



КОЛОТШОВ

Сергій Володимирович – доктор хімічних наук, професор, заступник директора з наукової роботи Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України

ПЕРСПЕКТИВИ ЗНИЖЕННЯ ВМІСТУ ПЛАТИНОВИХ МЕТАЛІВ У КАТАЛІЗАТОРАХ ГІДРУВАННЯ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК

**Стенограма доповіді на засіданні
Президії НАН України 22 лютого 2023 року**

У доповіді зазначено, що в Інституті фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України проводяться актуальні та важливі фундаментальні дослідження з вивчення впливу будови речовин на їхні каталітичні властивості. Отримано вагомі результати зі створення нових функціональних матеріалів, таких як каталізатори гідрування органічних сполук, що мають значно зменшений вміст платинових металів або взагалі їх не містять. Інститут має вагомі здобутки в галузі продукуючого каталізу для тонкого органічного синтезу компонентів лікарських засобів та діючих речовин для агрохімії.

Шановний Анатолію Глібовичу!

Шановні члени Президії НАН України!

Процес гідрування широко використовується як у багатотонажному хімічному виробництві, так і в тонкому органічному синтезі для одержання компонентів моторних палив, зокрема біопалива, олив, розчинників, речовин для лакофарбової промисловості, харчової промисловості, діючих речовин для фармацевтичних препаратів чи для агрохімічних засобів захисту рослин.

Гідруванням у хімії називають процес приєднання водню до подвійних або потрійних зв'язків в органічних молекулах. Такі процеси майже завжди перебігають не самі по собі, а потребують присутності спеціально підібраних каталізаторів.

Насичені карбо- і гетероциклічні сполуки є складовими фрагментами діючих речовин великої кількості медичних препаратів, які широко застосовують в Україні і світі. Найпростішим шляхом одержання таких сполук є гідрування ароматичних сполук аналогічної будови. Наприклад, у такий спосіб отримують транексамову кислоту, яка є активною речовиною в поширених кровоспинних препаратах, які виробляються і продаються під

торговими марками Максітран, Сангера, Транексам, Циклокапрон, Гемаксам, Гемотран та ін. і призначені для профілактики та припинення кровотеч, зокрема гострих кровотеч, спричинених пораненнями або травмами. Транексамову, або *транс*-4-(амінометил)циклогексанкарбонову, кислоту одержують у результаті кількох послідовних циклів гідрування вихідної сполуки, що містить фрагмент бензолу, до якого приєднуються три молекули водню, а також ціаногрупу, до якої приєднуються дві молекули водню з утворенням аміногрупи.

Іншим прикладом може бути одержання аргатробану — діючої речовини препаратів-антикоагулянтів для профілактики та лікування тромбозу. Це складна молекула, що містить фрагмент тетрагідрохіноліну, який також отримують каталітичним гідруванням відповідної вихідної ароматичної сполуки.

Отже, як уже зазначалося, синтез і модифікування ароматичних сполук їх каталітичним гідруванням є одним з найпоширеніших шляхів одержання відповідних насичених сполук — важливих вихідних і проміжних речовин для фармацевтики, що не містять подвійних і потрійних зв'язків.

Для оцінки важливості цього напрямку можна порівняти обсяги світового ринку фармацевтичних препаратів і глобального ринку нафти, значущість якого для сучасної економіки не викликає сумніву. Так, за даними Міжнародного енергетичного агентства, прогнозований світовий попит на нафту в 2023 р. очікується на рівні 101,3 млн барелів на день [1], і можна припустити, що за ціни нафти \$50 за барель обсяг світового ринку в поточному році становитиме близько \$1800 млрд. При цьому обсяг світового фармацевтичного ринку має зіставну величину — \$1250 млрд/рік у 2022 р. [2]. Світовий ринок агрохімічних засобів захисту рослин (добрива, пестициди, гербіциди, біопестициди тощо) також є одним з найбільших — понад \$200 млрд, і очікується, що до 2025 р. він зросте до \$246 млрд [3]. Тому розроблення новітніх способів одержання хімічних сполук для фармацевтики і агрохімії — це насправді надзвичайно важливе завдання.

Які ж проблеми існують на сьогодні в галузі каталітичного гідрування органічних сполук? Найбільш поширеними і найбільш активно використовуваними у тонкому органічному синтезі каталізаторами гідрування є каталізатори на основі платинових металів або їх сполук, насамперед сполук паладію. Такі каталізатори мають високу каталітичну активність і високу продуктивність, характеризуються високою селективністю і хорошою передбачуваністю їхніх каталітичних властивостей. Проте у них є два суттєві недоліки.

По-перше, це ціна. Так, за останні двадцять років вартість паладію зросла на порядок (від \$200 за унцію у 2002 р. до \$2000 за унцію в 2022 р.), що зумовлено значним підвищенням попиту і досить обмеженими обсягами постачання на ринок. Як альтернативу паладію використовують каталітичні системи на основі нікелю, кобальту, ренію, оскільки ці метали є значно дешевшими: паладій коштує \$60 тис. за 1 кг, тоді як реній — \$4 тис., кобальт — \$36, а нікель — \$26/кг. Тому розроблення активних і селективних каталізаторів гідрування на основі цих більш дешевих металів є актуальним завданням сучасної фізичної хімії.

Другою проблемою у застосуванні металів платинової групи є їх добре відома токсичність, адже залишкові кількості каталізатора можуть забруднювати продукти реакції. Вміст платинових металів в активних фармацевтичних інгредієнтах суворо контролюється — за чинними нормативами він не має перевищувати величини порядку 10^{-5} мольн. % [4]. Тому зменшення вмісту паладію або взагалі його відсутність у каталізаторах для отримання сполук фармацевтичного призначення є актуальним завданням.

Основною проблемою на шляху відмови від використання паладію є набагато нижча каталітична активність і селективність каталітичних систем на основі перелічених вище дешевших металів. Незважаючи на довгу історію досліджень за цим напрямком, зменшення вмісту платинових металів у каталізаторах або заміна в них дорогоцінних металів на більш дешеві й досі залишаються проблематичними. Ви-

рішенням цієї проблеми активно займаються різні групи дослідників по всьому світу. Серед напрямів, які найбільш продуктивно розвиваються на сьогодні, можна відзначити роботи, в яких підвищення активності каталізаторів гідрування досягається модифікуванням каталітично активних частинок (напр., [5]) або використанням різних носіїв для нанесення цих каталітично активних частинок (напр., [6]). Ведуться також роботи з розроблення простих та ефективних способів одержання більш дешевих аналогів паладієвих каталізаторів гідрування [7]. Ще одним перспективним підходом до зниження витрат платинових металів у каталізаторах гідрування є створення каталізаторів багаторазового використання [8] (у цьому напрямі наш Інститут має певні здобутки [9]).

До речі, дослідження в галузі каталізу були одним з основних наукових напрямів Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України ще з часу його заснування у 1927 р. і розпочинають свою історію з класичних праць академіка АН УРСР і академіка АН СРСР Лева Володимировича Писаржевського, академіка АН УРСР Володимира Андрійовича Ройтера та інших видатних учених. У цій доповіді я зупинюся лише на одному напрямі досліджень у галузі каталізу, який активно розвивається в нашому Інституті і в якому співробітники Інституту отримали досить вагомі результати.

Отже, для розроблення нових каталітичних систем гідрування ненасичених органічних сполук ми використали чотири підходи:

- 1) створення нових каталізаторів з меншим вмістом паладію, що досягається завдяки збільшенню питомої активності частинок Pd;
- 2) заміна паладію на 3d-метал (нікель або кобальт);
- 3) створення каталізаторів на основі наночастинок Ni та Co, що містять також вуглецеві графеноподібні наночастинки;
- 4) заміна паладію на 5d-метал, зокрема реній.

Ми дослідили кілька процесів гідрування, таких як:

- гідрування гетероциклічних сполук, зокрема хіноліну (процес, який часто викорис-

товують для отримання діючих речовин для фармацевтики та агрохімії) [10, 11];

- гідрування альдегідів і кетонів, зокрема фурфуролу (компоненти моторного палива, розчинники, лаки, фарби) [12];

- гідрування алкенів, зокрема ненасичених сполук у складі жирів (виробництво моторного палива, лакофарбова, харчова промисловість) [13];

- амінування альдегідів (активні речовини для фармацевтики та агрохімії) [14].

Більшість цих реакцій відбуваються в умовах підвищеного тиску та за підвищеної температури.

Спочатку розглянемо створення каталізаторів на основі паладію, які характеризуються підвищеною активністю. Ми припустили, що термічний розклад комплексів нульвалентних металів може приводити до утворення активних наночастинок цих металів. Комплекси нульвалентних металів — це сполуки, в яких метал має таку саму кількість електронів, як і у вільному стані, тобто нульовий ступінь окиснення. У першому наближенні це може бути метал, зокрема паладій, нікель, диспергований до атомарного рівня і захищений «оболонкою» органічних молекул. І справді, термічним розкладом комплексів нульвалентних Pd і Ni вдалося отримати композити, які містили наночастинки цих металів на різних пористих носіях. Малий розмір частинок металів у складі одержаних композитів підтверджується низкою фізичних і фізико-хімічних методів дослідження. Так, за даними хемосорбційних досліджень, середній розмір осаджених на активованому вугіллі частинок паладію становив від 2,7 до 7 нм, нікелю — від 0,7 до 7,5 нм. Було показано, що розмір наночастинок зростає зі збільшенням вмісту металу в композиті.

Отримані в такий спосіб паладійвмісні композити проявили високу каталітичну активність у процесах гідрування. Встановлено, що навіть за атмосферного тиску водню вони є ефективними каталізаторами в реакціях гідрування алкенів, алкінів, кетонів, нітросполук, а також у реакціях амінування ароматичних альдегідів первинними амінами і нітрилами, а

в умовах високого тиску — у процесах гідрування гетероциклів та сполук зі спряженими дієновими фрагментами — важливих проміжних сполук тонкого органічного синтезу.

Тому розроблення таких паладійвмісних композитів відкриває перспективний шлях для одержання катализаторів гідрування з підвищеною активністю, які можуть використовуватися практично для всього ряду органічних сполук, гідрування яких здійснюється у сучасній промисловості та лабораторній практиці.

Для порівняння каталітичної продуктивності розроблених нами паладійвмісних катализаторів ми проаналізували вихід продукту гідрування хіноліну — тетрагідрохіноліну, який досягається застосуванням відповідних катализаторів відомих світових компаній STREM і BASF (вміст Pd в них становить 5–10%), катализаторів, виготовлених за стандартними загальновідомими і рекомендованими процедурами (з вмістом паладію 5–20 %) та з використанням нашого катализатора Pd/C (1 % Pd). Вихід тетрагідрохіноліну на розроблених нами катализаторах виявився вищим, ніж у комерційних аналогів, при тому, що вміст паладію в реакційній суміші був у 10 разів меншим.

Для практичного застосування важливо розробити спосіб масштабування синтезу таких паладійвмісних катализаторів. З'ясувалося, що при одержанні партій катализаторів масою до 100 г досить легко підібрати умови, в яких зберігається висока каталітична активність таких систем, але зразки з партії масою від 100 до 1000 г характеризувалися зменшенням активності. Це пояснюється тим, що осадження відбувається у нерівноважних умовах і в більшому об'ємі складно досягти необхідної швидкості нагрівання до заданої температури.

При аналізі катализаторів, одержаних різними методами, виникла проблема контролю їхніх властивостей. Для контролю якості розроблених нами катализаторів зі зменшеним вмістом паладію ми запропонували метод, що ґрунтується на гідруванні імідазо[1,5-а]піридину, особливістю якого є наявність кількох функціональних груп, які можуть приєднувати водень незалежно одна від одної. Гідрування

такої сполуки за атмосферного тиску веде до утворення суміші трьох продуктів, електронні спектри яких суттєво відрізняються один від одного. Склад цієї суміші продуктів чітко залежить від використовуваного катализатора, оскільки кожен катализатор гідрування дає унікальну суміш продуктів. Образно кажучи, спектр отриманої суміші є ніби «відбитком пальця» кожного з катализаторів гідрування, за яким можна швидко й ефективно визначити його відповідність еталонному зразку, а значить — його якість.

Отже, ми створили паладійвмісний катализатор, який за активністю перевершує комерційно доступні аналоги, і розробили методику його одержання в масштабі партії масою до 100 г. Використання такого катализатора в тонкому органічному синтезі дає можливість досягти десятикратної економії паладію порівняно з найкращими світовими аналогами. Крім того, розроблено метод контролю якості отриманого катализатора гідрування, що важливо для одержання партій з однаковими характеристиками.

Як згадувалося вище, ще один підхід до отримання нікельвмісних каталітичних систем, використаний у роботі, полягає в термічному розкладі комплексів нікелю зі ступенем окиснення 0 ($\text{Ni}(\text{COD})_2$ та $\text{Ni}(\text{COD})(\text{DQ})$, COD = 1,5-циклооктадієн, DQ = тетраметил-1,4-бензохінон) у присутності пористих носіїв, зокрема активованого вугілля. Цей катализатор Ni/C дозволяє досягти майже кількісного виходу продуктів гідрування широкого ряду органічних сполук — алкенів, алкінів, кетонів, нітросполук, різних азотвмісних гетероциклічних сполук. Слід зазначити, що сполуки з гідроксо- і аміногрупами пасивують цей катализатор, однак збільшення часу реакції дає змогу і в цьому разі досягти високого рівня виходу цільового продукту.

Тепер коротко розповім про інші наші роботи зі створення катализаторів гідрування на основі нікелю. Як уже зазначалося, нікель — це 3d-метал, який набагато дешевший, ніж паладій, і набагато менш токсичний. Як один з підходів до одержання таких катализаторів було

запропоновано «завантаження» нікельвмісних сполук у пористий координаційний полімер MIL-101(Cr), що досягалося завдяки поглинанню водного розчину NiCl_2 порами гідрофільного полімеру, суспендованого в гексані (гексан як гідрофобна речовина не є «конкурентом» для водного розчину при заповненні пор гідрофільного сорбенту). Одержана система $\text{NiCl}_2/\text{MIL-101}$ є прекаталізатором і може зберігатися на повітрі необмежено довго, а при проведенні процесу гідрування відновлення хлориду нікелю відбувається безпосередньо в реакційній суміші, *in situ*, обробкою NaBH_4 . Такий підхід дозволяє уникнути контакту металічного нікелю з киснем повітря. Отримана композитна система $\text{Ni}/\text{MIL-101}$ дає змогу проводити гідрування деяких органічних сполук, зокрема хіноліну, в більш м'яких умовах, ніж у разі використання традиційного каталізатора — нікелю Ренея (зокрема, за температури $150\text{ }^\circ\text{C}$ проти $190\text{ }^\circ\text{C}$ для нікелю Ренея і під тиском у 50 атм проти 90 атм), та з вищою селективністю щодо утворення цільового продукту — тетрагідрохіноліну (93% проти 75%).

Отже, композит $\text{Ni}/\text{MIL-101}$, одержаний *in situ* з прекаталізатора $\text{NiCl}_2/\text{MIL-101}$, має вищу каталітичну активність і селективність порівняно з нікелем Ренея, однак його активність нижча, ніж у Ni/C , і значно нижча, ніж в аналогічного композиту $\text{Pd}/\text{MIL-101}$, який було одержано і досліджено для порівняння. У більшості процесів гідрування композит Ni/C , який є продуктом розкладу $\text{Ni}(\text{COD})_2$, можна використовувати як альтернативу каталізаторам на основі паладію.

Крім того, ми створили каталізатори гідрування на основі нікелю і кобальту з графеноподібними частинками, нанесені на аеросил (далі позначаються $\text{Ni-C}/\text{SiO}_2$, $\text{Co-C}/\text{SiO}_2$). У результаті досліджень було встановлено, що термічний розклад комплексів нікелю та кобальту з органічними лігандами веде до утворення композитів, що містять наночастинки цих металів і графеноподібні вуглецеві наночастинки, доповані азотом. Розмір частинок металу лежить у межах від 5 до 50 нм , а розмір вуглецевих частинок становить $20\text{--}30\text{ нм}$.

Такі композитні системи проявляють високу каталітичну активність у процесах гідрування ароматичних гетероциклів, алкенів, алкінів, кетонів, нітросполук, а також у реакціях амінування ароматичних альдегідів первинними амінами і нітрилами. З використанням таких каталізаторів вдається гідрувати навіть хіноліни, які містять в ароматичному ядрі електроноакцепторні замісники, що є дуже нетривіальним завданням.

За результатами досліджень було показано, що розроблені нами композити на основі кобальту $\text{Co-C}/\text{SiO}_2$ є непоганою альтернативою паладійвмісним каталізаторам для гідрування хіноліну і заміщених хінолінів, а також загальним сполук, що не містять «чутливих» груп. Завдяки досить високій активності й низькій вартості ці каталізатори можна запропонувати для великомасштабного (до 1 кг) «рутинного» гідрування та амінування органічних сполук. Обмеженням для використання таких каталітичних систем є наявність атомів галогенів (зв'язків C-Hal), оскільки такі каталізатори спричиняють дегалогенування продуктів. Це доволі серйозний недолік, оскільки галогенвмісні сполуки відіграють ключову роль в органічному синтезі — вони є важливими інтермедіатами синтезу великої кількості біологічно активних сполук, використовуваних у фармацевтичній галузі та виробництві засобів захисту рослин.

Проблему гідрування органічних сполук, що містять атоми галогенів, було вирішено створенням композитів на основі ренію. Методика їх одержання передбачає осадження сульфід ренію Re_2S_7 на пористих носіях, зокрема на активованому вугіллі. Показано, що реній утворює окремі частинки, подібні за формою до риб'ячої луски. Такі ренійвмісні каталізатори гідрування мають набагато вищі характеристики, ніж нікель- та кобальтвмісні каталітичні системи, але найголовнішою їх перевагою є можливість збереження атомів галогенів у складі продуктів. Отже, сульфід ренію Re_2S_7 можна розглядати як альтернативу паладію завдяки високій активності та нижчій собівартості каталітичних систем на його

основі. Гідрування галогенвмісних хінолінів у присутності Re_2S_7 дає можливість зберігати в карбоциклах зв'язки C–Br, а в деяких випадках навіть C–I, що є рідкісним випадком у галузі каталітичного гідрування. Отримані галогенвмісні насичені продукти процесів гідрування можуть бути функціоналізовані та є важливими проміжними сполуками в тонкому органічному синтезі.

Отже, в Інституті фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України розроблено такі нові каталітичні системи гідрування органічних сполук:

- каталізатори на основі нанорозмірного паладію, використання яких дає можливість зменшити витрати цього високовартісного металу в 10 разів порівняно з широковідомими комерційно доступними аналогами;

- каталізатори на основі нікелю і кобальту, продуктивність яких є достатньо високою для їх застосування як альтернативи паладійвмісним системам гідрування широкого спектра органічних сполук;

- каталізатори на основі сполук ренію, використання яких дає можливість проводити каталітичне гідрування галогенвмісних органічних сполук з дуже високою селективністю.

У результаті виконання цих робіт розроблено тимчасові лабораторні регламенти виготовлення дослідних партій каталізаторів гідрування і амінування на Державному підпри-

ємстві «Каталіз і екологія», ефективність яких підтверджено актами випробувань.

На НВП «Єнамін» і НВП «Укроргсинтез» впроваджено каталізатори гідрування органічних сполук на основі нікелю; методику стандартизації каталізатора гідрування ненасичених сполук воднем на основі нанорозмірного паладію та методику регенерації такого каталізатора. Продукція цих підприємств для потреб тонкого органічного синтезу постачається в різні країни світу.

Пріоритет та новизну наведених у доповіді розробок захищено більш як 10 патентами України.

На завершення хотів би зазначити, що у виконанні цих робіт, крім Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, брали участь співробітники Інституту органічної хімії НАН України, Інституту високих технологій Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Державного підприємства «Каталіз і екологія» Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, Науково-виробничого підприємства «Єнамін» та Науково-виробничого підприємства «Укроргсинтез». Дозвольте висловити подяку всім колегам, з якими ми співпрацювали під час виконання цієї роботи.

Дякую за увагу!

За матеріалами засідання підготувала О.О. Мележик

REFERENCES

1. Oil Market Report. IEA. October 2022. <https://www.iea.org/reports/oil-market-report-october-2022>
2. Pharmaceuticals Global Market Report 2022. <https://www.researchandmarkets.com/r/bndiug>
3. Global Agrochemicals Market Report. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/global-agro-chemicals-market-report-132.html>
4. Guideline for elemental impurities. Committee for Human Medicinal Products. European Medicines Agency. Amsterdam, 2019.
5. Yoshii T., Nakatsuka K., Kuwahara Y., Mori K., Yamashita H. Synthesis of carbon-supported Pd–Co bimetallic catalysts templated by Co nanoparticles using the galvanic replacement method for selective hydrogenation. *Royal Soc. Chem. Advances*. 2017. **7**(36): 22294. <https://doi.org/10.1039/C7RA03846A>
6. Gong Y., Zhang P., Xu X., Li Y., Li H., Wang Y. A novel catalyst Pd@ompg- C_3N_4 for highly chemoselective hydrogenation of quinoline under mild conditions. *J. Catal.* 2013. **297**: 272. <https://doi.org/10.1016/j.jcat.2012.10.018>
7. Westerhaus F.A., Jagadeesh R.V., Wienhöfer G., Pohl M.-M., Radnik J., Surkus A.-E., Rabeah J., Junge K., Junge H., Nielsen M., Brückner A., Beller M. Heterogenized cobalt oxide catalysts for nitroarene reduction by pyrolysis of molecularly defined complexes. *Nature Chem.* 2013. **5**: 537. <https://doi.org/10.1038/nchem.1645>

8. Yamada Y.M.A., Baek H., Sato T., Nakao A., Uozumi Y. Metallically gradated silicon nanowire and palladium nanoparticle composites as robust hydrogenation catalysts. *Commun. Chemistry*. 2020. **3**: 81. <https://doi.org/10.1038/s42004-020-0332-z>
9. Ivanytsya M.O., Ryabukhin S.V., Volochnyuk D.M., Kolotilov S.V. Modern Approaches to the Creation of Immobilized Metal-Complex Catalysts for Hydrogenation, Alkene Metathesis, and Cross-Coupling Processes: A Review. *Theor. Exp. Chem.* 2020. **56**(5): 283. <https://doi.org/10.1007/s11237-020-09660-4>
10. Asaula V.M., Lytvynenko A.S., Mishura A.M., Kurmach M.M., Buryanov V.V., Gavrilenko K.S., Ryabukhin S.V., Volochnyuk D.M., Kolotilov S.V. *In-situ* formation of Ni_xB/MIL-101(Cr) and Pd/MIL-101(Cr) composites for catalytic hydrogenation of quinoline. *Inorg. Chem. Comm.* 2020. **121**: 108203. <https://doi.org/10.1016/j.inoche.2020.108203>
11. Asaula V.M., Buryanov V.V., Solod B.Y., Tryus D.M., Pariiska O.O., Kotenko I.E., Volovenko Y.M., Volochnyuk D.M., Ryabukhin S.V., Kolotilov S.V. Catalytic Hydrogenation of Substituted Quinolines on Co-Graphene Composites. *Eur. J. Org. Chem.* 2021. **47**: 6623. <https://doi.org/10.1002/ejoc.202101311>
12. Asaula V.M., Shvets O.V., Pariiska O.O., Bur'yanov V.V., Ryabukhin S.V., Volochnyuk D.M., Kolotilov S.V. Composites Based on Nanodispersed Nickel, Graphene-Like Carbon, and Aerosil for Catalytic Hydrogenation of Furfural and Quinoline. *Theor. Exp. Chem.* 2020. **56**(4): 261. <https://doi.org/10.1007/s11237-020-09657-z>
13. Subotin V.V., Ivanytsya M.O., Terebilenko A.V., Yaremov P.S., Pariiska O.O., Akimov Y.M., Kotenko I.E., Sabov T.M., Kurmach M.M., Ryabukhin S.V., Volochnyuk D.M., Kolotilov S.V. Air-Stable Efficient Nickel Catalyst for Hydrogenation of Organic Compounds. *Catalysts*. 2023. **13**(4): 706. <https://doi.org/10.3390/catal13040706>
14. Subotin V.V., Asaula V.M., Lishchenko Y.L., Ivanytsya M.O., Pariiska O.O., Ryabukhin S.V., Volochnyuk D.M., Kolotilov S.V. Catalytic reductive amination of aromatic aldehydes on Co-containing composites. *Chemistry*. 2023. **5**(1): 281. <https://doi.org/10.3390/chemistry5010022>

Sergey V. Kolotilov

L.V. Pisarzhevsky Institute of Physical Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4780-4378>

OUTLOOKS FOR REDUCING THE CONTENT OF PLATINUM METALS IN CATALYSTS FOR THE HYDROGENATION OF ORGANIC COMPOUNDS

Transcript of scientific report at the meeting of the Presidium of NAS of Ukraine, February 22, 2023

The report states that the L.V. Pisarzhevsky Institute of Physical Chemistry of the NAS of Ukraine conducts relevant and important fundamental research on the influence of the structure of substances on their catalytic properties. Significant results have been obtained in the creation of new functional materials, such as catalysts for the hydrogenation of organic compounds, which have a significantly reduced content of platinum metals or do not contain them at all. The institute has substantial achievements in the field of productive catalysis for the fine organic synthesis of medication components and active substances for agrochemistry.

Cite this article: Kolotilov S.V. Outlooks for reducing the content of platinum metals in catalysts for the hydrogenation of organic compounds. *Visn. Nac. Akad. Nauk Ukr.* 2023. (4): 85–91. <https://doi.org/10.15407/visn2023.04.085>