

Екологічні наслідки забруднення атмосфери

Атмосфера є найменшим геологічним резервуаром Землі. Саме обмежені розміри роблять її такою чутливою до забруднення. Внесення навіть невеликої кількості речовини може привести до значних змін її властивостей.

Склад атмосфери знаходиться у стані динамічної рівноваги, яка підтримується такими факторами, як переміщення повітряних мас (вітер та конвекція) й атмосферні опади, життєдіяльність тваринного і рослинного світу, особливо лісів та планктону Світового океану, а також в результаті космічних процесів, геохімічних явищ та господарської діяльності людини.

У результаті промислової діяльності людство сьогодні постало перед такими проблемами:

- зменшення і перфорація озонового шару, який захищає Землю від ультрафіолетового випромінювання Сонця;
- проблема "кислотних дощів";
- потепління клімату, яке пов'язане з накопиченням у атмосфері газів, що поглинають інфрачервоні промені та перешкоджають їхньому розсіюванню (парниковий ефект);
- смоги у промислових містах.

Кислотні дощі

Оксиди Сульфуру і Нітрогену, що потрапили в атмосферу, окислюються і, сполучаючись з водою, утворюють туманоподібні краплини сульфатної та нітратної кислот. Вітрами вони переносяться на значні відстані й згодом випадають разом з дощем, який має кислу реакцію. Кислотні дощі за рахунок транскордонного перенесення широко поширені у США, Центральній Європі, Великобританії, скандинавських країнах, у північно-західних областях Росії, в Україні.

Кислотними називаються взагалі будь-які опади – дощ, сніг, туман, якщо значення їх рН становить менше ніж 7,0. Кислотні дощі мають значення рН частіше в межах 4,1-2,1, а в деяких випадках навіть менш за 2,1. Кислотність атмосферних опадів визначається наявністю вільних іонів Гідро-

гену H^+ , які і визначають їх кислотність (рН). Зв'язок концентрації іонів Гідрогену з концентраціями інших іонів в опадах можна подати у вигляді:

$$[H^+] = 2[SO_4^{2-}] + [NO_3^-] + [Cl^-] - 2[Ca^{2+}] - [K^+] - \\ - 2[Mg^{2+}] - [Na^+] - [NH_4^+] + 2,5 \cdot 10^{-6}$$

Останній член цього ряду у цьому рівнянні $2,5 \cdot 10^{-6}$ моль/л відповідає концентрації іонів Гідрогену в рівноважному водному розчині при концентрації карбон(ІV) оксиду в атмосфері, що дорівнює 330 млн.^{-1} і температурі 20°C . Це значення концентрації іонів Гідрогену приписується незабрудненим атмосферним опадам.

Розглянемо механізм утворення кислотних дощів. Пріоритетними кислотоутворюючими речовинами є сполуки Сульфуру та Нітрогену. Тільки два головних процеси призводять до збільшення кислотності від сполук Сульфуру. Один з них - спалювання викопних палив з утворенням газу SO_2 . Інший – продукування морськими організмами газу диметилсульфіду (ДМС), що потім дегазується в атмосферу крізь поверхню розділу море - повітря.

З'явившись в атмосфері ДМС окислюється сильними окислювачами, вільними радикалами. Вільними радикалами, важливими для окислення ДМС, є гідроксил (ОН) і нітрат (NO_3). Продуктів окислення декілька, однак найбільш важливими є SO_2 і метансульфонова кислота (МСК чи CH_3SO_3H). Утворившись цим шляхом, SO_2 хімічно не відрізняється від того, що надходить при спалюванні викопного палива.

Сірчистий ангідрид з обох джерел існує в атмосфері як у вигляді газу, так і розчиненим у крапельках дощу і хмар, рН яких знижується за рахунок кислої реакції газу. Однак, знаходячись усередині крапельок SO_2 може швидко окислитися з утворенням сульфатної кислоти (H_2SO_4), що робить їх більш кислими, оскільки H_2SO_4 є сильною кислотою. МСК утворена шляхом окислення ДМС при додаванні ОН та/або NO_3 , також вносять вклад у кислотність атмосферних опадів. Оскільки на відміну від SO_2 ця сполука може утворитися тільки з ДМС, вона є індикатором кислотності атмосфери, що виникла в результаті біологічної активності. Таким чином, газоподібні

домішки в атмосфері піддаються хімічним перетворенням з подальшим "сухим" випаданням, або вимиванням опадами. Ефективність видалення домішок з приземного шару атмосфери буде залежати від метеорологічних умов, зокрема від температури середовища, яка впливає на агрегатний стан опадів.

Наведене обговорення є, зазвичай, істотним спрощенням реальної ситуації. Наприклад, крапельки дощу і хмар містять, крім H_2SO_4 , інші розчинені речовини, важливі для регулювання рН, наприклад нітратну кислоту (HNO_3), що утворюється з оксидів Нітрогену NO і NO_2 . При цьому слід враховувати, що в деяких регіонах до 75% кислоти може бути нейтралізовано аміаком з утворенням амоній сульфату. Амонійний іон NH_4^+ , що утворюється при розчиненні аміаку (NH_3) у воді, має лужну реакцію, і таким чином може частково зменшити кислотність.

Формування кислотного дощу залежить від швидкості поглинання домішок аерозольними частинками, яка зумовлена розмірами й хімічною природою частинок. Для формування кислотних дощів принципово важливі середні аерозольні частинки (розміром 0,2-2 мкм), які складаються переважно з твердих сульфатів та нітратів. Аерозольні частинки гігроскопічні, тому водяна пара швидко конденсується у вигляді плівки на їх поверхні, являючись ядром зародження дощової краплі. Діоксиди Сульфуру та Нітрогену, як і сульфати та нітрати, поглинаються краплями вологи. Саме на цій стадії починається комплекс рідко фазних реакцій, який описаний вище.

В кислотних дощах і туманах Сульфур присутній у вигляді як чотирьох- так і шестивалентних сполук. Розчинність SO_2 значно залежить від рН водяних крапель і наявності органічних комплексоутворюючих агентів (наприклад формальдегіду), які знижують швидкість рідкофазного окислення S^{4+} до S^{6+} . Значну роль у формуванні кислотних дощів відіграють сульфатні аерозолі. Оскільки утворення сульфатної кислоти з газоподібного SO_2 відбувається за участю радикалів HO^\bullet при протіканні фотохімічних реакцій, то швидкість утворення кислоти залежить від часу доби і пори року.

Концентрація H^+ і SO_4^{2-} максимальна в літній період. Влітку приблизно 55-70% розчиненого Сульфур(IV) оксиду переходить у сульфат-іони в результаті реакцій окислення.

На відміну від діоксиду сульфу реакції окислення розчиненого у водному середовищі діоксиду нітрогену мало впливають на загальний баланс нітрат-іонів. В літній період при інтенсивному сонячному опроміненні швидкість швидкості перетворення діоксиду нітрогену в кислоту досить велика – 50% діоксиду переходить в кислоту протягом 12-14 годин. В містах найбільш високі концентрації оксидів Нітрогену спостерігаються зранку до початку фотохімічних процесів. Основне джерело їх – автотранспорт та опалювальні системи.

При прогнозуванні концентрації кислот, в першу чергу сульфатної, необхідно враховувати процеси утворення пероксиду водню, який розчиняється у воді й бере участь у наступних реакціях рідкофазного окислення. Атмосферна концентрація H_2O_2 , що дорівнює 1 ppb, достатня для створення високої концентрації в рідкій фазі, що забезпечує високу швидкість окисних реакцій. Найменша концентрація пероксиду водню (0,6-0,8 ppb) спостерігається біля поверхні ґрунту, на висоті 3000 м вона значно вища (до 3 ppb), на висоті більшій ніж 3000 м концентрація його практично не змінюється. В ряді випадків концентрація пероксиду водню вночі на 10-15% вища, ніж вдень.

Спостереження свідчать, що ще 100 років тому дощова вода мала $\text{pH}=7,0$, тобто опади були нейтральними. Вперше кислотні дощі зареєстровані в Англії в 1972 р. Вони були наслідком потрапляння в атмосферу оксидів Сульфуру і Нітрогену, що виділяються за рахунок спалювання палива, інтенсифікації промислового виробництва. Автотранспорту, широкого застосування хімікатів. Поступово індустріалізація охоплювала все більшу кількість країн, а надходження оксидів Сульфуру і Нітрогену безперервно збільшувалося, особливо загрозливих масштабів набувши у наш час. Тому кислотні опади випадають всюди й завдають значних збитків. Підкислення

ґрунтів – це проблема східних районів США, Канади, Німеччини, Великої Британії, Бельгії, Польщі, України, Молдови, країн Прибалтики, ряду областей Росії. У Швейцарії від кислотних дощів гине третина лісів, у Великій Британії висихають 69% букових і тисових лісів. Від кислотних опадів особливо потерпають закриті водойми – озера та ставки. В Україні за останні 35 років площа кислих ґрунтів зростає на 33%. Кислі ґрунти потребують вапнування, що підвищує собівартість сільськогосподарської продукції. Слід також відзначити, що при закисненні водойм та ґрунтів відбувається їх вторинне забруднення важкими металами, які при зниженні рН переходять у розчинну рухому форму й легко включаються в ланцюги живлення.

За останні 50-60 років спостерігається загальнопланетарне підвищення кислотності дощових опадів. Найбільше кислотних дощів випадає у країнах Скандинавського півострова. В Україні кислотні дощі часто випадають у Сумській, Черкаській та Рівненській областях, де у повітря викидається значна кількість оксидів Сульфуру і Нітрогену. Україна забруднена також за рахунок транскордонного перенесення цих оксидів з країн Західної Європи.

Кислотний сніг завдає ще більшої шкоди, ніж дощ, оскільки він може накопичуватись упродовж тривалого часу, що призводить до значного закислення ґрунту під час танення снігу навесні. Кислотність талої води в десятки разів вища від кислотності дощової. Кислі талі та дощові води, потрапляючи у ґрунт, спричиняють підкислення всього профілю ґрунту, а нерідко підкислюють і ґрунтові води. Спектр впливу кислотних дощів дуже великий. Наслідки впливу кислотних дощів на зміни у ґрунті наступні:

- а). закислення ґрунту;
- б) руйнація кореневої системи;
- в) порушення процесів всмоктування води та поживних речовин;
- г) вимивання міогенів та поживних речовин;
- д) вилуговування важких металів;
- е) пригнічення та загибель азот фіксуєючих бактерій.

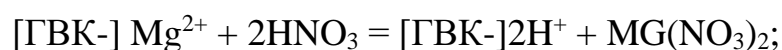
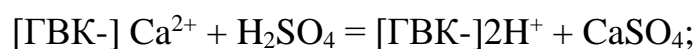
Наслідки впливу кислотних дощів на зміни рослинності наступні:

- а) пошкодження листової поверхні та голок хвої;
- б) порушення процесів транспірації;
- в) порушення процесів фотосинтезу;
- г) зниження опору патогенним організмам;
- д) накопичення в камбії токсичних важких металів;
- е) ослаблення, порушення росту.

Кислотні дощі виявляють як пряму шкідливу дію на біоту внаслідок осадження на зеленій масі рослин, так і побічну дію, замислюючи ґрунти і водоймища.

Спостереження в районах інтенсивних випадань кислотних опадів показують, що зміна рН ґрунту досягає 0,5 – 2,0 одиниць. В менш кислих ґрунтах величина рН змінюється в більшій мірі, ніж в ґрунтах, що мають більш низькі значення рН. Ефект закислення ґрунтів залежить від буферної здатності ґрунтів, від їх спроможності нейтралізувати кислоти. Карбонатні ґрунти в якості буфера, здатного нейтралізувати надлишкове надходження кислот в ґрунтовий розчин, містять кальцій карбонат, саме тому на таких ґрунтах проблема закислення не актуальна.

Кислоти потрапляючи в ґрунт взаємодіють з його органічною та мінеральною частинами, активізують обмінні процеси, при цьому відбуваються такі реакції:



Кислотні дощі вимивають з ґрунту обмінний Калій, Магній і Кальцій та зменшують врожайність сільськогосподарських на 3-8%, призводять до деградації флори і фауни.

Під впливом кислотних опадів (дощ, роса, туман, сніг) змінюється фізична структура ґрунту (зниження грануляції, злипання частинок,

ущільнення ґрунту і різке падіння повітропроникності), що негативно відбивається на життєдіяльності кореневої системи.

Зниження рН ґрунтового розчину призводить до підвищення розчинності ґрунтових алюмосилікатів, посилюється перетворення несилікатних окристалізованих форм Феруму і Алюмінію в аморфні. Серед сполук Алюмінію рідкої фази ґрунту починають переважати мономери вільних іонів, а вони більш токсичні.. Звільнення розчинної форми Алюмінію пригнічує клітинне ділення у коренях, пошкоджує ферменти, які розкладають полісахариди, знижує клітинне дихання, порушує транспорт і можливість використання Кальцію, Магнію, води. Через зв'язування Кальцію у трудно - розчинну сіль CaSO_4 виникає дефіцит доступного Кальцію. Від нестачі Кальцію коріння перестає рости, потовщується і зслизає.

В той же час збільшується рухливість важких металів, які засвоюються рослинами, а надмірне надходження в організм рослини Алюмінію, Феруму і Мангану блокує надходження Фосфору, що найзгубніше відбивається на сходах і сіянцях деревних порід. Всі ці зміни, викликані підвищенням кислотності, призводять до зниження схожості, погіршення проростання і, в кінцевому рахунку, до блокування процесів лісооновлення.

Закислення знижує швидкість розкладання органічних решток, оскільки більшості бактерій, грибків і водоростей необхідне нейтральне середовище, і зменшує інтенсивність кругообігу органічних речовин у системі ґрунт-рослина. Знижується продуктивність азот фіксуєючих бактерій що призводить до обмеження надходження зв'язаного азоту в організм рослини і зниження швидкості його росту.

Дощові черв'яки, які розпушують землю, можуть жити в слабо кислих ґрунтах, нейтралізуючи ґрунтові кислоти за допомогою вапна, що виділяють. В кислому ґрунті дощові черв'яки гинуть, тим самим спричиняючи ущільнення ґрунту і зниження його родючості. Серед інших порушень, що відбуваються у ґрунті внаслідок його закислення слід відмітити порушення процесів живлення рослин, руйнацію їх кореневої системи.

Кислотні дощі розчиняють восковий шар листя або голок, що викликає надмірне випаровування води і призводить до висихання рослин. Крім цього листя, пошкоджене кислотними опадами, стає вразливим до дії грибків і бактерій, внаслідок чого рослини гинуть.

Найбільш помітний вплив кислотні опади здійснюють на водойми. У закислених водоймах гине водна біота. Активність фітопланктону знижується при $pH \leq 6$; при збереженні або частковому збільшенні сумарної біомаси одні типи заміщуються іншими. Негативні зміни у зоопланктону виникають при $pH = 5$, при цьому особливо сильно вони проявляються при підвищеному вмісті Алюмінію та інших важких металів, які в закислених водоймах переходять у розчинну форму і стають доступними для живих організмів. Алюміній потрапляючи у водойми, викликає аномалії розвитку і загибель ембріонів риби. Іони Алюмінію і Мангану можуть викликати пригнічення росту рослин і водоростей, скорочення і повне зникнення популяцій риб. Чисельність популяцій бентосу знижується в інтервалі pH 5-6. Амфібії також чутливі до закислення водойм, при pH 4,0-4,5 інтенсивність розмноження їх різко падає.

Для риби оптимальні умови кислотності знаходяться у межах $6,5 < pH < 8,5$, відносно безпечні межі $5,5 < pH < 9,0$. Розвиток популяції риб відображає сумарні функції екосистеми. При pH води вище 6 розвиток популяції риб стійкий, деякі порушення спостерігаються при pH 5,5. Чутливі до закислення плотва, лосось (при $pH < 6$), щука і окунь ($pH < 5$). Форель і коропові гинуть при $pH < 6$. Особливо чутливі до закислення стадії ікри і мальків. Репродуктивність багатьох риб у прісних водоймах падає при $pH < 5,5$ і практично припиняється при $pH < 4,5$. Важливе значення має також твердість води, зокрема гідроген карбонатна лужність, підвищення якої збільшує токсичну дію закислення. Порушується структура спільнот риб, харчові кола, характер відносин хижак-жертва і ін.

Відмічаючи пагубний вплив кислотних опадів на водні екосистеми, слід додати, що не всі водойми однаково чутливі до них. Чутливість водойм до

кислотних опадів визначається хімічним складом материнських порід і ґрунту на водорозділах і берегах. Якщо в них присутній вапняк, то такі озера "чинять опір" закисленню води, оскільки карбонати нейтралізують кислоту.

Карбонат кальцію відіграє роль буфера, підтримуючи постійне значення рН. Аналогічну дію має і карбонат магнію. Але можливості будь-якого буфера обмежені. Вапняк, наприклад, витрачається, реагуючи з кислотами, тобто буферна ємність зменшується. Як тільки вона буде вичерпана, то навіть невелика кількість кислот викличе різке зменшення рН.

Якщо водозабірні басейни водойм складені гранітами (або гнейсами) з низькою буферною здатністю, то такі водойми чутливі до кислотних опадів. Обширні території Північної Америки, особливо у Канаді, сильно страждають від кислотних опадів, оскільки складені саме гранітними породами.

Таким чином, екологічні наслідки для різних річок і озер на планеті, які отримують однакову кількість кислотних опадів, не однакова.

Кислотні опади прискорюють руйнування житлових будинків і архітектурних пам'яток оздоблених мармуром і вапняком. Ці матеріали мають високу чутливість до впливу кислих опадів та до SO_2 , що присутній в атмосфері. Основною реакцією, відповідальною за руйнацію мармуру та пошкодження пам'ятників, є утворення сульфату на поверхні цих матеріалів. При цьому окислення SO_2 до SO_3 відбувається за рахунок каталітичної дії поверхневих домішок: сажі, вологи, Fe_2O_3 , а також завдяки бактеріям, що окислюють Сульфур.

Вплив кислотних дощів на конструкційні матеріали став очевидним останні 50 років. За цей період такі пам'ятники культури, як Акрополь в Греції, постраждали сильніше, ніж за весь період свого існування. В Лондоні руйнуються Тауер, Вестмінстерське абатство. На практиці найбільшу увагу приділяють трьом групам матеріалів — метал, будівельний камінь та поверхневі покриття (фарби, лаки, полімери).

Парниковий ефект

Упродовж усього історичного планети її клімат неодноразово змінювався. Однак ці зміни, як свідчать дослідження, відбувалися поступово. Останнім часом у результаті швидкого зростання населення планети та його потреб відбувається інтенсивний розвиток промисловості і енергетики. Усе це призвело до утворення й викиду в атмосферу величезної кількості забруднюючих речовин та невикористаної теплоти.

За підрахунками, внаслідок спалювання значної кількості палива в атмосферу викидається понад $3 \cdot 10^{14}$ МДж теплоти, яка розсівається в навколишньому середовищі. Потепління планети відбувається, головним чином, внаслідок забруднення атмосфери парниковими газами прямої дії – водяною парою, вуглекислим газом, метаном, Нітроген(I) оксидом, тропосферним озonom та флуорхлорвуглеводнями – фреонами. Крім того існують інші гази, такі як монооксид карбону, оксиди нітрогену та леткі неметанові органічні сполуки, які безпосередньо не є парниковими газами, але опосередковано впливають на парниковий ефект в результаті хімічних реакцій в атмосфері. Їх називають прекурсорами або парниковими газами непрямої дії.

У земній атмосфері Карбон(IV) оксид та інші парникові гази діють подібно до скла в парнику: вони пропускають короткохвильову сонячну радіацію, яка поглинається поверхнею ґрунту, рослин, будівель і т.д., але затримують довгохвильову радіацію розігрітої сонцем поверхні Землі, що зумовлює розігрівання поверхні планети. Хоча CO_2 міститься в невеликій кількості в атмосфері, він відіграє істотну роль в радіаційному балансі Землі, і, отже, у регулюванні клімату.

Спільний ефект прозорості атмосфери для більшої частини сонячного випромінювання, що проходить, і поглинання більшості відбитого планетою випромінювання молекулами води і CO_2 в атмосфері називають парниковим ефектом.

Вважають, що у другій половині ХХ ст.. температура Землі збільшувалася за кожні 10 років на $0,3^{\circ}\text{C}$. За даними підрахунків ООН до 2100 р.

температура зросте на 3°C . Це може призвести до танення льодовиків Антарктики, Арктики, що зумовить підняття рівня вод Світового океану на 2-3 метри і затоплення багатьох прибережних районів. Можуть зникнути під водою густонаселені міста і навіть цілі країни. Потепління спричинить істотну зміну клімату майже на всій планеті, це може мати негативні і навіть катастрофічні наслідки. Основні кліматичні зони змістяться на північ на 400 км. Настане потепління в зонах тундри, збільшиться посушливість у середніх широтах, де розвинуте зернове землеробство (деякі штати США, Україна, Кубань, чорноземні зони Росії). Клімат тут стане напівпустельним, що призведе до значного зниження врожаїв. Це потребуватиме змін в агро-техніці та реорганізації сільського господарства, що, за підрахунками японського вченого Д.Утідзіми, підвищить собівартість сільськогосподарської продукції на 10-20%.

Збитки заподіяні майбутнім потеплінням клімату, оцінюють приблизно в 10^{23} доларів. Людство не має таких коштів. А тому з метою запобігання впливу парникових газів на всесвітній конференції ООН у Токіо в 1998 р. було прийнято рішення про квотування викидів парникових газів. Це має на меті обмежити зростання викиду їх в атмосферу.

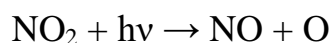
Смоги

Смог – атмосферне явище, яке настає при збігу відповідних метеорологічних умов і високому ступені забрудненості повітряного басейну. Розрізняють такі види смогів: фотохімічний (лос-анджелеський), димовий (лондонський) і крижаний (аляскінський).

Фотохімічний смог утворюється в ясну сонячну погоду при низькій вологості повітря, температурі $+30^{\circ}\text{C}$, повній відсутності вітру й високій забрудненості атмосфери. При фотохімічному смозі спостерігається поява блакитної димки або білуватого туману й пов'язане з цим погіршення видимості. Фотохімічні смоги – це сильне забруднення атмосферного повітря продуктами фотохімічних реакцій, які утворюються при взаємодії між собою різноманітних інгредієнтів викидів автотранспорту та промисловості при

їхньому опроміненні ультрафіолетовою радіацією (УФР). Багато реакцій, що відбуваються при цьому, сприяють створенню значно більш токсичних речовин, ніж початкові компоненти викидів. При цьому з домішками в атмосфері відбуваються такі перетворення: фотоліз (розкладання під дією світла), озоноліз (розкладання озоном), гідроліз (розкладання парами води), піроліз (розкладання нагріванням), окислення (реакції з киснем). У результаті над містом утворюється жовто-синя мгла, різко зменшується видимість, спостерігаються масові отруєння людей, загибель рослин.

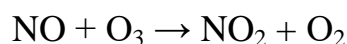
Найбільш характерною з фотохімічних реакцій є розкладання під впливом опромінення УФР ($h\nu$) діоксиду нітрогену на монооксид нітрогену з виділенням атомарного кисню



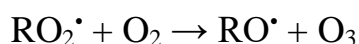
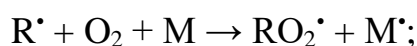
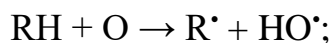
Атомарний кисень при наявності третьої речовини, спроможної поглинути енергію реакції, приєднується до кисню й утворює озон – забруднювач, який найбільш характерний для смогу:



Озон при реакції з NO утворює двооксид нітрогену і кисень



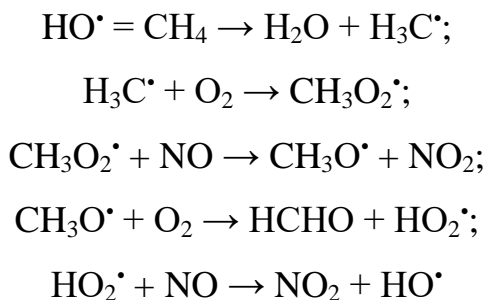
Атомарний кисень вступає у взаємодію і з іншими інгредієнтами викидів, при цьому утворюються вільні радикали R які також вступають у реакцію і дають нові активні органічні сполуки:



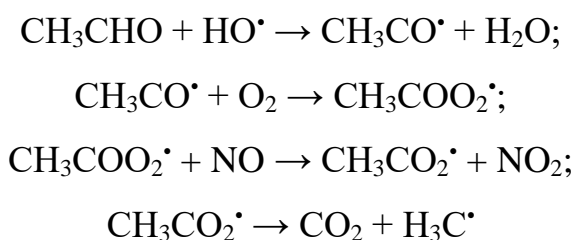
Ряд органічних сполук при взаємодії з оксидами Нітрогену утворюють нітрати, що менш леткі у порівнянні з вихідними речовинами. У результаті вони конденсуються й утворюють органічні аерозолі. Одним із них, наприклад, є пероксиацетилнітрат (ПАН):



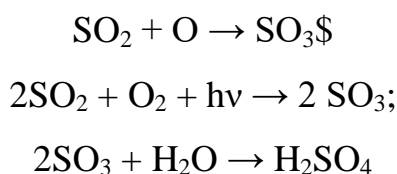
В процесах окислення вуглеводнів особливо слід відзначити роль радикала HO. Розглянемо на прикладі метану ці процеси:



Ці реакції показують перетворення оксиду NO в NO₂ і простого алкану типу CH₄ в альдегід, у даному випадку формальдегід (HCHO). Незважаючи на те, що реакція протікає в фотохімічному смозі, швидкість реакції радикала HO[•] з великими й більш складними органічними молекулами досить висока. Альдегіди також можуть зазнавати впливу радикала HO:



При наявності атомарного кисню під дією природної УФР ((hν) за участю сірчастого газу відбувається ще одна група реакцій, в результаті яких утворюється аерозоль сірчаної кислоти.



Таким чином при фотохімічних смогах утворюється велика кількість різноманітних фотооксидантів – озон, органічні пероксиди, нітрати, нітриси, ПАН, оксиди Нітрогену, Карбону, вуглеводні, альдегіди, кетони, феноли тощо.

Вперше фотохімічний смог проявився в Лос-Анджелесі. Цьому сприяли насиченість району підприємствами хімічної, нафтохімічної, металургійної, харчової промисловості й автотранспортом, високий рівень ультрафіолетової радіації протягом всього року, велика повторюваність інверсій (близько 260

днів на рік), що перешкоджають перемішуванню у приземному прошарку атмосфери, переважання малих швидкостей вітру, розташування міста в невеликій западині рельєфу. Як показали дослідження атмосферного повітря в Лос-Анджелесу, при фотохімічних смогах концентрація O_3 майже в 20 разів перевищує її максимальне значення у хвойних лісах і на морських узбережжях.

Існує висока кореляція між ростом фотооксидантів в атмосфері і початком руху автотранспорту. Автотранспорт, сучасна промисловість поставляють таку кількість фотооксидантів, що можна говорити про потенційну можливість утворення фотохімічних смогів у будь-якому місті. Проте фотохімічні смоги утворюються не скрізь. Вирішальним є надходження природної УФР у сполученні з небезпечними метеорологічними умовами, що сприяють досягненню концентрацій фотооксидантів у приземному прошарку до розвитку в них фотохімічних реакцій. В зв'язку з цим необхідно враховувати кліматичні умови можливого розвитку смогів. Особливе місце при цьому займають дослідження природної УФР. Якщо нам відомий режим УФР, можна виділити смогонезбезпечні райони. При підвищеному рівні УФР необхідно з метою запобігання фотохімічному смогу знижувати викиди фотооксидантів. При цьому важливо не тільки урахування середніх значень УФР, а й знання їхніх миттєвих величин, які враховують як прозорість атмосфери так і фактичну хмарність.

Димовий смог (лондонського типу) формується при вологості повітря близько 100%, температурі $0^{\circ}C$, тривалій штильовій погоді та високій концентрації продуктів спалювання твердого і рідкого палива (SO_2 , CO , сажа). Спостерігається частіше за все, у осінне-зимовий період, характерний для помірних широт з вологим морським кліматом. Смог отримав назву після катастрофи, яка відбулася у грудні 1952 р. у столиці Великобританії у зв'язку з високою забрудненістю атмосфери й тривалим штилем протягом двох тижнів. У цей період різко збільшилося число легеневих та серцево-судинних захворювань, смертність зросла більш ніж в 10 разів (близько 4000 людей).

Димові смоги являють собою суміш туману і диму, що утворився в результаті викидів у атмосферу при спалюванні палива, роботи хімічних підприємств. При туманах або стані атмосфери, близькому до насичення повітря водяною парою, димові викиди зменшують видимість і сприяють конденсації атмосферної вологи.

Техногенні викиди, що містять розчинні гази (наприклад сірчистий) і гігроскопічні аерозолі, розчиняються у тумані. Туман, який абсорбував оксиди Нітрогену, Сульфуру та ін., уже складається з крапель не води, а різноманітних кислот. Він має велику токсичність. Зазвичай це спостерігається при уповільненому повітрообміні, що перешкоджає розвитку турбулентної дифузії і створює небезпечні метеорологічні умови. Утворенню димових смогів сприяють позитивні температури повітря, наявність великого числа низьких викидів, що утворюються, наприклад, при великій кількості автотранспорту, а також при пічному опаленні приватних будинків. Особливо смоги посилюються при спалюванні вугілля з високим вмістом Сульфуру, що в сполученні з промисловими викидами збільшує картину смогу.

Завдяки прийнятому урядом Великої Британії спеціальному Закону про чисте повітря забруднення атмосфери значно знизилося. Так, в період 1952-1970 рр. викиди сажі при опаленні житлових будинків зменшилися з 130 тис. т на рік до 10 тис. т, а від промислових підприємств від 50 тис. т до 5 тис. т на рік. Сильний туман, який висів над Лондоном протягом двох тижнів у грудні 1972 р., цього разу не мав таких серйозних наслідків для населення.

Смог типу лондонського характерний і для інших міст Атлантичного узбережжя. В Україні такий смог спостерігається в приморських містах Маріуполь, Одеса та ін..

Крижаний смог характерний для міст північних широт. Він утворюється при антициклонах, температурах нижче -30°C , повному штилю, високій вологості повітря й наявності потужних джерел забруднення атмосфери. При низькій температурі каплі водяної пари перетворюються в кришталіки льоду

розміром 5-10 мкм й зависають у повітрі у вигляді густого білого туману, видимість зменшується до 8-10 м. На кристаликах льоду адсорбуються частинки і молекули пилових викидів і аерозолів. Під дією сили гравітації кристалики льоду опускаються в приземні шари. Дихання в такому тумані стає неможливим.

Для України такий смог не характерний.