

Лекція 1. Вступ до «зеленої» хімії

Металеві наночастинки є основними елементами нанотехнологій, що використовуються при проектуванні наноструктурованих пристроїв та матеріалів. Наноматеріали можна виготовити як фізичними або хімічними методами, так і природним шляхом. Великий попит на них привів до їх масштабного виробництва за допомогою різних токсичних розчинників або високоенергетичними методами. Однак, через зростаючу обізнаність щодо проблем безпеки та навколишнього середовища, виникла необхідність використання чистих, нетоксичних та екологічних способів для синтезу металевих наночастинок. Альтернативним шляхом синтезу металевих наночастинок стало використання біологічних ресурсів, таких як мікроби, частини рослин, рослинні відходи, сільськогосподарські відходи, смоли тощо. Цей біогенний синтез є «зеленим», екологічним, економічно вигідним та нетоксичним.

У природі існують багаті джерела нерафінованих концентратів із флори і фауни, такі як земляні та морські рослини, водні живі істоти, мікроби тощо. Ці джерела мають різноманітні композиції синтетичних комплексів, які можуть використовуватися замість небезпечних хімічних сполук для нешкідливого відновлення та обмеження агентів у методиках синтезу. В даний час біосинтез наночастинок є зростаючою областю досліджень та розвитку нанонауки, метою якої є пошук альтернативних екологічно чистих та стійких стратегій синтезу із залученням менш токсичних реагентів. Ці нові «зелені» технології можуть різко зменшити забруднення навколишнього середовища та зменшити ризик для здоров'я людини.

Основним завданням хімії традиційно вважали пошук та синтез корисних речовин і матеріалів із заданими властивостями. Хімічна промисловість у багатьох розвинених країнах є провідною галуззю економіки. Фармацевтична індустрія стає лідером хімічної промисловості. Але синтез ліків є багатостадійним, потребує великої кількості енергії та супроводжується великою кількістю викидів – до 100 кг на 1 кг кінцевого продукту. Зростає кількість речовин, що виробляються з вуглеводневої сировини [1].

Бурхливий розвиток хімічної науки та промисловості ставить людство перед низкою проблем: виснаження невідновлюваних ресурсів, проблеми безпеки та захворювання населення, пов'язані із хімічним виробництвом та токсичністю деяких його продуктів. Техногенні катастрофи ХХ ст. надали потужний імпульс для розробки інноваційного підходу до рішення екологічних проблем за допомогою хімії. У зв'язку з цим відбувається актуалізація осмислення новітніх стандартів наукового знання, ініційованих екологічними проблемами.

Зараз в історії хімії відкривається нова сторінка, пов'язана із розвитком нового інтегрованого наукового напрямку – «зеленої» або «екологічно раціональної» хімії. Феномен «зеленої» хімії є міждисциплінарним за своєю сутністю: відбувається інтеграція синтетичної органічної хімії із аналітичною хімією, фізичною хімією, токсикологією, мікробіологією, біотехнологією та технічними науками. Це – суспільний рух та науковий напрямок, що впроваджує широкий спектр урядових наукових та експериментальних заходів серед різних організацій у всьому світі, результати досліджень яких мають спільні цілі. Однак, необхідно відзначити, що при всій наявній сукупності дослідницьких і публіцистичних матеріалів про «зелену» хімію, сам феномен потребує філософсько-методологічного дослідження та послідовного впровадження у систему освіти [1].

Метою «зеленої» хімії стає розвиток технологій, які є результатом більш ефективних хімічних реакцій. «Зелена» хімія робить акцент на запобіганні забруднень на самих початкових стадіях планування та здійснення хімічних процесів та охоплює всі типи та аспекти хімічних процесів, які мінімізують ризик негативного впливу на довкілля та здоров'я людини.

Існує розуміння «зеленої» хімії як мистецтва, що дозволяє отримати необхідну речовину найбільш безпечним шляхом. «Зелена» хімія припускає вдумливий відбір вихідних матеріалів і схем процесів, який взагалі виключає використання шкідливих речовин, відмову від використання токсичних та небезпечних хімічних речовин, орієнтацію на промислові процеси, які не забруднюють довкілля та відповідальність науковця та виробника за продукти, що виробляються [1].

Один з фундаторів цього напрямку П. Анастас висловив думку про те, що кращі хіміки світу займаються «зеленою» хімією, тому що це просто

частина занять гарною хімією, процеси стають не тільки екологічними, але й високо економічними [2].

Як науковий напрямок «зелена» хімія з'явилася у США у 90-х роках ХХ ст. У 1995 році у США був оприлюднений Президентський проект, який включав науково-дослідницькі гранти, щорічні премії та фінансову підтримку компаніям та вченим, зацікавленим проблемами екологічної хімії. Згодом у Великій Британії, Австралії, Німеччині та Італії також були створені організації з питань зеленої хімії. Багатьма впливовими міжнародними організаціями, зокрема «Міжнародним союзом теоретичної та прикладної хімії» (IUPAC), «Європейською радою з хімічної промисловості» (CEFIC), «Організацією з економічних відносин та розвитку» (OECD) було визнано «зелену» та «екологічно раціональну» хімію важливим напрямом діяльності [1].

У європейських країнах впроваджуються найбільш прогресивні закони, що стосуються «зелених» технологій. В останні роки у провідних університетах світу і наукових хімічних центрах розвивається новий підхід до розробки технологій хімічних процесів, що заснований на принципах «зеленої» хімії. Розробляються нові схеми реакцій і процесів, які покликані кардинально зменшити навантаження хімічних виробництв на навколишнє середовище, звести до мінімуму знищення і переробку небезпечних речовин та шкідливих побічних продуктів. Саме на них працюють хіміки, які визнані лідерами цього руху [1].

Незважаючи на певні успіхи, вчені вважають, що на даний час погляд на «зелену» хімію має дещо змінитися, адже за останню чверть століття світ також помітно змінився. Так, наприклад, виробництво величезного асортименту товарів перемістилося з Європи та США до Китаю і країн Азії. Все менше залишається корисних копалин, нафти, металів тощо, і це відбувається на фоні збільшення населення планети. Отже, потреби зростають, а ресурси зменшуються, й за цих умов хімічна промисловість має забезпечити світ необхідними продуктами виробництва, й зробити це, виключивши небезпечні компоненти, не виробляючи небезпечних відходів й не завдаючи шкоди довкіллю. Поки що ніхто не знає як розв'язати цю надскладну задачу, але ми мусимо її вирішувати, якщо хочемо, аби звичне для нас суспільство продовжувало існувати. Для одних рішень достатнім буде модернізувати або адаптувати існуючі технології, а також ті, що

перебувають на стадії розробки, для інших – потрібні відкриття або принципово нові технології.

Фундаментальні дослідження довели, що надкритичні рідини можуть забезпечити такий рівень контролю і перетворення в хімічних реакціях і при обробці матеріалів, якого важко досягти традиційними методами. Оскільки надкритичний CO_2 (scCO_2) інертний, то в ньому можливо проводити синтез органічних речовин, у тому числі комплексів металів, полімеризацію, з його допомогою можна екстрагувати необхідні речовини, наприклад, важких металів з розчинів солей. Більш того, можлива екстракція і з твердих речовин. Надкритичний CO_2 має майже таку ж здатність розчиняти як гексан. У надкритичних умовах він є найбільш широко використовуваним розчинником завдяки низькій критичній температурі, ідеальною речовиною для екстракції термічно нестійких речовин. Крім того, CO_2 нетоксичний, негорючий, доступний і недорогий. Його використовують для екстракції поліфенолів, хлорофілів, каротиноїдів. Наприклад, в харчовій промисловості кофеїн із зерен зеленої кави вилучають саме за допомогою scCO_2 у величезних масштабах. Вуглекислий газ екстрагує тільки кофеїн, залишаючи всі ароматні компоненти і не залишаючи після себе ніякого шкідливого сліду, на відміну від своїх органічних аналогів. Подібну технологію також використовують для екстракції хмелю при виробництві пива, нікотину з тютюну, а також різних речовин в парфумерній промисловості [1].

Фірма «Дюпон» обрала технологію із застосуванням цього розчинника для виробництва полімерів. У найближчому майбутньому буде впроваджено технологію виробництва фторполімерів, що припускає використання scCO_2 , який краще розчиняє фторовані вуглеводні. Вони дозволяють запобігти випадінню в осад цільового полімеру, наприклад, поліакрилату, за рахунок того, що зростаюча молекула полімеру утримується у розчині оточуючими її перфторованими групами приблизно так, як молекули поверхнево-активних речовин утримують в розчині частинки жиру і бруду під час прання. Нова технологія дозволить краще контролювати фізичні властивості фторполімеру і його хімічний склад. До речі, в пральнях-хімчистках Японії вже активно використовують scCO_2 .

Шляхи, якими вже зараз рухається «зелена» хімія, можна розділити на три великі напрямки: нові шляхи синтезу (часто це реакції із застосуванням

каталізатору); заміна традиційних органічних розчинників; поновлювані вихідні реагенти (тобто отримані не з нафти).

Каталітичні реакції складають важливу частину процесів «зеленої» хімії. У Нідерландах Роджер Шелдон з Технічного університету (Делфт) впроваджує нові каталітичні технології у реакціях тонкого органічного синтезу, зокрема для фармацевтичної хімії. Використання каталітичних реакцій дозволить зменшити хімічний тиск на довкілля. Відносно новий напрямок використання каталізаторів – синтез полімерів, що розкладаються, замість використовуваних в даний час стійких марок. Застосування каталітичних процесів у майбутньому дозволить створювати матеріали (у тому числі полімери), які не потребують додавання пластифікаторів, інгібіторів горіння, тобто речовин, що створюють перешкоди повторному використанню матеріалів [1].

На думку вчених, найперспективнішим напрямом розвитку «зеленої» хімії є виробництво багатьох хімічних речовин не з нафти, а з поновлювальної сировини. Ця тема є надзвичайно цікавою для африканських країн, адже там досі залишається нерозвиненою хімічна промисловість, і її розвиток, за відсутності нафти та з урахуванням місцевих кліматичних умов, звичайно буде пов'язаним із застосуванням рослинної сировини та сонячної енергії. Так, наприклад, 2010 р. в Аддис-Абебі відбувся перший Африканський конгрес із «зеленої» хімії за участі понад 300 учасників з Африки та Європи, на якому було відзначено значну зацікавленість у «зеленому» виробництві [3].

Ще Д.І. Менделєєв слушно зауважував: «Нафта – не паливо, топити можна і асигнаціями». В умовах скорочення запасів нафти з біомаси можна отримувати продукти масового хімічного виробництва, а не тільки дорогі реактиви для фармакології. Саме на масових хімічних продуктах повинна зосередитися «зелена» хімія.

Відомо, що тільки близько 95% сировини нафти йде на паливо, а решта – на виробництво хімічних продуктів. Треба переключити нафтову сировину з палива на хімічні продукти. Те ж саме справедливо і для біопалива, і хімічних продуктів з біомаси.

Проблеми, що знаходяться в компетенції «зеленої» хімії, можливо розділити на два основних напрямки. Перший пов'язаний із переробкою, утилізацією та знищенням екологічно небезпечних побічних і відпрацьованих продуктів хімічної промисловості. Другий, більш

перспективний, пов'язаний з розробкою нових промислових процесів, які дозволяють обійтися без шкідливих для навколишнього середовища продуктів (у тому числі побічних) або звести їх використання і утворення до мінімуму. Хімічні речовини та процеси у відповідності із принципами «зеленої» хімії розглядаються не тільки з точки зору виробництва речовин та матеріалів із заданими властивостями, але й з урахуванням наслідків для довкілля. «Зелену» хімію вже називають «новим мисленням» хімії, філософією сучасних хімічних досліджень. Світоглядний орієнтир зеленої хімії – коеволюція людини та природи, збереження біосфери [1].

Ще В.І. Вернадський на початку ХХ століття передбачав, що дослідники в майбутньому будуть частіше спеціалізуватися не за науками, а за проблемами. У ХХ ст. провідною тенденцією вважалось утворення наук «на перетині» галузей знань. У сучасній науці подібні топологічні виміри втрачають актуальність, створюються проекти, які поєднані єдиною метою та обмежені в часі. У зв'язку з постановкою сучасних глобальних, екологічних, соціально-етичних проблем складається новий тип наукового знання. «Зелену» хімію можливо розглядати як новітню хімічну філософію. Необхідно впроваджувати її принципи та ідеї в підготовку нового покоління дослідників.

Література

- [1] Ф.А. Тихомірова, Зелена хімія: нова хімічна філософія, Вісник ОНУ. Хімія. 2 (2015) 93–100. doi:10.18524/2304-0947.2015.2(54).50636.
- [2] P.T. Anastas, J.C. Warner, Green Chemistry: Theory and Practice, Oxford University Press, New York, 1998.
- [3] R.A. Bourne, M. Poliakoff, Green chemistry: what is the way forward?, Mendeleev Commun. 21 (2011) 235–238. doi:10.1016/J.MENCOM.2011.09.001.