

DR LEON S. DOCHINGER

Pn.-wsch. Leśna Stacja Doświadczalna, Delaware, Ohio, USA

Ocena szkód powodowanych w lasach amerykańskich przez zanieczyszczenia powietrza¹

Оценка потерь вызываемых загрязнением воздуха в американских лесах

An assessment of air-pollution injury to American forests

Do najgroźniejszych zanieczyszczeń powietrza w lasach amerykańskich należą: ozon, fluorki i dwutlenek siarki. W artykule omówiono istotę i skutki tych i kilku innych związków fitotoksycznych emitowanych do atmosfery.

Zanieczyszczanie powietrza przez człowieka zaczęło się od wynalezienia ognia. W ostatnich latach industrializacja, rosnący ruch samochodowy, gwałtowny przyrost ludności oraz nienasycone zapotrzebowanie na energię, bez troski o unieszkodliwianie produktów ubocznych, doprowadziło do niezwykle podniesienia poziomu zanieczyszczeń w atmosferze. Wszyscy jesteśmy zaniepokojeni wpływem zanieczyszczenia naszego skażonego powietrza na roślinność i dobro ludzkości. Do oczyszczenia naszego skażonego powietrza możemy doprowadzić jedynie na drodze współpracy międzynarodowej.

POSTACIE ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA

Zanieczyszczenie powietrza można podzielić na 2 grupy, a mianowicie: 1) zanieczyszczenia pierwotne, pochodzące z łatwych do wykrycia źródeł spalania, w postaci toksycznej dla roślin, takie jak dwutlenek siarki i fluorki; 2) zanieczyszczenia wtórne, powstające w atmosferze przez łączenie się składników w zanieczyszczenia pierwotne, przez reakcję z lokalnymi składnikami powietrza i przez aktywację fotolityczną. Druga grupa składa się ze szkodliwych połączeń soli metali i pary wodnej, deszczów zawierających kwasy oraz fotochemicznych związków fitotoksycznego ozonu i pokrewnych grup peroksyacetyloazotanu i jego pochodnych.

¹ Skróc referatu wygłoszonego w listopadzie 1972 r. w Instytucie Badawczym Leśnictwa w Warszawie.

CHARAKTER USZKODZEŃ POWODOWANYCH PRZEZ ZANIECZYSZCZENIE POWIETRZA

Zanieczyszczenia powietrza powodują ostre i chroniczne uszkodzenia drzew leśnych oraz wpływają na ich procesy fizjologiczne. Uszkodzenia ostre są skutkiem bezpośredniego działania silnego stężenia związku toksycznego, zazwyczaj przez krótki czas. Objawy występują po jednym lub dwóch dniach ekspozycji. Mogą to być lokalne nekrozy lub całkowita utrata liści, prowadząca do zamierania roślin. Często objawy reakcji toksycznej wskazują na rodzaj zanieczyszczenia i są charakterystyczne dla określonych gatunków drzew. Niemniej reakcja na zanieczyszczenie jest bezpośrednio związana z czasem i stężeniem emisji, genetyczną wrażliwością rośliny, jej stadiami rozwoju oraz wieloma czynnikami środowiska (temperatura, światło, wilgotność, wiatr itp.).

Chroniczne uszkodzanie jest wynikiem przerywanego lub ciągłego działania subletalnej dawki zanieczyszczenia. Przy chronicznym działaniu zanieczyszczeń powietrza roślinność zmienia barwę tkanek liściowych na różne odcienie chlorotyczne. Czasami występuje starzenie się liści niektórych gatunków drzew. Przedwczesna utrata liści może znacznie zmniejszyć wzrost rośliny. Objawy chronicznych i ostrych uszkodzeń są obserwowane u wielu wrażliwych gatunków.

Skutki fizjologiczne (uszkodzenia niewidoczne) są mniej oczywiste. Ich wskaźnikami są zaburzenia w procesach metabolizmu, które się bada drogą biochemicznych analiz tkanek roślin fumigowanych i rosnących w czystym powietrzu. Porównania tych roślin można dokonywać przez pomiar wahań w fotosyntezie i oddychaniu przy zakłóconych stosunkach wodnych oraz przez obserwację zmian procesów enzymatycznych.

GŁÓWNE ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA — ICH ŹRÓDŁA I DZIAŁANIE

W Stanach Zjednoczonych wiele zanieczyszczeń powietrza uszkadza roślinność leśną. W lasach amerykańskich najczęściej szkód powodują utleniacze, fluorki oraz dwutlenek siarki, natomiast w Polsce — dwutlenek siarki i cząstki metali ciężkich.

Ozon. W Stanach Zjednoczonych powoduje on więcej szkód niż jakikolwiek inny składnik zanieczyszczenia atmosfery. Nie uważa się go już za problem lokalny, lecz za główne zagrożenie terenów wiejskich i miejskich.

Źródła. Samochody i przemysł wypuszczają tony węglowodorów i tlenków azotu. Te odpady są przetwarzane na drodze reakcji fotochemicznej w ozon. Ozon jest przenoszony z górnych warstw atmosfery do warstw przygruntowych, a także jest wytwarzany przez wyładowania elektryczne.

Objawy. Zwykle na górnej stronie opadających liści uszkodzonych ozonem pojawiają się przebarwione i wybielone plamki oraz kropki. Niektóre liście wykazują powierzchniowe przebarwienie komórek pali-

sadowych, lecz w czasie ostrych porażen może wystąpić dwustronna nekroza.

U iglastych ostre uszkodzenie powoduje rozpad komórek, po którym następuje nekroza końców igieł lub zamieranie pojedynczych igieł albo całych pędów skróconych. Chroniczna fumigacja wywołuje chlorozę lub pokrywanie się całych igieł plamkami. Silnie uszkodzone okazy tracą przedwcześnie igły i karłowacieją. Dojrzewające igły są bardziej wrażliwe na ozon w środku lata.

Fluorki. Uszkodzanie drzew leśnych przez fluorki wzmogło się w ostatnich latach na skutek rozwoju przemysłu wyrobów z aluminium.

Źródła. Uwalnianie fluorków do atmosfery następuje głównie z gazowych i pylastych związków odpadowych przy wytapianiu rud nieżelaznych, stali i aluminium; przy spalaniu węgla; przy produkcji ceramiki i nawozów fosforowych.

Fluorkami wydzielanymi w powyższych procesach w postaci gazowej są fluorowodór oraz czterofluorek krzemowy. Obecnie fluorki w postaci stałej nie stanowią większego problemu w lasach amerykańskich.

Objawy. Fluorki są szkodliwsze niż równoważne stężenia innych związków fitotoksycznych w powietrzu. U drzew liściastych ta gazowa substancja zanieczyszczająca akumuluje się przeważnie na krawędziach liści. Z chwilą osiągnięcia progu toksyczności tkanki liści przebarwiają się na kolor czerwonawobrunatny. Przy powtarzaniu gazowania powstają liczne obwódki o wyraźnych konturach barwy kasztanowatej, co nadaje liściom wygląd falisto strefowany.

U drzew iglastych toksyczność fluorków objawia się chlorozą i nekrozą. Starsze igły znoszą dawki subletalne, natomiast igły pojawiające się po wydłużeniu się pędów są bardzo wrażliwe.

Dwutlenek siarki. Ze wszystkich zanieczyszczeń powietrza dwutlenek siarki emitowany przez obiekty przemysłowe powoduje najwięcej uszkodzeń drzew leśnych na całym świecie.

Źródła. Dwutlenek siarki powstaje przy spalaniu paliw kopalnych, ogrzewaniu rud siarczkowych podczas wytapiania oraz przy produkcji i stosowaniu siarki, kwasu siarkowego, ropy naftowej i gazu naturalnego.

Objawy. U drzew liściastych krótko po działaniu dużego stężenia SO_2 liście stają się nadmiernie nasycone wodą, a następnie schną i przebarwiają się na kolor żółtawobrunatny, kości słoniowej lub brunatny. Końcowy obraz przedstawia brzegowe i międzyżyłkowe uszkodzenia liści, minimalne uszkodzenia w poprzek żyłek. Subletalne stężenie SO_2 powoduje powstawanie uszkodzeń w postaci plamek i cętek w różnych odcieniach koloru żółtego, brązowego lub czarnego.

U drzew iglastych uszkodzenia powodowane przez SO_2 zaczynają się od końców igieł i rozszerzają się ku nasadzie. Przy powtórnej ekspozycji igły wcześniej opadają. Drzewa wrażliwe rosną powoli i mogą nagle zamierać. Chronicznie uszkodzane igły są chlorotyczne i często przebarwione na całej długości. Nekrotyczne cętki rozproszone są na igłach pokrytych żółtymi plamkami.

Potencjalnie niebezpiecznymi związkami fitotoksycznymi są tlenki azotu, chlorowódor, chlor, amoniak i pyły. Aktualnie nie powodują one większych szkód w naszych lasach, ponieważ ich źródła są ograniczone ilościowo i przestrzennie.

Tlenki azotu uwalniają się przy spalaniu paliw, z rur wydechowych pojazdów, przy rafinacji ropy naftowej i spalaniu odpadów organicznych. Brak informacji o objawach uszkodzeń powodowanych przez tlenki azotu, jednak zmniejszenie wzrostu może wynikać z synergicznego działania dwutlenku azotu i SO_2 .

Opary chloru i chlorowodoru pochodzą z przypadkowego rozlania, z zakładów przemysłowych produkujących chlor, ze spopielenia mas plastycznych z polichlorku winylu i z oczyszczalni wody. Wskazówką uszkodzeń związanych z parami chloru jest silne oparzenie liści, chociaż obserwuje się również pewne chroniczne uszkodzenia i opad liści na drzewach rosnących w pobliżu źródeł chloru.

Uszkodzenia drzew przez amoniak wynikają przede wszystkim z jego ulatniania się przy procesach produkcyjnych, z przypadkowego wylania ze zbiornika, uszkodzenia pojazdu oraz z ciekłego amoniaku nawozów sztucznych. W warunkach leśnych rzadko występują objawy uszkodzeń, ponieważ straty amoniaku nie występują w dużych stężeniach.

Pyły są wytwarzane podczas spalania węgla i innych paliw, odpadów organicznych, przy produkcji cementu i wypalaniu wapna, oczyszczaniu metali. Chociaż pyłom poświęcono mniej badań w Stanach Zjednoczonych, ich względne znaczenie stale wzrasta. Wskaźnikami uszkodzeń powodowanych przez pyły są: pokrywanie się liści plamkami i poparzenie brzegów.

PROBLEMY ZANIECZYSZCZENIA W LASACH AMERYKAŃSKICH

Dawniej tylko okazyjnie sporządzano raporty o uszkodzeniach drzew leśnych w pobliżu obiektów wypalających rudę w kilku regionach Ameryki Pn. Obecnie niezliczone źródła powodują emisje do atmosfery. Te subletalne, nieprzerwanie działające stężenia związków fitotoksycznych powodują uszkodzenia drzew w lasach amerykańskich.

Chlorotyczne skarłowacenie wejmutki. To zakłócenie w rozwoju igieł wejmutki jest powodowane przez otaczające je gazy SO_2 i O_3 w różnych stężeniach lub mieszaninę tych gazów, działających na drzewa genetycznie wrażliwe na zanieczyszczenia.

Uszkodzone wejmutki mają blade zabarwienie, wcześniej tracą igły, są jakby postrzępione. W pn.-wsch. uprawach leśnych podobne objawy obserwuje się na sośnie pospolitej. Wzrastające rozmiary uszkodzeń tych dwóch wieczniezielonych drzew przez zanieczyszczenia pozwala przypuszczać, że również inne pokrewne gatunki iglaste są zagrożone. Taki brak równowagi może szkodliwie wpływać na delikatny ekosystem zbiorowisk leśnych.

Chlorotyczne zamieranie *Pinus ponderosa*. W Kalifornii fotochemiczny utleniający smog napływający na obszary leśne z terenów miejskich powoduje zamieranie *P. ponderosa*. Na uszkodzonych drzewach najstarsze igły wcześniej opadają, pozostają jedynie chlorotyczne jednoroczne igły oraz igły bieżącego okresu wegetacyjnego. Osłabione drzewa są podatne na atak korników.

Zanieczyszczenia powietrza na plantacjach choinek. Od 1968 r. w plantacjach choinek położonych w terenach górskich w stanach Maryland i Wirginia Zachodnia występują duże szkody spowodowane przez zanieczyszczenia. Charakterystyczne objawy poparzenia igieł przypisywano znacznym stężeniom ozonu i dwutlenku siarki. Chroniczne działanie jednego lub więcej zanieczyszczeń było niewątpliwe ze względu na częste występowanie chlorotycznego skarlłowacenia wejmutek. Dopóki się nie zmniejszy nasilenia emisji żywotność drzew będzie malała i drzewa nie osiągną dojrzałości bez uszkodzeń powodowanych przez zanieczyszczenia.

Obserwowano także nienormalny rozwój w postaci braku pączków, wielokrotnego wytwarzania pączków, a także syndromu krótkich i długich igieł. Nigdy nie kojarzono tych odchyłeń wzrostowych z zanieczyszczeniem powietrza. Etiologia tych uszkodzeń roślin nie jest poznana, chociaż przyczyny mogą być abiotyczne, jak np. oparzenie kwasami zawartymi w pylastych zanieczyszczeniach.

PRZYSZŁE KIERUNKI

Obecny stan wskazuje na to, że szkodliwe działanie zanieczyszczeń powietrza w lasach amerykańskich będzie trwało i wzmoże się w następnych dziesięcioleciach. Mogą powstać nowe fizyczne i chemiczne formy zanieczyszczeń w wyniku rozwijających się nowych technologii. Niektóre z zanieczyszczeń obecnie uważane za mniej groźne mogą stać się bardziej niszczące, gdy będzie ich więcej.

Przykładami szkód, jakie może wyrządzić niekontrolowane zanieczyszczenie, są ostre porażenia lasów iglastych przez SO_2 w Anacondzie w stanie Montana i w Trail w Kolumbii Brytyjskiej. Po wydaniu w 1967 r. „Aktu w sprawie jakości powietrza” nastąpi znaczne zmniejszenie ostrych zanieczyszczeń powietrza, jednak przewidywany wzrost uprzemysłowienia i urbanizacji w ciągu przyszłych dziesięcioleci oznacza, że większe regiony będą zanieczyszczane związkami fitotoksycznymi o niskich stężeniach w ciągu długich okresów, gdy warunki klimatyczne nie pozwalają na rozproszenie. Obszary leśne położone w pobliżu tych źródeł zanieczyszczeń będą ulegały radykalnym zmianom, powodującym zachwianie równowagi ekosystemu leśnego.

Tylko przez całkowite zlikwidowanie emisji z ruchomych i stałych źródeł możemy zwiększyć przyrost i produktywność naszych lasów. Perspektywy zlikwidowania emisji są jednak nikłe. Dlatego też Służba Leśna Stanów Zjednoczonych i Pracownia Entomologiczno-Fitopatologiczna w Delaware, Ohio, zwiększy program badań w celu ustalenia rozmiaru szkód w drzewostanach pn.-wsch. regionie Stanów Zjednoczonych.

Duży wysiłek badawczy skieruje się na ustalanie szkód w zasobach leśnych powodowanych przez zanieczyszczenia powietrza oraz opracowywanie zaleceń w zakresie łagodzenia szkodliwego wpływu związków fitotoksycznych na uprawy leśne. Rozwój dostatecznej informacji naukowej w odniesieniu do zachowania życia roślinnego i utrzymania dobrej jakości powietrza będzie miał znaczenie dla nas wszystkich w zakresie ochrony naszych obszarów leśnych.

*Z angielskiego tłumaczyła
Maria Łukomska*

Краткое содержание

Большинство потерь в культурах хвойных пород в американских лесах вызывают: озон, флуориды и двуокись серы. Хроническое загрязнение воздуха будет увеличиваться и воздействовать на рост и продуктивность американских лесов. Для оценки влияния фитотоксических загрязнений воздуха на лесные культуры в других странах мира необходимо международное научное сотрудничество. Только путем совместных исследований можно собрать информации необходимые для охраны растительного мира и улучшения качества воздуха.

Summary

Ozone, fluorides, and sulfur dioxide are responsible for most of the air-pollution damage to conifer plantings in American forests. Chronic air pollution will intensify and affect growth and productivity of our forest lands. Cooperative research efforts are needed for assessing the impact of aerial phytotoxicants on forest plantings throughout the world. Only by mutual programs of research can we provide information for protecting plant life and for improving air quality.