

П.С. Гнатів

АНТРОПОГЕННЕ ЗРУШЕННЯ АЗОТНОГО БАЛАНСУ І РЕАКЦІЯ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН

природне середовище, забруднення, азот, протеїди, метаболізм листків

Співіснування живих організмів у природному середовищі супроводжується постійним кругообігом хімічних елементів, зокрема азоту. Щорічно біота Землі засвоює 1 млрд. т азоту [9], з цієї кількості лише 20 % його надходить з атмосфери завдяки біотичній та абіотичній фіксації. Природні джерела азотних сполук, як і постачальники їх активних форм в екосистемах, вельми різноманітні. Абіотичні надходження (атмосферна іонізація, розряди, вулканічні викиди тощо), разом надають біосфері лише двадцяті частину тієї кількості, що фіксують її живі компоненти [7, 9]. Білкові сполуки мертвих тканин та організмів на останній стадії біотичної деструкції піддаються мікробному дезамінуванню, тобто вивільненню аміаку, котрий є ресурсом мінерального живлення азотом у відновленій формі солей амонію або окисленій формі нітратів і нітритів [13]. Загальний обсяг надходження активного азоту в біосферу природно збалансовувався адекватним обсягом вилучення його завдяки денітрифікації та геологічним відкладам у літосферу [7, 9].

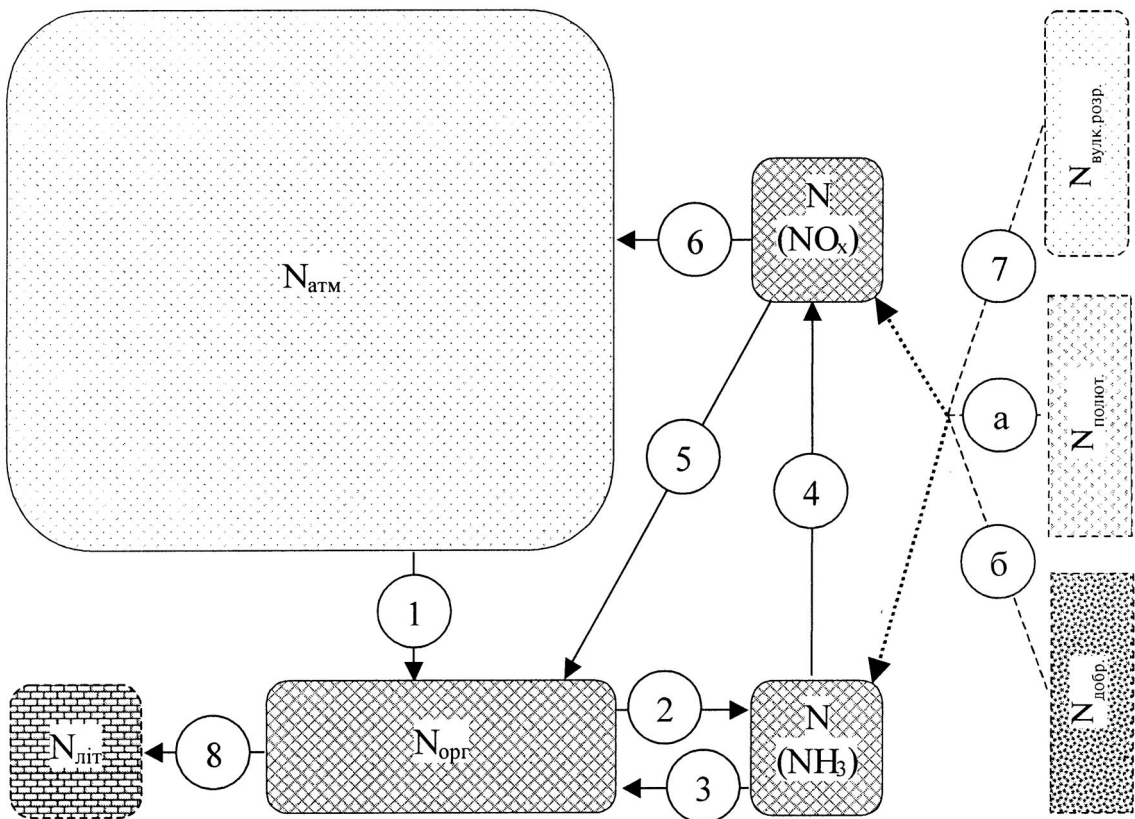


Рис. 1. Схема біогенного кругообігу й перетворення азоту в природних екосистемах і зовнішні антропогенні емісії його активних сполук:

- 1 - азотфіксація; 2 - амоніфікація; 3 - аміачне живлення; 4 - нітрифікація; 5 - нітратне живлення;
6 - денітрифікація; 7 - абіотичне природне надходження; 8 - геологічні відклади;
а - викиди промисловості й транспорту; б - азотні добрива.

З огляду на це, зовнішнє втручання у природний кругообіг азоту, зумовлене додатковим привнесенням в екосистеми активних його сполук, має як корисні, так і шкідливі, й не передбачувані наслідки (рис. 1). Щорічно в сільському господарстві використовується 300 млн. т добрив (переважно азотних) [4] та викидається в атмосферу промисловістю й транспортом 65 млн. т/рік азотовмісних поллютантів [22]. Лише автомобільний транспорт у великих містах може викидати від 20 (Великобританія [2]) до 70 % (Україна, Львів [1]) окислів азоту від загального обсягу техногенних емісій. Розрахунок показує, що обсяг глобальної річної емісії сполук азоту досяг 30 % від кількості його додаткового природного надходження в біосферу.

За спостереженнями Львівського гідрометеоцентру, у вісімдесяти роки щорічно в атмосферу міста потрапляло, окрім інших забруднювачів, 7,3 тис. т оксидів азоту [1]. За період досліджень від 1989 до 1991 рр. середньомісячна концентрація нітратів в атмосферному повітрі м. Львова коливалася в межах 0,10–0,47 мг/л, а конкретно у м. Львові на всю його територію з дощами щороку випадало близько 18 т нітратів. Виходячи із суми опадів на Львівщині, наприклад, у 1992 році на територію області випало азоту 1,5 г/м², що було максимумом в Україні. За вмістом нітратів в опадах Львівщина відстає лише від Волині та Донеччини (1–2,5 мг/л) [8]. У 1991 році цей показник був у чотири рази вищим. За даними Українського науково-гігієнічного центру МОЗ [8, 4], у складі викинутих стаціонарними джерелами в Україні у 1997 р. оксиди азоту становили 375 тис. т. Пересувні джерела викидали 85 тис. т оксидів азоту. Внаслідок транскордонного переносу забруднень атмосфери у 1996–1997 рр. випадання оксидів сірки та азоту на територію України від західних джерел перевищувало перенос з України на Захід приблизно в 2,6 рази і становив у середньому 737 тис. т/рік [17].

В зонах розсіювання і приземлення організованих промислових викидів вміст загального азоту істотно збільшується у фітомасі багатьох деревних видів, зокрема дуба, липи, клена та інших [11, 21, 5, 10]. Висока пряма проникність техногенних азотних сполук у листки і пагони загальновідома [15, 14, 11, 21].

Метою наших досліджень було визначення фактичних рівнів асиміляції азоту фотосинтезуючим листовим апаратом дерев у реальних умовах екологічного середовища міста.

У зелених насадженнях м. Львова як об'єкти досліджень, виділено групи дерев (7–10 особин кожного виду) 20–30-річного віку з максимально близькими морфолого-таксаційними характеристиками. Зокрема це такі види: *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop., *Aesculus hippocastanum* L., що зростають у лісовому масиві (варіант – ліс), міському парку (парк) та сквері (сквер), а також уздовж центральних вулиць (варіант – вулиця). У підібраних стаціонарних модельних екотопах, що характеризуються різною трансформованістю природного середовища, виконано відбір проб і здійснено біохімічні аналізи за загальноприйнятими методиками: загального азоту – за методом К'ельдаля на приладі Серенєва; білкового – хлорамінним методом за Барштейном; небілковий азот вираховували за різницею між вмістом у сухій масі листків його загальної кількості і в білках. Пагони поточного року в середині літа зрізали на висоті 5–6 м по 4–5 з кожного модельного дерева. Відповідно до схеми досліду, формували середні проби з кожного варіанту, а згодом обчислювали середні показники за достовірними даними паралельних аналізів. Статистичний аналіз дослідних даних виконано з використанням комп'ютерних програм.

За візуальною оцінкою стану листків і пагонів, що проводилася впродовж 1991–1994 рр., специфічне середовище зелених насаджень вулиць зумовлює видиме зрушення мінерального живлення дерев як у бік погіршення, так і поліпшення, залежно від умов року. Екологічне середовище парків і скверів (садів), де не виявлено сталих ознак дефіциту елементів живлення, ймовірно є найсприятливішим для дерев. В окремі роки спостерігалось азотне голодування дуба звичайного (*Quercus robur* L.) і липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) у приміському лісі.

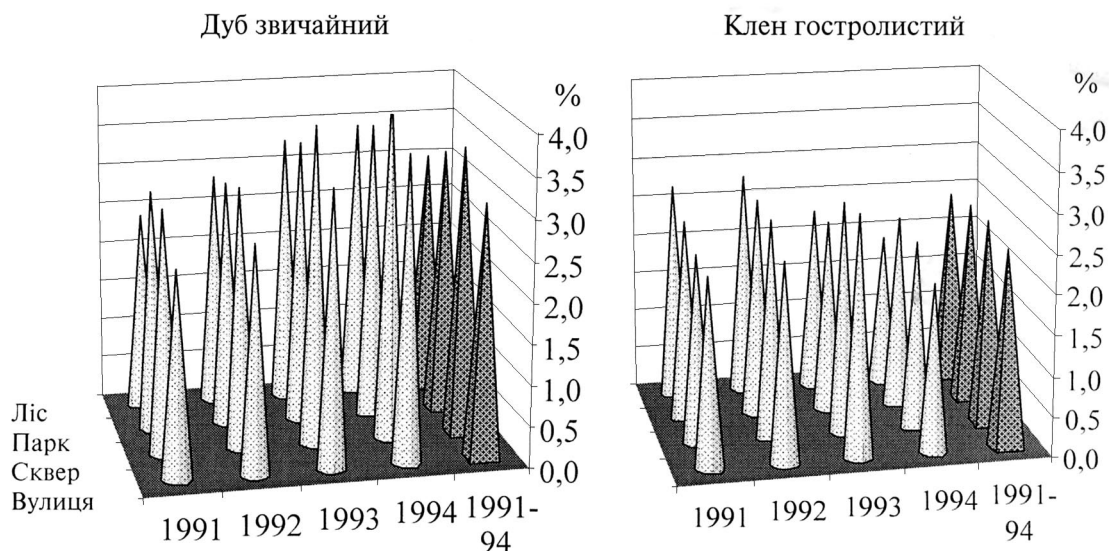


Рис. 2. Вміст загального азоту в абсолютно сухій масі листків (%) залежно від місцезростання дерев упродовж 1991–1994 рр.

Загалом, серед поширених у лісопаркових насадженнях м. Львова порід індіферентними до обсягів циркуляції азоту в екосистемах вважаються *Pinus sylvestris* L., *Acer platanoides*, *Carpinus betulus* L., *Larix decidua* Mill. й ін. Більшість автохтонних видів – *Quercus robur*, *Quercus petraea* Liebl., *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Abies alba* Mill. й ін., як може видатися на перший погляд, не виявляють певної реакції на сучасні обсяги викидів техногенного азоту в природне середовище. Але є види, наприклад, *Fraxinus excelsior* L., *Tilia cordata*, *Tilia platyphyllos*, представники родів *Populus* L., *Betula* L. й ін., котрі навіть за візуальною оцінкою стану морфологічних органів і за габітусом крони виявляють однозначні симптоми покращання азотного живлення в урбаністичних екосистемах [3]. А такі види, як *Sambucus nigra* L., *Hedera helix* L., *Parthenocissus quinquefolia* (L.) Planch., види і сорти *Vitis* L. й ін. поряд з деякими трав'янистими рослинами, на нашу думку, за ознаками росту, розвитку й поширення в міських (зокрема, у напівокультурених або недоглянутих) ектопах можуть слугувати достовірними індикаторами локального збагачення середовища азотом.

Паралельні біохімічні аналізи свідчать (рис. 2), що в листках дуба звичайного вміст азоту достатній, навіть дещо вищий від рівня, властивого для породи [18, 21]. Однак, у лісі й на вулиці він мінімальний, хоч і з різних причин. У лісі площа живлення кожного дерева обмежена, й має місце конкуренція за поживні речовини у фітоценозі. У насадженнях вулиць, очевидно, діють урботехногенні фактори. Аналіз вмісту азоту в листках дуба звичайного з насаджень вулиці підтверджує візуальні ознаки дефіциту цього елемента. Тому наше припущення, що в умовах найглибшої урботехногенної трансформації природного середовища можлива достовірна діагностика зміни у забезпеченості деревних рослин азотом, вірна ($F_{\text{факт}} = 14,8$; $F_{\text{крит}} = 3,9$; $P = 0,0008$). Нагромадження елемента в листках клена гостролистого в умовах міста зменшується, хоч і не істотно ($F_{\text{факт}} < F_{\text{крит}}$; $P = 0,9$), але все ж в окремі роки буває вищим у парку й сквері.

Липа широколиста в обстежених насадженнях достатньо забезпечена азотом, але умови середовища вулиці теж спричиняють найменший рівень його вмісту в листках. Гірकोкаштан найбільше азоту асимілює у сквері, але найменше – у насадженнях вулиці. Оскільки присутність поживних сполук азоту в природному середовищі міста (особливо у повітрі) значно вища, ніж у замиському, в парках і рідше у скверах він асимілюється рослинами у найбільшій, порівняно з іншими насадженнями, кількості.

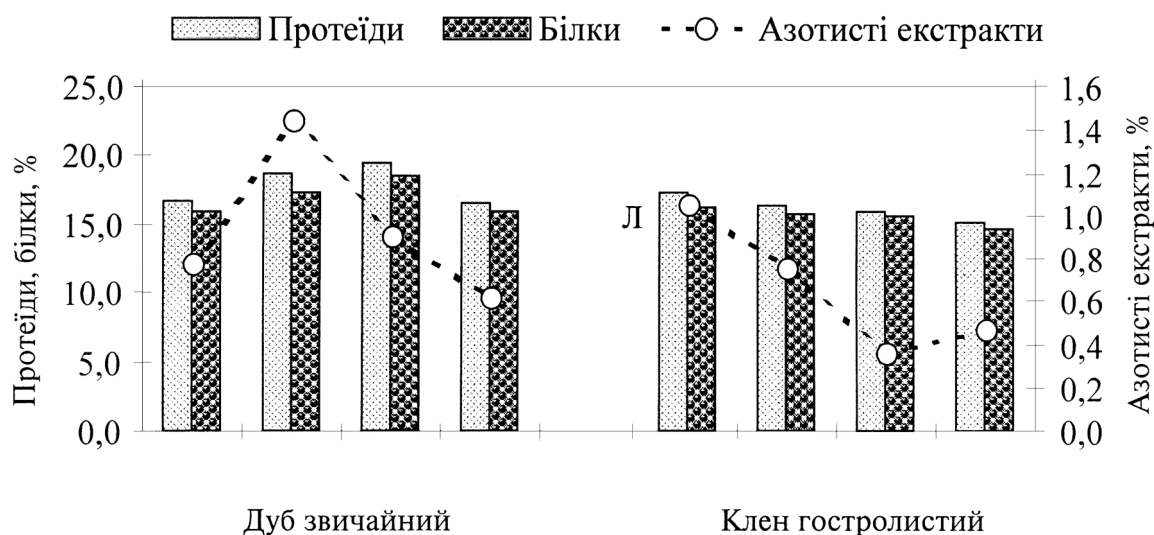


Рис. 3. Залежність вмісту протеїдів, білків та азотистих екстрактів в абсолютно сухій масі листків (%) від місцезростання дерев (середнє за 1991-1992 рр.)

Аналіз загального вмісту протеїдів у сухій масі листків, білків й розрахунок вмісту небілкових форм азоту виявив значні коливання їх пропорцій залежно від екологічних умов і виду дерев (рис. 3).

Зокрема, частка протеїдів від загальної сухої речовини листків коливається від 14 до 21 %. У сквері й парковому насадженні дуб синтезує на 1-3 % більше білка порівняно з лісом. Насадження дуба, клена і гіркогоштан містять істотно менше білків у листках на вулиці, а також до мінімуму вичерпують резерви їх азотистих компонентів порівняно з кращими умовами зростання у парку і сквері. Зокрема, найбільше азотистих компонентів для синтезу білка дуб акумулює в парку, клен – у лісі, гіркогоштан – у сквері. Критично мінімальні резерви білкових азотистих субпродуктів спостерігаються у насадженнях вулиць, що відповідно негативно позначається на синтезі білка.

Дослідження вмісту загального азоту залежно від положення пагона у кроні й листків на пагоні виявили важливі видові особливості його асиміляції в урботехногенних умовах м. Львова. Встановлено, що дуб в умовах лісу найбільше асимільованого азоту накопичує в сформованих листках. В умовах міського парку спостерігається зростання його кількості від старіючих до сформованих і молодих листків на зовнішніх пагонах крони. Найменше азоту асимілюють старіючі освітлені листки дуба, а також як сформовані, так і молоді листки клена в умовах вулиці. Положення пагона у кроні і листків на пагоні клена має значно менший вплив на кількість азоту в них порівняно з дубом.

Залежно від обсягів поглинання загального азоту листками, формується певний білково-протеїдний баланс, зокрема залежно від положення пагона у кроні і листків на пагоні. На початку доцільно звернути увагу на те, що найбільше білка міститься в листках дуба звичайного в сквері та парку. При цьому, у притінених пагонах дерев скверу найбільше білків синтезується в молодих листках, в освітлених – у старих. У паркових і лісових насадженнях – протилежна ситуація за вищого вмісту протеїну в листках дерев парку. В умовах вулиці його виявлено найменше в старих листках дуба. Освітлені зовнішні пагони як у середніх, так і в молодих листках містять менше білка порівняно з внутрішніми притіненими.

Отже, вплив несприятливих умов зростання дуба звичайного на синтез протеїнів позначається в першу чергу на старих і середніх, переважно освітлених листках крони. Першопричиною зменшення їх вмісту є зниження кількості накопичення листками мінерального азоту. Це підтверджується тісною кореляцією вмісту загального та білкового азоту в сухій масі листків досліджуваних видів ($r=0,96-0,99$).

Клен гостролистий має істотно нижчий рівень вмісту білків у листках порівняно з дубом звичайним. Найвищий вміст протеїну виявлено у молодих освітлених кленових листках у лісі, хоча в сквері, як і у дуба, він теж високий. В умовах вулиці клен синтезує найменше білка, що найпомітніше проявляється на освітлених середніх листках і притінених старих. Як і в дуба це тісно пов'язано з нагромадженням загального азоту в листках клена, котре залежить від розташування модельного екотопу в місті.

Вміст небілкових форм азоту в листках в оптимальних умовах зростання дерев може розглядатися як показник достатньої забезпеченості рослин азотом, а в несприятливих умовах урботехногенної трансформації природного середовища – як ознака зрушення азотного метаболізму. Кореляція між вмістом білків й азотистих сполук у листках досліджених видів коливається в межах $r=0,91-0,99$. Небілкові азотисті сполуки в листках рослин можуть

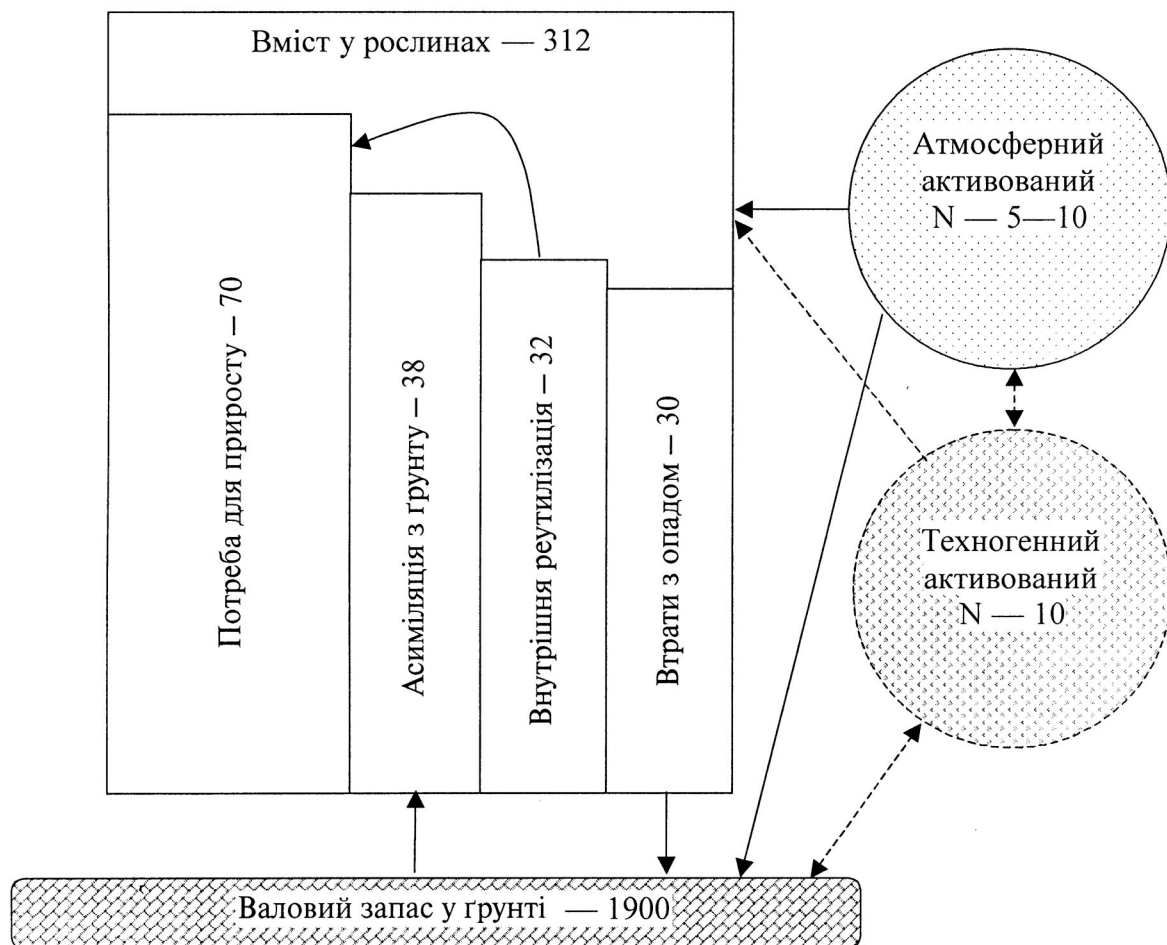


Рис. 4. Схема й обсяги річного циклу азоту в екосистемі соснового лісу та його техногенної емісії в атмосферу, кг/га.

нагромаджуватися від гальмування білкового синтезу, або як результат активного протеолізу. В обох випадках, на наш погляд, це відбувається у листках на загальному тлі насичення середовища міста азотовмісними техногенними сполуками.

Отже переконаємося, що теперішнє масштабне втручання людини у кругообіг азоту в екосистемах призвело до тривожних результатів. Н. Б. Дізе зі співавторами [19] стверджують, що ґрунти європейських лісів залежно від їх географічного розташування отримують щорічно, переважно аеротехногенним шляхом, від 1 до 70 кг/га азоту, а втрачають завдяки різним шляхам вимивання від 1 до 50 кг/га. Потенціал біогенної метаболізації, тобто засвоєння додаткових азотних емісій екосистемами, тісно пов'язаний з природним співвідношенням С:N у ґрунтах та їх кислотністю. Слабкі й чутливі екосистеми, як, наприклад, вересові оліготрофні біогеоценози Голландії, знаходяться під загрозою зникнення через експансію нітрофільних швидкорослих трав'янистих видів [20], котрі позитивно реагують на зростання обсягів циркуляції азоту. У сибірських лісах підвищення рівня живлення аеротехногенним азотом зумовлює зростання чутливості деревних порід до ранніх осінніх морозів [12]. Азотно- і сірчаноокислі атмосферні опади, проходячи транзитом через наземні екосистеми, закислоли оліготрофні озера Скандинавії [16].

П.Д. Крамером і Т.Т. Козловським [6] наводиться приклад основних потоків природного кругообігу азоту в 20-річних деревних насадженнях із сумарним ресурсом елемента в екосистемі 2300 кг/га. На доповненій нами схемі (рис. 4) пропонуємо звернути увагу, що сучасне антропогенне втручання у цей цикл через атмосферну емісію лише 10 кг/га активованого елемента становить приблизно 20–30 % від обсягів його засвоєння з ґрунту, внутрішнього перерозподілу між органами чи втрати рослинами з опадом, та й, зрештою, дорівнює обсягу природної активації газоподібного азоту.

У підсумку робимо висновки, що трансформоване природне середовище м. Львова істотно збагачене активними азотними сполуками, котрі надходять в екосистеми з урботехногенними викидами. На тлі високої насиченості повітря активними азотистими полютантами у сприятливих для дерев умовах парків і скверів рослини інтенсивніше асимілюють азот, синтезують більше білків. Але автохтонні види, як наприклад, дуб звичайний і липа серцелиста, в умовах заміського лісу й ідентичних за походженням і родючістю ґрунтах містять істотно менше азоту й білків у листках. Найбільш забруднене природне середовище вулиць хоч і насичує фітомасу азотистими сполуками, та це не сприяє поліпшенню білково-протеїдного балансу листків й адаптації дерев.

1. *Антропогенні зміни біогеоценологічного покриву в Карпатському регіоні* / За ред. М. А. Голубця. – К.: Наук. думка, 1994. – 170 с.
2. *Бримблкомб П.* Состав и химия атмосферы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 352 с
3. *Гнатів П.С., Артемовська Д.В.* Асиміляція елементів живлення фотосинтетичним апаратом дерев у різних екологічних умовах // Наук. вісн. – Львів: УкрДЛТУ, 1998. – Вип. 9.1. – С. 19–24.
4. *Даценко І.І.* Гігієна і екологія людини. – Львів: Афіша, 2000. – 248 с.
5. *Коршиков І.І.* Адаптація растений к условиям техногенно загрязненной среды. – Киев: Наук. думка, 1996. – 238 с.
6. *Крамер П.Д., Козловський Т.Т.* Физиология древесных растений. – М.: Лесн. пром., 1983. – С. 265–268.
7. *Лархер В.* Экология растений. – М.: Мир, 1978. – 384 с.
8. *Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 1998 році.* – К.: В-во Мінекобезпеки України, 1998. – С. 9–33, 39–86.
9. *Одум Ю.* Экология. – М.: Мир, 1986. – Т.1. – 328 с.; Т. 2. – 376 с.
10. *Поляков О.К.* Використання дендрологічних ресурсів Донбасу в системі фітооптимізації техногенного середовища // Укр. ботан. журн. – 1998. – 55. – № 4. – С. 417–422.
11. *Промышленная ботаника* / Под ред. Е.М. Кондратюка. – Киев: Наук. думка, 1980. – 257 с.

12. *Протопопова Е.Н.* Сдвиги в ростовых процессах интродуцентов в урбанизированном ландшафте Сибири // Тез. Всесоюз. конф. "Биологические закономерности изменчивости и физиология приспособления интродуцированных растений". - Черновцы: ЧГУ, 1977. - С. 115.
13. *Руссель С.* Микроорганизмы и жизнь почвы // Пер. с польского Г.Н. Мирошниченко. - М.: Колос, 1977. - 224 с.
14. *Церлинг В.В., Егорова А.А.* Методические указания по диагностике потребности садовых культур в удобрении. - М.: Б. и., 1977. - 16 с.
15. *Шацкая Р.М.* Содержание общего и белкового азота в листьях и корнях растений в условиях промышленной среды // Растения и промышленная среда. - Киев: Наук. думка, 1976. - С.141-142.
16. *Air Pollution // Environmental Science: third edition / William P. Cunningham and Barbara Woodworth Saigo.* - Boston-Toronto: Wm. C. Brown Publishers, 1995. - P. 370-397.
17. *Agren C.* Transformations and Depositions // *Acid News.* - 4. - December, 1998. - P. 16-18.
18. *Bergmann W.* Farbatlas Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen: Visuelle und analytische Diagnose / VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1986. - 306 p.
19. *Dise N. B., Matzner E., Gundersen P.* Indicators of Nitrogen Status in European Forest Ecosystems // *Jorn. Conf. Abstr.* - 2(2). - Villanova: Cambr. Publ., 1997. - P. 163.
20. *De Graaf M.C.C., Roelofs J.G.M., Bobbink R.* Restoration of Acidified and Nitrogen-Enriched Terrestrial Vegetations // *Journ. of Conf.: 3rd Intern. Symp. on Ecosyst. Behav.* - 2. - № 2. - 1997. - P. 162.
21. *Karolewski P.* Oddziaływanie tlenków azotu na rośliny drzewiaste // *Życie drzew w skażonym środowisku.* - Warszawa-Poznań: PWN, 1989. - S. 129-142.
22. *Tolba M.K. et al.* The World Environment 1972-1992. - London: Chapman & Hall. - 1992.

Інститут екології Карпат НАН України, м. Львів

Надійшла 11.03.2003

УДК 502.757:630*181.341

Антропогенне зрушення азотного балансу і реакція деревних рослин / П.С. Гнатів // *Промышленная ботаника.* - 2003. - Вып. 3. - С. 113-119.

Проаналізовано масштаби, сучасні тенденції та загрозливі наслідки антропогенного втручання у біогеохімічний кругообіг азоту в екосистемах різного рівня. Наведено розрахунки і показано приклади негативних явищ, пов'язаних зі зміщенням обсягів циркуляції активних азотних сполук у них. Представлено результати оригінальних досліджень впливу техногенної емісії азотомісних поллютантів у природному середовищі міста Львова на метаболізм деревних видів. Показано істотний вплив різного ступеня трансформованих екоотопів міста на синтез білків у листках різних видів.

UDC 502.757:630*181.341

Anthropogenous shift of nitric balance and reaction of wood plants / P.S. Hnativ // *Industrial botany.* - 2003. - V. 3. - P. 113-119.

Scales, modern tendencies and menacing consequences of anthropogenic intervention in natural circulation of nitrogen in ecological systems of different levels are analysed. The accounts are given and examples of the negative phenomena connected with displacement of volumes of circulation of active nitric substances in them are shown. The results of original researches of influence man-caused of issue nitrogen-containing pollutant in an environment of city L'viv on the metabolism of wood species of a green zone are submitted. The significant influence of a different degree of ecotopes of the city on synthesis of proteins in leaves of different wood species is shown.