



ПРО ЗМІНИ КЛІМАТУ, ДОКАЗИ ВЧЕНИХ І ФУНДАМЕНТАЛЬНУ НАУКУ

Професор Маріо Моліна (19.03.1943 – 02.10.2020) – видатний мексиканський хімік, відомий своєю ключовою роллю у відкритті озонової діри в Антарктиці. Лауреат Нобелівської премії 1995 року «за роботи з атмосферної хімії, особливо щодо утворення і руйнування озону». У 2004 році обіймав посади професора в Каліфорнійському університеті, Сан-Дієго та Центрі атмосферних наук Інституту океанографії імені Скриппса.

В одному зі своїх останніх інтерв'ю, яке проф. Маріо Моліна надав Симону Маліновському, співробітнику журналу "АКАДЕМІА" Польської АН (1/6/2019), він розповів про свій досвід науковця доведення шкідливого впливу хлорфторвуглеродів (хлорофлуорокарбонів (CFCs)) до відома вчених, громадськості, виробників та політиків. Пропонуємо це інтерв'ю до Вашої уваги.

Симон Маліновський (далі С.М.): Шановний пане професоре, розкажіть, чому Ви вирішили займатися наукою про атмосферу?

Маріо Моліна (далі М.М.): Я вперше зацікавився наукою, коли в дитинстві читав біографії вчених. Я любив робити експерименти з хімії і з самого раннього віку хотів бути вченим. Коли я закінчив школу і розпочав навчання у Мехіко, то вже знав, що мені подобається хімія та фізична хімія. Хоча курсів фізичної хімії як таких не було, я вивчав хімічну технологію, в якій багато фізичної хімії. У Каліфорнійському університеті в Берклі за роботу «Дослідження швидкості хімічних реакцій, інтерпретацію квантової механіки» я отримав докторський ступінь (PhD).

І вирішив залишитися постдокторантом, щоб продовжувати дослідження разом із колегою, який також займався фундаментальною наукою. Він використовував різні методики для вивчення хімічних реакцій. Ми хотіли зробити щось, що стосувалося б фундаментальних досліджень, але було б більш пов'язане з проблемами, з якими стикається суспільство в цілому, тому вирішили займатися хімією атмосфери, оскільки це дозволяло нам продовжувати дослідження з фундаментальної хімії, вивчаючи щось практичніше – атмосферу.

Група, яка працювала в новій галузі атмосферної хімії, тоді була ще зовсім невеликою. Ми вирішили дослідити, що відбувається з промисловими хімічними речовинами хлорофлуорокарбонами (CFCs), що накопичуються в атмосфері. На нашу думку, ці маленькі молекули, подібні до тих, які ми вивчали в лабораторії, стануть гарною відповідною точкою для вивчення атмосфери. Ось так все і почалося – в основному з цікавості, переходу від базової науки до більш прикладної, а решта сталася відносно швидко.

Я досліджував хімічні речовини та реакції, які можна виявити в атмосфері. Створені для безпечного дихання CFCs дуже стійкі. Ці сполуки не можуть бути зруйновані природними процесами, які зазвичай справляються з забруднювачами повітря; CFCs зрештою дістануться до стратосфери, і ми знали, що на досить великих висотах вони будуть знищені ультрафіолетовим випромінюванням. Цей механізм руйнування став логічним висновком, і важливим було не з'ясування того, що воно відбувається саме по собі, а чи не буде наслідків. Ми зрозуміли, що частини молекул, які розкладаються, будуть дуже реакційно здатними, наприклад атоми хлору або вільні радикали. Відомо з фундаментальної хімії, що атоми хлору швидко реагують з молекулами озону.

На основі свого досвіду в фундаментальній хімії я розумів, що процес може бути каталітичним, а це означає, що дуже мала кількість атомів хлору здатна знищити значну кількість молекул озону. Оскільки це було просто теорією, ми поговорили з іншими колегами і вирішили, що треба співпрацювати з більшою кількістю дослідників, щоб перевірити гіпотезу. Ось такий історичний виклад.

С.М. – Таким чином, Ви від базових галузей знань перейшли у прикладне поле і відкрили щось фундаментальне у житті та планеті. Скільки часу пройшло від усвідомлення значення своїх результатів до моменту, коли вони стали політично важливими?

М.М. – Важко точно визначити, хоча це забрало багато років. Ми спочатку пройшли перевірку досліджень у інших атмосферних хіміків, і їх відповідь була: «*Безперечно, це має велике значення*», але в широкому науковому співтоваристві думали, що, можливо, ідея перебільшена. Ми дуже зважено підходили до публікації наших результатів в одному з найвідоміших журналів «Nature», бо щоб друкуватись в «Nature» або «Science», необхідно дочекатися, коли дослідження будуть перевірені та опубліковані, перш ніж можна викласти відомості. Основне занепокоєння було в тому, що ми просто хочемо підняти галас. Нарешті ми дочекались публікації, рецензентів не було. Після публікації дослідження поступово було прийняте науковою спільнотою, хоча промисловість результати сприймала неохоче.

Врешті-решт ми вирішили, що несемо відповідальність перед суспільством за інформацію. Ось тоді ми почали розмовляти зі ЗМІ, органами, які приймають рішення, політиками, членами Конгресу США тощо. Це зайняло чималий проміжок часу. Ми зрозуміли, що найкращим способом прискорити процес було залучення Національної академії наук США. Були опубліковані деякі дані, які свідчили про те, що наша робота насправді була науково обґрунтована, а тривожні результати привернули увагу людей. Конгрес США розпочав розгляд ідеї заборони використання CFCs в балончиках з розпиленням: їх застосовували як аерозольний лак для волосся, засоби для чищення тощо. І звичайно, їх використовували як холодоагенти, оскільки вони були значно безпечнішими, ніж аміак або діоксид сірки.

Крім того, нам довелося взяти на себе виробників. На щастя, лише п'ять-шість великих хімічних компаній виробляли ці хімікати, і ми змогли поговорити з ними.

Спочатку вони заявляли, що не припинять виготовляти CFCs на основі лише нашої теорії. «DuPont», зокрема, мав традицію досліджень – не нашого типу досліджень, а розробку таких матеріалів, як тефлон. Представники фірми сказали, що припинять виробництво в разі, якщо буде наукове підтвердження. Коли ми змогли відтворити наші результати, вони сказали: «*Ок, Ви маєте рацію, ми припинимо виробляти ці хімічні речовини*». Тоді вже розпочали дослідження інших сполук, які могли замінити CFCs як пропеленти та холодоагенти, що не досягли б стратосфери. Це дозволило їм переорієнтуватись, але процес зайняв щонайменше десятиліття.

С.М. – Було розчарування?

М.М. – Так, було, бо навіть преса вже тоді визнала наші результати. Минуло багато часу, поки Організація Об'єднаних Націй вивчила проблему та почала готувати міжнародну угоду, щоб якось зрушити це питання, тому хоч і робилося все, але робилося повільно. У той час було виявлено озонову діру над Антарктикою; ми не прогнозували цього, і це прискорило реагування.

На початку навіть наукове співтовариство говорило: «*Ого, вражаюче явище, та незрозуміло, чи це має щось спільне з CFCs!*» Однак точні вимірювання показали, що озоновий отвір над Антарктикою, безумовно, був спричинений хлором із CFCs. Це знову пришвидшило ситуацію, в результаті був складений Монреальський протокол, який остаточно вирішив проблему.

С.М. – Чи шкодували Ви про те, як склалося спілкування з наукою?

М.М. – Тільки на початку. Аерозольна промисловість, зокрема, стверджувала, що ми перебільшуємо проблему, щоб привернути увагу громадськості, але насправді дивно, що більшість вчених та галузей нам повірили. Нам більш пощастило, ніж, скажімо, із проблемою зміни клімату, яка дуже швидко політизувалася. Частково причина полягала в тому, що ми маємо справу з невеликою кількістю досить відповідальних виробників хімічних речовин, які прийняли наше дослідження. Навпаки, зі змінами клімату ви маєте справу з величезною кількістю галузей та політичних груп; це стало справою політики, особливо у республіканців США. CFCs були менш значною проблемою і це полегшило її вирішення. Ця історія є прикладом того, як суспільство об'єднується для вирішення глобальної проблеми. Але є одна подібність між CFCs та зміною клімату – не має значення, з якої країни походять викиди, усім країнам потрібно співпрацювати.

С.М. – Існує різниця між дірою в озоновому шарі та зміною клімату з точки зору сприйняття. Клімат – це те, що ми відчуваємо щодня, а озонову діру – ні.

Як, на Вашу думку, слід інформувати про небезпеку цієї дійсно величезної проблеми планети?

М.М. – Я вважаю, що наукова спільнота не зробила належної роботи, щоб донести проблему до громадськості. Деякі дані передавались не вченими, а екологами, а певні моменти, можливо, були перебільшені. Найголовніше – дуже сильний відгук, від людей, керованих політикою, яких ми називаємо «суперечниками» – людей, які не довіряють науці. А для науковців це абсолютно неприпустимо. Звичайно, ми визнаємо, що в науці існують невизначеності, адже клімат – це складна система. Точність наших прогнозів дуже сильно залежить від того, як реагує суспільство. Ми все ще можемо говорити про ймовірності та ризики, але науковцям абсолютно неприпустимо заперечувати саму науку. На щастя, з політичних причин Республіканська партія в США стоїть проти втручання уряду у виробничу чи комерційну діяльність, на противагу демократам, які домагаються занадто великого впливу подібного роду. Але з рухом «Чайної партії» проблема стала сприйматися як питання переконання, і це зовсім нераціонально.

Я міг би провести аналогію з вакцинами. Людина також є складною системою, і початкова розробка вакцин не була досконалою. Однак наука розвивалася, і документування та вимірювання результатів зробило зрозумілим факт, що вакцини врятували багато життів дітей, які в іншому випадку підхопили б інфекційні захворювання. Це достовірно встановлено. Але це також стало політизованим. Є групи, які вважають, що вчені не повинні втручатися в природу, і це поширюється на питання про вакцини. Таке сталося з республіканцями та зміною клімату на рівні політики США, і для нас це абсолютно неприйнятно та абсурдно. Це свідчить про незнання науки політиками. Наука має величезний вплив на наше життя, а тривалість життя зросла більш ніж удвічі. Очевидно, що наука змінила спосіб та покращила якість життя.

Науковий прогрес призвів до розвитку таких технологій, як мобільні телефони, якими ми всі користуємось кожен день, тому безглуздо не вірити науці або думати,

що наука – це все про політику. Це походить від незнання. Але, на жаль, саме так розвиваються справи в США з Республіканською партією. Ми працюємо з деякими республіканцями, і вони розуміють, що є обмеження тому, що вони можуть сказати через політичні наслідки. Але найяскравіший приклад – сам президент **Трам**, який просто ігнорує науку через свої переконання.

С.М. – У нас така ж проблема в Польщі.

М.М. – І це тотальний абсурд. Ми повинні пояснити, що це – нісенітниця, обумовлена ірраціональністю, і що сила науки – в науковому методі, в доказах.

Докази надходять від науковців, здатних надійно відтворити результати.

Коли яблуко падає з дерева, це не значить, що іноді воно падає, а іноді – ні, це стається кожного разу. Ось чому ми довіряємо літакам, що пролітають через океан із Європи до Штатів: ми знаємо, що вони надзвичайно безпечні, оскільки наука може бути відтвореною. Ось чому ця позиція не має сенсу для вчених; це чиста політика.

Тут явно є соціальне підґрунтя, і я намагаюся його зрозуміти. Наприклад, деякі люди не вірять у зміну клімату. Це настільки впливає на їх менталітет, що вони, можливо, чесно вважають, що зміна клімату – це нереально. Ми можемо посилатися на психологію, щоб показати, що ці люди проявляють ірраціональну поведінку. Це не повинно стосуватися президента США, але, на жаль, це так.

С.М. – Чи є у Вас ідеї, як надихнути науковців на поширення інформації та як зробити цю інформацію доступнішою для широкої публіки?

М.М. – Спочатку дозвольте мені навести історичний випадок. Коли ми відкрили для себе проблему CFCs, то вважали, що донесення результатів досліджень до громадськості не є обов'язком наукової спільноти; це повинен зробити хтось інший. Але оскільки суспільство змінилося і стало відповідати на нові виклики, зараз широко прийнято, що вчені несуть відповідальність перед громадськістю. Це також дуже важливо. Студенти коледжу повинні навчатись не лише того, що таке наука, і як вона працює; важливо навчити вчених та інженерів також етичним та соціальним компонентам. І спосіб досягти цього прецеденту, це не викладати їм все більше предметів, а залучати їх до реальних проблем, що стоять перед суспільством.

У нас є гарний досвід роботи у Массачусетському технологічному інституті та в Мексиці, коли студенти дуже позитивно реагували на таке навчання. Ми думаємо, що це шлях для поступу суспільства, і ми покладаємо великі надії на молодь, що стає відповідальнішою з етичних причин. Ось чому ми інвестуємо в початкову освіту, хоча це не та інвестиція, яка дає миттєві результати. Щоб відчуті економічне покращення – потрібні десятиліття. Це питання соціальної відповідальності. Зрештою, мова йде про освіту, але ми повинні щось робити також на короткочасну перспективу. Нам доводиться стати пропагандистами, і нам удалося згрупувати науковців, які працюватимуть з нами над публікацією звітів. Я співпрацюю з Американською асоціацією сприяння розвитку науки (AAAS), яка видає журнал «Science», і ми разом підготували звіт про зміну клімату. Але ми повинні робити більше. Це не лише випуск публікацій ми маємо спілкуватися і з політиками. І я думаю, що нам слід краще працювати в найближчі роки.

С.М. – Політики хочуть удосконалити методи впровадження досягнень науки та техніки в промисловість та економіку. Але у нас також є проблема з розумінням науки у політиків?

М.М. – Урядам важливо усвідомити, що інвестиції в науку та інновації мають вирішальне значення. Зокрема, прикладна наука дуже важлива для країн, що розвиваються. З іншого боку, національні академії дуже чітко встановили, що крім прикладної науки потрібно також фінансувати фундаментальні науки, оскільки таким чином готуються хороші викладачі та професори, які знають, як належить викладати студентам науку та дослідження. Отже, не можна провести межу між прикладною та фундаментальною наукою, повинні фінансуватися обидві – це питання культури.



С.М. – Історія Ваших досліджень захоплююча. Ваша природна зацікавленість допомогла вирішити важливу проблему, що стоїть перед суспільством і яку ми ніколи не визнавали раніше. Отже, це не лише питання наукового прогресу, але й захисту нашої планети та забезпечення добробуту людства.

М.М. – Мені пощастило, що за ці роки я зміг поспілкуватися з багатьма лауреатами Нобелівської премії. Дозвольте розповісти вам таку історію. Коли я вперше поїхав до Берклі як студент, то виявив, що в кампусі дуже важко знайти місце для паркування. Було кілька вільних латок, позначених іменними табличками, на одній з яких було написано: **Чарльз Таунс**. Я подумав: «Хто це, чорт забирай?» Коли ж я познайомився з ним у його лабораторії пізніше, то зрозумів, що йому виділено власне місце для паркування, оскільки він був лауреатом Нобелівської премії. Ми стали добрими друзями, бо обидва були членами Папської Академії наук. Він пішов з життя кілька років тому, у віці 99-и років. Я пам'ятаю, як люди на зустрічах питали, за що він отримав Нобелівську премію, і він просто відповідав: «А-а, лазер». Чарльз Таунс був дуже скромним, хоча лазер є надзвичайно важливим об'єктом фундаментальної науки. Вперше його постулював **Ейнштейн**, а я використав лазерні рівняння Ейнштейна у докторській

дисертації. Це фундаментальна наука – лазери навколо нас, їх використовують у програвачах CD, оптичних пристроях тощо. Зараз вони дуже поширені, але для дослідження та демонстрації технології знадобилося багато часу. Перший лазер був надзвичайно складним порівняно з тими, якими ми користуємося зараз. Таких прикладів у науці дуже багато. Коли з'явилася квантова механіка, вона була надто складною для будь-яких практичних застосувань, але зараз вона є важливою складовою фізики твердого тіла, хімії, мобільного зв'язку і т. ін.

Прикладів дуже багато. З точки зору економіста, країни, які вкладають певну частку свого ВВП у фундаментальну науку, є більш успішними, – це приносить користь їх економіці. У Мексиці в науку вкладають занадто мало, лише 0,5% нашого ВВП.



С.М. – Точно така ж ситуація і в Польщі.

М.М. – Це вірно. І вчені повинні сказати: «Добре, ми розуміємо, що це потребує певного часу, аби відбулися відчутні вигоди, але це справді хороші інвестиції, і ми повинні почати робити їх якнайшвидше». Економіка в Мексиці зазнає труднощів, тому подібні інвестиції відкладаються, а тиску з боку вчених недостатньо. Але ви абсолютно праві, ми повинні краще доносити ідею фінансування фундаментальних досліджень.

С.М. – Дозвольте задати Вам інше запитання. Як Ви вже згадували, Ви – член Папської Академії наук. Академія мала відношення до надзвичайно впливової енцикліки «Laudato si» Папи Римського Франциска, якою він закликає до «швидкої та єдиної глобальної відповідальності» у питаннях, що включають зміни клімату.

Як Вам удалося поділитися своїми науковими знаннями не з політиками, а з представниками зовсім іншого типу громадської організації?

М.М. – Папська Академія наук у Ватикані включає близько 50 вчених, більшість з яких не є католиками. Це міжнародний орган вчених. Ми наполегливо працювали і досягли успіху в тому, щоб наблизити різні релігійні групи до важливих наукових праць, таких, як роботи *Галілея*

та ін., – вони прийняли їх відносно недавно. Нам удалося просунути ближче до позитивної відповіді, і ми з самого початку знали, що Католицькій Церкві важливо усвідомити зміни клімату. Ми спочатку хвилювались, тому що всередині Церкви було декілька лідерів високого рівня, які сумнівались у зміні клімату, але ми вирішили все одно спробувати. Нам дуже допоміг *Марсело Санчес Сорондо* з Аргентини – канцлер Папської Академії; він очолює групу, що опікується спілкуванням між громадськістю та Папою Римським. Нам дуже пощастило, що Папа Римський написав свою дуже сильну енцикліку, яка підтримує науковий консенсус замість заперечень кліматичних змін. Тож Папа зрозумів, що це важливо для блага всього людства.

Тут на конференції в Катовіце з питань зміни клімату ми провели нараду, організовану Польською Академією наук та Папською Академією наук. Папська Академія надала доповіді, засновані на новітньому науковому розумінні, підкреслюючи, що релігія не повинна суперечити науці. У мене є досвід роботи з релігійними громадами: коли я був професором МІТ, я був пов'язаний з різними релігійними групами в Гарварді, головним чином з їхньою медичною школою, оскільки МІТ не мав такої, і з Громадським інститутом здоров'я. Наша робота з питань зміни клімату – чудовий приклад роботи наукової спільноти з релігійними громадами. Але нам ще належить навчитися працювати з Республіканською партією в США. Робота тільки починається, але це можливо.

С.М. – Дивно, що, хоча республіканці відповідали за первинне законодавство про захист навколишнього середовища, вони тепер змінюють свою позицію. Оскільки їхні погляди значною мірою консервативні, вони повинні бути зацікавлені у збереженні довкілля, природи.

М.М. – Ми тісно співпрацювали з колишніми республіканцями: з *Вільямом Райлі*, з *Джорджем Шульцом*. Навіть президент *Ніксон* дуже підтримував захист довкілля. Але у республіканців є проблема спілкування з нинішнім республіканським керівництвом. Щось, нарешті, починає змінюватися – не з президентом Трампом, на жаль, але, всередині Республіканської партії.

С.М. – Тож Ви сподіваєтесь, що вони можуть передати цю інформацію консерваторам.

М.М. – Так, саме так. У деяких крайніх випадках певні республіканці мають вузькі «релігійні» погляди; Я говорю про креаціоністів, які вважають, що згідно з Біблією, створення світу відбулося буквально за п'ять днів. Католицька церква не вірить у це, як і більшість протестантів, але певні республіканці дуже, скажімо так, обмежені, і вони є в Конгресі. На жаль, це безнадійні випадки.

С.М. – Ми повернулися до проблеми спілкування між наукою та політикою. Що ще Ви хотіли б сказати читачам журналу *Academia*?

М.М. – Найсуттєвішим, хочу сказати, є те, що я вірю в раціональність. І вважаю: ми повинні переконати суспільство, що зміна клімату є реальністю.

Але для наукового співтовариства дуже важливо розвивати соціальну відповідальність і доносити суспільству, що принципові зміни у взаємодії землян із навколишнім середовищем приносять користь усьому людству. Це наша мета: зробити так, аби те, що ми робимо, було на благо всіх людей, а не лише певних груп. ■