну роботу з реалізації різноманітних заходів з реформування. Разом з тим робота за певними напрямками ще попереду і потребує посилення. Це стосується насамперед подальшої оптимізації структури НАН України, інвентаризації нерухомого майна Академії та ефективного його використання, оновлення парку наукових приладів та обладнання. Актуальними залишаються питання розвитку конкурсних засад планування науково-дослідних

робіт, зокрема в рамках бюджетної програми 6541230 «Підтримка пріоритетних напрямів наукових досліджень», підтримки наукової молоді, зміцнення зв'язків з громадськістю. В умовах хронічного недофінансування є необхідним подальше вдосконалення системи планування та розподілу бюджетних коштів між установами НАН України, зокрема з урахуванням результатів уже згаданого огляду витрат державного бюджету у сфері наукової і науково-технічної діяльності наукових установ НАН України за період 2017–2019 рр. У якомога стисліші терміни необхідно вжити вичерпних заходів для усунення порушень, виявлених за результатами проведеного Рахунковою палатою аудиту ефективності управління Національною академією наук України об'єктами державної власності, що мають фінансові наслідки для державного бюджету.

Всі ці завдання задекларовано у нещодавно схваленій новій Концепції розвитку НАН України до 2025 року, а також у Плані заходів з її реалізації.

Девіз нової Концепції — «Наука високого рівня в інтересах суспільства». Відтак її головна мета полягає у забезпеченні в короткий термін посилення внеску Академії у реалізацію пріоритетних напрямів економічного та соціального розвитку держави, збільшення обсягу досліджень дійсно світового рівня, ефективного використання бюджетних коштів та майна, поліпшення ситуації з кадровим забезпеченням і, безумовно, посилення зв'язків із владою та суспільством. За цією метою стоять конкретні шляхи її досягнення, а також визначені заходи з її реалізації, строки й очікувані результати.

Сьогодні ми продовжуємо відстоювати перевірені часом академічні традиції та принципи, на яких наполягав багаторічний Президент нашої Академії Борис Євгенович Патон. Водночас намагаємося реагувати і на нові виклики, які постали перед Академією на сучасному етапі, вбачаючи своє головне завдання в тому, щоб забезпечити високий рівень наукових досліджень заради розвитку суспільства.

*Розмову вела
Марія Призгілей*

- Розроблення інноваційних наноматеріалів для біомедичного застосування (доповідач — член-кореспондент НАН України С.Л. Єфімова)
- Коалювання як новий механізм захисту організму від оксидативного стресу (доповідач — член-кореспондент НАН України В.В. Філоненко)
- Про нагородження відзнаками НАН України та Почесними грамотами НАН України і Центрального комітету профспілки працівників НАН України (доповідач — академік НАН України В.Л. Богданов)
- Кадрові та поточні питання

ІЗ ЗАЛИ ЗАСІДАНЬ ПРЕЗИДІЇ НАН УКРАЇНИ

11 листопада 2021 року

Засідання Президії НАН України 11 листопада 2021 р. відбувалося в режимі відеоконференції під головуванням президента НАН України академіка НАН України А.Г. Загороднього.

Члени Президії НАН України заслухали доповідь завідувача відділу наноструктурних матеріалів ім. Ю.В. Малюкіна Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України члена-кореспондента НАН України **Світлани Леонідівни Єфімової**, присвячену проблемі розроблення інноваційних наноматеріалів для біомедичного застосування (стенограму див. на с. 23).

Наукові дослідження зі створення наноматеріалів, що проводяться в Інституті сцинтиляційних матеріалів НАН України, відповідають новітньому підходу до розроблення сучасних лікарських засобів — тераностиці, яка ґрунтується на комбінуванні у терапевтичній композиції одночасно терапевтичного і діагностичного агентів. Наночастинки на основі оксидів рідкісноземельних елементів мають великий потенціал для застосування в тераностиці, оскільки їх можна використовувати як наноплатформи для контрольованої доставки лікарського компонента в клітину або пухлину і як діагностичні агенти завдяки їх люмінесцентним властивостям та високому магнітному моменту рідкісноземельних іонів, а найголовніше, виявлені у них антиоксидантні властивості та здатність генерувати активні форми кисню уможливають їх застосування як терапевтичного агента. Актуальною є також продемонстрована можливість застосування сцинтиляційних нанокристалів у такому новітньому підході до лікування онкозахворювань, як рентгеноіндукована фотодинамічна терапія для лікування глибоко розташованих пухлин.

За підсумками досліджень, проведених в Інституті, отримано низку важливих результатів. Так, було синтезовано та вивчено властивості наноматеріалів на основі нанокристалів ортованадатів рідкісноземельних елементів з контрольованою редокс-активністю та люмінесценцією. Уперше встановлено



Виступ члена-кореспондента НАН України Світлани Леонідівни Єфімової

«темнову» генерацію активних форм кисню (АФК) у водних розчинах, що містять нанокристали ортованадату гадоліній-ітрію, а також показано, що про- або антиоксидантні властивості таких наночастинок можна змінювати залежно від умов попередньої обробки УФ-світлом. Доведено, що наночастинок ортованадату гадолінію поряд з низкою інших позитивних ефектів уповільнюють процеси старіння організму. Створено композиції сцинтиляційних нанокристалів фториду лантану та органічних молекул-фотосенсибілізаторів для генерації синглетного кисню при рентгєнівському збудженні. Розроблено методики отримання водорозчинних порошків гідрофобних органічних речовин (вітамінів, лікарських засобів) у вигляді комплексів включення з циклодекстринами та наночастинками оксиду церію. Отримано порошки, які містять включену мефенамінову кислоту та вітамін К₁. Створено гель, який містить наночастинок ортованадатів рідкісноземельних елементів та наночастинок срібла, як прототип м'яких основ для одержання мазей з протизапальною та ранозагоювальною дією. Отримано комплекси наночастинок ортованадатів гадолінію та доксорубіцину, які демонструють підвищену протиухлинну активність.

Науковці Інституту активно співпрацюють з провідними науковими установами України біомедичного профілю та з фармацевтичною компанією «Фармак». За результатами досліджень за цією тематикою в останні 5 років опу-

бліковано понад 50 наукових статей, більшість з яких надруковано в міжнародних журналах з високим імпаکت-фактором, захищено 2 докторські та 3 кандидатські дисертації, отримано 4 патенти України на винахід і 4 патенти України на корисну модель, подано 2 заявки на винахід.

В обговоренні доповіді взяли участь завідувач відділу кріопатофізіології і імунології Інституту проблем кріобіології і кріомедицини НАН України академік НАН України А.М. Гольцев; завідувач відділу проблем інтерферону і імуномодуляторів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України академік НАН України М.Я. Співак; головний науковий консультант АТ «Фармак» В.М. Маргітич; голова Ради директорів НТК «Інститут монокристалів» НАН України академік НАН України В.П. Семиноженко; віцепрезидент НАН України, голова Секції хімічних і біологічних наук НАН України академік НАН України В.Г. Кошечко; президент НАН України академік НАН України А.Г. Загородній; академік-секретар Відділення хімії НАН України академік НАН України М.Т. Картель; академік-секретар Відділення фізики і астрономії НАН України академік НАН України В.М. Локтєв.

* * *

Далі члени Президії НАН України заслухали доповідь завідувача відділу сигнальних систем клітини Інституту молекулярної біології і генетики НАН України члена-кореспондента НАН України **Валерія Вікторовича Філоненка** про коалювання як новий механізм захисту організму від оксидативного стресу (стенограму див. на с. 30).

В Інституті молекулярної біології і генетики НАН України започатковано новий напрям досліджень зі з'ясування механізму біосинтезу та нових функцій ключової молекули багатьох біохімічних реакцій у клітині — коензиму А (КоА). Ці роботи здійснюються у тісній співпраці з лабораторією професора Університетського коледжу Лондона І.Т. Гута (Ivan T. Gout).

Біосинтез КоА складається з п'яти етапів і розпочинається з вітаміну В₅, який надходить в організм з їжею. Співробітники відділу впер-

ше у світі ідентифікували ензим КоА-синтазу, що відповідає за два останні етапи біосинтезу КоА, і встановили біфункціональність цього ензиму. Завдяки отриманим результатам остаточно визначено всі ензими, залучені до біосинтезу КоА, встановлено, що вони функціонують у складі мультиферментного комплексу, та вивчено особливості його регуляції.

Відкриттю нових функцій КоА, не пов'язаних з клітинним метаболізмом, передувало створення з використанням гібридної технології унікальних моноклональних антитіл до КоА, саме завдяки яким відкрито новий тип посттрансляційної модифікації білків, що полягає у ковалентному приєднанні КоА до цистеїнових залишків білків з утворенням дисульфідного зв'язку. З'ясувалося, що такий тип зворотної модифікації з'являється у відповідь на різні типи стресу (окисидативний, метаболічний) на рівні як клітини, так і організму в цілому. Ця модифікація захищає ензими від окиснення, інактивації та подальшої деградації, а організм — від наслідків стресу.

Для дослідження поширеності феномену коалювання в клітині розроблено унікальний підхід до мас-спектрального аналізу і встановлено, що коалювання — це загальне явище для клітин і прокариотів, і еукаріотів, адже виявлено понад 2 тис. білків, що зазнають такої модифікації за умов окисидативного стресу, який є чинником розвитку багатьох захворювань людини. Отже, коалювання є дійсно універсальним механізмом антиоксидантного захисту, а сам КоА — потужним антиоксидантом.

Дослідження коалювання білків у зразках головного мозку пацієнтів з хворобами Альцгеймера та Паркінсона засвідчили, що таубілок — один з ключових білків, залучених до формування патологічних агрегатів у нейронах, — є активно коалюваним. Тому вивчення ролі коалювання в патогенезі нейродегенеративних захворювань стає надзвичайно важливим і перспективним напрямом розроблення сучасних підходів до лікування та профілактики цих небезпечних захворювань.

В обговоренні доповіді взяли участь професор Університетського коледжу Лондона



Виступ члена-кореспондента НАН України Валерія Вікторовича Філоненка

І.Т. Гут; в.о. академіка-секретаря Відділення біохімії, фізіології і молекулярної біології НАН України академік НАН України С.В. Комісаренко; директор Інституту молекулярної біології і генетики НАН України академік НАН України М.А. Тукало (тексти виступів див. у стенограмі).

* * *

Члени Президії НАН України розглянули також низку поточних питань:

- прийняли постанову про припинення практики планових перевірок наукової і науково-організаційної діяльності наукових установ НАН України за п'ятирічний період;
- ухвалили рішення про представлення до нагородження іноземного члена НАН України Ігоря Гука Почесною грамотою Верховної Ради України.

Призначено:

- члена-кореспондента НАН України **Залознову Юлію Станіславівну** на посаду директора Інституту економіки промисловості НАН України;
- доктора економічних наук **Хаустову Вікторію Євгенівну** на посаду директора Науково-дослідного центру індустріальних проблем розвитку НАН України.

Затверджено:

- кандидата наук із соціальних комунікацій **Грень Зоряну Тарасівну** на посаді ученого секретаря Львівської національної наукової бібліотеки України ім. В. Стефаника;
- кандидата філологічних наук **Кравченко Наталію Григорівну** на посаді ученого секретаря Центру

наукових досліджень та викладання іноземних мов НАН України.

Погоджено призначення:

- члена-кореспондента НАН України **Борисюка Андрія Олександровича** на посаду головного наукового співробітника Інституту гідромеханіки НАН України;
- доктора технічних наук **Приходька Ігоря Юрійовича** на посаду завідувача відділу процесів і машин обробки металів тиском Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України;
- кандидата технічних наук **Семенова Юрія Станіславовича** на посаду завідувача відділу технологічного обладнання та систем управління Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України;
- кандидата історичних наук **Бодак Ольги Петрівни** на посаду завідувача відділу кодикології та кодикографії Інституту рукопису Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського;
- кандидата історичних наук **Клименко Оксани Зіновіївни** на посаду завідувача відділу наукових видань Інституту рукопису Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського;
- кандидата наук із соціальних комунікацій **Симоненко Тетяни Василівни** на посаду завідувача відділу бібліометрії і наукометрії Інституту інформаційних технологій Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського;
- кандидата історичних наук **Січової Оксани Василівни** на посаду завідувача відділу архівознавства та документознавства Інституту архівознавства Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського;
- кандидата наук із соціальних комунікацій **Сокур Олени Леонідівни** на посаду завідувача відділу науково-методичної роботи Інституту бібліотекознавства Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського;
- кандидата історичних наук **Яковенко Олени Григорівни** на посаду завідувача відділу теорії та історії бібліотечної справи Інституту бібліотекознавства Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського.

Відзнакою НАН України «За наукові досягнення» нагороджено:

- заступника директора з наукової роботи Інституту електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України академіка НАН України **Ахоніна Сергія Володимировича** за багаторічну плідну працю вченого у галузі матеріалознавства й електрометалургії тугоплавких сполук та вагомий особистий внесок у створення і промислове впровадження новітніх титанових сплавів з підвищеними експлуатаційними характеристиками;
- директора Інституту філософії ім. Г.С. Сковороди НАН України члена-кореспондента НАН України

Єрмоленка Анатолія Миколайовича за багатолітню плідну творчу працю, вагомий особистий внесок у дослідження актуальних проблем філософської науки, активне сприяння формуванню новітнього філософського світогляду та з нагоди 75-річчя від часу заснування установи;

- старшого наукового співробітника Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут» доктора фізико-математичних наук **Ганна Володимира Васильовича** за багаторічну плідну творчу працю фізика-теоретика і педагога, високі професійні здобутки в галузі фізичного матеріалознавства та вагомий особистий внесок у дослідження проблем фізики радіаційних пошкоджень реакторних матеріалів;
- ректора Державного закладу «Запорізька медична академія післядипломної освіти МОЗ України» члена-кореспондента НАН України **Никоненка Олександра Семеновича** за багатолітню плідну невтомну працю вченого і педагога, значні здобутки в управлінні медичним закладом та вагомий особистий внесок у розвиток галузі трансплантології та серцево-судинної хірургії.

Відзнакою НАН України «За професійні здобутки» нагороджено:

- завідувача відділу Інституту ядерних досліджень НАН України члена-кореспондента НАН України **Суґакова Володимира Йосиповича** за багатолітню плідну невтомну працю вченого і педагога, значний внесок у підготовку висококваліфікованих наукових кадрів — фізиків-теоретиків та вагомий особистий внесок в розвитку теорії твердого тіла;
- головного наукового співробітника Інституту держави і права ім. В.М. Корецького НАН України члена-кореспондента НАН України **Сіренка Василя Федоровича** за багатолітню невтомну творчу працю, вагомий особистий внесок у розвиток вітчизняної юридичної науки та активне сприяння пошуку нових шляхів ефективного вирішення актуальних проблем державотворення і правотворення;
- головного інженера Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України **Дубовика Івана Васильовича** за багатолітню сумлінну працю та вагомий особистий внесок в експлуатаційно-технічне забезпечення діяльності Інституту;
- заступника директора з наукової роботи Інституту філософії ім. Г.С. Сковороди НАН України кандидата філософських наук **Ковадло Галину Петрівну** за багатолітню плідну творчу працю, вагомий особистий внесок у дослідження актуальних проблем філософської науки, активне сприяння формуванню новітнього філософського світогляду та з нагоди 75-річчя від часу заснування установи.

Відзнакою НАН України «За підготовку наукової зміни» нагороджено:

- співробітників Інституту філософії ім. Г.С. Сковороди НАН України — завідувача відділу доктора філософських наук **Гардашук Тетяну Василівну**; завідувача відділу доктора філософських наук **Пролеєва Сергія Вікторовича** — за багатолітню плідну творчу працю, вагомий особистий внесок у дослідження актуальних проблем філософської науки, активне сприяння формуванню новітнього філософського світогляду та з нагоди 75-річчя від часу заснування установи.

Відзнакою НАН України «Талант, натхнення, праця» нагороджено:

- старшого наукового співробітника Державної установи «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку НАН України» доктора економічних наук **Сакаль Оксану Володимирівну** за наполегливу творчу працю та значний особистий внесок у розвиток наукових досліджень у галузі економіки природних ресурсів України;

- наукового співробітника Інституту філософії ім. Г.С. Сковороди НАН України кандидата філософських наук **Волковського Володимира Павловича** за плідну творчу працю, вагомий особистий внесок у дослідження актуальних проблем філософської науки, активне сприяння формуванню новітнього філософського світогляду та з нагоди 75-річчя від часу заснування установи.

Звання «Почесний доктор Національної академії наук України» присвоєно:

- проректору Віденського технологічного університету доктору технічних наук, професору, академіку Австрійської академії наук **Йозефу Еберхардштайнеру (Josef Eberhardsteiner)** за вагомий внесок у розвиток науки та міжнародного наукового співробітництва.

Подякою НАН України відзначено:

- завідувача відділу Інституту фізики конденсованих систем НАН України доктора фізико-математичних наук **Токарчука Михайла Васильовича** за багатолітню плідну працю вченого і педагога та вагомий особистий внесок у розвиток теорії нерівноважних процесів у класичних та квантових системах взаємодіючих частинок;

- ученого секретаря Сектору зведеного планування Науково-організаційного відділу Президії НАН України кандидата хімічних наук **Гороховатську Марину Ярославну** за багаторічну плідну працю та особистий внесок у науково-методичне забезпечення співробітництва працівників НАН України з міжнародними науковими центрами;

- співробітників Інституту філософії ім. Г.С. Сковороди НАН України — провідного наукового співробітника доктора філософських наук **Білого Олега Васильовича**; головного наукового співробітника доктора філософських наук **Колодного Анатолія Михайловича**; провідного наукового співробітника доктора філософських наук **Литвинова Володимира Дмитровича**; провідного наукового співробітника доктора філософських наук **Полищук Ніну Павлівну**; старшого наукового співробітника кандидата філософських наук **Стратій Ярославу Михайлівну**; провідного наукового співробітника члена-кореспондента НАН України **Хамітова Назіпа Віленовича**; провідного наукового співробітника доктора філософських наук **Яроцького Петра Лаврентійовича** — за багатолітню плідну творчу працю, вагомий особистий внесок у дослідження актуальних проблем філософської науки, активне сприяння формуванню новітнього філософського світогляду та з нагоди 75-річчя від часу заснування установи.

Почесною грамотою Президії НАН України і Центрального комітету профспілки працівників НАН України нагороджено:

- провідного інженера-дослідника Інституту фізики плазми ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» **Елісєєва Дмитра Віталійовича** за багатолітню сумлінну працю, високий професіоналізм та вагомий особистий внесок у створення новітніх плазмових експериментальних установок;

- доцента кафедри філософії Центру гуманітарної освіти НАН України кандидата філософських наук **Вільчинську Світлану Валентинівну** за багаторічну творчу працю, значний особистий внесок в освітнянську діяльність Центру та визначні здобутки у галузі філософської науки;

- провідного наукового співробітника Сектору зведеного планування Науково-організаційного відділу Президії НАН України кандидата біологічних наук **Михальського Миколу Федоровича** за наполегливу творчу працю, високі професійні здобутки та значний особистий внесок у науково-методичне забезпечення діяльності наукових установ НАН України;

- трудовий колектив Українського гідрометеорологічного інституту ДСНС України та НАН України за багатолітню плідну працю, вагомий внесок у розвиток вітчизняної гідрометеорологічної науки і базового моніторингу природного середовища та з нагоди 100-річчя від часу заснування гідрометеорологічної служби України;

- головного спеціаліста відділу інформаційно-комунікаційного забезпечення Управління справами НАН України **Подрезова Олега Миколайовича** за багатолітню плідну працю, відповідальне ставлення до

виконання посадових обов'язків та особистий внесок у технічне обслуговування телекомунікаційної мережі в приміщеннях Президії НАН України;

• співробітників Інституту філософії ім. Г.С. Сковороди НАН України — провідного наукового співробітника доктора філософських наук **Бистрицького Євгена Костянтиновича**; старшого наукового співробітника кандидата філософських наук **Валявко Ірину Вікторівну**; провідного наукового співробітника доктора філософських наук **Гомілко Ольгу Євгенівну**; провідного інженера **Жаркову Валентину Дмитрівну**; завідувача відділу доктора філософських наук **Загороднюка Валерія Петровича**; провідного наукового співробітника доктора філософських наук **Йосипенко Оксану Миколаївну**; старшого наукового співробітника доктора філософських наук **Киричка Олександра Борисовича**; провідного наукового співробітника доктора філософських наук **Кисельова Миколу Миколайовича**; старшого наукового співробітника кандидата філософських наук **Кисельову Оксану Олександрівну**; старшого наукового співробітника кандидата філософських наук **Козловського Ігоря Анатолійовича**; головного наукового співробітника доктора філософських наук **Кузнєцова Володимира Івановича**; старшого наукового співробітника кандидата філо-

софських наук **Лазоренко Олену Олександрівну**; завідувача відділу доктора філософських наук **Ляха Віталія Васильовича**; старшого наукового співробітника кандидата філософських наук **Нечипоренка Віталія Олександровича**; завідувача відділу доктора філософських наук **Сагана Олександра Назаровича**; ученого секретаря кандидата філософських наук **Самчука Романа Володимировича**; старшого наукового співробітника кандидата філософських наук **Ситніченко Людмилу Анатоліївну**; завідувача відділу кандидата філософських наук **Фадєєва Володимира Борисовича**; провідного наукового співробітника доктора філософських наук **Филипович Людмилу Олександрівну**; старшого наукового співробітника кандидата філософських наук **Шалашенка Геннадія Івановича**; старшого наукового співробітника кандидата філософських наук **Шамрай Вікторію Валентинівну**; завідувача сектору кандидата філософських наук **Яроша Олега Анатолійовича** — за багатолітню плідну творчу працю, вагомий особистий внесок у дослідження актуальних проблем філософської науки, активне сприяння формуванню новітнього філософського світогляду та з нагоди 75-річчя від часу заснування установи.

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

- *Щодо створення державної ключової лабораторії для розвитку мікроелектроніки в Україні (доповідач – член-кореспондент НАН України В.П. Кладько)*
- *Про результати виконання цільового проекту «Геофізичні дослідження літосфери зони зчленування Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ України у зв'язку з перспективами нафтогазоносності» (доповідач – академік НАН України В.І. Старостенко)*
- *Про нагородження відзнаками НАН України та Почесними грамотами НАН України і Центрального комітету профспілки працівників НАН України (доповідач – академік НАН України В.Л. Богданов)*
- *Кадрові та поточні питання*

ІЗ ЗАЛИ ЗАСІДАНЬ ПРЕЗИДІЇ НАН УКРАЇНИ

24 листопада 2021 року

Засідання Президії НАН України 24 листопада 2021 р. відбувалося в режимі відеоконференції під головуванням президента НАН України академіка НАН України А.Г. Загороднього.

Члени Президії НАН України заслухали доповідь заступника директора з наукової роботи Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України члена-кореспондента НАН України **Василя Петровича Кладька** щодо створення державної ключової лабораторії для розвитку мікроелектроніки в Україні (стенограму див. на с. 38).

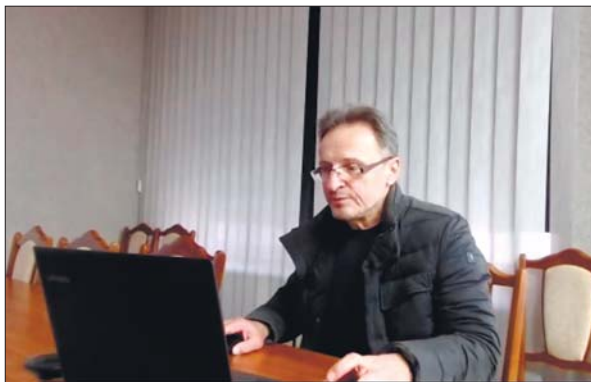
Згідно з показниками індексу глобальної конкурентоспроможності, які розраховуються за методикою Всесвітнього економічного форуму, країни, головним чинником формування валового внутрішнього продукту яких є експорт сировини, посідають місця у третій-четвертій десятці, тоді як країни – експортери високотехнологічної продукції – у першій-другій десятці.

Однією з рушійних сил економік розвинених країн є мікроелектронна промисловість, оскільки саме вона становить фундамент інформаційних і комп'ютерних технологій та багатьох суміжних галузей.

На початку 90-х років Україна мала значний потенціал для розвитку мікроелектроніки, діяли великі підприємства з виробництва монокристалів у Світловодську, Запоріжжі, Києві, Чернівцях та Ужгороді, які налічували близько 1 млн працівників, а наразі таких спеціалістів залишилося лише кілька тисяч.

Серед гальмувальних факторів розвитку мікроелектроніки в Україні можна назвати відсутність замкненого циклу виробництва мікроелектронних компонентів та кінцевої продукції на їх основі. З цією проблемою зіткнувся Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України під час виконання проектів оборонної тематики.

Зараз частково діючими є лише кілька підприємств мікроелектронного профілю: Державне підприємство «Державне



Виступ члена-кореспондента НАН України Василя Петровича Кладька

Київське конструкторське бюро «Луч», Центральне конструкторське бюро «Ритм», Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», Державне підприємство «Науково-дослідний інститут «Оріон», ТОВ «Радіонікс», Науково-виробничий комплекс «Фотоприлад». На сьогодні всі ці підприємства мають низку невирішених проблем, пов'язаних з кадровим забезпеченням, браком комплектуючих подвійного призначення, а головне — з незадовільними технологічними умовами і відсутністю наукового супроводу для реалізації поставлених завдань.

Це призводить до втрати позицій України у галузі мікроелектроніки, повної залежності виробництва високотехнологічної продукції від імпорту, зокрема в оборонній галузі. Тому Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України та згадані підприємства зацікавлені у створенні державної ключової лабораторії, яка б забезпечила технологічні умови і науковий супровід випуску необхідних електронних систем.

В обговоренні доповіді взяли участь голова вченої ради Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України академік НАН України О.Є. Беляєв; начальник Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України генерал-майор, доктор технічних наук І.Б. Чепков; перший віцепрезидент НАН України академік НАН України В.П. Горбу-

лін; директор Головної астрономічної обсерваторії НАН України академік НАН України Я.С. Яцків; голова Північно-Східного наукового центру НАН України і МОН України академік НАН України В.П. Семиноженко; голова Західного наукового центру НАН України і МОН України академік НАН України З.Т. Назарчук; віцепрезидент НАН України, голова Секції фізико-технічних і математичних наук НАН України академік НАН України В.Л. Богданов; академік-секретар Відділення фізики і астрономії НАН України академік НАН України В.М. Локтев.

* * *

Далі члени Президії НАН України заслухали доповідь голови наукової ради цільового проєкту «Геофізичні дослідження літосфери зони зчленування Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ України у зв'язку з перспективами нафтогазоносності» академіка НАН України **Віталія Івановича Старостенка** про результати його виконання у 2017–2021 рр. (стенограму див. на с. 45).

Розвідка та відкриття родовищ корисних копалин у всьому світі ґрунтується на комплексному вивченні територій за допомогою геофізичних методів, які дають нову унікальну інформацію про природу тектонічних процесів, зокрема методу глибинного сейсмічного зондування для вивчення будови земної кори на глибині до 70–80 км.

В експериментальних геофізичних дослідженнях на території України брали участь співробітники Інституту геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України, ДГП «Укргеофізика» та ТОВ «Спецвибухпром» разом з провідними фахівцями європейських країн. Вивчено шовні зони, які розділяють Східно-Європейську і Західно-Європейську платформи, Скіфську плиту, Гірський Крим і Чорноморську западину. Виконані дослідження є необхідною передумовою для пошуків у надрах Землі мінеральних та енергетичних ресурсів. Результати ширококутних сейсмічних зондувань становлять підґрунтя для подальших детальних пошуків родовищ сировинно-мінеральної бази країни.

Визначено, що в межах Транс'європейської шовної зони виділяються кілька корових розломів, які відображаються у структурі земної кори та розділу Мохо. Краковецький розлом у північно-західній частині Передкарпатського прогину поділяє земну кору різної будови та потужності, йому відповідає різкий стрибок у рельєфі Мохо з 50 до 45 км. У районі Рава-Руського розлому, що проходить вздовж західного борту Львівського палеозойського прогину, спостерігається зміщення всіх границь земної кори, а також сходинка у 5 км у розділі Мохо. Встановлено закономірності в розподілі покладів нафти і газу та їх зв'язок з коровими розломами. Вздовж Краковецького та Рава-Руського розломів, які були каналами міграції магматичних розплавів у палеозої, а пізніше стали каналами міграції глибинних флюїдів, концентруються відомі поклади нафти і газу. По поперечному Тячівсько-Надвірнянському розлому спостерігається різка зміна будови земної кори. Цей розлом обмежує з південного сходу родовища нафти Бориславсько-Покутської зони та контролює низку родовищ газу Більче-Волицької зони Передкарпатського прогину.

Дослідження вздовж профілю TTZ-South дали змогу отримати нові дані щодо еволюції основних тектонічних одиниць Транс'європейської шовної зони та південно-західного сегмента східноєвропейського кратону.

Кристалічну кору Східно-Європейської платформи складено сильно деформованими і метаморфізованими докембрійськими породами, що прорвані численними магматичними інтрузіями. Натомість Транс'європейська шовна зона є широкою смугою деформації (завширшки 100–200 км), що простягається через усю Європу від Британських островів до Чорного моря. Південно-західний край земної кори східноєвропейського кратону зазнавав впливу тектонічної та магматичної реактивації внаслідок розширення та рифтогенезу. Ця подія сформувала океанічну область і супроводжувалася помітним магматизмом волинської серії. У пізньому рифеї — ранньому венді сформувалася рифтова окраїна східно-



Виступ академіка НАН України Віталія Івановича Старостенка

європейського кратону і розгалужена система авлакогенів, зокрема Волинсько-Оршанський авлакоген — зона поширення відомих родовищ корисних копалин в Україні. Цей шов між палеопротерозойською корою Фенноскандії і переважно архейською землею корою Сарматії розглядають як ключову межу всередині східноєвропейського кратону.

Усі виконані роботи були успішними і здобули високу оцінку світової геофізичної спільноти. Отримані результати висвітлено в найпрестижніших профільних наукових журналах та у монографіях.

В обговоренні доповіді взяли участь перший заступник генерального директора — головний інженер Державного геофізичного підприємства «Укргеофізика» А.П. Толкунов; академік-секретар Відділення інформатики НАН України академік НАН України О.М. Хімич; академік-секретар Відділення наук про Землю НАН України академік НАН України О.М. Пономаренко; віцепрезидент НАН України, голова Секції фізико-технічних і математичних наук НАН України академік НАН України В.Л. Богданов; академік-секретар Відділення загальної біології НАН України академік НАН України В.Г. Радченко; заступник директора з наукової роботи Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України член-кореспондент НАН України О.В. Кендзера.

* * *

Члени Президії НАН України розглянули також низку поточних питань:

- рекомендували МОН України включити до Державного реєстру наукових об'єктів, що становлять національне надбання, кілька наукових об'єктів, серед яких комплекс для вимірювання теплового розширення твердих наноструктурних матеріалів та криокристалів за низьких та наднизьких температур Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України; аналітичний комплекс на базі прискорювачів Інституту прикладної фізики НАН України; лабораторний комплекс дослідних установок для проведення експериментів в умовах високих газо- та гідростатичних тисків і температур Інституту магнетизму НАН України та МОН України; колекцію рідкісних та зникаючих видів рослин степових екосистем України Криворізького ботанічного саду НАН України;
- заслухали інформацію президента НАН України академіка А.Г. Загороднього про його зустріч з Прем'єр-міністром України Денисом Шмигалем, яка відбулася 23 листопада 2021 р.

Погоджено призначення:

- академіка НАН України **Азаренкова Миколи Олексійовича** на посаду директора Інституту фізики твердого тіла, матеріалознавства та технологій Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут»;
- доктора фізико-математичних наук **Ільницького Ярослава Миколайовича** на посаду завідувача відділу комп'ютерного моделювання багаточастинкових систем Інституту фізики конденсованих систем НАН України.

Затверджено:

- кандидата медичних наук **Ковальова Геннадія Олександровича** на посаді ученого секретаря Інституту проблем кріобіології і кріомедицини НАН України.

Відзнакою НАН України «За наукові досягнення» нагороджено:

- завідувача відділу Інституту теоретичної фізики ім. О.І. Ахієзера ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» члена-кореспондента НАН України **Корчина Олександра Юрійовича** за багаторічну плідну творчу працю, вагомий науковий внесок у розвиток досліджень у галузі ядерної фізики і фізики елементарних частинок та високих енергій;
- заступника директора з наукової роботи Інституту економіки промисловості НАН України доктора

економічних наук **Новикову Ольгу Федорівну** за багатолітню плідну наукову, науково-організаційну і педагогічну працю та вагомий особистий внесок у розвиток вітчизняної економічної науки.

Відзнакою НАН України «За професійні здобутки» нагороджено:

- виконувача обов'язків завідувача кафедри Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка доктора філософських наук **Харченко Юлію Володимирівну** за багатолітню творчу працю, високі професійні здобутки на освітнянській ниві та особистий внесок у розвиток філософської науки;
- провідного інженера-технолога Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України **Хоменка Бориса Семеновича** за багатолітню сумлінну працю, високі професійні здобутки та значний особистий внесок у забезпечення проведення наукових досліджень в Інституті;
- провідного наукового співробітника Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України доктора хімічних наук **Орисик Світлану Іванівну** за багатолітню плідну наукову і педагогічну працю та вагомий особистий внесок у створення нових координаційних сполук для фармакологічної галузі промисловості;
- завідувача лабораторії Інституту молекулярної біології і генетики НАН України доктора біологічних наук **Лівшиць Людмилу Аврамівну** за багатолітню плідну працю вченого і педагога та вагомий особистий внесок у дослідження геноміки людини і створення тест-систем для ДНК-діагностики спадкових захворювань;
- професора кафедри Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка доктора географічних наук **Кривульченка Анатолія Івановича** за багатолітню плідну творчу працю та високі професійні здобутки в дослідженні проблем ландшафтознавства і географії ґрунтів.

Відзнакою НАН України «За підготовку наукової зміни» нагороджено:

- ректора Центральноукраїнського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка доктора юридичних наук **Соболя Євгена Юрійовича** за наполегливу творчу працю, значний особистий внесок у розвиток юридичної науки в галузі адміністративного права та особистий внесок у підготовку висококваліфікованих кадрів.

Відзнакою НАН України «Талант, натхнення, праця» нагороджено:

- докторанта Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України кандидата фізико-математичних

наук **Борисенка Максима Юрійовича** за наполегливу творчу працю та особистий внесок у дослідження динамічної поведінки твердого тіла з конструктивною неоднорідністю;

- наукового співробітника Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України кандидата технічних наук **Палія Олександра Сергійовича** за наполегливу творчу працю та значний особистий внесок у розроблення методичних засад проектування аеродинамічних систем відведення космічних апаратів з робочих орбіт;

- старшого наукового співробітника Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України кандидата технічних наук **Онищенко Євгенію Олександрівну** за наполегливу творчу працю та значний особистий внесок у дослідження міцності конструктивних елементів авіаційних двигунів;

- старшого наукового співробітника Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України кандидата хімічних наук **Погоренко Юлію Володимирівну** за наполегливу творчу працю та особистий внесок у дослідження електрохімічних властивостей твердих фторидпровідних електролітів;

- старшого наукового співробітника Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України доктора хімічних наук **Солопана Сергія Олександровича** за плідну наукову діяльність та вагомий особистий здобутки в галузі неорганічної хімії;

- старшого наукового співробітника Інституту проблем ринку та економіко-екологічних досліджень НАН України доктора економічних наук **Шевченко Ганну Миколаївну** за плідну наукову діяльність та особистий внесок у дослідження рекреаційної діяльності населення України.

Подякою НАН України відзначено:

- директора Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України члена-кореспондента НАН України **Мосякіна Сергія Леонідовича** за багатолітню плідну творчу працю вченого-ботаніка і організатора наукових досліджень з вивчення рослинного світу й практично значущих розробок для грибовництва, фармакології, косметології, сільського господарства та активне сприяння формуванню екологічної культури;

- провідного наукового співробітника Інституту прикладних проблем механіки і математики ім. Я.С. Підстригача НАН України доктора фізико-математичних наук **Шаваровського Богдана Зеновіевича** за багаторічну плідну наукову працю та вагомий особистий внесок у розвиток фундаментальних досліджень у галузі теорії матриць;

- старшого наукового співробітника Інституту механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України кандидата фізико-математичних наук **Кіпніса Олександра Ле-**

онідовича за наполегливу творчу працю та особисті здобутки у вирішенні крайових задач руйнування матеріалів;

- наукового співробітника Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України доктора філософії **Лапханова Еріка Олександровича** за наполегливу творчу працю та особисті здобутки в галузі керування відведенням космічних об'єктів із застосуванням аеромагнітних систем;

- молодшого наукового співробітника Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України **Своробіна Дмитра Сергійовича** за наполегливу творчу працю та особисті здобутки в розробленні математичних моделей відведення космічних об'єктів з навколоземних орбіт;

- старшого наукового співробітника Інституту проблем міцності ім. Г.С. Писаренка НАН України кандидата технічних наук **Деркача Олега Леонідовича** за наполегливу творчу працю та особисті здобутки в дослідженні процесів демпфірування коливань композитних конструкцій турбомашин;

- провідного інженера-електроніка Державної наукової установи «Науково-технологічний комплекс «Інститут монокристалів» НАН України» **Махоту Сергія Володимировича** за багатолітню сумлінну працю, вагомий професійний здобутки та особистий внесок в апаратне забезпечення розвитку наукових досліджень в Інституті;

- старшого наукового співробітника Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України кандидата хімічних наук **Бережницьку Олександрю Степанівну** за багатолітню наукову і педагогічну працю та вагомий особистий внесок у розроблення методик одержання полімерних гомо- і гетерометалевих наноматеріалів з прогнозованими властивостями;

- провідного наукового співробітника Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України доктора хімічних наук **Дзязько Юлію Сергіївну** за багатолітню наукову і педагогічну працю та вагомий особистий внесок у розвиток досліджень сорбційних і мембранних матеріалів;

- старшого наукового співробітника Комісаріату атомної енергетики Франції, віцедиректора французько-української міжнародної асоційованої лабораторії доктора фізико-математичних наук **Титова Максима Петровича** за плідну творчу працю та значний особистий внесок у розвиток міжнародної співпраці між науковими установами України і Європейською організацією ядерних досліджень (ЦЕРН);

- завідувача відділу Інституту економіки промисловості НАН України доктора економічних наук **Череватського Данила Юрійовича** за багатолітню сумлінну працю, високу професійну майстерність та

вагомий особистий внесок у забезпечення наукових досліджень в Інституті;

- старшого наукового співробітника Державної установи «Інститут Івана Франка НАН України» кандидата філологічних наук **Лапій Марію Михайлівну** за наполегливу творчу працю, високі професійні здобутки та особистий внесок у дослідження українського франкознавства.

Почесною грамотою Президії НАН України і Центрального комітету профспілки працівників НАН України нагороджено:

- завідувача відділу Інституту географії НАН України кандидата географічних наук **Спицю Романа Олександровича** за багатолітню творчу працю та вагомий особистий внесок у розвиток наукових досліджень у галузі геоморфології і неотектоніки;

- завідувача відділу Державної наукової установи «Науково-технологічний комплекс «Інститут монокристалів» НАН України» кандидата технічних наук **Солодовнікову Лідію Миколаївну** за багатолітню творчу працю, високі професійні здобутки та значний особистий внесок у забезпечення екологічної безпеки наукових досліджень в Інституті;

- наукового співробітника Державної наукової установи «Науково-технологічний комплекс «Інститут монокристалів» НАН України» кандидата хімічних наук **Жикола Олега Анатолійовича** за багаторічну творчу працю, високий професіоналізм та значні особисті здобутки в галузі квантово-хімічного моделювання складних систем;

- завідувача канцелярії Інституту монокристалів НАН України **Васильєву Галину Костянтинівну** за багатолітню сумлінну працю, відповідальне ставлення до виконання посадових обов'язків та особистий внесок у якісне і своєчасне документальне забезпечення діяльності Інституту;

- заступника завідувача відділу Інституту монокристалів НАН України **Саніна Володимира Фотійовича** за багатолітню сумлінну працю, високий професіоналізм та особистий внесок у фінансово-економічне планування наукової тематики Інституту;

- головного наукового співробітника Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України доктора хімічних наук **Миру Тетяну Альфредівну** за багатолітню плідну працю вченого-хіміка та значний особистий внесок у розроблення функціональних рідкокристалічних наноматеріалів для оптоелектроніки і лазерної техніки;

- завідувача відділу Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України доктора хімічних наук **Кублановського Валерія Семеновича** за багатолітню плідну наукову, науково-організаційну і педагогічну працю та вагомий особисті здобутки в галузі теоретичної і прикладної електрохімії;

- старшого наукового співробітника Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України кандидата хімічних наук **В'юнова Олега Івановича** за багатолітню творчу працю та вагомий здобутки в галузі неорганічної хімії твердого тіла;

- наукового співробітника Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України кандидата хімічних наук **Іваху Надію Борисівну** за наполегливу творчу працю та особисті здобутки в дослідженні координаційних сполук з ненасиченими замісниками і їх фізико-хімічних властивостей;

- провідного наукового співробітника Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України доктора хімічних наук **Чернія Віктора Ярославовича** за багатолітню наукову працю, вагомий здобутки у професійній діяльності та особистий внесок у розвиток наукових досліджень у галузі неорганічної хімії і хімії макроциклічних сполук;

- проректора з наукової роботи Сумського національного аграрного університету доктора економічних наук **Данька Юрія Івановича** за плідну творчу працю на освітянській ниві, вагомий особистий внесок у впровадження інноваційних форм управління організацією наукової роботи в Університеті та активне сприяння професійному розвитку молодих науковців-економістів.

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик



ЄФІМОВА

Світлана Леонідівна — член-кореспондент НАН України, завідувач відділу наноструктурних матеріалів ім. Ю.В. Малюкіна Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України

РОЗРОБЛЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ ДЛЯ БІОМЕДИЧНИХ ЗАСТОСУВАНЬ

Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 11 листопада 2021 року

У доповіді наведено найважливіші результати фундаментальних і прикладних досліджень та науково-технічних розробок відділу наноструктурних матеріалів ім. Ю.В. Малюкіна Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України зі створення нових багатофункціональних наноструктурованих матеріалів на основі люмінесцентних редокс-активних та сцинтиляційних нанокристалів, які є перспективними для застосування в біомедичній сфері та фармацевтиці. Показано, що наночастинки на основі оксидів рідкісноземельних елементів мають великий потенціал для використання в медичній практиці.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні колеги!

Для мене велика честь презентувати сьогодні на засіданні Президії НАН України нові результати робіт з розроблення інноваційних наноматеріалів для біомедичних застосувань. Ці дослідження було започатковано понад 20 років тому за ініціативою члена-кореспондента НАН України Юрія Вікторовича Малюкіна та за підтримки академіків НАН України Валентина Івановича Грищенка (Інститут проблем кріобіології і кріомедицини НАН України), Миколи Яковича Співака (Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України) та Володимира Петровича Семиноженка (НТК «Інститут монокристалів» НАН України). Вже тоді було зрозуміло, що лише за умови кооперації біологів, медиків, хіміків та фізиків можна досягти проривних результатів у цій галузі. Так в Інституті сцинтиляційних матеріалів НАН України було створено наш відділ наноструктурних матеріалів, який сьогодні названо ім'ям фундатора цього напрямку Ю.В. Малюкіна.

Сьогодні наноматеріали мають досить широкий спектр використання. Створено вже цілу низку наноматеріалів, перспективних для застосування у різних галузях, однак біомедична сфера, охорона здоров'я, харчова промисловість та сільське господарство належать, так би мовити, до першого кола інтересів.

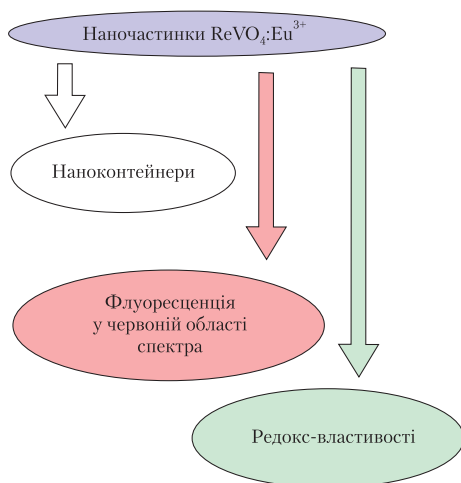


Рис. 1. Властивості наночастинок ортованадатів рідкісноземельних елементів, які зумовлюють можливість їх застосування як тераностичних агентів

У медичній сфері від самого початку наноматеріали різного складу переважно пропонуються для застосування як своєрідні наноконтейнери для доставки лікарських засобів у потрібне місце в організмі, що особливо актуально для лікування онкологічних захворювань. Крім того, наноматеріали часто використовують як діагностичні агенти.

Сьогодні у світі спостерігається дуже цікава тенденція до поєднання в одному лікарському засобі двох складових — з терапевтичною і діагностичною функціями. Цей тренд у медицині, пов'язаний здебільшого з використанням наноматеріалів, здобув назву *тераностика* («терапія» + «діагностика»).

Отже, як вважається, сучасний ефективний лікарський засіб має містити наноконтейнер для цілеспрямованої доставки лікарської речовини, власне лікарський компонент та діагностичний агент (наприклад, флуоресцентний зонд), який дозволяє візуалізувати накопичення лікарського засобу та дослідити ефективність лікування в цілому. Однак «найвищим пілотажем» при розробленні таких тераностичних агентів є застосування наноматеріалів, які здатні виконувати ці функції одночасно.

Мою доповідь присвячено саме таким наноматеріалам — наночастинкам ортованада-

тів рідкісноземельних елементів, які завдяки своїм властивостям можуть бути яскравим прикладом тераностичних агентів (рис. 1). По-перше, їх можна використовувати як наноконтейнери для доставки активного компонента в живу клітину. По-друге, завдяки допудванню іонами європію вони характеризуються яскравою червоною люмінесценцією, що дозволяє візуалізувати їх накопичення в окремих клітинах або тканинах. І по-третє, як було встановлено в наших дослідженнях, ці наночастинки мають редокс-властивості, тобто здатні брати участь у реакціях захоплення електрона, а отже, генерувати або знищувати активні форми кисню. Саме ці властивості дозволяють нам розглядати їх як терапевтичні агенти.

Тут варто пояснити, чому так важливі редокс-властивості цих наночастинок. Активні форми кисню (АФК) — це вільні кисневмісні радикали (супероксид аніон $\text{O}_2^{\bullet-}$, гідроксил радикал $\bullet\text{OH}$, перекис водню H_2O_2 , деякі органічні пероксиди та синглетний кисень). АФК у певних концентраціях відіграють дуже важливу роль у функціонуванні організму. Вони задіяні в таких процесах, як регулювання артеріального тиску, контроль імунної системи, виробництво енергії, сигнальні процеси, ріст клітин, синтез різних біологічних сполук тощо. Необхідний рівень АФК підтримується спеціальною антиоксидантною системою живої клітини, яка включає специфічні ферменти — каталазу, супероксиддисмутазу та ін.

Однак різні негативні фактори зовнішнього середовища, а також стресові стани призводять до підвищення концентрації АФК, з якою наша захисна система не може впоратися, що спричиняє пошкодження клітинних мембран, руйнування ДНК — ситуацію, відому як оксидативний стрес. Згідно з сучасними уявленнями, саме оксидативний стрес є причиною розвитку багатьох захворювань, зокрема діабету, онкологічних і серцево-судинних хвороб, а також старіння організму.

Розвиток досліджень зі з'ясування ролі активних форм кисню зумовив появу нового напрямку — АФК-регулюючої медицини. Цей термін з'явився зовсім недавно і означає застосу-

вання в медичній практиці лікарських засобів, здатних впливати на рівень АФК (анти- або прооксидантів). І в цьому сенсі редокс-активні наноматеріали видаються дуже перспективними.

У наших дослідженнях ми синтезуємо наночастинки ортованадатів рідкісноземельних елементів різного розміру — від кількох нанометрів до десятків і сотень нанометрів — у формі водних колоїдних розчинів, що дуже важливо для біомедичного застосування. Ці наночастинки мають кристалічну структуру і, як уже зазначалося вище, червону флуоресценцію внаслідок наявності в них іонів европію.

Результати робіт з вивчення структури нанокристалів ванадатів засвідчили наявність у кристалічній ґратці значної кількості іонів ванадію зі ступенями окиснення +4 і +3 (поряд зі стехіометричним ванадієм зі ступенем окиснення +5). Причому кількість іонів ванадію з більш низьким ступенем окиснення корелює з розміром нанокристала. Так, у маленьких нанокристалів (з лінійним розміром порядку 5 нм) понад 60 % іонів ванадію мають ступені окиснення +3 і +4 (рис. 2). Це пов'язано з тим, що в оксидних нанокристалах зі зменшенням їх розміру утворюються кисневі вакансії. Залишаючи кристалічну ґратку загалом нейтральною, кисень віддає 2 електрони сусіднім атомам, у нашому випадку — V^{5+} .

Наявність таких «зайвих» електронів вказує на потенційну здатність нанокристалів ортованадатів рідкісноземельних елементів брати участь у нейтралізації АФК, тобто на антиоксидантні властивості цих наночастинок, що й було нами детально вивчено на різних модельних та біологічних системах різного ступеня складності із застосуванням різних сенсорів АФК.

Дійсно, було встановлено, що нанокристали ортованадату гадоліній-ітрію проявляють ензимоподібні властивості. У водних розчинах ми спостерігали (рис. 3) пригнічення утворення супероксид-аніона (подібно до дії супероксиддисмутази) та прискорення розкладання пероксиду водню (подібно до дії каталази) [1].

Антиоксидантні властивості наночастинок ортованадату гадоліній-ітрію спостерігалися також при рентгенівському опроміненні вод-

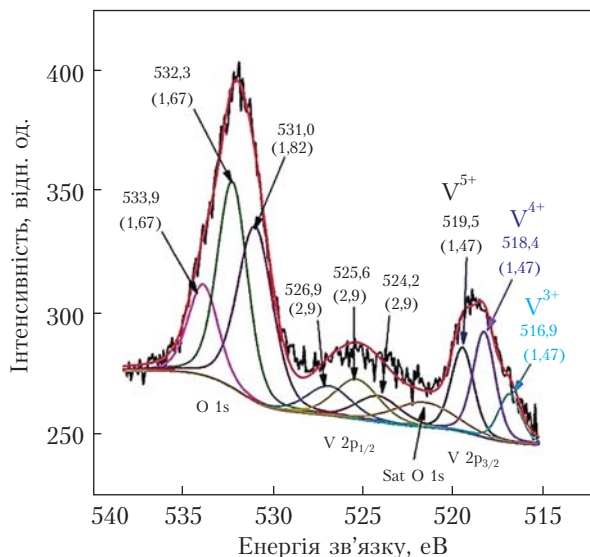


Рис. 2. Спектр наночастинок $GdYVO_4:Eu^{3+}$, отриманий методом рентгенівської фотоелектронної спектроскопії

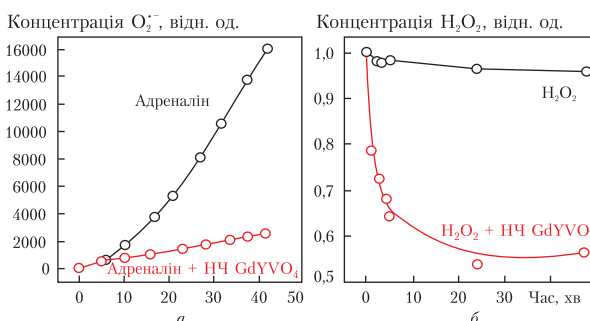


Рис. 3. Ензимоподібні властивості наночастинок $GdYVO_4:Eu^{3+}$. Динаміка утворення супероксид-аніона (а) та пероксиду водню (б) у водному розчині за відсутності та за присутності наночастинок

них розчинів, незважаючи на те, що наночастинки поглинають м'який рентген, який застосовувався в експерименті. У водних розчинах за присутності наночастинок спостерігається зменшення концентрації гідроксильних радикалів як основного продукту радіолізу води (рис. 4) [2], а отже, наночастинки $GdYVO_4:Eu^{3+}$ мають радіопротекторні властивості.

Дуже цікавим виявився той факт, що наночастинки ортованадатів мають не лише антиоксидантні, а й прооксидантні властивості, тобто можуть генерувати АФК [3]. Нанокрис-

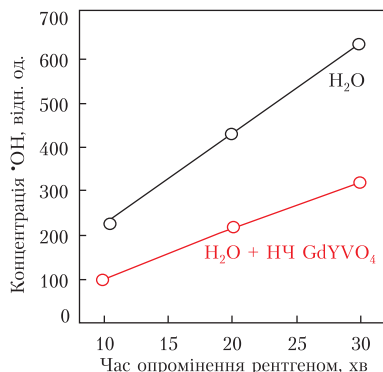


Рис. 4. Динаміка генерації гідроксильних радикалів у водних розчинах, що містять наночастинки $\text{GdYVO}_4:\text{Eu}^{3+}$, та у водних розчинах без них при рентгенівському опроміненні ($V = 30$ кВ, $I = 20$ мА)

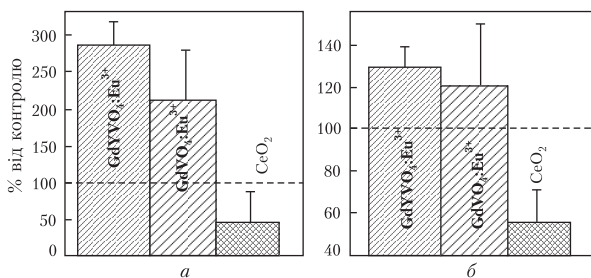


Рис. 5. Відносна ефективність окиснення ліпідів (а) та генерації •ОН-радикалів під дією УФ-опромінення (б) у водних розчинах, які містять наночастинки $\text{GdYVO}_4:\text{Eu}^{3+}$, $\text{GdVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ та CeO_2

тали належать до широкозонних напівпровідників, опромінення їх ультрафіолетом приводить до утворення електрон-діркових пар, які можуть мігрувати до поверхні наночастинки та взаємодіяти з адсорбованими на ній молекулами кисню і води з утворенням, відповідно, супероксид-аніона і гідроксил-радикала. Дані, наведені на рис. 5, свідчать про те, що присутність наночастинок ортованадатів гадоліній-ітрію і гадолінію прискорює окиснення ліпідів (модель клітинних мембран) та зумовлює генерацію гідроксильних радикалів під дією УФ-опромінення, на відміну від широковідомих наночастинок діоксиду церію, які в цих умовах зберігають свої антиоксидантні властивості.

Крім того, у наших дослідженнях було вперше встановлено ефект так званої темної ге-

нерації АФК. Показано, що при попередньому опроміненні УФ-світлом спостерігається запасання носіїв заряду на пастках — дефектах структури наночастинок. Після зняття опромінення, в темнових умовах, електрони та дірки поступово вивільнюються з пасток, мігрують до поверхні наночастинки, де взаємодіють з адсорбованими молекулами кисню та води. Ефект темної генерації спостерігався як для гідроксил-радикалів, так і для супероксид-аніона. Причому для •ОН-радикалів цей ефект тривав упродовж 4 днів після попереднього опромінення розчинів (рис. 6), а ефективність темної генерації була порівнянною з фотоіндукованою генерацією АФК, тобто такою, що спостерігається при опроміненні зразків [4].

Отже, наночастинки $\text{GdYVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ і $\text{GdVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ мають унікальні АФК-регулюючі властивості, якими ми можемо керувати за власним бажанням!

Тест з окисненням ліпідів (модельна система клітинних мембран як найперша мішень ураження АФК) підтвердив, що попереднє УФ-опромінення наночастинок перед введенням їх у систему значно прискорює окиснення ліпідів, тоді як наночастинки, які не були опромінені, є ефективними антиоксидантами, тобто захищають ліпіди від окиснення. Такий самий ефект спостерігали й в експерименті з оцінювання життєздатності клітин фібробластів миші при додаванні наночастинок обох типів [5].

Ще одним напрямом наших досліджень є створення композицій складу «сцинтиляційна наночастинка — органічна молекула-фотосенсибілізатор» для потреб фотодинамічної терапії. Цей медичний підхід оснований на застосуванні органічних молекул фотосенсибілізаторів, які при опроміненні світлом, як правило, в червоній ділянці спектра, генерують синглетний кисень — дуже реактивну форму АФК, яка ефективно руйнує клітини, зокрема пухлинні. Однак цей метод має суттєвий недолік — він призначений для лікування лише поверхневих пухлин, оскільки збуджувальне світло поглинається тканинами організму. Нещодавно було запропоновано використовувати у цьому підході сцинтиляційні наночастинки, які ефек-

тивно поглинають рентгенівське випромінювання та передають енергію збудження молекулам фотосенсибілізатора, які, в свою чергу, генерують синглетний кисень. Використання сцинтиляційних наночастинок дозволить лікувати глибоко розташовані пухлини та вирішити ще кілька проблем, таких як селективна доставка фотосенсибілізатора безпосередньо в пухлину, забезпечення синергетичного ефекту, ідентифікація накопичення наночастинок у пухлині за їх люмінесценцією.

Ми створили комплекс на основі сцинтиляційних наночастинок фториду лантану, допованого тербієм, та молекул фотосенсибілізатора бенгальського рожевого, який характеризується ефективним перенесенням енергії електронного збудження між наночастиною та органічною молекулою, а також, як наслідок, ефективною генерацією синглетного кисню при рентгенівському опроміненні. Крім того, наночастинок фториду лантану при рентгенівському опроміненні здатні генерувати і гідроксил-радикали, що дуже актуально для лікування злоякісних пухлин, які, як відомо, збіднені киснем (рис. 7) [6].

У рамках наших досліджень з розроблення та застосування наноматеріалів ми плідно співпрацюємо з Інститутом проблем кріобіології і кріомедицини НАН України; Інститутом медичної радіології та онкології ім. С.П. Григор'єва НАМН України; Інститутом проблем ендокринної патології ім. В.Я. Данилевського НАМН України; Харківським національним медичним університетом; Інститутом біології Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна; Інститутом мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України; Інститутом експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України; Національним науковим центром «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського»; Національним науковим центром «Інститут експериментальної і клінічної ветеринарної медицини»; Інститутом тваринництва НААН України; кафедрою ветеринарної хірургії та репродуктології Державного біотехнологічного університету. Ми

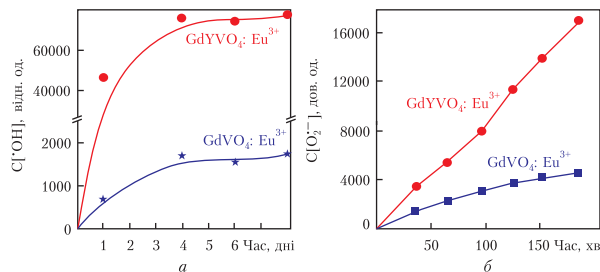


Рис. 6. Темнова генерація $\cdot\text{OH}$ (а) та $\text{O}_2^{\cdot-}$ (б) радикалів у водних розчинах, що містять наночастинок $\text{GdVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ і $\text{GdVO}_4:\text{Eu}^{3+}$

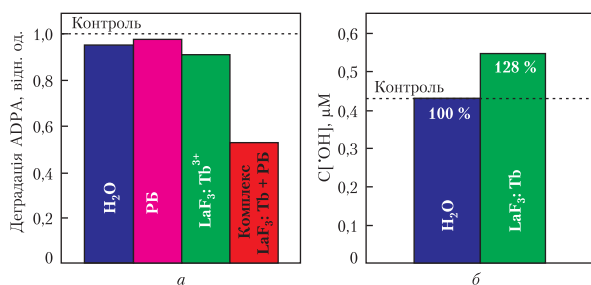


Рис. 7. Генерація синглетного кисню (а) комплексом $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$ -РБ та його окремими компонентами і генерація $\cdot\text{OH}$ -радикалів (б) при рентгенівському опроміненні впродовж 20 хв

також виконували спільні наукові дослідження з фармацевтичною компанією «Фармак».

Я лише коротко розповім про найбільш цікаві з цих результатів.

Спільно з Інститутом проблем ендокринної патології ім. В.Я. Данилевського НАМН України з використанням наночастинок ортованадатів гадолінію було розроблено мазь з репаративними властивостями. Показано, що при застосуванні цієї мазі загоєння ран у тварин з діабетом відбувалося ефективніше порівняно навіть з традиційним ранозагоювальним засобом вундехіл. Мазь виявилася також ефективною при лікуванні пролежнів у хворої, яка страждає на цукровий діабет 2-го типу.

Дуже цікаві експерименти було проведено спільно з біологами Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Аналізували вплив хронічного застосування водних розчинів ортованадатів гадолінію на старіючий організм щурів. Як уже зазначалося, з ві-



Рис. 8. Дільниця синтезу наночастинок біомедичного призначення

ком активність антиоксидантних ферментів знижується, що призводить до накопичення продуктів вільнорадикального окиснення. В експериментах було показано, що вживання з водою впродовж тривалого часу наночастинок $GdVO_4:Eu^{3+}$ привело до достовірного зменшення концентрації гідропероксидів ліпідів у печінці і крові старіючих щурів, а також до підвищення активності антиоксидантних ферментів практично до рівня молодих тварин. Крім того, вживання водного розчину наночастинок ортованадатів сприяло подовженню тривалості життя щурів. Так, медіана виживання контрольних щурів становила 900 днів, а у піддослідних тварин, які отримували з питною водою наночастинок $GdVO_4:Eu^{3+}$, — 1010 днів. Смерть останньої контрольної тварини було зафіксовано на 1130-й день після народження, а піддослідної — на 1160-й день [7].

Ми також використали так звану модель прискороного старіння, тобто застосували надмірне харчування тварин у ранньому віці, щоб з'ясувати здатність наночастинок ортованадатів гадолінію корегувати гормональні порушення, які розвиваються у зростаючому організмі в разі надмірного харчування. Встановлено, що застосування наночастинок $GdVO_4:Eu^{3+}$ збільшує виживаність експериментальних тварин на 32 %, а тривалість життя — на 25 % порівняно з групою прискороного старіння [8].

У співпраці з фармацевтичною компанією «Фармак» було розроблено методики отримання водорозчинних форм гідрофобних біологічно активних сполук, у тому числі лікарських засобів з використанням наночастинок з антиоксидантними властивостями. Ці методики компанія використала при створенні оригінальної «капсульованої» форми протизапального засобу для лікування печінки. Спільно з колегами з Австрії її було протестовано на 3D-моделі печінки і показано поліпшення протизапальних властивостей препарату [9].

Наведені результати було отримано при виконанні таких проєктів: «Створення наноматеріалів з керованою електро-, фото- та рентген-стимульованою активністю» (2016–2018); «Розробка багатофункціональних біосумісних наноконтейнерів і наноносіїв для доставки, діагностики і лікування» в межах цільової комплексної програми фундаментальних досліджень НАН України «Матеріали для медицини і медичної техніки та технології їх отримання і використання» (2017–2021); «Дослідження механізмів редокс-активності нанокристалів оксидів, що містять іони зі змінною валентністю ($MeVO_4$, $MeWO_4$, Sr_2CeO_4), та створення гібридних комплексів «нанокристал — органічна молекула» (2019–2021). Зараз ці роботи продовжуються в рамках проєкту «Розробка наноматеріалів з керованою редокс-активністю та люмінесцентними властивостями для біомедичних застосувань» (2020–2022), що здобув грант Національного фонду досліджень України за підсумками конкурсу «Підтримка досліджень провідних та молодих вчених».

За останні 5 років науковці відділу наноструктурних матеріалів ім. Ю.В. Малюкіна Інституту сцинтиляційних матеріалів НАН України опублікували за цією тематикою понад 50 наукових статей, більшість з яких — у міжнародних журналах з високим імпаکت-фактором, що належать до кuartилів Q1 і Q2; було захищено 2 докторські та 3 кандидатські дисертації; отримано 4 патенти України на винахід, 4 патенти України на корисну модель, подано 2 заявки на винахід.

Для масштабування методик синтезу наночастинок в Інституті сцинтиляційних матеріалів

лів НАН України було створено дільницю синтезу наночастинок біомедичного призначення (рис. 8).

На завершення хочу подякувати всім колегам, які брали участь у виконанні цих досліджень, а також вшанувати пам'ять Юрія Вікто-

ровича Малюкіна, який був ініціатором та засновником напрямку з розроблення і дослідження наноматеріалів біомедичного призначення.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Maksimchuk P.O., Hubenko K.O., Seminko V.V., Karbivskii V.L., Tkachenko A.S., Onishchenko A.I., Prokopyuk V.Yu., Yefimova S.L. High antioxidant activity of gadolinium-yttrium orthovanadate nanoparticles in cell-free and biological milieu. *Nanotechnology*. 2021. **33**(5): 055701. DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6528/ac31e5>
2. Maksimchuk P.O., Yefimova S.L., Omielaieva V.V., Hubenko K.O., Klochkov V.K., Opolonin O.D., Malyukin Yu.V. X-ray Induced Hydroxyl Radical Generation by $\text{GdYVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ Nanoparticles in Aqueous Solution: Main Mechanisms. *Crystals*. 2020. **10**(5): 370. DOI: <https://doi.org/10.3390/cryst10050370>
3. Yefimova S.L., Maksimchuk P.O., Seminko V.V., Kavok N.S., Klochkov V.K., Hubenko K.A., Sorokin A.V., Kurilchenko I.Yu., Malyukin Yu.V. Janus-faced redox activity of $\text{LnVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ ($\text{Ln} = \text{Gd}, \text{Y}, \text{La}$) nanoparticles. *J. Phys. Chem. C*. 2019. **123**(24): 15323–15329. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b03040>
4. Maksimchuk P.O., Yefimova S.L., Hubenko K.O., Omielaieva V.V., Kavok N.S., Klochkov V.K., Sorokin A.V., Malyukin Yu.V. Dark Reactive Oxygen Species Generation in $\text{ReVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ ($\text{Re} = \text{Gd}, \text{Y}$) Nanoparticles in Aqueous Solutions. *J. Phys. Chem. C*. 2020. **124**(6): 3843–3850. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.9b10143>
5. Yefimova S.L., Maksimchuk P.O., Hubenko K.O., Omielaieva V.V., Kavok N.S., Klochkov V.K., Malyukin Yu.V., Semynozhenko V.P. Light-triggered redox activity of $\text{GdYVO}_4:\text{Eu}^{3+}$ nanoparticles. *Spectrochimica Acta A*. 2020. **242**: 118741. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.saa.2020.118741>
6. Maksimchuk P.O., Hubenko K.O., Bepalova I.I., Sorokin A.V., Borovoy I.A., Yefimova S.L. $\text{LaF}_3:\text{Tb}^{3+}$ Bengal Rose nanocomplexes for X-ray activated ROS generation. *Journal of Molecular Liquids*. 2021. **330**(208): 115653. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.115653>
7. Nikitchenko Y.V., Klochkov V.K., Kavok N.S., Karpenko N.A., Yefimova S.L., Nikitchenko I.V., Bozhkov A.I. Correction to: Age-Related Effects of Orthovanadate Nanoparticles Involve Activation of GSH-Dependent Antioxidant System in Liver Mitochondria. *Biological Trace Element Research*. 2021. **199**(3): 1213. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12011-020-02225-5>
8. Nikitchenko Y.V., Klochkov V.K., Kavok N.S., Karpenko N.A., Sedyh O.O., Bozhkov A.I., Malyukin Y.V., Semynozhenko V.P. Orthovanadate nanoparticles delay the accelerated aging in rats via the prevention of oxidative disturbances. *Dopov. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2020. (7): 43–51. DOI: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.07.043>
9. Eilenberger C., Selinger F., Rothbauer M., Lin Y., Limbeck A., Schädler B., Grillari J., Kavok N.S., Klochkov V.K., Malyukin Yu.V., Margitich V., Ertl P. Cytotoxicity, Retention, and Anti-inflammatory Effects of a CeO_2 Nanoparticle-Based Supramolecular Complex in a 3D Liver Cell Culture Model. *ACS Pharmacol. Transl. Sci.* 2021. **4**(1): 101–106. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsptsci.0c00170>

Svetlana L. Yefimova

Institute for Scintillation Materials of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2092-1950>

DEVELOPMENT OF INNOVATIVE NANOMATERIALS FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

Transcript of report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, November 11, 2021

The report presents the most important results of basic and applied research and scientific and technical developments of the Yu.V. Malyukin Department of Nanostructured Materials of the Institute of Scintillation Materials of the NAS of Ukraine to create new multifunctional nanostructured materials based on luminescent redox-active and scintillation nanocrystals, which are promising for use in the biomedical field and pharmacology. It is shown that nanoparticles based on oxides of rare earth elements have great potential for use in medical practice.

Keywords: inorganic nanoparticles, antioxidant, reactive oxygen species, theranostics.



ФІЛОНЕНКО
Валерій Вікторович —
член-кореспондент НАН
України, завідувач відділу
сигнальних систем клітини
Інституту молекулярної біології
і генетики НАН України

КОАЛЮВАННЯ ЯК НОВИЙ МЕХАНІЗМ ЗАХИСТУ ОРГАНІЗМУ ВІД ОКСИДАТИВНОГО СТРЕСУ

Стенограма доповіді на засіданні Президії
НАН України 11 листопада 2021 року

У доповіді наведено результати співпраці вчених Інституту молекулярної біології і генетики НАН України та лабораторії клітинної регуляції Університетського коледжу Лондона зі з'ясування механізму біосинтезу та визначення нових функцій коензиму А (КоА), який відіграє ключову роль у багатьох біохімічних клітинних реакціях. Уперше у світі було ідентифіковано ензим КоА-синтазу, який відповідає за два останні етапи біосинтезу КоА, а також визначено всі ензими, задіяні в цьому процесі. Встановлено новий тип посттрансляційної модифікації білків — коалювання, який виявився поширеним і універсальним механізмом антиоксидантного захисту протеїнів клітин та організму в цілому від оксидативного стресу. Наголошено на перспективності подальшого вивчення ролі коалювання в патогенезі нейродегенеративних захворювань з метою розроблення сучасних підходів до їх лікування та профілактики.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні члени Президії НАН України! Шановні присутні!

Білкові молекули відіграють центральну роль у підтриманні функціональної активності клітини. Як процеси біосинтезу білків, що відбуваються внаслідок експресії відповідних генів, так і процеси регуляції їхніх функцій у клітині, дуже чутливі до змін у позаклітинному оточенні і миттєво реагують на змінення вмісту в ньому поживних речовин, наявність факторів росту, гормонів, патогенів, а також чинників, що ініціюють оксидативний стрес.

За даними проєкту «Геном людини», який завершився в 2003 р., геном людини містить близько 20 тис. генів, які переважно кодуєть білкові молекули. При цьому транскриптом людини (сукупність усіх РНК, утворених у результаті транскрипції) на сьогодні оцінюють у щонайменше 100 тис. різно-

відів мРНК, що можна пояснити сплайсингом, а протеом (сукупність усіх експресованих білків) сягає як мінімум 400 тис.

Однак найбільше різноманіття протеїнів у клітині досягається завдяки їх посттрансляційним модифікаціям, що утворюються вже після завершення процесу біосинтезу білка. Це не є сталі утворення, навпаки, вони надзвичайно динамічні і координуються позаклітинними стимулами. Саме завдяки модифікаціям відбуваються структурні та функціональні зміни протеїнів, які відіграють ключову роль у регуляції їх ензиматичної активності, субклітинної локалізації, внутрішньоклітинного сигналювання, ініціації процесів деградації та ін.

До найбільш поширених посттрансляційних модифікацій протеїнів належать фосфорилювання (приєднання до білкової молекули фосфатної групи), ацетилювання (приєднання ацетильної групи), метилювання (приєднання метильної групи) та убіквітинування (приєднання до цільового протеїну молекули невеликого білка убіквітину). Чотири роки тому в науковій літературі з'явився термін «коалювання», який позначає новий тип посттрансляційної модифікації білка, що полягає в приєднанні коензиму А (КоА) до цільового білка з утворенням дисульфідного зв'язку з його цистеїновими залишками. Слід зазначити, що поява цього нового терміна стала результатом спільних досліджень відділу сигнальних систем клітини Інституту молекулярної біології і генетики НАН України та лабораторії клітинної регуляції Університетського коледжу Лондона, яку очолює професор Іван Гут (Ivan Gout).

Для розуміння важливості і значущості цього відкриття варто нагадати, що Нобелівську премію з фізіології або медицини 1953 р. було присуджено двом видатним біохімікам — Фріцу Ліпману і Гансу Кребсу за відкриття молекули коензиму А та проміжного метаболізму, в якому КоА відіграє ключову роль. Як кофермент КоА залучений до каталізу близько 4 % усіх біохімічних реакцій у клітині, які забезпечують енергетичний метаболізм, біосинтез амінокислот, жирних кислот, холестеролу,

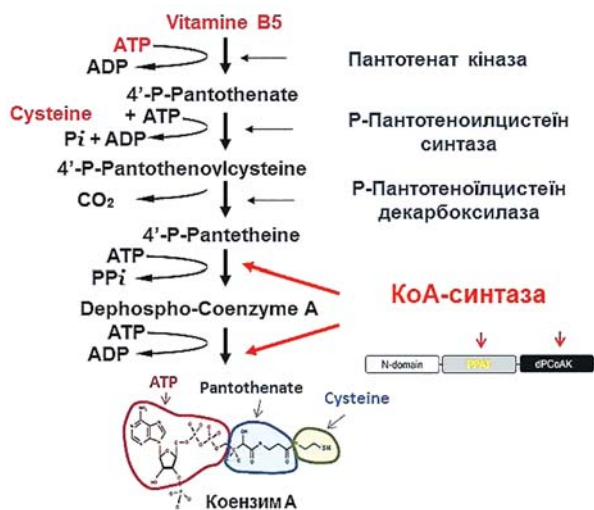


Рис. 1. Ензими, залучені до біосинтезу коензиму А

кетонів, нейротрансмітерів, адже він є універсальним переносником ацетил- та ацил-груп. Крім того, ацетил-КоА є важливою складовою в регуляції експресії генів завдяки його ролі в ацетилюванні гістонів.

З огляду на таке різноманіття функціональних активностей коензиму А в клітині не дивно, що тяжкі патології людини, серед яких серцево-судинні, нейродегенеративні захворювання, метаболічні розлади тощо, супроводжуються змінами в біосинтезі КоА. Проте впродовж тривалого часу молекулярні механізми біосинтезу КоА в клітині були досліджені недостатньо.

Вже давно було відомо, що біосинтез коензиму А відбувається в п'ять етапів за участі субстрату вітаміну В₅, АТФ та цистеїну, але ідентифіковано було лише ензими, відповідальні за перші три етапи біосинтезу. Спільними зусиллями нашого відділу та лабораторії професора Івана Гута вдалося ідентифікувати ензим, відповідальний за два останні етапи біосинтезу, — КоА-синтазу [1–4] (рис. 1). Клонування його гена дало змогу встановити біфункціональність цього ензиму, а саме, наявність двох каталітичних доменів, що відповідають за фосфопантетеїнаденілтрансферазну та дефосфокоакіназну активності. Це дозволило

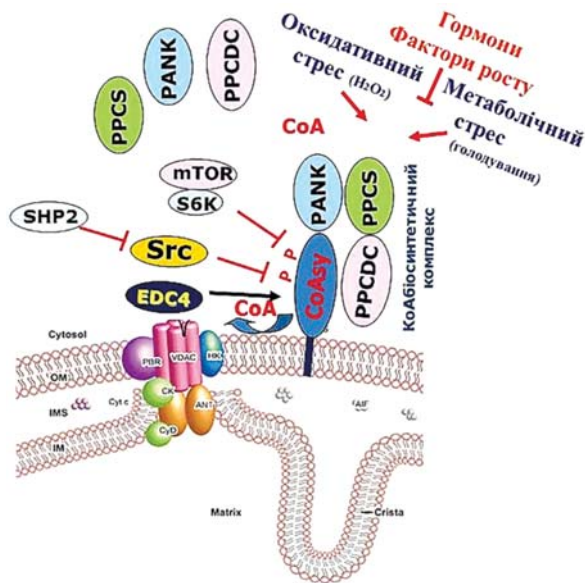


Рис. 2. Біосинтез коензиму А, який активується в умовах оксидативного та метаболічного стресів

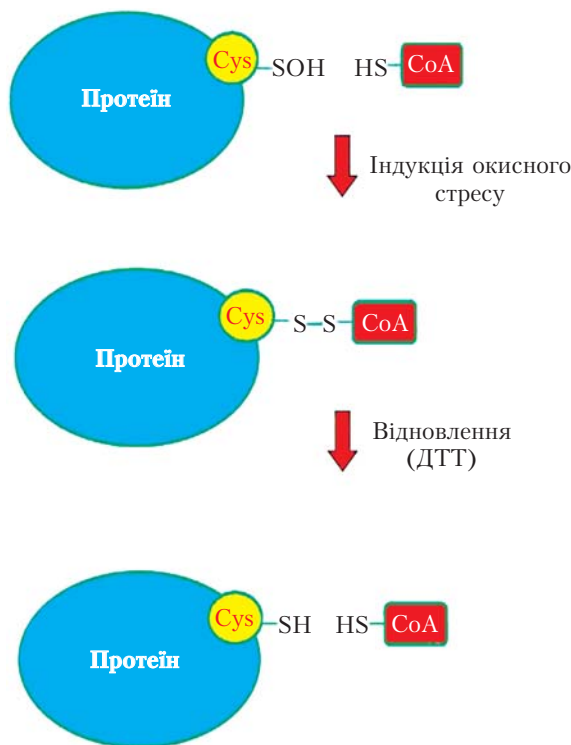


Рис. 3. Коалювання як новий тип модифікації білків

застосувати низку молекулярно-біологічних підходів для з'ясування молекулярних механізмів регуляції біосинтезу КоА, що раніше було неможливим.

За результатами ретельно проведених досліджень [2, 4–7] було виявлено механізми як позитивної, так і негативної регуляції біосинтезу коензиму А. При цьому, з огляду на важливу роль КоА в енергетичному метаболізмі та біосинтетичних процесах у клітині, досить несподіваним виявився той факт, що поживні речовини і фактори росту пригнічували активність КоА-біосинтетичного комплексу, тоді як в умовах оксидативного та метаболічного стресів біосинтез КоА активізувався (рис. 2).

Зазначимо, що під оксидативним стресом ми маємо на увазі тривале в часі підвищення вмісту в клітині реактивних форм кисню, що призводить до окиснення білків, ліпідів та ДНК і, як наслідок, спричинює пошкодження клітинних структур та клітин у цілому, а отже, є першопричиною прискорення процесів старіння та розвитку багатьох захворювань людини, таких як серцево-судинні, нейродегенеративні хвороби, метаболічні розлади.

Слід зауважити, що на протигагу тривалому в часі підвищенню рівня реактивних форм кисню, його тимчасове зростання (зазвичай локальне) відбувається за нормальних фізіологічних умов, наприклад, є невід'ємною складовою клітинного сигналювання і, відповідно, регуляторних процесів у клітині.

Отже, на основі отриманих результатів щодо активації біосинтезу коензиму А в умовах оксидативного стресу було зроблено припущення про нові функції КоА, зокрема як антиоксиданта.

З'ясування цього питання було б неможливим без застосування специфічних моноклональних антитіл проти КоА, які успішно було створено у відділі сигнальних систем клітини Інституту молекулярної біології і генетики НАН України. Саме за допомогою цих унікальних антитіл з використанням різних методичних підходів, як-от гель-електрофорез та імуофлуоресцентна мікроскопія, і було

детектовано коалювання білків у клітині, що ініціюється окисниками і, відповідно, відбувається за умови окислативного стресу (рис. 3) [8, 9].

З'ясувалося, що такий тип модифікації є дуже поширеним та універсальним як для прокариотів, так і для еукаріотів, і виникає за умови ініціації окислативного чи метаболічного стресу на рівні окремих клітин, тканин чи організму в цілому. Подальший мас-спектрометричний аналіз коалюваних білків, ізольованих з клітинних та тканинних лізатів за допомогою антиКоА-моноклональних анти-тіл, дав змогу встановити, що цей тип модифікації характерний для надзвичайно широкого спектру білків – його виявлено щонайменше в 2000 білків, які мають різну функціональну активність у клітині (рис. 4) [9, 10].

Отже, детальний аналіз впливу коалювання на функціонування цілої низки білків, для яких було виявлено цей тип модифікації за індукції окислативного стресу, дозволив встановити його захисну функцію. З'ясувалося, що за наявності в навколишньому середовищі реактивних форм кисню коалювання цистеїнових залишків білків унеможливує їх окиснення, яке спричинило б незворотну інактивацію, агрегацію та деградацію протеїнів (рис. 5).

Тому, на відміну від інших систем антиоксидантного захисту (ензиматичних та неензиматичних), спрямованих на усунення причин стресу шляхом інактивації реактивних форм кисню, антиоксидантна функція коензиму А полягає в запобіганні руйнівним наслідкам окислативного стресу. Деякою мірою це схоже на дію глутатіону, однак, як було встановлено, спектри білків, модифікованих КоА і глутатіоном, істотно різняться.

Крім захисної функції отримані результати дали змогу виявити й регуляторну функцію коалювання, яка пов'язана як з конформаційними змінами білка внаслідок коалювання, так і з наявністю АДФ у складі коензиму А, завдяки чому він здатен конкурувати з АТФ за зв'язування з активним центром ензимів. Для ензиму гліколізу гліцеральдегідфосфат-дегідрогенази встановлено, що коалювання

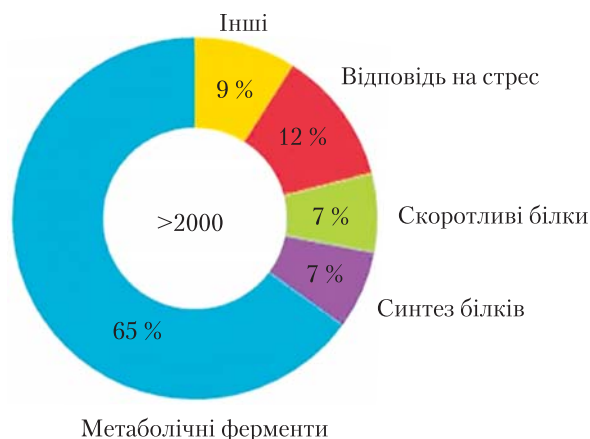


Рис. 4. Мас-спектроскопічне визначення та розподіл за функціональною активністю коалюваних за умови окислативного стресу білків у клітинах бактерій, ссавців та тканинах тварин

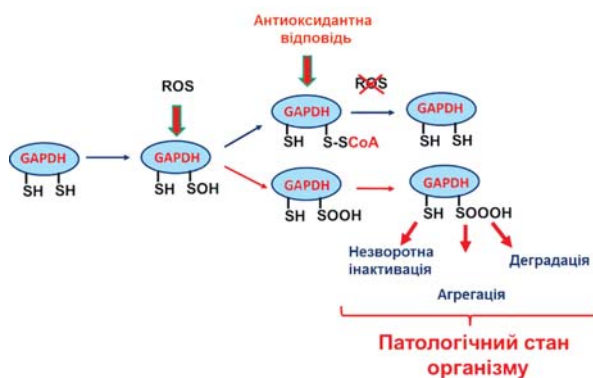


Рис. 5. Механізм антиоксидантної дії коензиму А

пригнічує його активність, однак це має оборотний характер. Виявилося, що коалювання транскрипційного фактора AgrA перешкоджає його зв'язуванню з промоторною ділянкою ДНК і тим самим негативно впливає на транскрипцію генів. Для кінази Аугога встановлено факт коалювання тільки фосфорильованої і, відповідно, активованої форми ензиму й показано негативний вплив цієї модифікації на активність ензиму, що, за даними кристалграфічного аналізу, призводить до блоку-

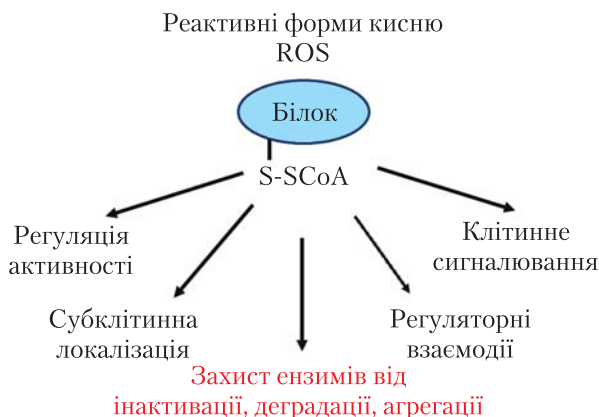


Рис. 6. Клітинні функції коалювання білків

вання його активного центру, а саме – АТФ-зв'язувального сайту [11].

Таким чином, за умови фізіологічного тимчасового підвищення вмісту реактивних форм кисню коалювання може бути важливим регуляторним елементом. В умовах оксидативного стресу коалювання білків виконує захисну функцію (рис. 6). Тому, зважаючи на все зазначене вище, логічно припустити важливу роль коалювання білків у патогенезі захворювань, пов'язаних з оксидативним стресом. Нас особливо зацікавила роль коалювання в розвитку нейродегенеративних захворювань, адже мутації в генах, ключових у біосинтезі КоА-ензимів, а саме: фосфопантотенат кінази та відкритої нами КоА-синтази, було виявлено при нейродегенерації, яка супроводжується накопиченням у нейронах заліза (NBIA).

З використанням імуногістохімічного аналізу зразків головного мозку хворих на NBIA дійсно було виявлено структури, які містили коалювані білки. Однак коалювання було виявлено і при інших нейродегенераціях, зокрема при хворобі Паркінсона та хворобі Альцгеймера. В разі хвороби Альцгеймера встановлено, що модифікація відбувається з тау-білком, що задіяний у формуванні нейрофібрилярних клубків, які поряд з амілоїдними бляшками є головними патоморфологічними ознаками хвороби Альцгеймера. Більш того, з'ясувалося,

що саме коалювання тау-білка запобігає утворенню ним димерів, індукованих окисниками, що є першим етапом формування нейрофібрилярних клубків нейронів, і призводить до їх деструкції [12]. Тому отримані результати дають усі підстави вважати, що коалювання тау-білка є важливою складовою розвитку хвороби Альцгеймера, і, відповідно, буде доцільним розглянути можливість його впливу на перебіг захворювання.

Отже, наведені експериментальні дані, які було отримано в тісній співпраці відділу сигнальних систем клітини Інституту молекулярної біології і генетики НАН України та лабораторії клітинної регуляції Університетського коледжу Лондона, свідчать про наявність нового типу посттрансляційної модифікації білків – коалювання, що має як регуляторну функцію, так і функцію захисту білків, клітин та організму в цілому від можливих наслідків оксидативного стресу. З огляду на виявлені функції коалювання надзвичайно перспективними є подальші дослідження щодо з'ясування ролі цієї білкової модифікації в патогенезі захворювань людини, пов'язаних з оксидативним стресом, насамперед нейродегенеративних захворювань.

Дякую за увагу!



Гут Іван Тарасович
(Ivan T. Gout)
професор Університетського
коледжу Лондона

Шановний пане Президенте!

Шановні члени Президії!

Дуже дякую за запрошення виступити на засіданні Президії НАН України і розповісти про багаторічну співпрацю з групою Валерія Філоненка. Наші робочі стосунки розпочалися ще наприкінці минулого століття, і впродовж цих років ми опублікували 52 спільні наукові

роботи. Ці дослідження були підтримані науковими грантами INTAS, Wellcome Trust, Лондонської королівської академії наук, Людвігівського інституту дослідження раку (Нью-Йорк, США) та ін.

У доповіді йшлося лише про один напрям нашої співпраці, пов'язаний з останніми досягненнями у вивченні антиоксидантної функції коензиму А. Однак я хотів би коротко нагадати про ту роль, яку відіграли співробітники відділу Валерія Філоненка в дослідженні пухлинних антигенів, особливо у створенні та характеристиці моноклональних антитіл проти специфічного антигену МХ35. Коли я працював у Людвігівському інституті, це був один з основних напрямів у вивченні раку. Кілька лабораторій у Нью-Йорку і Лондоні працювали над тим, щоб визначити антиген, який розпізнається моноклональними антитілами, і тільки завдяки роботам наших українських колег антиген було ідентифіковано. Це був визначний здобуток, і Валерій Філоненко зі співробітниками є авторами патенту на ці моноклональні антитіла, які зараз перебувають на стадії клінічних випробувань як засіб для лікування раку.

Повертаючись до теми сьогоднішньої доповіді, хотів би зупинитися на тому, чому вивчення антиоксидантної функції коензиму А є важливим і що тут, власне, нового. Зараз у всьому світі антиоксидантам приділяють надзвичайно велику увагу, оскільки вони пов'язані з процесами старіння й активним довголіттям. Коензим А є вкрай необхідним для організму, оскільки всі продукти, які ми споживаємо, розпадаються в клітинах до карбоксильних кислот, а КоА їх зв'язує і переносить у різні частини організму. Цю важливу функцію КоА виконує за нормальних умов. Однак, коли клітини зазнають впливу стресових чинників, пов'язаних з метаболічними розладами, хворобами, інфекціями (як бактеріальної, так і вірусної природи), дією навколишнього середовища, КоА починає працювати як антиоксидант. Він захищає важливі білки від пошкодження їх реактивними сполуками кисню. Тому встановлення механізму антиоксидантної дії КоА,

який продукується в організмі майже в таких самих кількостях, як і АТФ, є дуже актуальним завданням.

Особливо це важливо в разі онкологічних і нейродегенеративних захворювань, таких як хвороба Паркінсона чи хвороба Альцгеймера. Білки, які регулюють процеси коалювання, є дуже перспективними для створення діагностичних і терапевтичних засобів проти цих хвороб.

На завершення хотів би підкреслити, що це фундаментальна наука, і, може, її результати не відразу стануть доступними у клінічній практиці, але без розуміння механізмів тих чи інших процесів, які відбуваються в організмі людини, неможливо створити нові лікувальні засоби.



Комісаренко Сергій Васильович
академік НАН України,
в.о. академіка-секретаря
Відділення біохімії, фізіології
і молекулярної біології НАН
України, директор Інституту
біохімії ім. О.В. Палладіна
НАН України

Шановні колеги!

Насамперед хотів би висловити задоволення від почутої нами доповіді, блискучої не лише за формою, а й насамперед за змістом. Це, мабуть, одна з найкращих робіт, виконаних у нашому Відділенні біохімії, фізіології і молекулярної біології НАН України за останні кілька років.

Загалом коензим А — одна з ключових молекул у біохімії. За функціональністю вона стоїть в одному ряду з молекулою АТФ. Слід зауважити, що крім згаданої в доповіді Нобелівської премії 1953 р. цією найвищою науковою нагородою у 1964 р. було відзначено також Конрада Блоха і Феодора Лінена саме за роботи, пов'язані з вивченням ролі КоА в регуляції обміну холестерину та жирних кислот.

На мою думку, коалювання відіграє центральну роль не стільки в зменшенні вмісту реактивних форм кисню чи їх блокуванні в клітині, скільки саме в процесі регуляції рівнів реактивних форм кисню, які, як ми знаємо, задіяні в найрізноманітніших метаболічних процесах, що відбуваються в організмі.

Окремо хотів би привернути вашу увагу до особистості Івана Тарасовича Гута. Колишній співробітник Інституту експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України, він уже багато років працює за кордоном, але не втратив зв'язок зі своїми українськими колегами, активно співпрацює з ними і часто допомагає українській науці. Ми познайомилися з ним у Лондоні, коли я працював послом України у Великій Британії. Іван Тарасович звернувся до мене з пропозицією. Він тоді вже здобув відповідний досвід у Людвігівському інституті і мав бажання розвивати в Україні спільні дослідження антигенів злоякісного росту пухлин. Я порекомендував йому кілька наших установ, але саме з Інститутом молекулярної біології і генетики НАН України надалі склалися добрі творчі стосунки. Спочатку спільні роботи були пов'язані з вивченням антигенів злоякісного росту, потім з пошуком моноклональних антитіл проти цих антигенів і, зрештою, привели до дуже цікавих і вагомих результатів з коалювання протеїнів, про які ми сьогодні почули.



Тукало
Михайло Арсенійович
академік НАН України,
директор Інституту
молекулярної біології
і генетики НАН України

Шановний Анатолію Глібовичу!
Шановні присутні!

Сьогодні ми заслухали результати досліджень дійсно високого світового рівня. Після Нобелівської премії 2004 р., яку Агарон Чехановер, Аврагам Гершко та Ірвін Роуз отримали за з'ясування ролі убіквітину в клітинній системі деградації білків у протеасомах, відкриття коалювання стало новим і певною мірою несподіваним проривом у вивченні посттрансляційних модифікацій протеїнів.

Окремо хотів би підкреслити, що надзвичайно цікавими є отримані дослідниками дані щодо регуляторної функції коензиму А, особливо у випадку кінази Aurora. Сподіваюся, що найближчим часом їм вдасться знайти й інші регуляторні функції коалювання білків, а також мішені, що відкриє нові можливості для розроблення сучасних підходів до лікування та профілактики нейродегенеративних захворювань.

*За матеріалами засідання
підготувала О.О. Мележик*

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Zhyvoloup A., Nemazanyy I., Babich A., Panasyuk G., Pobigailo N., Vudmaska M., Naidenov V., Kukharenko O., Palchevskii S., Savinska L., Ovcharenko G., Verdier F., Valovka T., Fenton T., Rebholz H., Wang M.-L., Shepherd P., Matsuka G., Filonenko V., Gout I.T. Molecular cloning of CoA Synthase. The missing link in CoA biosynthesis. *J. Biol. Chem.* 2002. **277**(25): 22107–22110. DOI: <https://doi.org/10.1074/jbc.C200195200>
2. Zhyvoloup A., Nemazanyy I., Panasyuk G., Valovka T., Fenton T., Rebholz H., Wang M.-L., Foxon R., Lyzogubov V., Usenko V., Kyamova R., Gorbenko O., Matsuka G., Filonenko V., Gout I.T. Subcellular localization and regulation of coenzyme A synthase. *J. Biol. Chem.* 2003. **278**(50): 50316–50321. DOI: <https://doi.org/10.1074/jbc.M307763200>
3. Nemazanyy I., Panasyuk G., Zhyvoloup A., Panayotou G., Gout I.T., Filonenko V. Specific interaction between S6K1 and CoA synthase: a potential link between the mTOR/S6K pathway, CoA biosynthesis and energy metabolism. *FEBS Lett.* 2004. **578**(3): 357–362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2004.10.091>
4. Nemazanyy I., Panasyuk G., Breus O., Zhyvoloup A., Filonenko V., Gout I.T. Identification of a novel CoA synthase isoform, which is primarily expressed in the brain. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2006. **341**(4): 995–1000. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2006.01.051>

5. Breus O., Panasyuk G., Gout I., Nemazanyy I. CoA synthase is in complex with p85alphaPI3K and affects PI3K signaling pathway. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2009. **385**(4): 581–585. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2009.05.102>
6. Breus O., Panasyuk G., Gout I., Filonenko V., Nemazanyy I. CoA Synthase is phosphorylated on tyrosines in mammalian cells, interacts with and is dephosphorylated by Shp2PTP. *Mol. Cell Biochem.* 2010. **335**(1-2): 195–202. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11010-009-0255-6>
7. Gudkova D., Panasyuk G., Nemazanyy I., Zhyvoloup A., Monteil P., Filonenko V., Gout I.T. EDC4 interacts with and regulates the dephosphoCoA kinase activity of CoA synthase. *FEBS Lett.* 2012. **586**(20): 3590–3595. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2012.08.033>
8. Malanchuk O.M., Panasyuk G.G., Serbin N.M., Gout I.T., Filonenko V.V. Generation and characterization of monoclonal antibodies specific to Coenzyme A. *Biopolymers and Cell.* 2015. **31**(3): 187–192. DOI: <https://doi.org/10.7124/bc.0008DF>
9. Tsuchiya Y., Peak-Chew S.Y., Newell C., Miller-Aidoo S., Mangal S., Zhyvoloup A., Bakovic J., Malanchuk O., Pereira G.C., Kotiadis V., Szabadkai G., Duchon M.R., Campbell M., Rodriguez Cuenca S., Vidal-Puig A., James A.M., Murphy M.P., Filonenko V., Gout I. Protein CoAlation: A Redox-Regulated Protein Modification by Coenzyme A in Mammalian Cells. *Biochem. J.* 2017. **474**(14): 2489–2508. DOI: <https://doi.org/10.1042/BCJ20170129>
10. Tsuchiya Y., Zhyvoloup A., Baković J., Thomas N., Yu B.Y.K., Das S., Orengo C., Newell C., Ward J., Saladino G., Comitani F., Gervasio F.L., Malanchuk O.M., Khoruzhenko A.I., Filonenko V., Peak-Chew S.Y., Skehel M., Gout I. Protein CoAlation and antioxidant function of Coenzyme A in prokaryotic cells. *Biochem. J.* 2018. **475**(11): 1909–1937. DOI: <https://doi.org/10.1042/BCJ20180043>
11. Tsuchiya Y., Byrne D.P., Burgess S.G., Bormann J., Baković J., Huang Y., Zhyvoloup A., Kun Yu B.Y., Peak-Chew S., Tran T., Bellany F., Tabor A.B., Chan A.E., Guruprasad L., Garifulin O., Filonenko V., Vonderach M., Ferries S., Eyers C.E., Carroll J., Skehel M., Bayliss R., Eyers P.A., Gout I. Covalent Aurora A regulation by the metabolic integrator coenzyme A. *Redox Biol.* 2020. **28**: 101318. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2019.101318>
12. Lashley T., Tossounian M.-A., Costello Heaven N., Wallworth S., Peak-Chew S., Bradshaw A., Cooper J.M., de Silva R., Srai S.K., Malanchuk O., Filonenko V., Koopman M.B., Rüdiger S.G.D., Skehel M., Gout I. Extensive Anti-CoA Immunostaining in Alzheimer's Disease and Covalent Modification of Tau by a Key Cellular Metabolite Coenzyme A. *Front. Cell. Neurosci.* 2021. **15**: 739425. DOI: <https://doi.org/10.3389/fncel.2021.739425>

Valeriy V. Filonenko

Institute of Molecular Biology and Genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORGID: <https://orcid.org/0000-0003-1839-3335>

COALATION AS A NEW MECHANISM OF PROTECTION OF THE BODY FROM OXIDATIVE STRESS

Transcript of report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, November 11, 2021

The report presents the results of cooperation between scientists from the Institute of Molecular Biology and Genetics of the NAS of Ukraine and the Cell Regulation Laboratory of University College London to elucidate the mechanism of biosynthesis and new functions of coenzyme A (CoA), which plays a key role in many biochemical cell reactions. For the first time in the world, the enzyme CoA synthase, which is responsible for the last two stages of CoA biosynthesis, is identified, and all enzymes involved in this process are determined. A new type of post-translational modification of proteins is established: coagulation, which has proved to be a common and universal mechanism of antioxidant protection of cell proteins and the body as a whole from oxidative stress. Emphasis is placed on the prospects of further study of the role of CoAlation in the pathogenesis of neurodegenerative diseases in order to develop modern approaches to their treatment and prevention.

Keywords: Coenzyme A, post-translational modifications, CoAlation, CoA synthase, antioxidant protection, tau protein CoAlation, Alzheimer's disease.



КЛАДЬКО

Василь Петрович –
член-кореспондент НАН
України, заступник директора
з наукової роботи Інституту
фізики напівпровідників
ім. В.Є. Лашкарьова НАН
України

ЩОДО СТВОРЕННЯ ДЕРЖАВНОЇ КЛЮЧОВОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ДЛЯ РОЗВИТКУ МІКРОЕЛЕКТРОНІКИ В УКРАЇНІ

**Стенограма доповіді на засіданні Президії
НАН України 24 листопада 2021 року**

У доповіді зазначено, що одним з пріоритетних напрямів діяльності Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України є фундаментальні та прикладні дослідження зі створення нового покоління функціональних напівпровідникових матеріалів та структур. Наголошено на важливості розвитку мікроелектронної індустрії, яка у сучасному світі має стратегічне значення і визначає рівень науково-технічного прогресу країни. Проаналізовано стан мікроелектронної галузі в Україні. З метою її відродження та для забезпечення потреб вітчизняного оборонно-промислового комплексу запропоновано створення на базі Інституту державної ключової лабораторії.

Шановний пане президенте!

Шановні члени Президії НАН України!

Шановні колеги!

Сьогодні рівень розвитку будь-якої країни визначається не стільки природними ресурсами чи обсягами виробництва, скільки здатністю її суб'єктів господарювання генерувати і впроваджувати нові інноваційні ідеї. Підтвердженням цього є рейтинг країн, складений за показниками індексу глобальної конкурентоспроможності, які щороку розраховують за методикою Всесвітнього економічного форуму. Якщо поглянути на цей рейтинг, то добре видно, що країни, основним джерелом формування валового внутрішнього продукту яких є експорт сировини, посідають місця в середині й кінці списку, тоді як країни – експортери високотехнологічного обладнання та інноваційних технологій згруповані переважно в першій та другій десятці. І головною рушійною силою економік розвинених країн є мікроелектронна промисловість, оскільки в процесі виробництва сучасної техніки найбільш концентровано

застосовують високі критичні технології, які й визначають рівень науково-технічного прогресу. Причому мікроелектронна індустрія має стратегічне значення для економіки. Вона не лише становить фундамент новітніх інформаційних та комп'ютерних технологій і забезпечує обороноздатність держави, а й значною мірою впливає на підвищення конкурентоспроможності продукції багатьох інших галузей економіки, стимулюючи їх розвиток.

Тепер кілька слів про сучасний стан мікроелектронної галузі в Україні. На початку 90-х років Україна мала величезний потенціал у напівпровідниковій та мікроелектронній галузях. Зокрема, на її території працювали потужні підприємства з виробництва монокристалів у Світловодську, Запоріжжі, Києві, Чернівцях та Ужгороді. За нашими оцінками, кадровий склад галузі на момент здобуття Україною незалежності налічував близько одного мільйона працівників. На сьогодні, на жаль, цей кадровий потенціал значно скоротився і становить лише кілька тисяч фахівців. На рис. 1 наведено дані щодо скорочення кількості працівників на окремих підприємствах галузі в період з 1990 по 2020 р. Зараз або повністю припинили свою діяльність, або перебувають на різних стадіях ліквідації такі підприємства, як «Родон» в Івано-Франківську, «Гравітон» і «Кварц» у Чернівцях, «Гамма» в Запоріжжі, «Кристал», «Сатурн» і «Старт» у Києві, «Дніпро» в Херсоні, «Жовтень» у Вінниці та ін.

Що стосується стану технологічної бази електроніки в Україні, то вона характеризується, по-перше, відсутністю замкненого циклу виробництва мікроелектронних компонентів та кінцевої продукції на їх основі, а також відсутністю сучасної технологічної бази та єдиного технологічного циклу виготовлення приладних структур. По-друге, фактично не є затребуваними збережені фрагменти технологічних ліній і науково-технічні групи фахівців матеріалознавчого профілю в різних відомствах (наприклад, концерн «Наука», НВО «Карат»), а тому немає умов для підготовки молодих спеціалістів. Через кілька років узагалі нікому буде навчати молодь, оскільки всі

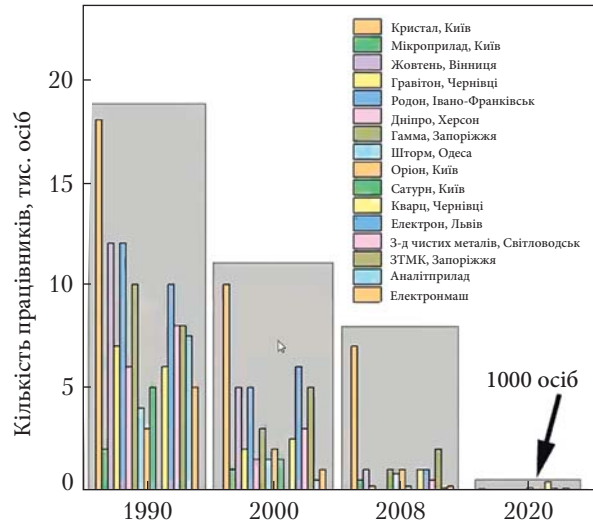


Рис. 1. Стан мікроелектронної галузі в Україні

українські фахівці в галузі мікроелектронних технологій, на жаль, уже старші за 60 років.

На сьогодні в Україні завдяки приватній ініціативі та напрацьованому технологічному доробку ще частково збереглися кілька підприємств мікроелектронного профілю, зокрема Державне підприємство «Державне Київське конструкторське бюро «Луч», Центральне конструкторське бюро «Ритм», Казенне підприємство спеціального приладобудування «Арсенал», Державне підприємство «Науково-дослідний інститут «Оріон», ТОВ «Радіонікс», Науково-виробничий комплекс «Фотоприлад». Однак ці підприємства мають безліч невирішених проблем, які з року в рік лише наростають. Це і питання кадрового забезпечення, і нестача комплектуючих подвійного призначення, але найголовніше — відсутність технологічних умов і належного наукового супроводу для реалізації поставлених перед ними завдань. Усе це неминуче і дуже скоро призведе до втрати Україною позицій у галузі мікроелектроніки, повної залежності держави від імпорту високотехнологічної продукції, зокрема в оборонній галузі, що неприпустимо.

Починаючи з 2015 р. в Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України за власні обігові кошти і кошти НАН України (в тому числі за цільовою науково-технічною

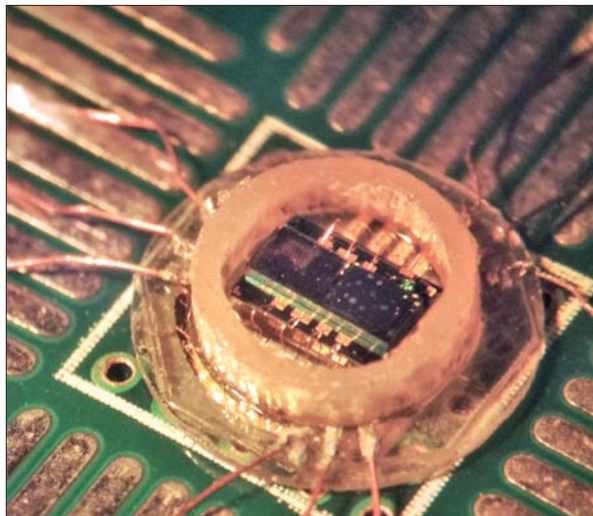


Рис. 2. Шестиелементний діодний модуль на випробувальній платі

програмою «Дослідження і розробки з проблем підвищення обороноздатності і безпеки держави») було виконано низку науково-дослідних робіт з розроблення технологій створення одно- та багатоелементних фотодіодів на основі монокристалів антимоніду індію (рис. 2). Такі фотодіоди є ключовою елементною базою для модернізації на підприємствах вітчизняного оборонно-промислового комплексу наявних зразків високоточних боєприпасів радянського виробництва, що перебувають на озброєнні Збройних Сил України. Попередні випробування одноелементних і шестиелементних фотодіодних модулів у ДП ЦКБ «Арсенал» показали перспективні результати.

На сьогодні в Інституті в ініціативному порядку виконуються наукові пошукові дослідження щодо можливості розроблення технології створення фотодіодів з більшою кількістю елементів (невеликих лінійок фотодіодів), зокрема 12-елементних фотодіодів з антимоніду індію для головок самонаведення високоточної зброї. Однак досягти успіху в таких дослідженнях можливо за умови створення експериментальної технологічної лінії з виготовлення лінійчастих фотодіодів, що потребує суттєвого оновлення технологічної лабораторної бази Інституту.

З іншого боку, аналіз світових тенденцій розвитку технологій інфрачервоних фотодетекторів та стану оснащення ними збройних сил провідних країн світу свідчить про тотальне озброєння військових підрозділів усіх видів і родів військ розвинених держав інфрачервоними оптоелектронними приладами на основі матричних фотодетекторів. Використання матричних фотодетекторів дозволяє істотно збільшити можливості ІЧ-приладів та пристроїв щодо виявлення, розпізнавання, ідентифікації цілей, підвищити точність цілеуказання, стійкість до завад і перешкод. Зокрема, заміна одно- та багатоелементних інфрачервоних фотодетекторів на матричні у головках самонаведення високоточної зброї кардинально збільшує ймовірність ураження цілі, особливо в разі застосування супротивником засобів оптико-електронної протидії та в складних умовах навколишнього середовища.

Сучасний досвід використання оптико-електронних приладів (систем) на основі матричних фотодетекторів, які працюють в ІЧ-діапазоні спектра, збройними силами провідних країн світу у війнах та збройних конфліктах різної інтенсивності дозволяє стверджувати, що наявність такого високотехнологічного озброєння в оснащенні військових підрозділів є однією з обов'язкових умов забезпечення переваги над супротивником під час ведення бойових дій.

Останнім часом до фахівців Інституту постійно звертаються представники провідних підприємств оборонно-промислового комплексу України, що спеціалізуються на розробленні та серійному виробництві інфрачервоних приладів, пристроїв та зразків озброєння і військової техніки, що містять такі вироби. Обмеження, які накладає на поширення оптоелектронних технологій подвійного використання національне законодавство розвинених країн, а також висока вартість виробів, створених на основі цих технологій, на сьогодні фактично унеможливають забезпечення потреб Збройних Сил України в інфрачервоній оптоелектронній продукції за рахунок імпорту.

Такі підприємства, як КП СПБ «Арсенал», ДП ДержККБ «Луч», ДАХК «Артем», НВК «Фотоприлад», гостро потребують необхідної для створення їх продукції елементної бази, насамперед інфрачервоних фотодетекторів різного формату. Керівництво цих підприємств неодноразово заявляло про підтримку науково-дослідних робіт Інституту зі створення інфрачервоних фотодетекторів, зокрема й на основі антимоніду індію.

Аналіз розвитку технологій військового призначення, зокрема у сфері ІЧ-оптоелектроніки, засвідчує, що в усіх провідних країнах дослідження і розробки в цій галузі фінансуються переважно державним коштом, а державним замовником є оборонні відомства цих країн. Щорічні витрати оборонних відомств розвинених країн на замовлення пошукових і прикладних науково-дослідних робіт зі створення нових ІЧ-технологій, передусім розроблення елементної бази ІЧ-приладів і пристроїв, становлять від десятків до сотень мільйонів доларів США.

Тепер коротко розглянемо проблеми, які стоять перед мікроелектронною галуззю в Україні.

Проблема імпортозаміщення особливо загострюється для критичних галузей вітчизняної економіки. Під час виконання оборонних проєктів у рамках цільової програми НАН України ми зіткнулися з труднощами технологічного супроводу при виготовленні комплектуючих для систем наведення ракет різних типів та систем керування високоточною зброєю. В основі цієї проблеми лежить один очевидний факт: на сьогодні напівпровідникова промисловість будь-якої однієї країни світу (навіть Сполучених Штатів Америки) не в змозі повністю забезпечити потреби свого радіоелектронного промислового комплексу. Проте необхідно чітко усвідомлювати, що в закуплених за кордоном мікросхемах (за умови, що їх продаж дозволено) може міститися як мінімум один з багатьох типів закладок (троянів), які виконують функцію бомби з годинниковим механізмом — у потрібний момент система може бути несанкціоновано відключена.

Інша болюча проблема пов'язана з фінансуванням. Державна підтримка електронної промисловості в Україні неефективна, оскільки обмежується лише виділенням коштів, спрямованих на поточне утримання підприємств галузі без будь-яких означених перспектив їх подальшого розвитку. При цьому приватні інвестори поки що не бачать передумов для вкладання більш-менш значущих капіталів у галузь, що добре ілюструють наведені в таблиці порівняльні дані щодо підтримки і розвитку мікроелектроніки у восьми країнах світу, зокрема й в Україні.

Отже, без участі держави розвиток мікро- і наноелектронних технологій неможливий. Тому ми вважаємо, що зараз необхідно терміново вжити принаймні таких заходів:

1) створити науково-навчальний технологічний центр спільного підпорядкування НАН України і МОН України;

2) залучити до його діяльності підприємства, які ще мають певне технологічне і кадрове забезпечення;

3) залучити приватний бізнес для розроблення і виготовлення конкретних видів продукції за інвестиційними угодами.

Якщо ми не зробимо цього зараз, надалі відродження галузі потребуватиме вже десятиліть і величезних фінансових вкладень, порядку десятків мільярдів доларів на рік, про що свідчить досвід таких країн, як Мексика, Бразилія та ін. Так, свого часу, на початку 2000-х років мексиканський уряд запровадив потужну державну і фінансову підтримку розвитку мікроелектроніки в країні, і тепер Мексика входить до шістки найбільших виробників електроніки у світі, експортна виручка від постачання електронних виробів у 2014 р. становила 150 млрд дол. США, мікроелектронна промисловість забезпечує 5,3% ВВП Мексики. Подібна ситуація склалася і в Бразилії — експорт електронних товарів у 2018 р. дав країні близько 40 млрд дол. США.

Що ж реально можна сьогодні зробити для поліпшення стану мікроелектронної галузі в Україні? Ми пропонуємо такі шляхи вирішення проблеми:

1) організувати на базі Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України державну ключову лабораторію з робочою назвою «Центр критичних оптоелектронних мікро/нанотехнологій та експертиз» (ДКЛ ОПЕТЕХ), основним напрямом діяльності якої має стати розроблення, виробництво (на світовому технічному рівні), комплексні випробування і постачання функціональних мікроелектронних, зокрема інфрачервоних, компонентів для потреб вітчизняної оборонної промисловості, а також на експорт в інші країни;

2) у рамках інвестиційного проекту Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України має провести реконструкцію приміщень, необхідних для створення технологічних ліній, укомплектувати їх відповідним обладнанням і вимірювальними приладами;

3) на базі НВП «Карат» (м. Львів) сформувати науково-технологічну дільницю матеріалознавства як філіал зазначеної ключової лабораторії з метою організації реального виробництва і постачання епітаксійних структур для виготовлення електронних компонентів на основі кремнію, антимоніду індію і тринітридів;

4) встановити орієнтовну чисельність науково-технічного персоналу державної ключової лабораторії на рівні 300–400 осіб і забезпечити її необхідне базове фінансування з державного бюджету;

5) розробити і затвердити Державну цільову науково-технічну програму робіт державної ключової лабораторії на 5–7 років з реальним бюджетним фінансуванням, спрямовану на забезпечення національної безпеки, а також істотне розширення експортного потенціалу України в галузі високих технологій;

6) створити умови для залучення коштів від спонсорів, меценатів та патріотів України.

Світова практика інвестиційної діяльності переконливо свідчить, що одним з найефективніших механізмів її підтримки є фінансування інноваційних та науково-технічних проектів. Цей механізм є особливо актуальним для країн та регіонів, які потребують розширення, модернізації та оновлення виробництва, зокрема в капітало- і наукомістких галузях економіки.

До запропонованої державної ключової лабораторії входитимуть наукові установи, підприємства галузі та приватні інвестори. Завданням Інституту фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України буде ана-

Порівняння критеріїв підтримки і розвитку мікроелектроніки у восьми країнах світу

Критерій	Країни							
	Малайзія	Ізраїль	США	Китай	Південна Корея	Німеччина	Росія	Україна
% ВВП	5,4	2,5	1,0	0,8	0,8	0,4	0,12	0,0
Зона вільної торгівлі	+	++	+	+	+++	+++	-	-
Регуляторне середовище	Протекціонізм	Протекціонізм	Тарифні і нетарифні бар'єри, імпортні квоти	Нетарифні бар'єри, імпорнтні квоти	Відкриті до прямих іноземних інвестицій	Відкриті до прямих іноземних інвестицій	+	-
Державно-приватне партнерство	++	+	+++	+++	+++	++	+	-
Програми розвитку	+++	+++	+	+++	++	++	+	-
Технопарки	-	+	+++	++	-	++	+	-
Податкові пільги	++	+	+	++	++	-	+	-
Якість освіти	+	++	+++	++	++	+++	++	+

літика, реалізація та науковий супровід розробок, Головної астрономічної обсерваторії НАН України — розроблення оптичних систем, Інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка та Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» — підготовка кадрів, Центрального конструкторського бюро «Ритм» та Державного підприємства «Науково-дослідний інститут «Оріон» — проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт, приватних інвесторів — забезпечення потрібної інфраструктури, захист інтелектуальної власності та організація відповідних рекламних кампаній.

Структура ключової лабораторії складатиметься з групи аналітичних методів дослідження матеріалів та структур; групи розроблення і конструювання електронних виробів; групи проектування і виготовлення фотошаблонів; технологічної групи; науково-навчального центру проектування мікроелектронних систем; групи маркетингу та захисту інтелектуальних прав. На першому етапі, за нашими оцінками, кількість постійного персоналу має бути близько 20 осіб.

На сьогодні у нас уже підготовлено технічну документацію на технологічний комплекс та проект інвестиційного договору. Технологічний комплекс має забезпечити виконання критичних операцій, таких як імплантація, фотолітографія, іонно-плазмова обробка поверхні, відпал, контактна металізація, корпусування тощо, для чого його потрібно обладнати чистими кімнатами для виготовлення мікроелектронної продукції. В Інституті фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України створено діагностичний підрозділ для аналітичного супроводу виробництва мікроелектронних пристроїв, є відповідне обладнання і висококваліфікований персонал, опрацьовано такі методи дослідження, як високороздільна рентгенівська дифракція, мас-спектрометрія вторинних іонів, рентгенівська фотоелектронна спектроскопія, профілометрія, оптична мікроскопія, спектрометрія,

еліпсометрія та ін. Наявна в Інституті технологічна база включає дільниці іонно-променевої імплантації, фотолітографії, хімічних обробок, нанесення контактів, швидкого термічного відпалу (RTA), вирощування діелектричних плівок, розділення платівки на кристали.

Зараз триває розроблення бізнес-плану зазначеної державної ключової лабораторії, формування її організаційної структури та організація підготовки спеціалістів-технологів у галузі мікро- і нанотехнологій.

Сфера діяльності пропонованої ключової лабораторії охоплюватиме розроблення наукових основ і технологій виробництва високоефективних оптоволоконних приймачів випромінювання, організацію їх виробництва, створення науково-виробничого комплексу для проектування, розроблення і виготовлення мікро- і наноелектронних пристроїв широкого спектру застосування (в тому числі і спецпризначення), виконання науково-дослідних робіт з впровадження критичних інноваційних технологій, проведення науково-технічної експертизи, підготовку висококваліфікованих фахівців у галузі мікро- і нанотехнологій і, що найголовніше, — створення технологій зі значною перспективою гарантування довготривалої переваги систем озброєння України.

Планується, що в результаті реалізації цього проекту побудований науково-виробничий комплекс стане центром відродження мікроелектронної галузі в Україні, а також осередком розвитку інноваційних високих технологій, зокрема таких як MEMS-системи, SMART-технології та ін. Завдяки впровадженню імпортозамісних технологій буде забезпечено насамперед потреби вітчизняного оборонно-промислового комплексу в ІЧ-приймачах, системах наведення і прицілювання, НВЧ-системах тощо. Створення належних умов праці для наукових співробітників і можливостей для швидкого втілення в життя їхніх розробок підвищить ефективність функціонування науково-дослідних лабораторій і центрів НАН України і МОН України. Очікується також створення нових робочих місць для висококваліфікованих фахівців завдяки передачі роз-

роблених у державній ключовій лабораторії технологій для подальшого їх впровадження на українських підприємствах та стартапах. Крім того, важливо, що в державній ключовій лабораторії функціонуватиме підрозділ науково-технічних експертиз.

У майбутньому ключова лабораторія може перетворитися на міждисциплінарний центр досліджень і розробок, який займатиметься створенням нових технологій (епітаксія, квантові технології), нових матеріалів (наприклад,

на основі графену), сенсорних систем (біомедицина, фотовольтаїка), електронних компонентів (транзистори, пам'ять), нанофотонікою (ІЧ-техніка, теплобачення), наноелектронікою і поєднуватиме отримання фундаментальних знань, створення нових нанотехнологій, розроблення прототипів приладів та підготовку кадрів.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

Vasyl P. Kladko

V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORGID: <https://orcid.org/0000-0002-1531-4219>

ON THE ESTABLISHMENT OF A STATE KEY LABORATORY FOR THE MICROELECTRONICS DEVELOPMENT IN UKRAINE

Transcript of the report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, November 24, 2021

The report states that one of the priority areas of research at the V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of the NAS of Ukraine is a fundamental and applied research aimed to create a new generation of the functional semiconductor materials and structures. The report focuses attention on the importance of developing the microelectronic industry that is strategically important in the modern world and determines the level of scientific and technological progress of the country. The state of the microelectronic industry is analyzed, and in order to revive the microelectronic industry in Ukraine and to meet the needs of the national defense industry, it is proposed to create a state key laboratory on the basis of the Institute.

Keywords: microelectronic industry, multi element photodiodes, Indium antimonide, epitaxial structures, infrared photodetectors, state key laboratory.



СТАРОСТЕНКО
Віталій Іванович — академік НАН України, директор Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, голова наукової ради цільового проекту «Геофізичні дослідження літосфери зони зчленування Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ України у зв'язку з перспективами нафтогазоносності»

ПРО РЕЗУЛЬТАТИ ВИКОНАННЯ ЦІЛЬОВОГО ПРОЄКТУ «ГЕОФІЗИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІТОСФЕРИ ЗОНИ ЗЧЛЕНУВАННЯ СХІДНО-ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ТА ЗАХІДНО-ЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМ УКРАЇНИ У ЗВ'ЯЗКУ З ПЕРСПЕКТИВАМИ НАФТОГАЗОНОСНОСТІ»

Стенограма доповіді на засіданні Президії НАН України 24 листопада 2021 року

У доповіді наведено найважливіші результати, отримані під час виконання зазначеного проєкту, які мають вагоме значення для пошуків мінеральних та енергетичних ресурсів у надрах України і дають нову унікальну інформацію про природу тектонічних процесів, що впливають на формування та розташування родовищ корисних копалин. Сформульовано науково обґрунтовані пропозиції для проведення геолого-пошукових робіт на корисні копалини у зоні зчленування Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ на території України.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні члени Президії! Шановні колеги!

Згідно з прийнятим у 2019 р. постановою Президії НАН України документом «Основні наукові напрями та найважливіші проблеми фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних, суспільних і гуманітарних наук Національної академії наук України на 2019—2023 роки», для геофізики одними з пріоритетних напрямів визначено «вивчення глибинної будови літосфери методами геофізики з метою пошуку корисних копалин» та «розроблення теорії, методики, апаратури для забезпечення геофізичних досліджень». Цільовий проєкт «Геофізичні дослідження літосфери зони зчленування Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ України у зв'язку з перспективами нафтогазоносності», який виконувався у 2017—2021 рр., та проєкт, що планується на 2022—2026 рр., відповідають цим напрямам та вимогам.

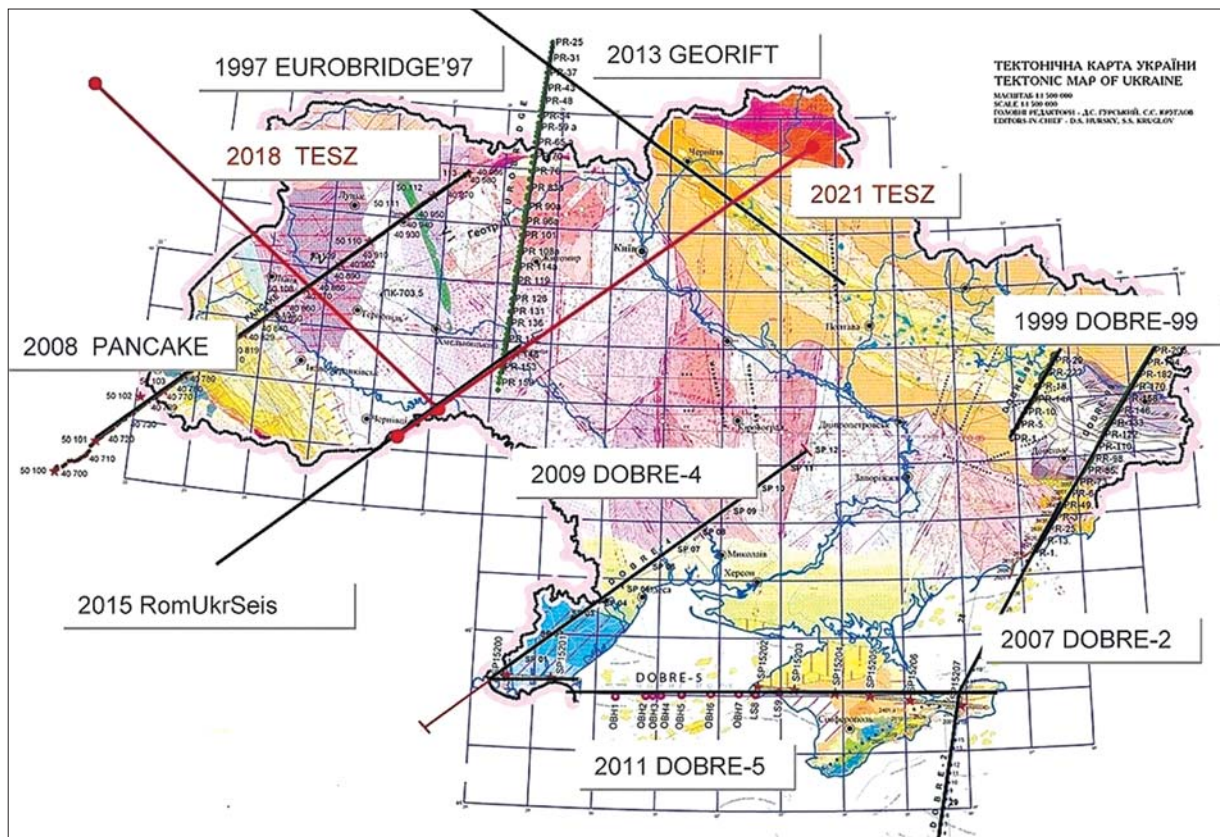


Рис. 1. Тектонічна карта України з розташуванням регіональних сейсмічних профілів ГСЗ, досліджених у попередні роки та в рамках зазначеного проекту: TESZ-2018 (довжина профілю – 550 км, кількість сейсмостанцій – 320) і TESZ-2021 (довжина профілю – 650 км, кількість сейсмостанцій – 264) (TESZ-2018 і TESZ-2021 показано червоними лініями)

Наука про глибинну будову літосфери та верхньої мантії є одним із напрямів у рамках глобальної проблеми вивчення надр земної кулі. Підґрунтя для з'ясування фундаментальних питань глибинної будови геологічних структур створюють дослідження літосфери за допомогою геолого-геофізичних методів, насамперед методу глибинного сейсмічного зондування, що дає структурну основу для подальших геолого-геофізичних побудов.

Протягом останніх 25 років Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України здійснив серію масштабних сейсмічних досліджень, спрямованих на вивчення глибинної будови літосфери, що дало змогу детально вивчити будову земної кори та верхньої мантії всіх великих тектонічних структур, які складають

літосферу в межах України та прилеглих територій. Ці дослідження координуються та виконуються в рамках низки міжнародних програм. Отримані результати не лише мають фундаментальне значення, а й є необхідною передумовою для проведення пошуків у надрах Землі мінеральних та енергетичних ресурсів. Якість оцінки прогнозних запасів залежить від повноти знань про геологічне середовище, його глибинну будову і геодинамічні процеси, що сформували його сучасну будову. Ширококутові сейсмічні спостереження можна застосовувати для пошуків каналів міграції глибинних флюїдів, які є джерелом покладів нафти і газу, а також інших корисних копалин. Уточнені і доповнені знання про глибинну будову нафтогазоносного регіону впливають на

достовірність подальших детальних пошуків родовищ сировинно-мінеральної бази країни.

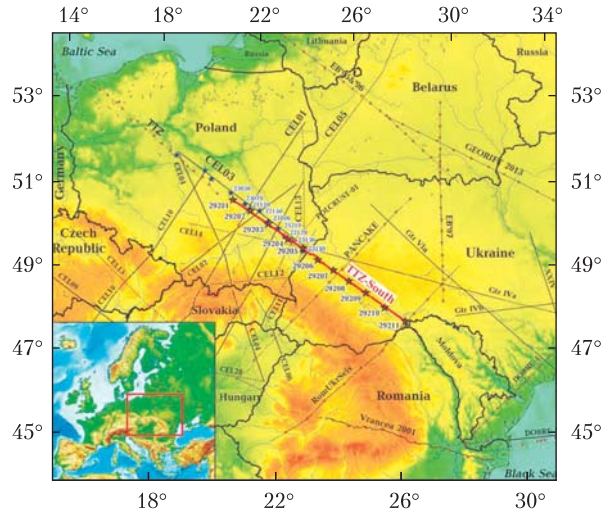
У рамках ширококутових сейсмічних проєктів у польових експериментах, проведених на території України та Польщі, брали участь співробітники українських геофізичних організацій (Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, ДГП «Укргеофізика» та «Спецвзбухпром»), науковці Інституту геофізики Польської академії наук та деякі провідні фахівці Європи (Геофізичний центр Потсдама, Німеччина). За допомогою ширококутових сейсмічних досліджень було вивчено кілька розломів і шовних зон, які розмежовують структури різного порядку і віку. Це шовні зони розділяють Східно-Європейську та Західно-Європейську платформи, Скіфську плиту, Гірський Крим і Чорноморську западину (рис. 1).

У 2018 р. було проведено новий експеримент уздовж профілю TESZ (TTZ-South) (рис. 2), спрямований на дослідження будови земної кори та верхньої мантії Землі вздовж Транс'європейської шовної зони (зона зчленування Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ).

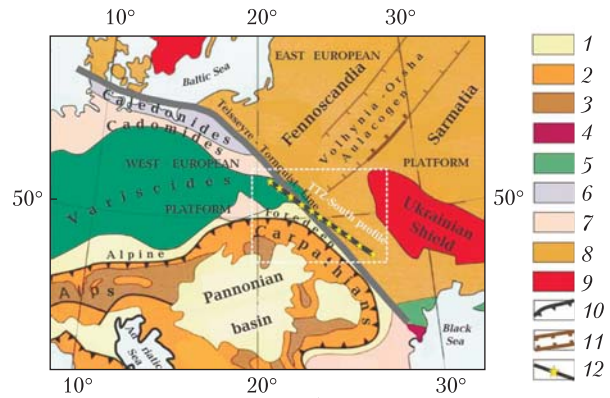
Слід зазначити, що зона Тейссейре–Торнквіста (TTZ) є фундаментальною тектонічною межею в Європі. Уперше її простежили наприкінці XIX – на початку XX ст. польський геолог Вавжинець Тейссейре та німецький геолог і палеонтолог Олександр Торнквіст на основі відмінностей осадового покриву та магнітних аномалій Східно-Європейської і Західно-Європейської платформ. На їх честь цю лінію й було названо лінією Тейссейре–Торнквіста.

Профіль простягається вздовж складної перехідної зони земної кори, яка відокремлює архейсько-палеопротерозойську літосферу Східно-Європейської платформи від літосферних тектонічних доменів, які формувалися під час каледонського та герцинського орогенезу з накладеним альпійсько-карпатським орогенезом.

У результаті опрацювання сейсмічних даних було побудовано швидкісну модель по

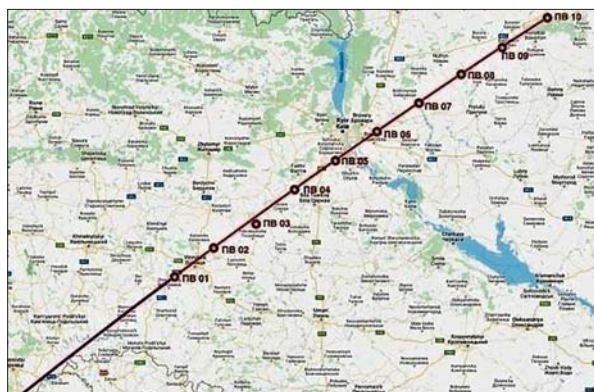


a

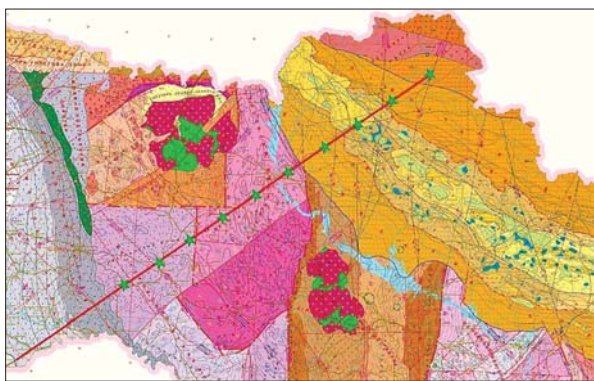


b

Рис. 2. Розташування профілю TTZ-South на географічній карті (a) та на спрощеній тектонічній схемі (б), побудованій на основі Геологічного атласу Польщі [Nawgocki, Becker, 2017]: 1 – альпійський прогин та внутрішньогірські басейни; 2 – альпійський складчастий пояс; 3 – герцинські та давніші масиви в межах альпійського поясу; 4 – кімерійський складчастий пояс; 5 – герцинський складчастий пояс, переважно під пермсько-кайнозойським чохлам; 6 – каледонський складчастий пояс під девон-кайнозойським чохлам; 7 – кадомський (байкальський) фундамент під палеозойсько-кайнозойським чохлам; 8 – архейський і протерозойський кристалічний фундамент під чохлам, від вендського (едакарського) до кайнозойського часу; 9 – архейський і протерозойський фундамент; 10 – альпійський фронт насуву; 11 – неопротерозойський континентальний рифт (авлакоген); 12 – профіль TTZ-South із пунктами вибуху



а



б

Рис. 3. Розташування профілю TESZ-2021 на географічній карті (а) та на тектонічній схемі (б), побудованій на основі тектонічної карти ДНВП «Геоінформ України». Профіль перетинає Волино-Подільську плиту (Волино-Подільську монокліналь), Український кристалічний щит (Дністровсько-Бузький мегаблок, Росинсько-Тікицький мегаблок), Дніпровсько-Донецьку западину (південна бортова зона, південна прибортова зона, центральна зона, північна прибортова зона, північна бортова зона)

профілю TTZ-South та виконано її тектонічну інтерпретацію з урахуванням новітніх геолого-геофізичних матеріалів.

Експеримент TTZ-South є найновішим серед сейсмічних досліджень методом глибинного сейсмічного зондування, виконаних у Східній Європі вздовж лінії, орієнтованої з північного заходу на південний схід. У ньому застосовано також новітні системи опрацювання даних. Профіль TTZ-South завдовжки

~550 км проходить уздовж південно-західного краю східноєвропейського кратону на південному сході Польщі (230 км) та заході України (320 км).

Польові роботи по профілю TTZ-South проведено за системою профілювання за допомогою автономних цифрових сейсмічних станцій Texan та Data Cube. На території України було задіяно 178 станцій для розташування на пунктах спостережень уздовж сегменту профілю довжиною 312 км. Ініціювання сейсмічних хвиль здійснювалося з шести пунктів вибухів. Відстань між пунктами вибухів становила 45–60 км, відстань між сейсмічними станціями — 1,9 км. На кожному пункті вибуху встановлювалися 2 сейсмічні станції для визначення часу вибуху. Відпрацювання профілю на території України здійснювалося з двох баз (дільниць), розташованих у Львівській і Тернопільській областях.

Процес комп'ютерної обробки даних глибинного сейсмічного зондування можна умовно поділити на три етапи: перший — запис вимушених сейсмічних коливань під час польових робіт та формування загального файлу даних, зареєстрованих на станціях Texan та Data Cube; другий — первинна обробка польових матеріалів, одержання зведених монтажів сейсмограм для кожного пункту вибуху; третій — математична обробка сейсмічних записів з метою підвищення співвідношення сигнал-перешкода і візуалізація матеріалів.

Проведено променеве сейсмічне моделювання для інтерпретації даних глибинного сейсмічного зондування за профілем TTZ-South. Виконано розрахунок швидкісної моделі за допомогою інверсії перших вступів сейсмічних хвиль. Розраховано синтетичні сейсмограми для уточнення швидкісної моделі вздовж профілю за допомогою повнохвильового моделювання.

Повнохвильове моделювання TTZ здійснювали на основі розроблених в Інституті кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України грид-технологій, які дозволяють перерозподіляти процес математичного обчислення однієї задачі одночасно на багатьох процесорах.

Такий кластерний підхід істотно зменшив час розрахунку геологічної моделі. Повнохвильові моделі використовують у публікаціях, зокрема закордонних, як доказову базу правильності побудови та інтерпретації швидкісної моделі.

За підтримки Уряду України та Президії НАН України у 2021 р. Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України виконав ще один масштабний польовий експеримент, який є продовженням серії сейсмічних досліджень літосфери та верхньої мантії на території України. В період з 23 липня по 10 серпня 2021 р. за проектом TESZ-2021 було виконано найбільш витратні роботи — експериментальні сейсмічні дослідження по профілю TTZ-21 (SHIELD-21), а саме, встановлення автономних сейсмічних станцій та проведення буровибухових робіт (рис. 3).

Профіль простягається майже через усю Україну з південного заходу на північний схід, перетинаючи Чернівецьку, Хмельницьку, Вінницьку, Житомирську, Київську, Чернігівську та Сумську області. Загальна довжина профілю — близько 650 км.

Польові роботи проводили за системою профілювання за допомогою автономних цифрових сейсмічних станцій Texas та Data Cube. Всього було задіяно 264 сейсмічні станції. Дослідження виконували у тісній співпраці з Інститутом геофізики Польської академії наук, який надав 240 станцій для спостереження сейсмічних хвиль. Польські колеги також брали участь у польових роботах. Додатково було встановлено станції для реєстрації моментів вибухів. Середня відстань між пунктами вибуху становила 50 км, а між пунктами спостереження — близько 2,65 км. Інтервал дискретизації для всіх станцій — 0,01 с. Інститут геофізики ПАН, як завжди, працював за рахунок власних коштів. В обробці матеріалів та їх інтерпретації брав участь також Геофізичний центр Потсдама (Німеччина).

Вивчення закономірностей глибинної будови та геодинамічного розвитку літосфери за профілем дасть змогу пояснити вплив геодинамічної зональності на формування структур консолідованої кори та осадового чохла, що

необхідно для оцінки перспектив нафтогазоносності зазначених регіонів.

Експеримент було реалізовано з метою отримання детальної моделі швидкісної будови земної кори та верхньої мантії Західно-Європейської платформи. Особливу увагу приділено вивченню споріднених структур та будові перехідної зони між платформами і прилеглими блоками земної кори, а також будові осадових товщ, які лежать вище і, як вважається, мають перспективи нафтогазоносності. Зараз триває обробка отриманих результатів.

За підготовкою і здійсненням першого вибуху на Київщині спостерігала знімальна група програми ТСН телеканалу «1+1», журналісти якої також брали інтерв'ю у співробітників Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України.

Отже, під час виконання цільового проекту за період 2017–2021 рр. було отримано такі найважливіші результати:

- проведено експериментальні дослідження методом глибинного сейсмічного зондування;
- побудовано моделі геологічного розрізу Землі по лінії профілів до глибини 50 км;
- удосконалено методи моделювання сейсмічних хвиль для зон зчленування рифтових структур;
- удосконалено теорії та алгоритми методів міграції заломлених та закритичних відбитих сейсмічних хвиль;
- побудовано сейсмотомографічні моделі літосфери у зонах зчленування геологічних структур у межах Східно-Європейської та Західно-Європейської платформ;
- пояснено геодинаміку верхньої частини мантії та її вплив на формування родовищ вуглеводнів у осадових породах;
- виявлено можливі шляхи міграції вуглеводнів та пояснено природу їх виникнення.

Крім того, створено багатофункціональні автономні сейсмічні станції для вирішення фундаментальних і прикладних завдань сейсміки.

Усі виконані в рамках проекту роботи були дуже успішними, здобули високу оцінку світової геофізичної спільноти, а деякі їх результа-

ти узагальнено в монографії «Глибинна будова літосфери та сейсмічна небезпека території України» (2019) та в 26 наукових статтях, опублікованих у найпрестижніших профільних журналах світу. Також за темою цільового наукового проєкту отримано 4 патенти на винаходи, захищено дві докторські і одну кандидатську дисертації. За цикл робіт, викладених у монографії «Глибинна будова літосфери та сейсмічна небезпека території України», колективу співробітників Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України присуджено Державну премію України в галузі науки і техніки за 2019 р.

Надалі ми плануємо продовжити ці дослідження в рамках нового проєкту на 2022–2026 рр. За основну мету ставимо наукову підтримку забезпечення потреб національної економіки в мінерально-сировинних ресурсах, зокрема обґрунтування пріоритетних напрямів робіт, спрямованих на збільшення власного видобутку корисних копалин, прогнозування рудних зон та нафтогазоперспективності території України.

Територія України, центральну частину якої складає Український щит, є перспективною для пошуку родовищ рудних та рідкісних металів, але недостатньо дослідженою в глибинному плані. Найменш дослідженою з використанням засобів сучасної глибинної сейсміки є центральна частина Українського щита (Кіровоградський та Середньопридніпровський блоки і зони їх зчленування з прилеглими структурами).

Заплановано проведення досліджень літосфери і геодинамічних процесів південно-західної та центральної частини Українського щита, куди входить Побузький гірничорудний район та Криворізька розломна зона, що містить знамените родовище залістистих кварцитів, які є основною сировиною для металургійної промисловості України. Аналогічні за віком та складом залістисті кварцити відомі на всіх давніх кратонах світу і відображають фундаментальний етап розвитку Землі, що робить

ці дослідження міжнародно значущими. Центральна частина Українського щита є перспективною в плані покладів рудних та рідкісних металів.

Головними напрямками майбутніх робіт є такі:

- проведення експериментальних досліджень методами глибинного сейсмічного зондування;
- удосконалення методів моделювання сейсмічних хвиль для архейсько-протерозойських блоків Українського щита та зон їх зчленування;
- удосконалення теорії та алгоритмів методів міграції заломлених та закритичних відбитих сейсмічних хвиль;
- побудова сейсмічних зображень методом міграції заломлених та закритичних відбитих сейсмічних хвиль по нових профілях;
- побудова 3D-сейсмотомографічних моделей літосфери Українського щита та 2D-моделей уздовж нових профілів;
- удосконалення методів тривимірного геоелектричного моделювання;
- аналіз закономірностей зв'язку рудних проявів та родовищ корисних копалин з аномаліями високої електропровідності.

У результаті проведення цих робіт планується створити нову комплексну геолого-геофізичну модель Українського щита, геодинамічну модель формування давньої континентальної кори Українського щита в архей-протерозой та подальшого її розвитку в окраїнних зонах в палеозой, а також розробити моделі глибинної будови та формування рудних зон району вивчення. Це дозволить вирішити складні геолого-тектонічні проблеми цього регіону України, збагатить фундаментальні і прикладні аспекти геології та розширить перспективи детальних пошуків корисних копалин. Методологічні розробки підвищать якість наукових досліджень завдяки використанню створених моделей надр та корисних копалин у них, а також сприятимуть вивченню фізичних властивостей порід земної кори та мантії.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

Vitaly I. Starostenko

Subbotin Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORGID: <https://orcid.org/0000-0002-7960-0011>

ON THE RESULTS OF THE TARGET PROJECT "GEOPHYSICAL STUDIES
OF THE LITHOSPHERE OF THE JOINT ZONE OF THE EASTERN EUROPEAN
AND WESTERN EUROPEAN PLATFORMS OF UKRAINE IN CONNECTION
WITH THE PROSPECTS OF OIL AND GAS"

Transcript of the report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, November 24, 2021

The report presents the most significant results obtained during the project, which are important for the search for mineral and energy resources in the depths of Ukraine and provide new unique information about the nature of tectonic processes affecting the formation and location of mineral deposits. Scientifically substantiated proposals for conducting geological prospecting works for minerals in the area of joint of the Eastern European and Western European platforms on the territory of Ukraine are formulated.

Keywords: deep lithosphere structure, deep seismic sounding, Eastern European platform, Western European platform, joint zone, TTZ.

ЗАГОРОДНІЙ

Анатолій Глібович — академік НАН України, президент НАН України, голова Національного комітету України з програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера»

РАДЧЕНКО

Володимир Григорович — академік НАН України, академік-секретар Відділення загальної біології НАН України

ЧЕРІНЬКО

Павло Миколайович — кандидат фізико-математичних наук, керівник Сектору проблем навколишнього середовища Науково-організаційного відділу Президії НАН України, заступник голови Національного комітету України з програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера»

РЕМІННИЙ

Віктор Юрійович — кандидат біологічних наук, провідний науковий співробітник Сектору проблем навколишнього середовища Науково-організаційного відділу Президії НАН України, виконавчий секретар Національного комітету України з програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера»

МОВА ЙДЕ ПРО ЖИТТЯ!

До 50-річчя програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера»

У статті наведено стислий огляд передумов започаткування Програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера», простежено 50-річну історію її діяльності, виокремлено найвагоміші досягнення в роботі Національного комітету України з програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера» за період з 1973 по 2021 р. Наголошено на важливій ролі біосферних резерватів у формуванні нового уявлення про взаємозв'язок між вирішенням проблем навколишнього середовища, сталого розвитку, збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. Розглянуто особливості окремих резерватів ЮНЕСКО в Україні, історію їх створення та функції, які вони виконують. Окреслено основні завдання та перспективи подальшої діяльності національної мережі біосферних резерватів ЮНЕСКО в Україні.

Ключові слова: біосферні резервати, біорізноманіття, сталий розвиток, навколишнє середовище, зміна клімату, програма ЮНЕСКО «Людина і біосфера».

Людина, як будь-яке живе природне тіло, нерозривно пов'язана з певною геологічною оболонкою нашої планети — біосферою, яка різко відмінна від інших її оболонок.

Академік В.І. Вернадський

«Мова йде про життя» — саме під таким гаслом 17 листопада 2021 р. під час 41-ї сесії Генеральної конференції ЮНЕСКО (Париж, Франція) відбулися урочистості з нагоди 50-річчя програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера» — найстарішої наукової програми ЮНЕСКО зі збереження навколишнього середовища, що заклала основи концепції сталого розвитку.

Передумови започаткування програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера». Починаючи з другої половини ХХ ст. всередині наукової спільноти почало формуватися усвідомлення необхідності міжнародної співпраці з метою дослідження впливу людини на навколишнє середовище. У зв'язку з цим на засіданні Генеральної асамблеї Міжнародної ради з науки (ICSU), яке відбулося 23–25 липня 1964 р., за ініціативою Міжнародної спілки біологічних наук, Міжнародної спілки охорони природи і природних ресурсів та за участю представників майже 150

Біосферні резервати
ЮНЕСКО в Європі станом
на 2020 р. (розмір та форма
позначок умовні)



академії наук з усього світу було започатковано Міжнародну біологічну програму — першу в історії науки довготривалу програму міжнародної співпраці в галузі дослідження продуктивності природних екосистем для їх охорони та раціонального використання ресурсів.

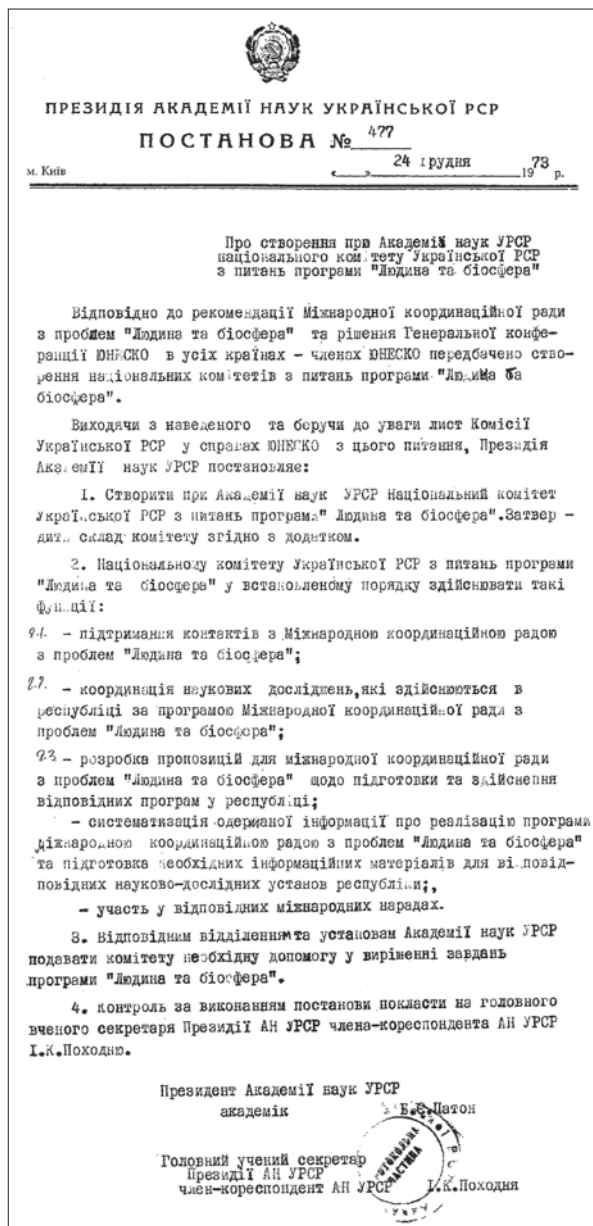
Незважаючи на успіхи, досягнуті у виконанні завдань Міжнародної біологічної програми, вона мала низку недоліків. Зокрема, через те, що у програмі брали участь лише фахівці з природничих наук, у дослідженнях екосистем не було враховано соціальні та економічні складові, не забезпечено вирішення освітніх завдань. Тому назріла потреба в подальших комплексних екологічних дослідженнях, що включають інтереси людини [1].

З урахуванням як позитивного, так і негативного досвіду виконання Міжнародної біологічної програми в листопаді 1971 р. на 16-й сесії Генеральної конференції ЮНЕСКО було започатковано нову програму «Людина і біосфера» (скорочено — МАБ, від англійської назви *Man and the Biosphere*) як міждержавну наукову програму, основним завданням якої є поліпшення взаємодії між людиною та навколишнім середовищем, зокрема зменшення загроз для біологічного і ландшафтного різноманіття, розроблення наукових основ збереження, відтворення, функціонування

та раціонального використання екосистем на локальному, регіональному, національному та глобальному рівнях і формування на цій основі екологічної складової забезпечення сталого розвитку [2].

Концепцію біосферного резервату як інструменту реалізації програми МАБ ЮНЕСКО було розроблено в 1974 р. [3], а перші біосферні резервати, що відповідали вимогам Програми, створено в 1976 р., і саме від цього року бере початок Всесвітня мережа біосферних резерватів ЮНЕСКО, яка охоплює всі типи екосистем і є одним з найважливіших здобутків програми МАБ ЮНЕСКО. Всесвітня мережа біосферних резерватів щороку поповнюється новими об'єктами, і все більше країн у такий спосіб демонструють прагнення до реалізації цілей і завдань Програми.

Так, згідно з офіційною базою даних МАБ ЮНЕСКО, на момент створення Всесвітньої мережі біосферних резерватів складалася з 50 біосферних резерватів у 8 країнах, а станом на листопад 2021 р. — вже з 727 резерватів у 131 країні світу [4]. Одним із прикладів успішної міжнародної співпраці в межах програми МАБ ЮНЕСКО є створення 22 транскордонних резерватів, серед яких варто особливо відзначити створений у 2021 р. перший 5-сторонній біосферний резерват Мура—Драва—Дунай



Постанова Президії АН УРСР про створення Національного комітету Української РСР з питань програми «Людина і біосфера»

площею 931 820 га та з населенням близько 900 тис. осіб, розташований на територіях 5 країн Європи [5]. Загалом же на сьогодні на територіях біосферних резерватів проживає понад 260 млн осіб, а загальна площа резерватів становить близько 5 % поверхні Землі, що еквівалентно площі Австралії! [6].

Створення Національного комітету МАБ України. За рекомендацією Міжнародної координаційної ради з програми МАБ ЮНЕСКО – керівного органу Програми, відповідно до рішення Генеральної конференції ЮНЕСКО, а також з огляду на доручення Комісії Української РСР у справах ЮНЕСКО, Президія АН УРСР 24 грудня 1973 р. постановою № 477 прийняла рішення про створення при АН УРСР Національного комітету України з програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера» (НК МАБ України). Було затверджено Положення про Комітет, його персональний склад, основні напрями роботи, визначено першочергові функції [7]. Упродовж 49 років діяльності НК МАБ України його очолювали академіки НАН України К.М. Ситник (1973–1988), В.П. Кухар (1988–1993), П.Г. Костюк (1993–2010), А.П. Шпак (2010–2011), а з 2011 р. – академік НАН України А.Г. Загородній.

НК МАБ України координує дослідження вчених України в рамках довгострокової міждержавної і міждисциплінарної програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера». Пріоритетним напрямом його роботи є наукове обґрунтування перспективного заповідання території України з метою охорони, раціонального використання і відновлення функцій природних основ життя, здоров'я людини та збереження біорізноманіття.

Стратегічні засади функціонування програми МАБ ЮНЕСКО. Біосферні резервати ЮНЕСКО функціонують на підставі як національних, так і міжнародних нормативно-правових актів. Законодавство у цій сфері динамічно змінюється залежно від корегування пріоритетів та напрямів діяльності Програми МАБ.

Основоположними документами в роботі МАБ є Севільська стратегія та Положення про біосферні резервати, прийняті на II Всесвітньому конгресі з біосферних резерватів ЮНЕСКО у 1995 р. (Севілья, Іспанія). Ці документи визначають процедури формування мережі, номінування, затвердження та виключення резерватів, періодичного звітування про їх діяльність [8]. З метою подальшого коригування

Члени стратегічної групи з розроблення Стратегії Програми МАБ на 2015–2025 рр. під час роботи 27-ї сесії МКР МАБ. Штаб-квартира ЮНЕСКО, Париж, Франція



процесу функціонування Всесвітньої мережі біосферних резерватів на III Всесвітньому конгресі з біосферних резерватів ЮНЕСКО було затверджено Мадридський план дій для біосферних резерватів на період до 2013 року (Мадрид, Іспанія, 2008 р.) [9].

Для розроблення нової Стратегії Програми МАБ на 2015–2025 рр. та відповідного Плану дій для її виконання на 26-й сесії Міжнародної координаційної ради Програми МАБ (МКР МАБ) (Йонкопінг, Швеція, 2014 р.) було створено стратегічну групу у складі 6 членів Бюро МАБ, серед яких був і представник НК МАБ України, та 6 експертів. Стратегію Програми МАБ на 2015–2025 рр. було прийнято вже на наступній, 27-й, сесії МКР МАБ і остаточно затверджено на 38-й сесії Генеральної конференції ЮНЕСКО, яка відбулася в 2015 р. у Парижі.

Стратегічні цілі Програми МАБ на наступний десятирічний період безпосередньо пов'язані з функціями біосферних резерватів, визначеними в Положенні про Всесвітню мережу біосферних резерватів, та основною глобальною проблемою — зміною клімату.

Стратегічна ціль 1. Збереження біорізноманіття, відновлення і підвищення якості екосистемних послуг, заохочення до сталого використання природних ресурсів.

Стратегічна ціль 2. Участь у побудові сталих, здорових та справедливих суспільств, еко-

номік і населених пунктів, які існують у гармонії з біосферою.

Стратегічна ціль 3. Сприяння розвитку науки про біорізноманіття і сталість, освіти в інтересах сталого розвитку.

Стратегічна ціль 4. Підтримка заходів щодо пом'якшення наслідків зміни клімату та інших глобальних екологічних змін і адаптації до них.

Основним результатом подальшої роботи стратегічної групи стало розроблення Плану дій для Програми МАБ і її Всесвітньої мережі біосферних резерватів на 2016–2025 рр. (Лімський план дій), прийнятого на IV Всесвітньому конгресі з біосферних резерватів (Ліма, Перу, 2016 р.) [10].

У зв'язку з тим, що реалізація нової Стратегії та відповідного Плану дій потребувала впровадження керівних принципів, які виходили за межі наявного Положення про Всесвітню мережу біосферних резерватів, на 29-й сесії МКР МАБ (2017) прийнято рішення розробити Технічні настанови для біосферних резерватів. За підсумками роботи команди у складі 70 експертів з 33 країн (у тому числі й з України), які майже 2 роки працювали у 4 технічних підгрупах, у жовтні 2020 р. під час 32-ї сесії МКР МАБ було затверджено Технічні настанови [11].

Національний комітет МАБ України сьогодні. Слід зазначити, що Національний комітет МАБ України є одним з найстаріших у



Технічні настанови для біосферних резерватів, затверджені на 32-й сесії МКР МАБ

Європі і має у своєму активі значний науковий доробок. Останніми десятиліттями за ініціативою НК МАБ України фахівці НАН України активно долучалися до розроблення низки основоположних документів (концепцій, стратегій) та виконання державних цільових програм у сфері сталого розвитку, впровадження чистих виробництв, поводження з твердими побутовими відходами, запобігання і боротьби з підтопленням земель в Україні, комплексного протипаводкового захисту, раціонального природокористування та збереження навколишнього середовища, використання відходів виробництва і споживання тощо [12]. Крім того, роботи виконувалися в межах таких академічних програм: цільова комплексна міждисциплінарна програма наукових досліджень НАН України з проблем сталого розвитку, раціонального природокористування та збереження навколишнього середовища на 2010–2014 рр.; цільова комплексна міждисциплінарна програма наукових досліджень НАН України з розроблення наукових засад раціонального використання природно-ресурсного потенціалу та сталого розвитку на 2015–2019 рр.; цільова комплексна міждисциплінарна програма наукових досліджень НАН України з проблем сталого розвитку та раціонального природокористування в умовах глобальних змін навколишнього середовища на 2020–2024 рр.

Згідно з рішенням IV Всесвітнього конгресу з біосферних резерватів, з метою впровадження Стратегії Програми МАБ на 2015–2025 рр. та Лімського плану дій на 2016–2025 рр. урядом країн рекомендовано створити на основі цих документів відповідні національні плани. Кропітка робота з підготовки такого плану в Україні тривала майже 1,5 року із залученням фахівців НК МАБ України, Департаменту заповідної справи Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, адміністрацій біосферних резерватів ЮНЕСКО в Україні. В результаті спільним наказом НАН України та Міндовкілля України 4 липня 2018 р. було затверджено План заходів щодо впровадження в Україні Лімського плану дій для програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера» та її Всесвітньої мережі біосферних резерватів на період до 2025 р.

Національний план заходів структурований аналогічно до Лімського плану. Він охоплює широкий комплекс заходів, які згруповано відповідно до стратегічних напрямів діяльності з метою ефективного здійснення Стратегії МАБ на 2015–2025 рр. Кожен стратегічний напрям містить завдання та перелік заходів щодо їх виконання із зазначенням відповідальних виконавців і термінів виконання. Загалом затверджений план містить 11 основних завдань та 54 заходи, для більшості з яких терміни виконання розраховані на весь строк дії Плану. Проте найвагомішим здобутком діяльності Комітету в цьому аспекті є створення національної мережі біосферних резерватів ЮНЕСКО і забезпечення її належного функціонування.

Сучасний стан національної мережі біосферних резерватів ЮНЕСКО в Україні. Сьогодні національна мережа в Україні складається з 8 біосферних резерватів, що входять до Всесвітньої мережі біосферних резерватів ЮНЕСКО і мають відповідні сертифікати. З них 4 резервати є транскордонними, з яких 2 – трилатеральні.

За останні 7 років площа біосферних резерватів ЮНЕСКО в Україні зросла з 0,8 до 1,2 % загальної площі території країни і станом на вересень 2021 р. становить близько

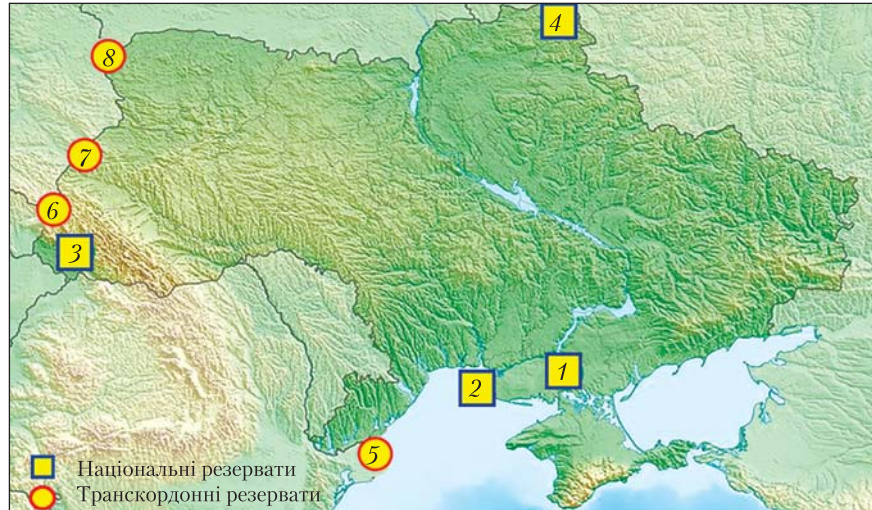
Національна мережа
біосферних резерватів
ЮНЕСКО в Україні.

Національні резервати:

- 1 – Асканія-Нова (1985);
- 2 – Чорноморський (1985);
- 3 – Карпатський (1992);
- 4 – Деснянський (2009).

Транскордонні резервати:

- 5 – Дельта Дунаю (Румунія—Україна, 1999);
- 6 – Східні Карпати (Польща—Словаччина—Україна, 1999);
- 7 – Розточчя (Польща—Україна, 2019);
- 8 – Західне Полісся (Білорусь—Польща—Україна, 2012)



718,5 тис. га. Серед 38 країн Європи за кількістю біосферних резерватів Україна посідає 8-ме місце. Проте відносна площа біосферних резерватів в Україні майже в 5 разів менша, ніж у середньому по Європі¹ (6,8 %).

Одним з найстаріших біосферних резерватів в Україні є «**Чорноморський**», який підпорядковується Національній академії наук України. Відповідний сертифікат ЮНЕСКО резерват отримав 15 лютого 1985 р. Чорноморський біосферний резерват ЮНЕСКО має загальну площу 174 тис. га і репрезентує прибережні території Чорного моря і сухого південноєвропейського степу. Територія резервату — це унікальне поєднання зональних (степ і острівні комплекси) та азональних (лісостеп) компонентів з водно-болотними угіддями міжнародного значення. Різноманіття природних умов у межах заповідної території зумовлює багатство флори і фауни. Головна цінність резервату — орнітофауна. Територія резервату має виняткове значення для збереження біорізноманіття. Понад 50 % видів флори і фауни заповідника підлягають охороні згідно з Бернською конвенцією про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі (1979) або включені до Європейського Червоного списку (перелік таксонів тварин і

¹ Враховуючи Гренландію, яка адміністративно перебуває у складі Королівства Данія.

рослин, які зустрічаються в Європі та перебувають під загрозою глобального вимирання).

Зону степів в Україні представляє підпорядкований Національній академії аграрних наук України біосферний резерват ЮНЕСКО «**Асканія-Нова**» ім. **Фрідріха Фальц-Фейна**, що отримав сертифікат ЮНЕСКО 15 лютого 1985 р. Його загальна площа становить понад 33,3 тис. га. Резерват забезпечує збереження єдиної в Європі ділянки типчаково-ковилового степу, у рослинності якого переважають дернові злаки. Територія резервату входить до Південного (Азово-Чорноморського) екологічного коридору і має особливе значення для збереження мігруючих видів птахів. Зоопарк заповідника «Асканія-Нова» за масштабами утримання тварин у напіввільних умовах, технологіями акліматизації, реакліматизації є одним з найкращих у світі. Його спеціалізація — розведення і вивчення біології копитних тварин степів, саван, пустель і гірських районів, навколотовних птахів та рідкісних птахів степової зони.

Гірські системи представляє підпорядкований Міністерству захисту довкілля та природних ресурсів України найбільший біосферний резерват ЮНЕСКО в Україні — «**Карпатський**», який має площу 181 139 га і отримав сертифікат ЮНЕСКО 15 лютого 1993 р. Резерват репрезентує весь комплекс висотної



Генеральний директор ЮНЕСКО пані Ірина Бокова (друга зліва) та голова НК МАБ України академік НАН України А.Г. Загородній на церемонії вручення сертифікатів ЮНЕСКО біосферному резервату «Західне Полісся»

поясності Українських Карпат — від передгірських лук і дібров до альпійського гірського поясу. Майже 90 % площі резервату займають унікальні смерекові та мішані ліси, при цьому площі букових, мішаних і смерекових пралісів є найбільшими в Європі. У резерваті знаходиться єдине у Центральній Європі рівнинне місцезростання гірського виду нарциса. Крім того, статус біосферного резервату визначає й такі важливі завдання, як сприяння сталому розвитку Карпатського регіону, збереження його культурного та історичного спадку. Особливе значення територія заповідника має для збереження культури українських горян — гуцулів, бойків та лемків.

Біосферний резерват ЮНЕСКО «**Деснянський**» (сертифікат ЮНЕСКО від 26 травня 2009 р.) площею 70 748 га, підпорядкований Міністерству захисту довкілля та природних ресурсів України і репрезентує східнополіські ландшафти, екосистеми, флору і фауну. Тут представлено лісові, болотні, річково-заплавні та лучні природні комплекси. Серед лісів найпоширенішими є соснові, менш — березові, збереглися також ділянки сосново-дубових, дубових та вільхових лісів.

Польсько-словацько-український транскордонний біосферний резерват ЮНЕСКО «**Східні Карпати**» — перший у світі трилате-

ральний резерват (сертифікат ЮНЕСКО від 2 лютого 1999 р.). Складається з трьох національних і трьох ландшафтних парків на території трьох країн:

- Бешадський національний парк і два ландшафтних парки, що його оточують, — «Цісна Ветліна» і «Долина Сяну» в Польщі;
- Національний парк «Полонини» у Словаччині;
- Ужанський національний природний парк і Надсянський регіональний ландшафтний парк в Україні.

Українська складова території резервату становить 28 % (59,1 тис. га) його загальної площі. У межах резервату проходить Головний європейський вододіл. Цінність транскордонного біосферного резервату «Східні Карпати» полягає в наявності добре збережених типових лісових екосистем, зокрема букових та ялицевих пралісів, а також трав'янистих типів угруповань — гірськолучних полонин. Ця територія є однією з найбільших складових мережі NATURA-2000² і становить ключове ядро екологічної мережі Європи.

² Мережа охоронних ділянок є центральним елементом в охороні біорізноманіття на території країн — членів ЄС, складовими якої є рідкісні і такі, що перебувають під загрозою зникнення або руйнування, типи природних середовищ.

До складу української частини резервату увійшов природний регіональний парк «Стужиця», який має унікальні гірські екосистеми, зокрема незаймані букові ліси Українських Карпат, які разом із цінними природними ділянками Карпатського біосферного резервату, Ужанського національного природного парку та національного природного парку «Полонини» Словацької Республіки резолюцією 31-ї сесії Комітету Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО (Крістчерч, Нова Зеландія, 2007 р.) включено до переліку об'єктів Всесвітньої природної спадщини ЮНЕСКО.

Румунсько-український транскордонний біосферний резерват ЮНЕСКО «**Дельта Дунаю**» отримав сертифікат ЮНЕСКО 2 лютого 1999 р. Українська складова — Дунайський біосферний заповідник НАН України площею 50 253 га становить 6,8 % площі резервату. Дельта Дунаю належить до особливо цінних в екологічному плані природно-територіальних комплексів Європи. Тут знаходиться центр біорізноманіття світового масштабу, важливе місце гніздування та сезонних скупчень птахів, розмноження цінних промислових і рідкісних видів риб. Крім того, дельта Дунаю — наймолодша сформована природним шляхом частина суходолу на нашому континенті, вік якої становить 2—4 століття. Дельта Дунаю має надзвичайно динамічний і мозаїчний ландшафт, який включає озера, протоки, річкові рукави, болота, різні за віком острови. Основна частина дельти розташована в Румунії і перебуває під національною охороною з 1938 р., а у 1991 р. її включено до списку Всесвітньої природної спадщини ЮНЕСКО.

Білорусько-польсько-український транскордонний біосферний резерват ЮНЕСКО «**Західне Полісся**» — другий у Європі і третій у світі тристоронній транскордонний біосферний резерват (сертифікат ЮНЕСКО від 11 липня 2012 р.). Його було створено об'єднанням трьох національних біосферних резерватів: польського «Західне Полісся», білоруського «Прибузьке Полісся» та українського «Шацький». Українська частина становить 28,5 % (75 075 га) загальної площі цього біосферного

резервату. Природоохоронні об'єкти розташовані на Чорноморсько-Балтійському (головному в Європі) вододілі басейнів річок Прип'ять і Західний Буг та мають спільні риси біорізноманіття. Основне завдання резервату «Західне Полісся» полягає у збереженні польських ландшафтів і системи карстових озер, одне з яких — Світязь займає площу 2 622 га і є найбільшим та найглибшим (макс. глибина 58,4 м) озером України.

Польсько-український транскордонний біосферний резерват ЮНЕСКО «**Розточчя**» — наймолодший біосферний резерват України (сертифікат ЮНЕСКО від 19 червня 2019 р.). Українська частина площею 74 887 га становить 20 % території резервату та являє собою територіальний комплекс, який включає 4 юридично визначені охоронні об'єкти: природний заповідник «Розточчя», Яворівський національний природний парк, регіональний ландшафтний парк «Равське Розточчя» та орнітологічний заказник «Янівські чаплі». Резерват об'єднує не лише природно-заповідні території, а й транзитні зони, які належать місцевим громадам і не є заповідними: ліси Рава-Руського та Старицького лісгоспів і Магерівського лісництва. Резерват забезпечує сталий розвиток регіону Розточчя. Він охоплює окремі природоохоронні об'єкти у вигляді природних ядер для збереження біорізноманіття та передбачає відродження традиційних ремесел, народних промислів, пропаганду невиснажливого природокористування, збереження історико-культурної спадщини, проведення еколого-освітньої діяльності, розвиток «зеленого» туризму.

Перспективи розвитку. Основним напрямом подальшої діяльності НК МАБ України є забезпечення належного функціонування наявної національної мережі біосферних резерватів та її розширення шляхом створення нових об'єктів, у тому числі транскордонних, адже Україна межує з багатьма європейськими державами і має великі можливості для розширення співробітництва з ними щодо створення відповідної мережі транскордонних біосферних резерватів [13]. У цьому аспекті перспективними є території гірських масивів Карпат

на кордоні України і Румунії: Мармароські та Кузійські ділянки Карпатського біосферного резервату та Чивчино-Гринявські гори, де в 2009 р. було створено Верховинський (Івано-Франківська обл.) і Черемоський (Чернівецька обл.) національні природні парки. Поєднання цих парків із Закарпатським масивом передбачається на основі включення румунського природного парку «Гори Мармарощини» до майбутнього транскордонного біосферного резервату «Мармароські та Чивчино-Гринявські гори».

Також розпочато попередню роботу зі створення біосферного резервату з робочою назвою «Прип'ятське Полісся» в межах Київської, Житомирської та Рівненської областей. Проведено консультації з НК МАБ Республіки Білорусь щодо перспектив створення на Поліссі білорусько-українського транскордонного біосферного резервату.

На території Українського Придунав'я тривають роботи з визначення потенційних ділянок, які можуть бути включені до складу перспективного тристороннього молдовсько-румунсько-українського біосферного резервату в пониззі Дунаю і Пруту на базі румунсько-українського транскордонного біосферного резервату «Дельта Дунаю» та молдовського біосферного резервату «Нижній Прут», або ж буде створено окремий транскордонний молдовсько-український біосферний резерват.

Висновки. Отже, програма ЮНЕСКО «Людина і біосфера» є найстарішою науковою програмою ЮНЕСКО в галузі збереження на-

вколишнього середовища. В Україні її діяльність координується Національним комітетом України з програми МАБ ЮНЕСКО, до складу якого входять провідні вітчизняні науковці, представники адміністрацій біосферних резерватів ЮНЕСКО та фахівці високого рівня із зацікавлених міністерств і відомств України.

Про визнання багаторічної діяльності НК МАБ України міжнародною спільнотою свідчить те, що за останні 15 років Україну втретє було обрано до складу Міжнародної координаційної ради — керівного органу Програми МАБ. За час попереднього перебування України у складі МКР МАБ протягом 2007—2015 рр. було багато чого зроблено для вирішення низки природоохоронних проблем національного та міжнародного рівня, зокрема створено 4 нових біосферних резервати ЮНЕСКО, в тому числі один транскордонний. Варто також зазначити, що впродовж 2015—2016 рр. представник НК МАБ України входив до складу Бюро Програми МАБ ЮНЕСКО та виконував функції віцепрезидента МКР МАБ. Крім того, українські фахівці 4 рази нагороджувалися премією програми ЮНЕСКО МАБ для молодих учених.

За пів століття своєї діяльності НК МАБ України накопичив значний науковий доробок, що поряд з міжнародним визнанням та підтримкою Секретаріату програми МАБ ЮНЕСКО дозволяє нам сподіватися на успішне подальше розширення національної мережі біосферних резерватів і досягнення цілей сталого розвитку.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. *What is the UNESCO Program “Man and the Biosphere”* (Shcho take prohrama YUNESKO «Lyudyna i biosfera»). Kyiv: Naukova Dumka, 1984.
[Що таке програма ЮНЕСКО «Людина і біосфера». Київ: Наукова думка, 1984.]
2. International Co-ordinating Council of the Programme on Man and the Biosphere (MAB). First Session. Final Report. (9–19 November 1971, Paris). https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000002070_eng
3. Programme on Man and the Biosphere (MAB). Task Force on: Criteria and guidelines for the choice and establishment of biosphere reserves. Final Report. MAB report series, 1974, No. 22. https://books.google.com.ua/books/about/Task_Force_On_Criteria_and_Guidelines_fo.html?id=0d9ZzAEACAAJ&redir_esc=y
4. UNESCO. World Network of Biosphere Reserves. <https://en.unesco.org/biosphere/wnbr>
5. International Co-ordinating Council of the on Man and the Biosphere (MAB) Programme. 31st Session. Final Report (13–17 September 2021, Abuja, Nigeria). https://en.unesco.org/sites/default/files/sc-21_conf233_15-final_report-rev_3_en_0.pdf
6. International day for biosphere reserves. General Conference, 41st Session. (September 8, 2021, Paris). 41 C/37. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378842?1=null&queryId=83ed6322-4076-486a-ad93-319eeb674319>
7. Zagorodny A.G., Cherinko P.M., Poltoratska T.V. National Network of UNESCO Biosphere Reserves in Ukraine (to the 40th Anniversary of the National Committee of Ukraine for UNESCO Program “Man and the Biosphere”). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2014. (2): 55–66. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2014.02.055>
[Загородній А.Г., Черінько П.М., Полторацька Т.В. Національна мережа біосферних резерватів ЮНЕСКО в Україні. *Вісник НАН України*. 2014. № 2. С. 55–66.]
8. UNESCO. Biosphere Reserves: The Seville Strategy and Statutory Framework of the World Network. Paris: UNESCO, 1996. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000103544>
9. Madrid Action Plan for Biosphere Reserves (2008–2013). <http://unesdoc.unesco.org/images/0016/001633/163301e.pdf>
10. A New Roadmap for the Man and the Biosphere (MAB) Programme and its World Network of Biosphere Reserves. MAB Strategy (2015–2025). Lima Action Plan (2016–2025). Lima Declaration. Paris: UNESCO, 2017. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247418.page=15>
11. International Co-ordinating Council of the Man and the Biosphere (MAB) Programme. Thirty-second Session. Presentation of the Technical Guidelines for Biosphere Reserves. SC-20/CONF.232/10 (September 29, 2020, Paris). <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000378682>
12. Shpak A., Cherinko P., Poltoratska T. Harmonizing relations between society and environment (to the 40th anniversary of UNESCO Program «Man and the Biosphere»). *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2011. (2): 23–36.
[Шпак А., Черінько П., Полторацька Т. Гармонізуючи відносини соціуму з довкіллям (до 40-річчя програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера»). *Вісник НАН України*. 2011. № 2. С. 23–36.]
13. Didukh Ya.P., Cherinko P.M. The concept of forming a system of transboundary biosphere reserves in the context of providing conditions for the transition to sustainable development of Ukraine. In: *National environmental policy in the context of Ukraine’s European integration*: Proc. Int. Conf. (October 27, 2010, Kyiv, Ukraine). (in Ukrainian).
[Дідух Я.П., Черінько П.М. Концепція формування системи транскордонних біосферних резерватів (ТБР) в контексті забезпечення умов для переходу на збалансований розвиток України. В кн.: *Національна екологічна політика в контексті європейської інтеграції України*: матер. міжнар. наук.-практ. конф. (27 жовт. 2010, Київ). Київ: Центр екологічної освіти та інформації, 2010. С. 25–30.]

Anatoly G. Zagorodny

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7953-6726>

Volodymyr G. Radchenko

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8679-1362>

Pavlo M. Cherinko

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1036-7223>

Viktor Yu. Reminnyi

National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1363-3857>

IT'S ABOUT LIVE!

To the 50th anniversary of the Man and the Biosphere UNESCO Programme

This article provides a brief overview on the history of the UNESCO Man and the Biosphere Programme (MAB) and its 50 years of activity, achievements of National Committee of Ukraine for the period from 1973 until 2021. The following point is emphasized: the importance of biosphere reserves in the formation of new understanding of the relationship between solving environmental problems and sustainable development, conservation of biological and landscape diversity. Specific features of particular UNESCO reserves in Ukraine, their history and functions are described. The main tasks and prospects of the national network of UNESCO biosphere reserves in Ukraine are defined.

Keywords: biosphere reserves, biodiversity, sustainable development, environment, climate change, UNESCO Man and the Biosphere Programme.

БРЕЙ

Володимир Вікторович —
член-кореспондент НАН
України, директор Інституту
сорбції та проблем ендоекології
НАН України

ЩУЦЬКИЙ

Ігор Валентинович —
генеральний директор
ТОВ «Виробнича група
«Техінсервіс»

ПІДСАДЮК

Іван Михайлович —
генеральний директор
ТОВ «Карпатнафтохім»

НОВА ВІТЧИЗНЯНА НРРОа ТЕХНОЛОГІЯ ВИРОБНИЦТВА ПРОПІЛЕНОКСИДУ

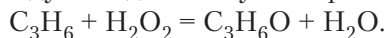
У статті наведено короткий опис етапів розроблення нової НРРОа технології одержання пропіленоксиду з пропілену та пероксиду водню — від лабораторного реактора до пілотної установки потужністю 2 тис. т/рік. Суть нової технології полягає в заміні токсичного метанолу як розчинника в реакції епоксидування пропілену на доступний ацетонітрил, використанні запропонованого каталізатора TIS-1, триреакторного блока з роздільною подачею пероксиду водню, абсорбера для насичення азеотропного ацетонітрилу пропіленом, застосуванні моноетаноламіну замість токсичного гідразингідрату для глибокого очищення товарного пропіленоксиду. На основі розробленої НРРОа технології ТОВ «Карпатнафтохім» має намір організувати виробництво пропіленоксиду потужністю 130 тис. т/рік.

Ключові слова: пропіленоксид, промислове виробництво, НРРОа технологія, каталізатор TIS-1.

Пропіленоксид — прозора, низькокипляча (34 °С) рідина з ефірним запахом, належить до багатотоннажних продуктів органічного синтезу зі світовим виробництвом на рівні 8 млн т/рік [1, 2]. Як високореакційна сполука, пропіленоксид легко реагує зі сполуками, що містять активний атом водню, — спиртами, кислотами, амінами. Близько 60–70 % виробленого пропіленоксиду використовують для синтезу олігомерів, які застосовують при виробництві жорстких та гнучких поліуретанових пін (теплоізоляція, холодильники, будівельні піни, м'які меблі, автомобільні сидіння тощо) [1–3]. До 25 % пропіленоксиду витрачається на виробництво пропіленгліколю та плуроників — співполімерів етилен- та пропіленоксидів [1–3].

Зараз виробництво пропіленоксиду здійснюють трьома основними способами. За «старим» хлоргідринним процесом на основі пропілену і хлору виробляють близько 40 % пропіленоксиду [1, 2]. Другий, доволі цікавий Халкон-процес ґрунтується на етилбензолі та пропілені і дозволяє одержати паралельно з пропіленоксидом цінний стирол, проте в цьому процесі, як і в процесі на основі ізобутану, на першій стадії окиснення утворюються вибухонебезпечні пероксидні сполуки [1, 2].

Однак найбільш перспективним та економічно вигідним методом промислового одержання пропіленоксиду вважають процес НРРО (hydrogen peroxide to propylene oxide) з використанням пропілену і пероксиду водню [1–3]. Цей процес перебігає з утворенням пропіленоксиду та води і описується реакцією:



З точки зору атомної ефективності (Е-фактора) та екологічності НРРО процес відповідає вимогам «зеленої хімії».

Основою для реалізації НРРО процесу стало дослідження фахівців лабораторії компанії ENI (Італія), в якому було встановлено, що титановмісний цеоліт TS-1 ефективно каталізує приєднання пероксиду водню до олефінів з утворенням епоксидів [4, 5]. І на сьогодні всі запатентовані промислові катализатори НРРО процесу містять у своєму складі титаносилікаліт TS-1. Через майже 25 років після публікації першого патенту ENI, у 2008 р., було запущено першу установку за технологією Evonik-Uhde НРРО потужністю 100 тис. т пропіленоксиду на рік, а вже у 2009 р. BASF і Dow Chemicals запустили в Амстердамі завод потужністю 300 тис. т пропіленоксиду на рік. На сьогодні у світі експлуатується вісім НРРО установок сумарною потужністю 2280 тис. т/рік. На всіх цих установках використовують метанол як необхідний компонент вихідної реакційної суміші для цього рідиннофазного процесу, який проводять під тиском 20–30 атм і за температури 40–50 °С.

В Україні ТОВ «Карпатнафтохім» у м. Калущ є єдиним, але досить потужним виробником товарного етилену і пропілену шляхом піролізу (за температури 700–800 °С) вуглеводневої сировини, переважно легких бензинових фракцій. Так, у 2020 р. було вироблено 200 тис. т етилену і 88 тис. т пропілену. На відміну від етилену, який повністю перероблюється у полівінілхлорид та поліетилен високої густини, весь пропілен експортується до європейських країн. Тому постало досить нагальне питання щодо перероблення пропілену на підприємстві «Карпатнафтохім» у більш цінний продукт, який користується високим попи-

том. Як відомо [6], на основі пропілену можна одержувати досить багато корисних речовин, насамперед поліпропілен, акрилонітрил, акрилову кислоту, пропіленоксид, кумол (потім фенол), алілхлорид, ізопропанол та ін. За результатами проведеного маркетингового аналізу було прийнято рішення про організацію власного виробництва пропіленоксиду за НРРО технологією з використанням метанолу.

Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України, який уже давно співпрацює з ТОВ «Виробнича група «Техінсервіс» у напрямі розроблення нових технологій, зокрема технологій переробки біоетанолу [7], запропонував замінити токсичний метанол на доступний ацетонітрил і створити вітчизняний катализатор для цього процесу.

Метанол, як розчинник у НРРО процесі, виконує дві основні функції: по-перше, забезпечує утворення однофазної реакційної суміші в системі рідкий пропілен – 40–60 % водний розчин H_2O_2 – метанол, що забезпечує перебіг реакції епоксидування, а по-друге, знімає тепло цієї сильно екзотермічної реакції (50 ккал/моль). Однак при цьому метанол частково окиснюється до формальдегіду, що зумовлює необхідність його регенерації через каталітичне гідрування формальдегіду воднем в окремому реакторі. Крім того, метанол легко взаємодіє з пропіленоксидом з утворенням побічних 1- та 2-метоксипропіленгліколів. Саме ці недоліки токсичного метанолу і спонукали до заміни його на ацетонітрил.

Основною причиною, чому ацетонітрил не використовували в НРРО процесі, є утворення азеотропу CH_3CN (80 мас.%)– H_2O , тобто реакційна суміш розбавляється водою. Свого часу фахівці компанії «Техінсервіс» розробили технологію зневоднення етанолу із застосуванням цеолітних мембран, яку було апробовано у виробництві біоетанолу [7]. Тому планувалося застосувати цю технологію для зневоднення азеотропного ацетонітрилу.

Лабораторні дослідження епоксидування пропілену 60 % перекисом водню з використанням 100 % ацетонітрилу було розпочато в листопаді 2017 р. Зокрема, певні труднощі

виникали з дозуванням рідкого пропілену в проточний реактор під тиском 30 атм. Паралельно в Інституті розробляли власний гранульований каталізатор на основі TS-1. У червні 2018 р. науковці Інституту передали компанії «Техінсервіс» основні вихідні дані щодо складу реакційної суміші, тиску, температури, навантаження на каталізатор для проектування пілотної установки потужністю 2 тис. т пропіленоксиду на рік.

Інженери виробничої групи «Техінсервіс» розробили оригінальну, повністю автоматизовану технологічну схему виробництва пропіленоксиду за новим процесом, який було названо НРРОа [8]. Зокрема, вперше було застосовано послідовну триреакторну схему з роздільною подачею пероксиду водню, абсорбер для насичення ацетонітрилу пропіленом, сепаратор під тиском 25 атм для здуву побічного кисню азотом, цеолітні модулі для зневоднення азеотропного ацетонітрилу. Також було запатентовано каталізатор TIS-1 на розроблений процес [9].

На початку 2019 р. підприємство «Карпатнафтохім» виділило майданчик на території олефінового заводу, на якому почали монтаж НРРОа установки. Основне обладнання – 3 реактори, 6 ректифікаційних колон, сепаратор, абсорбер, теплообмінники, цеолітні модулі – було виготовлено на Гребінківському заводі ТОВ «Виробнича група «Техінсервіс». І вже в червні 2020 р. було здійснено успішний запуск НРРОа установки (рис. 1).

Отже, в досить стислі терміни, за 3 роки, нову технологію вдалося реалізувати від лабораторного реактора до пілотної установки.

Принципову схему НРРОа процесу наведено на рис. 2.

Свіжий та рецикловий пропілен стискається потужним (110 кВт) компресором до 16 атм і подається в адсорбер, у якому він насичує рецикловий азеотропний ацетонітрил. Далі ця рідка суміш за допомогою насоса подається в реакторний блок під тиском 30 атм. У реакторний блок подається також 60 % пероксид водню, причому його подача може здійснюватися в різній кількості в кожний з трьох реакторів.



Рис. 1. НРРОа установка з виробництва пропіленоксиду на ТОВ «Карпатнафтохім»

Вихідна продуктова суміш надходить у сепаратор, де в потоці азоту відокремлюється побічний кисень, а потім на дві колони, де розділяються пропіленоксид, пропілен та обводнений ацетонітрил. Останній після відо-

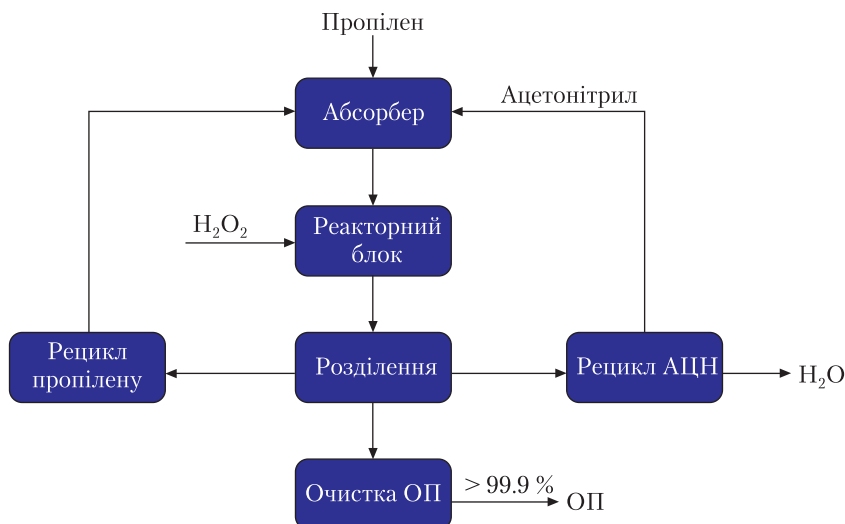


Рис. 2. Схема НРРОа процесу

кремлення від води в ректифікаційній колоні повертається в рецикл. Фінішна очистка пропіленоксиду від домішок води, ацетонітрилу і альдегідів відбувається в ректифікаційній колоні заввишки 34 м, що дає змогу одержати товарний оксид пропілену чистотою понад 99,95 мас.%.

Установка є досить складною системою, окремі елементи якої працюють як під підвищеним (30 атм), так і під зниженим (0,1 атм) тиском і за температур від -30 до $+150$ °С. Установка включає крім основного обладнання 12 ємностей, 15 теплообмінників, складну систему трубопроводів, які обслуговують 23 насоси. До НРРОа комплексу входять облаштовані належним чином ємності для зберігання 60 % пероксиду водню і товарного пропіленоксиду. Установка оснащена сучасною високовартісною системою пожежогасіння. Обсяг загальних капіталовкладень перевищив 10 млн доларів США.

Незважаючи на умовну простоту перебігу реакції епоксидування пропілену, реалізація НРРОа процесу виявилася досить складною як у хімічному, так і в технічному аспектах. Основною побічною реакцією є розклад пероксиду водню на кисень і воду, що відбувається як у кислому, так і в лужному середовищі. Оскільки H_2O_2 є слабкою кислотою, потрібно

додавати, як і в НРРО процесі, водний розчин аміаку для нейтралізації вихідної реакційної суміші до $\text{pH} = 6-8$. Витрати H_2O_2 на утворення пропіленоксиду сягають 98 %, але утворений кисень все одно становить вибухонебезпечну загрозу, і його не можна допускати на колони розділення і ректифікації. Тому на виході з реакторів було встановлено автоматизований вузол видалення кисню з розбавленням його азотом до вибухобезпечних концентрацій.

Товарний пропіленоксид повинен мати чистоту не менш як 99,95 %. Основними домішками у НРРОа процесі, як і в НРРО процесі, є вода і альдегіди, переважно ацетальдегід. Для видалення альдегідів спочатку використовували традиційний гідрозингідрат, але потім у результаті оптимізації роботи установки його замінили на нетоксичний і більш доступний моноетаноламін.

Загалом можна сказати, що наша пілотна установка повністю виправдала своє призначення як необхідний етап переходу до великотоннажного промислового виробництва. Більше року знадобилося на налагодження і доведення процесу до промислового рівня, що потребувало значних зусиль науковців, інженерів, операторів, аналітичної служби та обслуговуючого персоналу. Так, установку цілодобово обслуговує штат з 16 працівників, у

тому числі 4 операторів, інженера-технолога та інженера-механіка.

Протягом року в початкову технологічну схему було внесено істотні зміни. Ми відмовилися від використання цеолітних модулів і однієї колони для зневоднення ацетонітрилу, оскільки використання 83–85 % CH_3CN не приводило до значного погіршення виходу пропіленоксиду. Це дозволило помітно зменшити енергетичні витрати. Проте досягнення високої чистоти товарного пропіленоксиду > 99,95 % потребувало виготовлення і монтажу додаткової колони його глибокого очищення. Значним успіхом слід вважати застосування моноетаноламіну замість токсичних аміаку і гідразингідрату в процесі одержання пропіленоксиду з пропілену і пероксиду водню. Це зроблено вперше.

Зараз установку виведено на проєктний режим виробництва 250 кг пропіленоксиду на годину (2000 т/рік) і передано в експлуатацію підприємству «Карпатнафтохім», яке уклало контракти та постачає вироблений товарний пропіленоксид в Європу.

За основними показниками — витрати пропілену (0,77 т) та пероксиду водню (0,68 т) на

1 т пропіленоксиду — наша технологія НРРОа не поступається промислового Evonik-Uhde НРРО процесу [3]. Світовий лідер з виробництва пропіленоксиду за НРРО технологією — компанія BASF визнала наш НРРОа процес як дійсно нову промислову технологію. Зараз спільно з BASF розробляється технологія великотоннажного виробництва нашого каталізатора TIS-1 як менш ресурсо- і енергозатратного, а отже, дешевшого за відомі аналоги.

На нашу думку, співпрацю промисловців ТОВ «Виробнича група «Техінсервіс» і ТОВ «Карпатнафтохім» з науковцями Інституту сорбції та проблем ендоекології НАН України з розроблення нової технології можна розглядати як приклад розвитку цієї світової тенденції у вітчизняних умовах.

ТОВ «Карпатнафтохім» має намір побудувати промислове виробництво пропіленоксиду потужністю 130 тис. т/рік за НРРОа технологією.

На завершення автори статті хотіли б висловити подяку всім науковцям та інженерам, які брали участь у реалізації цієї нової технології, особливо Є.В. Каськову, О.Ю. Дагаєву, М.Є. Шаранді.

REFERENCES

[СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ]

1. Russo V., Tesser R., Santacesaria E., Di Serio M. Chemical and Technical Aspects of Propene Oxide Production via Hydrogen Peroxide (НРРО Process). *Ind. Eng. Chem. Res.* 2013. **52**(3): 1168–11178. DOI: <https://doi.org/10.1021/ie3023862>
2. Perez Ferrandez D.M. *Alternatives for the production of propene oxide*. Technische Universiteit Eindhoven, 2015.
3. Propylene Oxide. The Evonik-Uhde НРРО Technology: Innovative, Profitable, Clean. https://ucpedn.thyssenkrupp.com/_legacy/UCPthyssenkruppBAIS/assets.files/products___services/chemical_plants___processes/organic_chemicals___petrochemicals/2018-06-06_propylene-oxide-broschuere_zf.pdf
4. Clerici M.G., Bellussi G., Romano U. Synthesis of propylene oxide from propylene and hydrogen peroxide catalyzed by titanium silicalite. *J. Catal.* 1991. **129**(1): 159–167. DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-9517\(91\)90019-Z](https://doi.org/10.1016/0021-9517(91)90019-Z)
5. Patent of Europe EP0100118B1. Neri C., Buonomo F., Anfossi B. Process for the synthesis of glycol monomethylethers. Publ. 10.02.1985.
6. *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. Vol. 20. Wiley, 2004.
7. Brei V.V., Shchutskyi I.V. Bioethanol in Ukraine. *Visn. Nac. Acad. Nauk Ukr.* 2016. (6): 71–76. DOI: <https://doi.org/10.15407/visn2016.06.071>
[Брей В.В., Щуцький І.В. Біоетанол в Україні. *Вісн. НАН України*. 2016. № 6. С. 71–76].
8. Patent of Ukraine № 133250. Shchutskyi I.V. et al. The method of obtaining propylene oxide. Publ. 12.11.2018.
[Патент України №133250. Щуцький І.В., Галузинський О.Г., Пронько Д.Ю., Брей В.В. Спосіб одержання оксиду пропілену. Опубл. 25.03.2019. Бюл. № 6/2019].

9. Patent of Ukraine № 142563. Brei V.V. et al. The method of obtaining catalyst of epoxidation of propylene TIS-1. Publ. 10.06.2020.

[Патент України № 142563. Брей В.В., Щуцький І.В., Милін А.М., Шаранда М.Є. Спосіб одержання каталізатора епоксидування пропілену TIS-1. Опубл. 10.06.2020. Бюл. № 11/2020.]

Volodymyr V. Brei

Institute for Sorption and Problems of Endoecology of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9860-750X>

Igor V. Shchutskiy

Techinservice Manufacturing Group Ltd, Kyiv, Ukraine

Ivan M. Pidsadyuk

Karpatnaftochim Ltd, Kalush, Ukraine

NEW DOMESTIC HPPOA TECHNOLOGY FOR PROPYLENE OXIDE PRODUCTION

The stages of development of new HPPOa technology for propylene oxide production from propylene and hydrogen peroxide are briefly described - from laboratory reactor (2017) to pilot plant (2020) with a capacity of 2,000 tons per year. Replacement of toxic methanol with available acetonitrile as solvent in the epoxidation reaction of propylene over proposed TIS-1 catalyst; three reactor unit with separate supply of hydrogen peroxide; absorber for saturation of azeotropic acetonitrile with propylene; the use of monoethanolamine instead of toxic hydrazine hydrate for deep purification of commercial propylene oxide (> 99.95%) is the essence of new technology. Ltd "Karpatnaftochim" intends to build a facility for production of propylene oxide with a capacity of 130,000 tons per year using HPPOa technology.

Keywords: propylene oxide, production, HPPOa technology, TIS-1 catalyst.

БОЮН

Віталій Петрович — академік НАН України, завідувач відділу інтелектуальних відеосистем реального часу Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України

ПАЛАГІН

Олександр Васильович — академік НАН України, заступник директора з наукової роботи Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України

КІБЕРНЕТИЧНА ТЕХНІКА: ЗАРОДЖЕННЯ І РОЗВИТОК НАУКОВОГО НАПРЯМУ В УКРАЇНІ

До 100-річчя від дня народження
члена-кореспондента НАН України
Б.М. Малиновського

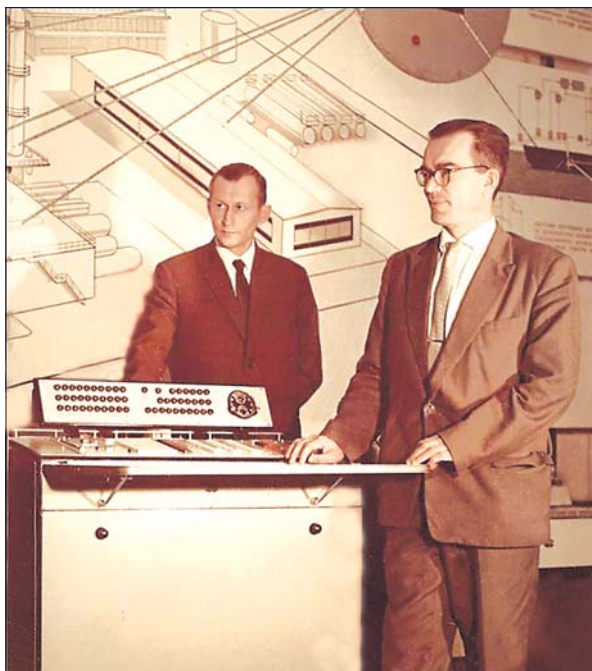
Автори статті ставлять за мету нагадати про героїчні події 60-річної давнини, пов'язані зі створенням і організацією серійного виробництва керуючої машини широкого призначення «Дніпро-1», яка була першою в Європі напівпровідниковою машиною другого покоління, а також про її головного конструктора, відомого вченого в галузі кібернетики й обчислювальної техніки члена-кореспондента НАН України Бориса Миколайовича Малиновського, 100-річчя від дня народження якого нещодавно широко відзначила наукова громадськість. Закладені в ті роки основи нового наукового напрямку — кібернетичної техніки — сьогодні активно продовжують розвивати численні учні та послідовники Б.М. Малиновського.

Створення керуючої машини широкого призначення «Дніпро». У грудні 2021 р. виповнилося 60 років від створення в Обчислювальному центрі АН УРСР (нині — Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України) керуючої машини широкого призначення (КМШП) «Дніпро», головним конструктором якої був тоді ще кандидат технічних наук Борис Миколайович Малиновський. Ідея створення універсальної цифрової напівпровідникової керуючої машини (1957 р.) належить Віктору Михайловичу Глушкову, який визначив основні вимоги до неї: малі габарити порівняно з тодішніми ламповими електронними обчислювальними машинами, універсальність, можливість роботи з об'єктами в складних умовах різного типу виробництв, висока надійність тощо.

КМШП «Дніпро» було створено в рекордно короткий термін. Уже в грудні 1961 р. перший її екземпляр встановили в бєсемерівському цеху Дніпровського металургійного комбінату в м. Дніпродзержинськ (нині — м. Кам'янське). Попередньо, за ініціативою В.М. Глушкова, відбулися перші в континентальній Європі дослідні з дистанційного керування повалкою



Борис Миколайович
Малиновський
(24.08.1921—13.11.2019)



Науковий керівник В.М. Глушков і головний конструктор Б.М. Малиновський біля пульта КМШП «Дніпро-1». 1962 р.

на заданому вмісті вуглецю бесемерівського конвертера для виплавки сталі, розташованого в Дніпродзержинську, за допомогою ЕОМ «Київ», яка знаходилася в Обчислювальному центрі у Києві. Для цього в бесемерівському цеху було встановлено створену реєструвальну цифрову установку, яка мала 5-канальний аналого-цифровий перетворювач з усередненням результатів перетворень та пристрій для їх друку. За допомогою спеціально обладнаного соленоїдами телетайпа установка підключалася через мережу зв'язку до ЕОМ «Київ», яка за отриманою інформацією обчислювала момент повалки конвертера і передавала ці дані оператору для здійснення операції. Дистанційні дослідження виявилися успішними, і їх результати використали для розроблення алгоритмів і програмного забезпечення для керування повалкою конвертера за допомогою КМШП «Дніпро-1».

Другий екземпляр КМШП «Дніпро-1» було встановлено на Слов'янському содовому комбінаті, а третій — на Миколаївському суднобу-

дівному заводі для розкרוювання металевих листів корпусів кораблів.

Паралельно з розробленням КМШП і на виконання постанов ЦК КПУ та Ради Міністрів УРСР проводилася підготовка до організації її серійного виробництва на заводі «Радіоприлад» київського Раднаргоспу (потім — завод ВУМ, а згодом — «Електронмаш»). З 1963 по 1971 р. спільними зусиллями фахівців Обчислювального центру АН УРСР і заводу «Радіоприлад» машину було дещо модернізовано для підвищення її технологічності, надійності та поліпшення інших технічних характеристик. Загалом випущено понад 500 екземплярів КМШП «Дніпро», які працювали в сотнях систем керування виробничими процесами, складними експериментами, в космічній та оборонній галузях тощо¹.

За результатами створення і впровадження КМШП Б.М. Малиновський захистив докторську дисертацію (1965), а згодом його було удостоєно Державної премії УРСР в галузі науки і техніки (1977).

Поява КМШП «Дніпро» стала яскравою сторінкою в історії радянського комп'ютеробудування. Це була перша в країні напівпровідникова ЕОМ, та ще й призначена для вирішення відповідальних завдань керування в народному господарстві! В її основу було покладено так звані ферит-транзисторні елементи і пам'ять на магнітних осердях. Народження підприємства з комп'ютеробудування в Києві — одне з вагомих досягнень радянської промисловості і особисто Б.М. Малиновського. Організація впровадження в різні галузі промисловості та наукових досліджень — це також результат його самовідданої праці. За піонерськими пішли масові впровадження в масштабах неосяжного СРСР, які принесли славу Інституту кібернетики і українській Академії наук.

В одній з таких робіт брав участь і один з авторів цієї статті, який був у складі групи інженерів відділу Б.М. Малиновського відразу

¹ Малиновський Б.Н. *Цифровые управляющие машины и автоматизация производства*. Москва: Машгиз, 1963.

після здачі Державній комісії перших зразків КМШП. Це було одне з підприємств С.П. Корольова — «п/я 989» під Москвою на станції Підлипки. Крім арифметичного блока керування і блока пам'яті до складу КМШП входив ще пристрій зв'язку з об'єктом. Саме в ньому розміщувався блок, призначений для виведення за командами ЕОМ графіків, що відображають перебіг експерименту, пов'язаного з випробуванням космічних ракет. Цей блок мав систему керування кроковими двигунами, яка була не дуже надійною, але цей недолік майже повністю компенсувався ентузіазмом відповідального виконавця. Неабияка гордість, що ти є учасником творення космічної епохи, ще довго зігрівала серця піонерів від кібернетики.

Зародження наукового напрямку — кібернетичної техніки. З огляду на значні успіхи і досвід, отриманий при створенні та впровадженні КМШП у різних системах керування, в 1970 р. академік В.М. Глушков при визначенні напрямів роботи Інституту кібернетики запропонував створити Відділення кібернетичної техніки й очолити його доктору технічних наук Борису Миколайовичу Малиновському. Головним завданням напряму кібернетичної техніки було розроблення керуючих машин, засобів зв'язку з об'єктом, перетворювачів форм інформації, запам'ятовувальних пристроїв, засобів передавання і відображення інформації тощо. Для цього у складі Відділення було організовано відповідні відділи. Згодом з відділу керуючих машин виокремилися ще кілька відділів: мікропроцесорної техніки та елементної бази.

Поява і розвиток кібернетичної техніки були зумовлені нагальними потребами економіки в засобах автоматизації. Виконання обчислень — це лише частина роботи з інформацією, алгоритми, які реалізуються в системах керування, як правило, є постійними, багаторазово повторюваними або обмеженими визначеними класами обчислень. Це дозволяє в більшості випадків спростити відповідні засоби завдяки їх спеціалізації.

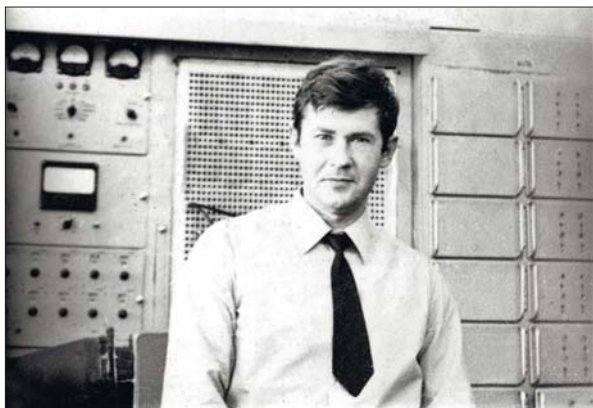
Для сучасних кібернетичних систем характерне постійне підвищення складності проце-



Інженер Віталій Боюн за пультом КМШП у бесемірському цеху Дніпровського металургійного заводу (фото з газети). 1962 р.

сів, які в них реалізуються. Це зумовлює збільшення кількості каналів інформації, виконавчих механізмів, використання більш складних моделей процесів і об'єктів та систем керування ними. Розвиток таких галузей техніки, як ядерна енергетика, космічні дослідження, літако- та ракетобудування, привів до появи систем з високодинамічними процесами і швидкісними об'єктами та, відповідно, до підвищення вимог до продуктивності, оперативності й ефективності обробки інформації, які неможливо задовольнити в рамках традиційних методів перетворення й обробки інформації та принципів побудови універсальних ЕОМ.

Створення ефективних засобів кібернетичної техніки високої продуктивності й оперативності для реалізації алгоритмів керування в реальному часі потребує розроблення теоретичних основ їх побудови, зокрема узгодження процесів перетворення й обробки інформації та їх суміщення в часі, вирішення питань спеціалізації або проблемної орієнтації технічних засобів, розпаралелювання процесів обробки інформації, використання методів апаратної реалізації алгоритмів, створення різних методів конвеєризації (арифметичної, командної, міжпроцесорної) тощо. Звідси випливає необхідність дослідження особливостей систем реального часу та алгоритмів обробки інформації з метою врахування їх при проектуванні засобів кібернетичної техніки.



Аспірант Віталій Боюн біля створеного ним цифро-аналогового комплексу на базі КМШП «Дніпро-1» та електронної моделювальної установки ЕМУ-10. 1970 р.

Сімдесяті роки відзначилися бумом гібридної (цифро-аналогової) техніки. В багатьох країнах вели роботи зі створення гібридних обчислювальних машин і комплексів з найрізноманітнішими принципами організації обчислень. Ці гібридні машини й комплекси мали поєднати позитивні якості цифрової (універсальність) та аналогової техніки (швидкодію, особливо при моделюванні диференціальних рівнянь). Однак у реальності складність і недослідженість процесів при спряженні аналогової та цифрової техніки ставали на заваді створенню ефективних машин. У відділі керуючих машин у 1968–1970 рр. також було створено цифро-аналоговий комплекс з автоматизацією набору структурних схем і гібридною системою реалізації нелінійних залежностей на базі КМШП «Дніпро-1» та електронної

моделювальної установки ЕМУ-10. І хоча в комплексі для введення коефіцієнтів і реалізації нелінійних залежностей було використано цифрові керуючі опірники, що забезпечувало найменше втручання в процес моделювання, високої точності моделювання динамічних процесів досягти не вдалося. Однак отриманий під час роботи на комплексі досвід виявився дуже корисним для розуміння процесів взаємодії аналогових і цифрових пристроїв та підтвердив необхідність їх подальшого детального дослідження.

Оскільки кібернетична техніка розвивалася «в надрах» обчислювальної техніки, спираючись на досягнення кібернетики, автоматики, теорії автоматичного керування, вимірювальної техніки, систем зв'язку, інформатики, теорії апроксимації функцій, інших галузей науки і техніки, вона увібрала в себе багато як корисних досягнень, так і хибних для її розвитку. Зокрема:

- для аналого-цифрового перетворення неперервних сигналів використовували різного типу аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), які вимірювали значення сигналу у фіксовані моменти часу;
- при визначенні кроку дискретизації у часі застосовували теорему відліків Котельникова–Найквіста, що забезпечувало мінімальну кількість відліків сигналу;
- для забезпечення мінімальної кількості рівнів квантування використовували теорію оптимального квантування;
- передачу цифрових кодів здійснювали згідно з теорією кодування Шеннона або Хаффмана, що забезпечувало мінімальну кількість бітів на передавання одного відліку.

Усі ці підходи розроблялися для різних окремих галузей і забезпечували відповідні критерії якості, але не враховували особливостей систем реального часу, зокрема відновлення неперервної форми інформації з мінімальними затримками інформації на ці процеси. Крім того, не розглядалися питання узгодження форм представлення даних між засобами перетворення інформації та її обробки, що зумовлювало необхідність виконання до-

даткових дій для такого узгодження. Задача системного підходу до процесів перетворення форми інформації, її оброблення й відновлення неперервної форми сигналів з урахуванням їх особливостей для забезпечення системного критерію якості не ставилася.

Особливості систем реального часу. Робота обчислювальних засобів в автоматизованих та автоматичних системах керування рухомими об'єктами, технологічними процесами, в цифро-аналогових моделювальних комплексах зі швидкозмінними (високодинамічними) сигналами має специфічні особливості, які впливають з необхідності перетворення форми подання інформації та відповідності вимогам реального часу щодо темпу передавання інформації та її запізнювання в контурі зворотного зв'язку. З-поміж різних режимів роботи систем реального часу (цифрової реєстрації процесів, цифрового програмного керування, робота в режимі «радника» та ін.) режим роботи в замкненому контурі керування зі зворотним зв'язком є найбільш поширеним і складним. Такий режим має місце в автоматичних системах керування технологічними процесами, випробуваннями складних об'єктів, експериментами, рухомими об'єктами в цифро-аналогових моделювальних комплексах тощо. При цьому здійснюється перетворення неперервних сигналів у цифрову форму, їх обробка, розрахунок і видача через цифро-аналоговий перетворювач керуючих впливів на об'єкт керування в реальному часі перебігу процесу.

Традиційний підхід до аналого-цифрового перетворення полягає в перетворенні неперервного фізичного сигналу, який розглядають як неперервний випадковий процес з обмеженим спектром, у послідовність дійсних значень, що характеризують стан цього процесу у фіксовані моменти часу. При цьому аналого-цифрове перетворення зводиться до виконання трьох процесів: дискретизації, квантування та кодування. У теорії аналого-цифрового перетворення розроблено підходи, які дозволяють оптимізувати кожний з цих процесів та забезпечити мінімальну кількість відліків сигналу, мінімальну кількість рівнів квантування і мінімальну кількість



Віталій Боюн демонструє цифрове керування магнітною підвіскою членам Державної комісії з приймання ЕОМ М-180. 1976 р.

бітів інформації на один відлік. Однак вони не враховують особливостей систем реального часу і не забезпечують мінімізації затримки інформації в контурі зворотного зв'язку.

Створення динамічної теорії інформації. Починалося все з того, що у відділі керуючих машин розробляли спеціалізовані пристрої для виконання операцій масштабування, піднесення до степеня, добування кореня, обчислення поліномів, обчислення різних функцій (степеневих, експоненціальних, тригонометричних, логарифмічних та зворотних до них тощо), які узгоджували з вихідною інформацією різних типів АЦП (число-імпульсного, порозрядного, паралельного, слідкувального тощо). Це дозволяло сумістити в часі аналого-цифрове перетворення з виконанням операцій та обчисленням функцій, а також спростити виконання багатьох операцій і функцій, тобто зменшити запізнювання в контурі зворотного зв'язку систем керування.

Ураховуючи досвід керування високодинамічними процесами й результати досліджень на створеному у відділі цифро-аналоговому комплексі, з системних позицій було переглянуто процеси дискретизації сигналів, аналого-цифрового перетворення, обробки і відновлення неперервної форми сигналів, тобто здійснено перехід від вимірювальної моделі до слідкувальної. Відомі на той час слідкувальні АЦП



Академік А.О. Дородніцин обговорює з науковим керівником Акт про приймання ЕОМ М-180. 1976 р.

мали обмеження щодо крутизни сигналу, вони неправильно відслідковували високочастотні ділянки сигналів, що обмежувало керування високочастотними процесами. Було запропоновано виділяти зміни сигналу і до того ж кодувати їх величинами, кратними степеню 2, що приводить до значного скорочення обсягів інформації і спрощення її обробки (операція множення при цьому замінюється операцією зсуву та додавання, що реалізується простіше, ба більше, таке перетворення здійснюється за один такт, що на порядок швидше порівняно з порозрядним АЦП, а для компенсації похибки від такого кодування пороги збільшували у 1,5 раза). Були створено спеціальні аналого-інкрементні перетворювачі неперервних сигналів у природи та модифіковані алгоритми обчислення степеневих, поліноміальних, експоненціальних, тригонометричних функцій і зворотних до них, обчислення дискретного перетворення Фур'є, кореляційних функцій, цифрової фільтрації тощо. У подальшому розроблено модифіковані методи розв'язання алгебраїчних, звичайних диференціальних рівнянь, інтегральних рівнянь та диференціальних рівнянь у часткових похідних, принципи організації багатоканальної обробки інформації в системах керування шляхом розгортки у часі, по параметру та по простору, принципи побудови обчислювальних засобів з урахуванням системних особливостей. Розроблено

також нові принципи побудови спеціалізованих і проблемно-орієнтованих процесорів та систем, багатопроцесорних обчислювальних систем для розв'язання задач первинної і вторинної обробки інформації. Нова елементна база та принципи організації обчислювального процесу і багатоканальної обробки інформації (ієрархічне розподілене керування, risk-архітектура, проблемна орієнтація, модульність та ін.) лягли в основу створення унікальних систем діагностики і керування високочастотними процесами та об'єктами, багато з яких були першими цифровими системами у вітчизняній та світовій практиці.

На технічні розробки з використанням таких підходів було отримано близько 200 патентів на винаходи, опубліковано дві монографії. Цілу низку цих розробок реалізовано і впроваджено в десятки пристроїв, процесорів, комплексів та систем керування, зокрема в трьох системах керування положенням і параметрами плазми в термоядерних установках типу ТОКАМАК.

У монографії «Введение в кибернетическую технику. Обработка физической информации»² розглянуто питання узгодження засобів обробки інформації з вихідною інформацією аналого-цифрових перетворювачів, а також принципи побудови таких засобів. Узгодження форм подання інформації дозволило сумістити у часі процеси її перетворення й обробки та значно скоротити обсяги оброблюваної інформації. Це сприяло підвищенню оперативності та продуктивності обробки інформації при менших апаратних затратах.

Другу монографію, «Введение в кибернетическую технику. Параллельные структуры и методы»³, присвячено організації багатоканальної обробки інформації в системах керування шляхом розгортки у часі по параметру та по простору, принципам побудови обчис-

² Малиновский Б.Н., Боюн В.П., Козлов Л.Г., Соловьев В.П. *Введение в кибернетическую технику. Обработка физической информации*. Киев: Наук. думка, 1979.

³ Малиновский Б.Н., Боюн В.П., Козлов Л.Г. *Введение в кибернетическую технику. Параллельные структуры и методы*. Киев: Наук. думка, 1989.

лювальних засобів з урахуванням системних особливостей, а також методам розв'язання систем алгебраїчних, звичайних диференціальних, інтегральних рівнянь та диференціальних рівнянь у часткових похідних. Розглянуто також принципи побудови спеціалізованих і проблемно-орієнтованих процесорів та систем, багато процесорних обчислювальних систем для розв'язання задач первинної та вторинної обробки інформації.

У своїй праці «Мышление и кибернетика»⁴ В.М. Глушков дав настільки всеохопне поняття інформації, що воно не втратило своєї актуальності навіть тепер: «Інформація у найзагальнішому її розумінні є мірою *неоднорідності* розподілу матерії та енергії у просторі та часі, мірою *змін*, якими супроводжуються всі процеси, що відбуваються у світі». При цьому виділяються два різновиди неоднорідності — *статична* (характеризує поточний стан деякої матеріальної чи енергетичної системи) та *динамічна* (відображає її змінність у часі). І якщо статичній інформації присвячено сотні робіт у світі і вона стала вже класикою, то динамічній інформації не приділяли необхідної уваги практично до початку ХХІ ст. Однак визначення поняття динамічної інформації виявилось дуже плідним при вивченні інформаційних властивостей фізичних систем, і можна сподіватися, що цей підхід буде застосовано і в новій перспективній галузі інформатики, яка почала формуватися останніми роками і здобула назву «кіберфізична інформатика».

Однією з перших робіт, пов'язаних з розвитком динамічної теорії інформації як теоретичної бази систем реального часу, стала монографія «Динамическая теория информации. Основы и приложения»⁵.

Слід особливо підкреслити, що всі ці роботи проводилися під керівництвом та за безпосередньої участі Б.М. Малиновського.

⁴ Глушков В.М. Мышление и кибернетика. *Вопросы философии*. 1963. № 1. С. 36–48.

⁵ Боюн В.П. *Динамическая теория информации. Основы и приложения*. Киев: Ин-т киберн. им. В.М. Глушкова НАН України, 2001.



Мікрокомп'ютер «Електроніка С5-01». На фото: О.В. Палагін і А.Ф. Кургаєв (ліворуч). 1976 р.

Не можна оминати увагою ще одну сторінку життя Б.М. Малиновського і його відділу керуючих машин. Йдеться про створення першого вітчизняного сімейства мікроЕОМ «Електроніка С5» (різних серій)⁶. Це був результат спільної роботи Інституту кібернетики з ленінградським НВО «Світлана». До речі, американці зробили свій перший 4-розрядний мікропроцесор Intel 4004 приблизно в 1974 р. Наші перші мікропроцесори в дослідних зразках працювали в 1975 р. Причому, не заперечуючи американський пріоритет, варто зазначити, що це були одразу 8-розрядні мікропроцесори, та й ще з можливістю конфігурації їх у багато процесорні системи, що було першим кроком до сьогоденних комп'ютерних систем з масовим паралелізмом. До речі, наші авторські свідоцтва на винаходи того часу в деяких американських джерелах було оцінено як «руський виклик».

Конструювання мікропроцесорного чипа включає в себе кілька ітеративних процесів, починаючи з логічного синтезу і закінчуючи проектуванням топології. Останнє виконували в конструкторському бюро об'єднання «Світ-

⁶ Палагін А.В. Перспективы развития и вопросы теории проектирования микропроцессоров и микроЭВМ. *УСМ*. 1982. № 3; Палагін А.В. Оценка сложности конечного автомата. *Кибернетика*. 1984. № 4.



Олександр Палагін зі співробітниками за налагодженням нової мікропроцесорної системи. 1977 р.

лана» на ЕОМ БЕСМ-6, гордості тодішнього вітчизняного комп'ютеробудування, а Інститут кібернетики відповідав за архітектурно-структурну організацію мікропроцесора. Тут відчувалася школа В.М. Глушкова.

Зі спогадів О.В. Палагіна: «Пам'ятаю приїзд В.М. Глушкова як голови приймальної комісії. Це була визначна подія, тому що, по-перше, сприймалася як відповідальна справа, а по-друге, розробка однієї моделі сімейства (Електроніка С5-21) була моєю гордістю. Вона побудована на базі однокристалного емулюючого мікропроцесора. Родзинка цієї моделі в тому, що в мікропроцесорі було реалізовано комбінацію двох взаємодіючих систем керування, одна з яких була ядром мікропроцесора, а друга використовувала його як бібліотеку мікрокоманд, на базі якої працювала інша, зовнішня система мікропрограмування. Пізніше наш патент⁷ було майже повторено в американській моделі NCR-32. Електроніка С5-21 — лейтмотив моєї докторської дисертації, присвяченої саме розробленню архітектурно-структурної організації мікропроцесорів і мікроЕОМ. Одними з центральних її розділів були метод оптимального кодування мікрокоманд і логіко-інформаційний метод синтезу мікроЕОМ. Хоча ця розробка і не була відзначена Держав-

⁷ Палагін А.В., Дряпак А.Ф. Микропрограмное устройство управления процессора. А.с. № 943727, БИ № 26, 1982; Малиновский Б.Н., Палагін А.В. и др. Микропроцессор. А.с. № 943735, БИ № 26, 1982.

ною премією, вона увійшла в аннали вітчизняного комп'ютеробудування».

Не можна не відзначити діяльність Б.М. Малиновського як відповідального від АН УРСР за виконання одного з розділів трьох п'ятирічних програм спільних робіт Академії з Міністерством промисловості засобів зв'язку (МПЗЗ). Особливістю цього розділу були гігантські масштаби робіт. Йдеться про комп'ютеризацію підприємств МПЗЗ на основі засобів мікропроцесорної техніки. Створювалися численні творчі колективи, галузеві лабораторії, які працювали в Інституті кібернетики, а фінансувалися з боку МПЗЗ. Керівником однієї з таких лабораторій був О.В. Палагін, а базовим підприємством — відоме науково-виробничче об'єднання ім. С.П. Корольова, спільно з яким було розроблено кілька мікропроцесорних комплексів: Нейрон І9.66, СО-(01, 02, 03, 04), а також мікроЕОМ СОУ, які добре зарекомендували себе на підприємствах МПЗЗ.

Організаторські здібності Б.М. Малиновського проявилися також на посаді голови Ради систем автоматизації наукових досліджень Академії наук. Тоді розроблялися комплекси автоматизації наукових досліджень для різних типів експериментів, і досвід їх застосування академічними інститутами дуже зацікавив представників не лише союзної Академії наук, а й академії наук країн соціалістичного табору. Більш детальну інформацію про цей період можна отримати з монографії Бориса Миколайовича⁸.

⁸ Малиновский Б.Н. *Нет ничего дороже...* Киев, 2005; Малиновський Б.М. *Документальна трилогія*. http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/MalinovskyDokumentalnaTrilogy_ukr.pdf; Малиновський Б.М. *Зберігати довічно*. http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/MalinovskiyBN_StoreEternally_ukr.pdf; Малиновський Б.М. *Відоме і невідоме в історії інформаційних технологій в Україні*. <http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/IT-Ukraine.pdf>; Малиновський Б.М. *Нариси з історії комп'ютерної науки та техніки в Україні*. http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/MalinovskyEssays_ukr.pdf; Малиновський Б.М. *Історія обчислювальної техніки в особах*. http://www.icfcst.kiev.ua/MUSEUM/TXT/Malinovsky_history_ukr.pdf

У зв'язку з відсутністю в 2000-ні роки замовлень від промисловості та оборонної галузі на системи керування напрям роботи відділу керуючих машин було змінено на розроблення інтелектуальних відеосистем реального часу, тобто база досліджень «керування в реальному часі» залишилася, але додалося керування з використанням відеоінформації.

Перехід до сприйняття та обробки відеозображень. У 1997–1999 рр. динамічну теорію інформації було допрацьовано для процесів сприйняття і обробки зображень та відеопослідовностей, зокрема розроблено динамічні моделі панорамування зображень, пошуку та слідування за рухомими об'єктами. Ці моделі отримали схвальні відгуки на всесвітніх виставках з інформаційних технологій, однак реалізовані вони були на традиційних засобах відео- і комп'ютерної техніки, а тому не могли продемонструвати всі свої переваги. Завдяки виграному в 2001 р. тендеру на інноваційний проект у рамках Державної програми «Образний комп'ютер» було створено першу в Україні інтелектуальну відеокамеру ІВК-1 з новими інформаційними основами, автоматичним виділенням і введенням динамічної частини зображення та його обробкою, керуванням параметрами зчитування відеоінформації тощо. Вона показала на два порядки вищу продуктивність при реалізації цих моделей. Згодом за іншими інноваційними проектами було створено сімейство інтелектуальних відеокамер різного призначення (з фото- і телеоб'єктивами, підвищеною продуктивністю, збільшеними об'ємами пам'яті), які стали базою для створення низки інтелектуальних відеосистем для контролю якості продукції за ознаками форми, розмірів, колірності та її ідентифікації, контролю статичних і динамічних параметрів фізичних, хімічних і біологічних об'єктів, слідування за рухомими об'єктами тощо.

Для створеного цифрового оптичного капіляроскопа, який дозволяє неінвазійно досліджувати стан мікроциркуляторної ланки кровообігу людини, розроблено програмне забезпечення для вимірювання статичних параметрів капілярів, а також для оцінювання



Виставкова зала Інституту кібернетики АН УРСР. О.В. Палагін розповідає про модульний набір мікропроцесорної техніки. 1977 р.

таких динамічних параметрів, як швидкість і прискорення кровотоку в ділянках капіляра.

В основу створеної гемодинамічної лабораторії «МакроМікроПоток» покладено метод цифрової оптичної капіляроскопії, який відіграє роль арбітра благополуччя всієї серцево-судинної системи живого організму, оскільки дозволяє візуалізувати найвіддаленіший сектор судинної системи і чітко відображає артеріолярну, венолярну патологію в аспекті глобальних першопричин порушень у судинній системі зі скринінгом можливих причин як з боку серцевої діяльності, так і внаслідок патології магістральних і периферичних судин артеріальної та венозної ланок. Принциповою відмінністю цієї гемодинамічної лабораторії є поєднання двох технологій — доплерівської детекції магістрального потоку крові та цифрової оптичної візуалізації і комплексного оцінювання стану макроциркуляції — в рамках єдиного програмно-аналітичного забезпечення з метою виявлення дисбалансу між патологією в магістральних артеріях та венах і розладами в мікросудинах пацієнта. Тому саме такий комплекс, який отримує інформацію на макро- і мікрорівнях, здатний забезпечити ефективно проведення комплексної діагностики серцево-судинної системи та формування реальних індивідуально орієнтованих алгоритмів лікування з інструментальним контролем його ефективності.



В.П. Боюн, С.Д. Смірнов (замовник підсистеми реального часу макроконвеєрного комплексу, ЦАГІ, м. Жуковський), Б.М. Малиновський, О.В. Палагін. 1990 р.

Сітківка ока людини як прототип для побудови систем комп'ютерного зору нового покоління. Останнім часом проведено фундаментальні мультидисциплінарні дослідження сітківки ока людини з метою визначення структурних особливостей будови і принципів організації її нейронної мережі та використання їх як прототипу для побудови перспективних систем комп'ютерного зору. Основними структурними особливостями будови сітківки ока людини, які становлять інтерес для побудови перспективних систем комп'ютерного зору, є такі:

- розріджена периферична сітківка і щільна центральна ямка, які забезпечують широке поле огляду з різною роздільною здатністю;
- організація рецепторів і нейронів сітківки за принципом центр—оточення: центр збуджувальний, а оточення гальмівне, так званий оп-центр (вмикання) і off-центр (вимикання);
- висока пластичність нейронів завдяки змінненню розмірів і форми цих центрів, кількості гальмівних шарів тощо, що дозволяє виділяти із зображення велику кількість інформативних ознак з різними масштабами для подальшого розпізнавання в зоровій корі;
- велика кількість адаптаційних механізмів для пристосування до умов сприйняття зображення і вимог завдання.

Використання арсеналу методів і механізмів обробки інформації на сітківці зорового

аналізатора людини дозволило запропонувати низку оригінальних принципів організації пошуку об'єкта в зображенні, слідкування за ним і виділення інформативних ознак для розпізнавання.

Реалізація принципів організації сітківки ока людини в системах комп'ютерного зору. Основою нашого підходу не є копіювання функцій сітківки ока, а також процесів, що відбуваються в ній. Ми мали на меті зрозуміти загальну структуру й організацію зорової системи людини та використати ці принципи для побудови спеціалізованих і проблемно-орієнтованих відеосистем різного призначення з урахуванням стану і можливостей сучасної мікроелектроніки. І, можливо, поставити перед нею ті проблеми, які дозволять більш ефективно розв'язувати задачі пошуку об'єкта в зображенні, стеження за ним, класифікації, розпізнавання об'єктів, сцен і ситуацій у реальному часі.

Перевагою такого підходу є використання низки адаптаційних механізмів підвищення чутливості в умовах недостатнього освітлення, збільшення контрасту, а також механізмів уваги і грубо-точного представлення сцени, що дозволяє значно скоротити об'єми баз даних і час для навчання штучної нейронної мережі, прив'язати їх до процесів зйомки відеопослідовності та використати в системах комп'ютерного зору. Зокрема, *можливість зміни роздільної здатності відеосенсора* дозволить забезпечити, з одного боку, широке поле огляду, а з другого — можливість детального аналізу виділеного об'єкта. Ба більше, це допоможе реалізувати ієрархічний метод грубо-точного пошуку об'єкта в зображенні, при якому пошук виконується на грубому зображенні за інформативними ознаками вищого порядку. *Загрублення зображення* є ефективним методом зменшення об'єму інформації при пошуку об'єкта в зображенні, слідкуванні за ним, а також у режимі простого споглядання обстановки. Для загрублення зображення пропонується здійснювати сумачію (по рядках і стовпчиках) значень яскравості пікселів рецептивних полів відповідно до *процедури інтегрованої*

матриці, застосування якої дозволяє обчислювати суми яскравостей довільних прямокутників за 3 операції додавання/віднімання для різних ступенів закруглення. Така процедура багаторазово використовується для виділення інформативних ознак на різних масштабах, підвищення чутливості сприйняття світла та обчислення on- і off-центрів.

Зорова система людини має у своєму арсеналі безліч типів *руху очей* (сакади, мінісакади, тремор, мікротремор, слідкувальні рухи, вестибулярно-окулярні рухи для стабілізації зображення на центральній ямці, вергентні рухи для зведення і розведення осей очей при їх фокусуванні на виділеному об'єкті та ін.). Вони сприяють більш ефективному сприйняттю відеоінформації в різних режимах (споглядання, панорамування при повороті голови або русі спостерігача, пошук об'єкта в зображенні, детальне розглядання об'єкта для його класифікації/розпізнавання). Реалізація таких ефективних дій передбачає керування параметрами зчитування інформації з відеосенсора, що було продемонстровано на динамічних моделях цих процесів.

Палички і колбочки сітківки сприймають абсолютні значення яскравості або колірності, однак аналіз зображення проводиться на перепадах (різницях) цих ознак між сусідніми пікселями в рядках, стовпчиках або між кадрами. Для цього в зоровій системі здійснюються мікрорухи очей і є нейрони, які відповідають за аналіз просторових частот.

Для *виділення просторових частот* запропоновано застосувати динамічну міру інформації, тобто δ -ентропію по рядках і стовпчиках зображення, яка обчислюється значно простіше порівняно з фур'є-аналізом. Вона також ефективно використовується для цілої низки застосувань.

Дуже важливим моментом є забезпечення *принципу кільцевої організації рецептивних полів*, оскільки він однаково ефективно працює як на моделі периферичної сітківки, так і на моделі центральної ямки. За принципом *центр—оточення* на моделі сітківки можна виділити безліч інформативних ознак різно-



Борис Миколайович Малиновський

го рівня (плями або дрібні деталі, що відрізняються від фону за яскравістю, кольором, орієнтацією, динамічними характеристиками, наявністю руху у відеопослідовності та ін.), які забезпечують не лише пошук об'єктів у сцені, а й детальне їх розпізнавання.

Кільцева організація нейронів центральної ямки з нарощуванням кілець забезпечує підсилення контрасту в умовах його недостатності, а кільцева організація периферичної сітківки з сумацією сигналів сприятиме адаптації до рівня освітлення.

Використання принципів, методів і механізмів сітківки ока людини та запропонованих способів їх реалізації дозволило створити узагальнену динамічну модель процесів пошуку об'єктів у зображенні, слідкування за ними у відеопослідовності, проводити їх класифікацію та розпізнавання, на 3–5 порядків підвищити продуктивність і ефективність систем комп'ютерного зору та розширити їх функціональні можливості. Крім того, для подальшого підвищення продуктивності систем комп'ютерного зору запропоновано структурні методи паралельної реалізації безпосередньо на шарах сенсорної матриці процедур нелінійного сприйняття яскравості, паралельної бінаризації зображення, паралельного аналого-цифрового перетворення методом розгортки по параметру, пошуку й обчислення габаритних розмірів об'єкта, обчислення моментів інерції об'єкта для його класифікації, виділення різних інформативних ознак із зображення

для пошуку об'єкта та його розпізнавання. Усі ці методи захищені патентами на винаходи.

Узагальнена динамічна модель процесів пошуку об'єкта в зображенні, слідування за ним і виділення інформативних ознак.

Узагальнена модель зорової системи людини багатофункціональна, вона складається із сотень локальних моделей, які описують цілу низку структурних, фізичних, біохімічних, психофізичних механізмів і процесів. Процес сприйняття візуальної інформації людиною є динамічним, з багатьма параметрами, що змінюються в процесі сприйняття, з багатьма зворотними зв'язками. Про це свідчить велика кількість статей, присвячених дослідженням конкретних властивостей, особливостей, механізмів, процесів тощо, які наявні в зоровій системі людини. Однак загального уявлення і розуміння процесу сприйняття візуальних образів зоровою системою в динаміці для різних режимів практично немає.

Результатом нашим багаторічних досліджень стало розроблення узагальненої дина-

мічної моделі процесів пошуку об'єкта в зображенні, слідування за ним і виділення інформативних ознак, а також підходів до реалізації найбільш важливих і значущих її принципів, які сприяють підвищенню ефективності й інтелектуальності систем комп'ютерного зору⁹.

Післямова. Відділення кібернетичної техніки, фундатором якого був Борис Миколайович Малиновський, продовжує плідно працювати і в інших кібернетичних напрямках, зокрема є багато розробок світового рівня зі створення приладів і систем медичного профілю, для розумного землеробства та екобезпеки, жестової комунікації, охорони й оборони, робототехніки, систем електронного голосування тощо.

⁹ Boyun V. The Principles of Organizing the Search for an Object in an Image, Tracking an Object and the Selection of Informative Features Based on the Visual Perception of a Person. In: Babichev S., Peleshko D., Vynokurova O. (eds) *Data Stream Mining & Processing. DSMP 2020. Communications in Computer and Information Science*. Vol. 1158. Springer, Cham, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_2

Vitaliy P. Boyun

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3932-3558>

Alexandr V. Palagin

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-1391>

CYBER TECHNOLOGY: THE ORIGIN AND DEVELOPMENT OF SCIENTIFIC RESEARCH IN UKRAINE

To the 100th anniversary of Corresponding Member of NAS of Ukraine B.M. Malinovsky

The authors of the article aim to recall the heroic events of 60 years ago, related to the creation and organization of mass production of the general purpose control machine "Dnipro-1", which was the first second-generation semiconductor machine in Europe, as well as to commemorate its chief designer, Boris M. Malinovsky, a well-known scientist in the field of cybernetics and computer technology, Corresponding Member of the NAS of Ukraine, whose 100th birthday was recently widely celebrated by the scientific community. Many students and followers of Boris M. Malinovsky, who laid in those years the foundations of a new scientific field, cybernetics, continue to develop it today.

КОТЛЯРОВ

Володимир Петрович – доктор фізико-математичних наук, професор, головний науковий співробітник відділу математичної фізики Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України

ФЕЛЬДМАН

Геннадій Михайлович – член-кореспондент НАН України, заступник директора з наукової роботи – керівник Математичного відділення Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України



Євген Якович Хруслов

НЕТИПОВИЙ ШЛЯХ У МАТЕМАТИКУ

**До 85-річчя академіка НАН України
Є.Я. Хруслова**

7 січня 2022 року виповнюється 85 років видатному вченому-математику в галузі математичної фізики, лауреату Державної премії України в галузі науки і техніки (1989), лауреату двох іменних премій НАН України: ім. М.М. Крилова (1996) та ім. М.О. Лаврентьєва (2007), заступнику академіка-секретаря Відділення математики НАН України (з 2009), головному науковому співробітнику Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України, доктору фізико-математичних наук (1976), професору (1979), академіку НАН України (2003) Євгену Яковичу Хруслову.

Євген Якович Хруслов народився 7 січня 1937 р. у Харкові в робітничій сім'ї. Коли почалася війна, батько пішов солдатом на фронт, а Євген з матір'ю залишилися у Харкові і пройшли через усі жахіття окупації. У 1943 р. батько загинув. Після зволення Харкова Євген пішов у школу. Повоєнне життя було складним і не дозволяло приділяти велику увагу навчанню. Євген багато допомагав матері і вітчиму, проте це не завадило йому стати найкращим учнем у класі, і школу він закінчив зі срібною медаллю.

У 1954 р. срібна медаль дозволяла вступити до будь-якого закладу вищої освіти в країні без іспитів. Розвиток ракетної техніки та поширення ідей космонавтики заохочували молодь до вступу у профільні інститути. Євген мріяв бути конструктором авіаційних і ракетних двигунів і подав документи до авіаційного інституту. Коли до завершення строку подання документів до вишів залишався один день, медкомісія авіаційного інституту повідомила Євгена, що він не може навчатися в їхньому інституті через проблеми із зором. Оскільки більшість вишів уже вичерпали квоту на прийом медалістів, Євген був змушений вступити до не дуже престижного з точки зору абітурієнтів електромеханічного факультету Харківського політехнічного інституту.



Зліва направо: ректор: Харківського національного університету І.Є. Тарапов, заступник директора ФТІНТ К.В. Маслов, Є.Я. Хруслов, В.О. Марченко. 1990-ті роки



З А.Д. Мишкісом і В.О. Марченком на семінарі, присвяченому 40-річчю математичних відділів ФТІНТ ім. Б.І. Веркіна НАН України. 2000 р.

У роки навчання Євген був одним з найкращих студентів факультету, сталінським стипендіатом і закінчив інститут в 1959 р. з червоним дипломом. Після закінчення інституту він протягом 2 років працював інженером у харківському проектному інституті «Важпромелектропроект», більшість часу перебуваючи у відрядженнях в Кривому Розі на налагодженні прокатного стану.

У цей період Євген Якович навіть не уявляв собі, що коли-небудь займатиметься наукою. Математика була його хобі. Згодом він зрозумів, що його не влаштовує рівень отриманих в

інституті математичних знань, і вирішив самостійно опанувати університетський курс для математиків, вибравши для цього знаменитий багатотомник В.І. Смирнова. Незважаючи на велику завантаженість на роботі, а також на появу сім'ї й дитини, Євген вечорами наполегливо продовжував займатися самоосвітою. Саме за цим заняттям одного разу його застав старший колега по лабораторії, інженер Гліб Дмитрович Клягін. Він і виявився тією людиною, яка кардинально змінила долю Євгена Хруслова. Помітивши його щирий інтерес до математики, Клягін запропонував Євгену познайомитися, як він сказав, зі «справжнім живим математиком» — Володимиром Олександровичем Марченком.

У той час В.О. Марченку запропонували очолити відділ математичної фізики у щойно створеному Фізико-технічному інституті низьких температур (ФТІНТ). Директор нового інституту, професор Б.І. Веркін, ставив перед математичними відділами подвійну мету: математики повинні були брати участь у наукових програмах інституту і, в ідеалі, мали стати однією з ланок творчого ланцюга фізики — математики — конструктори — виробничники, з іншого боку — перед ними стояло завдання проводити фундаментальні дослідження, продовжуючи традиції харківської математичної школи.

Повністю поділяючи ці наміри, Володимир Олександрович шукав нових співробітників серед молодих, математично обдарованих фізиків та інженерів. Г.Д. Клягін знав про це і порекомендував йому Хруслова. Щоб перевірити здібності претендента, Володимир Олександрович запропонував йому задачу, над якою сам розмірковував. Поставлену В.О. Марченком інженерну проблему, пов'язану з турбогенераторами, Євген розв'язав досить швидко. Переконавшись у його екстраординарних математичних здібностях, Володимир Олександрович запропонував Є.Я. Хруслову вступити до аспірантури ФТІНТу. В.О. Марченко переконав Євгена, що, перебуваючи в середовищі активно працюючих математиків, він, навіть не маючи профільної математичної освіти, досить швидко здобуде необхідні знання.

Відтоді й дотепер усе життя Євгена Яковича нерозривно пов'язане з Фізико-технічним інститутом низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України. Він пройшов шлях від аспіранта до заступника директора з наукової роботи. А тоді, наприкінці 1961 р., звільнившись з інженерної роботи, Євген Якович зміг більше часу приділяти самоосвіті та наполегливо працювати над дисертацією. У цей період В.О. Марченко активно займався теорією дифракції. Спільно з В.П. Шестопаловим і З.С. Аграновичем він запропонував новий потужний метод розв'язання задач дифракції електромагнітних хвиль на періодичних решітках ідеальної провідності. Цей новий науковий напрям потім плідно розвивали протягом десятиліть представники харківської радіофізичної школи академіка В.П. Шестопалова. Задачі дифракції привели Володимира Олександровича до постановки нового класу задач про опис асимптотичної поведінки розв'язків крайових задач для рівнянь у частинних похідних в областях з дрібнозернистою межею. Саме до вирішення цих проблем він і привернув увагу аспіранта Хрушова.

У 1964 р. журнал «Математический сборник» опублікував статтю В.О. Марченка і Є.Я. Хрушова «Крайові задачі в областях з дрібнозернистою межею», в якій було досліджено асимптотику розв'язку задачі Діріхле для рівняння Гельмгольца при подрібненні межі області. Ця публікація започаткувала новий напрям у теорії диференціальних рівнянь у частинних похідних — теорію усереднення, або англійською *homogenization theory*. Деяко пізніше, з кінця 1960-х років, ця теорія почала інтенсивно розвиватися у світі.

Ще до появи широкого інтересу до теорії усереднення Євген Якович уже досліджував такі її нові важливі задачі, як задача Неймана для рівняння Гельмгольца в сильно пористих областях загального вигляду, задача про резонансні явища проходження хвиль у тонких каналах та аналітичні властивості резольвент-усереднених задач. На цю тему в 1965 р. він захистив кандидатську дисертацію, а в 1972 р. — докторську. Є.Я. Хрушлов уперше застосував



Відкриття меморіальної дошки з нагоди 150-річчя з дня народження О.М. Ляпунова. Зліва направо: О.А. Борисенко, Л.А. Пастур, Є.Я. Хрушлов, А.Д. Мишкіс, В.О. Марченко, В.І. Коробов, М.О. Азаренков, Г.М. Жолткевич. 25 червня 2007 р.



Зі співробітниками відділу математичного моделювання фізичних процесів, яким Є.Я. Хрушлов керував протягом майже 30 років. 2009 р.

до цього класу задач варіаційні методи, ввів поняття сильно і слабо зв'язаних областей та дефініції мезоскопічних характеристик таких областей. Це дозволило йому побудувати низку цікавих нестандартних моделей мікронеоднорідних середовищ. Він також першим почав вивчати питання усереднення диференціальних операторів на ріманових поверхнях складної мікроструктури. Частина цих досліджень було виконано у співпраці з відомим французьким математиком Луї Буте де Монвелем.



Урочисте відкриття конференції, присвяченої 90-річчю В.О. Марченка. 20 серпня 2012 р.



На конференції з нагоди 95-річчя від дня народження В.О. Марченка. Червень 2017 р.

У 1989 р. за роботи з дослідження асимптотичної поведінки розв'язків крайових задач в областях з дрібнозернистою межею В.О. Марченку, І.В. Скрипнику і Є.Я. Хруслову було присуджено Державну премію Української РСР в галузі науки і техніки. Визнанням високого світового рівня цих досягнень стало запрошення Євгена Яковича виступити з пленарною доповіддю на Міжнародному конгресі математиків, який у 1994 р. проходив у Цюриху.

Останні 20 років Є.Я. Хруслов займається задачами усереднення систем рівнянь, що описують рух в'язкої нестисливої рідини з дрібними твердими частинками, які взаємодіють одна з одною за допомогою сил різної приро-

ди. Такі системи є найпростішими моделями складних рідин з мікроструктурою (суспензій, полімерних рідин тощо). Євген Якович розробив нові методи їх досліджень, побудував типові усереднені моделі, що описують різні асимптотичні режими руху таких сумішей, коли розміри частинок прямують до нуля.

Теорія усереднення, одним із засновників якої без сумніву є Євген Якович, — один з головних напрямів його діяльності протягом усього творчого шляху. Однак коло його математичних інтересів цим далеко не обмежується. Він також є всесвітньо визнаним експертом у теорії нелінійних цілком інтегрованих рівнянь і систем та теорії обернених задач. Своїм приходом у цей напрям він також певною мірою зобов'язаний Володимирі Олександровичу Марченку.

У 1974 р. в Уфі проходила конференція з теорії солітонів, у якій брали участь усі найвизначніші фахівці Радянського Союзу в цій галузі. Природно, туди було запрошено й Володимира Олександровича Марченка, але він не зміг поїхати і запропонував замість себе Євгена Яковича. Однією з найбільш бурхливо обговорюваних невирішених проблем була задача про так званий розпад початкових даних типу сходинок для рівняння Кортевега—де Фріза. Доповідь О.В. Гуревича про наближений розв'язок задачі з чисто розривною сходиною здивувала учасників конференції тим, що солітони виникали у моделі Кортевега—де Фріза за відсутності дискретного спектра відповідного оператора Лакса. Пояснення цьому феномену не було. Захоплений цією проблемою, Євген Якович ґрунтовно вивчив метод оберненої задачі розсіювання і на його основі зумів створити свій метод дослідження асимптотики розв'язків нелінійних рівнянь з початковими даними типу сходинок. Зокрема, він пояснив і математично строго обґрунтував виникнення так званих асимптотичних солітонів, породжуваних однократним неперервним спектром задачі, і показав, що ці солітони мають залежну від часу фазу, що не спостерігається методом Уїзема.

Згодом Євген Якович та його учні застосували метод дослідження асимптотичної по-

ведінки таких розв'язків до інших нелінійних цілком інтегрованих рівнянь (нелінійне рівняння Шредінгера, модифіковане рівняння Кортевега—де Фріза, рівняння синус-Гордона, рівняння ланцюжка Тоди). Для рівнянь Кадомцева—Петвіашвілі було знайдено нові класи асимптотичних розв'язків у вигляді криволінійних асимптотичних солітонів.

Наукові інтереси Євгена Яковича пов'язані також з теорією електромагнітного зондування, де виникають задачі дослідження та моделювання структури земної кори в інтересах пошуку корисних копалин. Зокрема, він розв'язав важливі задачі щодо відновлення параметрів середовища за вимірюваннями компонентів електромагнітного поля на поверхні Землі. Розвинені ним методи довели свою ефективність у тестуванні даних реальних геофізичних експериментів.

Характерною ознакою строгих математичних результатів Є.Я. Хруслова є їх глибокий фізичний сенс. В їх основі лежать моделі, що мають численні застосування в техніці, екології, медицині. Наприклад, Євген Якович досліджував сильно дисперсні електрично заряджені суспензії, які моделюються системою пов'язаних рівнянь Нав'є—Стокса—Фоккера—Планка—Пуассона, що описують процеси осідання аерозолів промислового походження, які містять важкі метали. Він також побудував модель двовимірного фотонного метаматеріалу із заданими лагунами у спектрі. Такі моделі застосовують у радіофізиці для забезпечення поширення електромагнітних хвиль у заданих частотних інтервалах. Є.Я. Хруслов розробив нові чисельні методи розв'язання диференціальних рівнянь, які виникають при дослідженні наслідків екологічних катастроф, пов'язаних із забрудненим пилом, як, наприклад, у разі ядерного вибуху.

За високі досягнення в науці Євгена Яковича Хруслова нагороджено орденом «Знак Пошани» (1986), орденом «За заслуги» III ступеня (2008), Грамотою Верховної Ради України (2010). Він є лауреатом іменних премій НАН України — премії ім. М.М. Крилова (1996) і премії ім. М.О. Лаврентьєва (2007).



З правнуками. Червень 2021 р.

Є.Я. Хруслов — автор понад 150 наукових робіт, у тому числі 5 монографій*. Йому належать фундаментальні результати в таких напрямках:

- теорія усереднення крайових задач математичної фізики в областях складної мікроструктури;

* Марченко В.А., Хруслов Е.Я. *Краевые задачи в областях с мелкозернистой границей*. Киев: Наук. думка, 1974;

Марченко В.А., Хруслов Е.Я. *Усредненные модели микронееоднородных сред*. Киев: Наук. думка, 2005;

Marchenko V.A., Khruslov E.Ya. *Homogenization of Partial Differential Equations. Progress in Mathematical Physics*. Birkhäuser Boston, Inc., MA, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-0-8176-4468-0>

Хруслов Е.Я. *Усредненные модели динамики суспензий*. Киев: Наук. думка, 2016;

Khruslov E.Ya. *Homogenized Models of Suspension Dynamics*. EMS Tracts in Mathematics. Vol. 34. EMS, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4171/ETM/34>

- теорія обернених задач електромагнітного зондування;
- теорія цілком інтегрованих нелінійних еволюційних рівнянь;
- теорія усереднених моделей у гідродинаміці і теорії пружності.

Крім інтенсивної і плідної наукової діяльності Євген Якович проводить велику науково-організаційну роботу. Протягом багатьох років він був заступником директора з наукової роботи — керівником Математичного відділення Фізико-технічного інституту низьких температур ім. Б.І. Веркіна НАН України. Він також є заступником академіка-секретаря Відділення математики НАН України та головою спеціалізованої ради із захисту дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук, президентом Харківського математичного товариства, членом редколегій кількох наукових журналів.

Багато часу і зусиль Євген Якович віддає викладанню та вихованню молодих наукових кадрів. Протягом більш як 40 років він читав різні курси в Харківському національному університеті ім. В.Н. Каразіна і припинив викладацьку діяльність лише у віці 78 років. Під його керівництвом було захищено кілька десятків дипломних проєктів, деякі з них були досить

серйозними науковими роботами. Він — почесний доктор Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Величезну увагу Євген Якович приділяє вихованню молодих співробітників у стінах рідного інституту. Під його керівництвом було захищено 21 кандидатську і 3 докторські дисертації. Він охоче і багато працює не лише зі своїми учнями, а й з учнями своїх колег, докладає зусиль для того, щоб українська математична школа продовжувала активно розвиватися і зберігала високі позиції у світі, навіть у нинішній непростий для країни час.

Основним хобі Євгена Яковича є аматорський спорт. У студентські роки він займався боротьбою, пізніше водним туризмом, а от бігом і лижами — все життя. У свої 85 він перебуває в гарній фізичній формі і, як завжди, активно працює.

Широта наукових інтересів та ерудиція, відданість науці й висока вимогливість до себе, постійна увага до учнів і колег та готовність надати допомогу — невід’ємні риси характеру Євгена Яковича. Його скромність, доброзичливість і шанобливе ставлення до людей знаходять вдячний відгук у всіх, хто мав нагоду спілкуватися з ним.

Vladimir P. Kotlyarov

B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0307-7997>

Gennadiy M. Feldman

B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5163-4079>

THE UNUSUAL WAY TO MATHEMATICS

To the 85th anniversary of Academician of the NAS of Ukraine Ie.Ya. Khruslov

January 7, 2022 marks the 85th anniversary of the outstanding mathematician in the field of mathematical physics, winner of the State Prize of Ukraine in Science and Technology (1989), the M.M. Krylov Prize of the NAS of Ukraine (1996) and the M.O. Lavrentyev Prize of the NAS of Ukraine (2007), Deputy Academician-Secretary of the Department of Mathematics of the National Academy of Sciences of Ukraine (since 2009), Chief researcher of the B. Verkin Institute for Low Temperature Physics and Engineering of the NAS of Ukraine, Doctor of Physical and Mathematical Sciences (1976), Professor (1979), Academician of the NAS of Ukraine (2003) Ievgen Ya. Khruslov.

МЕДВЕДЕСВ

Володимир Вікторович – доктор медичних наук, професор кафедри нейрохірургії Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця

МАРУЩЕНКО

Мирослава Олегівна – кандидат медичних наук, доцент кафедри нейрохірургії Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця

РИБАЧУК

Анна Володимирівна – кандидат медичних наук, доцент кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця



Віталій Іванович Цимбалюк

PER ASPERA AD CEREBRASTRA¹, АБО МОЗКОВА АСТРОНАВТИКА ВІТАЛІЯ ЦИМБАЛЮКА

До 75-річчя академіка НАН України і НАМН України В.І. Цимбалюка

26 січня 2022 року виповнюється 75 років відомому українському нейрохірургу, вченому, педагогу, організатору системи охорони здоров'я, громадському діячеві, двічі лауреату Державної премії України в галузі науки і техніки (1996, 2002), заслуженому діячеві науки і техніки України (1997), лауреату іменних премій НАН України: ім. О.О. Богомольця (2013) та ім. М.М. Амосова (2019), президенту Національної академії медичних наук України (з 2016), завідувачу кафедри нейрохірургії Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця (з 1993), керівнику відділу відновної та функціональної нейрохірургії ДУ «Інститут нейрохірургії ім. акад. А.П. Ромоданова НАМН України» (з 2016), доктору медичних наук (1985), професору (1989), академіку НАН України (2021) і НАМН України (2010) Віталію Івановичу Цимбалюку.

Віталій Іванович Цимбалюк народився 26 січня 1947 р. у с. Симонів Гошанського району Рівненської області. В 1970 р. після закінчення з відзнакою Тернопільського медичного інституту його було направлено за розподілом як лікаря-невропатолога у районну лікарню № 2 с. Великі Межирічі Корецького району Рівненської області. Так розпочався трудовий шлях відомого нейрохірурга, науковця, організатора системи охорони здоров'я, творця наукової школи, який надалі був нерозривно пов'язаний з Інститутом нейрохірургії імені акад. А.П. Ромоданова НАМН України. У цьому закладі Віталій Іванович пройшов шлях від клінічного ординатора до керівника відділу та заступника директора з наукової роботи. Талант педагога, му-

¹ Гра слів: cerebrastra, дослівно «мозкозорі», «зірки мозку», — структури мозку, які були недосяжними і до яких В. Цимбалюк усе життя прагнув добратися. Зрештою, попри всі технічні труднощі, йому це вдалося. Розроблені ним засоби, що дозволяють точно доставитися дрібних, як зірки на нічному небі, мішеней усередині мозку, стали значним внеском у розвиток стереотаксичної і функціональної нейрохірургії — напрямку, якому В. Цимбалюк присвятив своє практичне і наукове життя.

дрою наставника розкрився на кафедрі нейрохірургії Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця, якою В.І. Цимбалюк завідує з 1993 р.

Академік В.І. Цимбалюк є фундатором нових медичних напрямів в Україні — відновної нейрохірургії та нейротрансплантології. Їх теоретичне обґрунтування та впровадження в клінічну практику дозволили переосмислити сучасні погляди на можливості відновлення нервової системи. Клініку відновної нейрохірургії, що на той час не мала аналогів у світі, було створено за ініціативою В.І. Цимбалюка та за підтримки академіка Андрія Петровича Ромоданова в 1988 р. як окремий підрозділ Інституту нейрохірургії. В.І. Цимбалюк розглядав відновну нейрохірургію як комплекс хірургічних заходів, спрямованих на подолання наслідків ураження нервової системи в контексті відновлення її функцій, головним завданням якого є вивчення фундаментальних механізмів функціональної регенерації нервової системи з метою розроблення пато- і сано-генетично обґрунтованих методів лікування, що в сукупності можуть поліпшити якість життя хворих з неврологічною та нейрохірургічною патологією.

Одним з основних напрямів діяльності клініки відновної нейрохірургії є вивчення регенераторних можливостей периферичної нервової системи. Протягом першого року існування підрозділу було виконано 120 операцій на периферичних нервах, нині щороку в клініці проводять понад 600 таких втручань. Організація клініки відновної нейрохірургії стала початком створення наукової школи академіка В.І. Цимбалюка.

Перші дисертаційні роботи, виконані під керівництвом Віталія Івановича, були присвячені проблемам відновного лікування травми периферичних нервів та методам контролю і стимулювання їх регенерації. Отриманий клінічний досвід та результати наукових досліджень колективу клініки неодноразово висвітлювалися на всеукраїнських та міжнародних конференціях. У 1996 р. «за розроблення і впровадження нових методів діагностики та хірургічного

лікування ушкоджень периферичної нервової системи, організацію спеціалізованої хірургічної допомоги в Україні» члена-кореспондента АМН України В.І. Цимбалюка у складі авторського колективу було удостоєно Державної премії України в галузі науки і техніки.

У подальшому під керівництвом В.І. Цимбалюка було виконано низку дисертаційних робіт, присвячених патології периферичної нервової системи. Одним з важливих наукових напрямів відділення стало розроблення методів відновного лікування при травмі плечового сплетення на основі аналізу результатів хірургічного лікування понад 600 хворих з цією патологією. Активна співпраця з ортопедами-травматологами розширила горизонти проблеми поліпшення результатів відновного лікування застарілих травматичних ушкоджень плечового сплетення. Комплексний нейрохірургічно-ортопедичний підхід до цієї проблеми висвітлено в монографії «Хірургічне лікування ушкоджень плечового сплетення»², яку в 2003 р. було відзначено премією АМН України. Дисертанти Віталія Івановича вивчали також питання множинних, компресійних, вогнепальних та ятрогенних ушкоджень периферичних нервів, пухлин периферичних нервів, аналізували можливості електростимуляції у відновленні функцій периферичних нервів.

Не залишилася поза увагою В.І. Цимбалюка і проблема хронічного болю після травми периферичного нерва та шляхи його подолання. У 1995–1996 рр. під його керівництвом виконано науково-дослідну роботу «Пошук нових малотравматичних методів комплексного лікування больових синдромів при травматичних ушкодженнях і захворюваннях периферичних і черепних нервів». Результати цього дослідження стали поштовхом до активного впровадження в клінічну практику відділення інтрадуральних резекцій задніх корінців спинного мозку та DREZ-томій при лікуванні больових синдромів на тлі травми плечового сплетення. Важливим напрямом діяльності

² Цимбалюк В.І., Гайко Г.В., Сулій М.М., Страфун С.С. *Хірургічне лікування ушкоджень плечового сплетення*. Тернопіль: Укрмедкнига, 2001.

відділення стало також розроблення методики кріодеструкції чутливої частини трійчастого нерва при невралгіях трійчастого нерва, яка є методом вибору у пацієнтів похилого та старечого віку, а також у хворих з тяжкою супутньою патологією.

Розуміючи актуальність вивчення хронічного електричного впливу на структури нервової системи, В.І. Цимбалюк сформував творчий колектив (В. Цимбалюк, І. Третяк, М. Сапон, Є. Шоферистов), багатолітня робота якого завершилася створенням електростимулятора «НейСі-3М» — вітчизняного серійного виробу медичного призначення, використаного на сьогодні у лікуванні більш ніж 1500 пацієнтів. Було доведено, що вплив модульованого змінного електричного струму на ушкоджені нервові стовбури потенціує їх регенерацію, а довготривала стимуляція спинного мозку в певних режимах поліпшує відновлення рухової активності, іннервацію органів малого тазу, зменшує спастичність і больовий синдром, що особливо актуально у хворих з наслідками хребетно-спинномозкової травми.

Після Чорнобильської катастрофи на базі клініки відновної нейрохірургії вивчалися особливості регенерації периферичних нервів на тлі малих доз радіації. Результати проведених експериментальних досліджень покладено в основу розділу «Променеві ушкодження периферичної нервової системи» колективної монографії співробітників Інституту нейрохірургії «Хронічний вплив малих доз опромінення на нервову систему: експериментальні дослідження та клінічні спостереження»³. Загалом за період існування клініки відновної нейрохірургії під керівництвом та за безпосередньої участі В.І. Цимбалюка було виконано близько 17 тис. оперативних втручань на периферичній нервовій системі, підготовлено 35 дисертаційних робіт.

Паралельно з удосконаленням методик оперативних втручань на периферичних нервах

³ *Хронічний вплив малих доз опромінення на нервову систему. Експериментальні дослідження та клінічні спостереження.* За ред. Ю.П. Зозулі. Київ: Чорнобильінтерінформ, 1998.



В операційній

В.І. Цимбалюк заклав підґрунтя для розвитку нейротрансплантології як окремого напряму науково-практичних досліджень. Методика ґрунтувалася на наявних тоді знаннях про вплив трансплантації стовбурових клітин, ембріональної нервової тканини (ТЕНТ) на ушкоджений гіпоксією мозок. Першу у світі внутрішньомозкову ТЕНТ при ДЦП було виконано В.І. Цимбалюком у 1989 р. в Інституті нейрохірургії. Того ж року було здійснено 10 аналогічних втручань, а також проведено ТЕНТ при апалічному синдромі, епілепсії, ішемічному інсульті, паркінсонізмі тощо. Перший клінічний досвід засвідчив помірне тимчасове поліпшення мозкових функцій після ТЕНТ, що зумовило необхідність подальшого детального вивчення ефективності методу, зокрема й в умовах експерименту.

Впродовж 30 років вивчення ефективності тканинної та клітинної трансплантації під керівництвом В.І. Цимбалюка було виконано близько 20 дисертаційних робіт, що дало



Рада президентів національних академій наук України

можливість зробити висновок про позитивний вплив апробованих біоінженерних засобів на перебіг різних видів патології нервової системи. Поліпшення мозкових функцій після трансплантації стовбурових клітин можна було пояснити присутністю у трансплантаті нейрогенних прогеніторів і продукцією ними численних нейротропних, метаболічних та ангіогенних факторів, які певним чином обмежують резидентний запальний процес, стимулюють пластичність нейронних мереж мозку і ангіогенез. За дослідження у сфері клітинної та тканинної трансплантації В.І. Цимбалюка разом із групою українських вчених під керівництвом академіка В.І. Грищенка було удостоєно Державної премії України в галузі науки і техніки (2002).

Обговорення біоетичних аспектів біоінженерних втручань та напрацювання нормативно-правової бази в галузі трансплантології також здійснювалося за безпосередньої участі В.І. Цимбалюка, який впродовж 2002—2004 рр. виконував обов'язки директора Координаційного центру трансплантації органів, тканин та клітин МОЗ України. Нині, у період активного розроблення альтернативних способів отримання стовбурових клітин, зокрема

шляхом генноінженерного чи епігенетичного репрограмування зрілих соматичних клітин, під керівництвом Віталія Івановича вивчаються властивості та ефективність трансплантації стовбурових клітин різного фенотипу та походження, що може бути актуальним для лікування різноманітної нейрохірургічної патології. Під його керівництвом розпочато пошук оптимальних щодо відновного ефекту стовбурових клітин, доступних у вітчизняних умовах, та їх застосування при відновному лікуванні патології ЦНС, зокрема травми спинного мозку у клініці та в умовах експерименту. Дані літератури та власних експериментальних досліджень, присвячених відновленню функції спинного мозку, висвітлено у фундаментальній монографії «Спинной мозг. Элегия надежды»⁴, яку в 2013 р. було відзначено премією ім. О.О. Богомольця НАН України.

В.І. Цимбалюк та В.В. Медведєв є також авторами першої у світі монографії⁵, присвяченої нейрогенним стовбуровим клітинам.

⁴ Цимбалюк В.І., Медведєв В.В. *Спинной мозг. Элегия надежды*. Киев: Нова Книга, 2010.

⁵ Цимбалюк В.І., Медведєв В.В. *Нейрогенные стволовые клетки*. Киев: Коваль, 2005.

Під керівництвом та за безпосередньої участі Віталія Івановича у клініці відновної нейрохірургії вперше у світі було успішно виконано серію реконструктивних втручань у пацієнтів зі спінальною травмою, під час яких дефект спинного мозку заміщували синтетичним гідрогелевим матриксом.

Однак сфера наукових і клінічних інтересів В.І. Цимбалюка не обмежується лише питаннями відновної нейрохірургії та нейротрансплантології. Незаперечним є також його внесок у розвиток вітчизняної функціональної та стереотаксичної нейрохірургії. Ще на початку своєї практичної діяльності Віталій Іванович зацікавився патологією підкіркових структур головного мозку, зокрема екстрапірамідними гіперкінезами, результати лікування яких тоді були незадовільними. За кілька років йому вдалося розробити і впровадити у клінічну практику комплекс стереотаксичних деструкцій підкіркових структур, який дозволяв суттєво зменшити вираженість змішаних форм екстрапірамідних гіперкінезів, поліпшити стан рухової сфери хворих. Дослідження цієї актуальної проблеми лягли в основу кандидатської дисертації В.І. Цимбалюка «Лікування змішаних форм екстрапірамідних гіперкінезів стереотаксичними операціями», успішно захищеної в 1976 р.

Поряд із розробками, спрямованими на поліпшення результатів лікування екстрапірамідних гіперкінезів, В.І. Цимбалюк та його колеги зосередили увагу на вивченні спастичності та інших варіантів порушень м'язового тону, які нерідко виявляли при поєднаних ураженнях екстрапірамідної та пірамідної систем, наприклад при дитячому церебральному паралічу.

На часі було створення ефективних методик боротьби зі спастичністю церебрального генезу, і саме В.І. Цимбалюк запропонував комплекс оперативних втручань, який поєднував стереотаксичні операції, зокрема таламо-дентатотомію, сагітальну кріоталамотомію, пульвінаротомію та ін., та радикалтомії, невротомії, міотомії тощо. Слід також зазначити, що Віталій Іванович оптимізував і впровадив у клінічну практику стереотаксичну дентато-

томію — кріодеструкцію вентролатеральної частини зубчастого ядра мозочку, а також модифікував методику її проведення. Він запропонував виконувати операцію при положенні пацієнта сидячи і з нахилом голови вперед задля поліпшення доступу до структур задньої черепної ямки. Однобічна дентатотомія зменшувала прояви спастичності на боці втручання, двобічна — суттєво зменшувала аксіальні торсійно-дистонічні гіперкінези, однак і дотепер механізми такого ефекту дентатотомії не з'ясовані, функції зубчастого ядра досліджені фрагментарно, його участь у формуванні різних видів фізіологічного тону м'язів потребує подальшого вивчення.

В.І. Цимбалюк стояв також біля витоків застосування в Україні глибокої стимуляції мозку при лікуванні низки захворювань головного мозку, рутинної операції нині, а на початку 1980-х років інноваційної, якщо не сказати революційної на теренах колишнього СРСР. У 1981 р. Віталій Іванович під час довготривалого стажування в Інституті експериментальної медицини в Ленінграді опанував методику та техніку імплантації ніхромових електродів для довготривалої лікувальної електростимуляції церебральних ядер, які було запропоновано професором А.Д. Анічковим. Після повернення до Києва В.І. Цимбалюк виконав стереотаксичну імплантацію електродів у глибокі структури мозку 11 хворим з екстрапірамідною патологією з подальшою хронічною лікувальною електростимуляцією, що дало позитивний, але нетривалий ефект. Недосконалість електродів, високий ризик гнійно-запальних ускладнень, як місцевих, так і в мозку, знижували ефективність оперативних втручань і гальмували їх широке застосування. Однак В.І. Цимбалюку судилося стати першим у розробленні та впровадженні найсміливіших наукових ідей і задумів у багатьох напрямках нейронаук, і те, що для більшості його сучасників здавалося неможливим, для Віталія Івановича було цілком здійсненним, нехай не сьогодні, але завтра обов'язково!

Багаторічні дослідження та клінічний досвід проведення стереотаксичних операцій на



З Борисом Євгеновичем Патоном

глибинних структурах головного мозку лягли в основу докторської дисертації В.І. Цимбалюка «Нейрохірургічне лікування спастичності у хворих з екстрапірамідною патологією» (1985), науковими консультантами якої були академік А.П. Ромоданов та професор О.О. Лапоногов, а також узагальнюючої статті⁶, в якій було проведено аналіз результатів хірургічного лікування найбільшої на той час у світі вибірки хворих із екстрапірамідною патологією. Нині, в епоху розвитку мініінвазивних, у тому числі нехірургічних, методик лікування патології екстрапірамідної системи, актуальним є більш як 15-річний досвід Віталія Івановича у застосуванні малих доз ботулінічного нейротоксину типу А у лікуванні класичних гіперкінезів і дистоній — блефароспазму, геміспазму обличчя, спастичної кривоший, оромандибулярних гіперкінезів, дитячого церебрального паралічу і спастичності.

⁶ Лапоногов О.А., Цымбалюк В.И., Матюк Н.Г. и др. Наш опыт 2220 стереотаксических операций. *Вопросы нейрохирургии*. 1990. № 1. С. 17–19.

Характеризуючи основні наукові інтереси В.І. Цимбалюка на сучасному етапі, слід відзначити розроблення нейроінженерних засобів лікування патології нервової системи, відновне лікування наслідків бойової травми центральної та периферичної нервової системи, лікування больових синдромів та ін. Наукова школа В.І. Цимбалюка на сьогодні налічує 15 докторів та 64 кандидати наук (доктори філософії), на етапі завершення перебувають ще 3 докторські дисертації та 4 дисертації на здобуття ступеня доктора філософії.

Крім яскравих рис науковця, Віталій Іванович має також непересічні організаторські здібності: який би колектив чи підрозділ він не очолював, яку б справу не організовував, одразу ж навколо нього формується коло односторонців, готових реалізовувати задуми свого учителя. Його організаторські здібності повною мірою проявилися під час підготовки й проведення Всеукраїнської благодійної акції «Гамма-ніж — Україні», в результаті якої спільними зусиллями громадськості, представників

депутатського корпусу та небайдужих людей на базі Інституту нейрохірургії було відкрито радіохірургічний центр, в якому на сьогодні вже отримали допомогу понад 4 тис. пацієнтів, а В.І. Цимбалюка та О.Ю. Швеця було відзначено премією «Гордість країни» (2010).

У 2013 р. В.І. Цимбалюка було обрано віцепрезидентом, а у 2016 р. — президентом Національної академії медичних наук України (переобрано на другий термін у 2021 р.). Складні виклики сьогодення, пов'язані з реформуванням системи надання спеціалізованої допомоги населенню, пандемією Covid-19, військовими діями на сході України, стали справжніми випробуваннями для медичної спільноти. В.І. Цимбалюку вдалося зберегти незалежність та структурну цілісність НАМН України, організувати кваліфіковану допомогу в рамках боротьби з пандемією Covid-19.

Неможливо переоцінити внесок В.І. Цимбалюка як президента НАМН України в організацію допомоги пораненим учасникам Революції Гідності та військових дій на сході України. Віталій Іванович очолює оперативний штаб НАМН України з надання медичної допомоги пораненим; за його участі сформовано мобільні бригади, забезпечено безперервні консультації у військових шпиталях і госпіталізацію частини бійців у клініки інститутів, підпорядкованих НАМН України. Після створення військово-цивільного штабу з надання допомоги пораненим при Міністерстві оборони України В.І. Цимбалюка було введено до його складу; він консультує у військових шпиталях, бере участь у багатопрофільних консиліумах, координує надання медичної допомоги закладами НАМН України і Міністерства оборони України. Загалом за період військових дій на сході України в установах НАМН України проконсультовано понад 25 тис. поранених, з яких більш як 3 тис. мають найскладніші види бойових травм, проведено велику кількість унікальних хірургічних втручань. За організацію і надання допомоги пораненим В.І. Цимбалюка нагороджено відзнаками Міністерства оборони України, Міністерства внутрішніх справ України і Служби безпеки України — «Волон-



На передовій

тер України. БСП «Донбас» (2015), «За сприяння Збройним Силам України» (2016), «За мужність та милосердя» (2016), «За заслуги перед Збройними Силами України» (2018), «Знак Пошани» Державної служби України з надзвичайних ситуацій (2018) та ін.

Досвід організації та надання медичної допомоги в умовах військових дій висвітлено в 10 монографіях, посібниках, низці методичних рекомендацій, виданих за редакцією В.І. Цимбалюка.

Окремою сторінкою життєпису Віталія Івановича є його педагогічна діяльність на посаді професора, а потім завідувача кафедри нейрохірургії Національного медичного університету ім. О.О. Богомольця, що поєднується з обов'язками незмінного члена ученої ради університету та циклових методичних комісій з хірургічних дисциплін. Його блискучі лекції, інформативні практичні заняття сформували не одне покоління українських нейрохірургів



Академік Віталій Іванович Цимбалюк

і стали дороговказом у практичній та науковій діяльності, а колектив однодумців, співробітників кафедри нейрохірургії, допомагає успішно долати сучасні виклики у сфері реформування вищої медичної освіти.

В.І. Цимбалюк є співавтором 22 підручників та навчальних посібників з нейрохірургії для студентів вищих медичних навчальних закладів та здобувачів післядипломної освіти, у тому числі російською та англійською мовами. За час його керівництва кафедрою нейрохірургії на ній пройшли навчання понад 32 тис. студентів, 30 клінічних ординаторів, 30 аспірантів і 4 магістри. До переліку випускників кафедри входять також представники різних країн світу — Білорусі, Болгарії, Вірменії, Грузії, Ізраїлю, Індії, Ірану, Канади, Китаю, Конго, Молдови, Німеччини, Палестини, Польщі, Росії, Сирії, Таджикистану, Узбекистану.

Формування власної наукової школи органічно поєднується у Віталія Івановича зі збереженням пам'яті про фундаторів вітчизняної нейрохірургії та творенням новітньої історії.

За його безпосередньої участі організовано Перший з'їзд нейрохірургів України і створено Українську асоціацію нейрохірургів, почесним президентом якої він є нині. Завдяки зусиллям В.І. Цимбалюка отримано рішення Президента України Л.М. Кравчука щодо присвоєння Інституту нейрохірургії імені академіка А.П. Ромоданова (1993) та перейменовано вул. Пугачова у Шевченківському районі Києва на вулицю Академіка Ромоданова (2018).

Дослідженню історії української нейрохірургії присвячено більше десятка монографій В.І. Цимбалюка, які розкривають життєвий шлях та внесок у розвиток вітчизняної нейрохірургії академіків А.П. Ромоданова, О.І. Арутюнова і Ю.П. Зозулі, члена-кореспондента НАМН України М.Є. Поліщука, професорів Л.П. Чепкого і Б.С. Хомінського. За редакцією В.І. Цимбалюка видано два бібліографічні довідники «Нейрохірурги України» (1993, 2008) та монографії, присвячені історії Інституту нейрохірургії (2006, 2010). Okремо слід виділити надзвичайно цікаву працю В.І. Цимбалюка «Історія української нейрохірургії в портретах», в якій представлено біографічні портрети 12 найвизначніших постатей у галузі нейронаук в Україні — В.О. Беца, П.С. Бабицького, Л.О. Корейши, П.С. Тарасенка, О.І. Арутюнова, А.П. Ромоданова, М.К. Бротмана, Т.М. Сергієнка, Б.С. Хомінського, О.Л. Духіна, Л.Є. Пелеха і О.О. Лапоногова. Академік В.І. Цимбалюк має досвід створення документальних фільмів. Він є сценаристом, режисером та продюсером 5 документальних стрічок, присвячених історії Інституту та його першим директорам — О.І. Арутюнову та А.П. Ромоданову, а також історії кафедри нейрохірургії.

Багаторічний досвід науковця, керівника фундаментальних та прикладних науково-дослідних тем, наукового керівника і консультанта дисертаційних робіт дає можливість академіку В.І. Цимбалюку успішно виконувати обов'язки голови секції «Медицина», члена президії Комітету з Державних премій України, члена Наукової ради Кабінету Міністрів України, члена Атестаційної колегії Міністерства освіти і науки України, академіка АН ви-

щої освіти України. Віталій Іванович є почесним громадянином міста Києва, почесним академіком Полтавської стоматологічної академії, почесним професором Львівського національного медичного університету імені Данила Галицького і Тернопільського національного медичного університету ім. І.Я. Горбачевського, почесним президентом Української асоціації нейрохірургів, членом Європейської та Всесвітньої асоціацій нейрохірургів, членом Європейської асоціації нейронаук, Української асоціації трансплантологів, головним редактором «Журналу Національної академії медичних наук України» і журналу «Клітинна та органна трансплантологія», членом редколегій ще кількох фахових періодичних видань. З 1993 по 2016 р. В.І. Цимбалюк був заступником головного редактора «Українського нейрохірургічного журналу» — провідного фахового періодичного видання в Україні в галузі нейронаук.

В.І. Цимбалюк є одним з фундаторів системи підготовки та атестації наукових кадрів в Україні, докладає значних зусиль до опрацювання принципів організації наукової діяльності у науково-дослідних установах. Упродовж 1993—2013 рр. він був заступником голови, а у 2013—2018 рр. — головою спеціалізованої вченої ради із захисту докторських і кандидатських дисертацій при ДУ «Інститут нейрохірургії НАМН України»; у 1996—2000 рр. — головою експертної ради Вищої атестаційної комісії України з клінічної медицини (хірургічні хвороби). Протягом 20 років (1993—2013) Віталій Іванович обіймав посаду заступника директора з наукової роботи Інституту нейрохірургії, був головою Наукової ради при Президії НАМН України з клінічної медицини (2013—2016), віцепрезидентом Української асоціації нейрохірургів (1993—2013) та Української протиепілептичної ліги (1993—2013), віцепрезидентом (2013—2016) та президентом (з 2016) НАМН України.

Загалом академік В.І. Цимбалюк є автором та співавтором понад 1260 наукових праць, у тому числі 87 книг (монографій, підручників і посібників), 140 авторських свідоцтв та патентів на корисну модель. Близько 120 його наукових праць опубліковано за кордоном, зокрема в журналах «Brain» і «Acta Neurochirurgica». Він неодноразово доповідав на всеукраїнських та міжнародних конференціях у країнах близького й далекого зарубіжжя.

Наукові досягнення, непересічні організаційські здібності та активна громадянська позиція Віталія Івановича відзначені численними державними нагородами, преміями, відзнаками: орденом князя Ярослава Мудрого V ст., орденом «За заслуги» (I і III ст.), Почесною грамотою Президії Верховної Ради України, Державними преміями України в галузі науки і техніки (1997, 2002), премією Кабінету Міністрів України, преміями ім. О.О. Богомольця і М.М. Амосова НАН України, премією АМН України, премією ім. А.П. Ромоданова НАМН України, відзнаками Міністерства охорони здоров'я України, Міністерства внутрішніх справ України, Служби безпеки України, Київської міської державної адміністрації, низки громадських, релігійних і наукових організацій, у тому числі закордонних — премією А. Везалія (Американська асоціація нейрохірургів), орденом на честь М.І. Пирогова (Європейська академія природничих наук), медаллю В.М. Бехтерева.

Характеризуючи лише окремі віхи життя В.І. Цимбалюка, можна без сумніву стверджувати, що які б виклики не постали перед ним як науковцем, президентом НАМН України, керівником клініки, завідувачем кафедри нейрохірургії, він подолає їх успішно!

Щиро вітаємо вельмишановного Віталія Івановича з ювілеєм і бажаємо міцного здоров'я, благополуччя, нових наукових звершень на благо медичної спільноти та всього українського народу!

Volodymyr V. Medvediev

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7236-3191>

Myroslava O. Maruschenko

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7999-0390>

Anna V. Rybachuk

Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5306-5412>

PER ASPERA AD CEREBRASTRA, OR THE CEREBRAL ASTRONAUTICS
OF VITALIY TSYMBALIUK

To the 75th anniversary of Academician of the NAS of Ukraine V.I. Tsybaliuk

January 26, 2022 marks the 75th anniversary of the famous Ukrainian neurosurgeon, scientist, teacher, health care organizer, public figure, two-time winner of the State Prize of Ukraine in Science and Technology (1996, 2002), Honored Worker of Science and Technology of Ukraine (1997), laureate of O.O. Bogomolets (2013) and M.M. Amosov (2019) nominal prizes of the NAS of Ukraine, President of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine (since 2016), Head of the Department of Neurosurgery of the O.O. Bogomolets National Medical University (since 1993), Head of the Department of Reconstructive and Functional Neurosurgery of the A.P. Romodanov Institute of Neurosurgery of the NAMS of Ukraine (since 2016), Doctor of Medical Sciences (1985), Professor (1989), Academician of the NAS of Ukraine (2021) and NAMS of Ukraine (2010) Vitaliy I. Tsybaliuk.



80-річчя члена-кореспондента НАН України О.Є. АНДРЕЙКІВА

Вчений у галузі механіки руйнування і міцності матеріалів, технічної діагностики матеріалів і конструкцій доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України **Олександр Євгенович Андрейків** народився 3 січня 1942 р. Після закінчення в 1964 р. Львівського державного університету ім. І. Франка навчався в аспірантурі Фізико-механічного інституту АН УРСР, в якому залишився працювати, пройшовши шлях від молодшого наукового співробітника до завідувача наукового відділу. Впродовж 1995–2001 рр. був директором Міжгалузевого наукового центру «Протон» НАН України, з 2002 р. — професор, а з 2021 р. — завідувач кафедри механіки Львівського національного університету імені Івана Франка.

О.Є. Андрейків створив оригінальні теоретичні концепції механіки деформованих твердих тіл з дефектами типу тріщин, що перебувають під дією силових і температурних навантажень. Розробив розрахункові моделі зародження і докритичного росту втомних тріщин, зношування матеріалів за контактної взаємодії, на основі яких опрацював методи оцінки і прогнозування довговічності елементів конструкцій. Він досліджував вплив водневмісних середовищ на міцність і довговічність металів, запропонував критерії та розрахункові моделі руйнування металів у водні, розробив методи для прогнозування довговічності деталей водневих двигунів та інших конструкцій, що працюють у контакті з воднем. О.Є. Андрейків виконав комплекс досліджень у галузі діагностики матеріалів і елементів конструкцій із застосуванням методів неруйнівного контролю, що ґрунтуються на явищі акустичної емісії. Він побудував акустико-емісійні моделі утворення і поширення тріщин у твердих тілах і на цій основі розробив методи діагностики локального руйнування матеріалів.

О.Є. Андрейків — автор понад 600 наукових праць, має 30 патентів на винаходи, підготував 10 докторів і 31 кандидата наук. Він заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки. Протягом багатьох років він був членом редколегій журналів «Фізико-хімічна механіка матеріалів», «Машинознавство», «Problems of Tribology», збірника «Вісник ЛНУ імені Івана Франка».



80-річчя члена-кореспондента НАН України В.В. ШЕВЧЕНКА

11 січня 2022 р. виповнюється 80 років відомому вченому в галузі полімерної хімії, професору, доктору хімічних наук, заслуженому діячу науки і техніки України, лауреату Державної премії України, члену-кореспонденту НАН України **Валерію Васильовичу Шевченку**. Після закінчення у 1963 р. Дніпропетровського хіміко-технологічного інституту він вступив до аспірантури Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України, з яким пов'язав усе своє професійне життя, пройшовши шлях від аспіранта до завідувача відділу.

В.В. Шевченко — один з провідних спеціалістів у галузі синтезу і фізико-хімії високомолекулярних сполук. Основним напрямом його робіт є розроблення способів синтезу нових мономерів, олігомерів і полімерів різної молекулярної архітектури, дослідження їх об'ємних і поверхневих властивостей, встановлення особливостей структуроутворення в цих сполуках і розроблення методів їх регулювання. В.В. Шевченко зробив значний внесок у розвиток хімії і фізико-хімії іон-, фтор-, кремній- і металвмісних олігомерів і полімерів, рідиннокристалічних, електро- і фотоактивних олігомерів і полімерів, у створення і дослідження супрамолекулярних гіперрозгалужених систем, здатних до відклику на дію різних зовнішніх факторів, протонопровідних органо-неорганічних полімерних мембран для паливних елементів, олігомерних комплексоутворювачів для очищення рідких радіоактивних відходів від урану і трансуранових елементів на Чорнобильській АЕС, полімерів бактерицидної дії, чутливих до тиску адгезивів з широким спектром властивостей тощо; має вагомні здобутки в розробленні і вивченні структури та властивостей нанокомпозитних полімерних систем різного хімічного складу і призначення. Він є співавтором нового підходу до створення високоефективних поверхнево-активних речовин — біанкерних поверхнево-активних сполук олігомерного типу. Останніми роками В.В. Шевченко зі співробітниками розвиває новий напрям полімерної хімії — синтез і фізико-хімію поліфункціональних олігомерних іонних рідин і полімерів різної молекулярної архітектури на їх основі, а також оригінальний підхід до створення твердих і гелевих полімерних поліелектролітів для літєвих джерел струму.



80-річчя члена-кореспондента НАН України О.І. КОЛОДЯЖНОГО

19 січня 2022 р. виповнюється 80 років відомому вченому, який зробив істотний внесок у розвиток синтетичної органічної і елементоорганічної хімії, доктору хімічних наук, професору члену-кореспонденту НАН України **Олегу Івановичу Колодязжному**. У 1965 р. О.І. Колодязний закінчив Дніпропетровський хіміко-технологічний інститут. З часу створення Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України (1987 р.) постійно працює в ньому. Обіймав посаду завідувача лабораторії, а з 1990 р. очолює відділ синтезу фізіологічно активних сполук фосфору.

О.І. Колодязний — знаний в Україні та поза її межами фахівець з дослідження закономірностей впливу будови органічних сполук на їх властивості. Основні напрями його наукових робіт — органічний синтез, хімія ілідів фосфору, асиметричний синтез, хімія біологічно активних сполук. О.І. Колодязний детально дослідив і значно розвинув хімію Р-гетерозаміщених ілідів фосфору, показав широкі синтетичні можливості цього класу органічних сполук. Він відкрив нові напрямки реакцій ілідів з карбонільними сполуками, які протікають зі збереженням зв'язку Р-С, що дозволило розробити препаративні способи отримання алілфосфонатів, вінілфосфонатів, Р-фосфорильованих кетенів та їх аналогів. О.І. Колодязний докладно вивчив хімію ілідів фосфору і створив новий її розділ — Р-функціоналізовані іліди. Результати цих досліджень узагальнено і систематизовано у його монографії «Phosphorus Ylides. Chemistry and Application in Organic Synthesis», опублікованій у видавництві John Wiley-VCH.

О.І. Колодязний — автор понад 500 наукових робіт, у тому числі 5 монографій (з яких 3 видано за кордоном), 35 оглядів у провідних міжнародних журналах, 30 патентів. Він має високий рейтинг цитування та індекс Хірша — $h = 22$ (Scopus), $h = 29$ (Google Scholar), є членом редколегій іноземних хімічних журналів («Symmetry», «Phosphorus, Sulfur, and Silicon and the Related Elements» та ін.). Серед його учнів 14 кандидатів наук.

О.І. Колодязний — лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки та премії ім. А.І. Кіпріанова НАН України.



70-річчя члена-кореспондента НАН України В.А. СІДОРОВА

Доктор біологічних наук, головний науковий співробітник, член-кореспондент НАН України та НААН України **Володимир Анатолійович Сідоров** народився 2 січня 1952 р. У 1973 р. закінчив біологічний факультет Київського державного університету ім. Т.Г. Шевченка. З 1972 до 1990 р. працював в Інституті ботаніки АН УРСР, а після створення у 1991 р. Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України став завідувачем відділу цього Інституту.

Основними напрямками досліджень В.А. Сідорова є біотехнологія рослин, клітинна селекція, мутагенез, трансгенез. Його наукові інтереси пов'язані з культурою клітин, зокрема протопластів, генетичною трансформацією, редагуванням геномів, регенерацією рослин, клітинною селекцією мутантів для поліпшення сільськогосподарських рослин. Значну увагу він приділяє генетиці рослин, вивченню чужинних генів *in vitro* та *in vivo*, їх успадкування й експресії в поколіннях, кодованих цитоплазмом ознак, ядерно-цитоплазмової взаємодії. В.А. Сідоров зробив вагомий внесок у становлення клітинної селекції рослин, отримання цінного селекційного матеріалу, дослідження проблем використання мутантів у генетиці соматичних клітин. Він створив технології генетичного конструювання таких культур, як кукурудза, соя, бавовник, картопля, пшениця, капуста, огірки, і на цій основі отримав картоплю, стійку проти низки вірусних хвороб, вивів форми рослин, стійких проти гербіцидів і комах. В.А. Сідоров показав можливість поліпшення сільськогосподарських культур за допомогою генетичної трансформації цитоплазми. Він розробив технологію трансформації пластид у картоплі, отримавши картоплю з генетично зміненими хлоропластами. Відкрив можливість «клітинного щеплення» рослин, що дозволяє переносити ядерний та хлоропластний геноми між рослинами. Розробив нові методи редагування геномів рослин, створивши нові форми кукурудзи та ріпаку.

В.А. Сідоров опублікував понад 130 наукових праць, має 7 патентів та більш як 10 авторських свідоцтв на винаходи. Під його керівництвом захищено 6 кандидатських дисертацій. Він лауреат Державних премій СРСР та України, премії ім. В.Я. Юр'єва НАН України.



70-річчя члена-кореспондента НАН України М.І. ЗВЕРЯКОВА

Відомий вчений-економіст, дослідник проблем економічної теорії доктор економічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент НАН України **Михайло Іванович Зверяков** народився 4 січня 1952 р. У 1975 р. закінчив Одеський інститут народного господарства (ОІНГ, нині — Одеський національний економічний університет). У 1980 р. захистив кандидатську дисертацію. З 1992 по 1995 р. навчався в докторантурі та займався науковою роботою за грантом Фонду А. Гумбольдта в Університеті м. Кельн (Німеччина, 1994—1996 рр.). В 1996 р. захистив докторську дисертацію. Протягом 1977—2000 рр. працював у ОІНГ, де пройшов шлях від асистента до професора. З 1997 по 2000 р. працював на керівних посадах у банківській сфері. У 2000—2020 рр. очолював Одеський національний економічний університет, з 2003 р. є завідувачем кафедри загальної економічної теорії та економічної політики.

Наукові інтереси М.І. Зверякова сконцентровані на розв'язанні теоретичних проблем та створенні методологічного інструментарію економічного зростання, удосконаленні інституціональних структур в економіці перехідного типу, розробленні методологічних засад подолання кризових явищ в умовах ринкової трансформації і забезпечення економічного впливу держави. Михайло Іванович активно досліджує економічні проблеми вищої школи, його найвагомішими результатами в цій галузі є узагальнення теоретичних та методичних положень дослідження інноваційних процесів у сфері вищої освіти; визначення основних форм та напрямів інноваційної діяльності; розкриття сутності і змісту розвитку кадрового та науково-технічного потенціалу вищої школи на сучасному етапі тощо. За результатами наукової діяльності він опублікував понад 200 наукових та науково-методичних праць, у тому числі підручники і навчальні посібники, які широко використовують у закладах вищої освіти для підготовки фахівців з економічних спеціальностей.

М.І. Зверякова нагороджено орденом князя Ярослава Мудрого III ступеня, Почесною грамотою Кабінету Міністрів України, іншими відзнаками центральних органів виконавчої влади та органів місцевого самоврядування.



70-річчя члена-кореспондента НАН України А.І. ВОВКА

7 січня 2022 р. виповнюється 70 років директору Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України доктору хімічних наук, професору, члену-кореспонденту НАН України **Андрію Івановичу Вовку**. У 1974 р. А.І. Вовк закінчив хімічний факультет Київського національного університету імені Тараса Шевченка. З часу створення Інституту біоорганічної хімії та нафтохімії ім. В.П. Кухаря НАН України (1987 р.) постійно працює в ньому. З 1999 р. очолює відділ механізмів біоорганічних реакцій, у 2000 р. став заступником директора з наукової роботи, з 2013 р. є директором Інституту.

А.І. Вовк — відомий вчений у галузі біоорганічної хімії. Його наукові інтереси пов'язані з механізмами реакцій, хімією фізіологічно активних природних і синтетичних речовин, пошуком і конструюванням нових потенційно біоактивних сполук та встановленням зв'язку між їх структурою і активністю. Основні роботи А.І. Вовка і створеної ним наукової школи присвячені вивченню механізмів біоорганічних перетворень вітаміну B_1 та його структурних аналогів, дослідженню біоактивності нових гетероциклічних і фосфороорганічних сполук, створенню інгібіторів терапевтично важливих ферментів. А.І. Вовк запропонував нові підходи до дизайну потенційно біоактивних сполук на основі природних і синтетичних скафолдів. Виконані пріоритетні дослідження відкривають нові можливості для інгібування деяких протеїнтирозинфосфатаз, оксидоредуктаз, трансфераз та інших ферментів.

А.І. Вовк — автор понад 280 наукових робіт, серед яких більш як 140 статей у фахових вітчизняних та зарубіжних виданнях, а також 16 патентів України та 5 розділів у монографіях, дві з яких підготовлено за його редакцією. Він є головним редактором журналу «Ukrainica Bioorganica Acta», членом редколегій інших наукових журналів. А.І. Вовк постійно працює з аспірантами, підготував 10 кандидатів та одного доктора наук. Упродовж тривалого часу він успішно організовує виконання багатьох науково-дослідних та науково-організаційних робіт.

Наукова спільнота, колеги і друзі щиро вітають Андрія Івановича з ювілеєм і бажають йому довгих років життя, щастя, міцного здоров'я та нових досягнень у науковій діяльності.