

## Проблеми екології

---

На симпозіумах, присвячених екології та еволюції, найбільшу зацікавленість і жваву дискусію викликали питання, що знаходяться на стику молекулярної біології, таксономії, біогеографії, еволюції, а також екологічні, пов'язані зі зміною клімату. Натомість багато традиційних проблем практично залишалися поза увагою присутніх. Інтерес до екології пов'язаний з тим, що вона, з одного боку, поєднує класичні напрямки (систематику, геоботаніку, морфологію, анатомію) з експериментальними (фізіологією, біохімією, біофізикою), виводить ці експериментальні дослідження з лабораторії у польові умови і робить об'єктами дослідження популяції, угруповання, екосистеми тощо. З іншого боку, такі дослідження є дуже дорогими, потребують значної кількості складного обладнання, яке мають обслуговувати висококваліфіковані інженери, науковців широкої ерудиції, котрі можуть вирішувати комплексні завдання на межі кількох дисциплін, розробляти принципово нові, часто нестандартні методики досліджень. Потрібні також обробка великих масивів даних, комп'ютерна техніка і програмне забезпечення. Розробка нового приладу, наприклад аналізатора CO<sub>2</sub>, визначає популярність напрямку, який проробляється швидко, поки не «спрацьовується».

Проблеми екології висвітлювалися на багатьох симпозіумах та у загальних доповідях. Так, Н.М. Моонеу у доповіді «Оцінка стану екосистем на межі

тисячоліть» розглянув участь людини у змінах екосистем на регіональному, національному та локальному рівнях. Він проілюстрував як результати таких змін, так і відповідні сценарії майбутнього. Зокрема, за останні 50 років у північній півкулі було знищено 5–10 % біомів, 20 % лісів, на 35 % знизилася родючість ґрунту, концентрація  $\text{CO}_2$  упродовж 1950–1959 рр. підвищилася на 60 % і 60 % екосистем тією чи іншою мірою зазнали деградації. У наступні 50 років можна очікувати подальшого посилення деградації екосистем, змін в азотному ланцюзі, трансформації 10–20 % екосистем. Під антропогенним впливом змінюються популяції видів, що призводить до глобалізації, адаптаційної мозаїки та формування техносфери.

С. Кӧгнер у доповіді «Зелений покрив планети за умов атмосферних змін» наголосив, що підвищення рівня  $\text{CO}_2$  впливає на процес фотосинтезу, тобто безпосередньо на стан біосфери в цілому. Відомо, що майже 90 % біомаси знаходиться у вигляді деревини, тому принциповим є питання про те, як ліси реагуватимуть на підвищення концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері. Встановлено, що збільшення вмісту  $\text{CO}_2$  стимулює динаміку росту лісів, що в кінцевому результаті збільшує накопичення вуглецю. Таким чином, накопичення вуглецю залежить від площі лісових угруповань та їх сукцесійної стадії. Найбільш стабільний баланс, повільний кругообіг вуглецю мають сталі лісові екосистеми. Отже, з метою максимальної фіксації атмосферного вуглецю світова екологічна політика повинна бути спрямована на охорону старих сформованих лісових екосистем, а для отримання деревини необхідна розробка технології вирощування плантацій тих видів дерев, які швидко ростуть.

Обговорення проблем змін клімату і біорізноманітності тривало на симпозіумі 1.12 «Глобальні зміни та аспекти біорізноманітності у широколистяних лісах». Зокрема, Е. Вох зробив доповідь «Що впливає на різноманітність у широколистяних лісах?» Підвищення середньої температури на 3 °C (в межах 1,5–4,5 °C) збільшить концентрацію  $\text{CO}_2$ , міграцію рослин і тварин, призведе до змін домінантів, екоотопів, формування якісно інших своєрідних екоотопів, співвідношення C/N, що впливає на інтенсивність кругообігу елементів і перетворення енергії. Внаслідок потепління, з одного боку, кількість видів у лісах збільшиться через інвазію нових, але, з іншого боку, зменшиться — через відмирання чутливих до змін температури видів, котрі не встигатимуть відновлюватися.

І. Mutke дав оцінку глобальному градієнту різноманітності квіткових рослин, показавши карту найбільшого зосередження різноманітності видів, 80 % яких концентруються у тропіках, при цьому 92 % видів зростають у лісових біомах. Найважливіший висновок полягає у відсутності тісного зв'язку між зміною географічної широти та біорізноманітністю. Це суперечить загальноприйнятому уявленню, яке ми широко постулюємо. Натомість спостерігаються тісні кореляції між біорізноманітністю і градієнтами температури та вологості, на які впливають також історичні особливості (тривалі періоди кліматичної стабільності), ландшафтна та георізноманітність.

G. Walther у доповіді «Переваги бути вічнозеленим» показав результати змін у складі листопадних широколистяних лісів, досліджених в останні роки на південному підніжжі Альп. З 1970 р. кількість та частота трапляння вічнозелених широколистяних видів постійно зростає, тобто цей тип більше відповідає новим екологічним умовам. Пом'якшення зимових умов та подовження вегетативного сезону в регіонах з помірним кліматом сприяє росту вічнозелених видів та підвищує їх конкурентоздатність порівняно з листопадними. Цей зсув від листопадно-широколистяного до вічнозеленого широколистяного типу рослинності відбиває екологічні зміни на рівні не лише рослинних угруповань, а й біомів.

Симпозіум 2.9 присвячувався механізмам рослинних реакцій на глобальні зміни в атмосфері (в минулому і майбутньому). D. Karnovski зробив доповідь «Реакції дерев північних лісів на підвищення концентрації атмосферного  $\text{CO}_2$  і тропосферного  $\text{O}_3$ : механізми зміни продуктивності лісів». Загалом доповідалися результати досліджень адаптування рослин до підвищення концентрації діоксиду вуглецю та озону.

Цікавим був симпозіум 3.11 «Чи можуть ліси захистити людство від кліматичних катастроф, спровокованих високою концентрацією  $\text{CO}_2$ ?». R. Norby у доповіді «Ліси у світі з високою концентрацією  $\text{CO}_2$ : старі питання та нові вимоги» на прикладі дубових лісів проаналізував гіпотезу щодо підвищення продуктивності лісів зі збільшенням концентрації  $\text{CO}_2$ . Деякі досліді підтверджують підвищення продуктивності лісів у зв'язку із зростанням вмісту  $\text{CO}_2$  (R. Norby, P. Hietz), інші заперечують і висловлюють думку про значні коливання продуктивності різних типів лісів (B. Hungate).

K.S. Pregitzer виголосив доповідь «Відповідність взаємодії мікробів та рослин у ґрунтовій регуляторній екосистемі вмісту  $\text{CO}_2$  у повітрі». На його думку, не існує лінійної залежності між підвищенням в атмосфері  $\text{CO}_2$  та продуктивністю лісових екосистем. Результати експерименту у Вісконсині показали, що при підвищенні рівня  $\text{CO}_2$  прискорюється ріст рослин, а при підвищеному  $\text{O}_3$  — сповільнюється, що змінює структуру первинної продуктивності ґрунтових мікроценозів, ґрунтовий метаболізм та утворення ґрунтової органічної речовини. Зміна росту рослин та біохімічних процесів при підвищеному рівні  $\text{CO}_2$  визначає ланцюг змін, що відбуваються як у ґрунтових мікробних угрупованнях, так і екосистемах у цілому, зокрема впливає на цикли C та N.

B. Hungate заперечує, що світові ліси зможуть захистити людство від значних кліматичних змін, спричинених підвищеною концентрацією  $\text{CO}_2$  в атмосфері. Він експериментально встановив, що значне зростання  $\text{CO}_2$  іммобілізує азот, ускладнюючи його участь у процесі утворення біомаси і зменшуючи таким чином рівень засвоєння самого  $\text{CO}_2$ .

G. Taylor та ін. (Сауттемpton, Великобританія) вважають, що справжні дослідження впливу підвищеного рівня  $\text{CO}_2$  на життєдіяльність рослин тільки починаються. На генетичному рівні у представників роду *Populus* вони по-

казали, що адаптація до майбутнього підвищення  $\text{CO}_2$  є можливою через збільшення вмісту хлорофілу у клітинах, уповільнення процесів старіння та підвищення продуктивності цих порід.

Експерименти з визначення вмісту целюлози  $\delta^{13}\text{C}$  у річних кільцях деяких тропічних дерев, проведені австрійськими та німецькими вченими (P. Nietz et al.), однозначно довели, що рівень засвоєння вуглецю за останні 50 років зріс на 34—52 % — це свідчить про безумовну здатність тропічних лісів протистояти підвищенню  $\text{CO}_2$  в атмосфері.

Актуальні проблеми порушувалися на семінарі «Озон в Європі: всебічний екологічний вплив».

Поряд із можливими катастрофічними наслідками подальшого підвищення концентрації  $\text{CO}_2$  в атмосфері увагу науковців привертає деструктивний вплив озону на лісову рослинність Європи. Багато вчених (M. Schaub et al., A. Bythnerowicz et al., K. Grodzinska et al., W. Manning, K. Novak et al., S. Bassin et al., R. Matyssek et al.) вважають озон найтоксичнішим забруднювачем повітря в Європі. Негативний ефект озону вже позначився на лісовій рослинності Чеської Республіки, Польщі, Румунії, Словаччини та України у Карпатському регіоні, Італійських, Швейцарських та Французьких Альпах. Ознаки його деструктивної дії також спостерігаються у Центральній та Східній Європі. Наслідки цього впливу можуть бути різними: наочне пошкодження листя, зниження росту та продуктивності, підвищена чутливість до біотичних та абіотичних стресів. Озон може впливати на цілі екосистеми, призводячи до зміни видового складу угруповань та зменшення біорізноманітності як у лісових, так і степових біоценозах. Головні умови накопичення озону — це температура (особливо влітку) та висока забрудненість вихлопними газами автомобілів. Саме тоді значно зростають фотохімічні оксидантні цикли, в яких утворюється озон. W. Manning та V. Godzik, американський та польський вчені, як результат своїх експериментальних досліджень запропонували 14 біоіндикаторів — рослин, найчутливіших до впливу озону: *Alchemilla* spp., *Astrantia major*, *Centaurea nigra*, *C. scabiosa*, *Impatiens parviflora*, *Lapsana communis*, *Rumex acetosa*, *Senecio subalpinus*, *Corylus avellana*, *Cornus sanguinea*, *Sambucus racemosa*, *Alnus incana*, *Pinus cembra* та *Sorbus aucuparia*.

Питанням здатності лісів протидіяти зростаючому впливу діоксиду вуглецю на глобальні кліматичні зміни присвячені численні дослідження, тимчасом як щодо трав'янистих угруповань обсяг таких робіт є значно меншим, що засвідчив симпозіум 4.11 «Екологія трав'янистих угруповань за умов зміни клімату та землекористування». Можливо, це пов'язане зі специфічним перерозподілом фондів між країнами, в яких проводять такі дослідження, а можливо, більше уваги приділяється лісовим угрупованням — загально визнаним «легеням планети». Отже, за результатами кількох авторських колективів з Італії, Франції, Великобританії та ін., трав'яниста та напівчагарникова рослинність (досліджувалися переважно середземноморські угруповання)



не вважається потенційним щитом, який міг би захистити навколишнє середовище від катастрофічних глобальних кліматичних змін, пов'язаних з критичним накопиченням CO<sub>2</sub> в атмосфері. Зростання асиміляції вуглецю трав'янистими угрупованнями є значно більшим за умов додаткової фертилізації ґрунту, ніж при підвищенні вмісту CO<sub>2</sub> у повітрі (A. Raschi et al.), яке свого часу може дуже сильно вплинути на міжвидову взаємодію в ценозах та їхню структурну трансформацію, напрямок якої важко передбачити (M.V. Jones et al.).

На симпозіумі 8.14 «Загальний погляд на вплив глобальних змін на різноманітність рослин та функціонування екосистем» йшлося про те, що структурна трансформація рослинних угруповань внаслідок глобальних кліматичних змін зазвичай недооцінюється, особливо щодо трав'янистих типів рослинності. Це розглядається як заміна одних компонентів складної структури на інші без якоїсь втрати її функціональних можливостей. І справді, пряма залежність функціонування екосистеми від видової різноманітності не є досить наочною. Однак підтверджено, що видова різноманітність, склад популяцій (генофонд) відчутно впливають на біогеохімічні цикли (E. Huber-Sannwald et al.). Отже, зниження генетичної різноманітності, передусім ключових видів, в певній послідовності призводить до незворотних перетворень, а як результат — до деструкції екосистем. Глобальні зміни у водному балансі аридних та семіаридних регіонів Середземномор'я можуть стати прикладом саме таких перетворень. Над цими проблемами плідно працюють ізраїльські вчені (J. Kigel et al.), розробляючи вірогідні моделі екосистемних трансформацій, змін їх структури, продуктивності та біорізноманітності за умов існування іншого водного режиму.

На симпозіумі 12.13 «Зелені відбитки зміни клімату» G. Walther наголосив на тому, що дедалі більше досліджень підтверджують визначальний вплив підвищення середньорічної температури упродовж останніх 30 років на сезонні зміни та розповсюдження рослин і типів рослинності. Однак у цьому аспекті не вистачає багаторічних стандартизованих спостережень, тому необхідно розвивати всесвітню мережу наземного екологічного моніторингу, таку як GLORIA. P. Comtois спинився на питаннях глобальних змін та біокліматології оптимуму запилення трав'яних видів. H. Pauli розповів про зміну складу рослинних угруповань у нивальних екотопях Східних Альп упродовж останніх 10 років. На його думку, за минуле століття збагатився видовий склад судинних рослин у верхів'ях Альп, відбулася їхня «висхідна» міграція, що може спричинюватися глобальним потеплінням. A. Nepf розглянув зміни клімату та їх вплив на високогірні ліси у субальпійській зоні Кіліманджаро. G. Nakhutsriswili порушив проблему трансформації рослинного світу, спричиненої зміною довкілля у субнівальній зоні Кавказу. L. Nagy у виступі «Зміни клімату та їх вплив: факти і вигадки» наголосив на тому, що більшість сучасних знань про зміни клімату засновані на припущеннях та комп'ютерних моделях. Критичний огляд автора, на противагу цьому,

базується на реальних спостереженнях впливу змін клімату та викидів азоту на гірські рослини. Порівнюються результати польових спостережень, експериментів, історичних доказів та модельованих передбачень.

D.F. Gaff висвітлив екофізіологічні аспекти стійкості до висихання у покритонасінних, а A. Wood — у бріофітів. На думку останнього, стійкість до висихання у сучасних бріофітів, можливо, може відображати особливість найдавніших наземних рослин, що забезпечила їм вихід на сушу і пов'язана з синтезом регідринів — LEA-білків. Y. Leon охарактеризував посухостійкість епіфітних бріофітів у мікрокліматичних умовах гірських вологих лісів північних Анд Венесуели. G. Fagant розкрив механізми подолання механічного стресу, пов'язаного з дефіцитом води, для низки посухостійких та нестійких видів. I. Krappег вважає, що стійкість до висихання забезпечується наявністю у тканинах рослин антиоксидантів. Найвагомим серед них є глутатіон, що є властивим для всіх посухостійких форм рослин. Однак при тривалому висиханні така антиоксидантна система може бути порушена, що призводить до активації певних ДНК-аз (ферменти), які розкладають ДНК на фрагменти, запобігаючи регенерації клітин (це, власне, і трапляється з нестійкими до посухи формами рослин, які не мають захисної антиоксидантної системи).

На кількох симпозіумах, зокрема 2.8 «Адаптація рослинних угруповань: докази та методи досліджень», порушувалися проблеми пристосувальних механізмів рослин до стресових умов. Як вважає S. Sultan, чітке визначення фенотипічних ознак потребує їх розділення на прогресивні в адаптивному відношенні та залишкові. Адаптивна цінність кожної окремої ознаки залежить від їх сукупності та взаємозв'язку, що разом складають фенотип. Кількісна оцінка (вимір) адаптації є величиною набагато складнішою, ніж просте обчислення продуктивності (включає, наприклад, репродуктивний вік та якість нащадків). M. Geber розповів про природний відбір на основі біотичних та абіотичних факторів, A. Bishoff порушив питання тестування локальної адаптації.

На симпозіумі 3.12 «Біогенічний кругообіг мікроелементів у біосфері — внесок адаптативної екофізіології у розробку технології фітовідновлення» M. Prasad довів, що фітовідновні процеси (сукцесії) можуть відбуватися досить швидко, а не повільно, як вважають багато дослідників. B. Aigner розкрив стратегію поглинання важких металів рослинами, що зростають на забруднених Pb/Zn ґрунтах. Він показав, що накопичення свинцю є найбільшим у коренях усіх рослин. Цинк накопичувався по-різному — або ж переважно у коренях (*Linaria alpina*), або у наземних частинах (*Arabidopsis halleri*, *Thlaspi minimum*, *Alyssum ovirens*).

На симпозіумі 6.1 «Як рослини долають абіотичні стреси?» D. Bartels показав, що невелика група рослин, здатних до відновлення вегетативних тканин після посухи, є чудовою експериментальною системою для вивчення молекулярної основи посухостійкості вегетативних органів.

Проблеми метапопуляційної динаміки розглядалися на симпозіумі 10.11. Зокрема, на прикладі середземноморських ендеміків *Centaurea corymbosa* та *Brassica insularis* A. Mignot показав, що метапопуляція виду може бути вразливою в разі незначних розмірів окремих популяцій та їх кількості, попри, що окремі локальні популяції залишатимуться стабільними. G. Vergnet розкрив ефекти міжпопуляційних перетинів між фрагментованими популяціями звичайного виду *Lychnis flos-cuculi*. Z. Munzbergova представила модель з різними сценаріями знищення місцезнаходжень і частотою локальних порушень, за якою показала, як виживання видів залежить від динаміки локальних популяцій та дисперсії їх насіння. Модель B. Seifert продемонструвала як окремі розпорошені популяції згасаючого рідкісного у Бранденбурзі виду *Armeria elongata* можна адаптувати до придатних, але не зайнятих цим видом екоотопів, що забезпечить його збереження відповідно до створення екомережі.

Проблеми формування рослинних угруповань на прикладі аналізу еконіш видів розглядалися на симпозіумі 3.14. Зокрема, V. Vandvik у доповіді «Кількісна оцінка ролі поширення, змін екологічних умов та видового відбору у визначенні біорізноманітності окремих угруповань» запропонував емпіричний підхід до вивчення процесів формування різноманітності ценозів. У ході дослідження він окреслював різні типи популяцій (наприклад, локальні та розсіяні) і визначав, як вони коригують з біорізноманітністю зрілих угруповань, що більше впливає на корінні популяції — витіснення занесеними видами чи просто диференціація ніш усередині угруповання. Таким чином, проблеми еконіші переходять від теоретичних концепцій до реального застосування, їх оцінки, використання цього поняття у процесі польових досліджень. K. Klandegud відзначив, що за умов зміни клімату в угрупованнях альпійського поясу збільшується кількість інвазивних видів рослин, але водночас посилюється конкуренція між видами. Таким чином, зміни клімату можуть призвести до посилення процесів колонізації та зміни складу рослинних угруповань. Цікаві механізми формування фітоценозів продемонстрував J.D. Bever у доповіді «Ефект зворотного зв'язку між ґрунтовими ценозами та динамікою рослинних угруповань». Встановлено, що розвиток ґрунтових ценозів спрямований на зниження конкурентної здатності рослин-господарів. Цей негативний зворотний зв'язок забезпечує можливість співіснування кількох конкурентоздатних видів у одному угрупованні протягом тривалого часу. V. Carson вивчав причину домінування *Solidago* sp. у трав'янистих угрупованнях. Як з'ясувалося, цей вид одночасно є сильним експлерентом, конкурентом, а також непридатний для споживання травоядними тваринами, що забезпечує його успіх як домінанта.

На кількох симпозіумах (6.16, 7.12) розглядалися питання фітоіндикації стану довкілля. Так, M. Saetersdal продемонстрував, що території з вищою різноманітністю судинних рослин є також і місцями найбільшої концентрації різноманітності інших видів, бо останні відповідають тим самим екологічним градієнтам, що й вищі рослини. Тому вищі рослини можуть бути

індикаторами у виборі території для охорони. Роль ґрунтових організмів у біоіндикації довкілля висвітлив Р. Kardol. Огляд останніх досягнень у використанні судинних епіфітів, що знаходяться на межі лісового намету й атмосфери, як індикаторів впливу зміни клімату на доступність і споживання води та азоту продемонстрував Н. Griffiths. Мета його виступу — налагодити співробітництво у вивченні цього питання.

У різних доповідях симпозіуму 7.14 відзначено особливу структуроформуючу роль ґрунтової біоти та її зв'язку з рослинами у ценозі; описано роль земляних хробаків у кругообігу азоту; розглянуто зв'язки між комахами та розгалуженими мікоризними грибами; подано гіпотезу про роль надземних та підземних патогенів в еволюції статевого розмноження рослин та ін.

Проблеми охорони довкілля та управління екосистемами на охоронних територіях, як ми вже зазначали, відносно слабо висвітлювалися на Конгресі. Зокрема, наводилися приклади існування численних територій, передусім у Середземномор'ї, на яких надзвичайно висока концентрація біорізноманітності поєднується з інтенсивною діяльністю людини (Е. Poli-Marchese). Навіть у межах природоохоронних територій управління екосистемами, є, на жаль, консервативним. У перспективі необхідно застосовувати активну охорону екосистем та їх відновлення. Як вважає F. Pedrotti, легше охороняти стабільні первинні (зональні) фітоценози, де відбуваються процеси флуктуації, які зазнають впливу лише природних порушень; складніше — вторинні фітоценози, адже вони потерпають як від антропогенного впливу, так і від процесів природного розвитку, бо є нестабільними.

У рамках симпозіуму 11.15 «Різноманітність рослин та функціонування екосистем лісів» M. Scherer-Lorenzen повідомив, що започаткована програма BIOTREE, згідно з якою на 81 ділянці (у Німеччині, Фінляндії, Панамі та Брунеї) на площі більш як 80 га було висаджено ліси різного рівня різноманітності. На цих ділянках проводитиметься регулярний моніторинг з метою досліджень темпів росту дерев, процесів поглинання вуглецю та кругообігу азоту.

Таким чином, екологічні проблеми обговорювалися на різних симпозіумах, в той час як питанням класичної екології (у вузькому її розумінні) приділялося мало уваги. Це засвідчує, що на порозі ХХІ ст. поступово зникають грані екології (як й інших наук, наприклад, фізіології, систематики), дослідження в цій галузі стають все дорожчими, вона все більше заходить у сферу інших дисциплін і саме на таких стиках отримуються якісно нові результати, які започатковують нові наукові напрямки. Цьому сприяє співпраця між науковими установами різних країн, яка сьогодні на основі застосування комп'ютерних технологій, Інтернету стає звичайною і все масштабнішою. Екологія перетворюється не просто в метанауку, а в певній мірі — філософський світогляд, котрий формує нове відношення людини до природи.

*Я.П. ДІДУХ, К.Ю. РОМАЩЕНКО*