

АКАДЕМІК АНАТОЛІЙ БІЛОУС – ВИДАТНИЙ ФАХІВЕЦЬ З ХІМІЇ ТВЕРДОГО ТІЛА (до 75-річчя від Дня народження)

С. О. Солопан <https://orcid.org/0000-0001-8079-3626>

Л. Б. Коваль <https://orcid.org/0000-0002-3931-2672>

*Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України,
просп. Академіка Палладіна, 32/34, Київ 03142, Україна
e-mail: koval@ionc.kiev.ua*



до

75

-річчя
від Дня народження

Академік НАН України Білоус Анатолій Григорович, доктор хімічних наук, професор, відомий спеціаліст у галузі фізико-неорганічної хімії, хімії твердого тіла, фізики напівпровідників і діелектриків. Народився 8 травня 1951 року у селі Грушка Хмельницької області. Закінчив НТУУ «Київський політехнічний інститут», факультет радіоелектроніки (1974), аспірантуру при Фізико-хімічному інституті ім. Л. Я. Карпова (1977, Москва). Захистив кандидатську дисертацію «Влияние и исследование некоторых сегнето- и антисегнетоэлектрических окислов металлов и оценка перспективности их использования в СВЧ-технике» в Інституті сталі та сплавів у 1978 р. (м. Москва). І з того ж року і по сьогодні працює в Інституті загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України, є керівником Відділу хімії твердого тіла (з 1982). Докторську дисертацію «Синтез, строение и свойства гетерозамещенных оксидов на основе элементов III–V групп» захистив у 1991 році. Наукові напрямки стосуються вивчення умов утворення, структури, властивостей складних оксидних систем і розроблення на їхній основі високоефективних матеріалів. Разом із співробітниками відділу Білоус розробив методи керування властивостями оксидних систем подібних за хімічним складом – від діелектриків до катіонних провідників і напівпровідників, встановив закономірності формування макрочасток оксидних систем (алюмінати, ферити, цирконати, титанати) із заданою формою часток. Одержав нові функціональні матеріали: високопроникні та високоіндукційні ферити, нові діелектрики для надчутливої техніки, надпровідні матеріали, іонні провідники завдяки знаходженню кореляції між способами одержання, структурою та властивостями матеріалу.

А. Білоус займається також науково-педагогічною діяльністю. Підготував одного доктора хімічних наук і 20 кандидатів хімічних наук та докторів філософії зі спеціальності «Хімія». Наукові результати опубліковано у вигляді статей, виданих в Україні та за кордоном, які захищено авторськими свідоцтвами СРСР і патентами України. У 2018 році А. Білоус та С. Кобилянська опублікували монографію «Оксидные литий-проводящие твёрдые электролиты». А. Г. Білоусу присвоєно звання «Заслужений діяч науки і техніки України» (2004); він – лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки (2008) за роботу «Інтерметаліди, гідриди та оксиди як основа нових енергоощадних матеріалів», премії НАН України ім. І. Пулюя (2017). У 2019 році його нагороджено орденом князя Ярослава Мудрого V ступеня.

Ключові слова: неорганічна хімія, хімія твердого тіла, феромагнітні матеріали, діелектрики, катіонні провідники і напівпровідники, сегнетомагнетики, наноструктури, перовськіт, наукова школа.

Анатолій Григорович Білоус – хімік, професор, доктор хімічних наук, академік НАН України, заслужений діяч науки, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, премії НАН України імені І. Пулюя, завідувач Відділу хімії твердого тіла Інституту загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України, широко відомий науковій спільноті нашої країни і зарубіжжя вчений в галузі утворення, структури, властивостей складних оксидних систем і розроблення на їхній основі високоефективних матеріалів, засновник наукової школи «Хімія твердого тіла».

Анатолій Григорович Білоус народився 8 травня 1951 року в селі Грушка Кам'янець-Подільського району Хмельницької області. Вищу освіту отримав у 1974 році, закінчивши факультет радіоелектроніки Київського політехнічного інституту. Наступні роки (1974–1978) продовжував професійне навчання в аспірантурі Московського науково-дослідного фізико-хімічного інституту імені Л. Карпова. Надалі з 1978 року вся його професійна діяльність пов'язана з Інститутом загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України, де він успішно працює і дотепер. Наукову діяльність Анатолій почав (1978–1979) з посади молодшого, а потім старшого інженера, а з 1980-го – старшого наукового співробітника у Відділі твердофазного синтезу і кристалохімії неорганічних сполук, який було організовано в Інституті ще у 1970 році (очільником відділу тоді був доктор хімічних наук В. П. Чалий – один із перших співробітників Інституту, організатор рентгенівської лабораторії). Співробітниками відділу (З. Я. Макарова, Г. М. Новицька,

Л. Г. Гаврилова, О. В. Пашкова, К. П. Данильченко, О. М. Антишко, Б. С. Хоменко та інші) вже одержали низку важливих результатів щодо синтезу неорганічних сполук із метою подальшого створення функціональних матеріалів, вивчення фазових перетворень при обробленні гідроксидних систем, кінетики та механізму феритоутворення, синтезу феритів та інших неорганічних сполук шляхом термооброблення сумісно осаджених важкорозчинних сполук – гідроксидів металів, так званий *синтез із розчинів*. За результатами виконаних досліджень було розроблено технологічні схеми одержання із гідроксидів металів важливих промислових марок феритів зі структурою шпінелі, перовськіту, гранату та виробів із них, які мали значно кращі магнітні властивості порівняно з аналогічними матеріалами та виробами з них, отриманими методом спікання оксидів.

У 1978 році А. Г. Білоус захистив дисертацію на тему «Вплив та дослідження деяких сегнето- та антисегнетоелектричних оксидів металів та оцінка перспективності їхнього використання у НВЧ-техніці», отримав науковий ступінь кандидата технічних наук. Із 1982 року його обрано керівником Відділу електрофізичних матеріалів, згодом у 1986 році перейменованого у Відділ твердого тіла, який, власне, створено на базі вищеназваного відділу, в якому він розпочинав наукову діяльність.

А. Г. Білоус та його співробітники продовжували і значно розширювали тематику відділу. Основний напрямок досліджень – твердофазний синтез неорганічних матеріалів, вивчення структури і властивостей одержаних сполук, пошук кореляцій між ними з метою отримання функціональних

матеріалів для нової техніки – високопро-
никних і високоіндукційних феритів, но-
вих діелектриків для надчутливої техніки,
іонних провідників, напів- і надпровід-
никових матеріалів тощо. Для вирішення
поставлених завдань співробітники вико-
ристовували низку різних методів і ана-
лізів, у тому числі якісний та кількісний
хімічний аналіз, термічний аналіз, рент-
генівську дифракцію та електронографію,
вимірювання електропровідності та маг-
нітних властивостей одержаних сполук,
спектроскопічні методи, ЯМР, електронну
мікроскопію тощо.

У 80–90-х роках минулого століття у від-
ділі проведено дослідження закономірнос-
тей взаємозв'язку важливих характеристик
осадів (гідроксидів, карбонатів та інших)
за алгоритмом: умови осадження, або спів-
осадження з розчинів, склад, структура
та електрофізичні властивості. Одержано
низку важливих результатів, які знайш-
ли практичний вихід у створенні оксид-
них матеріалів різного призначення. Так,
було розроблено технологію виготовлення
феромагнітних матеріалів методом осад-
ження з розчинів, яка стала основою орга-
нізації в Інституті дослідного виробництва,
де надвисокочастотні (НВЧ) ферити різних
марок виготовляли та поставляли різним
організаціям, у тому числі на замовлення
Київського науково-виробничого об'єд-
нання «Маяк» (А. Г. Білоус, Є. Б. Новосадова,
О. В. Пашкова, Б. С. Хоменко) для виро-
щування монокристалів, з яких виробля-
ли магнітні головки записуючих прист-
роїв. На основі гксафериту барію було
створено магнітожорсткі матеріали для по-
стійних магнітів та порошки для магнітних
стрічок, кредитних карток, комп'ютерних

дискет тощо (А. Г. Білоус, О. В. Пашкова,
І. Р. Дідух, В. А. Єлшанський, Б. С. Хомен-
ко). Для виготовлення матеріалів нових га-
лузей електронної техніки (діелектричних
резонаторів супутникового телебачення,
діелектричних підкладок для гібридних
НВЧ-схем тощо) було розроблено техноло-
гію одержання складних оксидних систем
методом послідовного осадження (А. Г. Бі-
лоус, О. З. Янчевський, О. А. Литовченко,
О. В. Овчар та інші).

У 1991 році на підставі одержаних чис-
ленних важливих результатів А. Г. Білоус
захистив дисертаційну роботу «Синтез,
будова та властивості гетерозаміщених
оксидів на основі елементів III–V груп»,
йому присвоєно звання доктора хімічних
наук, а у 1997 році – наукове звання про-
фесора. Проведено експериментальні та
прикладні напрацювання, тривало розро-
блення нових та удосконалення діючих на-
прямків досліджень, створення і вивчення
оксидних сполук та матеріалів. Аналіз та
зроблені узагальнення отриманих резуль-
татів і висновків свідчать, що Анатолій
Григорович Білоус остаточно виріс і сфор-
мувався як високопрофесійний вчений,
надзвичайно ерудований хімік-фахівець з
фізико-неорганічної хімії, особливо хімії
твердого тіла, знавець усіх тонкощів утво-
рення, структури, властивостей складних
оксидних систем і розроблення на їхній ос-
нові вискоєфективних матеріалів для но-
вітньої техніки.

На межі тисячоліть А. Г. Білоус разом із
колективом співробітників відділу розпо-
чали нові напрями досліджень, зокрема,
високочастотні діелектрики та розроблен-
ня на їхній основі діелектричних резона-
торів і підкладок для гібридних схем НВЧ;

сегнетоелектрики-напівпровідники з позитивним температурним коефіцієнтом опору та розроблення на їхній основі нагрівальних елементів для дизельних двигунів, що дозволило їхній запуск за більш низької температури; іонні (Li, Na, Rb, Cs, O) тверді електроліти для паливних комірок і твердотільних акумуляторів. Пізніше було розпочато важливі з наукової і практичної точок зору дослідження сегнетомагнітних матеріалів та вивчення багат шарових структур, що пов'язано з тим, що такі сполуки та матеріали можуть проявляти водночас як сегнетоелектричні, так і магнітні властивості. У цей період у відділі було захищено декілька кандидатських дисертацій (О. В. Пашкова, С. В. Полянецька; у тому числі були учні Анатолія Григоровича – І. Р. Дідух, О. З. Янчевський, О. І. В'юнов; на почат-

ку нового тисячоліття – Л. Л. Коваленко, Т. В. Колодяжний, О. В. Овчар, О. М. Гавриленко, Д. О. Дурилін, К. В. Кравчик, С. О. Солопан). Під його керівництвом розроблено та впроваджено в народне господарство нові складні оксидні матеріали та елементи на їхній основі різноманітного функціонального призначення: надвисокочастотні керамічні резонатори і діелектричні підкладки для гібридних інтегральних схем, які використовують в апаратурі систем зв'язку; низьковольтні термостабілізовані керамічні нагрівні елементи для двигунів внутрішнього згорання і дизельних двигунів; висококоерцетивні дрібнодисперсні порошки із заданою формою часточок для систем магнітного запису. Досягнення вченого у цій галузі широко знані у нашій країні і за кордоном.



Колектив співробітників Відділу хімії твердого тіла (2021 р.)

На сьогодні в галузі хімії твердого тіла відділ є одним із провідних наукових колективів в Україні і не тільки. Достатньо сказати, що колектив відділу, яким впевнено і креативно керує А. Г. Білоус, виграв і успішно виконав понад 20 міжнародних проектів з іноземним фінансуванням (у тому числі 13 проектів УНТЦ, декілька проектів НАТО, гранти та проекти на науково-технічне співробітництво Державного фонду фундаментальних досліджень тощо. Крім цього, відділ брав участь і виконав багато національних проектів ДНТП та договорів за різними цільовими програмами наукових досліджень.

Розвиток сучасних систем зв'язку потребує розроблення нових НВЧ-діелектриків. У відділі вперше синтезовано літійпровідні матеріали зі структурою перовськіту; розроблено композиційні високодобротні НВЧ-діелектрики і вироби на їхній основі (діелектричні резонатори і підкладки для гібридних схем НВЧ) для систем сучасного бездротового зв'язку; розроблено матеріали і термостабільні нагрівні елементи для запуску дизельних двигунів за низької температури; синтезовано, у тому числі золь-гель-методом синтезу, багатошарові системи, в яких магнітні властивості змінюються під дією електричного поля.

Значну частину одержаних відділом експериментальних результатів систематизовано у двох книжкових виданнях, а саме: монографії А. Г. Білоуса «Високодобротні надвисокочастотні діелектрики» (А. Г. Белоус «*Высокодобротные сверхвысокочастотные диэлектрики*», 2016, вид-во «Наукова думка»), в якій представлено історію розвитку НВЧ-діелектриків, викладено методи досліджень електрофізичних

властивостей цих сполук у НВЧ-діапазоні, методи синтезу різних класів високодобротних НВЧ-діелектриків на основі складних оксидних систем різної структури (перовськіту, колумбіту, калієво-вольфрамових бронз); друга книга – авторів А. Г. Білоуса та його учениці С. Д. Кобилянської «Оксидні літійпровідні тверді електроліти» (А. Г. Белоус, С. Д. Кобилянская «*Оксидные литийпроводящие твердые электролиты*», 2018, вид-во «Наукова думка»), в якій систематизовано літературні дані і власні результати авторів стосовно розроблення твердотільних оксидних літійпровідних матеріалів із високою провідністю з можливим застосуванням у твердотільних акумуляторах. Наведено результати досліджень кристалічних літійпровідних матеріалів на основі оксидних систем зі структурами перовськіту, гранату, NASICON та LiPON, які мають високу провідність, їхні методи синтезу та розроблення електрохімічних пристроїв на їхній основі.

У 2021 році в ювілейному науково-популярному виданні «Інститут загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України на межі тисячоліть (1931–2021)», яке присвячено 90-річчю заснування Інституту, є розділ «Здобутки в галузі хімії твердого тіла», де А. Г. Білоус поряд із коротким історичним нарисом цього напрямку дає характеристику сучасним дослідженням відділу, який він очолює, та своє бачення щодо важливості отриманих матеріалів саме для розвитку новітньої техніки і не тільки. Варто нагадати читачам дещо з цієї статті.

Надвисокочастотні діелектрики. Розроблення сучасних систем телекомунікації вимагає створення нових матеріалів

із високим рівнем електрофізичних параметрів у НВЧ-діапазоні. Це спеціальний клас НВЧ-діелектриків. Як зазначає академік Білоус, використання таких матеріалів повинно забезпечити високу якість експлуатаційних характеристик елементів систем зв'язку та їхню мікромініатюризацію. На основі НВЧ-діелектриків розробляють діелектричні резонатори, діелектричні підкладки, які є елементною базою для створення систем бездротового зв'язку. У відділі вперше розроблено багатофазні НВЧ-діелектрики з низькими діелектричними втратами і високою термостабільністю властивостей, НВЧ-діелектрики на основі антисегнетоелектриків/параелектриків зі структурами колумбіту, перовськіту та калієво-вольфрамової бронзи, що стали основою для створення вітчизняної елементної бази твердотільних генераторів, сучасних систем зв'язку та навігації. Діелектричні резонатори застосовують також при створенні антен нового покоління. Перевагою таких антен є: малі розміри, простота, відносно велика смуга випромінювання, проста схема зв'язку до всіх, зазвичай вживаних, ліній передач. На думку автора, особливий науковий і практичний інтерес мають дослідження, спрямовані на розроблення термостабільних діелектриків для резонаторів міліметрового діапазону, що вимагає істотного підвищення однорідності (хімічної та структурної) діелектриків. Важливою науковою проблемою також є створення резонансних елементів, резонансну частоту яких можна змінювати зовнішнім електричним чи магнітним полем. Розроблені діелектричні резонатори (коаксіальні, відкриті), діелектричні підкладки для гібридних інтегральних схем НВЧ

використовують на різних підприємствах України при розробленні сучасних систем зв'язку і радіолокації, зокрема: «Оріон», м. Київ; «Фазотрон-Україна», м. Київ; «Топаз», м. Донецьк; «Оризон-Навігація», м. Сміла тощо.

Літійпровідні електроліти для електродімічних пристроїв. Твердотільні літєві джерела струму відкривають привабливі перспективи вирішення проблеми забезпечення електроенергією пристроїв невеликої потужності. Для їхнього створення необхідні матеріали з високою іонною провідністю у твердому стані за відносно невисоких температур. Групою учнів Білоуса кандидатів хімічних наук О. І. В'юнова, О. М. Гавриленко, С. Д. Кобилянської та Л. Л. Коваленка вперше синтезовано нові літійпровідні матеріали на основі складних оксидів ніобію і танталу зі структурою дефектного перовськіту та зі структурою NASICON. Синтезовані літійпровідні фази характеризуються високою провідністю по іонах літію за кімнатної температури. Наявність значної кількості вакансій та структурних каналів у ніобатах і танталатах лантану зі структурою дефектного перовськіту створює широкі можливості для модифікації вказаних структур із метою реалізації в них швидкого іонного транспорту та отримання на їхній основі Li^+ -провідних твердих електролітів. Автори отримали керамічні та плівкові зразки високої щільності, які характеризуються високою провідністю по іонах літію за кімнатної температури (10^{-3} – 10^{-5} См/см), і показано також можливість створення на їхній основі твердотільних літєвих акумуляторів (літій-іонних і літій-повітряних). Створені джерела порівняно з відомими мають покращені технічні

характеристики за рахунок широкого інтервалу робочих температур, високої безпеки експлуатації, можливості конструювання батарей практично будь-якої форми і розміру при забезпеченні високої питомої густини енергії та невисокої собівартості виготовлення. На основі розроблених матеріалів разом із колегами з Франції створено унікальні рН-сенсори для потреб харчової промисловості (О. З. Янчевський, О. І. В'юнов, О. М. Гавриленко).

Сегнетоелектрики-напівпровідники на основі метатитанату барію. Характерною особливістю сегнетоелектриків-напівпровідників, як відмічає А. Г. Білоус, є різке збільшення електричного опору (на три-чотири порядки) у вузькому температурному інтервалі (10–100)°С. За короткий проміжок часу такий напівпровідник під дією електричного струму нагрівається до заданої температури, при цьому опір його збільшується на декілька порядків величини, і він наче «відключає» себе від джерела живлення. Споживання електричної енергії зменшується до мінімуму, необхідного для підтримування заданої температури, яку елемент підтримує, не перегріваючись. Ця властивість таких матеріалів залежить від хімічного складу, якості вихідних компонентів, режимів синтезу. Науковцями відділу встановлено особливості утворення напівпровідникових фаз в сегнетоелектричному титанаті барію ($Ba_{1-x}Ln_x$)TiO₃ при гетеровалентному заміщенні іонів барію іонами рідкісноземельних елементів: Sc, Y, La, Nd, Sm, Dy, Lu. Такі заміщення призводять до утворення структури перовськіту в широкому інтервалі концентрацій, в межах якого існують тетрагональна, кубічна фази та їхня суміш. Вперше отримано

напівпровідниковий метатитанат барію з частковим заміщенням титану молібденом. Встановлено фазовий склад границь зерен кераміки, який відповідає за виникнення позисторних властивостей. На прикладі титанату барію ($Ba_{1-x}Y_x$)TiO₃ встановлено низку кореляцій між радіусом заміщувального іона і розміром зерна позисторної кераміки, можливість управління мікροструктурою і величиною варисторного ефекту позисторних матеріалів шляхом ізовалентного заміщення в підґратках барію і титану, зміну інших властивостей шляхом введення різних домішок Al₂O₃, SiO₂, TiO₂, GeO₂ і Si₃N₄ а також безкисневих сполук TiB₂, TiC, TiN, BN (на розширення чи зниження температури спікання) позисторних матеріалів, що в результаті дозволило синтезувати матеріали з необхідними характеристиками. Синтезовані матеріали нагрівальних керамічних елементів було використано для фільтрів тонкого очищення палива дизельних двигунів (А. Г. Білоус, Л. Л. Коваленко, О. І. В'юнов). Розроблено також елементи на основі сегнетоелектриків-напівпровідників для використання в низьковольтних нагрівальних пристроях, які саморегулюються. Розроблені нагрівачі пройшли апробацію на окремих вітчизняних підприємствах.

Нанорозмірні матеріали. Завдяки широкому спектру цінних та унікальних властивостей нанорозмірні матеріали мають великі перспективи використання у різних сферах науки та техніки, включаючи медицину. Зокрема, магнітні наночастинки та наноструктури на їхній основі вже використовують у магнітно-резонансній томографії (МРТ), за адресної доставки ліків. Науковий інтерес до наночастинок магніт-

них матеріалів зумовлений, за словами академіка, можливістю їхнього використання в ролі індукторів магнітної гіпертермії. Під дією змінного магнітного поля такі наночастинки нагріваються до температури 43–45 °С, за якої гинуть онкологічні клітини. Для успішного використання вони повинні відповідати наступним вимогам, а саме: мати малі розміри, слабку агломерацію, суперпарамагнітні властивості, біологічну сумісність із живими організмами та здатність ефективно нагріватися при дії змінного магнітного поля до заданих температур.

У Відділі хімії твердого тіла під керівництвом А. Г. Білоуса група науковців (С. О. Солопан, Ю. Ю. Шлапа, О. П. Федорчук) із метою створення таких матеріалів дослідила два типи магнітних сполук, з яких може бути створено індуктори магнітної гіпертермії. Перший – це синтезовані кріохімічним методом магнітні наночастинки на основі Fe_3O_4 зі структурою шпінелі, а другий – наночастинки на основі манганіту лантану-стронцію (La,Sr) MnO_3 (LSMO) зі структурою перовськіту, що здатні нагріватися при дії змінного магнітного поля. Авторська група встановила, що наночастинки Fe_3O_4 характеризуються найвищою ефективністю нагріву в змінному магнітному полі (34 Вт/г). Розроблені на основі Fe_3O_4 магнітні рідини випробувано в експериментах *in vitro* та *in vivo* медиками з Інституту експериментальної патології, онкології та радіобіології ім. Р. Е. Кавецького НАН України. Показано, що використання магнітної рідини на основі наночастинок Fe_3O_4 в поєднанні із дією змінного магнітного поля дає позитивний ефект: оброблена пухлина не тільки зупиняла свій ріст, а

навіть зменшувалася до повного руйнування, однак змішаний оксид феруму має високе значення температури Кюрі (~ 585 °С), що може призводити до неконтрольованого нагріву та перегріву здорових тканин. На відміну від нього температура Кюрі манганітів лантану-стронцію залежить від хімічного складу, що дає можливість змінювати та контролювати її в діапазоні температур, необхідних для гіпертермії. Встановлено, що кращі характеристики демонструють наночастинки LSMO, які синтезовані золь-гель-методом. Такі наночастинки характеризуються високою ефективністю нагріву в змінному магнітному полі та здатні підтримувати постійну температуру нагріву, що надзвичайно важливо при саморегульованій магнітній гіпертермії. Виконані дослідження показали, що за часткових заміщень у підґратках лантану іонами неодиму та самарію або мангану іонами феруму можна плавно та з високою точністю керувати температурою нагріву у вузькому діапазоні. Це відкриває привабливі перспективи при використанні їх у ролі індукторів магнітної наногіпертермії. Дослідження магнітних властивостей синтезованих наночастинок виконували в кооперації з колегами з Інституту магнетизму НАН та МОН України. Комплекс цитологічних досліджень *in vitro* та *in vivo*, проведених колегами з Інституту мікробіології та вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України, також підтвердив низьку токсичність магнітних рідин на основі наночастинок LSMO і що вони при внутрішньопухлинному введенні не спричиняють порушення гістологічної структури та функцій основних органів. Дослідження *in vivo* з колегами з Інституту експериментальної патології онкології

та радіобіології ім. Р. Е. Кавецького також свідчать на користь того, що використання магнітних наночасток манганіту LSMO в поєднанні з дією змінного магнітного поля дозволяє зменшити та з часом повністю зупинити ріст онкологічних пухлин, а в низці випадків повністю припинити ріст пухлин (С. О. Солопан).

Ще один досить новий для відділу об'єкт дослідження – наночастинки CeO_2 ; синтез з обернених мікроемulsій та вивчення їхньої біологічної активності. Наночастинки CeO_2 привертають увагу вчених через можливість проявляти значні антиоксидантні властивості при лікуванні низки захворювань, наприклад, хвороби Альцгеймера або для боротьби з наслідками оксидативного стресу. Спільно з колегами з Інституту експериментальної фізики САН (м. Кошице, Словаччина) в експериментах *in vitro* на прикладі амілоїдних фібрил інсуліну показано, що синтезовані у відділі наночастинки діоксиду церію мають антиамілоїдну активність, тобто вони здатні як руйнувати вже сформовані амілоїдні фібрили, так і сповільнювати утворення нових фібрил. Паралельно колеги-онкологи з Інституту експериментальної патології онкології та радіобіології ім. Р. Е. Кавецького НАН України в експериментах *in vitro* показали, що синтезовані наночастинки церій діоксиду характеризуються каталазо-подібною активністю (що є одним зі способів оцінки антиоксидантної активності), а також біологічною сумісністю з живими клітинами (А. Г. Білоус, С. О. Солопан, Ю. Ю. Шлапа).

У планах сьогодні й на майбутнє академік А. Г. Білоус націлений на подальший розвиток і створення нових функціональних матеріалів для надвисокочастотної

техніки, матеріалів на основі неорганічних і орґано-неорганічних систем із каналною структурою для одержання, акумуляції та зберігання енергії; високочастотних діелектричних (немагнітних) і магнітних матеріалів і розроблення на їхній основі елементів для систем сучасного зв'язку, машинобудування та інших галузей виробництва, синтез і дослідження властивостей різноманітних наночасток оксидних систем для використання в медицині.

Науково-орґанізаційна діяльність. Анатолій Григорович має цілу низку науково-орґанізаційних і громадських зобов'язань і приділяє їм багато уваги і часу. Впродовж десяти років він був членом бюро та заступником академіка-секретаря Відділення хімії НАН України; членом Комітету з державних премій України в галузі науки і техніки; входить до складу спеціалізованих вчених рад ІЗНХ НАН України та НТУУ «КПІ» із присудження вченого ступеня доктора наук; член вченої ради Інституту. Багато років тому А. Г. Білоуса було введено до складу редакційної колегії «Українського хімічного журналу», і відтоді він є постійним активним його автором. З травня 2017 чотири роки Анатолій Білоус був членом Наукового комітету Національної ради України з питань розвитку науки і технологій при Кабінеті Міністрів України. Неодноразово був у складі наукових оргкомітетів міжнародних конференцій та з'їздів. Вже понад 20 років Білоус у складі бюро Наукової ради Відділення хімії НАН України з проблеми «Неорганічна хімія» є ініціативним, ретельним і активним її членом, а з 2024 року – його обрано головою цієї ради. У кожному науковому заході, які організовує рада (українські конференції

чи виїзні сесії, круглі столи чи семінари), Анатолій Григорович завжди бере активну участь у роботі заходу – виголошує яскраві змістовні доповіді щодо сучасних досліджень співробітників очолюваного ним колективу, ділиться з колегами власними думками відносно різних наукових фундаментальних питань хімії, інтерпретації результатів експерименту чи розв'язання прикладних задач. Так, академік А. Г. Білоус разом із академіком Р. Є. Гладишевським (нині ректор Львівського національного університету імені Івана Франка) та професором, доктором хімічних наук І. Є. Барчієм (УжНУ) були на чолі оргкомітету та зуміли попри усі труднощі воєнного стану в Україні провести 3–6 червня 2024 року «XXI Міжнародну конференцію з неорганічної хімії України» (XXI ICICU), яка відбулася в м. Ужгород на базі ДВНЗ «Ужгородський національний університет». У пленарній доповіді А. Г. Білоуса йшлося про нові дослідження і пошук шляхів синтезу слабкоагломерованих феромагнітних наночасток із різними структурами (шпінелі, перовськіту і гексафериту барію), які можуть знайти і знаходять використання при розробленні систем магнітного запису, у НВЧ-системах, для використання в медицині (МРТ, гіпертермія, доставка ліків) тощо. У результаті цієї роботи розроблено оптимізовані методи синтезу і на основі синтезованих магнітних наночастинок створено магнітокеровані пристрої, зокрема нелінійні резонансні мікрохвильові елементи. Одержані результати є також перспективними і для створення резонансних НВЧ-структур різного призначення.

Свою науково-організаційну діяльність Анатолій Григорович Білоус на сьогодні

спрямував на проведення спільних досліджень та співпрацю з низкою наукових закладів, у тому числі з кафедрою неорганічної хімії Львівського національного університету імені І. Франка стосовно кристалохімії неорганічних сполук, з Інститутом проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Інститутом експериментальної патології онкології та радіобіології ім. Р. Е. Кавецького НАН України та іншими, у тому числі й зарубіжними науковими закладами. Свідченням міжнародного авторитету вченого є постійні контакти із зарубіжними колегами. Його неодноразово запрошували до наукових центрів Словенії, Італії, де він читав лекції.

Щороку у березні Національна академія наук України проводить наукові читання на вшанування пам'яті свого першого президента – науковця-природодослідника, історика, філософа й організатора науки академіка Володимира Івановича Вернадського (1863–1945). На читаннях 2025 року А. Г. Білоус виголосив наукову доповідь «*Розроблення плівкових композиційних літій- та натрій-провідних електролітів і електродних матеріалів для твердотільних акумуляторів*», у якій повідомив, що Інститут загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України (а саме Відділ хімії твердого тіла) й Інститут сорбції та проблем ендоекології НАН України почали виконувати проєкт і проводити спільні дослідження зі згаданої тематики. Він коротко описав перші одержані результати і окреслив напрями подальшої роботи, маючи на меті створення твердотільних акумуляторів для електромобілів і не тільки.

Наукова школа «Хімія твердого тіла». Наукова школа – це насамперед **лідер**, генератор ідей та засновник нових актуальних напрямків досліджень, справжній керівник кола співробітників і однодумців, наставник та вихователь наукової молоді – учнів, аспірантів, здобувачів. Саме таким лідером і засновником школи, безперечно, можна вважати Анатолія Григоровича Білоуса. Він має значний науковий та науково-технічний досвід у розробленні високоякісних НВЧ-діелектричних матеріалів, а також радіодеталей на їхній основі, нових катіонних провідників; у синтезі та дослідженні сегнетоелектриків-напівпровідників (ПТКО-термістори); у дослідженні електрофізичних властивостей сполук і матеріалів у широкому частотному та температурному діапазоні; у синтезі нанорозмірних плівок і порошків складних оксидних систем.

Сам Анатолій Григорович, його учні та співробітники відділу неодноразово брали участь в Українських (республіканських та з міжнародною участю) і міжнародних конференціях різного рівня з пленарними, усними та запрошеними доповідями. Наукові праці співробітників відділу широко цитують у фахових та міжнародних наукометричних базах даних.

А. Г. Білоус є автором та співавтором трьох книжкових видань, кількох оглядів, розміщених у книжкових виданнях, понад 360 статей, які цитують у наукометричних базах даних Scopus, Web of Science, і понад 80 патентів. Його педагогічна діяльність не обмежується тільки керівництвом науковими роботами аспірантів та здобувачів. Він читає курс лекцій з хімії радіоматеріалів, «Хімія матеріалів» і «Фізична хімія поверхні напівпровідників» для студентів НТУУ

імені І. Сікорського «Київський політехнічний інститут». Виступає, як вже було зазначено вище, з доповідями на конференціях, наукових сесіях та інших наукових платформах. Своїми особистими якостями – креативним мисленням і працездатністю, вимогливістю до себе і колег та чуйним ставленням до людей – він подає приклад і задає тон дисциплінованості, відповідальності та взаємодопомоги усьому колективу відділу. За роки керівництва відділом А. Г. Білоус підготував близько двадцяти кандидатів хімічних наук і докторів філософії (хімія), частина з яких й сьогодні успішно працює в Інституті (О. І. В'юнов, Л. Л. Коваленко, О. З. Янчевський, Т. О. Плутенко, С. О. Солопан, Ю. Ю. Шлапа, доктори філософії І. В. Лісовський, П. В. Торчинюк, О. П. Федорчук). Молоді науковці та аспіранти відділу – учні Білоуса, неодноразово одержували престижні нагороди НАН України (почесні грамоти, гранти), стипендії Президента України для молодих вчених, стипендії та премії Верховної ради України найталановитішим молодим ученим у галузі фундаментальних і прикладних досліджень та науково-технічних розробок. У 2021 році учень А. Г. Білоуса Сергій Солопан захистив дисертацію «Синтез, структура та властивості нанорозмірних магнітних систем на основі оксидних сполук зі структурами шпінелі та перовськіту» і отримав науковий ступінь доктора хімічних наук. Не буде зайвим додати, що у 2024 році колектив співробітників Інституту висловив Сергію Олександровичу Солопану довіру і майже одноставно обрав його директором Інституту загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України.

Анатолій Григорович Білоус за багатолітню творчу працю та вагомі здобутки у галузі неорганічної хімії твердого тіла отримав наступні наукові звання, нагороди і відзнаки:

– вчене звання члена-кореспондента НАН України (2000 р.);

– почесне звання заслуженого діяча науки і техніки України (2004 р.);

– став лауреатом Державної премії України в галузі науки і техніки за роботу «Інтерметаліди, гідриди та оксиди як основа нових енергоощадних матеріалів» (2008 р.);

– у 2009 році Відділення хімії НАН України обрало його дійсним членом Національної академії наук – академіком;

– у 2017 році Відділення фізики і астрономії НАН України присудило А. Г. Білоусу наукову премію НАН України за видатні роботи у галузі прикладної фізики, а саме премію, названу на честь українського фізика, винахідника, публіциста та громадського діяча Івана Павловича Пулюя, за розроблення нових оксидних наноматеріалів для елементів інформаційних систем, магнітних охолоджувачів та самоконтрольованих магнітних нагрівачів.

У 2019 році за заслуги у розвитку хімічної науки, підготовці наукових кадрів та активну участь у громадському житті Анатолія Григоровича Білоуса нагороджено орденом князя Ярослава Мудрого V ступеня.

Колектив співробітників Інституту загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України, члени Наукової ради ВХ НАН України з проблеми «Неорганічна хімія», редколегія «Українського хімічного журналу» передають ширі вітання Анатолію Григоровичу з нагоди 75-річчя з дня народження!

Бажаємо Вам, вельмишановний Анатолію Григоровичу, міцного здоров'я й родинного благополуччя, подальшого зміцнення Вашої наукової школи «Хімія твердого тіла», нових творчих здобутків та звершень заради науки і нашої країни! Хай ніколи не покидає Вас притаманний Вам оптимізм! Хай Вам щастить!

**ACADEMICIAN ANATOLY BILOUS -
AN OUTSTANDING SPECIALIST
IN SOLID STATE CHEMISTRY
(to his 75th birthday).**

S.O. Solopan

<https://orcid.org/0000-0001-8079-3626>

L.B. Koval

<https://orcid.org/0000-0002-3931-2672>

*¹V.I. Vernadskyi Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine,
32/34 Ave. Acad. Palladina, 03142 Kyiv,
Ukraine
e-mail: koval@ionc.kiev.ua*

Academician of the National Academy of Sciences of Ukraine Anatoly Grigorovich Bilous, Doctor of Chemical Sciences, Professor, a well-known specialist in the field of physical and inorganic chemistry, solid state chemistry, physics of semiconductors and dielectrics.

Anatoly Bilous was born on May 8, 1951 in the village of Grushka, Khmelnytskyi region. Graduated from NTUU «Kyiv Polytechnic Institute», Faculty of Radio Electronics (1974), postgraduate studies at the L. Ya. Karpov Physicochemical Institute (1977, Moscow). Defended

his candidate's thesis, «Influence and study of some ferroelectric and antiferroelectric metal oxides and assessment of their prospects for use in microwave technology,» at the Institute of Steel and Alloys in 1978 (Moscow). And since the same year to the present time, he has been working at the V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry NAS of Ukraine, and has been the head of the Department of Solid State Chemistry (since 1983). He defended his doctoral dissertation, «Synthesis, structure and properties of heterosubstituted oxides based on elements of groups III-V» in 1991. Scientific directions concern the study of the formation conditions, structure, and properties of complex oxide systems and the development of highly effective materials based on them. Together with the employees of the department, Bilous developed methods for controlling the properties of oxide systems similar in chemical composition - from dielectrics to cationic conductors and semiconductors, and established the regularities of the formation of macroparticles of oxide systems (aluminates, ferrites, zirconates, titanates) with a given particle shape. He obtained new functional materials: high-permeability and high-induction ferrites, new dielectrics for ultrasensitive equipment, superconducting materials, and

ionic conductors by finding a correlation between the methods of production, structure, and properties of the material. A. Bilous is also engaged in scientific and pedagogical activities. He has prepared one Doctor of Chemical Sciences and about two dozen Candidates of Chemical Sciences and Doctors of Philosophy in the specialty «Chemistry». Scientific results have been published in the form of articles published in Ukraine and abroad, protected by copyright certificates of the USSR and patents of Ukraine. In 2018, A. Bilous and S. Kobylanska published the monograph «Oxide Lithium-Conducting Solid Electrolytes». A.G. Bilous was awarded the title of Honored Worker of Science and Technology of Ukraine (2004); he is a laureate of the State Prize of Ukraine in the field of science and technology (2008) for the work «Intermetallics, hydrides and oxides as the basis of new energy-saving materials», the I. Pulyuy Prize of the National Academy of Sciences of Ukraine (2017). In 2019, he was awarded the Order of Prince Yaroslav the Wise, V degree.

Keywords: inorganic chemistry, solid-state chemistry, ferromagnetic materials, dielectrics, cationic conductors and semiconductors, ferromagnets, nanostructures, perovskite, scientific school.

Стаття надійшла: 01.04.2026.

Статтю прийнято до друку: 16.04.2026.

Статтю опубліковано: 25.05.2026.