

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЗАГАЛЬНОЇ ТА НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ імені В. І. ВЕРНАДСЬКОГО
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

УКРАЇНСЬКИЙ ХІМІЧНИЙ ЖУРНАЛ

№ 9

Том 91 / Vol. 91

2025

<https://ucj.org.ua>

UKRAINIAN
CHEMISTRY
JOURNAL

Зміст

ХРОНІКА

Л. Б. Коваль, І. М. Скриптун, М. Ф. Захарченко

100 РОКІВ «УКРАЇНСЬКОМУ ХІМІЧНОМУ ЖУРНАЛУ».

ІСТОРІЯ І СУЧАСНІСТЬ3

Л. Б. Коваль, М. Ф. Захарченко, Н. М. Антрапцева

АКАДЕМІК АНАТОЛІЙ БАБКО – ВИДАТНИЙ ХІМІК УКРАЇНИ

(до 120-річчя від дня народження).....29

О. К. Трунова, Л. Б. Коваль, Н. М. Антрапцева

ЖИТТЄВИЙ І ТВОРЧИЙ ШЛЯХ Н. А. КОСТРОМІНОЇ

(до 100-річчя від дня народження).....39

НЕОРГАНІЧНА ХІМІЯ

О. К. Трунова

ПЕРСПЕКТИВИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ АМІНОКАРБОКСИФОС

ФОНАТІВ ТА ЇХНІХ МАТАЛОКОМПЛЕКСІВ (огляд)49

Contents

CHRONICLE

L. B. Koval, I. M. Skryptun, M. F. Zakharchenko

100 YEARS OF THE UKRAINIAN CHEMICAL JOURNAL.

HISTORY AND PRESENT..3

L.B. Koval, M.F. Zakharchenko, N.M. Antraptseva

ACADEMICIAN ANATOLY BABKO – AN OUTSTANDING CHEMIST OF UKRAINE

(to the 120th anniversary of his birth).29

O.K. Trunova, L.B. Koval, N.M. Antraptseva

LIFE AND CREATIVE PATH OF N.A. KOSTROMINA

(to the 100th anniversary of her birth).39

INORGANIC CHEMISTRY

O.K. Trunova

PROSPECTS FOR THE PRACTICAL APPLICATION OF AMINOCARBOXY-

PHOSPHONATES AND THEIR METAL COMPLEXES (review).49

100 РОКІВ «УКРАЇНСЬКОМУ ХІМІЧНОМУ ЖУРНАЛУ». ІСТОРІЯ І СУЧАСНІСТЬ.

Л. Б. Коваль, І. М. Скриптун, М. Ф. Захарченко

Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України,
просп. Акад. Палладіна, 32/34, м. Київ 03142, Україна
e-mail: lbkoval69@gmail.com



У 2025 році «Український хімічний журнал» святкує знакову подію – 100-річчя від дня свого заснування. У цій статті висвітлено історію журналу за період із XX та перших років XXI століття, зазначено імена відповідальних редакторів, склад редакційних колегій у різні роки та імена окремих авторів, видатних хіміків України. Така урочиста подія – столітній ювілей журналу – дає можливість озирнутися назад, відновити в пам'яті видатних вчених-хіміків різних поколінь, які й на сьогодні були і залишаються найактивнішими авторами, патріотами

журналу, чії публікації, експериментальні статті та огляди (ретроспективні, поточні, огляди-прогнози) піднімали та високо тримали авторитет журналу та як у дзеркалі відображали розвиток досліджень у різних галузях фундаментальної та прикладної хімії в нашій країні.

Журнал відображає досягнення вчених-хіміків майже у всіх галузях сучасної хімії та частково хімічної технології, і доступний не лише відомим вченим, а й початківцям – студентам та аспірантам. На його виданнях виросло не одне покоління

вчених-хіміків, якими хімічна наука України пишається й на сьогодні. Першим головним редактором журналу був професор, згодом член-кореспондент Академії наук УРСР К. А. Красуський, потім головним редактором журналу був професор М. О. Валяшко, визнаний хімік-фармацевт України; наступними редакторами були академики Академії наук УРСР А. В. Думанський, Є. О. Шилов, А. К. Бабко, Ю. К. Делімарський, О. В. Городиський; з 1992 по 2015 рік – академік НАН України С. В. Волков, потім (із 2016 по 2024 рік) – В. І. Пехньо. На сьогодні головним редактором журналу є доктор хімічних наук С. О. Солопан.

У цей ювілейний рік особливо приємно побажати головному редактору та редакційній колегії «Українського хімічного журналу» нових творчих успіхів у популяризації наукових досягнень у галузі хімії, побажати більше публікацій від талановитих авторів, які своїми роботами, статтями, доповідями передають своїм учням, послідовникам, читачам частку свого творчого натхнення та любові до науки, до хімії, до України!

У 2025 році «Український хімічний журнал» відзначає знаменну подію – 100-річчя свого заснування. Історію журналу за період XX та перших років XXI століття, прізвища відповідальних редакторів, склад редколегій у різні роки та імена окремих авторів, видатних хіміків України висвітлено на його шпальтах [1–2].

Історія.

Харківський період (1925–1948 рр.)

Сто років тому, у січні 1925 року, у Харкові за ініціативи і підтримки Всеукраїнського товариства друзів хімічної оборони і хімічної промисловості був створений і по-

чав виходити друком «Украинский химический журнал» (скорочено – «УХЖ»). Сталося так, що «УХЖ» став *єдиним широкопрофільним хімічним виданням у колишньому СРСР та залишається таким на сьогодні в Україні*. Журнал відображає досягнення вчених-хіміків практично в усіх галузях сучасної хімії і частково хімічної технології, доступний не тільки відомим вченим, але й початківцям – аспірантам і здобувачам. На його публікаціях виросло не одне покоління учених-хіміків, якими й сьогодні пишається хімічна наука України.

За час видання з 1925 по 1938 (за винятком 1927 року) вийшло тринадцять томів «Украинского химического журнала»; складалися вони з двох розділів – наукового і науково-технічного. Наступний, XIV том, випущено після десятирічної перерви – його видання було призупинено під час Другої світової війни.



Рис. 1. Член-кореспондент Всеукраїнської академії наук (ВУАН) Костянтин Адамович Красуський (14.09.1867–07.04.1937)

Fig. 1. Corresponding Member of the All-Ukrainian Academy of Sciences (UAS) Kostyantyn Adamovych Krasuskyi.

Першим відповідальним редактором журналу з 1925 по 1929 роки був професор, пізніше член-кореспондент ВУАН та АН СРСР Костянтин Адамович Красуський (1867–1937), фахівець у галузі органічної хімії, фундатор Фармацевтичного інституту в Харкові (згодом – Державний науковий центр лікарських засобів МОЗ і НАН України). Головний напрямок його робіт – дослідження взаємодії органічних оксидів з амінами та амоніаком. Він встановив важливі залежності порядку приєднання аміаку та амінів до α -оксидів від структури останніх, сформулював «правила Красуського», відомі всім хімікам-органікам, запропонував гіпотезу про проміжне утворення α -оксидів у реакціях отримання альдегідів і кетонів із гліколів і підтвердив її експериментально. З цієї тематики ним опубліковано в «УХЖ» (за період з 1925 по 1930) понад 10 робіт.

До складу першої редколегії входили відомі вчені – академіки ВУАН та АН УРСР Л. В. Писаржевський, Є. І. Орлов, В. О. Плотніков, професор Г. Ю. Тимофеев та інші.

Перший номер «УХЖ» за 1925 рік відкрився програмною статтею Лева Володимировича Писаржевського – «Каталіз як механічна дія електронів». Науковий світ знає Л. В. Писаржевського як видатного фізико-хіміка світового рівня. Він створив основи електронної теорії окисно-відновних реакцій, запропонував теорію гальванічного елемента, яка пояснила походження електродних потенціалів, створив електронну теорію каталізу. Його ім'я нині носить Інститут фізичної хімії НАН України.

У 1925 році в «УХЖ» у співавторстві з К. А. Красуським опубліковано першу наукову роботу Андрія Івановича Кіпріанова –

учня і послідовника Красуського, у майбутньому всесвітньо відомого хіміка-органіка, засновника школи з ціанінових барвників, академіка АН УРСР – «Про дію діетиламіну на окис триметилетилену». Цій же темі присвячено і першу самостійну публікацію А. І. Кіпріанова – «Взаємодія α -оксидів з ефірами амінокислот», опубліковану того ж року. Тільки з 1925 по 1954 роки, за винятком тих років, коли журнал не видавався, А. І. Кіпріанов в «УХЖ» опублікував (згідно авторського покажчика) 35 статей з питань хімії органічних (ціанінових) барвників. Світову популярність і визнання здобули його роботи зі зв'язку між кольором та будовою органічних сполук, а теорія кольоровості стала струнким хімічним вченням із великою силою передбачення. Він разом із співробітниками виконав класичні дослідження в галузі синтезу та електронних спектрів поглинання поліметинових барвників, відкрив новий клас барвників (катионові барвники), якими забарвлюють тепер синтетичне волокно – нітрон.

Відомий вчений у галузі вуглехімії, академік АН УРСР Мефодій Іванович Кузнецов свою першу роботу «До питання про природу кам'яного вугілля. Ненасиченість вугілля» опублікував в «УХЖ» у 1925 р. У період із 1947 по 1957 рік на сторінках журналу опубліковано цикл його робіт (23 статті) стосовно хімічної технології перероблення коксів та комплексного використання бурого вугілля України.

У науково-технічному розділі першого журналу представлено статтю відомого українського технолога В. П. Іжевського «Переоцінка теплових цінностей».

На сторінках «УХЖ» з 1925 до 1938 року побачили світ 17 робіт академіка АН УРСР

Єгора Івановича Орлова, професора кафедри технології мінеральних речовин, відомого хіміка не тільки у Харкові, фахівця з хімічної кінетики та технології виробництва неорганічних сполук, автора праць із хімічної кінетики і каталізу, виробництва соди, сірчаної кислоти.

Яків Анатолійович Фіалков – відомий хімік-неорганік, професор, доктор фармацевтичних наук, член-кореспондент АН УРСР, один із перших співробітників Інституту хімії АН УРСР (нині – Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України), фахівець у галузі неорганічної хімії (комплексні сполуки і фізико-хімічний аналіз розчинів, розроблення нових технологій здобуття кольорових і рідкісних металів, вивчення мінеральних солей; розроблення методів одержання добрив із сировинних джерел України), фармацевтичного аналізу, використання комплексних сполук йоду для одержання різних органічних йодопохідних та виготовлення ліків. «Досвід визначення йодного числа у водному середовищі» – одна з перших наукових праць Якова Анатолійовича Фіалкова, тоді ще тільки аспіранта у видатного фізико-хіміка В. О. Плотнікова, була надрукована у другому томі «УХЖ» за 2026 рік. У період, коли «УХЖ» не виходив, свої статті, крім інших видань, Я. А. Фіалков публікував у «Записках Інституту хімії АН УРСР» – 23 статті, а згодом (в останнє десятиріччя свого життя) в «УХЖ» було надруковано 30 статей. Співавторами його праць були С. Д. Шаргородський, В. П. Чалий, Н. К. Давиденко, Н. А. Костроміна та інші.

Із 1929 по 1938 рік відповідальним редактором журналу був професор Микола Овксентійович Валяшко (1871–1955) – ви-

знаний в Україні хімік-фармацевт, суспільний та освітянський діяч. Головним чином він займався вивченням хімії лікарських речовин та дослідженням їхньої будови, хімічних властивостей органічних сполук, зразків ефірних олій з рослин України, працював над подальшим розвитком ідей О. М. Бутлерова та В. В. Марковникова. Серед наукових досягнень Валяшка слід відзначити встановлення закономірностей спектрів поглинання ароматичних та гетероциклічних сполук, висновки про будову молекул. За плідну діяльність у галузі розвитку хімічної науки він був удостоєний звання заслуженого діяча науки УРСР.

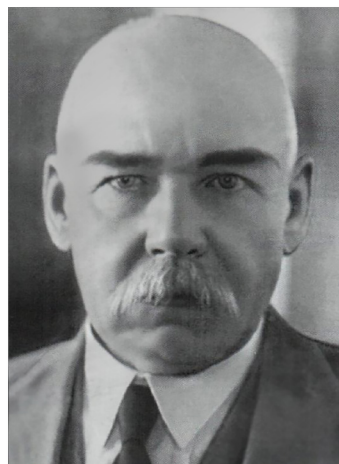


Рис. 2. Професор Микола Овксентійович Валяшко (20.03.1871–25.01.1955)

Fig. 2. Professor Mykola Ovsentiyovych Valyashko.

У 1938 році до складу редколегії введено Петра Петровича Буднікова (1885–1968) – одного з найбільш відомих вчених у галузі хімії та технології силікатів, академіка АН УРСР, члена-кореспондента АН СРСР. Основні наукові роботи Буднікова пов'язані з синтезом нових силікатів, оксидних

сполук та вивченням їхніх фізико-хімічних властивостей. Його перші роботи присвячено питанням використання відходів, одержуваних при виробництві глинозему з каоліну, кислототривким керамічним виробам та високоякісній вогнетривкій продукції. За період з 1925 по 1954 роки в «УХЖ» було опубліковано 33 його статті, головним чином із хімії силікатів та хімічної силікатної промисловості.

Академік АН УРСР Володимир Олександрович Плотніков, видатний вчений-хімік, член-кореспондент АН СРСР, засновник багатьох нових наукових напрямків хімічної науки, зокрема фізичної, неорганічної хімії та електрохімії неводних розчинів. Ним вперше було створено теорію електрохімічних процесів у неводних розчинах та досліджено механізм провідності сумішей неелектролітів. Згодом ця теорія стала класичною і здобула загальне визнання хіміків усього світу, було створено наукову школу. З 1931–1941 рр. В. О. Плотніков – перший директор Інституту хімії АН УРСР. Плотніков входив до складу редколегії «УХЖ», але свої наукові праці публікував переважно у «Записках Інституту хімії АН УРСР» (видавалися з 1934 по 1948 роки), які він і очолював. Разом із співавторами у «Записках» побачили світ 83 його наукові праці.

Історія.

Київський період (1948–1999 рр.)

Із 1948 року «Украинский химический журнал» почала видавати Академія наук УРСР на базі Інституту загальної та неорганічної хімії (ІЗНХ) АН УРСР у Києві. Його було об'єднано з журналом «Записки Інституту хімії АН УРСР», від якого «УХЖ» успадкував кращі традиції. Із «Записок» до редакційної колегії журналу перейшли

представники наукових шкіл, члени Академії наук УРСР: А. В. Думанський, А. К. Бабко, Ю. К. Делімарський, Ф. Д. Овчаренко, В. О. Ізбеков, Я. А. Фіалков та інші.

Перший номер випуску XIV тома починається з оглядової статті редколегії (відповідальний редактор – А. В. Думанський, члени – О. І. Бродський, Є. С. Бурксер, А. І. Кіпріанов, М. О. Валяшко, секретар – В. П. Чалий) про стан хімічної науки в УРСР за тридцятирічний період після революційних подій 1917–18 рр., зокрема висвітлено досягнення в окремих галузях неорганічної і фізичної хімії – праці київської школи фізико-хіміків з ІФХ, ІЗНХ АН УРСР, Київського політехнічного інституту – В. О. Плотнікова, М. І. Усановича, Л. В. Писаржевського, О. І. Бродського, В. А. Ройтера, В. О. Ізбекова, Я. А. Фіалкова, І. Л. Кацнельсона, С. Й. Якубсон; харківського наукового центру – Г. Є. Тимофеева, І. М. Францевича, Л. С. Палатника, М. А. Ізмайлова); напрацювання школи органічної хімії – (С. М. Реформатського, В. П. Яворського, К. А. Корнева, П. С. Пелькіса, К. А. Красуського, А. І. Кіпріанова, М. О. Валяшка та ін.), праці в галузі хімічної технології (М. І. Мозгового, М. С. Фортунатова, І. М. Шейко, Л. А. Кульського, Є. І. Орлова, В. І. Атрощенко), в галузі колоїдної хімії – (А. В. Думанського, О. Д. Куриленка, Е. М. Натансона); дослідження школи з аналітичної хімії (М. О. Тананаєва, А. К. Бабка, В. А. Назаренка), праці хіміків-одеситів у галузі рідкісних елементів та геохімії – М. С. Полукетова, Є. С. Бурксера зі співробітниками – та киян – В. О. Ізбекова, Ю. К. Делімарського, І. А. Шеки, О. Т. Нижник, численні дослідження Я. А. Фіалкова та М. О. Валяшка з фармацевтичної хімії.

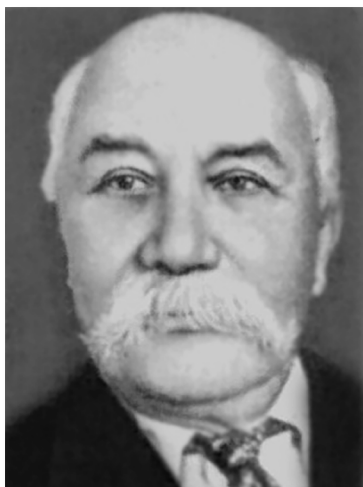


Рис. 3. Академік АН УРСР Антон Володимирович Думанський (2.06.1880–14.05.1967)

Fig. 3. Academician of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR Anton Volodymyrovych Dumanskyi.

П'ять років (з 1948 по 1953) головним редактором журналу був Антон Володимирович Думанський (1880 –1967) – вчений зі світовим ім'ям, академік АН УРСР, член-кореспондент АН СРСР, один із засновників колоїдної хімії. А. В. Думанський організував у Києві першу в Україні лабораторію, ввів фізичні методи дослідження у колоїдну хімію, запропонував ультрацентрифугування для вимірювання величини колоїдних частинок. Праці Думанського щодо умов утворення та осадження колоїдних розчинів відзначено Великою Менделєєвською премією. У 1946–1960 роках Антон Володимирович очолював Інститут загальної та неорганічної хімії АН УРСР.

За цей час до редколегії увійшли відомі вчені – академіки АН УРСР О. І. Бродський, І. М. Францевич, А. І. Кіпріанов, Є. О. Шилов, член-кореспондент АН УРСР Є. С. Бурксер.

Академік Олександр Ілліч Бродський – видатний фізико-хімік, автор оригінальних досліджень із термодинаміки та електрохімії розчинів, хімії ізотопів, хімічної будови та реакційної здатності речовин. Він вперше в нашій країні застосував ізотопи для вивчення механізмів хімічних реакцій. Під його керівництвом у 1934 році створено установку для одержання важкої води і в тому ж році вперше у СРСР отримано зразки важкої дейтерієвої, а згодом і важкоокисеної води, що відіграло важливу роль у розв'язанні атомної проблеми. В «УХЖ» за перший період його існування оприлюднено сім статей О. І. Бродського.



Рис. 4. Академік АН УРСР Євген Олексійович Шилов (10.08.1893–22.07.1970)

Fig. 4. Academician of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR Yevgen Oleksiyovych Shylov.

У 1953–1958 рр. відповідальним редактором «УХЖ» був відомий хімік-органік, академік АН УРСР Євген Олексійович Шилов (1893–1970). Головну увагу у дослідженнях він приділяв кардинальним питанням теорії перетворень органічних сполук. Є. О. Шилов – фундатор наукової школи,

організатор лабораторії механізмів органічних реакцій, один із засновників вчення про механізми органічних реакцій. Його принцип донорно-акцепторної взаємодії належить до основних постулатів сучасного вчення про механізми органічних реакцій. Є. О. Шилов першим висловив ідею, що утворення циклічних перехідних станів полегшує перебіг хімічних реакцій. За цикл праць у галузі механізмів хімічних реакцій він разом з О. І. Бродським став першим лауреатом премії ім. Л. В. Писаржевського.



Рис. 5. Академік АН УРСР Анатолій Кирилович Бабко (15.10.1905–07.01.1968)

Fig. 5. Academician of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR Anatoliy Kyrylovych Babko.

Із 1958 по 1967 включно, тобто десять років, редколегію журналу очолював значний вчений, фахівець у галузі аналітичної хімії, хімії комплексних сполук академік АН УРСР Анатолій Кирилович Бабко (1905–1968). Наукові інтереси Анатолія Кириловича охоплювали загальні питання аналітичної хімії, використання органічних реагентів у неорганічному аналізі, хімію комплексних сполук та застосування їх

у фотометрії, люмінесценції; хемілюмінесцентний аналіз, хроматографічний розподіл сполук, екстракційні методи. Великою заслугою А. К. Бабка було систематичне фізико-хімічне дослідження комплексних сполук у розчинах.

А. К. Бабко був не тільки відповідальним редактором, але й одним з активних авторів, патріотом «УХЖ»: з 1929 по 1957 він передав до друку **20** статей, серед яких три вийшли у «Записках Інституту хімії», а за період керівництва журналом – понад **80** статей. Співавторами його статей були О. І. Волкова, Т. Є. Гетьман, Л. І. Дубовенко, Н. М. Луковська, П. Б. Міхельсон, Б. Й. Набиванець, А. Т. Пилипенко, М. М. Тананайко, М. Й. Штокало та інші. У 1967 році в журналі розміщено його огляд «Развитие аналитической химии в Украине за 50 лет» [3]. За висловом його учениці, професорки М. Й. Штокало: **«А. К. Бабко був талановитим вченим, який ознаменував собою цілу епоху в розвитку науки у XX столітті з найбільш важливих розділів аналітичної хімії»**.

У період, коли А. К. Бабко був головним редактором журналу, наукові праці на його шпальтах друкували члени редколегії – знані хіміки, академіки О. І. Бродський, К. Б. Яцимирський, А. І. Кіпріанов, А. В. Думанський, Ю. К. Делімарський, Ф. Д. Овчаренко і не тільки. Дуже показовий приклад – весь випуск № 11 за 1967 рік (присвячений 50-річчю жовтневої революції) наповнений оглядами заслужених науковців-хіміків про розвиток в Україні різних галузей хімії: К. Б. Яцимирського та І. А. Шеки («Основні етапи розвитку неорганічної хімії за 50 років»), О. І. Бродського («Фізична хімія в Україні»), Ф. Д. Овчаренка («Розвиток

колоїдної хімії»), Ю. К. Делімарського («Розвиток електрохімії в Україні»), В. О. Ройтера («Розвиток робіт із теорії каталізу в УРСР», Б. Я. Дайна («Фотохімічні дослідження в Україні»), Є. О. Шилова («Розвиток вчення про механізм органічних реакцій»), А. І. Кіпріанова («Колір і будова органічних барвників»), О. В. Кірсанова («Праці хіміків ІОХ АН УРСР з хімії фосфорорганічних сполук»), А. К. Бабка («Аналітична хімія в Україні», А. С. Бережного («Розвиток хімії силікатів»), Л. А. Кульського («Проблема якості води»)).

У 60-х рр. ХХ ст. (1961–1969), коли академік АН УРСР Костянтин Борисович Яцимирський працював в ІЗНХ АН УРСР на посаді завідувача Відділом хімії комплексних сполук, і в наступні роки, вже будучи директором Інституту фізичної хімії АН УРСР, разом зі своїми співавторами за неповних 10 років поряд із численними публікаціями робіт в інших періодичних виданнях мав 12 друкованих праць в «УХЖ», у т. ч. огляди, в яких висвітлено основні етапи розвитку неорганічної хімії та проблеми хімії комплексних сполук того часу [4, 5].

Серед членів редколегії та активних авторів «УХЖ» був академік АН УРСР Юрій Костянтинович Делімарський. Першу наукову статтю Юрія Костянтиновича стосовно хімії штучних алюмосилікатів було надруковано в «УХЖ» ще під час його навчання в аспірантурі у Київському політехнічному інституті [6].

Далі, з початком наукової діяльності Юрій Делімарський опублікував 15 статей стосовно хімії пермутиту, досліджень з електрохімії розтоплених середовищ, визначення окремих електродних потенціалів і електрохімічних рядів металів у розплав-

лених солях (але – у «Записках»). Серед цих робіт на увагу заслуговує огляд історії створення і становлення Інституту загальної та неорганічної хімії АН УРСР, написаний у співавторстві з академіком АН УРСР А. В. Думанським [7].

Із 1948 по 1967 рр. – Ю. К. Делімарський щорічно друкував в «УХЖ» експериментальні наукові праці систематичних досліджень з електрохімії розтоплених середовищ, які були направлені на виявлення електрохімічної поведінки металів у розтоплених солях, полярографічні дослідження іонних розплавів і не тільки. Співавторами публікацій у цей період були головним чином колеги і учні Делімарського переважно з ІЗНХ АН УРСР: Г. А. Колотій, Є. Б. Гітман, Ф. Ф. Григоренко, В. Ф. Грищенко, Б. Ф. Марков, І. М. Шейко, О. В. Городиський, В. І. Шаповал, А. А. Веліканов та інші. Саме на шпальтах «УХЖ» у цей період опубліковано 88 статей з питань фізичної електрохімії іонних розплавів та твердих електролітів, у тому числі й відомості про розвиток електрохімії в Україні [8].

Член редколегії «УХЖ», член-кореспондент АН УРСР Іван Арсенович Шека (1907–1999) – відомий спеціаліст у галузі фізико-неорганічної хімії та хімічної технології, один із перших учнів академіка В. О. Плотнікова. Широкий діапазон його наукової діяльності знайшов відображення в численних теоретичних та прикладних публікаціях, статтях, оглядах, працях, що стосувалися актуальних питань розвитку неорганічної хімії, фізико-хімії неводних розчинів, хімії комплексних сполук, хімії та технології рідкісних та рідкісноземельних елементів, розроблення методів концентрування, розділення або одержання сполук

вищезазначених елементів та впровадження їх у виробництво. Близько 200 праць побачили світ саме на сторінках «Українського хімічного журналу» за довготривалий 60-річний період його наукової діяльності. Неодноразово він публікував огляди щодо сучасного стану, розвитку і завдань неорганічної хімії в Україні [5, 9].

З 1966 і до 1999 року «Украинский химический журнал» публікувався англійською мовою у США. До 1992 року журнал виходив під назвою «Soviet Progress in Chemistry», а з 1992 по 1999 рр. – за назвою «Ukrainian Chemistry Journal» (ISSN 1063-4568), перевидавався в повному обсязі і поширювався спочатку видавництвом «Faraday Press Inc.» (до 1967 р.), пізніше – видавництвом «Allerton Press, New York». У бібліотеці ІЗНХ ім. В. І. Вернадського НАН України є низка випусків журналу англійською мовою того періоду.

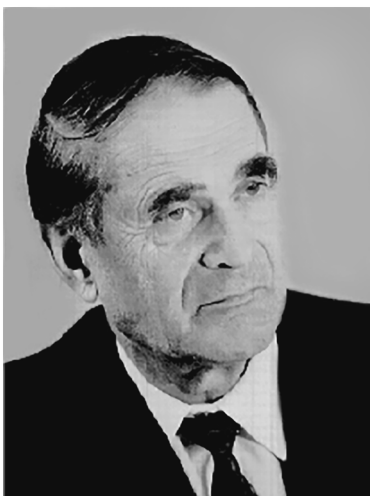


Рис. 6. Академік АН УРСР Юрій Костянтинів Делімарський (23.04.1904–08.06.1990)

Fig. 6. Academician of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR Yuriy Kostyantynovych Delimarskyi.

Надалі, упродовж двадцяти років, з 1968 по 1988, головним редактором «Українського хімічного журналу» стає академік АН УРСР Юрій Костянтинів Делімарський (1904–1990), відомий і поважний вчений, електрохімік, засновник радянської школи фізичної хімії та електрохімії розплавлених солей. Головні дослідження Делімарського, як було вже сказано вище, стосуються хімії та електрохімії розплавлених солей. У 1960–1973 рр. він був директором Інституту загальної та неорганічної хімії АН УРСР. Нагороджений Золотою медаллю ім. Д. І. Менделєєва АН СРСР, заслужений діяч науки УРСР.

З 1968 по 1988 рр. тільки в «УХЖ» вийшли друком 97 статей Делімарського зі співавторами (В. Г. Будніка, А. В. Городиського, В. Ф. Грищенко, О. Г. Зарубицького, В. Ф. Макогон, Е. В. Панова, Н. Х. Туманової, Р. В. Чернова, В. І. Шаповала та інших) стосовно експериментальних напрацювань електродної поляризації у сольових розплавах, електролітичного рафінування різних сплавів у розплавлених солях, дослідження розчинності деяких інтерметалідів, катодні та анодні процеси в розплавах за участі інтерметалідів тощо. Він разом із колегами розробив фізико-хімічні основи електролізу розплавів для одержання і рафінування багатьох металів, встановили існування таких електрохімічних систем та умов електролізу (склад електроліту, режим поляризації, температура тощо), за яких, всупереч загальноприйнятним уявленням Фарадея про масообмін між електродами, метал на катоді під дією постійного електричного струму розчиняється і виділяється на аноді [10].

Ці та інші результати лягли в основу зареєстрованого в Україні першого з хімії

відкриття «Явище переносу металу з катода на анод при електролізі розплавів», здійсненого колективом авторів у складі академіка Ю. К. Делімарського, члена-кореспондента О. Г. Зарубицького та провідного інженера В. Г. Будніка і започаткували новий напрямок наукових досліджень – піроелектрометалургію кольорових металів.

Склад редколегії у період з 1968 по 1976 рр. значно розширився і поновився: до редколегії вперше увійшли академіки АН УРСР: К. Б. Яцимирський, Л. М. Литвиненко, А. Т. Пилипенко, члени-кореспонденти АН УРСР К. А. Корнєв, О. Д. Курilenko, М. О. Лошкар'єв, професори: Б. Ф. Марков, Д. М. Стражеско; у період з 1976 по 1982 у різні роки – майбутні академіки АН УРСР Ф. С. Бабічев, С. В. Волков, О. В. Городиський, В. М. Єременко, В. П. Кухар, Ю. С. Ліпатов, В. Д. Походенко, В. В. Скопенко, члени-кореспонденти АН УРСР Ю. Г. Гололобов, Я. Б. Гороховатський, професори В. Д. Присяжний, А. М. Голуб, Л. М. Ягупольський та інші.

Із численних матеріалів хімічних досліджень, які побачили світ на шпальтах «УХЖ» у період з 1963–1988 рр. – тобто за 25 років надруковано понад **80** статей спочатку молодого науковця, згодом – члена-кореспондента АН УРСР Сергія Васильовича Волкова. Серед цих робіт варто відмітити огляд «Сучасні аспекти та тенденції розвитку неорганічної хімії», надрукований в «УХЖ» ще у 1981 році, в якому було розглянуто шляхи й прогнози розвитку як теоретичної, так і експериментальної та прикладної неорганічної хімії. Головний прогноз, який висвітлено у статті, полягає у ствердженні, що сучасна неорганічна хімія стає фізико-неорганічною хімією за

своєю ідеологією, методами дослідження (як теоретичними, так і експериментальними) та технологічної спрямованості. Із реалізованих прогнозів можна назвати розвиток «космохімії», а саме космохімічні питання екологічного спрямування. Також заслуговують на увагу огляди С. В. Волкова про роль високотемпературної неорганічної координаційної хімії в енерготехнології та розвиток високотемпературної неорганічної хімії в Україні [11, 12, 13].

Згадаємо про публікації статей в «УХЖ» професора Київського державного університету, доктора хімічних наук Андрія Матвійовича Голуба – освітнього діяча, видатного хіміка – фахівця з неорганічної та координаційної хімії рідкісноземельних елементів, філософа, історика, патріота України. За 25 років наукової і педагогічної діяльності тільки в «УХЖ» він особисто та у співавторстві з учнями опублікував понад **60** різнопланових наукових праць, серед яких не тільки експериментальні роботи з неорганічної хімії, але й статті про Періодичний закон та Періодичну таблицю елементів (мав свою версію таблиці), хімічні огляди та ювілейні статті про видатних корифеїв науки (О. М. Бутлерова, Д. І. Менделєєва, А. Вернера, Л. О. Чугаєва). Важливі напрацювання А. М. Голуба як термінолога, творця сучасної української хімічної термінології та номенклатури в неорганічній хімії, які продовжені далі його учнями, зокрема, академіком НАН України В. В. Скопенком, сином – хіміком Олександром Голубом та іншими послідовниками. Як згадує професор Олександр Андрійович Голуб, статті його батька щодо української термінології в часи російськомовного панування іноді піддавали заборонам і переслідуванням, і

були надруковані лише через дипломатичне втручання та допомогу головного редактора і секретаря журналу.

Тема української термінології на сьогодні є особливо актуальною. Хімія є глобальною наукою, і спілкування між хіміками з різних країн вимагає використання міжнародно визнаних термінів і номенклатури. Вдосконалення української хімічної термінології та номенклатури дійсно є важливим кроком для підвищення якості комунікації в науці, освіті та виробництві, сприяє розвитку хімічної галузі України та її інтеграції у світове наукове співтовариство [14–18].



Рис. 7. Академік АН УРСР Олександр Володимирович Городиський (01.05.1930–08.08.1992)

Fig. 7. Academician of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR Oleksandr Volodymyrovych Horodyskyi.

Із 1988 року редколегію журналу очолював Ю. К. Делімарського, академік АН УРСР Олександр Володимирович Городиський (1930–1992). Основні наукові праці його присвячено електрохімічній кінетиці, хімії та електрохімії іонних розплавів і водних розчинів, електрохімічному захисту

металів. Городиський в ІЗНХ АН УРСР починав аспірантом, працював старшим науковим співробітником, завідувачем відділу, а з 1973 по серпень 1992 року – директором інституту. Вивів низку закономірностей електрохімічної кінетики, розробив теорію нестационарного стану електрохімічних систем, біфункціональні електродні системи, що дали змогу проводити електроліз вище напруги розчинника, а також низку технологічних методів електрохімічного одержання неорганічних матеріалів. Тривалий час Городиський був головою наукової ради АН УРСР з проблеми «Кінетика електрохімічних процесів». За тридцять років наукової діяльності ним особисто та у співавторстві опубліковано в «УХЖ» 110 статей.

До редколегії у 1989 році вперше увійшли члени-кореспонденти АН УРСР О. Г. Зарубицький, А. Ф. Попов, В. В. Стрелко, у 1990 – академіки АН УРСР С. А. Андронати, В. В. Гончарук, О. О. Чуйко, професори Й. Й. Ділунг, Є. В. Лебедев, Б. І. Набиванець, Ю. Я. Фіалков, В. К. Яцимирський.

Олег Григорович Зарубицький – відомий вчений, доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, заслужений діяч науки і техніки України – представник добре відомої за рубежом української школи високотемпературної електрохімії, наукових і технологічних досліджень у галузі електрохімії іонних розплавів, переносу металів у розплавлених електролітах, піроелектрометалургії важких кольорових металів тощо. Він є співавтором понад 200 авторських свідоцтв та статей, з яких тільки в «УХЖ» надруковано 75 [10, 19, 20].

В огляді [20] узагальнено результати багаторічних досліджень з розроблення

теоретичних основ технологій одержання і рафінування металів до високої чистоти у розплавах і водних розчинах та процесів вилучення, одержання і рафінування металів і металоїдів із рудної і вторинної сировини.

На рубежі століть з 1993 і до 2016 року головним редактором «Українського хімічного журналу» стає академік НАН України Сергій Васильович Волков (у редколегії з 1979 року) – «науковий онук» В. О. Плотнікова, члена першої редакційної колегії журналу і відповідального редактора «Записок Института химии АН УССР», як уже було сказано вище.



Рис. 8. Академік НАН України Сергій Васильович Волков (16.11.1935–09.03. 2016)

Fig. 8. Academician of the Academy of Sciences of Ukraine Serhiy Vasylovych Volkov.

Сергій Васильович Волков – один із найвідоміших вчених-неорганіків України, фундатор міжнародної наукової школи високотемпературної координаційної хімії, засновник нових наукових напрямів в Україні: квантової хімії конденсованих середовищ і лазерохімії, автор унікальних

методів високотемпературної спектроскопії. Коло наукових інтересів С. В. Волкова було націлено на розвиток нових підходів у галузях фізико-неорганічної хімії, гетерогенно-гетерофазної координаційної хімії, grin-хімії та хімії метастабільного стану речовин. Із 1992 і до 9 березня 2016 року С. В. Волков очолював ІЗНХ ім. В. І. Вернадського НАН України. Він є заслуженим діячем науки і техніки України, лауреатом багатьох іменних премій АН України, автором понад тисячі наукових праць, результати яких збагатили світову енциклопедичну та довідкову літературу. За період із початку наукової діяльності і до 1993 року в «УХЖ» оприлюднено **100** експериментальних статей та декілька оглядів щодо тенденцій розвитку фізико-неорганічної, координаційної та високотемпературної неорганічної хімії, про деякі з них вже було сказано вище [11–13, 21]. Співавтори інших статей – колеги та учні: К. Б. Яцимирський, І. А. Шека, З. А. Фокіна, Н. А. Костроміна, Н. Г. Александрова, О. Б. Бабушкіна, В. А. Бандур, М. І. Буряк, В. А. Засуха, В. Д. Колесніченко, Є. А. Мазуренко, Т. А. Мирна, В. І. Пехньо, Н. І. Тимощенко та багато інших.

Із самого початку виконання обов'язків головного редактора «УХЖ» С. В. Волков дуже уважно слідкував за наповненням журналу і був активним автором статей та прогнозованих оглядів щодо різних нових напрямків хімії або розвитку теоретичних поглядів інших науковців минулого.

Випуск «УХЖ» № 5 за 1993 рік – тематичний, його присвячено 100-річчю координаційної теорії лауреата Нобелівської премії Альфреда Вернера. У номері розміщено огляди та статті академіка К. Б. Яцимирського і В. В. Павліщука про особливості

комплексів перехідних металів, які містять тіоефірні угруповання; С. В. Волкова про розвиток координаційної теорії А. Вернера; академіка В. В. Скопенка і В. М. Кокозея щодо прямого синтезу координаційних сполук; академіка А. Т. Пилипенка – хіміка-аналітика; докторів хімічних наук Н. А. Костроміної, Д. М. Паладе, В. С. Кублановського, Є. А. Мазуренка, Ю. А. Малетіна та інших.

С. В. Волков вніс свій вклад у розвиток координаційної теорії Альфреда Вернера стосовно важливості опосередковано (побічно) зв'язаних із центральним атомом металу груп і радикалів та вчення про координаційне число комплексів. Обговорюються такі проблеми (у рамках високотемпературної координаційної хімії): стан зовнішньосферних комплексів у розплаві; гетерогенно-гетерофазного комплексоутворення; неоднозначності координаційного числа в хелатних вузлах легких комплексів у газовій фазі тощо [22].

В огляді В. В. Скопенка, В. М. Кокозея та В. О. Павленка – дослідників Київського національного університету імені Тараса Шевченка, узагальнено експериментальні дані з синтезу координаційних сполук із металічних порошків або оксидів металів і розчинів солей амонію. Розглянуто основні закономірності прямого синтезу. Обговорено будову деяких сполук, що мають аномальний склад та кристалічну структуру, показано аспекти практичного використання [23].

Академік А. Т. Пилипенко розглянув основні етапи розвитку хімії комплексних сполук та її вплив на аналітичну хімію. Показано значення теорії Альфреда Вернера на розвиток аналітичної хімії [24].

У 1993 році до редколегії вперше увійшли члени Національної академії наук України Л. М. Марковський, Ю. І. Тарасевич, а у 1998 році – А. Г. Білоус, В. І. Пехньо, А. О. Омельчук, Г. О. Ковтун, М. О. Лозинський, М. С. Слободяник, професори В. П. Антонович, Є. І. Гладишевський, Ф. Й. Данилов, В. Г. Сиромятников.

Академік НАН України Леонід Миколайович Марковський – хімік-органік, знайний фахівець у галузі елементоорганічної хімії, директор Інституту органічної хімії НАНУ (1983–1998). Разом із співавторами виконав численні фундаментальні дослідження стосовно хімії органічних сполук фосфору, сірки, селену, телуру, фтору, хімії стабільних радикалів, супрамолекулярної хімії, хімії і технології антипіренів та термостабілізаторів полімерних композицій, розробив вогнестійкі композиції для ракетно-космічної техніки і еластичні вогнестійкі поліуретани різноманітного призначення.

Анатолій Григорович Білоус – доктор хімічних наук, професор, академік НАН України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, знайний фахівець фізико-неорганічної хімії, хімії твердого тіла, фізики напівпровідників і діелектриків. Основний напрям досліджень А. Г. Білоуса – вивчення умов утворення, структурних особливостей та властивостей складних оксидних систем, а також розроблення на їхній основі високоефективних функціональних матеріалів. В ІЗНХ працює з 1978 р. і дотепер; керує Відділом хімії твердого тіла, є постійним активним автором «Українського хімічного журналу».

Микола Семенович Слободяник – член-кореспондент НАН України, професор,

академік АН Вищої освіти, освітній діяч Київського національного університету імені Тараса Шевченка, лауреат премії НАН України ім. Л. В. Писаржевського, заслужений діяч науки і техніки України, відомий вчений у галузі хімії фосфатів. Його науковий доробок – це понад 300 наукових статей (частина з яких також побачила світ в «УХЖ»), зокрема в напрямку розроблення фізико-хімічних основ керованого синтезу складних оксидних каркасних сполук (фосфатів, фторфосфатів, титанатів, ніобатів, молібдатів та вольфраматів) із розплавлених сольових систем.

СУЧАСНІСТЬ (2000–2025 рр.)

2000 рік – Міленіум відкриває XXI століття.

Минулі роки підтвердили, що журнал зберіг свої високі наукові традиції. Упродовж багаторічної історії, як було сказано вище, на сторінках журналу побачили світ праці видатних вітчизняних хіміків – членів Академії наук України Л. В. Писаржевського, В. О. Плотнікова, А. В. Думанського, О. І. Бродського, Ю. К. Делімарського, В. А. Ройтера, А. І. Кіпріанова, О. Є. Шилова, О. . Кірсанова, А. К. Бабка, А. Т. Пилипенка, В. О. Ізбекова, Я. А. Фіалкова, І. А. Шеки, О. В. Городиського, Ф. С. Бабічева, С. В. Волкова, В. Шаповала, В. Д. Присяжного, О. Г. Зарубицького та багатьох інших.

До складу редакційної колегії, який час від часу оновлюється, входять як і раніше знані вчені-хіміки України, які представляють різні напрями фундаментальної хімічної науки та технології: до складу редакційної колегії свого часу входили, а деякі входять і зараз, члени Національної академії наук: С. А. Андронаті, В. М. Беляков, Р. Є.

Гладишевський, В. В. Гончарук, В. І. Кальченко, М. Т. Картель, В. П. Кухар, Є. В. Лебедев, В. І. Пехньо, А. Ф. Попов, М. С. Слободяник, Ю. І. Тарасевич, В. В. Шевченко; доктори наук В. П. Антонович, І. О. Фрицький і багато інших. Досить тривалий час відповідальними секретарями журналу були С. І. Співак та Л. М. Кулагіна. Своєю сумлінною редакторською працею і живим спілкуванням з авторами вони підвищували авторитет журналу. Зберігся інститут наукових редакторів, рецензентів, процедура проходження статей. В «УХЖ», як і раніше, друкуються роботи співробітників академічних інститутів, вузів, галузевих інститутів – усіх хіміків України та їхніх колег з інших країн. У 2006 році журнал розширив коло засновників – до Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України як засновника приєднано Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

2000 рік для «Українського хімічного журналу» – це рік 75-річчя його створення. Пам'ятна подія – у листопаді 2000 року в Інституті загальної та неорганічної хімії НАН України відбулося спільне засідання Бюро Відділення хімії НАН України, редколегії «Українського хімічного журналу» та вченої ради Інституту, присвячене 75-річному ювілею журналу. З привітаннями і особистими спогадами про становлення і роботу журналу виступили академіки НАН України В. Д. Походенко, С. В. Волков, К. Б. Яцимирський, С. А. Андронаті, М. О. Лозинський, члени-кореспонденти НАН України – Є. В. Лебедев, А. Ф. Попов, Ю. Ю. Керча, М. С. Слободяник та інші. Колектив «Українського хімічного журналу» – редколегію і відповідального секрета-

ря, численних авторів і рецензентів з ювілеєм поздоровив Президент Національної академії наук України (на той час) академік НАН України Б. Є. Патон. У зверненні до ювіляра Патон відзначив: *«Протягом тривалого та непростого шляху Ваш журнал був провідником передових ідей в хімії. Біля витоків створення журналу стояли і згодом упродовж багатьох років працювали всесвітньо відомі видатні вчені – Л. В. Писаржевський, А. В. Думанський, Є. О. Шилов, А. К. Бабко, А. І. Кіпріанов, О. І. Бродський, Ю. К. Делімарський та інші, імена яких нині прикрашають провідні наукові хімічні установи, іменні премії та визначні досягнення в хімії Національної академії наук України»* [1].

У спеціальний ювілейний номер журналу (№ 9) свої статті та огляди прислали провідні вчені-хіміки України, зокрема змістовні експериментальні статті авторів – членів редколегії того часу і не тільки – А. Г. Білоуса, В. П. Кухаря, В. Г. Сиромятникова, О. О. Чуйка, Ю. Я. Фіалкова та огляди досліджень із різних напрямів хімії С. В. Волкова та А. О. Омельчука, Ю. І. Тарасевича, В. П. Антоновича, Г. О. Ковтуна.

В огляді академіка С. В. Волкова та доктора хімічних наук А. О. Омельчука на основі аналізу різноманітних даних про будову, властивості, енергетичний баланс утворення запропоновано критерій, який дозволяє прогнозувати кінцевий результат взаємодій метал – розтоплена сіль та сполуки, які при цьому утворюються. Критерій дає наукове обґрунтування розмаїттю нестехіометричних сполук металів нижчих ступенів окиснення. На прикладі сполук вісмуту, галію, індію нижчих ступенів окиснення показано перспективи їхнього

використання для регенерації металів із багатокомпонентних композицій різного функціонального походження та призначення [25].

Член-кореспондент НАН України Юрій Іванович Тарасевич представив в огляді дослідження з хімії поверхні, адсорбції, іонного обміну, практичного застосування адсорбентів та іонообмінників, які на той час виконували в інститутах НАН України (ІФХ, ІХП, ІКХХВ, ІЗНХ, ІХВС, ІСПЕ, ІБОНХ), у Київському національному університеті імені Тараса Шевченка, НУ «КПІ» та інших наукових і прикладних закладах). Розглянуто розвиток і сучасний стан цих робіт та їхнє значення для науки і промисловості України та для захисту навколишнього середовища [26].

Доктори хімічних наук Валерій Павлович Антонович та Нінель Петрівна Єфрюшина систематизували в історичному аспекті досягнення ФХІ НАН України – інституту, в якому вони працювали з моменту його створення, – в галузі неорганічної хімії та хімічної технології рідкісних елементів лужних металів, РЗЕ, германію, цирконію, гафнію, ванадію, а також оптичних люмінесцентних та плівкоутворюючих матеріалів на основі їхніх сполук. Підкреслено важливу роль для технологічних розробок хіміко-технологічного супроводження, яке базувалося на дослідженнях одеської школи аналітичної хімії рідкісних елементів, одним із фундаторів якої був академік АН УРСР, видатний хімік-аналітик Микола Сергійович Полуєтков [27].

В огляді члена-кореспондента НАН України Григорія Олександровича Ковтуна [28] йде мова про трибохімічні дослідження, а саме узагальнено результати

вивчення протизношувальної ефективності комплексів металів (ML_m) у складі базових мастильних матеріалів; зроблено висновки щодо впливу природи центрального атома M , складу і стеричних властивостей вузла в ML_m , стереохімії та електронних властивостей замісників в ацидоліганді L_m на їхню протизношувальну ефективність.

У 2004 році в журналі було відкрито рубрику оглядів та прогнозів на тенденції розвитку того чи іншого напрямку хімічної науки. І першим на цю пропозицію відгукнувся сам головний редактор С. В. Волков, виклавши на сторінках журналу свої погляди на низку близьких йому напрямків хімії (у 1981 році він вже розпочав подібний прогноз [11]), а саме: розвиток фізико-неорганічної хімії, нанохімії; поняття про гетерогенну-гетерофазну координаційну хімію, «Green» – зелену хімію, а також хімію нестабільних станів речовин («Метастабільну» хімію») [29].

У тому ж році відбулася ще одна визначна подія – 75-річчя ІЗНХ ім. В. І. Вернадського НАН України. І журнал відзначив цю подію спеціальним випуском (№ 7 за 2004 рік). Шпальта цього випуску відкривається оглядовою статтею редакції, в якій коротко розглянуто історію, найважливіші напрямки та результати фундаментальних і прикладних результатів інституту в галузі загальної, неорганічної хімії та електрохімії за 75 років його діяльності [30].

У розділі «Неорганічна та фізична хімія» розміщено статті й огляди провідних учених-хіміків інституту С. В. Волкова, А. Г. Білоуса, В. І. Пехньо, В. М. Беякова, А. О. Омельчука, Є. А. Мазуренка. Головним чином тематика оглядів стосується на-

прямків досліджень, які виконують саме у відділах вищезазначених науковців.

В огляді [31] розглянуто досягнення Відділу фізико-неорганічної хімії ІЗНХ (очільник – С. В. Волков) у напрямках синтезу та вивчення наночастинок і наноматеріалів, хімії іонних рідких кристалів і анізотропних стекло, хімії простих і координаційних сполук у розплавлених та твердих електролітах, хімії та застосування халькогеналогенідних простих та координаційних сполук благородних металів, хімії фталоціанінових комплексів *p*-, *d*-, *f*-металів.

«Проблеми хімії твердого тіла» – під такою назвою надруковано огляд тоді ще члена-кореспондента НАН України Анатолія Григоровича Білоуса, в якому наведено історію створення та аналіз результатів досліджень, які отримали у Відділі хімії твердого тіла ІЗНХ НАН України співробітники О. В. Пашкова, О. В. Овчар, Ю. І. Горніков, О. І. Вьюнов, Л. Л. Коваленко, С. О. Солопан, Б. С. Хоменко та інші у період на межі століть (1995–2004) [32].

Доктор хімічних наук А. О. Омельчук навів результати робіт, виконаних за десятиріччя (з кінця XX і початку XXI ст.) у Відділі електрохімії та технології неорганічних матеріалів ІЗНХ НАН України. Основний напрямок робіт – дослідження хімічних та електрохімічних процесів на міжфазних межах у різних реакційних середовищах (водні та розплавлені електроліти) з метою вилучення металів та сполук із природної та техногенної сировини: синтез та властивості нових неорганічних матеріалів [33].

У розділі «Електрохімія» представлено огляди О. Г. Зарубицького та Л. Х. Козіна «Електрохімічне одержання та рафінування металів та металоїдів для нової техні-

ки», Е. В. Панова «Електродні та гетерогенні хімічні реакції в розплавлених солях», Г. Я. Колбасова та Н. Д. Іванової «Фотоелектрохімія та хімічні джерела струму: стан досліджень і перспективи розвитку, В. С. Кублановського «Наукові досягнення та напрямки робіт у галузі електрохімії водних розчинів».

У другому десятилітті ХХІ ст. академік С. В. Волков поруч із статтями експериментального плану продовжував надавати на розсуд читачів журналу свої концептуальні прогнози – огляди щодо подальшого розвитку напрямків хімічної науки ХХІ ст. І не тільки за тематикою, близькою до власних досліджень (роль фізико-неорганічної хімії, народження якої вперше зафіксував Волков, функціональний вектор розвитку гетерогенно-гетерофазної координаційної хімії і т. п.), але й більш загальних проблем – необхідності збереження біосфери Землі при переході з «техносфери», що так бездумно розвивається людством, у розумну для життя «ноосферу» (за В. І. Вернадським), у тому числі з використанням прийомів «зеленої», екологічної хімії [34– 37].

За період з 2000–2015 рр. в «УХЖ» у співавторстві і одноосібно вийшло 76 публікацій академіка С. В. Волкова.

Понад 20 років до складу редакційної колегії журналу входить Анатолій Опанасович Омельчук, доктор хімічних наук, професор, член-кореспондент НАН України (з 2009 року), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, відомий хімік, фахівець з електрохімії та технології неорганічних матеріалів, зокрема у напрямках досліджень електрохімії розтоплених та твердих електролітів, теорії і практики високотемпературного електролізу, рафі-

нування кольорових металів, утилізації і дезактивації техногенної сировини. Він – один із найактивніших авторів своїх публікацій серед членів редколегії – за період з 2000 по 2024 рр. в «Українському хімічному журналі» має 78 публікацій (співавтори С. В. Волков, Л. Х. Козін, Н. М. Компаніченко, І. А. Новосолова, В. І. Пехньо, Ю. В. Погоренко, В. В. Потоцька, І. М. Скриптун, О. П. Іваненко та багато інших). Так, у 2005 році у журналі розміщено огляд А. О. Омельчука, С. В. Волкова та Л. Х. Козіна, у якому зосереджено увагу на дослідженнях і тенденціях розвитку фундаментальної та прикладної електрохімії, а також найважливіших проблемах і завданнях, вирішення яких стимулюватиме розвиток електрохімії у новому тисячолітті [33, 38].



Рис. 9. Академік НАН України Василь Іванович Пехньо (07.08.1952–20.01.2024)

Fig. 9. Academician of the Academy of Sciences of Ukraine Vasyl Ivanovych Pekhnyo.

У 2016–2023 рр. редколегію журналу очолював директор ІЗНХ ім. В. І. Вернадського НАН України Василь Іванович Пехньо – колишній учень і послідовник С. В. Волкова,

академік НАН України (з 2021 року), лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки. В. І. Пехньо є співавтором численних наукових робіт, статей, авторських свідоцтв та патентів на винаходи. Його праці пов'язані з вивченням хімії простих та координаційних сполук дорогоцінних, низки кольорових металів та металоїдів (у водних, неводних, змішаних й розтоплених багатофункціональних О-, N-, S-, Se-, Te-, Р-вмісних розчинниках-реагентах). Свою першу наукову роботу про дослідження різнолігандних комплексів Ві (III) із ксиленоловим оранжевим у ДФГ Пехньо надрукував в «УХЖ», коли ще не був аспірантом; а загалом у співавторстві має близько **80** статей, надрукованих у цьому часописі. Серед них багато праць стосовно синтезу халькогенідних комплексів низки металів (осмію, іридію, ренію, паладію), вивчення їхньої будови та властивостей; огляд, в якому охарактеризовано основні напрямки досліджень Відділу хімії комплексних сполук в ІЗНХ НАНУ, представлено умови утворення різнотипних координаційних родію (III) та рутенію (III) з бензоїлгідрозонами саліцилового альдегіду, вивчено реакції комплексоутворення металів із заміщеними гідрозонами (співавтори огляду – Н. А. Костроміна, С. І. Ориск, Л. М. Рибачук); огляд «Неорганічна хімія в Україні: з минулого в майбутнє» з нагоди 100-річчя заснування Національної академії наук України, де представлено основні напрямки, за якими розвивалася і розвивається неорганічна хімія за багатолітній період; огляд про життя і наукову діяльність академіка В. О. Плотнікова [39–42].

У 2016–2024 рр. до складу редколегії входять члени академії НАН України В. І. Пех-

ньо (голова). М. Т. Картель. Р. Є. Гладішевський, А. Г. Білоус, А. О. Омельчук, В. М. Огенко, Г. Я. Колбасов, М. С. Слободяник, І. О. Фрицький, М. О. Мchedlov-Петросян, В. В. Брей; представники ІЗНХ НАНУ доктори наук Ю. С. Дзязько, В. С. Кублановський, К. Д. Першина, В. Я. Черній та інші; колишні співробітники Інституту доктори хімічних наук В. В. Бонь, А. В. Графов, В. М. Немикін, які працювали або працюють за кордоном.

До 90-літнього ювілею Інституту загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України, який наукова хімічна спільнота відмічала у 2021 році, у низці випусків розміщено статті-огляди відомих учених саме цього інституту, висвітлено історію, етапи багаторічної діяльності, результати фундаментальних досліджень та сучасний стан основних наукових напрямків, за якими працював Інститут. Огляд «Електрохімія функціональних матеріалів і систем», написаний колективом авторів – членом-кореспондентом Г. Я. Колбасовим, докторами наук В. С. Кублановським і О. Л. Берсіровою (ІЗНХ НАНУ), М. Д. Сахненком, М. В. Ведь (НТУУ «ХПІ», Харків) та іншими, присвячено роботам щодо встановлення фундаментальних наукових положень та розробленню принципів керованого електрохімічного синтезу металічних, оксидних, гібридних та інших матеріалів із прогнозованими структурою, складом та функціональними властивостями [43].

Огляд наукових робіт співробітників ІЗНХ НАНУ «Електроосадження металів і сплавів із водних розчинів» включає багаторічні теоретичні дослідження в області електроосадження та визначні наукові здобутки вчених-електрохіміків минулого

(О. В. Городиського, М. О. Шваба, К. О. Каздобіна); електролітичні методи одержання чистих та особливо чистих металів (І. А. Шеки, Д. П. Зосимовича, Я. Г. Горощенка, Л. Х. Козіна); а також сучасні дослідження ефективного високошвидкісного електрохімічного синтезу мультифункціональних щільних плівок наноструктурованих сплавів саме авторів цього огляду В. С. Кублановського та О. Л. Берсірової [44].

У статті члена-кореспондента НАН України А. О. Омельчука йде мова про спосіб електрохімічного видалення радіонуклідного забруднення поверхонь технологічного обладнання атомних електростанцій, розроблений хіміками академії, а саме вченими ІЗНХ НАН України А. О. Омельчуком зі співробітниками свого відділу. Метод успішно випробувано на Чорнобильській АЕС та на дослідницькому ядерному реакторі Інституту ядерних досліджень НАН України. За результатами випробувань створено пристрій для електрохімічної дезактивації металевих поверхонь обладнання в нестаціонарних умовах та розроблено конструкторсько-технологічну документацію для його серійного виробництва [45].

В огляді В. І. Пехньо, О. К. Трунової та Л. Б. Коваль розглянуто основні етапи розвитку хімії координаційних сполук в ІЗНХ НАН України від 30-х років ХХ століття і дотепер, міститься актуальний матеріал про використання синтезованих комплексів для створення функціональних матеріалів різного призначення [46, 47].

Дещо пізніше на шпальтах журналу надруковано огляд авторів В. І. Пехньо, А. О. Омельчука, О. В. Лінючевої, у якому

йде розповідь про Київську наукову електрохімічну школу та напрями наукових досліджень в галузі електрохімії, започаткованих в наукових установах і вищих навчальних закладах м. Києва [48].

Заслужений авторитет та світове визнання Київській електрохімічній школі здобули результати фундаментальних досліджень у галузі електрохімічної науки, що охоплюють широке коло наукових напрямів: розплавлені та тверді електроліти, водні та неводні розчини електролітів, кінетика електродних процесів, піро- та гідрометалургія, фінішне оброблення поверхні металів, гальванотехніка, електрохімічний синтез, електрохімічна енергетика, екологія, електрохімічні сенсори, фотоелектрохімія.

На закінчення розповіді про урочистості 90-річчя Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України нагадаємо слова зі звернення академіка В. І. Пехньо до читачів «Українського хімічного журналу»: *«Наш Інститут та «Український хімічний журнал» мають спільну і нерозривну біографію... Можна навести десятки прізвищ блискучих учених, які є справжньою гордістю українського народу і світового співтовариства. Більшість із них були авторами численних наукових статей і в нашому «Українському хімічному журналі». Наука не може стояти на місці. Її історія, наша історія продовжується, а «Український хімічний журнал» сприяє тому, щоб її люди і події були гідно закарбовані в наукових анналах для прогресу і процвітання свого народу».*

Сьогодення журналу

Із 2019 року «Український хімічний журнал» перейшов на сучасний формат у вигляді не тільки друкованого, але й електронного видання, офіційний статус якого було підтверджено у квітні 2020 року: (ISSN 2708-1281; eISSN 2708-129X).

Наразі журнал перереєстровано в Міністерстві юстиції України, отримано свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації серія KB, № 23437-13277 ПР. У 2021 році оновлено Web-сайт видання <https://ucj.org.ua>. «Український хімічний журнал» входить до таких наукометричних баз даних: Index Copernicus Journals Master (з 2019 р.), Directory of Open Access Journals (з 2019 р.), Directory of Open Access scholarly Resources (з 2019 р.), Research Bib (з 2019 р.), Google Академія (з 2010 р.), Cross Ref (з 2019 р.), Наукова періодика України НБУВ (з 2014 р.).

Журнал має DOI (префікс 10.33609). Слід відзначити, що переведення сайту «Українського хімічного журналу» на платформу Open Journal System й отримання префіксу DOI дозволило значно підвищити рейтинг публікацій співробітників Інституту за рахунок їхньої візуалізації (з 2005 р.) на сайті журналу <https://ucj.org.ua> та автоматичного надходження до наукометричних баз даних, перелік яких є на обкладинці журналу.

Як і раніше, «Український хімічний журнал» – єдине в Україні широкопрофільне хімічне видання, публікує оригінальні оглядові статті з теоретичних і прикладних проблем сучасної хімії, охоплюючи багато її розділів: неорганічну, фізичну хімію, електрохімію, хімію органічних і високомолекулярних сполук, а також видання тематичних випусків, присвячених перспектив-

ній і злободенній проблематиці, яка включає актуальні аспекти сучасної хімічної науки, а саме фізико-неорганічної і нанохімії, координаційної та біокоординаційної хімії, альтернативної енергетики та «зеленої» хімії. Продовжується традиція висвітлення оперативної інформації про міжнародні та українські конференції, з'їзди, сесії наукових рад НАН України з проблем «Неорганічна хімія» та «Електрохімія», статті до різних пам'ятних дат, ювілеїв тощо.

Періодичність журналу на сьогодні: 6 здвоєних номерів у паперовому варіанті та 12 щомісячних онлайн-випусків. Друк наукових статей здійснюється як українською, так і англійською мовами. У бібліотеці ІЗНХ НАНУ зберігається повний комплект друкованих випусків «Українського хімічного журналу».

Останні майже чотири роки були і є дуже складними для нашої держави, всіх без винятку громадян і практично кожної установи. Науковці працювали в умовах надзвичайного стану, що склались внаслідок військової агресії РФ проти України. Значна частина співробітників вимушена працювати у дистанційному режимі. Ускладнилася участь науковців у міжнародних наукових форумах: конференціях, у виконанні спільних проєктів тощо. Це суттєво вплинуло на результати наукової та науково-організаційної діяльності, у тому числі і на видавничу діяльність «УХЖ».

Найбільшу активність як автори наукових статей журналу проявляють науковці Інституту загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України, бо журнал акредитовано саме в цьому інституті. На його шпальтах у період з початку нового тисячоліття досить часто з'являються стат-

ті авторів (крім тих, про яких йшла мова вище) – членів академії НАНУ В. М. Огенька, Г. Я. Колбасова (25 статей), докторів хімічних наук Е. В. Панова, В. С. Кублановського (45 публікацій), Є. А. Мазуренка (32 праці), Л. Х. Козіна (22 статті), Т. А. Мирної, О. К. Трунової, Ю. К. Пірського, Ю. С. Дзязько, науковців більш молодшого покоління О. А. Варзацького, С. І. Орисик, В. Я. Чернія, С. О. Солопана та інших. Досить часто публікуються в «Українському хімічному журналі» науковці Київського національного університету імені Тараса Шевченка: члени академії НАН України І. О. Фрицький, М. С. Слободяник, професори В. Г. Сиромятников, С. А. Неділько, В. М. Кокозей (31 стаття), К. В. Тереміленко; професор Н. М. Антрапцева (Національний університет біоресурсів і природокористування України) – 39 статей, науковці Львівського національного університету – академік НАН України Р. Є. Гладішевський та співробітники кафедри неорганічної хімії; Фізико-хімічного інституту НАН України та Одеського національного університету імені І. І. Мечникова – В. Ф. Зінченко, В. П. Доценко, Н. П. Єфрешина, І. Й. Сейфулліна, О. Е. Марцинко; Ужгородського національного університету – Є. Ю. Переш, І. Є. Барчій, С. Ю. Чундак, М. О. Малаховська і ще багато-багато інших.

На сьогодні головним редактором журналу затверджено Сергія Олександровича Солопана, доктора хімічних наук, директора Інституту загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України, спеціаліста у галузі хімії твердого тіла, фізико-неорганічної хімії функціональних речовин і матеріалів. У складі редколегії продовжують працювати А. Г. Бі-

лоус, Р. Є. Гладішевський, Г. Я. Колбасов, А. О. Омельчук, В. І. Кальченко, В. В. Брей, В. В. Бонь, О. О. Бровко, Ю. С. Дзязько, К. Д. Першина, В. Я. Черній, І. О. Фрицький; введено С. І. Орисик, В. Є. Кузьміна, О. К. Трунову, О. Л. Берсирова, К. В. Тереміленко, Ю. Л. Ягупольського, низку іноземних науковців. Склад редакційної колегії знаходиться у стані постійного оновлення та омолодження.

У цей ювілейний рік особливо приємно побажати головному редактору і колективу редколегії «Українського хімічного журналу» нових творчих успіхів у справі популяризації та висвітленні наукових здобутків у галузі хімії, побажати більше публікацій від талановитих авторів, які через свої праці, статті, доповіді передають своїм учням, послідовникам і читачам частку своєї творчої наснаги і любові до науки, до хімії, до України!

100 YEARS OF THE UKRAINIAN CHEMICAL JOURNAL. HISTORY AND PRESENT.

***L. B. Koval, I. M. Skryptun,
M. F. Zakharchenko***

*V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry NAS of Ukraine,
32/34 Akad. Palladina Ave., 03142 Kyiv,
Ukraine
e-mail: lbkoval69@gmail.com*

In 2025, «Ukrainian Chemical Journal» will celebrate a landmark event – the 100th anniversary of its founding. The history of the magazine for the period of the XX and first years of the XXI century, the names of the responsible

editors, the editorial boards in different years and the names of individual authors, prominent chemists of Ukraine are highlighted on its pages. Such a solemn event -- the centenary anniversary of the journal -- gives an opportunity to look back, restore in the memory of prominent scientists-chemists of different generations, who were even today the most active authors, patriots of the journal, whose publications, experimental articles and reviews (retrospective, current, reviews-forecasts) raised and held high the authority of the journal and how in the mirror reflect the development of research in various fields of fundamental and applied chemistry in our country.

The journal reflects the achievements of chemical scientists in almost all branches of modern chemistry and partly chemical technology, and is available not only to venerable scientists, but also to beginners – graduate students and applicants. More than one generation of chemical scientists has grown up on its publications, of whom the chemical science of Ukraine is still proud today. The first editor-in-chief of the journal was Professor, later Corresponding Member of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR K. Krassusky, then, the editor-in-chief of the journal was Professor M. Valyashko, a recognized chemist-pharmacist in Ukraine; subsequent editors – academicians of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR A. Dumanskyi, Ye. Shylov, A. Babko, Yu. Delimarskyi, O. Horodyskyi; from 1992 to 2015, Academician of the NAS of Ukraine S. Volkov, then (from 2016 to 2024) V. Pekhnyo. Today, the editor-in-chief of the journal is Doctor of Sciences (Chemistry) S. Solopan.

In this anniversary year, it is especially pleasant to wish the editor-in-chief and the edito-

rial board of the Ukrainian Chemical Journal new creative successes in the promotion of scientific achievements in the field of chemistry, to wish more publications from talented authors who, through their works, articles, and reports, convey to their students, followers, and readers a share of their creative inspiration and love for science, for chemistry, and for Ukraine!

Keywords: inorganic chemistry, analytical chemistry, organic chemistry, electrochemistry, physical-chemical analysis, chemical school.

ЛІТЕРАТУРА

1. К истории Украинского химического журнала // Укр. хим. журн. 2000. Т. 66. № 9. С. 4–6.
2. Найстарішому хімічному виданню країни «УХЖ» – 90 років // Укр. хим. журн. 2015. Т. 81. № 9. С. 3–6.
3. Бабко А. К. Развитие аналитической химии в Украине за 50 лет. // Укр. хим. журн. 1967. Т. 33. С. 1187–1199.
4. Яцимирский К. Б. Основные проблемы химии комплексных соединений. // Укр. хим. журн. 1963. Т. 29. № 9. С. 889–896.
5. Яцимирский К. Б., Шека И. А. Основные этапы развития неорганической химии за 50 лет // Укр. хим. журн., 1967. Т. 33. № 11. С. 1110–1120.
6. Делимарский Ю. К. Термическое исследование искусственных алюмосиликатов // Укр. хим. журн. 1931. Т. 6, № 4. С. 175–185.
7. Думанський А. В., Делімарський Ю. К. Історія Інституту загальної та неорганічної хімії АН УРСР // Записки Інституту хімії АН УРСР. 1947. Т. 9. № 3. С. 295–319.
8. Делимарский Ю. К. Развитие электрохимии на Украине // Укр. хим. журн. 1967. Т. 33, № 11. С. 1145–1151.
9. Делимарский Ю. К., Шека И. А. Современное состояние и задачи неорганической химии в Украине // Укр. хим. журн. 1962.

- Т. 28. № 1. С. 3–14.
10. Делимарский Ю. К., Зарубицкий О. Г., Будник В. Г. Перенос металлов с катода на анод при электролизе расплавленных электролитов // УХЖ. 1976. Т. 42. № 7. С. 675–678.
11. Волков С. В. Современные аспекты и тенденции развития неорганической химии // Укр. хим. журн. 1981, Т. 47. № 11. С. 1132–1138.
12. Волков С. В. Роль высокотемпературной неорганической координационной химии в энерготехнологии // Укр. хим. журн. 1982. Т. 48. № 7. С. 675–681.
13. Волков С. В. Развитие высокотемпературной неорганической химии на Украине // Укр. хим. журн. 1984. Т. 50. № 9. С. 899–916.
14. Голуб А. М. К вопросу об украинской терминологии и номенклатуре в неорганической химии // Укр. хим. журн. 1958. Т. 24. № 1. С. 118–129.
15. Голуб А. М. Еще раз об украинской номенклатуре в неорганической химии // Укр. хим. журн. 1959. Т. 25. № 5. С. 674–679.
16. Голуб А. М. Про сучасну українську хімічну термінологію // Укр. хим. журн. 1974. Т. 40, № 6. С. 658–659.
17. Скопенко В. В., Голуб О. А. Про сучасну хімічну термінологію та номенклатуру з неорганічної хімії // Укр. хим. журн., 1993. Т. 59. Вип. 1. С. 100–109.
18. Кокозей В. М. Науково-педагогічна і громадська діяльність А. М. Голуба (до 100-річчя від дня народження) // Укр. хим. журн. 2018. Т. 84. № 12. С. 97–100.
19. Зарубицкий О. Г. Нетривиальные приемы электролиза ионных расплавов // Укр. хим. журн. 2000. Т. 66. № 5. С. 3–11.
20. Зарубицкий О. Г., Козин Л. Х. Электрохимическое получение и рафинирование металлов и металлоидов для новой техники // Укр. хим. журн. 2004. Т. 70. № 7. С. 100–109.
21. Шека І. А., Волков С. В., Коваль Л. Б. Деякі сучасні проблеми та досягнення з неорганічної хімії в Україні. // Укр. хим. журн. 1997. 63. № 5. С. 3–8.
22. Волков С. В. Развитие координационной теории А. Вернера в рамках высокотемпературной координационной химии // Укр. хим. журн. 1993. Т. 59. № 5. С. 457–485.
23. Скопенко В. В., Кокозей В. М., Павленко В. А. Прямой синтез координационных соединений из металлических порошков и оксидов металлов и их свойства // Укр. хим. журн. 1993. Т. 59. № 5. С. 485–497.
24. Пилипенко А. Т. Комплексные соединения в аналитической химии // Укр. хим. журн. 1993. Т. 59. Вип. 5. С. 498–503.
25. Волков С. В., Омельчук А. О. Утворення, існування та застосування сполук металів нижчих ступенів окиснення в розтопленому стані // Укр. хим. журн. 2000. Т. 66. № 9. С. 7–13.
26. Тарасевич Ю.И. Современное состояние исследований в Украине в области химии поверхности, адсорбции и ионного обмена // Укр. хим. журн. 2000. Т. 66. № 9. С. 27–36.
27. Антонович В.П., Ефрюшина Н.П. Развитие химии и химической технологии редких элементов в Физико-химическом институте НАН Украины // Укр. хим. журн. 2000. Т. 66. № 9. С. 52–58.
28. Ковтун Г. О., Суховеев В. В. Протизношувальні властивості комплексів металів: зв'язок будови з ефективністю // Укр. хим. журн. 2000. Т. 66. № 9. С. 22–27.
29. Волков С. В. О некоторых тенденциях развития ряда направлений общей и неорганической химии // Укр. хим. журн. 2004. Т. 70. № 3. С. 3–14.
30. Институту общей и неорганической химии им. В.И. Вернадского НАН Украины 75 лет // Укр. хим. журн. 2004. Т. 70. № 7. С. 3–8.
31. Волков С.В. Научные направления и достижения в области физико-неорганической химии // Укр. хим. журн. 2004. Т. 70 № 7. С. 9–16.
32. Білоус А. Г. Проблеми хімії твердого тіла // Укр. хим. журн. 2004. Т. 70. № 7. С. 16–22.
33. Омельчук А. А. Технология и электрохимия неорганических материалов // Укр. хим. журн. 2004. Т. 70, № 7. С. 45–51.
34. Волков С. В. От классической физической химии неорганических соединений к современной физико-неорганической химии

- // Укр. хім. журн. 2011. Т. 77. № 1. С. 3–8.
35. Волков С. В. Современное развитие и воплощение концепций физико-неорганической химии // Укр. хім. журн. 2012. Т. 78. № 1. С. 3–5.
36. Волков С. В. О некоторых приоритетных направлениях, фундаментальных и «ориентированных» химических исследований // Укр. хім. журн. 2012. Т. 78. № 3. С. 3–10.
37. Волков С. В., Омельчук А. А. Реализация биосферных та ноосферных концепцій В. И. Вернадского в работах Института общей и неорганической химии им. В.И. Вернадского НАН Украины // Укр. хім. журн. 2013. Т. 79. № 1. С. 3–6.
38. Волков С. В., Козин Л. Ф., Омельчук А. О. Некоторые проблемы современной электрохимии // Укр. хім. журн. 2005. Т. 71. № 7. С. 3–32.
39. Пехньо В. И. Строение халькогенхлоридных комплексов палладия (IV) // Укр. хім. журн. 1997. Т. 63. № 2. С. 82–86.
40. Пехньо В. І., Костроміна Н. А., Орисик С. І., Рибачук Л. М. До історії хімії комплексних сполук в ІЗНХ НАНУ. Особливості комплексоутворення металів VIII групи з органічними лігандами // Укр. хім. журн. 2004. Т. 70. № 7. С. 22–32.
41. Пехньо В. І., Коваль Л. Б. Неорганічна хімія в Україні: з минулого в майбутнє. // Укр. хім. журн. 2018. Т. 84. № 11. С. 3–12.
42. Пехньо В. І., Коваль Л. Б., Омельчук А. О. До 150-річчя В. О. Плотнікова // Укр. хім. журн. 2023. № 2. С. 71–82.
43. Колбасов Г. Я., Кублановський В. С. та інші. Електрохімія функціональних матеріалів і систем (ЕФМС) // Укр. хім. журн. 2021. Т. 87. № 3. С. 61–76.
44. Кублановський В. С., Берсірова О. Л. Електроосадження металів і сплавів із водних розчинів // Укр. хім. журн. 2021. Т. 87. № 7. С. 32–46.
45. Omelchuk A.O. How to detect radionuclides? On the electrochemical purification of technological equipment from radionuclide contamination – development by chemists of the Academy. // Укр. хім. журн. – 2021. – Т. 87, № 4. – С. 111–116.
46. Коваль Л. Б., Трунова О. К., Пехньо В. І. Розвиток досліджень хімії координаційних сполук в ІЗНХ НАН України від 30-х років ХХ століття по сьогодні (частина 1) // Укр. хім. журн. – 2021. – Т. 87, № 11. – С. 21–44;
47. Трунова О. К., Коваль Л. Б., Пехньо В. І. Розвиток досліджень хімії координаційних сполук в ІЗНХ НАН України від 30-х років ХХ століття по сьогодні (частина 2) // Укр. хім. журн. – 2021. – Т. 87, № 12. – С. 63–96.
48. Пехньо В. І., Омельчук А. О., Ліночєва О. В. Київська наукова електрохімічна школа // Укр. хім. журн. – 2022. – Т. 88. – № 6. – С. 71–102.

REFERENCES

1. To the history of the Ukrainian Chemistry Journal. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2000. **66** (9): 4–6. (In Russian).
2. To the oldest chemical issue of the country Ukrainian Chemistry Journal – 90 years old. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2015. **81** (9): 3–6. (In Ukrainian).
3. Babko A.K. Evolution of analytical chemistry in Ukraine over 50 years. *Ukrainian Chemistry Journal*. – 1967. **33** (11): 1187–1199. (In Russian).
4. Yatsimirsky K.B. Main problems of chemistry of complex compounds. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1963. **29** (9): 889–896. (In Russian).
5. Yatsimirsky K.B., Sheka I.A. Main stages of evolution of inorganic chemistry for 50 years. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1967. **33** (11): 1110–1120. (In Russian).
6. Delimarsky Yu.K. Thermal study of artificial aluminosilicates. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1931. **6** (4): 175–185. (In Russian).
7. Dumansky A.V., Delimarsky Yu.K. History of the Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR // *Notes of the Institute of Chemistry of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*. 1947. **9** (3): 295–319. (In Ukrainian).
8. Delimarsky Y.K. Development of electrochemistry in Ukraine. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1967. **33** (11): 1145–1151. (In Russian).

9. Delimarsky Yu.K., Sheka I.A. Current state and problems of inorganic chemistry in Ukraine. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1962. **28** (1): 3–14. (In Russian).
10. Yu.K. Delimarsky, O.G. Zarubytsky, V.G. Budnik. Transfer of metals from the cathode to the anode during electrolysis of molten electrolytes. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1976. **42** (7): 675–678. (In Russian).
11. Volkov S.V. Modern aspects and trends in the development of inorganic chemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1981. **47** (11): 1132–1138. (In Russian).
12. Volkov S.V. The role of high-temperature inorganic coordination chemistry in energy technology. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1982. **48** (7): 675–681. (In Russian).
13. Volkov S.V. Development of high-temperature inorganic chemistry in Ukraine. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1984. **50** (9): 899–916. (In Russian).
14. Golub A.M. To the question of Ukrainian terminology and nomenclature in inorganic chemistry *Ukrainian Chemistry Journal*. 1958. **24** (1): 118–129. (In Russian).
15. Golub A.M. Once again about Ukrainian nomenclature in inorganic chemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1959. **25**, (5): 674–679. (In Russian).
16. Golub A.M. About modern Ukrainian chemical terminology. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1974. **40** (6): 658–659. (In Ukrainian).
17. Skopenko V.V., Golub O.A. On modern chemical terminology and nomenclature in inorganic chemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1993. **59** (1): 100–109. (In Ukrainian).
18. Kokozay V.M. Scientific-pedagogical and social activities of A.M. Golub (to the 100th anniversary of his birth). *Ukrainian Chemistry Journal*. 2018. **84** (12): 97–100. (In Ukrainian).
19. Zarubytsky O.G. Non-trivial methods of electrolysis of ionic melts. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2000. **66** (5): 3–11. (In Russian).
20. Zarubytsky O.G., Kozin L.F. Electrochemical obtaining and refining of metals and metal-oids for new technology. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2004. **70** (7): 100–109. (In Russian).
21. Sheka I.A., Volkov S.V., Koval L.B. Some modern problems and achievements in inorganic chemistry in Ukraine. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1997. **63** (5): 3–8. (In Ukrainian).
22. Volkov S.V. Development of A. Werner's coordination theory within the framework of high-temperature coordination chemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1993. **59** (5): 457–485. (In Russian).
23. Skopenko V.V., Kokozay V.M., Pavlenko V.A. Direct synthesis of coordination compounds from metal powders and metal oxides and their properties. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1993. **59** (5): 485–497. (In Russian).
24. Pylypenko A.T. Complex compounds in analytical chemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1993. **59** (5): 498–503. (In Russian).
25. Volkov S.V., Omelchuk A.A. Formation, existence and application of metal compounds of lower oxidation states in the molten state. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2000. **66** (9): 7–13. (In Ukrainian).
26. Tarasevich Yu. I. Current state of research on surface chemistry, adsorption, ion exchange in Ukraine. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2000. **66** (9): 27–36. (In Russian).
27. Antonovych V.P., Efrushyna N.P. Development of chemistry and chemical technology of liquid elements in the Physics and Chemistry Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2000. **66** (9): 52–58. (In Russian).
28. Kovtun G.O., Sukhoveev V.V. Anti-wear properties of metal complexes: relationship between structure and efficiency. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2000. **66** (9): 22–27. (In Ukrainian).
29. Volkov S.V. On some trends in the development of a number of directions of general and inorganic chemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2004. **70** (3): 3–14. (In Russian).
30. The V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine is 75 years of age. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2004. **70** (7): 3–8. (In Russian).
31. Volkov S.V. Scientific trends and achievements

- in the field of physical-inorganic chemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2004. **70** (7): 9-16. (In Russian).
32. Belous A.G. Problems of solid state chemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2004. **70** (7): 16-22. (In Ukrainian).
33. Omelchuk A.A. Technology and electrochemistry of inorganic materials. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2004. **70** (7): 45-51. (In Russian).
34. Volkov S.V. From classical physical chemistry of inorganic compounds to modern physical-inorganic chemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2011. **77** (1): 3-8. (In Russian).
35. Volkov S.V. Contemporary development and implementation of concepts of physical and inorganic chemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2012. **78** (1): 3-5. (In Russian).
36. Volkov S.V. On some priority directions of fundamental and «oriented» chemical research. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2012. **78** (3): 3-10. (In Russian).
37. Volkov S.V., Omelchuk A.A. Implementation of V.I. Vernadsky's Biosphere and Noosphere Concepts in the Works of the V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine). *Ukrainian Chemistry Journal*. 2013. **79** (1): 3-6. (In Russian).
38. Volkov S.V., Kozin L.F., Omelchuk A.O. Some Problems of Modern Electrochemistry. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2005. **71** (7): 3-32. (In Russian).
39. Pekhnyo V.I. Structure of palladium(IV) chalcogen chloride complexes. *Ukrainian Chemistry Journal*. 1997. **63** (2): 82-86. (In Russian).
40. Pekhnyo V.I., Kostromina N.A., Orysyk S.I., Rybachuk L.M. To the history of complex compounds chemistry at the IGIC of NAS Ukraine. Features of complexation of group VIII metals with organic ligands. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2004. **70** (7): 22-32. (In Ukrainian).
41. Pekhnyo V.I., Koval L.B. Inorganic chemistry in Ukraine: from the past to future. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2018. **84** (11): 3-12. (In Ukrainian).
42. Pekhnyo V.I., Koval L.B., Omelchuk A.O. To the 150th anniversary of the birth academician Volodymyr Oleksandrovich Plotnikov. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2023. **89** (2): 71-82. (In Ukrainian). (doi: 10.33609/2708-129X.89.02.2023.71-82).
43. Kolbasov G.Ya., Kublanovskiy V.S. et al. Electrochemistry of functional materials and systems (EFMS). *Ukrainian Chemistry Journal*. 2021. **87** (3): 61-76. (In Ukrainian). (doi: 10.33609/2708-129X.87.03.2021.61-76).
44. Kublanovskiy V.S., Bersirova O.L. Electrodeposition of metals and alloys from water damage. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2021. **87** (7): 32-46. (In Ukrainian). (doi: 10.33609/2708-129X.87.07.2021.32-46)
45. Omelchuk A.O. How to detect radionuclides? On the electrochemical purification of technological equipment from radionuclide contamination - development by chemists of the Academy. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2021. **87** (4): 115-120. (doi: 10.33609/2708-129X.87.04.2021.111-116).
46. Koval L.B., Trunova O.K., Pekhnyo V.I. Development of research of chemistry of coordination compounds in V.I. Vernadsky institute of general and inorganic chemistry NAS of Ukraine: from the 30's twentieth century (part 1). *Ukrainian Chemistry Journal*. 2021. **87** (11): 21-44. (In Ukrainian). (doi: 10.33609/2708-129X.87.11.2021.21-44).
47. Trunova O.K., Koval L.B., Pekhnyo V.I. Development of research of chemistry of coordination compounds in V.I. Vernadsky institute of general and inorganic chemistry NAS of Ukraine: from the 30's twentieth century (part 2). *Ukrainian Chemistry Journal*. 2021. **87** (12): 63-96. (In Ukrainian). (doi: 10.33609/2708-129X.87.12.2021.63-96).
48. Pekhnyo V.I., Omelchuk A.O., Linyucheva O.V. Kyiv Scientific Electrochemical School. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2022. **88** (6): 71-102. (In Ukrainian). (doi: (10.33609/2708-129X.88.06.2022.71-101).

Стаття надійшла 14.09.2025.

АКАДЕМІК АНАТОЛІЙ БАБКО – ВИДАТНИЙ ХІМІК УКРАЇНИ (ДО 120-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ)

Л. Б. Коваль¹, М. Ф. Захарченко¹, Н. М. Антραπεва²

¹ Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України,
просп. Академіка Палладіна, 32/34, Київ 03142, Україна;

² Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, Київ 03041, Україна
e-mail: lbkoval69@gmail.com



Рис. 1. Академік А. К. Бабко
(15.10.1905–7.01.1968)

Fig. 1. Academician A.K. Babko.

У жовтні 2025 року наукова хімічна спільнота України відзначає 120-річчя від дня народження Анатолія Кириловича Бабка – видатного вченого, добре відомого фахівця у галузі хімії координаційних сполук, аналітичної хімії та хімічного аналізу в нашій країні та за її межами, академіка АН УРСР, доктора хімічних наук, професора, заслуженого діяча науки України, засновника Київської наукової школи з аналітичної хімії, хімії комплексних сполук та хімічного аналізу. Роботи вченого у галузі аналітичної хімії та хімічного аналізу є значним внеском у хімічну науку.

Статтю присвячено життєвому, науковому, науково-організаційному та педагогічному шляху А. К. Бабка. Обраним полем діяльності стала для випускника Київського політехнічного інституту аналітична хімія, зокрема дослідження і розвиток наукових напрямків аналітичної хімії та фізико-хімічного аналізу, у тому числі й нових, та педагогічна діяльність.

Народився Анатолій Кирилович 15(2) жовтня 1905 року в сім'ї залізничника Кирила Бабка. У 1908 році родина переїхала до м. Сновська Чернігівської області, де Анатолій навчався у трудовій середній школі. Ще учнем молодших класів він був дуже допитливим, багато читав, і не тільки художню літературу, захоплювався при-

родничими науками, але насамперед його цікавила хімія з її загадовими явищами, кольоровими розчинами та іншими «дивами»... Навіть вдома Анатолій мав маленьку лабораторію, де потрошку «хімічив» – змішував фарби, готував розчини: проводив свої досліди і таке інше.

Трудову школу Анатолій Бабко закінчив

екстерном у 1921 році, самостійно підготувався, склав у Чернігові іспит із курсу середньої школи і отримав атестат. Далі він продовжував навчання як студент хіміко-технологічного факультету Київського політехнічного інституту. На кафедрі аналітичної хімії, де завідувачем був талановитий хімік-аналітик і педагог М. О. Тананаєв, Анатолій Кирилович виконав дослідницьку дипломну роботу, присвячену розробленню об'ємного методу визначення діоксиду кремнію в силікатах. Після завершення інститутського курсу навчання і блискучого захисту диплому у 1927 році, йому було присвоєно звання інженера-технолога за спеціальністю «Технологія силікатної промисловості». Дуже талановитого випускника інституту А. К. Бабка було залишено асистентом при кафедрі аналітичної хімії М. О. Тананаєва.

Розпочався новий етап у житті молодого педагога й майбутнього науковця – багато часу займала педагогічна праця, робота зі студентами, але А. К. Бабко дуже прагнув займатися наукою. Невдовзі, у 1928 році він вступив до аспірантури на ту ж кафедру під керівництвом талановитого професора М. О. Тананаєва. У ті роки кафедра аналітичної хімії при КПП була потужним науково-дослідним центром. Саме тут А. К. Бабко сформувався як зрілий самостійний науковець, освічений хімік-аналітик. Після закінчення аспірантури він продовжував роботу зі студентами, за сумісництвом працював у різних вищих навчальних закладах Києва, зокрема з 1934 року – доцентом на кафедрі аналітичної хімії Київського державного університету, з 1937 – старшим науковим співробітником Інституту хімії ВУАН України, пізніше пе-

рейменованим в Інститут загальної та неорганічної хімії АН УРСР. У цьому ж році А. К. Бабко захистив кандидатську дисертацію «Изучение адизарината алюминия», а вже через три роки, у 1940-му – докторську дисертацію на тему «Изучение процессов комплексообразования – к использованию внутрикомплексных соединений в колориметрии». У 1943 році Бабко був затверджений у вченому званні професора.

Коли у 1940 році в Інституті загальної та неорганічної хімії АН УРСР (скорочено ІЗНХ) організували Відділ аналітичної хімії, то незмінним керівником його став доктор хімічних наук Анатолій Кирилович Бабко. Він був запрошений в Інститут для підсилення досліджень у галузі аналітичної хімії. Його поява значно підняла рівень досліджень і збагатила тематику інституту. Головний науковий напрямок відділу – розроблення теоретичних основ аналітичної хімії, хімії комплексних сполук та застосування їх для аналізу. Майже на три роки через Другу світову війну наукову роботу було частково призупинено. Під час війни А. К. Бабко, перебуваючи разом з інститутом в евакуації в Уфі, виконував важливі роботи для оборонної промисловості – провадив вивчення кольорових та рідкісних елементів уральських покладів руд, досліджував прилади запалювання авіаmotorів, вів організацію контролю виробництва деяких нових сплавів.

Після повернення Інституту до Києва у Відділі аналітичної хімії ІЗНХ під керівництвом доктора хімічних наук А. К. Бабка продовжувалися й були розгорнуті нові фундаментальні дослідження, які стосувалися загальних питань аналітичної хімії, використання органічних реагентів у

неорганічному аналізі, хімії комплексних сполук та застосування їх у фотометрії, люмінесценції; хроматографічному та хемілюмінесцентному аналізі, екстракційних методах визначення окремих елементів тощо.

За керівництва А. К. Бабка розроблено низку методів кількісного хімічного аналізу визначення індію, міді, кадмію, ванадію, аргентометричне визначення формальдегіду та ін. (В. І. Городиський, С. Д. Шаргородський, К. С. Мірошніченко). Розроблено метод кількісного визначення індію в концентратах (Г. П. Поліщук, О. І. Волкова), колориметричний метод визначення фтор-іона та утворення залізо-роданідного комплексу у розчині (К. Є. Клейнер), досліджено кольорові молібден-роданідні комплекси, роданідні комплекси заліза у неводних розчинах (В. С. Коденська). Серед багатьох створених Анатолієм Кириловичем наукових напрямів важливе місце займав хемілюмінесцентний аналіз – одне з останніх його наукових захоплень (І. О. Калініченко, Н. М. Луковська, Л. І. Дубовенко, Г. В. Терлецька).

У 1948 році Анатолія Кириловича обрано членом-кореспондентом, а у 1957 за досягнення в розвитку аналітичної хімії та хімічного аналізу – академіком АН УРСР. Його наукова діяльність була широкою і багатогранною. За допомогою фізико-хімічного аналізу він обґрунтував загальні положення ступінчастої дисоціації в розчинах і методи визначення складу розчинених комплексів. Йому належать систематичні дослідження природи забарвлених комплексів у розчинах, розроблення фізико-хімічних основ оптичних методів аналізу для колориметричного визначення складу комплексів і умов їхнього існування у розчинах.



Рис. 2. А. К. Бабко готує експеримент.

Fig. 2. A. K. Babko prepares an experiment.

Його дослідження процесів комплексоутворення в розчинах стосуються не лише аналітичної, а й неорганічної і фізичної хімії. Розроблені Бабком та його співробітниками методи аналізу комплексних сполук на основі вивчення оптичної густини розчинів та інших властивостей лягли в основу нової галузі – фізико-хімічного аналізу комплексних іонних сполук. Анатолій Кирилович розвинув та широко запровадив метод ізомолярних серій, за допомогою якого було встановлено склад та стійкість багатьох комплексних сполук у розчинах. Важливе теоретичне і практичне значення мають роботи А. К. Бабка в галузі потрійних комплексів, утворених у системі іон металу – аденд – органічна основа, дослідження

стану та реакційної здатності високовалентних іонів у розчині, комплексних гетерополікислот, а також дослідження каталітичних реакцій. Особливе значення в аналітичній хімії має утворення нерозчинних комплексних сполук. Анатолій Кирилович довів, що з органічних реагентів найбільше значення мають ті, що дають внутрішньоконкомплексні сполуки. Окрім використання самого процесу утворення комплексних сполук для реакцій осадження і розчинення, він вказав на застосування вже готових комплексних з'єднань як осаджувачів та підкреслював велике значення розчинності численних комплексів в органічних розчинниках для аналітичної хімії. Також А. К. Бабко багато зробив для розширеного застосування екстракції в аналітичній хімії. Ці та інші роботи дістали широке визнання в нашій країні та за її межами, а розроблені методи широко застосовували свого часу у заводській лабораторній практиці – титриметричний метод визначення кремнієвої кислоти у силікатах, вапняковий метод для лужних металів у силікатах та гірських породах, фотометричний метод визначення церію тощо.

А. К. Бабко дуже вдало поєднував наукову та дослідницьку діяльність із педагогічною та освітянською працею. З 1930 року він займав посаду доцента кафедри аналітичної хімії Київського хіміко-технологічного інституту харчової промисловості, з 1934 – працював у Київському державному університеті імені Т. Г. Шевченка спочатку доцентом, а згодом з 1944 до 1960 року очільником кафедри аналітичної хімії, пізніше і до кінця свого життєвого шляху займав посаду професора тієї ж кафедри. Він читав студентам лекції – викладав курс аналітич-

ної хімії, низку розроблених ним спецкурсів із кількісного та якісного аналізу, керував дипломними та аспірантськими роботами, проводив наукові семінари, виступав із доповідями на конференціях, нарадах, і ці доповіді завжди були глибокими і змістовними. Працюючи в університеті, Бабко продовжував займатися науково-дослідною роботою і навіть сам, або разом зі своїми студентами проводив хімічні експерименти у лабораторії. Він надавав цінні поради дипломникам та аспірантам, консультував заводських працівників-аналітиків. Особливо актуальними й цінними були написані академіком підручники з кількісного, фотометричного та колориметричного аналізів, які неодноразово було перевидано і перекладено на кілька іноземних мов. Разом із співавторами А.Т. Пилипенком, І. В. П'ятницьким, М. Й. Штокало, Л. І. Дубовенко, О. П. Рябушком, Н. М. Луковською Анатолій Кирилович Бабко підготував вісім підручників і монографій: Колориметрический анализ. М. – Л., 1951; Физико-химический анализ комплексных соединений в растворах. К., 1955; Количественный анализ. М., 1956; 1962; 1968; Хемилюминесцентный анализ. К., 1966; Фізико-хімічні методи аналізу. М., 1968; Метал-індикаторний метод вивчення комплексів у розчині. К., 1969; Фотометричний аналіз: загальні відомості і апаратура. М., 1968; англ. – 1971; польською – 1972; Фотометрический анализ. Методы определения неметаллов. М., 1974; англ. – 1976; Кількісний аналіз. К., 1974.

Частина книжок вийшла з друку вже після його смерті. Дотепер студенти-хіміки та вчителі вищої школи, інші науковці користуються підручниками і науковими статтями А. К. Бабка.

Багато часу А. К. Бабко приділяв науково-організаційній та видавничій роботі. Із 1958 по 1967 включно, тобто десять років, очолював редколегію і був головним редактором «Українського хімічного журналу» (скорочено – «УХЖ») і зробив його одним із кращих періодичних видань – одним із перших журнал почали перекладати англійською мовою під назвою «The Progress in Chemistry». Бабко приділяв багато уваги кожній статті, яку подавали до друку, сам робив за необхідності редакційну правку чи зауваження. Він був не тільки головним редактором, а й активним автором, патріотом «УХЖ»: із 1929 по 1957 роки він передав до друку 20 статей, серед яких три вийшли у «Записках Інституту хімії» (журнал, що видавався саме Інститутом хімії АН УРСР і який у 1948 році об'єднали з «УХЖ»), а за період керівництва «Українським хімічним журналом» – понад 80 статей, у тому числі огляди з розвитку аналітичної хімії в Україні. Серед співавторів його наукових праць – переважно співробітники та учні ІЗНХ АН УРСР та Київського університету – майбутній академік АН УРСР А. Т. Пилипенко, доктори та кандидати хімічних наук І. В. П'ятницький, А. М. Голуб, М. Й. Штокало, М. М. Тананайко, Б. Й. Набиванець, В. С. Коденська, К. Є. Клейнер, О. І. Волкова, І. О. Калініченко, П. Б. Міхельсон, Л. М. Євтушенко, Л. І. Дубовенко, Т. Т. Мітюрова, Ю. Ф. Шкаравський, Л. В. Маркова, Є. А. Мазуренко, Н. М. Луковська, В. В. Лукачина, Н. В. Ульянов, Г. І. Гридина, Т. Ю. Гетьман, П. П. Киш, Ф. Г. Жаровський, В. Ф. Горлач, Г. В. Терлецька, М. У. Приходько, Г. С. Лисецька і багато інших. А. К. Бабко також входив до складу редакційної ради «Журнала аналитической хи-

мии». Добре відомі його високопрофесійні щорічні огляди досягнень аналітичної хімії, які з 1957 по 1967 рік публікувалися в журналі «Заводская лаборатория». Він брав активну участь в організації наукових з'їздів, конференцій, семінарів. Виступав із науковими доповідями на різноманітних конференціях. Був керівником секції аналітичної хімії Всесоюзного хімічного товариства, головою проблемної Наукової ради з хімії комплексних сполук АН УРСР. У 1963 році його обрали титулярним членом Комісії з аналітичної хімії Міжнародного союзу теоретичної та прикладної хімії (ЮПАК). За свою плідну працю та наукову діяльність А. К. Бабко був нагороджений багатьма державними нагородами. У 1966 році йому присвоєно почесне звання заслуженого діяча науки України.

Анатолій Кирилович Бабко – засновник, напевно, найбільшої в Україні Київської наукової школи хіміків-аналітиків «Хімія комплексних сполук та їхнє застосування в аналізі». Школа була відома також і за кордоном. У школі проводили важливі дослідження в галузі аналітичної хімії, наукові семінари, де обговорювали одержані нові результати його учнів та інших науковців тощо. Анатолій Кирилович залишив наступним поколінням велику спадщину. За керівництва і за консультаціями А. К. Бабка підготовлено 50 кандидатів і 9 докторів наук, надруковано понад 450 наукових праць. Його наукові роботи отримали міжнародне визнання; особливо це стосується друкованих видань – підручників із кількісного, фотометричного та колориметричного аналізів, які неодноразово було перевидано та перекладено на іноземні мови. Вагомі етапи розвитку школи

пов'язані з творчою діяльністю його учня А. Т. Пилипенка. Наукова спадщина А. К. Бабка, його ідеї знайшли своє втілення у подальшому розвитку сучасної аналітичної хімії сьогодення.

7 січня 1968 року Анатолій Кирилович Бабко відійшов у засвіти.

Керівником Відділу аналітичної хімії Інституту загальної та неорганічної хімії АН УРСР став учень і послідовник наукових напрямків Анатолія Кириловича – доктор хімічних наук Анатолій Терентійович Пилипенко (академік АН УРСР з 1976 року), який водночас (з 1944 до 1975 рр.) працював у Київському державному університеті. У 1975 році Відділ аналітичної хімії ІЗНХ було переведено до новоствореного Інституту колоїдної хімії та хімії води (скорочено – ІКХХВ) АН УРСР, а керівником відділу залишився Пилипенко. Того ж року його обрано директором вищеназваного інституту. Наукові праці відділу періоду 70-х–80-х років ХХ ст. у галузі аналітичної хімії стосувалися синтезу та вивчення механізму утворення одно- та різнолігандних комплексних сполук рідкісних елементів з азот-, сірко- та селеновмісними органічними реагентами, пошуків практичного використання методів люмінесценції та хемілюмінесценції в аналізі; багато уваги приділяли розробленню загальної теорії фотометричних методів аналізу, методів водоочищення тощо. А. Т. Пилипенко – автор і співавтор 19 монографій, підручників, довідників, за якими й досі навчається не одне покоління студентів-хіміків, він – лауреат премії імені Л. В. Писаржевського (1984) за цикл робіт щодо обґрунтування фізико-хімічних методів захисту навколишнього середовища та його конт-

ролю, має звання «Заслужений діяч науки України».

Анатолій Кирилович Бабко водночас працював у двох наукових установах – Київському державному університеті (сучасна назва – Київський національний університет імені Тараса Шевченка) та в Інституті загальної та неорганічної хімії АН УРСР (нині – Інститут загальної та неорганічної хімії імені В. І. Вернадського НАН України). В обох установах він керував відділом або кафедрою аналітичної хімії, займався науковою діяльністю, мав учнів, аспірантів, брав активну участь у науково-організаційній роботі; на хімічному факультеті КДУ, як вже згадувалося вище, Бабко викладав студентам загальний курс аналітичної хімії, доповнював його новітніми на той час науковими дослідженнями щодо застосування екстракції для розділення окремих компонентів при аналізі складних об'єктів, розвитку фотометричного аналізу, особливо для визначення складу забарвлених комплексів і не тільки.

Доречно додати трохи історії про кафедру аналітичної хімії, яку було створено на хімічному факультеті університету ще у 1933 році. З 1944 по 1960 роки кафедрою керував професор А. К. Бабко. З 1960 р. кафедру очолив його учень і послідовник, доктор хімічних наук, професор І. В. П'яницький, пізніше – (1985–2000 рр.) – професор В. В. Сухан. У новому тисячолітті кафедрою керували професор, член-кореспондент НАН України В. М. Зайцев, професорка О. А. Запорожець, наразі – очільниця кафедри, доктор хімічних наук, доцент О. Ю. Тананайко.

На сьогодні на кафедрі потужний колектив викладачів, науковців, висококваліфі-

кованих спеціалістів-аналітиків успішно працює у різних галузях аналізу об'єктів довкілля, фармацевтичної хімії і фармацевтичного аналізу та напрямках сучасної аналітичної хімії: група Оксани Юрївни Тананайко займається створенням та дослідженням композитних матеріалів на основі діоксиду силіцію, отриманих за золь-гель-технологією, та їхнім подальшим застосуванням як хімічних сенсорів; продовжуються дослідження комплексуютьоворюючих, оптичних і електрохімічних властивостей нових аналітичних реагентів у розчині і на поверхні носіїв різної природи; створення флюоресцентних зондів для вирішення екологічних, біохімічних і медичних задач; розроблення адсорбентів, наноматеріалів для розділення або концентрування хімічних елементів, селективних мембран для сенсорів та багато інших методів аналізу для моніторингу довкілля і медичної діагностики. Ідеї, започатковані академіком Анатолієм Кириловичем Бабком, успішно продовжуються і розвиваються у роботах його учнів і нащадків.

У 1985 році, вшановуючи пам'ять свого вчителя з нагоди його 80-тої річниці від дня народження, колеги й учні кафедри аналітичної хімії Київського державного університету написали книгу про А. К. Бабка, яка вийшла друком у Києві (видавництво «Наукова думка» у серії «Біобібліографія учених Української РСР»). Авторами вступної статті А.Т. Пилипенком, І. В. П'ятницьким та М. М. Тананайко дуже ретельно і змістовно викладено матеріал про науковий і педагогічний шлях знаного українського вченого. О. І. Волкова та З. М. Ващенко склали хронологічний показник наукових праць не тільки від самого початку науко-

вої діяльності Бабка, але й включили до списку повторні видання підручників, переклади, доповнені перевидання, авторські свідоцтва, статті авторів-продовжувачів незавершеної тематики його досліджень до 1978 року.

У 2005 році наукова спільнота хіміків нашої країни широко відзначила 100-річний ювілей знаного хіміка-аналітика Анатолія Кириловича Бабка. З цього приводу в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка було проведено Міжнародну конференцію «Analytical Chemistry and Chemical analysis (AC&CA-05)», в якій взяла участь численна аудиторія науковців із різних країн. Видано збірник «Book of Abstracts», який вміщує близько 400 тез доповідей (пленарних, усних і постерних) учасників конференції. У наступні роки традиція проведення міжнародних конференцій з аналітичної хімії продовжувалася. Так, у 2014 і 2015 роках її було присвячено відповідно 100-річчю від дня народження відомого хіміка-аналітика академіка А. Т. Пилипенка і 110-річчю від дня народження академіка А. К. Бабка – організатора київської школи хіміків-аналітиків. «Київська конференція з аналітичної хімії. Сучасні тенденції аналізу» з 2014 року стала майже щорічним традиційним майданчиком для спілкування і обміну досвідом хіміків-аналітиків України та їхніх зарубіжних колег.

Також до сторічного ювілею А. К. Бабка колеги й друзі ювіляра присвятили друкований випуск збірника, в який включено спогади про Анатолія Кириловича його учнів, співробітників, відомих вітчизняних фахівців – А. Т. Пилипенка, І. В. П'ятницького, І. О. Калініченка, Б. Й. Набиванця,

М. М. Тананайко, М. Й. Штокало та інших, доньки академіка А.К. Бабка Ірини Тарковської. До 110-річного ювілею книги спогадів було перевидано і доповнено ще низкою статей, зокрема професорів О. А. Запорожець, Ю. В. Холіна (Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна), О. В. Зуй (ІКХХВ НАН України). У збірнику надруковано статтю про науковий шлях талановитої учениці А. К. Бабка, професорки Мирослави Михайлівни Тананайко.

У своїх спогадах багато учнів Анатолія Кириловича відзначали його інтелігентність і доброту, наукову принциповість, титанічну працездатність. Неоцінимою була його безкорисна наукова, організаційна та просвітницька діяльність, завдяки якій між науковцями, хіміками-аналітиками і не тільки було встановлено і підтримувалося роками плідне наукове співробітництво і навіть щирі дружні стосунки.

Коли траплялися вільні години, вчений гарно проводив дозвілля – слухав музику, відвідував театр, оперу і балет, полюбляв відпочинок на природі, подорожі, взимку – катався на лижах і таке інше. Наведено декілька відгуків колег та учнів із цього збірника.

Доктор хімічних наук І. В. П'ятницький згадував: *«Анатолій Кирилович був доброзичливою людиною, принциповим і чесним, вимогливим і справедливим, винятково працездатним, великим та талановитим».*

На запитання анкети – чим дорогий вам Бабко, професорка М. М. Тананайко відповіла: *«Своїми унікальними людськими та професійними якостями: естет,*

мандрівник, який захоплюється спортом, фотографією, мистецтвом, літературою. Вміє точно і своєчасно виділити головні та найбільш раціональні шляхи наукового пошуку. Прекрасний практик-аналітик, вдумливий і мудрий керівник, високоерудований педагог, який любить студентську аудиторію, який вміє захопити і активно розвивати в неї інтерес до науки».

Академік І. В. Тананаєв, колега й друг Анатолія Кириловича, так писав про вченого: *«Важко сказати, з ким можна порівняти Бабка в класі колег світового значення».* *«На мою думку, Анатолій Кирилович Бабко був і залишається АНАЛІТИКОМ № 1».*

За висловом учениці, професорки М. Й. Штокало: *«А. К. Бабко був талановитим вченим, який склав цілу епоху в розвитку науки у XX столітті з найбільш важливих розділів аналітичної хімії».*

Професорка О. А. Запорожець: *«Анатолій Кирилович Бабко своєю натхненною працею створив собі нерукотворний пам'ятник – наукову школу хіміків-аналітиків, яка продовжує справу його життя – розвиває аналітичну хімію в Україні, дбайливо зберігаючи започатковані ним традиції».*

Анатолій Кирилович Бабко – талановитий Вчений, Педагог і прекрасна Людина – передчасно і несподівано завершив своє земне життя, але його наукова і педагогічна спадщина залишаються неоцінним внеском у розвиток хімічної науки, любов до якої та відданість якій він проніс через усе життя.

**ACADEMICIAN ANATOLY BABKO –
AN OUTSTANDING CHEMIST OF UKRAINE
(TO THE 120TH ANNIVERSARY OF HIS BIRTH).**

**L.B. Koval¹, M.F. Zakharchenko¹,
N.M. Antraptseva²**

¹*V.I. Vernadskyi Institute of General and
Inorganic Chemistry of the National Academy
of Sciences of Ukraine,
32/34 Ave. Akademika Palladina, 03142 Kyiv,
Ukraine;*

²*National University of Life and Environmental
Sciences of Ukraine,*

15 Heroyiv Oborony st., 03041 Kyiv, Ukraine

** e-mail: lbkoval69@gmail.com*

In October, 2025 the Ukrainian scientific community will celebrate the 120th anniversary of the birth of the outstanding Ukrainian scientist, **Anatoly K. Babko** – a renowned specialist in the field of analytical chemistry and in the chemistry of complex compounds.

Anatoly K. Babko was born on October 15th, 1905 into a railwayman's family. In 1921 he graduated from secondary school, the following year he was admitted to the Chemistry Department of the Kiev Polytechnic Institute. In 1928 he was accepted there for PhD study under the supervision of Professor N.A. Tananaev. In 1930 he became a lecturer at the Kiev Institute of Food-processing Industry, and in 1934 he was appointed senior lecturer in the Department of Analytical Chemistry at Kiev State University where he worked for the rest of his life, working also from 1937 in the Institute of General and Inorganic Chemistry of the Ukrainian Academy of Sciences, where he also worked until the end of his life,

Anatoly K. Babko obtained his PhD degree in 1937 and the degree of DSc in 1940. In 1943 he was promoted to full professor at Kiev State University. In 1963 Anatoly K. Babko was elected a member of the Analytical Chemistry Commission of the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC).

Anatoly K. Babko's scientific work was carried out simultaneously at the Institute of General and Inorganic Chemistry of the Academy of Sciences of Ukraine, where he headed the Department of Analytical Chemistry from 1941 to 1968, and at Kyiv State University, where he headed the Department of Analytical Chemistry from 1944 to 1960, after which he retained the title of professor during 1960–1968.

In 1948 year Anatoly K. Babko elected as Corresponding Member to the Ukrainian Academy of Sciences, and in 1957 he became a full member (Academician) of the Academy of Sciences of Ukraine. In 1966 he was awarded the title of “Honoured Scientist of Ukraine”.

The scientific interests of Anatoly K. Babko ranged widely, especially in regard to fundamental aspects of analytical chemistry, applications of organic reagents in inorganic analysis, chemistry of complex compounds (including heteropolyacids), analytical applications of complex compounds in photometry, luminescence and chemiluminescence, ion chromatography and extraction.

A significant achievement of Anatoly K. Babko was in the area of systematic physico-chemical research of complex compounds in solution based on their photometric properties. He showed the stability constants of complexes to be highly important, and demonstrated the relevance of the step-wise character of the dissociation of complex compounds.

Anatoliy K. Babko was a talented organizer of scientific seminars and conferences, a member of the editorial board of the «Journal of Analytical Chemistry», «Ukrainian Chemical Journal», where from 1958 to 1968 he was its editor-in-chief. His highly professional annual reviews of the development of analytical chemistry during 1957–1967 were published in the journal «Zavodska Laboratoriya» – they were relevant and valuable for employees of analytical laboratories.

Anatoly K. Babko supervised 50 PhD and 9 DSc theses, and founded the Kyiv School of Analytical Chemists., he published more than 450 scientific works and 8 books that were translated into several languages. His monograph «Physico-chemical analysis of complex

compounds in solutions» and other textbooks are especially valuable. His scientific heritage continues to this day.

In celebrating the 120th anniversary of the birth of Anatoly K. Babko, scientists – chemists, students and followers gratefully recall his benevolence, hard work, scientific, pedagogical and organizational talent. His active and purposeful nature will always remain in our memory of Anatoly K. Babko, who throughout his life maintained love and devotion to science. – who through all his life maintained a love and loyalty to science.

Keywords: analytical chemistry, physico-chemical analysis, complex compounds, analytical research methods, scientific school.

Стаття надійшла 16.08.2025.

ЖИТТЄВИЙ І ТВОРЧИЙ ШЛЯХ Н. А. КОСТРОМІНОЇ (до 100-річчя від дня народження)

О. К. Трунова¹, Л. Б. Коваль^{*1}, Н. М. Антραπεва²

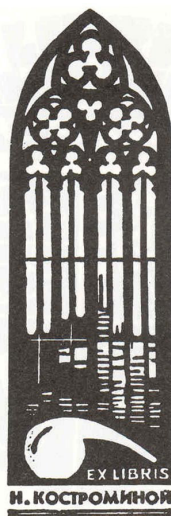
¹ Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України,
просп. Академіка Палладіна, 32/34, Київ 03142, Україна;

² Національний університет біоресурсів і природокористування України,
вул. Героїв Оборони, 15, Київ 03041, Україна

* e-mail: lbkoval69@gmail.com

Статтю присвячено 100-річчю від дня народження Н. А. Костроміної – професорки, докторки хімічних наук, широко відомій науковій спільноті як в Україні, так і за її межами. У статті висвітлено основні етапи життя Н. А. Костроміної: факти біографії, навчання, період становлення її як ученої-хіміка, особливо в галузі неорганічної, органічної, координаційної та біонеорганічної хімії, досягнуті нею та її учнями і послідовниками фундаментальні результати досліджень, які стосуються хімії комплексних сполук рідкісноземельних елементів у водних розчинах, зокрема впливу електронної структури на властивості комплексних сполук рідкісноземельних елементів, вивчення закономірностей комплексоутворення *f*- та *d*-металів із комплексонами, оксикислотами та β -дикетонами в розчинах, розроблення та застосування фізичних методів дослідження та аналізу складних багатокомпонентних, у тому числі й біологічних систем. Її науковий багаж вміщує 6 монографій, понад 300 наукових статей, 15 авторських свідоцтв; п'ятнадцять її учнів захистили кандидатські дисертації, а одна з них має диплом докторки хімічних наук. За заслуги у розвитку хімічної науки, підготовці наукових кадрів та активну участь у громадському житті Н. А. Костроміну неодноразово нагороджували Почесними грамотами Президії НАН України, Верховної ради України, дипломами ВДНГ за прикладні розробки. Вона була серед перших жінок м. Києва, нагороджених орденом княгині Ольги III ступеня.

Ключові слова: неорганічна хімія, координаційна хімія, комплексні сполуки, рідкісноземельні елементи, *d*-метали, комплекси, фталоціаніни, клатрохелати.



Ніна Анатоліївна Костроміна – професор, докторка хімічних наук, знаний фахівець у галузі неорганічної, органічної, координаційної та біонеорганічної хімії, була знаною вченою як в Україні, так і за її межами.

Ніна Анатоліївна Костроміна (дівоче прізвище Волохіна) народилася 4 серпня 1925 року у м. Києві, в інтелігентній родині, де високо цінували знання і культуру, де любили мистецтво, книги, музику, співи. У 1932 році у семирічному віці пішла до школи і до початку війни 1941 року закінчила дев'ять класів середньої школи № 79 міста Києва. Завершити середню освіту завадила війна.



Залишившись у Києві під час німецької окупації, що продовжувалася 778 днів, тобто два роки, більшість киян, у тому числі й родина Ніни, дуже постраждали від окупантів та через той жах, що коївся у Киє-

ві – руйнування міста, відсутність світла, продуктів, пожежі, попелища на місці людського житла, через грабежі, розстріли за невиконання розпоряджень вермахту тощо. Люди голодували, були раді будь-якій можливості дістати чи заробити хоч шматочок хліба чи мисочку пшоняного «кандьору»... Та особливо боялися відправки молоді у Німеччину на примусові роботи. Сімнадцяти-вісімнадцятирічна Ніна згодом отримала рятувну роботу – канцелярську, в бюро інвентаризації стала працювати копіювальницею. Таким чином вдалося уникнути відправки на німецьку каторгу. У книзі спогадів двоюрідних братів Ніни – автора Дмитра і художника Георгія Малакових «Оті два роки...у Києві при німцях» вони розповідають словами та малюнками все пережите – як родина жила і вижила при німцях [1]. (Вже після війни, у наступні роки Георгій Малаков став художником-графіком, заслуженим художником України, а Дмитро Малаков – письменником, краєзнавцем, працював у Музеї історії Києва).

Після визволення міста від німців (19 вересня 1943 р.) Ніна здійснила свою мрію – продовжити навчання – і вступила спочатку на підготовчі курси до Київського державного університету ім. Т. Г. Шевченка, а у 1944 році – власне на хімічний факультет цієї знаної освітньої установи, яку закінчила і одержала диплом зі спеціальності «Хімік-органік» у 1949 році.

Наукову діяльність Ніна Анатоліївна розпочала у 1950 році на посаді старшого лаборанта Інституту органічної хімії АН УРСР, згодом (у 1954 р.) її було переведено в Інститут загальної та неорганічної хімії АН УРСР (скорочено – ІЗНХ). Із того часу все її наукове життя було пов'язано з

цією науковою установою, де Н. А. Костроміна пройшла шлях від старшого лаборанта (1954–1957), інженера і згодом молодшого наукового співробітника (1958–1963) лабораторії хімії комплексних сполук, яку очолював тоді член-кореспондент АН УРСР Я. А. Фіалков – відомий у нашій країні науковець й педагог (1895–1958). У лабораторії (потім – відділі) Фіалкова вивчали склад і будову комплексів *d*- і *f*-металів з органічними лігандами – оксикислотами та комплексонами у водних розчинах та твердому стані. Його співробітники Н. К. Давиденко, З. А. Шека, Є. Ю. Крісс, Ю. П. Назаренко, які тоді працювали з Фіалковим, вже тоді одержали низку результатів щодо стійкості комплексів та зміну стійкості в ряду рідкісноземельних елементів (РЗЕ). Вони проводили також дослідження кінетики та механізму реакцій комплексоутворення.

Із перших років діяльності в ІЗНХ Ніна Анатоліївна – здібна і старанна учениця Я. А. Фіалкова – проявила себе талановитим і доволі самостійним експериментатором, виконала значну кількість досліджень із хімії комплексних сполук рідкісноземельних елементів. Основну частину наукового експерименту для майбутньої кандидатської дисертації вона виконувала спочатку під керівництвом Я. А. Фіалкова, а згодом завершувала роботу самостійно, без керівника. На час захисту Ніна Анатоліївна вже була автором та співавтором 22 друкованих праць. Захист кандидатської дисертації «Комплексные соединения редкоземельных элементов» відбувся у Київському державному університеті ім. Т. Г. Шевченка у 1960 році [2].

У 60-рр. минулого століття Ніна Анатоліївна, перебуваючи вже на посаді старшо-

го наукового співробітника (з 1965 р.), продовжувала працювати у Відділі фізичної хімії комплексних сполук, завідувачем якого був академік АН УРСР К. Б. Яцимирський (1916–2005) – всесвітньо відомий вчений, фахівець у галузі фізичної, неорганічної хімії, родоначальник біонеорганічної хімії в Україні. Це був дуже активний і плідний період наукової біографії Н. А. Костроміної, що не є дивним, адже мала керівником її експериментальних напрацювань такого знаного науковця як К. Б. Яцимирський. Але вона й сама прагнула весь час підвищувати особисту кваліфікацію, освоювати нові методи дослідження, удосконалювати лекторську майстерність та вміння керувати науковою групою молодих співробітників. У ці роки Ніна Анатоліївна часто виступала з доповідями на міжнародних та республіканських конференціях та всесоюзних нарадах, зокрема на VIII (Відень, 1964) та IX (Женева, 1966) Міжнародних конференціях з хімії координаційних сполук, на IX (Ташкент, 1963) та X (Київ, 1969) Всесоюзних нарадах із хімії комплексних сполук, на III (Кишинів, 1966) та IV (Київ, 1966) Всесоюзних нарадах із квантової хімії і нарадах щодо застосування фізичних методів дослідження комплексних сполук (Кишинів, 1965, 1968), на Міжвузівській нараді з фізико-хімічних властивостей комплексних сполук рідкісних і кольорових металів, на V Республіканській конференції з неорганічної хімії (Київ, 1966). Готуючи науковий матеріал до оформлення у вигляді докторської дисертації, Ніна Анатоліївна вже мала у своєму доробку 50 наукових праць та була співавтором монографії «Химия комплексных соединений редкоземельных элементов» [3].

У виконанні експериментальних досліджень, результати яких надалі увійшли до докторської дисертації Н. А. Костроміної, брали участь к. х. н. Н. К. Давиденко та молоді співробітники цього відділу: Т. В. Тернова, Е. Д. Романенко, Н. М. Тананаєва, Л. Б. Новікова, дипломниця Г. А. Комашко.

У 1970 році Ніна Анатоліївна захистила дисертацію «Влияние электронной структуры на свойства комплексных соединений редкоземельных элементов» на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук, захист якої відбувся у травні – червні 1970 року в ІЗНХ АН УРСР (науковий консультант академік К. Б. Яцимирський) [4].

Проведені експериментальні та обчислювальні дослідження, аналіз та зроблені узагальнення щодо отриманих результатів і висновків свідчать, що Ніна Анатоліївна Костроміна була надзвичайно ерудованим фахівцем у галузі вивчення комплексних сполук та методів їхнього дослідження у розчинах.

Групою співробітників під керівництвом Н. А. Костроміної було вивчено закономірності комплексоутворення f - та d -металів із комплексонами (амінополікарбоновими кислотами), оксикислотами та β -дикетонами в розчинах, розроблено та застосовано фізичні методи дослідження та аналізу складних багатокомпонентних, у тому числі й біологічних систем. У дослідженнях багатокомпонентних систем вони використовували оригінальний підхід: дослідження кожного металу, кожного ліганду та розчинника із застосуванням тоді ще нових методів, таких як ЯМР, ЕПР, ІЧ-спектроскопія, ЯМ-релаксація, ПМР із високою роздільною здатністю.

Розроблений Н. А. Костроміною спектрографічний метод дослідження комплексів РЗЕ (співавтори К. Б. Яцимирський, Т. В. Тернова, Е. Д. Романенко), який дозволяє безпосередньо визначати число комплексів у розчині і константи їхньої стійкості, отримав свій подальший розвиток в напрямку вивчення систем, які містили до 11 рідкісноземельних елементів без їхнього поділу, по смугах, що не перекриваються в різних областях спектру. Цей метод дослідження РЗЕ має низку переваг перед спектрофотометричним, його визнано фахівцями і його використовують у наукових центрах нашої країни й за кордоном [5].

Методом ПМР вперше були визначені локальні константи стійкості при комплексоутворенні з фрагментами ліганду. Розроблено метод визначення числа молекул розчинника у комплексі за ЯМР-релаксацією розчинника. На підставі цих методів нею розроблено нові методики, що дають прямі відомості про стан іонів у розчинах. На підставі великої кількості виконаних робіт Н. А. Костроміна зробила значні узагальнення у галузі координаційної хімії РЗЕ, встановила залежність між термодинамічними характеристиками, електронною структурою і будовою комплексів, знайшла шляхи спрямованого синтезу нових сполук. Ніна Анатоліївна отримала диплом докторки хімічних наук, стала знаним фахівцем у галузі координаційної хімії, автором та співавтором понад 95 наукових опублікованих робіт (монографій, статей, тез доповідей), кількох авторських свідоцтв.

У зв'язку з розформуванням відділу К. Б. Яцимирського (1970–1971 рр.) і переходом самого К. Б. Яцимирського і більшої частини співробітників його відділу до

Інституту фізичної хімії АН УРСР, Ніна Анатоліївна зі своєю групою прийняли рішення залишитися в Інституті загальної та неорганічної хімії АН УРСР. Групу Н. А. Костроміної у складі Т. В. Тернової, Н. М. Тананаєвої, М. Ф. Білошицького, Л. Б. Новікової та інших, які вже були досить кваліфікованими фахівцями з дослідження координаційних сполук у розчинах, приєднали до Відділу хімії комплексних сполук рідкісних елементів, керівником якого був член-кореспондент АН УРСР Іван Арсенович Шека.

У 70-тих роках перші учні Ніни Анатоліївни захистили кандидатські дисертації: Т. В. Тернова (1972), Н. М. Тананаєва (1973), М. Ф. Білошицький (1974), згодом ще двоє – Л. Б. Новікова та Л. М. Крашневська (1978). Дослідження цих вчених зробили вагомий внесок у розвиток наукових знань хімії комплексних сполук. У ці ж роки автори І. М. Маров та Н. А. Костроміна видали книгу «ЭПР и ЯМР в химии координационных соединений» [6], підготували до друку монографію Н. А. Костроміної «Комплексоны РЗЭ» [7], зробили значні узагальнення в галузі координаційної хімії РЗЕ. Було встановлено загальні закономірності у зміні властивостей комплексонатів рідкоземельних елементів залежно від електронної будови РЗЕ та структури їхніх сполук, знайдено шляхи спрямованого синтезу сполук певного складу. На цей плідний період у доробку Н. А. Костроміної вже 3 монографії, 175 статей, 5 «захищених» учнів; вона стає відомою вченою, чудовим лектором та пропагандистом наукових знань. Саме тоді (у 1977–78 рр.) Ніну Анатоліївну нагороджено Почесною грамотою Президії Академії наук УРСР та Республіканського

комітету профспілок працівників освіти, вищої школи та наукових установ.

У 1979 році в ІЗНХ АН УРСР було організовано новий відділ – Відділ аналізу неорганічних матеріалів – шляхом об'єднання групи співробітників Н. А. Костроміної з колективом аналітичної лабораторії Інституту: відділ очолила Ніна Анатоліївна і керувала ним до 1989 року. Склад працівників відділу: докторка хімічних наук Н. А. Костроміна, кандидати хімічних наук Л. М. Кудрицька, Ю. Ф. Шкаравський, Т. В. Тернова, Н. М. Тананаєва, Л. Б. Новікова, ст. інженери А. І. Вороніна, М. І. Сало, Ю. Б. Шевченко, Л. Л. Чмель, А. П. Старченко, В. П. Корсун, В. В. Дудко, Р. В. Тихонова, А. В. Рак, О. Л. Ільницька, В. І. Дзюба, ст. технік А. Т. Томс та ін.

Період керівництва відділом по праву можна вважати одним із найплідніших періодів наукової роботи Н. А. Костроміної. Під її керівництвом проводять дослідження хімії координаційних сполук у самих різних напрямках із різними класами органічних лігандів. Основним науковим напрямком робіт відділу є синтез неорганічних матеріалів для нової техніки з використанням комплексних сполук рідкісноземельних елементів і 3d-металів та розвиток фізичних і аналітичних методів аналізу. Роботи виконували як за рішенням Президії АН УРСР, так і за завданням Держкомітету з науки і техніки. Для дослідження неорганічних матеріалів поряд із хімічним аналізом використовують і сучасні фізико-хімічні методи: спектрографія у газовій фазі та розчинах, лазерний мікроаналіз, ЯМР, ЯМ-релаксація, ІЧ-спектроскопія, розробляють бездеградаційні методи аналізу. Слід відмітити, що відділ Н. А. Костроміної на

той період був провідним відділом в АН УРСР з використання в дослідженнях методу ядерної магнітної релаксації.

У 1982 році Н. А. Костроміній присвоєно звання професора зі спеціальності «Неорганічна хімія». Багаторічний досвід роботи в галузі хімії координаційних сполук дозволив їй бути науковим консультантом докторських та кандидатських дисертаційних робіт не тільки в рідному інституті, але й у різних наукових центрах країни; керувати науковими семінарами із застосування методу ЯМР у неорганічній хімії та з дослідження рівноваг комплексоутворення у розчинах, читати лекції у теоретичних школах тощо. Ніна Анатоліївна продовжувала активно брати участь у наукових сесіях і конференціях різного рівня та виступати з доповідями.

Серед досліджень особливу увагу зосереджено на синтезі об'єктів біонеорганічної хімії, встановленню їхньої будови та впровадженні позитивних результатів у народне господарство. Наприклад, було вивчено системи, які містили іони Ni(II) / Co(II) та 18 типів біомакромолекул, встановлено характер зв'язування катіонів із фрагментами біоланцюгів та тип зв'язування води, що корелює з якістю зерен пшениці. Це дозволило розробити інноваційні методи визначення клітковини у зернах та борошні пшениці різних сортів (Т. В. Тернова, Ю. Б. Шевченко, В. В. Страшко).

Н. А. Костроміна є засновницею в Україні хімії комплексонів та комплексонатів. Під її керівництвом групою співробітників (Н. М. Тананаєва, М. В. Білошицький, В. В. Страшко, М. Я. Гороховатська, О. К. Трунова, І. М. Третьякова) були проведені широкомасштабні дослідження біоло-

гічно активних комплексів для сільського господарства $3d$ -металів (Fe^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} , Co^{2+}), Mg^{2+} та Ca^{2+} із комплексонами – етилендіаміндісукциновою (EDDS) та оксіетилідендіфосфоною (OEDPH) кислотами як у розчинах, так і в твердому стані. Ці роботи стали основою для розвитку в Інституті біонеорганічної хімії, у тому числі координаційних сполук із різними класами біолігандів (амінокислоти, модифіковані комплексони, похідні тіосечовини, гідразонів тощо). Було запропоновано, випробувано та впроваджено препарати, що підвищують утворення насіння та продуктивність люцерни, врожайність винограду, плодових культур, цитрусів, бавовни. Розроблено антихлорозні ростостимулюючі препарати – триядерний ацетат заліза Fe_3OAc_6 , «Феррокор» та «Цинкор» – комплекси Fe(III) або Zn(II) з EDDS, а також нові препарати на основі різнолігандних комплексів Fe(III) з EDDS, винною та лимонною кислотами. Препарати підвищують утворення насіння та продуктивність люцерни, врожайність і цукристість винограду та плодових культур, ліквідують I та II стадії хлорозу на різних видах рослин тощо. Роботи зі створення біологічно активних препаратів були неодноразово удостоєні медалей ВДНГ СРСР та УРСР. За результатами проведених досліджень у відділі було захищено дві кандидатських дисертації: М. Я. Гороховатською (1987 р.) та О. К. Труновою (1989 р.).

Починаючи з 1987 р. інтерес Н. А. Костроміної викликає на той час малодосліджений комплексон – оксіетилідендіфосфонова кислота. Її учениці І. М. Третьякова та О. П. Крятова провели фундаментальні дослідження гетероядерних комплексів

3d-металів або лужноземельних металів із бором та OEDPH, в яких бор і метал виконують різні функції (центрального іона, зшивки, місткову). Методом комп'ютерного моделювання вперше показано стеричну можливість утворення комплексів $B(OEDPH)_4M_8$, в центрі яких розташований атом бору, а іони металів із чотирма молекулами OEDPH утворюють зовнішню сферичну оболонку. Знайдено умови утворення таких комплексів у розчинах та кристалічному стані. Наприклад, синтезовані гетероядерні комплекси, що містять водночас низку найважливіших рослинних біоелементів (3d-метали, бор і фосфор) і переходять у розчинну форму при $pH > 5$, було рекомендовано як перспективні мікродобрива пролонгованої дії.

О. П. Кротова була останньою аспіранткою Н. А. Костроміної – у 1998 р. вона захистила дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата хімічних наук.

Варто ще відзначити, що професорка Н. А. Костроміної – одна з небагатьох українських вчених, яка займалася конформаційним аналізом комплексонів та їхніх комплексів у розчинах для виявлення найбільш реакційноздатних стабільних форм конформацій, готових для оптимальної коордінації іонів металів [8–11].

Розвиток наукового напрямку з хімії комплексонів та комплексонатів металів, що був започаткований Н. А. Костроміною, продовжується в ІЗНХ і до сьогодні у відділі гетерофазного синтезу неорганічних сполук та матеріалів, який очолює учениця Ніни Анатоліївни О. К. Трунова, яка у 2012 р. захистила дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора хімічних наук. Естафету з дослідження хімії дифосфо-

нових та амінодифосфонових кислот підхопили співробітниці відділу хімії комплексних сполук к. х. н. О. М. Козачкова та Н. В. Царик.

Одним із напрямів досліджень відділу під керівництвом Н. А. Костроміної у 80-х роках стало розроблення фізико-хімічних підходів до створення нових функціональних матеріалів на основі координаційних сполук, вивчення будови та властивостей синтезованих сполук та їхнє використання як мастильних композицій або інших технічних матеріалів. Так, у напрямку **трибохімічних** досліджень Н. А. Костроміної, Т. В. Тернова, В. І. Дзюба, О. Л. Ільницька провели низку синтезів сполук рідкісноземельних елементів, розчинних в органічних розчинниках, з метою дослідження одержаних речовин як присадок до мастил, що збільшують зносостійкість поверхонь тертя поршневих двигунів авіаційної промисловості. У новому столітті естафету подібних досліджень було передано групі дослідників у складі В. І. Пехньо, Л. І. Коваль, В. І. Дзюби, О. Л. Ільницької.

Ще один напрям роботи відділу – це синтез та дослідження нових легколетких *тетракіс-* β -дикетонатів РЗЕ та лужних металів, виявлення причин, що визначають їхню леткість (В. П. Корсун, Н. І. Сало, В. В. Дудко) На основі вказаних сполук було одержано леговане РЗЕ кварцеве скло, яке використовують як фільтруюче покриття для лазерної техніки.

Під керівництвом професорки Н. А. Костроміної в Інституті починається розвиток хімії макроциклічних сполук – фталоціанінових комплексів та клатрохелатів. Група співробітників (Н. Б. Субботін, О. В. Бистрик, Я. З. Волошин) розробила методи

синтезу фталоціанінів шляхом спікання реагентів: синтез безметального фталоціаніну, безметального фталоціаніну із замісниками на периферії макроциклу, а також моно- та дифталоціанінів РЗЕ несиметричної будови. Встановлено, що в ряду монофталоціанінів РЗЕ природа центрального атома не впливає на положення смуг в електронних спектрах поглинання. Для дифталоціанінів РЗЕ вперше досліджено вплив міжлігандної взаємодії та зміни симетрії на їхні спектральні характеристики. Спектрально-електрохімічні дослідження моно- та дифталоціанінів РЗЕ дозволили запропонувати їх як катодно-активні матеріали для літєвих хімічних джерел струму та електрохромних матеріалів, нових електрохромних матеріалів, катодних деполяризаторів, у поліграфії та електроніці [12, 13].

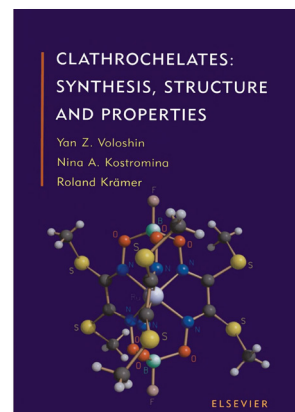
У 1989 р. Н. Б. Субботін захистив кандидатську дисертацію «Синтез, структура та властивості фталоціанінів рідкісноземельних елементів», науковим керівником якої була Н. А. Костроміна. На сьогодні роботи в цьому напрямку в Інституті продовжують д. х. н. В. Я. Черній та його співробітники І. М. Третьякова, Н. М. Федосова та інші науковці.

Роботи Н. А. Костроміної та її учня Я. З. Волошина лежать в основі розробок темплатного методу синтезу нового класу координаційних сполук – клатрохелатних комплексів, які містять іон металу, інкапсульованого у тривимірну клітку макробіциклічних лігандів. У цей період опубліковано книгу Н. А. Костроміної, Я. З. Волошина та О. Ю. Назаренка «Клатрохелаты: синтез, строение, свойства», яку видано також англійською мовою [14, 15].

Метою цієї монографії є узагальнення та аналіз експериментальних та теоретичних даних про клатрохелати з ціллю сприяння подальшим дослідженням у цій перспективній галузі хімії. Надалі роботи в цьому напрямку проводили в Інституті у лабораторії макроциклічних сполук під керівництвом д. х. н. О. А. Варзацького.

Н. А. Костроміна крім плідної наукової діяльності вела активну науково-організаційну роботу: була членом трьох секцій Наукової ради НАН України з проблеми «Неорганічна хімія», членом Київської міської ради, Всесоюзного хімічного товариства ім. Д. І. Менделєєва, неодноразово була в складі оргкомітетів всесоюзних нарад, багато років була членом вченої ради інституту. За заслуги в розвитку хімічної науки і підготовці наукових кадрів Ніну Анатоліївну вдруге нагородили Почесною грамотою Президії Академії наук УРСР і Республіканського комітету профспілок працівників освіти, вищої школи і наукових установ (1985) за заслуги у розвитку хімічної науки, підготовці наукових кадрів та активну участь у громадському житті, Грамотою Верховної Ради України (2004).

Однією з перших жінок м. Києва у 2003 році Ніну Анатоліївну було нагороджено орденом княгині Ольги III ступеня. У 2005 році їй призначено Державну стипендію Президента України як видатній діячці науки, освіти та культури.



Відзначаючи 100-літній ювілей і підбиваючи підсумки життєвого й наукового шляху Ніни Анатоліївни Костроміної, можна впевнено сказати – вона була Людиною творчою, успішною в науці, високоосвіченою та обдарованою, привабливою Жінкою у повсякденному житті, патріотом свого інституту і своєї рідної України. Її науковий багаж вміщує 6 монографій, понад 300 наукових статей, 15 авторських свідоцтв. П'ятнадцять її учнів успішно захистили кандидатські дисертації. Незайве відзначити, що дочка Ніни Анатоліївни –

Ірина Вікторівна Романова, натхненна своїми батьками, пішла по їхнім стопам, також стала хіміком, захистила кандидатську та докторську дисертації: успішно працює завідувачкою Відділу сорбції та тонкого неорганічного синтезу в Інституті сорбції та проблем ендоекології НАН України.

Історія творчого життя **Ніни Анатоліївни Костроміної** – це жива історія «жінки в науці», маленька правдива частинка життя нашої країни, взірць для молоді, приклад самовідданого служіння її Величності – Науці.

**LIFE AND CREATIVE PATH
OF N.A. KOSTROMINA
(to the 100th anniversary of her birth).**

**O.K. Trunova¹, L.B. Koval¹,
N.M. Antrapteva²**

¹*V.I. Vernadskyi Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine,
32/34 Ave. Akademika Palladina, 03142 Kyiv, Ukraine;*

²*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,*

15 Heroyiv Oborony st., 03041 Kyiv, Ukraine

** e-mail: lbkoval69@gmail.com*

The article is dedicated to the 100th anniversary of the birth of N.A. Kostromina, a professor, doctor of chemical sciences, widely known to the scientific community both in Ukraine and abroad. The article highlights the main stages of Kostromina's life: facts of biography, education, the period of her formation as a

chemist, especially in the field of inorganic, organic, coordination and bioinorganic chemistry, the fundamental research results achieved by her and her students and followers, which relate to the chemistry of complex compounds of rare-earth elements in aqueous solutions, in particular the influence of electronic structure on the properties of complex compounds of rare-earth elements, the study of the patterns of complex formation of f- and d-metals with complexones, oxyacids and β -diketones in solutions, the development and application of physical methods for the study and analysis of complex multicomponent, including biological, systems. The spectrographic method, developed by N. Kostromina, K. Yatsymirsky, T. Ternova, etc., when studying the complexation of REE allows directly determining the number of complexes in solution and their stability constants, and was further developed in the direction of studying systems containing up to 11 rare-earth elements without their separation, along bands that do not overlap in different regions of the spectrum with high resolution. The spectrographic method has a

number of advantages over the spectrophotometric method. It is recognized and used by scientists in our country and abroad. N. Kostromina's scientific baggage includes 6 monographs, over 300 scientific articles, 15 author's certificates; fifteen of her students defended their candidate theses, and one of them has a doctorate in chemical sciences. For her services in the development of chemical science, training of scientific personnel, and active participation in public life, N.A. Kostromina has been repeatedly awarded with Honorary Certificates of the Presidium of the National Academy of Sciences of Ukraine, the Verkhovna Rada of Ukraine, and diplomas of the Exhibition of achievements of the national economy for applied developments. Among the first women of Kyiv, she was awarded the Order of Princess Olga, III degree.

Keywords: inorganic chemistry, coordination chemistry, complex compounds, rare earth elements, d-metals, complexones, phthalocyanines, clathrochelates.

ЛІТЕРАТУРА

1. Малаков Д. В. *Оті два роки... у Києві при німцях*. Видавничий дім «Амадей», 2002.
2. Костромина Н. А. Комплексные соединения редкоземельных элементов: автореферат дис... канд. хим. наук. Київ, 1960.
3. Яцимирский К. Б., Костромина Н. А., Шека З. А. *Химия комплексных соединений редкоземельных элементов*. Київ: Наук. думка, 1966.
4. Костромина Н.А. Влияние электронной структуры на свойства комплексных соединений редкоземельных элементов: автореферат дис... доктора хим. н.. Киев, 1970.
5. Костромина Н. А., Терновая Т. В., Романенко Э. Д., Яцимирский К. Б. Спектрографический метод определения констант устойчивости комплексов редкоземельных элементов. *Теоретическая и экспериментальная химия*, 1966, **11** (5). С. 673–678.
6. Маров И. Н., Костромина Н. А. *ЭПР и ЯМР в химии координационных соединений*. Москва: Наука, 1979.
7. Костромина Н. А. *Комплексоны редкоземельных элементов*. Москва: Наука, 1980.
8. Костромина Н. А., Новикова Л. Б., Горелов И. П. Исследование этилендиаминдиантарной кислоты и ее комплексов с лантаном и лютецием методом протонного резонанса. *Коорд. химия*. 1975. **1**, (7). С. 901–904.
9. Тананаева Н. Н., Гороховатская М. Я., Костромина Н. А. Исследование этилендиаминдиантарной кислоты и ее комплексов с цинком методом ПМР. *Укр. хим. журнал*, 1981. **47** (11). С. 1191–1195.
10. Kostromina N.A., Novikova L.B., Tananaeva N.N., Shevchenko Yu.B. Investigation of structure of protonation forms of complexones by method ^{13}C -resonance. *Theor. Exper. Chem.* 1989. **25** (3). P. 292–298.
<https://doi.org/10.1007/BF01299006>
11. Kostromina, N.A., Tananaeva, N.N., Gorokhovatskaya, M.Y., Proshko V.I. (1990). Investigation of the structure of aminodicarboxylic acids by ^{13}C NMR method. *Theor. Exp. Chem.* **25** (4). P. 463–467.
<https://doi.org/10.1007/BF00530444>.
12. Subbotin N.B., Tomilova L.G., Chernykh, E.V., Kostromina N.A., Lukyanets E.A. Synthesis of unsymmetrical diphthalocyanines of rare earth elements. *Russian J. General Chemistry*. 1986. **56** (1). 232 pp.
13. Subbotin N.B., Tomilova L.G., Kostromina N.A., Lukyanets E.A. Phthalocyanines and related compounds. XXVIII. Synthesis and spectral-electrochemical study of rare-earth monophthalocyanines. *Russian J. General Chemistry*, 1986. **56** (2). 397 pp.
14. Костромина Н. А., Волошин Я. З., Назаренко А. Ю. *Клатрохелати: синтез, строение, свойства*. Київ : Наукова думка, 1992. ISBN 5-12-002429-7
15. Voloshin Y.Z., Kostromina N.A., Kräme R.K. *Clathrochelates: Synthesis, Structure and Properties*. Elsevier, 2002.

Стаття надійшла 22.08.2025 р.

PROSPECTS FOR THE PRACTICAL APPLICATION OF AMINOCARBOXYPHOSPHONATES AND THEIR METAL COMPLEXES (review).

O.K. Trunova

V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, 32/34 Academic Palladin Avenue, 03142 Kyiv, Ukraine

** e-mail: trunova@ionc.kiev.ua*

The review article summarizes and systematizes many years of literature data on possible areas of application of aminocarboxyphosphonic acids and metal complexes based on them. It is shown that aminocarboxyphosphonates, due to their wide range of functional properties, in particular, such as photoluminescence, magnetic properties, biological activity, can find application in a wide variety of areas. Both aminocarboxyphosphonic acids themselves and their complexes can serve as the basis for biologically active substances in agronomy - as synthetic growth regulators, as effective preparations for increasing extracted sugar from various plants (sugar cane, sweet potato, sugar beet, melon, etc.) and preparations for accelerating fruit ripening under adverse weather conditions. One of the most interesting areas of use of aminocarboxyphosphonates and nanoparticles based on them for biomedical purposes is the creation of precursors for the development of new antitumor drugs. Due to their high porosity, these materials can be used in ecology for the purification of soil and/or drinking water from heavy metals. The approaches to the modification of the coordination environment, variations in the nature of metals and ligand environment highlighted in the work can be used as a model for the development of new coordination polymers and MOFs structures as environmentally friendly depressants for selective flotation separation of minerals (dolomite, galena, sphalerite). Aminocarboxyphosphonates of metals as a subclass of coordination polymers, due to the presence of such groups in the molecules as POH, COOH, N⁺-H, demonstrate acidic properties, the combination of which with electrocatalytically active transition metals makes them very attractive in the field of fuel cells and electrolyzers. They can be used as potential proton conductors and/or precursors of electrocatalysts, heterogeneous catalysts in the Knoevenagel condensation with high selectivity.

Keywords: complexes, aminocarboxyphosphonates, 3-d, 4-f metals, biological activity, catalyst, purification from heavy metals, practical application.

INTRODUCTION. Complexones are organic compounds that contain basic and acidic centers, the mutual arrangement of which determines the formation of stable chelate cycles upon coordination with metal ions. The first representatives of complexones are aminocarboxylic acids - nitrilotriacetic acid (H_3NTA) and ethylenediaminetetraacetic acid (H_4EDTA), in the molecules of which there are several aminoacetate fragments $-NHCH_2COOH$ [1, 2]. To solve a wide range of practical problems, the range of complexones has significantly increased. Today, in addition to classical polyaminopolycarboxylic acids, this group also includes aminocarboxyphosphonic acids (ACPhA), which contain two different types of acid moieties near the donor nitrogen atom - carboxyl and phosphonic groups: $H_2PO_3-NCH_2-R$ ($R = -H, -CH_2COOH, -CH_2PO_3H_2$). The presence of two different acid groups in the molecules of aminocarboxyphosphonic acids, which differ significantly in basicity, charge, electron-donating ability, stereochemistry, and size, ensures their high coordination capacity and selectivity towards metals of various natures. Aminocarboxyphosphonic acids, combining the properties of aminocarboxylic and phosphonic/aminophosphonic acids, compared to their carboxyl- or phosphorus-containing analogues, form a much larger set of differently protonated metal complexes in solutions and polynuclear structures of unusual structure in the solid state due to the formation of additional chelate cycles. Due to the presence of different types of coordination sites in their molecules, aminocarboxyphosphonate metal complexes have higher solubility, which facilitates their crystallization compared to aminocarboxylate and/or phosphonate analogues [3–5].

Earlier, in review articles [6, 7], literature data on the structure and physicochemical properties of both aminocarboxyphosphonic acids themselves and metal complexes (3-d, 4-f metals) based on them were summarized. Through the analysis of numerous works, including those from the last 5 years, this article examines the prospects for the application of aminocarboxyphosphonic acids and their metal complexes in various industries for the creation of multifunctional materials.

EXPERIMENT AND DISCUSSION OF THE RESULTS. Aminocarboxyphosphonates, unlike their carboxyl- and/or phosphorus-containing analogues, are a relatively poorly studied class of compounds that are not yet widely used in industry. But in the last 30 years, this class of compounds has attracted significant attention from researchers around the world due to the wide potential of their practical use as plant growth regulators and herbicides, as well as the potential application of their metal complexes in materials chemistry as functional materials due to the presence of a number of useful properties (high porosity, photoluminescence, catalytic, nonlinear optical, magnetic properties, etc.) [8–11].

Biological activity of aminocarboxyphosphonates

Aminocarboxyphosphonates exhibit biological activity, are non-toxic to mammals and, importantly, are capable of fairly rapid degradation in the environment. The biological properties of aminocarboxyphosphonic acids and biometal complexes based on them are due to the fact that they are structural phosphorus-containing analogues of natural amino acids, therefore they can participate in the mechanisms of many bioprocesses, have low toxicity and high solubility in the natural en-

vironment [1, 4, 12]. Studies in recent decades have shown that aminocarboxyphosphonates exhibit herbicidal and growth-stimulating properties [5, 13–16]. Among all aminocarboxyphosphonates, the most studied organophosphonate, which is widely used in practice, is N-(phosphonomethyl)glycine (H_3PMG) – a phosphonomethyl derivative of the amino acid glycine, and is known worldwide as the non-selective herbicide «Glyphosate» (the original agricultural product «Roundup»). It has a strong phyllocid effect, which causes disruption of enzymatic processes in plants. In the soil, glyphosate is microbiologically decomposed and deactivated. This process is inhibited by the binding of glyphosate to metal cations present in the soil. N-(phosphonomethyl)glycine is able to selectively inhibit the synthesis of the enzyme 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS), which, although absent in higher organisms, is necessary for the synthesis of aromatic amino

acids in plants and microorganisms. Glyphosate-based preparations exhibit a universal effect when in contact with green plants at low rates of application (~ 0.8 – 1.7 kg/ha), have low phytotoxicity and are rapidly decomposed in the environment under aerobic and anaerobic conditions with the formation of the main metabolite – aminomethylphosphonic acid [17–19].

In [20], the effect of Glyphosate on microbial biomass and soil activity was investigated. It was shown that it significantly stimulates soil microbial activity by mineralizing C and N, but does not affect soil microbial biomass. C mineralization, as well as the rate of mineralization, increases with increasing glyphosate application rates (Fig. 1). Moreover, the rate of C mineralization increases on the first day after glyphosate addition and continues for 14 days. It was found that Glyphosate directly and rapidly decomposes microbes, even at high rates of application, without negatively affecting their activity.

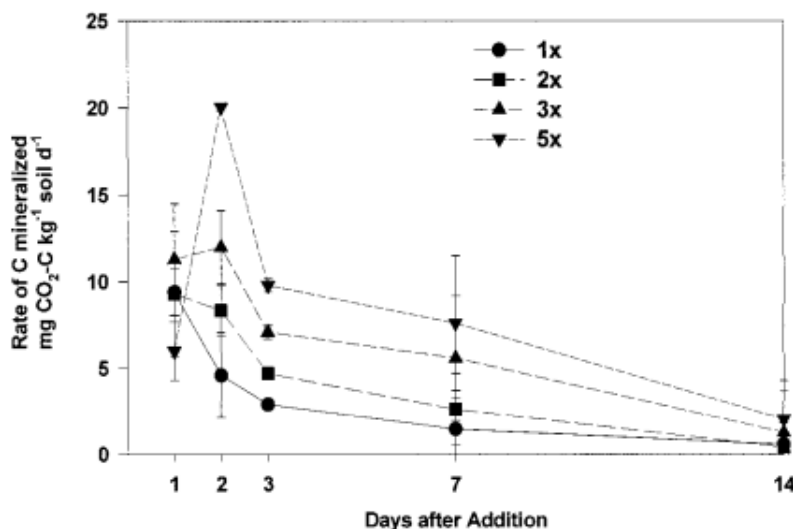


Fig. 1. Effect of glyphosate addition rate on soil C mineralization.

(1×–5× are rates of glyphosate addition to soil at doses of 47, 94, 140, and 234 mg, respectively.

Error bars indicate one standard deviation [20]).

An analogue of N-(phosphonomethyl)glycine – N,N-bis(phosphonomethyl)glycine (H_5BPMG) – known as the drug «Glyphosin», is a synthetic growth regulator and is used mainly to increase the extracted sugar from various plants (sugar cane, sweet potato, sugar beet, melon, etc.) and is effective for accelerating fruit ripening under adverse weather conditions. Thus, N,N-bis(phosphonomethyl)glycine has been recognized as a chemical ripener of sugar cane in small replicated field plots and on a commercial scale to determine optimal rates and timing of application [176, 177]. It was shown that the use of Glyphosine at doses of 2.24, 4.48 and 6.72 kg/ha 6 weeks after application contributed to a significant increase in the percentage (>15%) of sucrose in sugarcane compared to the untreated control. A greater increase in sugar was observed for the dose of 6.72 kg/ha. Trials of Glyphosine on a commercial scale (application rate – 3.36 kg/ha) showed an increase in sugar from 9 to 15% compared to the control already 4 weeks after application.

In [21], aqueous solutions of N,N-bis(phosphonomethyl)glycine (were tested on cantaloupe plantings. It was shown that the increase in melon yield under the influence of BPMG was 6.6%, and the sugar content increased by approximately 10%, regardless of the concentration of glyphosate.

The biological properties of ACPPhA are due to the presence in their molecule of a covalent C—P bond that is resistant to photolysis, chemical hydrolysis, and temperature, but capable of being destroyed by the enzymatic action of microorganisms [20, 22–25].

The ability to biodegrade compounds with a C-P bond has been demonstrated in many bacteria of the genera *Escherichia*, *Pseudomonas*,

Agrobacterium, *Klebsiella*, *Arthrobacter*, *Bacillus*, *Rhizobium*, and *Rhizobium* [26, 27]. Some strains (e.g., *Pseudomonas* sp. LBr and *Flavobacterium* sp.) transform most of the N-(phosphonomethyl)glycine into aminomethylphosphonate or glyphosate oxidoreductase [28, 29]. The metabolism of N-phosphonomethylglycine by *Pseudomonas* sp. LBr, a bacterium isolated from waste from the glyphosate production process, was investigated by a combination of ^{13}C NMR and phosphonate analysis of the culture medium. *Pseudomonas* sp. LBr is capable of removing 20 mM glyphosate from the culture medium, which is approximately 20 times more than any other microorganism. The bacterium degrades high levels of glyphosate primarily by converting it to aminomethylphosphonate with subsequent release into the culture medium. Only a small amount of aminomethylphosphonate (about 0.5–0.7 mM), which is necessary to provide phosphorus for growth, could be metabolized by the microorganism. NMR analysis of *Pseudomonas* sp. LBr grown on 1 mM glyphosate showed that about 5% of H_3PMG was degraded by a separate pathway involving its cleavage to glycine.

That is, the main role in the biodegradation of H_3PMG in soils, after its use as a herbicide, is played by bacteria (Fig. 2) or enzymes of some microorganisms (for example, glyphosate oxidoreductase) (Fig. 3) [28–30].

At low concentrations, H_3PMG does not affect the vital activity of soil microorganisms, but an increase in its concentration up to 100 times causes a decrease in bacterial population cultures and diversity [31, 32].

Toxicological studies have shown that H_3PMG has low toxicity after oral, dermatological and inhalation administration and does not exhibit genotoxic, carcinogenic, neurotoxic, tera-

togenic effects. The LD_{50} of N-(phosphonomethyl)glycine for mammals is 2100 mg/kg [11, 33]. In the body of laboratory animals, 23–36%

of H_3PMG is absorbed, it is well distributed in tissues with the formation of the main metabolite - aminomethylphosphonic acid [34, 35].

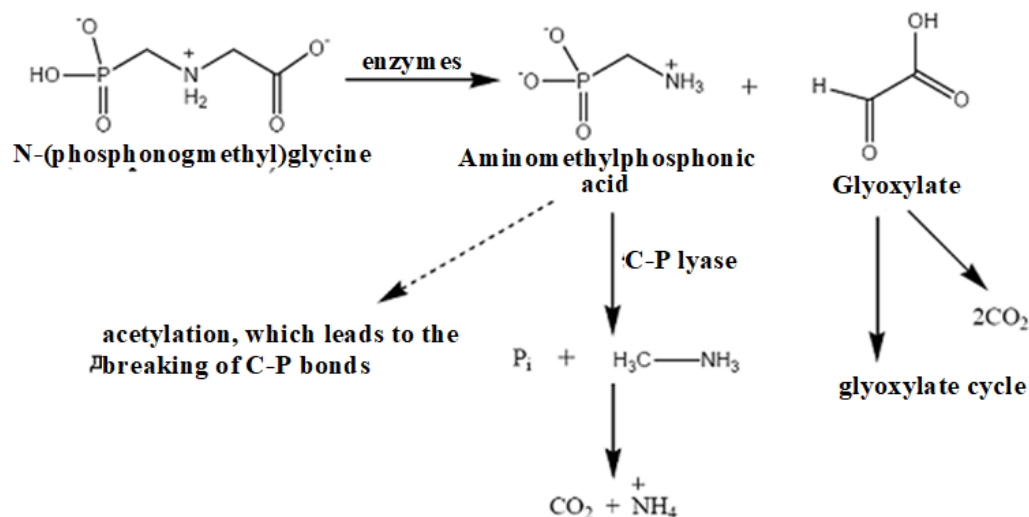


Fig. 2. Scheme of biodegradation of N-(phosphonomethyl)glycine in soils.

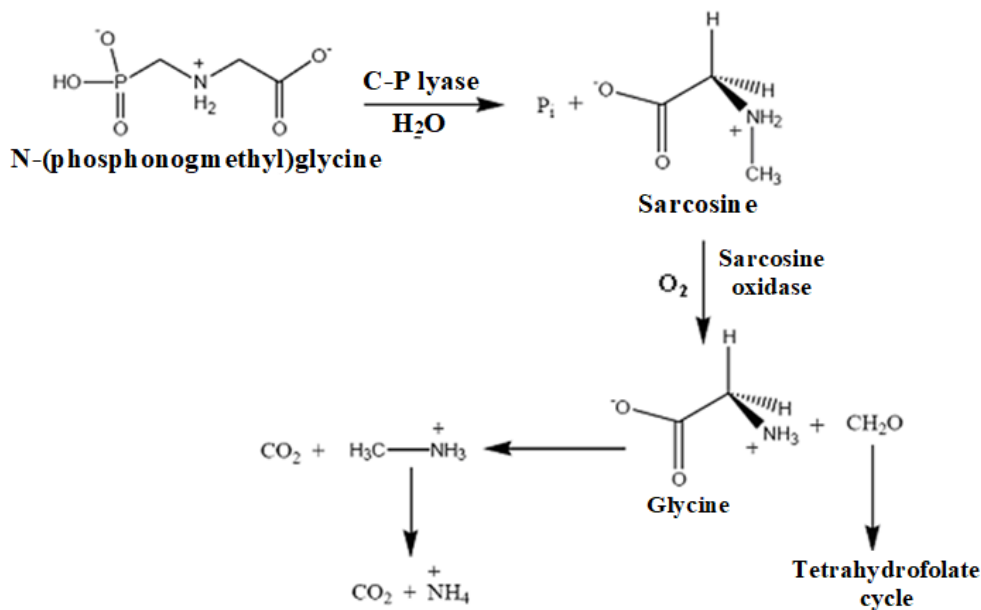


Fig. 3. Scheme of biodegradation of N-(phosphonomethyl)glycine under the action of enzymes.

Particular attention is drawn to the stimulating effect of aminocarboxyphosphonates on the growth of microorganisms used in biotechnology. It is known that the influence of *Pseudomonas* sp. on the development of agricultural crops can be both positive and negative. Some bacterial strains are phytopathogenic, others, for example, saprophytic pseudomonads, which widely inhabit the rhizosphere of plants, play an important role in their protection. Bacterial antagonists from the genus *Pseudomonas* are used as means of biological control of plant diseases of bacterial and mycological etiology. Also, saprophytic representatives of the genus *Pseudomonas* are producers of a large number of biologically active compounds, such as pigments, antibiotics, amino acids, polysaccharides, toxins, vitamins, as well as other organic substances used in immunology, medicine and agriculture [36–38].

In studies conducted at the V.I. Vernadsky Institute of General and Inorganic Chemistry of the NAS of Ukraine, the growth-stimulating activity of N-(phosphonomethyl)aminosuccinic and N,N'-bis(phosphonomethyl)aminosuccinic acids and 3d-metal complexes based on them was established against non-pathogenic bacterial strains of *Pseudomonas* cultures (*Pseudomonas fluorescens*, *Pseudomonas aureofaciens*) and microorganisms *Escherichia coli* ATCC 25922 [6, 39]. The interest in the mentioned *Pseudomonas* species is connected, first of all, with manifestation of useful properties for plants, since these bacteria are able to stimulate their growth and development, to act as antagonists of phytopathogenic fungi and bacteria. Substances, which have the property to activate growth of such microorganisms, in turn, become potential objects for development of biological preparations for agrobio-

technology. On the other hand, some species of microorganisms of the genus *Pseudomonas* are able to assimilate organic, including phosphorus-containing compounds, to final ecologically clean decomposition products, which becomes actual in practical use of carboxyaminophosphonates without their accumulation in the environment [40–44]. It has been proven that N-(phosphonomethyl) aminosuccinic and bis(phosphonomethyl)aminosuccinic acids and 3d-metal complexes based on them exhibit growth-stimulating activity against strains of gram-negative microorganisms of the genus *Pseudomonas*. At the same time, the growth-stimulating effect of the M^{II}PMAS complexes, depending on the 3d-metal ion, increases in the following order: **Cu(II) > Zn(II) > Ni(II) > Co(II)**. The maximum stimulating effect on the growth of bacterial cultures is exhibited by bis(phosphonomethyl)aminosuccinate Co(II), which is able to initiate the synthesis of one of the most important growth hormones - heteroauxin.

In addition to agronomy, the use of aminocarboxyphosphonates has been proposed to reduce the toxicity of heavy metals in soils during their purification [45, 46], to create a protective film during steel corrosion [47], to obtain surface-modified nanoparticles that have antitumor activity [48, 49], as an additive to cosmetic compositions [50, 51], etc.

Use of aminocarboxyphosphonates for the removal of heavy metals.

The variety and quantity of waste discharged into the environment are the main disadvantages of industrialization. The activities of industrial enterprises, automobile exhausts and other attributes of civilization, unfortunately, negatively affect the state of ecology, the quality of water, air, soil, etc. Heavy metals are

one of the most toxic pollutants of anthropogenic origin. The danger of heavy metals entering the environment is determined by the fact that, unlike organic pollutants, they do not break down, but pass from one form to another, in particular, they are included in the composition of salts, oxides, organometallic compounds. The term «heavy metals» is used for metals whose specific gravity exceeds 5 g/cm^3 or atomic number is more than 20. Among them, the most toxic are metal ions - Cu, Cd, Pb, Cr, Mn, Hg, Fe, Al, Se, Sn, rare-earth elements (REE), etc.

Water pollution by heavy metal ions is of serious concern due to their toxicity to many life forms. In order to reduce the impact of heavy metals on the environment, various water purification technologies are being studied, such as: chemical precipitation, ion exchange, redox processes. The trend is to find a universal and economical method for removing heavy metals from wastewater. One of the water purification methods that is effectively used to remove heavy metal ions from drinking water and wastewater is adsorption. Adsorption is a separation process that consists in the adhesion of metal ions dissolved in aqueous solutions to the surface of an adsorbent. The mechanisms of metal ion separation from water by adsorption are influenced by both their characteristics and the characteristics of the adsorbent, which are determined by the interaction between them. These interactions can be of a physical nature, caused by low-energy forces (for example, Van der Waals-type forces). In this case, metal ions are adsorbed in the pores of the adsorbent without the participation of electron transfer. In this case, the process is reversible, and the metal ion molecules retained on the surface of the adsorbent can be removed by desorption,

regenerating the adsorbent. If the interaction between metal ions and adsorbents involves electron transfer and the formation of chemical bonds, the process is called chemical adsorption, or chemisorption. In this case, the metal ions are not attracted to the entire surface of the adsorbent materials, but only to the active zones, which contain functional groups that react with the metal using more energy than in physical adsorption, a fact that explains the greater selectivity of chemical adsorption. In adsorption processes, the adsorbent material used is an important element for obtaining an effective separation. Porous activated carbons, zeolites, bioadsorbents, carbon nanotubes are often used to remove heavy metals. However, these materials have limited practicality due to low adsorption capacity, low efficiency, or high cost. The best adsorbents are compounds with well-ordered structures, such as metal-organic frameworks (MOFs) and coordination macromolecular compounds (Coordination Polymers, CPs), which are currently being intensively studied to create new materials. The main advantages of MOFs and CNs in adsorption processes over other adsorbent materials are their large specific surface area, well-organized unique structures, and stable pores with uniform size, which ensure their high adsorption capacity over a wide pH range for the removal of heavy metals from wastewater [52–55].

N,N-bis(phosphonomethyl)glycine, which has excellent chelating ability, was used for wastewater treatment from heavy metals in [53, 55]. Metallophosphonate organic frameworks of Ni(II) were synthesized by hydrothermal method using $\text{Ni}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ and phosphonic acids (phosphonoacetic acid, vinylphosphonic acid (VP) and N,N-bis(phosphonomethyl)glycine (Gly)). The adsorption properties

of these materials in the process of removing heavy metals (Cr(VI), Cd(II), Pb(II)) from aqueous solutions at different pH values, contact time and initial adsorbate concentration were investigated (Fig. 4.).

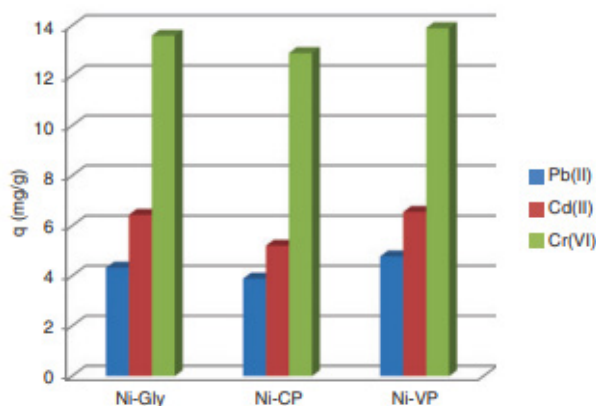


Fig. 4. Adsorption capacity of metallophosphonate organic Ni(II) frameworks in the process of removing heavy metal ions from aqueous solutions. ($C_i=30$ mg/l, $S:L=2$ g/l, $t=60$ min. [53]).

As can be seen from Fig. 4, metal organic frameworks based on Ni(II) phosphonates showed the highest adsorption capacity in the process of Cr(VI) removal compared to the removal of divalent metal ions. Detailed studies of the removal of Cr(VI) from aqueous solutions showed that the highest adsorption capacity of all materials is at pH 2.5 (Fig. 5), and the adsorption efficiency of the studied materials in the process of removing Cr(VI) ions from aqueous solutions is in the following order:



In [56], two coordination network polymers based on N,N-bis(phosphonomethyl)glycine Co-Gly and Ni-Gly were used as adsorbents for the removal of Cd(II) ions from aqueous solutions, which contain as the main structural units $[\text{M}(\text{HO}_3\text{PCH}_2)_2\text{N}(\text{H})\text{CH}_2\text{COO}](\text{H}_2\text{O})_2]$

($\text{M} = \text{Ni}, \text{Co}$). Adsorption of cadmium on the studied compounds was carried out in a batch mode at different pH, initial concentration, contact time, temperature and mass of the sorbent. It was found that the Ni-Gly sample has a larger specific surface area and pore volume ($45 \text{ m}^2/\text{g}$, $0.85 \text{ cm}^3/\text{g}$) compared to the Co-Gly sample ($32 \text{ m}^2/\text{g}$, $0.25 \text{ cm}^3/\text{g}$), and exhibits higher adsorption capacity in removing Cd(II) ions from aqueous solutions.

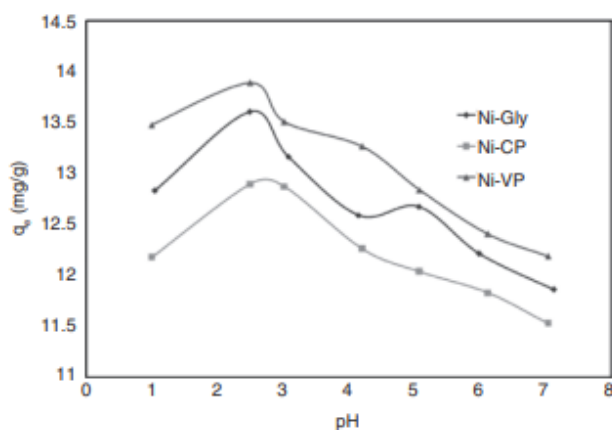


Fig. 5. Effect of initial pH on the adsorption capacity of Ni(II) metallophosphonate organic frameworks in the process of removing Cr(VI) ions from aqueous solutions [53].

The maximum adsorption capacity for Co-Gly and Ni-Gly was 51.5 mg/g and 58.1 mg/g , respectively. The higher specific surface area and pore volume of Ni-Gly together with the higher negative partial charges of Ni in the polymer network increase the electrostatic attraction between Ni-Gly and the positively charged Cd^{2+} ions, which causes a higher adsorption capacity of Ni-Gly. In addition, the adsorbent materials can be easily regenerated and recycled without significant loss of cadmium adsorption capacity.

Of no less concern is the contamination of

ground and/or drinking water with high concentrations of arsenic. Therefore, the need to find new appropriate methodologies capable of removing this pollutant is relevant today. An important aspect to consider is the possibility of finding arsenic in different chemical forms, which may require different approaches for its removal. To this end, speciation analysis is crucial for a better understanding of the behavior of arsenic species in aqueous solutions, especially in the presence of compounds with pronounced chelating properties. In recent years, the interest of scientists has focused on the increasing use of phosphonates in the industrial field and on their binding capacity. This class of ligands is characterized by a stable covalent carbon-phosphorus bond, and the most used compounds have structures similar to the known aminopolycarboxylates, such as ethylenediaminetetraacetate and nitrilotriacetate. Italian scientists have studied the interaction of As(III) with three phosphonic acids: N-(phosphonomethyl)iminodiacetic (H_4PMIDA), tri(nitrilotri(methyl)phosphonic (NTA_3P) acids and N,N-bis-(phosphonomethyl)glycine (H_5BPMG) [54]. In-depth potentiometric and calorimetric studies depending on pH allowed the authors to determine the formation of complexes of the composition ML, MLHi and ML(OH) in solutions and to propose the use of aminocarboxyphosphonates for arsenic removal. Based on the analysis of the values of the coefficient $pL_{0.5}$ (the concentration of the ligand capable of removing 50% of metal ions present in trace amounts), it was shown that all ligands demonstrate good sequestering ability in fresh water conditions, which varies in the series $NTA_3P > H_5BPMG > H_4PMIDA$.

Aminocarboxyphosphonate-based metal-organic frameworks can be used to extract or

separate rare earth elements from solutions. Rare earth elements are a group of valuable metals with growing demand and widespread applications. Mineral ores, traditional sources of REE, require significant capital investment, and their processing is a source of environmental pollution. Industrial and natural fluids containing REE are potential alternative sources of these metals. REE, being toxic in nature, accumulate in water bodies as their industrial use increases exponentially, so their effective separation is of great importance.

In [57], the efficiency of polymer resin beads functionalized with H_5BPMG for the selective extraction of REE from saline solutions in fixed-bed adsorption columns was investigated. Competitive adsorption experiments were performed with different metals (Nd, Gd, Ho, Al, Fe, Co, Ni, Ba, Pb, Th, and U). BPMG-functionalized resins showed improved performance after 1–2 cycles of use or after an acid pre-rinse cycle, and REE adsorption was consistent for at least five cycles. At the same time, the adsorbent materials showed a slight preference for heavier REEs ($q_{Ho} > q_{Nd}$), although the overall adsorption of REEs on the amine resin was insignificant. Experiments with multi-element mixtures containing REEs and competing ions showed that the absorption of REEs by BPMG-functionalized resins was 137 times higher and more selective than for unfunctionalized amine resins. BPMG resin granules did not experience a significant decrease in REE adsorption capacity upon addition of other metals, whereas the performance of the aminated resin granules deteriorated at high concentrations. The REE and Pb removal efficiency was 10 times higher for BPMG-functionalized resins than for aminated resins in both REE-only and REE + competing metal mixtures (Fig. 6a).

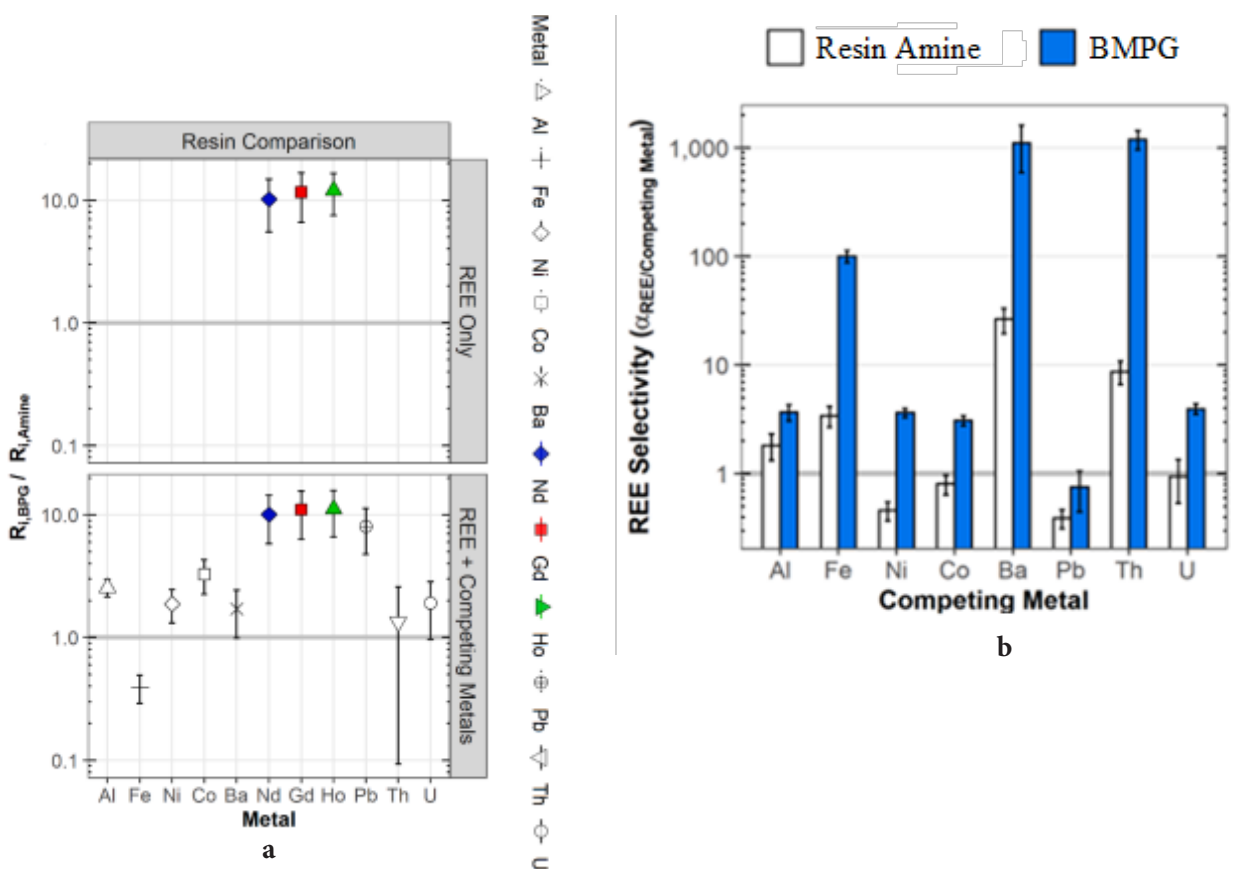


Fig. 6. Improvement of metal extraction for BMPG resins compared to aminated resins (a) and separation coefficients ($\alpha_{REE/competing metal}$) for REE (average value for Nd, Gd and Ho) for each competing metal in the mixture (b) [57].

The average separation coefficients for the BMPG-functionalized resins were highest for REE/Ba and REE/Th ($\alpha_{REE/competing metal} > 1000$) and were ≈ 137 times higher than for the aminated resins (Fig. 6b). A multi-element column test showed that the BMPG resin granules adsorbed ~ 15 times more REE than the granules of the unfunctionalized aminated resin (1.99 mg-REE/g BMPG resin vs. 0.137 mg-REE/g Amine resin). The aminated resins adsorbed mainly actinides (Th and U) with minor uptake of other metals.

Elution with the BMPG column yielded the

following order of recovery: $Ni > Ho > U/Co > Gd > Nd > Pb \gg Ba/Th$. The recovered concentrations were low for Pb, which is related to the low concentration of HNO_3 (0.75 M) used for elution. This study highlights the potential of these new materials for REE recovery and provides new insights into their performance under a range of conditions.

For the selective adsorption of La(III) from wastewater, an iron-benzenetricarboxylic acid-based polyacrylonitrile polymer (Fe-BTC) functionalized with N-(phosphonomethyl)imino-diacetic acid (PMIDA) was used [58] (Fig. 7).

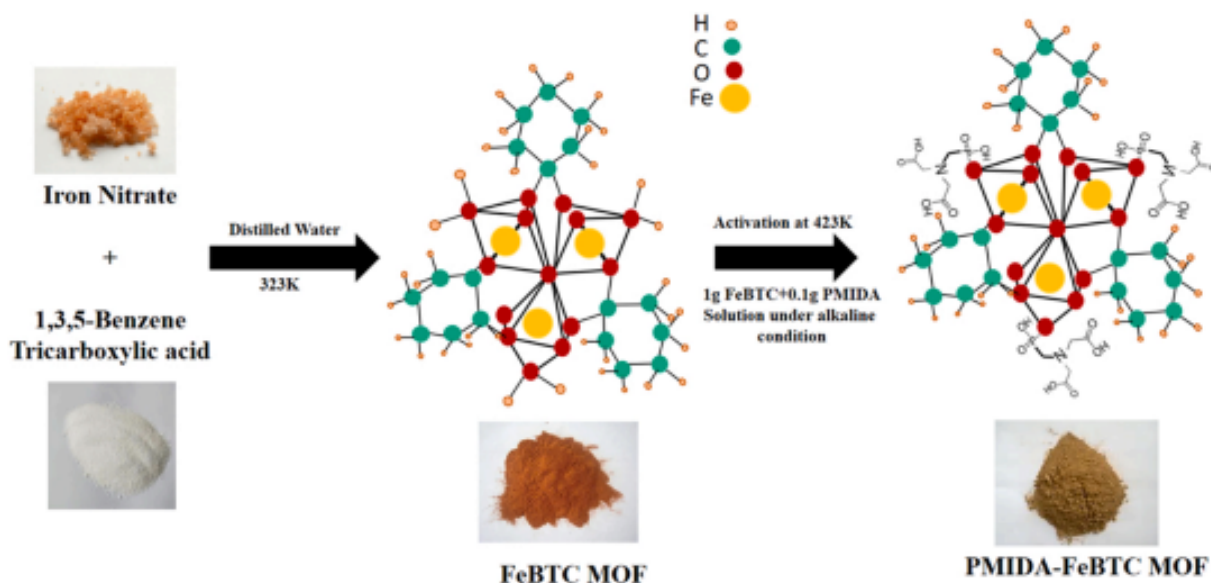


Fig. 7. Scheme of the synthesis of functionalized FeBTC with PMIDA molecules [58].

According to the authors, such research is necessary because La(III) due to its properties is used for various purposes: for the removal of phosphates in water purification, for improving special optical properties of glass, as an automotive catalytic converter, as a catalyst for biodiesel production and oil refining, etc. [59–61]. And what is more important is that La has wide application in nuclear technologies for controlling neutrons in control rods [62]. In this regard, scientists are making great efforts to develop processes for the extraction of lanthanum from alternative resources (such as acid mine drainage, brines, wastewater, etc.) to increase the availability of lanthanum and minimize the pressure on exhaustible resources. The extraction of La is also necessary because lanthanum, being toxic in nature, causes environmental damage and contaminates the food chain when accumulated [63, 64]. Considering these points, several separation methods, such as

ion exchange, solvent extraction, chemical precipitation, adsorption and membrane separation, are currently used in industry to remove, separate and preconcentrate La from waste streams. These processes are successful but energy-intensive, which affects the scalability, ease of operation and cost-effectiveness of the process. Adsorption methods for lanthanum extraction are cost-effective and user-friendly. The adsorption of lanthanum from aqueous solutions (sewage, wastewater, brines, acid mine drainage, etc.) has been investigated using a wide range of adsorbents, which are mainly functionalized inorganic, carbonaceous (including nanoparticles), and organic-inorganic composites: magnetic silica P507 [65], cysteine-modified Fe_3O_4 nanoparticles [66], HESI-SBA15 [67], Cu-Al intercalated with EDTA [68], etc. However, low adsorption capacity, limited surface-to-mass ratio, and low selectivity are the main problems faced by these adsorbents.

To overcome these difficulties, the authors [58] proposed the use of polymer beads based on a functionalized metal-organic framework, since they have a high specific surface area and have a great potential for the extraction of lanthanum from water sources. It was shown that the functionalization of MOF with PMIDA chelate groups leads to an increase in La^{3+} adsorption (over 95%) compared to FeBTC, which is due to the formation of bidentate coordination bonds of lanthanum with the surface carboxyl groups of PMIDA, which is confirmed by NMR, high-resolution IR spectroscopy, X-ray photoelectron spectroscopy, etc. In addition, the interaction of PMIDA with carboxyl groups changes the effective surface charge, which also contributes to the improvement of the adsorption characteristics of functionalized MOFs. The adsorption capacity of the functionalized MOF and composite granules was 232.5 mg/g and 77.51 mg/g. It was found that the adsorption characteristics of PMIDA-FeBTC for La^{3+} depend on the pH of the solution and the dosage of the adsorbent. When the pH increases from 2 to 8, the adsorption capacity increases, but at $\text{pH} > 6$, insoluble hydroxide $\text{La}(\text{OH})_3$ can be formed, which significantly reduces its adsorption. Therefore, the authors proposed to maintain the pH of the solutions at ~ 4.0 for effective extraction of La, at which the surface potential does not change, which contributes to faster diffusion of various forms of La^{3+} to the surface of the adsorbent.

When the sorbent dosage is increased from 2.5 g/l to 3 g/l for a La^{3+} concentration of 750 mg/l, its adsorption increases from 60% to 98.35%, while the adsorption capacity decreases from 302.8 mg/g to 257 mg/g. However,

above 3 g/l, the adsorption percentage remains unchanged due to the limited amount of adsorbate. Therefore, 3 g/l can be chosen as the optimal adsorbent dosage at a layer height of 12 cm and a flow rate of 10 ml/min.

Prospects for the use of aminocarboxyphosphonates as antitumor agents.

Despite the worldwide success of platinum complexes (1-4 cis-diamindichloroplatinum(II) - cisplatin, carboplatin, cis-diamine-(1,1-cyclobutanedicarboxylato)platinum(II), oxaliplatin (trans-R,R-cyclohexane-1,2-diamine)oxalatoplatinum(II)) as some of the best agents in clinical cancer chemotherapy, researchers around the world continue to make efforts to find new anticancer drugs to overcome the serious side effects caused by platinum drugs, improve clinical efficacy, and expand the spectrum of use of newly created compounds. For the synthesis of platinum complexes with selective activity in primary and secondary malignant bone neoplasms (osteosarcoma and bone metastases of tumors with other primary localizations), a series of stereoisomeric platinum(II) complexes based on bis(phosphonomethyl)aminoacetic acid and cyclohexane-1,2-diamine ligands (chxn), - [(bis(phosphonomethyl)aminokN)acetato- $\kappa\text{O}(2-)]$ -platinum(II) with (Fig. 8) was synthesized in [69], the antitumor activity of which was studied on human ovarian cancer cells (CH1) using the colorimetric microculture assay (MTT assay).

The antitumor activity of the synthesized complexes in vitro was compared with the similar action of cisplatin, carboplatin, and oxaliplatin (Fig. 9, Table 1).

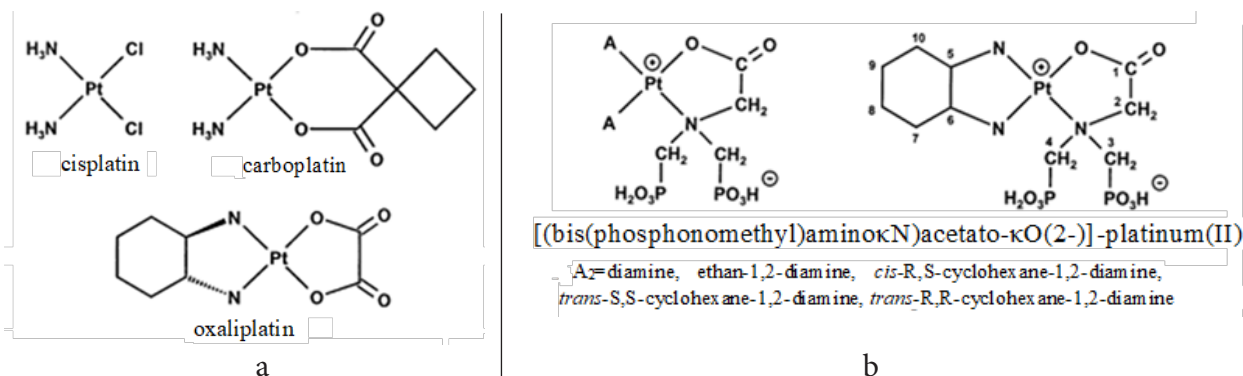


Fig. 8. Structural formulas of known antitumor Pt(II) complexes (a) and synthesized in [69] (b).

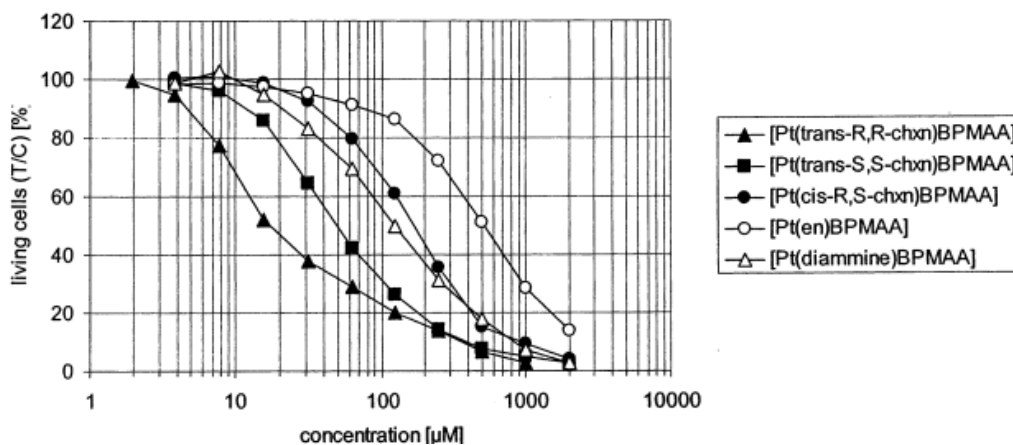


Fig. 9. Concentration-response curves of [(bis(phosphonomethyl)amino- κ N)acetato- κ O(2-)]platinum(II) complexes in ovarian cancer cells (CH1) after exposure for 96 h (T/C - ratio of live cells to tumor cells) [69].

Table 1.

Antiproliferative activity of [(bis(phosphonomethyl)amino- κ N)acetato- κ O(2-)]platinum(II) complexes in comparison with known platinum-based anticancer drugs on the CH1 ovarian cancer cell line [69].

Complex	IC ₅₀ , μ M
[Pt(NH ₃) ₂ BPMAA]	128 $\pm$ 22
[Pt(en)BPMAA]	532 $\pm$ 154
[Pt(<i>cis</i> -R,S-chxn)BPMAA]	169 $\pm$ 56
[Pt(<i>trans</i> -S,S-chxn)BPMAA]	52.4 $\pm$ 10.9
[Pt(<i>trans</i> -R,R-chxn)BPMAA]	20.6 $\pm$ 1.1
cisplatin	0.15 $\pm$ 0.01
carboplatin	2.5 $\pm$ 0.4
oxaliplatin	0.27 $\pm$ 0.07

Both compounds [Pt(*trans*-chxn)BPMAA] demonstrate higher antitumor activity than the corresponding analogue [Pt(*cis*-R,Schxn)BPMAA], and the complex [Pt(*trans*-R,R-chxn)BPMAA] is the most active among the three isomers. This is consistent with the effectiveness of the oxaliplatin isomers. In addition, both complexes [Pt(*trans*-chxn)BPMAA] demonstrate significantly higher activity compared to [Pt(NH₃)₂BPMAA] and [Pt(en)BPMAA], while the *cis*-isomer [Pt(*cis*-R,Schxn)BPMAA] has either similar or even slightly lower activity than [Pt(NH₃)₂BPMAA]. Thus, the antitumor activity of the studied complexes decreases in the following order: [Pt(*trans*-R,R-chxn)BPMAA] > [Pt(*trans*-S,Schxn)BPMAA] > [Pt(NH₃)₂BPMAA] ≥ [Pt(*cis*-R,Schxn)BPMAA] > [Pt(en)BPMAA].

The advantage of [Pt(*trans*-R,R-chxn)BPMAA] was also confirmed when studying the *in vivo* effect of the synthesized complexes on white mice infected with murine leukemia L1210. In this tumor model, the survival of experimental animals is significantly increased by the administration of [Pt(*trans*-R,R-chxn)BPMAA], which is reflected in T/C values >250% at the optimal dosage.

The authors believe that the activity of BPMAA complexes with chxn will be preserved also in these cisplatin-resistant cells and relevant tumor models *in vivo*.

In recent years, with the development of modern nanotechnology, interest has arisen in the synthesis and study of metal nanoparticles (NPs) with biological activity. The size of nanoparticles or nanosystems used in chemistry, medicine, and biotechnology is of great importance, since it determines the permeability, activity, solubility, and toxicity of nanoparticles [70, 71]. A feature of such particles is that they

easily form complex compounds with organic ligands, which have new properties compared to macrocompounds. Thus, nanoparticles can bind to nucleic acids, proteins, integrate into membranes, penetrate into cellular organelles, changing the functions of biostructures. A number of works have been devoted to the study of the properties of metals in the ultradisperse range in the form of powders, solutions and suspensions [72, 73]. It has been shown that non-aggregated metal nanoparticles have antimicrobial, antiviral, and antioxidant activity [75–76]. A number of authors have shown that the biological activity of metal nanoparticles is determined not only by their size, but also by their shape. For example, dendritic and spindle-shaped nanoparticles have higher cytotoxicity than spherical ones [77]. Thus, the totality of the above facts indicates that metal nanoparticles have biological activity, the severity of which depends on their size, shape, surface structure, aggregate state, chemical composition, solubility and a number of other factors [66, 78]. Among the various forms of nanoscale materials, solutions of metal nanoparticles are of interest. Their advantage lies in a relatively narrow size distribution (up to 12 nm) and shape (mostly spherical) and a long retention time of biological activity. Therefore, the use of stable metal nanoparticles in aqueous solutions is promising in various fields of biology, veterinary medicine and medicine. In this regard, the search for new ways to form monodisperse systems with controlled nanoparticle size is relevant.

One of the most interesting chemical elements used as nanoparticles for biomedical purposes is cobalt Co(II) and its oxide. Despite its physiological role as a cofactor of vitamin B₁₂, cobalt cannot be considered only as an es-

sential element. Cobalt-based nanoparticles in general and cobalt oxide nanoparticles in particular are currently attracting great interest due to their unique properties, which depend on size, shape and potential applications in pigments, catalysis, sensors, electrochemistry, magnetism, energy storage, etc. [79]. Cobalt nanoparticles have the ability to penetrate cells very quickly [80], which has attracted the attention of researchers to biomedical application systems based on cobalt nanoparticles. However, the use of cobalt nanoparticles is limited due to their toxicity, and this problem can be overcome by coating magnetite/maghemite nanoparticles with polymeric organophosphorus compounds [81, 82]. The binding of organophosphorus molecules to the inorganic phase occurs as a result of the formation of strong M-O-P bonds through heterocondensation and coordination. Homocondensation with the formation of P-O-P bridges is unlikely, and such bridges are unstable in the presence of water. Organophosphorus coupling agents react specifically with metal oxide surfaces and promote only the formation of a monolayer. The resulting monolayers are highly stable under physiological conditions.

Using this approach, Chattopadhyay and colleagues [83] investigated the prospects of using surface-modified cobalt oxide (CoO) nanoparticles as carriers of cancer antigens in human macrophages. N-Phosphomethyliminodiacetic acid used to modify the CoO surface in order to overcome the toxic effect of CoO nanoparticles. In this case, the phosphonate group of PMIDA acts as a surface anchoring agent, and the two -COOH groups bind nonspecifically to tumor-associated antigens. Cytotoxicity studies, flow cytometric analysis, and scanning electron micrographs showed

that PMIDA-coated nanoparticles significantly enhance the cellular uptake of nanoparticles and thus promote apoptosis of cancer cells.

The conjugation of PMIDA with CoO nanoparticles studied by IR spectroscopy (Fig. 10).

In the IR spectra, a decrease in the intensity of the $\nu(\text{OH})$ band at 3440 cm^{-1} is observed, indicating the conjugation of the phosphonic group of PMIDA on CoO NPs. The presence of bands at 1750 cm^{-1} and 1050 cm^{-1} , which correspond to M-O-P and P-O vibrations, respectively, confirms the conjugation of PMIDA on the surface of the nanoparticles.

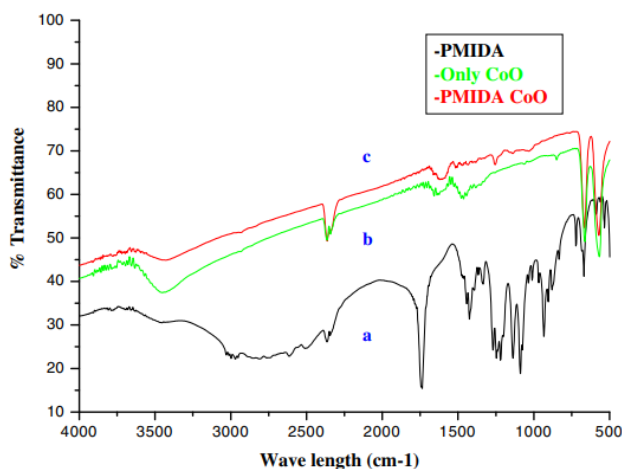


Fig. 10. IR spectra of PMIDA (a), CoO (b) and CoO nanoparticles coated with PMIDA (c) [83].

The authors carried out a study of the toxicity of CoO-PMIDA nanoparticles towards normal human lymphocytes and oral squamous epithelial cells *in vitro*. The experiments were conducted in comparison with the well-known anticancer drug doxorubicin. The study revealed no significant difference between the effects of CoO-PMIDA nanoparticles and doxorubicin: doxorubicin killed Jurkat cells (lymphoma T-cell lines) and KB cells (oral carcinoma) by 15.64%, 25.28%, 40.52% and 17.08%, 30.80%,

42.73%, respectively, at doses of 1, 5 and 10 $\mu\text{g/ml}$, while CoO-PMIDA nanoparticles killed Jurkat and KB cells by 14.2%, 21.80%, 34.28% and 12.20%, 23.58%, 35.78%, respectively. However, PMIDA-coated CoO nanoparticles did not have a toxic effect on normal human lymphocytes and oral epithelial cells, while doxorubicin had a toxic effect on

normal cells. This selectivity significantly enhances the therapeutic potential of nanoparticles by cells, and thus facilitates cancer cell apoptosis.

The authors proposed a model in which cytotoxicity against oral cancer is manifested by activation of normal human macrophages using the CL-PMIDA-CoO complex (Fig. 11).

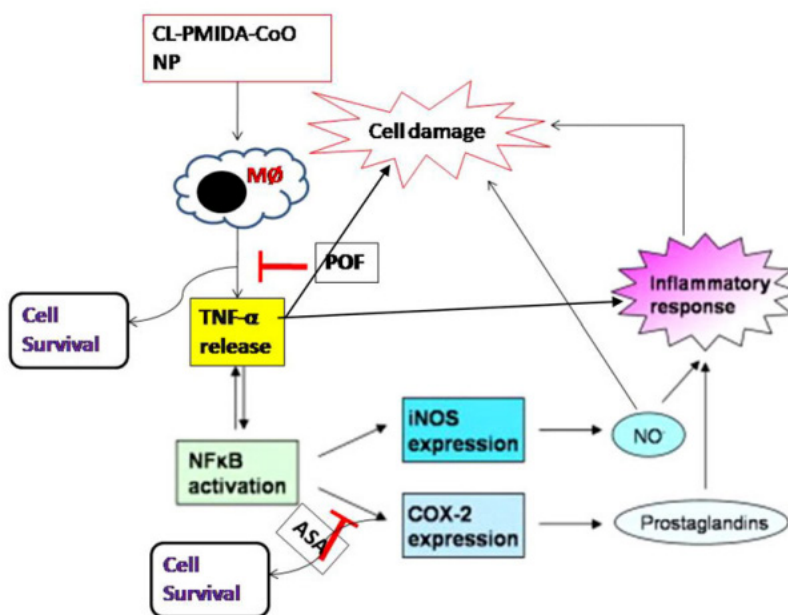


Fig. 11. Proposed pathway of action of CL-PMIDA-CoO nanoparticles as antitumor agents [83].

This model allows for basic studies of tumor lysate delivery to macrophages and immunostimulation mediated by activated macrophages against oral cancer cells. To identify factors involved in anticancer activity, the researchers used pentoxifylline (POF), a potent TNF- α blocker, in the experiment (TNF- α – tumor necrosis factor extracellular protein and multifunctional pro-inflammatory cytokine synthesized by monocytes and macrophages). It was found that TNF- α is responsible for the destruction of KB cells, and in the presence of aminocarboxyphosphonate, the production of

NO, which is responsible for the destruction of cancer cells, is increased. From this perspective, the authors believe that CL-PMIDA-CoO_{NPs} indirectly stimulate TNF- α and thus exhibit anticancer immunotherapy (Fig. 12). Functionalization of the CoO surface with –COOH and –NH₂ groups facilitates the conjugation of nanoparticles with anticancer drugs through amide bonds, which are effectively taken up by cancer cells. Thus, PMIDA-coated CoO nanoparticles may have great promise for cancer treatment due to the lack of lethal toxicity to normal (living) cells.

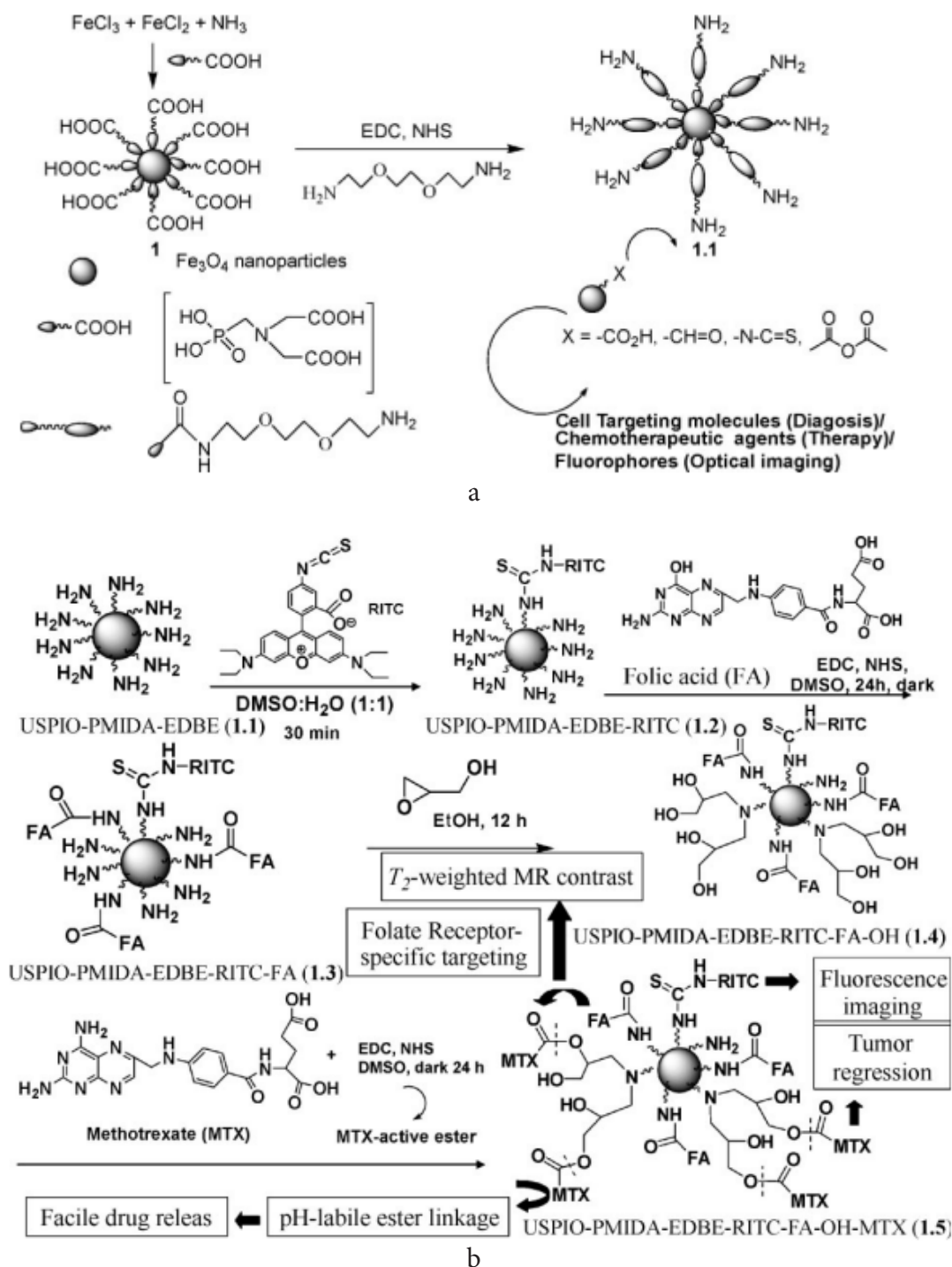


Fig. 12. Scheme of the synthesis of functionalized paramagnetic magnetite nanoparticles (a) and a multifunctional nanomedical platform for magnetic resonance/optical imaging of cancer cells (b) [84].

No less interesting results were obtained in the study of a nanosystem based on an ultra-small superparamagnetic iron oxide nanocore (USPIO) modified with a hydrophilic, biocompatible and biodegradable coating - N-phosphonomethyliminodiacetic acid to create a multifunctional nanoprobe that can selectively target, detect and kill cancer cells [84]. The synthesis of the nanosystem consists of 4 stages. First, ultrasmall superparamagnetic magnetite nanoparticles were synthesized by alkaline chemical co-precipitation of Fe^{3+} and Fe^{2+} in the presence of PMIDA (Fig. 12, a).

PMIDA-coated magnetite nanoparticles (USPIO-PMIDA, 1) served as the base material to enable magnetically guided drug delivery and to enhance magnetic resonance contrast. Then, a fluorescent dye, rhodamine B isothiocyanate (RITC), was linked to the amino-derivative substrate of USPIO-PMIDA (1.1) to provide optical imaging capabilities. In step 3, folic acid (FA) was conjugated to 1.1 to target cancer cells overexpressing the folate receptor (FR). Finally, the folate analog methotrexate (MTX) was linked to the nanoparticle surface via a pH-labile ester linkage to facilitate drug release within acidic tumor endosomes and to initiate apoptosis (Fig. 12, b).

The synthesized USPIO-PMIDA-EDBE-RITC-FA-OH-MTX (1.5) nanoparticles are biocompatible and biodegradable because they are composed of biodegradable and biocompatible components. These functional nanoparticles are stable in aqueous buffer solutions, have good cellular targeting ability, and their relatively simple synthesis process is scalable.

To further demonstrate the anticancer potential of USPIO-PMIDA-EDBE-RITC-FA-OH-MTX, *in vitro* cell uptake experiments were performed. FR-positive human cervical

carcinoma HeLa cells were selected as the target cell line. Magnetic-activated cell sorting (MACS) was used to preliminarily quantify the uptake of nanoparticles into target cells.

Cellular uptake of conjugates containing folic acid as the targeting molecule was significantly improved compared to their non-targeted controls, demonstrating active targeting of magnetite nanoparticles through the interaction between folate groups on the surface of the nanoparticles and receptors of HeLa cells (Fig. 13).

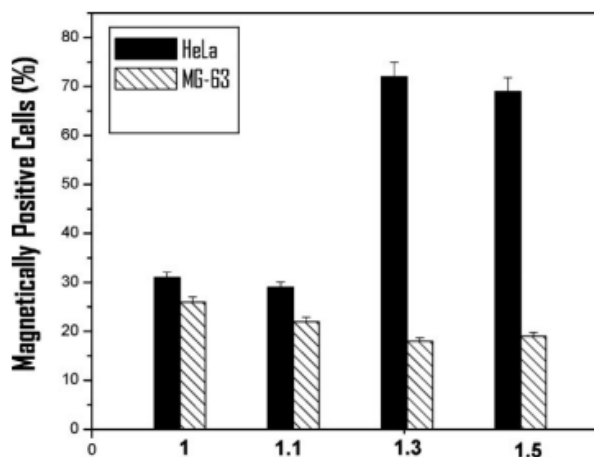


Fig. 13. Quantitative assessment of the uptake of USPIO-PMIDA-EDBE-RITC-FA-OH-MTX nanoparticles by FR-positive HeLa and FR-negative MG-63 cell lines [84].

To confirm receptor specificity for the conjugate, the uptake of 1.5 by HeLa cells was also compared with that of the FR-negative human osteosarcoma cell line MG-63. The uptake of nanoparticles by HeLa cells was much greater than that of their non-targeted counterparts. In contrast, the uptake of folate-targeted nanoparticles by MG-63 cells was significantly lower and similar to that of non-targeted controls.

Magnetic resonance phantom imaging was used to assess the detectability by MRI and to further confirm the association of these nanoparticles with FR-overexpressing HeLa cells. HeLa cells cultured with FA-functionalized nanoparticles had a shorter T_2 relaxation time (higher relaxivity) than those cultured with the unfunctionalized counterpart due to the enhanced magnetism. The results presented here show the high potential of the obtained nanocarriers as a cancer-targeting MRI probe.

In vitro drug release experiments of 1.5 conducted at different pH values (pH = 2.0 - 7.4) showed that the release rate was much higher in the lower pH range (pH 2–5) with negligible drug release at physiological pH. This suggests that USPIO-PMIDA-EDBE-RITC-FA-OH-MTX would be released more in acidic tumor regions than in normal tissues. When particles accumulate inside cells via FR-mediated endocytosis, reduced pH values may induce further accelerated release within acidic endosomes of tumor cells.

When exposed to drug-modified nanoparticles at low concentrations (0.01 mg/ml) after 24 hours, cancer cells showed a noticeable trend towards decreased viability. To test whether USPIO-PMIDA-EDBE-RITC-FA-OH-MTX could induce cell death by initiating apoptosis, HeLa cells were exposed to 1.0 mg/ml USPIO-PMIDA-EDBE-RITC-FA-OH-MTX for 0.5 h and incubated at 37°C for 24 h. The results showed intense red fluorescence in the cytoplasm of cells treated with folate-targeted nanoparticles, demonstrating cellular internalization via receptor-mediated endocytosis. To examine nuclear morphology and identify nuclear alterations associated with cell death, cells were additionally stained with 4'-6-diamidino-2-phenylindole (DAPI), a

nuclear dye that exhibits strong blue fluorescence upon binding to DNA. Cells treated with USPIO-PMIDA-EDBE-RITC-FA-OH-MTX exhibited typical apoptotic morphology, which included condensed nuclei, membrane blebs, and the formation of apoptotic bodies.

Other areas of application of aminocarboxyphosphonates.

Aminocarboxyphosphonates have promising applications for flotation separation of minerals [85–87]. For example, [86, 87] proposed the use of N,N-bis(phosphonomethyl) glycine as a highly effective dolomite depressant for the flotation of magnesite from dolomite using sodium oleate (NaOL) as a collector. Using an optimized reagent system consisting of 80 mg/L NaOL, 30 mg/L BPMG, and pH 10.0, concentrates with MgO and CaO contents of 42.81% and 4.35%, respectively, were obtained with their recoveries of 80.85% and 23.67%, respectively. Both single mineral and binary mixed mineral tests clearly confirm the exceptional depressant capabilities of BPMG in dolomite flotation, while demonstrating negligible impact on magnesite flotation. At the same time, the depressant effect of BPMG on dolomite demonstrates excellent selectivity, ensuring maximum MgO recovery with minimal CaO recovery.

Contact angle measurements demonstrate hydrophobic limitations inherent to the natural minerals magnesite and dolomite. However, adsorption of NaOL on mineral surfaces enhances the hydrophobic characteristics of both minerals. In the presence of BPMG, the differential adsorption behavior of NaOL on mineral surfaces gives magnesite and dolomite distinct wetting properties. Zeta potential measurements showed that both magnesite and dolomite have negative zeta potentials

under alkaline conditions ($\text{pH} \approx 10.0$). Therefore, BPMG must overcome electrostatic repulsion during adsorption on mineral surfaces. BPMG exhibits increased adsorption affinity to the surface of dolomite minerals, which can be attributed to the difference in atomic radii of calcium and magnesium in the semi-closed state on the mineral surface. Fourier transform infrared spectroscopy analysis confirmed that the strong interaction between BPMG and dolomite can be attributed to the chemical interaction between the phosphonic groups in BPMG and the metal

atoms on the surface of the dolomite mineral. XPS analysis confirmed the specific interaction of BPMG with calcium rather than magnesium sites on the dolomite surface. Coordination between the $-\text{PO}_3$ groups in BPMG and the calcium sites leads to the formation of Ca-BPMG complexes, thereby facilitating selective adsorption on mineral surfaces.

Based on the conducted studies, the authors proposed possible adsorption models for BPMG and NaOL on dolomite and magnesite (Fig. 14).

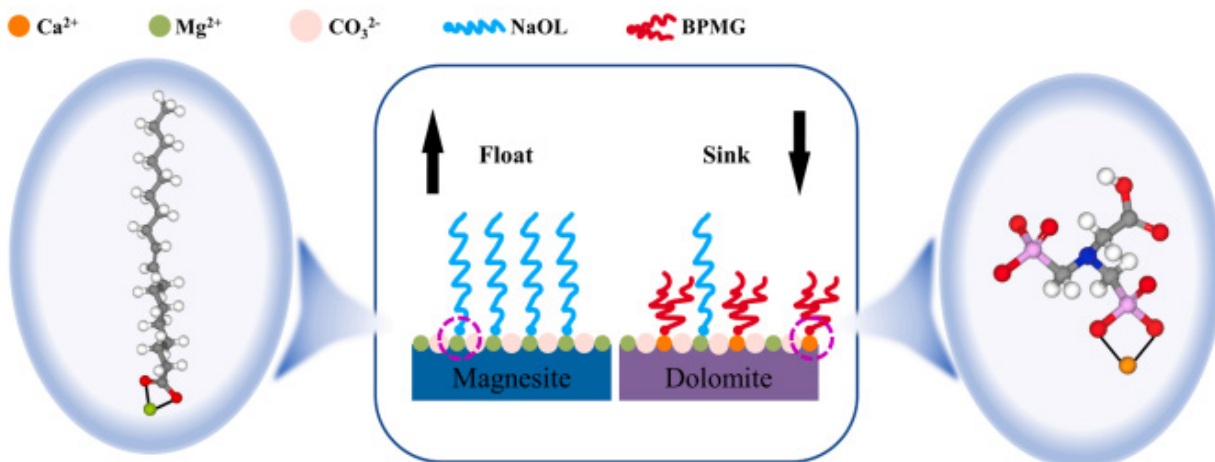


Fig. 14. Model of adsorption of BPMG and NaOL on magnesite and dolomite [86].

BPMG is intensively chemisorbed on the dolomite surface through calcium sites. In addition, the weak interaction between BPMG and magnesite has little effect on the adsorption of NaOL on the magnesite surface, maintaining the excellent flotation of magnesite. For dolomite, the high adsorption of BPMG on its surface and the formation of Ca-BPMG chelates, which accumulate on the dolomite surface, possibly due to steric hindrance, significantly reduce the adsorption of NaOL.

In [87], the use of N-(phosphonomethyl)

iminodiacetic acid (PMIDA) as an environmentally friendly depressant for the selective flotation of galena and sphalerite was investigated. PMIDA microflotation tests were performed to evaluate its effectiveness. In addition, the mechanism of PMIDA depression was analyzed using solution chemistry calculations, zeta potential measurements, contact angle determination, X-ray photoelectron spectroscopy, and density functional theory calculations. Solution chemistry calculations showed that the presence of PMIDA in the pulp ($C_{\text{PMIDA}} =$

120 mg/l, pH = 8) in the form of PMIDA^{3-} ions optimized the depressive effect on the sphalerite surface, while galena demonstrated excellent flotation. The addition of PMIDA increased the hydrophilicity of the sphalerite surface and made it difficult for xanthate to adsorb on the sphalerite surface. However, the introduction of PMIDA had minimal effect on the surface hydrophilicity and adsorption of xanthate on galena, thereby promoting the selective separation of sphalerite and galena. Zeta potential measurements showed that the adsorption capacity of xanthate on the sphalerite surface was significantly reduced after PMIDA treatment. X-ray photoelectron spectroscopy analysis showed that the adsorption of PMIDA on the sphalerite surface was associated with the formation of a stable chemical bond between the oxygen atoms of the phosphonic acid group and the surface zinc atoms of sphalerite. That is, PMIDA exhibited a higher adsorption affinity for the sphalerite surface compared to the galena surface, thereby selectively inhibiting the flotation of sphalerite.

Metal phosphonates, as a subclass of coordination polymers, exhibit acidic properties due to the presence of groups such as POH , SO_3H , COOH , $\text{N}^+\text{-H}$ in their molecules. The combination of these properties with electrocatalytically active transition metals makes them very attractive in the field of fuel cells and electrolyzers, as potential proton conductors and/or precursors of electrocatalysts [88, 89]. The authors [90] obtained a series of Co^{2+} and Sn^{4+} phosphonates based on glycine- N,N -bis(methylene)phosphonic acid (BPMGLY) by hydrothermal synthesis. In the case of the tin derivative, the amorphous compound $\text{Sn}(\text{C}_4\text{H}_{11}\text{O}_8\text{NP}_2)_{0.75}\text{Cl}_{2.5}(\text{H}_2\text{O})_{2.5}$ (Sn^{4+} -BPMGLY) is formed. Its pyrolytic treatment at 700 °C in

air led to the formation of amorphous pyrophosphate (Sn^{4+} -BPMGLY-700). As for cobalt phosphonates, three crystalline phases with the composition $[\text{Co}(\text{C}_4\text{H}_{11}\text{O}_8\text{NP}_2(\text{H}_2\text{O})_2)] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ($n = 0; 2$) were obtained. All synthesized compounds were studied as proton conductors in a wide range of temperatures and humidity conditions. Sn^{4+} derivatives at 95°C and 95% relative humidity showed the highest conductivity values of $7.99 \cdot 10^{-4}$ and $6.63 \cdot 10^{-3} \text{ S} \cdot \text{cm}^{-1}$ for Sn^{4+} -BPMGLY and Sn^{4+} -BPMGLY-700, respectively, and cobalt aminocarboxyphosphonates were used as precursors for base metal catalysts by pyrolysis of the complexes at different temperatures in a 5%- H_2 /Ar atmosphere and investigated as electrocatalysts for oxygen and hydrogen evolution reactions (OER or HER), and oxygen reduction reactions (ORR).

A group of Indian scientists led by B.V. Appa Rao first conducted a series of studies on the protection of carbon steel surfaces from corrosion using a synergistic mixture of environmentally friendly N,N -bis(phosphonomethyl)glycine and zinc ions [48, 91]. In [91], published in 2008, a study of an environmentally friendly ternary inhibitor composition consisting of the binary BPMG- Zn^{2+} system as the primary synergist and ascorbate ions as a secondary synergist for protecting carbon steel from corrosion in a low chloride environment was presented. The fact is that N,N -bis(phosphonomethyl)glycine in combination with Zn^{2+} in almost neutral aqueous media, although an effective corrosion inhibitor, requires relatively high concentrations of both BPMG and Zn^{2+} ($\geq 80 \text{ ppm}$). Therefore, to improve the inhibition efficiency of this system at lower concentrations, sodium ascorbate was added as a second synergist, since the ascorbate ion contains five hydroxyl and one

carboxyl group and forms strong complexes with Fe^{3+} . It turned out that the effect of adding ascorbate was quite significant. While the binary system BPMG- Zn^{2+} (BPMG: Zn^{2+} = 1:4, $C_{\text{BPMG}} = C_{\text{Zn}^{2+}} = 40$ ppm) inhibited the corrosion of carbon steel with an inhibition efficiency (IE) of 90%, the addition of only 25 ppm of ascorbate to the above system provided an IE of 95%. The ternary inhibitor composition was found to be effective in the pH range of 5–11 and even at pH=11 it had excellent inhibition efficiency, a condition at which all other phosphonate-based systems fail.

Potentiostatic polarization studies of the ternary inhibitor system showed that the corrosion potential shifts from -350 to -371 mV in the cathodic direction, and the corrosion current decreases from $6.16 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$, observed in the case of the control solution, to $0.94 \text{ mA}\cdot\text{cm}^{-2}$ in the presence of the inhibitor. Such a significant decrease in the corrosion current indicates a decrease in the corrosion rate in the presence of the inhibitor. Comparison of the Fourier transform infrared spectra of pure BPMG and ascorbic acid with the corresponding IR spectra of surface films formed in the presence of the inhibitor showed the formation of Fe(III) complexes with BPMG and ascorbate on the steel surface (bathochromic shift of the $\nu(\text{COO}^-)$ vibration from 1732_{BPMG} ($1676_{\text{ascorbate}}$) cm^{-1} to 1623 cm^{-1} in the film; shift of $\nu(\text{PO}_3)$ $1181 \text{ cm}^{-1} \rightarrow 1140 \text{ cm}^{-1}$). A small peak at 1323 cm^{-1} indicates the formation of $\text{Zn}(\text{OH})_2$ on the film surface.

Based on the results of the research, the authors proposed a plausible mechanism for corrosion inhibition:

1. Carbon steel undergoes initial corrosion with the formation of Fe^{2+} ions at the anodic sites: $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}^-$;

2. Then Fe^{2+} undergoes oxidation in the presence of oxygen: $\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{e}^-$;

3. A reduction reaction occurs at the cathode in a neutral and alkaline environment: $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e}^- \rightarrow 4\text{OH}^-$;

4. Before the formation of a protective film, iron oxides, namely $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ and Fe_3O_4 , are formed on the metal surface;

5. BPMG and ascorbate ions react with Zn^{2+} ions present in the bulk of the solution to form a complex $[\text{Zn}(\text{II})\text{-BPMG-ascorbate}]$ and this complex diffuses to the metal surface. The formed zinc complex then reacts with Fe^{3+} ions available at the anode sites to form hetero- and polynuclear complexes $[\text{Fe}(\text{III})\text{-BPMG-ascorbate}]$;

6. Zn^{2+} ions released in the previous reaction combine with OH^- ions present at the cathode, forming a precipitate $\text{Zn}(\text{OH})_2$: $\text{Zn}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Zn}(\text{OH})_2\downarrow$;

7. Thus, the ternary inhibitor system suppresses corrosion by controlling both the anodic and cathodic reactions. A protective film is formed on the metal surface, which consists of iron oxides, $\text{Zn}(\text{OH})_2$ and $[\text{Fe}(\text{III})\text{-BPMG-ascorbate}]$.

The effectiveness of this ternary inhibitor composition at high pH environments is due to the stability of the $[\text{Fe}(\text{III})\text{-BPMG-ascorbate}]$ complex formed on the metal surface and the presence of optimal amounts of $\text{Fe}(\text{OH})_3$ and $\text{Zn}(\text{OH})_2$ in the surface film.

Continuing their research, the authors found that the binary BPMG- Zn^{2+} system is an effective corrosion inhibitor for carbon steel in low-chloride aqueous media in the pH range of 5 to 8, which is commonly used for cooling water systems. The inhibitor mixture acts as a mixed-type inhibitor, controlling both anodic and cathodic reactions [48].

In [92], four 3d–4f heterometallic coordination polymers based on N-(phosphonomethyl) iminodiacetic acid were synthesized: $[\text{LnFe}^{\text{III}}\text{Fe}^{\text{II}}_6(\text{HPMIDA})_6]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Ln} = \text{Eu}, \text{Dy}, \text{Ho}, \text{Y}$), which were investigated as heterogeneous catalysts in the Knoevenagel condensation. This is an important reaction of the C–C coupling of a carbonyl group with a compound contain-

ing an activated methylene group and is widely used for the synthesis of fine chemicals and pharmaceuticals.

The Eu complex was tested as a heterogeneous catalyst in the Knoevenagel condensation of benzaldehyde with malononitrile in 1.0 ml of toluene at 60°C (Fig.15).

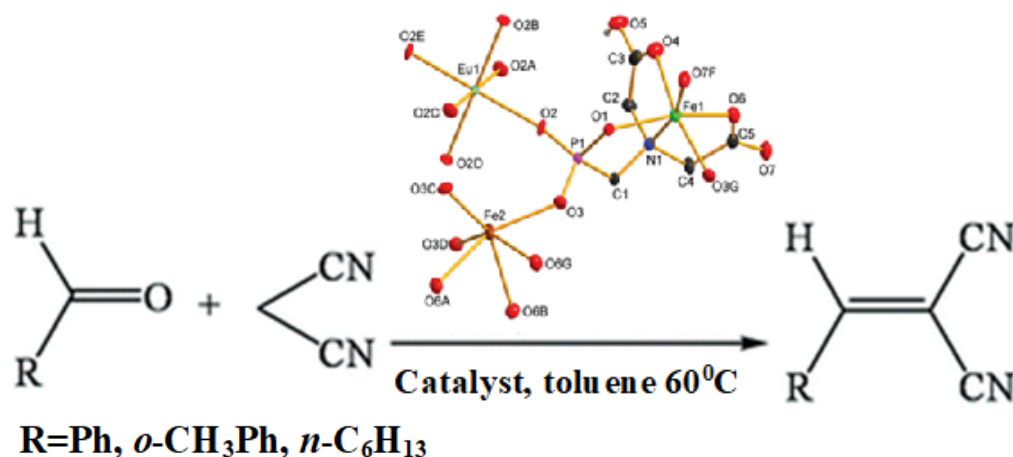


Fig.15. Scheme of heterogeneous catalysis in the Knoevenagel condensation of benzaldehyde with iminodiacetic acid [92].

The material showed catalytic activity in this reaction compared to a control experiment performed using the same conditions but without the addition of catalyst. After 27 hours of reaction, the conversion of benzaldehyde was 27%, while in the control experiment the conversion was only 7%. In this case, the yield of the main product in the reaction with the catalyst was 98%, while in the condensation reaction without the catalyst the yield was 89%. Benzoic acid was formed as a minor product. After the reaction, the heterogeneous catalyst was filtered, washed with toluene, and used in a second catalytic cycle under the same experimental conditions. After 27 hours, the benzaldehyde con-

version was 32%, and in the third and fourth catalytic cycles using $[\text{EuFe}^{\text{III}}\text{Fe}^{\text{II}}_6(\text{HPMIDA})_6]$, the benzaldehyde conversion was 28% and 8%, respectively. Thus, the synthesized heterometallic complex can be recycled and reused for at least two more catalytic cycles without loss of catalytic activity. The substrate scope was also extended to *o*-tolualdehyde and heptaldehyde. The reaction with *o*-tolualdehyde and malononitrile gave an aldehyde conversion of 20% in 4.0 mL toluene at 60°C. No side products were detected, indicating that the reaction was selective for the Knoevenagel condensation product. The reaction of malononitrile with heptanoaldehyde in 1.0 mL of toluene at 60 °C

gave 57% conversion of the aldehyde, but the reaction was not selective, as heptanoic acid was formed as a by-product. Complexes with Dy, Ho, and Y show similar catalytic activity, but the europium-containing complex is the most effective.

The authors proposed a mechanism for the catalytic activity of the complexes. The synthesized MOFs contain only Lewis acid centers, and the Knoevenagel condensation is traditionally catalyzed by basic catalysts. However, the organometallic framework $\text{LnFe}^{\text{III}}\text{Fe}^{\text{II}}(\text{H-PMIDA})_6$ works as a Brønsted base in the reaction and deprotonates the active methylene group of malononitrile. Thus, a defec Brønsted acid site is formed in the MOF, which, together with the neighboring Lewis acid (iron and rare earth ions), facilitates the activation of both reagents in the Knoevenagel condensation. The deprotonated active methylene group of malononitrile attacks the aldehyde, and then, after re-protonation and dehydration of the adduct, the Knoevenagel condensation product is formed. The catalytic properties of heterometallic complexes indicate that these types of compounds are heterogeneous catalysts for the Knoevenagel condensation with high selectivity.

CONCLUSIONS. The polydentate nature of aminocarboxyphosphonate ligands due to their diverse coordination sites and different affinities for different metal centers allows for the preparation of new compounds with a number of unique properties. This opens up prospects for obtaining a large number of highly stable complexes of various cyclic structures, both in composition and shape, in particular heteronuclear complexes, the internal coordination sphere of which includes two or more different metals simultaneously. In the synthesis of he-

teronuclear complexes based on complexones, the conformational ability of ligands to bind metals of different natures (for example, d- and f-elements) into a single coordination site is used. The effectiveness of such compounds as materials for new technologies and medicines is obvious. In recent years, aminocarboxyphosphonic acids and their metal complexes have attracted significant attention from researchers around the world due to their broad potential for practical use. Aminocarboxyphosphonates of transition metals are currently used in agronomy as plant growth regulators and herbicides. Their potential application in materials chemistry as functional materials has also been revealed due to the presence of a number of useful properties: high porosity, photoluminescence, catalytic, nonlinear optical, and magnetic properties, etc. Due to these properties, aminocarboxyphosphonates can be used for the removal of heavy metals (Cd, Pb, Cr, La, As) from wastewater or groundwater, for the production of surface-modified nanoparticles with antitumor activity, for flotation separation of minerals, for the creation of a protective film during steel corrosion, for chelation therapy, molecular imaging and catalysis.



ACKNOWLEDGMENTS. The work was financially supported by the National Academy of Sciences of Ukraine within the framework of the state budget topic 331E «Hybrid and composite systems based on coordination compounds of d- and 4f-transition metals: synthesis, structural features, and luminescent and biochemical properties» (state registration number 0125U000479).

**ПЕРСПЕКТИВИ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ
АМІНОКАРБОКСИФОСФОНАТІВ ТА ЇХНІХ
МАТАЛОКОМПЛЕКСІВ (огляд)****О. К. Трунова**

*Інститут загальної та неорганічної хімії
ім. В. І. Вернадського НАН України,
просп. Акад. Палладіна, 32/34, Київ 03142,
Україна
e-mail: trelkon@gmail.com*

В оглядовій статті узагальнено та систематизовано багаторічні літературні дані щодо можливих сфер застосування амінокарбоксифосфонових кислот та металокомплексів на їхній основі. Показано, що амінокарбоксифосфонати з огляду на їхній широкий спектр функціональних властивостей, зокрема таких як фотолюмінесценція, магнітні властивості, біологічна активність, можуть знайти застосування у найрізноманітніших сферах. Як самі амінокарбоксифосфонові кислоти, так і їхні комплекси здатні виступати основою для біологічно активних речовин в агрономії – як синтетичні регулятори росту, як ефективні препарати для збільшення екстрагованого цукру з різних рослин (цукрова тростина, солодка картопля, цукровий буряк, диня та ін.) та препарати для прискорення дозрівання плодів за несприятливих погодних умов. Однією з найцікавіших сфер використання амінокарбоксифосфонатів та наночастинок на їхній основі для біомедичних цілей є створення прекурсорів для розроблення нових протипухлинних препаратів. Завдяки високій пористості ці матеріали можна використовувати в екології

для очищення ґрунтової та/або питної води від важких металів. Висвітлені в роботі підходи щодо модифікації координаційного середовища, варіації природи металів і лігандного оточення можуть бути використані як модель для розроблення нових координаційних полімерів та MOF-структур як екологічно чистих депресантів для селективної флотаційної сепарації мінералів (доломіту, галеніту, сфалериту). Амінокарбоксифосфонати металів як підклас координаційних полімерів завдяки наявності в молекулах таких груп, як POH , COOH , $\text{N}^+\text{-H}$ демонструють кислотні властивості, поєднання яких з електрокаталітично-активними перехідними металами робить їх привабливими в області паливних елементів і електролізерів. Вони можуть бути використані як потенційні протонопровідники та/або прекурсори електрокаталізаторів, гетерогенні каталізатори у конденсації Кневенагеля з високою селективністю.

Ключові слова: комплекси, амінокарбоксифосфонати, 3d-, 4f-метали, біологічна активність, каталізатор, очищення від важких металів, практичне застосування.

REFERENCES

1. Dyatlova N.M., Temkina V.A., Popov K.I. (). *Metal complexes and complexes*. Moscow: Mir. 1988.
2. Anderegg G., Arnaud-Neu F., Delgado R., Felcman J., Popov K. Critical evaluation of stability constants of metal complexes of complexones for biomedical and environmental applications* (IUPAC Technical Report). *Pure and applied chemistry*. 2005 77(8):1445–1495. <https://doi.org/10.1351/pac200577081445>.
3. Kukhar V.P., Romanenko V.D. Chemistry aminophosphonic acids and phosphonopeptides.

- Amino Acids, Peptides and Proteins in Organic Chemistry: Modified Amino Acids, Organocatalysis and Enzymes*. 2009. **2**: 189–260. <https://doi.org/10.1002/9783527631780.ch5>.
4. Romanenko V.D., Kukhar V.P. Progress in the development of pyrophosphate bioisosteres: Synthesis and biomedical applications of 1-fluoro- and 1,1-difluoromethylene-1,1-bisphosphonates. *Curr. Org. Chem.* 2014. (18): 1491–1523. <https://doi.org/10.2174/138527281811140815124708>.
 5. Romanenko V.D., Kukhar V.P. 1-Amino-1,1-bisphosphonates. Fundamental syntheses and new developments. *Chem Inform.* 2012. **43**(26):127–166. <https://doi.org/10.3998/ark.5550190.0013.411>.
 6. Trunova E.K., Shovkovaya A.V. Some aspects of coordination chemistry Aminocarboxyphosphonic complexones. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2016. **82**(11): 3–32.
 7. Trunova O.K. Crystal structures and spectroscopic characteristics of complexes of lanthanoids with aminocarboxyphosphonic acids (review). *Ukrainian Chemistry Journal*. 2024. **90**(2): 41–66. <https://doi.org/10.33609/2708-129X.90.2.2024.41-66>.
 8. Franz J.E., Mao M.K., Sikorski J.A. *Glyphosate: A Unique Global Herbicide*. WashingtonDC: American Chemical Society. 1997. 653 p. ISBN (Hardback): 978-0-8412-3458-1.
 9. Valavanidis A. Glyphosate, the most widely used herbicide. *Scientific Reviews*. 2018. Website: www.chem-tox-ecotox.org/ScientificReviews.
 10. Gill J.P.K., Sethi N., Mohan A., Datta S., Girdhar M. Glyphosate toxicity for animals. *Environmental chemistry letters*. 2018. **16**: 401–426. <https://doi.org/10.1007/s10311-017-0689-0>.
 11. Dill G.M., Sammons R.D., Feng P.C., Kohn F., Kretzmer K., Mehrsheikh A., Hauptfear, E.A. (2010). Glyphosate: discovery, development, applications, and properties. *Glyphosate resistance in crops and weeds: history, development, and management*. 1–33.
 12. Nowack B., VanBriesen J. M. (Eds.). *Bio-geochemistry of chelating agents*. Washington, 2005. DC: American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2005-0910>.
 13. Trunova E.K., Shovkovaya A.V., Rusakova M.Yu., Gudima A.O., Galkin B.N. Complexing ability and biological activity of phosphonomethylaminosuccinic acid. *Ukrainian Chemical Journal*. 2012. **78**(7): 36–44.
 14. Yang B.P., Mao J.G., Sun Y.Q., Zhao H.H., Clearfield A. Syntheses, characterizations, and crystal structures of three new metal phosphonocarboxylates with a layered and a microporous structure. *European Journal of Inorganic Chemistry*. 2003. **2003**(23): 4211–4217. <https://doi.org/10.1002/ejic.200300363>.
 15. Shi X., Zhu G., Qiu S., Huang K., Yu J., Xu R. $\text{Zn}_2[(\text{S})\text{-O}_3\text{PCH}_2\text{NHC}_4\text{H}_7\text{CO}_2]_2$: a homochiral 3D zinc phosphonate with helical channels. *Angewandte Chemie (International ed. in English)*. 2004. **43**(47): 6482–6485. <https://doi.org/10.1002/anie.200460724>.
 16. Yue Q., Yang J., Li G.H., Li G.D., Chen J.S. Homochiral porous lanthanide phosphonates with 1D triple-strand helical chains: synthesis, photoluminescence, and adsorption properties. *Inorganic chemistry*. 2006. **45**(11): 4431–4439. <https://doi.org/10.1021/ic060162h>.
 17. Galezowska J., Gumienna-Kontecka E. Phosphonates, their complexes and bio-applications: A spectrum of surprising diversity. *Coordination Chemistry Reviews*. 2012. **256**(1–2): 105–124. <https://doi.org/10.1016/j.ccr.2011.07.002>.
 18. Ojelade B.S., Durowoju O.S., Adesoye P.O., Gibb S.W., Ekosse G.I. Review of glyphosate-based herbicide and aminomethylphosphonic acid (AMPA): environmental and health impacts. *Applied Sciences*. 2022. **12**(17): 8789. <https://doi.org/10.3390/app12178789>.

19. Nandula V.K. (Ed.). *Glyphosate resistance in crops and weeds: history, development, and management*. John Wiley & Sons 2010. <https://doi.org/10.1002/9780470634394>.
20. Mendes K.F. *Glyphosate: agricultural uses, ecological impacts and potential carcinogenic effects*. Nova Science Publishers. 2021. ISBN: 978-1-68507-110-3. <https://doi.org/10.52305/JNQX4791>.
21. Haney R.L., Senseman S.A., Hons F.M., Zuberer D.A. Effect of glyphosate on soil microbial activity and biomass. *Weed science*. 2000. **48**(1): 89–93. [https://doi.org/10.1614/0043-1745\(2000\)048\[0089:EOGOSM\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1614/0043-1745(2000)048[0089:EOGOSM]2.0.CO;2).
22. Jaggard K.W. Some effects of the growth-retardant glyphosine [N, N-bis (phosphonomethyl) glycine] on the sugar-beet crop. *Annals of Applied Biology*. 1975. **79**(3): 343–350. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1975.tb01590.x>.
23. Samuels G., Velez-Ramos A. Field experiments with Polaris as a chemical ripener of sugarcane in Puerto Rico, 1971–72. *Journal of agriculture of the University of Puerto Rico*. 1977. **61**(2): 242–249. <https://doi.org/10.46429/jaupr.v61i2.10465>.
24. Bosland J.M., Hughes D.L., Yamaguchi M. Effects of glyphosine and triacontanol on growth, yield, and soluble solids content of 'PMR-45' muskmelons. *HortScience*. 1979. **14**(6): 729–730. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.14.6.729>.
25. Kononova S.V., Nesmeyanova M.A. Phosphonates and their degradation by microorganisms. *Biochemistry*. 2002. **67**(2): 184–195. <https://doi.org/10.1023/a:1014409929875.2002>.
26. Quinn J.P., Kulakova A.N., Cooley N.A., McGrath J.W. New ways to break an old bond: the bacterial carbon–phosphorus hydrolases and their role in biogeochemical phosphorus cycling. *Environmental microbiology*. 2007. **9**(10): 2392–2400. <https://doi.org/10.1111/j.1462-2920.2007.01397.x>.
27. Kafarski P. Phosphonates: Their Natural Occurrence and Physiological Role. *Contemporary Topics About Phosphorus in Biology and Materials*. 2020. **2020**: 1. <https://doi.org/10.5772/intechopen.87155>.
28. Matys S.V., Laurinavichius K.S., Krupyanko V.I., Nesmeyanova M.A. Optimization of degradation of methylphosphonate – analogue of toxic pollutants with direct C–P bond by *Escherichia coli*. *Proc. Biochem*. 2001. **36**(8–9): 821. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(00\)00294-6](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(00)00294-6).
29. Fox E.M., Mendz G.L. Phosphonate degradation in microorganisms. *Enz. Microb. Technol.* 2006. **40**(1): 145. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2005.10.047>.
30. Lipok J., Wiecek D., Jewgiński M., Kafarski P. Prospects of in vivo ³¹P NMR methoding lyphosate degradation studies in whole cell system. *Enz. Microb. Technol.* 2009. **44**(1): 11. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2008.09.011>.
31. Castro Jr J. V., Peralba M. C., & Ayub M. A. Biodegradation of the herbicide glyphosate by filamentous fungi in platform shaker and batch bioreactor. *Journal of Environmental Science and Health, Part B*. 2007. **42**(8): 883–886.
32. Tsui M.T.K., Wang W.X., Chu L.M. Influence of glyphosate and its formulation (Roundup®) on the toxicity and bioavailability of metals to *Ceriodaphnia dubia*. *Environ. Pollut.* 2005. **138** (1): 59. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.02.018>.
33. Kononova S.V., Trutko S.M., Laurinavičius K.S. Detection of β -lyase activity in cell-free extract of *Escherichia coli* bacteria. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 2007. **43**(4): 437–442.
34. Ratcliff A.W., Busse M.D., Shestak C.J. Changes in microbial community structure following herbicide (glyphosate) additions to forest soils. *Applied soil ecology*. 2006. **34**(2–3): 114–124. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.03.002>.
35. Busse M.D., Ratcliff A.W., Shestak C.J., Powers R.F. Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil

- microbial communities. *Soil biology and biochemistry*. 2001. **33**(12–13): 1777–1789.
[https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00103-1](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00103-1).
36. Sonoki Sh., Ikezawa Hi. Studies on Phospholipase C from *Pseudomonas aureofaciens* II. Further Studies on the Properties of the Enzyme. *Journal of Biochemistry*. 1976. **80**(2): 361.
<https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jbchem.a131284>.
37. Boronin A.M. Plant growth-promoting rhizobacteria *Pseudomonas*. *Sorovsky educational journal*. 1998. (10): 25.
38. Eskov A.I., Nikolsky K.S., Ryabkov V.V., Kuzina A.F. Influence of organogenic materials and bacterial preparations on the biotechnological process of composting and the efficiency of organobacterial fertilizers. *Russian agricultural sciences*. 2009. (5): 33.
39. Trunova E., Rusakova M., Makotryk T., Artamonova G. Synthesis and biological activity of 3d-metal complexes with bis(phosphonomethyl)aminosuccinic acid. *Ukrainian Chemistry Journal*. 2022. **88** (9): 3–24.
<https://doi.org/10.33609/2708-129X.88.09.2022.3-24>.
40. Moore J.K., Braymer H.D., Larson A.D. Isolation of a *Pseudomonas* sp. which utilizes the phosphonate herbicide glyphosate. *Applied and Environmental Microbiology*. 1983. **46**(2): 316–320.
<https://doi.org/10.1128/aem.46.2.316-320.1983>.
41. Smirnov V.V. *Bacteria of the genus Pseudomonas*. Kyiv: Naukova Dumka, 1990.
42. Feklistova I.N., Maksimova N.P. Obtaining *Pseudomonas aurantiaca* strains capable of overproduction of phenazine antibiotics. *Microbiology*. 2008. **77**: 176–180.
<https://doi.org/10.1134/S0026261708020094>.
43. Zhang L., Chen W., Jiang Q., Fei Z., Xiao M. Genome analysis of plant growth-promoting rhizobacterium *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* JD37 and insights from comparison of genomics with three *Pseudomonas* strains. *Microbiological research*. 2020. **237**: 126483.
<https://doi.org/10.1016/j.micres.2020.126483>.
44. Shakirov Z.S., Mamanazarova K.S., Sherembetov A.G., Azimova N.S. Antifungal properties of rhizobacterial strains in relation to fungi of agricultural crops. *Biosystems Diversity*. 2022. **30**(4): 430–435.
<https://doi.org/10.15421/012242>.
45. Lutova L.A. Modern aspects of genetics of plant development. *Vavilovskii Zhurnal Genetiki i Seleksii*. 2013. **17** (4/2): 1003.
46. Bric J.M., Bostock R.M., Silverstone S.E. Rapid in situ assay for indoleacetic Acid production by bacteria immobilized on a nitrocellulose membrane. *Appl. Environ Microbiol*. 1991. **57**(2): 535–538.
<https://doi.org/10.1128/aem.57.2.535-538.1991>.
47. Szczygieł B., Drela I. Evaluation of Organic Ligands as Copper Complexing Agents Using the Isotachopheresis. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2008. **17**(4): 479–483.
48. Rao B.A., Rao M.V., Rao S.S., Sreedhar B. Synergistic effect of N, N-bis (phosphonomethyl) glycine and zinc ions in corrosion control of carbon steel in cooling water systems. *Chemical Engineering Communications*. 2011. **198**(12): 1505–1529.
<https://doi.org/10.1080/00986445.2010.525200>.
49. Chattopadhyay S., Chakraborty S.P., Laha D., Baral R., Pramanik P., Roy S. Surface-modified cobalt oxide nanoparticles: new opportunities for anti-cancer drug development. *Cancer nanotechnology*. 2012. **3**: 13–23.
<https://doi.org/10.1007/s12645-012-0026-z>.
50. Chattopadhyay S., Dash S.K., Ghosh T., Das S., Tripathy S., Mandal D., Roy S. Anticancer and immunostimulatory role of encapsulated tumor antigen containing cobalt oxide nanoparticles. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 2013. **18**: 957–973.
<https://doi.org/10.1007/s00775-013-1044-y>.

51. Yu R.J., Van Scott E.J. N-(Phosphonoalkyl)-amino acids, derivatives thereof and compositions and methods of use Patent WO2007082206, 2007.
52. Gledhill W.E., Feijtel T.C.J. *Environmental Properties and Safety Assessment of Organic Phosphonates Used for Detergent and Water Treatment Applications*. In: de Oude, N.T. (eds) *Detergents. Anthropogenic Compounds*, 3 / 3F. Springer, Berlin, Heidelberg. 1992. https://doi.org/10.1007/978-3-540-47108-0_8.
53. Maranescu B., Lupa L., Visa A. Heavy metal removal from waste waters by phosphonate metal organic frameworks. *Pure and Applied Chemistry*. 2018. **90**(1): 35–47. <https://doi.org/10.1515/pac-2017-0307>.
54. Chillè D., Aiello D., Grasso G. I., Giuffrè O., Napoli A., Sgarlata C., Foti C. Complexation of As(III) by phosphonate ligands in aqueous fluids: Thermodynamic behavior, chemical binding forms and sequestering abilities. *Journal of Environmental Science*. 2020. **94**: 100–110. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2020.03.056>.
55. Lupa L., Cocheci L. *Heavy Metals Removal from Water and Wastewater*. Intech Open. 2023. ISBN978-1-83768-515-8. <https://doi.org/10.5772/intechopen.110228>.
56. Visa A., Maranescu B., Lupa L., Crisan L., Borota A. New efficient adsorbent materials for the removal of Cd(II) from aqueous solutions. *Nanomaterials*. 2020. **10**(5): 899. <https://doi.org/10.3390/nano10050899>.
57. Callura J.C., Shi Q., Dzombak D.A., Karamalidis A.K. Selective recovery of rare earth elements with ligand-functionalized polymers in fixed-bed adsorption columns. *Separation and Purification Technology*. 2021. **265**: 118472. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.118472>.
58. Sinha S., De S., Mishra D., Shekhar S., Agarwal A., Sahu K. K. Phosphonomethyl iminodiacetic acid functionalized metal organic framework supported PAN composite beads for selective removal of La (III) from wastewater: Adsorptive performance and column separation studies. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. **425**: 27802. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127802>.
59. Ahn N.K., Shim H.W., Kim D.W., Swain B. Valorization of waste NiMH battery through recovery of critical rare earth metal: A simple recycling process for the circular economy. *Waste Management*. 2020. **104**: 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.01.014>.
60. Bahaloo-Horeh N., Mousavi S.M. Comprehensive characterization and environmental risk assessment of end-of-life automotive catalytic converters to arrange a sustainable roadmap for future recycling practices. *Journal of Hazardous Materials*. 2020. **400**: 123186. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123186>.
61. Mahmoud K.M., Rammah Y.S. Investigation of gamma-ray shielding capability of glasses doped with Y, Gd, Nd, Pr and Dy rare earth using MCNP-5 code. *Physica B: Condensed Matter*. 2020. **577**: 411756. <https://doi.org/10.1016/j.physb.2019.411756>.
62. El-Khayatt A.M., Saady H.A. Preparation and characterization of zinc, lanthanum white sand glass for use in nuclear applications. *Radiation Physics and Chemistry*. 2020. **166**: 108497. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2019.108497>.
63. Iannicelli-Zubiani E.M., Stampino P.G., Cristiani C., Dotelli G. Enhanced lanthanum adsorption by amine modified activated carbon. *Chemical Engineering Journal*. 2018. **341**: 75–82. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2018.01.154>.
64. Iftekhar S., Ramasamy D.L., Srivastava V., Asif M.B., Sillanpää M. Understanding the factors affecting the adsorption of Lanthanum using different adsorbents: a critical review. *Chemosphere*. 2018. **204**: 413–430. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.053>.
65. Wu W. Effect of saponified P507 loaded with silicon on the extraction of La (Ⅲ). *Journal of Northeastern University (Natural Science)*.

2013. **34**(5): 679.
[https://doi.org/10.1016/S1002-0721\(12\)60348-2](https://doi.org/10.1016/S1002-0721(12)60348-2).
66. Ashour R. M., El-Sayed R., Abdel-Magied A. F., Abdel-Khalek A. A., Ali M. M., Forsberg K., Dutta J. Selective separation of rare earth ions from aqueous solution using functionalized magnetite nanoparticles: kinetic and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*. 2017. **327**: 286–296.
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.06.101>.
 67. Tadjarodi A., Jalalat V., Zare-Dorabei R. Adsorption of La (III) in aqueous systems by N-(2-hydroxyethyl) salicylaldimine-functionalized mesoporous silica. *Materials Research Bulletin*. 2015. **61**: 113–119.
<https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2014.09.036>.
 68. Kameda T., Hoshi K., Yoshioka T. Uptake of Sc^{3+} and La^{3+} from aqueous solution using ethylenediaminetetraacetate-intercalated Cu–Al layered double hydroxide reconstructed from Cu–Al oxide. *Solid State Sciences*. 2011. **13**(2): 366–371.
<https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2010.11.037>.
 69. Galanski M.S., Slaby S., Jakupec M.A., Keppler B.K. Synthesis, characterization, and in vitro antitumor activity of osteotropic diam (m) ineplatinum (II) complexes bearing a N,N-bis (phosphonomethyl) glycine ligand. *Journal of medicinal chemistry*. 2003. **46**(23): 4946–4951.
<https://doi.org/10.1021/jm0308040>.
 70. Jeevanandam J., Barhoum A., Chan Y.S., Dufresne A., Danquah M.K. Review on nanoparticles and nanostructured materials: history, sources, toxicity and regulations. *Beilstein journal of nanotechnology*. 2018. **9**(1): 1050–1074.
<https://doi.org/10.3762/bjnano.9.98>.
 71. Li H., Kang Z., Liu Y., Lee S.T. Carbon nanodots: synthesis, properties and applications. *Journal of materials chemistry*. 2012. **22**(46): 24230–24253.
<https://doi.org/10.1039/c2jm34690g>.
 72. Subbaiah L.V., Prasad T.N.V.K.V., Krishna T.G., Sudhakar P., Reddy B.R., Pradeep T. Novel effects of nanoparticulate delivery of zinc on growth, productivity, and zinc biofortification in maize (*Zea mays* L.) *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2016. **64**(19): 3778–3788.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b00838>.
 73. Theivasanthi T., Alagar M. Studies of copper nanoparticles effects on micro-organisms. *arXiv preprint arXiv:1110.1372*. 2011.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.1110.1372>.
 74. Tran N., Mir A., Mallik D., Sinha A., Nayar S., Webster T.J. Bactericidal effect of iron oxide nanoparticles on *Staphylococcus aureus*. *International journal of nanomedicine*. 2010. **15**(5): 277–283
<https://doi.org/10.2147/IJN.S9220>.
 75. Ali A., Zafar H., Zia M., ul Haq I., Phull A.R., Ali J.S., Hussain A. Synthesis, characterization, applications, and challenges of iron oxide nanoparticles. *Nanotechnology, science and applications*. 2016. **9**: 49–67.
<https://doi.org/10.2147/NSA.S99986>.
 76. Azam A., Ahmed A.S., Oves M., Khan M.S., Habib S.S., Memic A. Antimicrobial activity of metal oxide nanoparticles against Gram-positive and Gram-negative bacteria: a comparative study. *International Journal of Nanomedicine*. 2012. **7**: 6003–6009.
<https://doi.org/10.2147/IJN.S35347>.
 77. Yamamoto O., Komatsu M., Sawai J., Nakagawa Z. E. Effect of lattice constant of zinc oxide on antibacterial characteristics. *Journal of materials science: materials in medicine*. 2004. **15**: 847–851.
<https://doi.org/10.1023/B:JMSM.0000036271.35440.36>.
 78. Shin H.S., Choi H.C., Jung Y., Kim S.B., Song H.J., Shin H.J. Chemical and size effects of nanocomposites of silver and polyvinyl pyrrolidone determined by X-ray photoemission spectroscopy. *Chemical physics letters*. 2004. **383**(3–4): 418–422.
<https://doi.org/10.1016/j.cplett.2003.11.054>.
 79. Liu X., Qiu G., Li X. Shape-controlled synthesis and properties of uniform spinel cobalt oxide nanotubes. *Nanotechnology*. 2005. **16**(12): 3035–3040.

- <https://doi.org/10.1088/0957-4484/16/12/051>.
80. Papis E., Rossi F., Raspanti M., Dalle-Donne I., Colombo G., Milzani, A., Gornati R. Engineered cobalt oxide nanoparticles readily enter cells. *Toxicology letters*. 2009. **189**(3): 253–259. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2009.06.851>.
81. Pardoe H., Chua-Anusorn W., Pierre T.G.S., Dobson J. Structural and magnetic properties of nanoscale iron oxide particles synthesized in the presence of dextran or polyvinyl alcohol. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 2001. **225**(1–2): 41–46. [https://doi.org/10.1016/S0304-8853\(00\)01226-9](https://doi.org/10.1016/S0304-8853(00)01226-9).
82. Mutin P.H., Guerrero G., Vioux A. Hybrid materials from organophosphorus coupling molecules. *Journal of Materials Chemistry*. 2005. **15**(35–36): 3761–3768. <https://doi.org/10.1039/B505422B>.
83. Chattopadhyay S., Dash S. K., Ghosh T., Das S., Tripathy S., Mandal D., Roy S. Anticancer and immunostimulatory role of encapsulated tumor antigen containing cobalt oxide nanoparticles. *JBIC Journal of Biological Inorganic Chemistry*. 2013. **18**: 957–973. <https://doi.org/10.1007/s00775-013-1044-y>.
84. Das M., Mishra D., Dhak P., Gupta S., Maiti T.K., Basak A., Pramanik P. Biofunctionalized, phosphonate-grafted, ultrasmall iron oxide nanoparticles for combined targeted cancer therapy and multimodal imaging. *Small*. 2009. **5**(24): 2883–2893. <https://doi.org/10.1002/sml.200901219>.
85. Tang Y., Yin W., Kelebek S. Magnesite-dolomite separation using potassium cetyl phosphate as a novel flotation collector and related surface chemistry. *Applied Surface Science*. 2020. **508**: 145191. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.145191>.
86. Chen X., Liu W., Wang L., Liu W., Sun W., Zhang N. A novel depressant N,N-bis(phosphonomethyl)glycine for magnesite-dolomite separation and its mechanism. *Minerals Engineering*. 2023. **202**: 108281. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2023.108281>.
87. Wang Z., Han G., Feng Q. Selective flotation of galena and sphalerite using N-(phosphonomethyl)iminodiacetic acid as an eco-friendly depressant. *Green and Smart Mining Engineering*. 2024. **1**(1): 96–103. <https://doi.org/10.1016/j.gsme.2024.03.001>.
88. Wu J., Wang D., Wan S., Liu H., Wang C., Wang X. An efficient cobalt phosphide electrocatalyst derived from cobalt phosphonate complex for all-pH hydrogen evolution reaction and overall water splitting in alkaline solution. *Small*. 2020. **16**(15): 1900550. <https://doi.org/10.1002/sml.201900550>.
89. Zhang R., El-Refaei S.M., Russo P.A., Pinna N. Metal phosphonate coordination networks and frameworks as precursors of electrocatalysts for the hydrogen and oxygen evolution reactions. *Journal of Nanoparticle Research*. 2018. **20**: 1–18. <https://doi.org/10.1007/s11051-018-4246-y>.
90. Cañamero-Cebrián F., Pérez-Colodrero R.M., Vílchez-Cózar Á., Bazaga-García M., Ramírez-Losilla E., Olivera-Pastor P., Cabeza-Díaz A. Applications of N,N-bis (phosphonomethyl) glycine-derived Sn^{4+} or Co^{2+} phosphonates as proton conductors or energy-conversion electrocatalysts. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2023.108281>.
91. Rao B.V.A., Rao S.S., Rao M.V. Environmentally friendly ternary inhibitor formulation based on N,N-bis(phosphonomethyl) glycine. *Corrosion Engineering, Science and Technology*. 2008. **43**(1): 46–53. <https://doi.org/10.1179/174327807X214635>.
92. Yang T.H., Silva A.R., Fu L., Shi F.N. Ionothermal synthesis, crystal structure, topology and catalytic properties of heterometallic coordination polymers constructed from N-(phosphonomethyl)iminodiacetic acid. *Dalton Transactions*. 2015. **44**(30): 13745–13751. <https://doi.org/10.1039/C5DT02176F>.

Стаття надійшла 17.08.2025.