

ЛЕКЦІЯ 4

ВПЛИВ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН НА АТМОСФЕРНЕ ПОВІТРЯ

Хімічні забруднювачі рослин - хімічні елементи, сполуки та комплекси, що змінюють якісний і (або) кількісний хімічний склад рослинного організму. Основними забруднювачами, що характеризуються фітопогенним ефектом, є хімічні елементи та їх сполуки, що виявляються причиною дісхемії. Їх походження може бути:

1. Космогенного походження - нікель, оксид марганцю, індоли (у складі метеоритів), ізотопи свинцю, молібдену і т.д. Щодобове випадання метеоритного речовини - 14 - 170 г . (Лебединець, 1981).

2. Техногенного походження компоненти флюїдів, пересування яких - ланка тектоно-метаморфічного процесу (Fife, 1978), пов'язаного з надходженням магматичного матеріалу з верхньої мантії в кількості до 12 км³ на рік. До складу флюїдів входять олово, берилій, молібден, тантал, уран, торій, вольфрам, цирконій, літій, рубідій, цезій, фтор, цезій і ртуть, а також молекулярний азот, кобальт і метан. З початку виникнення земної кори в геохімічний цикл залучаються сірка і вуглекислий газ. Важливу роль відіграє так зване ртутне дихання Землі (Кропоткін, 1980).

3. Біогенного походження - сполуки, що виділяються бактеріями, грибами та безхребетними (Білай, 1961, Білай і Підоплічко, 1980); алелопатично активні сполуки вищих рослин (Гродзинський, 1965; Іванов, 1973;); виділення шкірних залоз хребетних; сполуки, що утворюються при розкладанні відмерлих організмів; сполуки, не утилізуються і виділяються організмом; з'єднання, що виникають у процесі піролізу організмів при пожежі (наприклад, поліциклічні ароматичні вуглеводи, які утворюються при піролізі деревини (Дикун із співавт., 1979); ізотопи свинцю, цинку, міді, ртуті та марганцю. (Ковалевський, 1981); H_2S , CS_2 і SO_2 (Миколаївський із співавт., 1976; Куніна з співавт., 1979).

Встановлено (Немерюк, 1970), що рослини, в першу чергу вищі, здатні виділяти значну кількість елементів і сприяти тим самим виникненню аеробіохімічних ореолів розсіювання. Кількість ідентифікованих сполук, виділених з організмів, перевищила 20 тис. Висловлено переконання (Ковальов, Польова, 1981), що історичні зміни хімічних сполук (хімічна еволюція) викликають еволюцію організмів, яка, у свою чергу, призводить до появи з'єднань з новими властивостями, що впливають на організми і знову призводять до їх зміни.

4. Антропогенного походження - сполуки, що містяться у викидах і відходах виробництва, у викидах двигунів і теплових станцій, що утворюються при передачі енергії, що використовуються в усіх галузях господарства, в охороні здоров'я та в побуті, що опиняються в продуктах життєдіяльності людини і в побутових відходах. Саме ці з'єднання і входять до складу так званого світового потоку ксенобіотиків (Ковальов, Маленков, 1980).

Міграційна активність - одна їх характеристик забруднювачів, що визначають своєрідність їх територіального поширення. Поллюційна картографія - дозволяє створити уявлення не тільки про географічне, але і про сезонний кількісному і якісному поширенні ксенобіотиків. Наприклад: на території Північної півкулі проводиться викид в атмосферу до * 0% забруднювачів і більш від їхньої загальної кількості, що утворюється у зв'язку з діяльністю людини на Землі: кількість свинцю і ртуті в урбанізованих районах Європи в 5 разів більше, ніж на Кавказі; в 3 -5 разів більше в порівнянні з азійською територією європейська територія забруднена і бенз (а) піреном (Ровинський з співавт., 1981).

Програмою моніторингових спостережень за складанням атмосфери на стаціонарних постах передбачається вимір концентрацій пилу, оксидів сірки, азоту, вуглецю, азоту, діоксиду вуглецю, азоту, озону, сажі, вуглеводнів, ртуті, свинцю, кадмію., А також специфічних речовин (Переліки ГДК і ОБРВ , 1993; Доповідь про свинцевому ..., 1997).

Зола - тверда фракція викидів, є одним з основних забруднюючих речовин викидів вугільних ТЕС. Вона має частинки діаметром від 2 до 100 мкм (50% часток - менш 30 мкм).

Фазово-мінералогічний аналіз золи різних видів палива показує, що її основна фаза - скло, а кристалічна представлена різними кількостями кварцу, гематиту, магнезиту, силікату кальцію. Хімічний склад летючої золи визначає її нейтральну або лужну реакцію. Встановлено, що залежно від висоти труб у середньому 30-60% викидається золи випадає в зоні 12 - 15 км . Інша її частина розсіюється на великих відстанях, щільність різко падає.

Пил - узагальнена назва аерозолів твердих речовин (деревна, абразивна, цементна та ін.) Шкідлива дія пилу на організм людини залежить від її дисперсності форми частинок і їх електричного заряду.

Оксид вуглецю (CO), чадний газ, - безбарвний газ без смаку і запаху. Час життя в атмосфері 2-4 місяці. Окислюється в атмосфері і ґрунтовою мікрофлорою до CO_2 . недавно з'явилися докази, що CO_2 виділяється рослинами в найбільш ранній період їхнього росту, а потім - поглинається ними. Таким чином, нарешті вдалося пояснити сезонні коливання CO_2 у атмосфері. Вважається, що більше 80% глобальних викидів CO_2 пов'язано з автотранспортом. На вищі рослини в можливих концентраціях не діє. Для людини є отрутою, який позбавляє тканини тіла необхідного їм кисню.

Оксиди сірки. В атмосфері присутні сірчистий ангідрид SO_2 (оксид сірки (IV)), сірчаний ангідрид SO_3 (оксид сірки (VI)). SO_2 - негорючий важкий (щільність $2,93 \text{ кг/м}^3$) безбарвний газ з характерним різким запахом, який відчувається при концентраціях від 0,78 до $2,6 \text{ мг/м}^3$. в результаті фотохімічних і каталітичних процесів сірчистий ангідрид перетворюється в сірчаний ангідрид SO_3 , який у вологому повітрі перетворюється в сірчану кислоту і її солі. Час життя SO_2 в атмосферному повітрі близько 10 годин. Порогова концентрація SO_2 , прийнята в якості максимально разової концентрації для рослин, становить $0,02 \text{ мг/м}^3$.

Оксиди азоту. Найбільш поширеними забруднювачами повітря є оксид азоту NO (II) і діоксид азоту NO₂ (IV).

Оксид азоту NO - безбарвний важкий газ, киснем повітря окислюється до діоксиду азоту. Діоксид азоту NO₂ - газ коричнево - бурого кольору (щільність 1,49 кг / м³), який, реагуючи з вологою повітря, перетворюється в азотну й азотисту кислоти. Час життя NO₂ в атмосфері близько 3 доби. NO₂ зумовлює фотохімічні забруднення атмосфери, оскільки реагує з іншими речовинами: з діоксидом сірки SO₂, киснем, вуглеводнями.

Діоксид азоту в п'ять разів більш токсична оксиду азоту. В атмосфері оксид і діоксид азоту знаходяться в динамічній рівновазі, перетворюючись одне в одного в результаті фотохімічних реакцій, в яких беруть участь як каталізатора.

Їх співвідношення в повітрі залежить від інтенсивності сонячного випромінювання, концентрації окисників та ін факторів. Порогова концентрація NO₂, приймаючи як максимально разової концентрації для рослин, становить 0,02 мг/м³.

Озон (O₃) - безбарвний газ, утворюється в результаті роботи електричних машин з іскристими контактами, розрядів атмосферної електрики і вторинного забруднення атмосфери під дією сонячної радіації за участю діоксиду азоту. Озон токсичний для рослин. Поріг вплив починається при концентрації озону 0,06 мг/м³.

Бенз (а) пірен - відноситься до класу поліциклічних ароматичних вуглеводнів. Кристали з температурою плавлення +173 °C, погано розчинні у воді.

Сажа - практично чистий вуглець, що утворюється при неповному згорянні палива, підсилює дію діоксиду сірки.

Сірководень (H₂S) - безбарвний важкий (щільність 1,54 кг/м³) отруйний газ з різким запахом тухлих яєць. Активний відновник. Утворюється у виробництві сульфатної целюлози, а також при

бактеріальному гнитті високобілкових продуктів рослинного і тваринного походження. Зустрічається в каналізаційних колодязях!

Свинець - надходить в атмосферу в основному у вигляді хлорбромідів і оксиду свинцю (II) з вихлопними газами автомобілів, присутній у викидах свинцевих заводів та ін

Ртуть - володіє підвищеною можливістю розподілу і біопереноса в навколишньому середовищі.

Вплив забруднюючих речовин на морфофізіологічні показники рослин

Хоча збереження рослинного покриву Землі без серйозних порушень - безумовна необхідність, його статок в даний час.

Основні причини цього - розмаїття та різноспрямованість патологічних явищ, що виникають у рослин і їх спільнот.

Виникнення тих чи інших патологічних явищ не в одного або небагатьох рослин одного виду, а у більшій кількості або ж у всіх рослин - представників однієї популяції надає виникають патологічним явищам популяційне значення. Виникнення патологічних явищ у багатьох або у більшості рослин одного виду в усіх або у більшості популяцій останнього надає їм видові значення, так як вони здатні змінити характеристики ознак, що входять до кодексу ознак виду.

Найбільш небезпечні для рослинного світу патологічні явища, що порушують:

1. Будова і функціонування пігментів, пластид, окремих ланок фотосинтезу та фотосинтетичного апарату в цілому.

2. Будова та функціонування апарату газообміну і механізму його регулювання, гальмування клітинного дихання (Рудкова, 1981), зменшення кількості уст'ячкових апаратів (Сидорович, Гетко, 1979) і ослаблення газообміну у рослин на великих територіях (Назаров із співавт., 1977).

3. Будова та функціонування апарату водного обміну і механізму його регулювання [збільшення кількості міцно утримуваної води під впливом

магнію (Шкляєв, 1981), ослаблення водного гомеостазу при заморозках і під впливом забруднювачів в умовах посухи (Тарабаринів, 1980), патологічні зміни тургору і осмотичних параметрів і т.д.].

4. Будова і функціонування механізмів мінерального обміну [зміна нормального кількісного співвідношення між елементами, зрушення в обміні одних елементів під впливом інших, зокрема (Рудкова, 1981) кальцію, марганцю і фосфору при надлишку алюмінію і т.д.].

5. Транспорт [ненормальна транслокація пластичних сполук і продуктів метаболізму, зміна у зв'язку з цим хімічного складу осьових органів, зокрема, коренів (Anderson, 1975) і т.д.].

6. Нормальну діяльність мерісістем [порушення росту у висоту і зростання в ширину (Fritts, 1975), за величиною лінійного приросту і т.д., і виникають у рослин, які ростуть на кислих ґрунтах (Іванов, 1970), які зазнали впливу іонізуючого випромінювання, низьких і високих температур].

7. Нормальне здійснення клітинного циклу [зміна протяжності фаз клітинного циклу в часі і патологія мітозу під впливом проникаючого випромінювання (Алексахін, Нарішкін, 1974), при гіперауксінії і гіпоауксінії, при надлишку і недоліку макро і мікроелементів, зокрема алюмінію (Рудкова, 1981)].

8. Гістогенез і диференціацію клітин і тканин [ксерофільні перетворення злакових, що виникають під впливом шламу алюмінієвого заводу (Половова, Шилова; 1969), зокрема ниткоподібного листочків у *Robina pseudacacia* L. (Кондратюк з співавт., 1980), деформація пагонів і листя у *Ulmus laevis* Pall., *Acer negundo* L. і *Betula pendula* Roth. (Кулагін, 1974) і зменшення довжини шишок у *Pinus sylvestris* L. (Мамаєв, Шкарлет, 1971) при забрудненні атмосферного повітря].

9. Міжклітинні, міжтканинні та міжорганні взаємозв'язку та взаємодії [патологічні зміни апікальної домінантності, ростових кореляцій, нормального співвідношення маси надземних і підземних органів, зокрема, у

Robinia pseudacacia L., що виростає на відвалах вугільних шахт і збагачувальних фабрик (Рева з співавт., 1974)].

10. Ритміку процесів онтогенезу [прискорення фенофаз при забрудненні атмосферного повітря (Рязанцева, Спахова, 1980) запобігання утворення плодів у *Achillea millefolium* L. при впливі димогазових викидів хімічного заводу (Тарчевській, Шик, 1969), інгібування цвітіння у *Xanthium strumarium* L. під впливом CO₂ (Purohit, Tregunna, 1974)].

11. Вікове перетворення в життєвому циклі і його нормальне існування [неотенія у трав'янистих рослин, які ростуть на територіях, коксохімічних і металургійних заводів (Кондратюк з співавт., 1980)];

13. Фізичні (електричні, електромагнітні, оптичні і температурні) константи та характеристики рослин;

12. Гаметогенез, запліднення і формування дісемініул [недорозвинення мікроспор у злаків (Зуєва, 1969) при дії кам'яновугільної золи; недорозвинення насіння у *Pinus sylvestris* L. (Мамаєв, Шкарлет, 1971) при забрудненні атмосферного повітря викидами промислових підприємств];

13. Нормальне функціонування і життєздатність на ювелірних стадіях розвитку [зменшення схожості насіння *Pinus sylvestris* L. в 2-3 рази при забрудненні атмосферного повітря (Мамаєв, Шкарлет, 1971)];

14. Нормальні терміни функціонування і життєдіяльності клітин, тканин і органів [передчасне і викликаного осінніми потепління відмирання верхівкових нирок у 25% хвойних, що ростуть на осушених болотах (Єфімова, 1977); відмирання хвоїнок при контакті з оксидом магнію - викидом магнезитових заводів (Носирев, 1966) , зменшення терміну життя хвоїнок *Picea abies* L. под впливом нікелю с 11-12 років до 2 років].

15. Демографічні характеристики популяцій - їх віковий склад, співвідношення утворюючих їх рослин по підлозі, активність насінневого розмноження і вегетативного відновлення, життєздатність насіння і проростків [зменшення до 40-60% числа примірників *Pinus sylvestris* L., у яких утворюються шишки: недорозвинення в цих шишках насіння і зміна їх

нормального співвідношення за статтю (Мамаєв, Шкарлет, 1971) при дії забрудненого повітря; виникнення на забруднених територіях, причому нерідко на відстані до 6 км від джерела забруднення, зони загибелі рослин (Владимиров, 1980)].

16. Фітоценогенез і флорогенезу на окремих територіях [зменшення числа видів судинних видів рослин і водоростей при забрудненні нафтою (Шилова, 1978); виникнення фітоценозів з іншим видовим складом рослин, зокрема, низькорослих березових лісів при вплив викидів мідеплавильних заводів].

Навіть при незначній концентрації забруднювачів тривалий вплив на рослини забрудненого повітря призводить до зменшення інтенсивності їх фотосинтезу і до уповільнення їх зростання, а також до спрощення і розпаду ценозів. Характерно, наприклад, изреживание деревостанів і зменшення видового складу флори в степових районах виникають під впливом димогазових викидів металургійних і коксохімічних підприємств.

Хімічні забруднювачі впливають на патогенну активність споживачів рослин, їх чисельність, видове різноманіття і кількісне співвідношення один з одним. Встановлено, що в березняках, забруднених 90 Sr, личинки пилильщиків вражають 93,5% листя, в той час як у нерозряджені березняках кількість уражених листя не перевищує 2,5%. На територіях, які зазнали промислового задимлення, серед комах - фітофагів переважають фітофаги з колючі - сисним ротовим апаратом (Боченко, 1971).

Для нейтралізації забруднювачів або зменшенні їх концентрації поблизу промислових зон і в межах міста виживають зелені насадження. Вони збагачують повітря киснем, фітонцидами, сприяють розсіюванню шкідливих речовин і поглинають їх (Хвастунов, 1999). Лісові культури площею 1га здатні осадити їх повітря 25-34 т зважених речовин на рік, засвоїти величезну кількість вуглекислого газу та інших шкідливих речовин, очистити близько 18 млн. м³ повітря за рік. Фітонциди виділяються деревами, очищають повітря міст від бактеріального забруднення. Надаючи

великий вплив на чистоту повітря, рослинність сама при цьому пошкоджується і гине.

Тривалість життя дерев у містах і промислових зонах скорочується в порівнянні з умовами лісу в 5-8 разів (липа в лісі живе 300-400 років, а в місті - 50 років) (Артамонов, 1986; Вронський, 1996).

При озелененні території слід вибирати деревні, чагарникові і газонні рослини залежно від ґрунтово-кліматичних умов, якісного та кількісного складу викидів, закономірностей розсіювання забруднюючих речовин в атмосферному повітрі в даній місцевості, ефективності даної породи для очищення повітря від конкретного забруднювача або їх комбінації (пило - газопоглиношення), а також її пило - і газоустойчивості в реальній ситуації.

Високою стійкістю до діоксиду сірки володіють клен ясенелистий, троянда зморшкувата, чубушник вінцевий. Але вони мають низьку поглинаючою здатністю. Високої поглинальною здатністю і стійкістю відрізняються тополя бальзамічний, дерен білий (Кулагін, 1974).

На промислових майданчиках, сильно і постійно забруднених сірководнем, успішно ростуть яблуня дика, вишня степова, алиссум морський. Сірководень менш токсичний для рослин вловлюється ними в меншому ступені, ніж діоксид сірки або сірковуглець.

Поглинання діоксиду азоту обумовлено двома процесами: в нейтралізації утворюються кислоти і відновленням азоту з включенням його до складу амінокислот. Діоксид азоту поглинається рослинами в 3 рази більш інтенсивно, ніж оксид азоту (Вронський, 1996).

Діоксид азоту поглинають клен сріблястий, горобина звичайна, тополя бальзамічний, липа дрібнолиста, береза повисла. При спільній присутності в атмосферному повітрі аміаку і діоксиду азоту липа дрібнолиста і тополя бальзамічний віддадуть перевагу аміаку. Оксид вуглецю засвоюється кленом американським, бирючина звичайної, вільхою білої, ялиною звичайною. Кожен 1м² листової поверхні вищих

рослин засвоюється за 1 добу від 12 до 120 кг оксиду вуглецю. На світлі оксид вуглецю засвоюється значно краще, ніж у темряві.

Пилеосаджуюча здатність деревної рослини залежить від площі поверхні листя (хвої), маси та щільності крони, швидкості концентрації пилу в повітряному потоці, розташування посадок, а також від частоти дощів, змиваючих пил з листя.

Накопичення хлоридів в листках у межах 0,7-1,5% викликає найбільш сильні пошкодження у кінського каштану звичайного, бузку звичайної, ясена зеленого і слабкі - у в'яза солодкого, верби білої, тополі канадського (Сергейчик, 1985).

За характером дії посадки поділяють на ізолюючі і фільтрувальні. Ізолюючими називаються посадки щільної структури, які створюють на шляху забрудненого повітряного потоку механічну перешкоду, яка змушує потік обтікати масив. При нормальних метеоумов вони знижують вміст газоподібних домішок на 25-35% шляхом розсіювання і відхилення забрудненого повітряного потоку, а також поглинає дії зелених насаджень. Фільтруючими називають посадки, продуваються і розріджені, що виконують роль механічного і біологічного фільтру при проходженні забрудненого повітря крізь масив.

Ці посадки є основними для санітарно-захисних зон (Воскресенська з співавт., 2004).

Фізіологічна роль сірки

До числа найбільш небезпечних і поширених забруднювачів атмосфери належать газоподібні сполуки сірки. Щорічно викидається близько 100 млн. т. сірчистих токсикантів, що в 2 рази перевищує обсяг їх виділення в процесі вулканічної діяльності (Мурзакаев, 1977). Сірка сприймається рослинами у вигляді сульфатів, накопичуючись у вакуолях, і частково зв'язується органічними підставами, переходячи у відновлену форму. Сірка, пов'язана в молекулах метіоніну, цистину і цистеїну, становить до 1,5% сухої речовини білка (Сабінін, 1955; Лір зі співавт., 1974). Сірка -

обов'язковий елемент рослинних клітин, приймає діяльну участь у метаболізмі. Кожному виду рослин при відсутності помітного забруднення повітря властивий рівень накопичення сірки, що коливається у межах 0,2-0,9% (Ількун, 1971). В умовах забруднення повітря сполуками сірки її вміст у асиміляційних органах зростає. Під впливом фотосинтетичного отрути - ДДТ і SO₂ - відбувається деформація, аглютинація і руйнування пластид. У залежності від тривалості впливу змінюється проникність мембран, розчинність CO₂ в протоплазмі (Ботпанаєва, 1981). При дії SO₂ відбувається втрата незв'язною води, порушення діяльності синтетази жирних кислот; зменшується число розміри жіночих суцвіть у *Betula pubescens* Ehrh. і *Alnus incana* (L.) Moench. (Антипов, 1970) і довжина хвоїнок у *Pinus sylvestris* L. (Негрудкая з співавт., 1981). Зменшується кількість з'єднань фитонцидної комплексу, що виділяються хвойними, ураженими SO₂, SH₂ і CO (Хлебовіч, 1969). Сухі вершини сосен, обезбарвлений листя, бурі і червоні плями на листі, обсіпається хвоя - все це ознаки великого змісту сірчистих речовин у повітрі (Міхеєв із співавт., 1990). Оксид сірки отруйний для рослин навіть у концентраціях від однієї п'ятидесяти тисяч до однієї мільйонної від об'єму повітря.

Лишайники гинуть навіть при слідах SO₂ в навколишній атмосфері. Присутність їх у лісах навколо великих міст свідчить про високу чистоту повітря (Чернова, Білова, 1988). Діоксиди сірки і азоту є причиною кислотних дощів. Вони вимивають важкі метали з грантів, підвищуючи при цьому рівень їх токсичності, а також змінюють співвідношення кальцію та алюмінію в ґрунті (у бік зменшення кальцію), що значно затримує ріст кореневої системи рослин. Зростає інтенсивність корозії металоконструкцій, активізуються процеси карстоутворення.

Від концентрації сполук сірки в повітряному середовищі залежить газоаккумуляуюча здатність рослин. У асиміляційних органах накопичується тим більше сірки, ніж сильніше забруднене повітря. Вміст сірки в листках у порівнянні з контролем вже на початку періоду вегетації підвищується і

продовжує збільшуватися на його протязі. До осені у рослин ряду видів спостерігається зменшення вмісту сірки в листі, що зумовлено, мабуть, розпадом сірковмісних сполук, їх відтоком до стебел і коріння і вимиванням з рослин дощовими водами. У зоні слабого забруднення повітря найбільша газоаккумуляуюча здатність спостерігається в таких рослин як дерен білий, бирючина звичайна, смородина чорна. У їхньому листі накопичується від 4,16 до 7,36 г сірки на кг сухої речовини. Найменшою газоаккумуляуючою здатністю характеризуються аморфи чагарникова, груша звичайна, клен сріблястий, береза повисла, бузок звичайна і ялина колюча, накопичують від 1,24 до 1,92 г сірки на 1 кг сухого листа. У зоні сильного забруднення максимальним рівнем газонакопичення (6,68-8,96 г сірки на кг сухого листа) характеризуються липа дрібнолиста, жимолость татарська, осика, тополя канадська, мінімальним рівнем забруднення (2,88 - 3,84 г сірки на кг сухого листа) - груша звичайна, вишня степова, глід колючий. У більшості випадків рослини тих видів, які активно поглинають сірку з ґрунту, характеризуються і її підвищеним накопиченням з атмосферного повітря. Газопоглинальна функція рослин підвищується завдяки накопиченню сірки в пагонах і вимиванням її дощовими водами. З листа може бути вимито від 8 до 40% сірки, поглиненої з повітря.

Таким чином, для озеленення зони сильного забруднення рекомендується використовувати газостійкі рослини м зниженою здатністю до газонакопичення (вишню степову, троянду зморшкувату, глід колючий, грушу звичайну). Газоаккумуляуюча здатність асиміляційних органів деревних рослин може бути використана з метою діагностики забруднення повітря.