Экологиялық химия

Дәріс 7

Тақырып:Атмосфераның төменгі қабаттарының химиясы және оларың ластану мәселелері.

Атмосфераның қалыптасуы жердің қалыптасуы үрдісімен бірге жүрді.

Кейбір геологиялық үрдістер, мысалы жанартаулардың атқылауы кезіндегі лаваның ағуы жер қойнауынан бірқатар газдардың бөлінуімен қатар жүреді. Олардың құрамына: азот, аммиак, метан, су буы, көміртегі оксиді, (II) иіс газы және көміртегі диоксиді (көмірқышқыл газы). Күннің ультракүлгін радиациясының әсерінен су буы оттегі мен сутегіне ыдырайды, ал бөлініп шыққан оттегі көміртегі оксидімен реакцияға түсіп, көмірқышқыл газын түзеді. Аммиак азот пен сутегіне ыдырайды. Сутегі диффузия үрдісінің нәтижесінде жоғары көтеріліп, атмосферадан тыс кетеді, ал неғұрлым ауыр азот, тарап кете алмағандықтан жинала береді.

Ульракүлгін сәулелер мен электр зарядтарының әсерінен жердің бастапқы атмосферасында болған газдар жиынтығы химиялық реакцияға түсіп, амин қышқылдар сияқты органикалық заттар түзеді. Қарапайым өсімдіктердің пайда болуымен оттегін бөлетін фотосинтез үрдісі жүреді. Бұл, әсіресе диффузиядан кейін атмосфераның жоғарғы қабаттарына өтіп, оның төменгі қабаттары мен Жердің беткі қабатын өмірге қауіпті ультракүлгін және рентген сәулелерінен қорғайтын болды. Фотохимиялық үрдістердің нәтижесінде планеталардың атмосфералық құрамы өзгереді. Әсіресе ол жер атмосферасына қатысты, себебі ол азот пен басқа да инертті газдармен қатар, оттегі мен тотыққан қосылыстардың әркелкі қоспасын, сутегі, H_2, метан CH_4, көміртегі монооксиді CO, күкіртсутегі H_2S болып табылады. Бір жағынан әркелкілік биологиялық үрдістермен ұсталады. Бірақ негізгі фактор түрлі химиялық реакциялар жүретін күн радиациясы болып табылады. Аса жоғары биіктікте қысқа толқынды сәулелену фотоионизацияны тудырады, оның нәтижесінде атмосфераға иондар өтеді.

Атмосферада иондалған газдың болуы алысқа радиобайланысты жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Адам әрекетінің нәтижесінде атмосфераға өткен кейбір заттар, әсіресе автокөліктің бөліп шығарған газдары фотохимиялық айналымдарды басынан өткеріп, нәтижесінде улы заттар пайда болады. Көмірсутегі мен азот монооксидінің NO жартылай жану өнімдері жарықта оттегімен реакцияға түсіп, өсімдіктер мен жануарлар үшін улы озонды, улы зат азот диоксидін NO_2 , өсімдіктер үшін улы және көздің шырышты қабатын тітіркендіретін пероксиацетилнитрат, және көру қабілетін нашарлататын күйе бөлшектерін түзеді.

Көптеген фотохимиялық үрдістер заттың жарықты сіңіруінен басталады. Ол атомдары мен молекулаларының электрондарының жоғарғы энергетикалық деңгейге өтуіне, яғни басқаша айтқанда олардың қозған күйге өтуіне әкеледі.

Олар негізінен қозған және олар қатыса алатын үрдістерде болған кезге қарағанда осындай атомдар мен молекулалар өздерін басқаша ұстайды, кәдімгі «жылулық» химиялық реакциялардан ерекшеленеді.

Көрінетін жарық квантын сіңіру барысында молекула энергиясы химиялық байланыстар энергиясымен салыстыруға келеді. Сондықтан молекула химиялық өзгеруді басынан кешіруі мүмкін, өздігінен болмаса басқа молекуламен өзара әрекеттесу нәтижесінде.

Тропосферада ауа температурасы жоғарғы жақта орташа есеппен 100 м. 0,5 °С азаяды. Тропосферада ауа температурасы мына ракциямен шектеледі: $CO_2 \xrightarrow{h\nu} CO_2^*$

Қозған молекулалар басқа молекулалармен соқтығысқан кезде энергия жоғалта отырып, трпосфераның температурасын шашамен 20 °С көтереді.

Фотосинтез фотохимиялық реакциялардың бір түрі болып табылады. Фотосинтез күрделі қоспалардың пайда болуына септігін тигізеді. Фотосинтез реакциясына мысал ретінде:

• атмосфераның жоғарғы қабаттарындағы озон фотосинтезі, қорғаныш озон қабатын құрайтын: фотодиссоциация, фотосинтез.

• көмірқышқыл газ, су, минералды заттар, өсімдіктерден тұратын органикалық қосылыстардың фотосинтезі. Соның ішінде, глюкоза синтезін келесі реакциямен беруге болады: $6CO_2 + 6H_2O = C_6H_{12}O_6 + 6O_2$, ол тек қана күн энергиясымен хлорофилдің қатысуымен жүреді.

Атмосферадағы оттегі мен озонның фотохимиясы. Озонның қалыптасу және бұзылу механизмі. Қазіргі уақытта озонның жалғыз негізгі көзі оттегі болатыны анықталды. Ғалымдар озонды қалыптастырудың бір механизмі және бұзудың бірнеше механизмні ұсынып отыр. (И. К. Ларин, РҒА химиялық физиканың энергетикалық мәселелері институты, 2000 ж.).

Атмосфералық озонның түзілуінің және бұзылуының табиғи жағдайдағы I Механизмін 1930 жылы ағылшын геофизигі Сидни Чепмен ұсынды. Чепмен мезанизмі аталған бұл схема 4.2.1. суретінде көрсетілген. Чепменге сәйкес, озонның түзілуі қысқа толқынды ультракүлгін сәулеленуінің әсерінен молекулярлық оттегінің еркін екі атомына фотохимиялық ыдырауынан басталады. (3.2.1 суретінің 1 және 2 қара):

$$O_2 \xrightarrow{h\nu} O + O,$$

Ондағы hν — *жарық* кванты. Осыдан кейін атомдардың оттегі молекулаларына қосылуы жүреді және озонның екі молекуласы пайда болады. *(*4.2.1 сур. 3 және 4):

$$O + O_2 \rightarrow O_3; \; O + O_2 \rightarrow O_3$$

Осылайша, үрдіс нәтижесін мына теңдеу түрінде көруге болады:

$3O_2 \rightarrow 2O_3$.

O_2 атомдарға фотодиссоциациясы толқын ұзындығы $\lambda < 242$ нм болатын УК сәулелену әсерімен жүретіні анықталды, осыған орай бұл үрдіс 30 шақырым биіктікте жүреді, себебі қысқа толқынды күннің сәулесі төменге өте алмайды.

4.2.1 суретінде Чепмен бойынша атмосфералық озонның бұзылуы көрсетілген, онда пайда болған озонның молекуласы УК сәуленің әсерінен оттегінің атомы мен молекуласына ыдырайды. (4.2.1 сур. 5 және 6)

$O^3 + h\nu \rightarrow O + O_2; \qquad \lambda < 310$нм.

Пайда болған оттегінің бос атомы озонның молекулаларымен өзара әрекеттесіп, оттегінің екі молекуласын түзеді. (4.2.1 сур. 7 және 8)

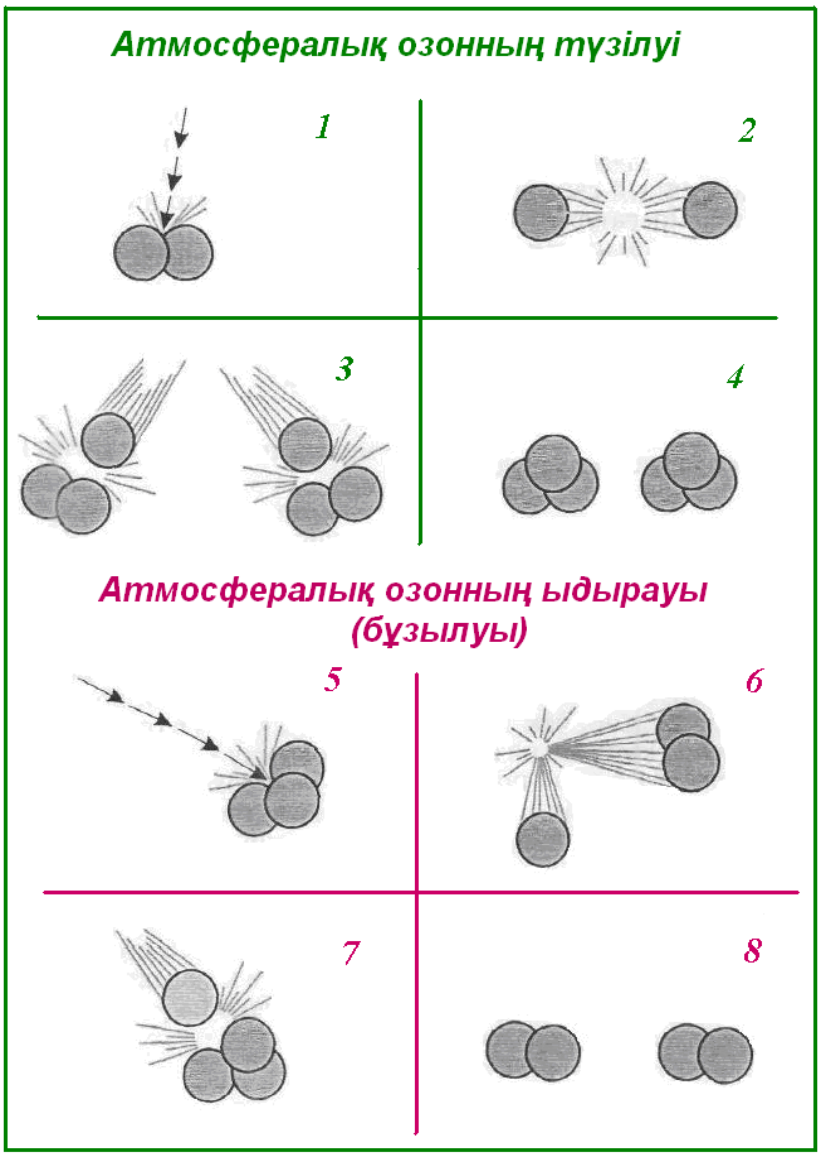
$O + O \rightarrow O_2 + O_2$

Нәтижесінде әлдеқашан пайда болған оттегінің молекулалары, атомдары молекулаларға бірігеді.

Озонның бұзылу үрдісін келесі теңдеу арқылы көрсетуге болады:

$2O_3 \rightarrow 3O_2$.

Озонның пайда болу және бұзылу рекциясының қосындысы нөлге тең. Антропогендік ластаушылар болмаған жағдайда оттегі - озон жүйесі тепе-теңдікте тұрады. Оған осы газдардың нақты концентрациясы сәйкес келеді. Сіңірілген күн сәулесі жылуға өтеді, стратосферадағы температураның өсуі осымен түсіндіріледі.



4.2.1 сурет – Атмосфералық озонның түзілу (1-4) және бұзылу (5-8) механизмі (I механизм) (С.Чемпен, 1930ж.)

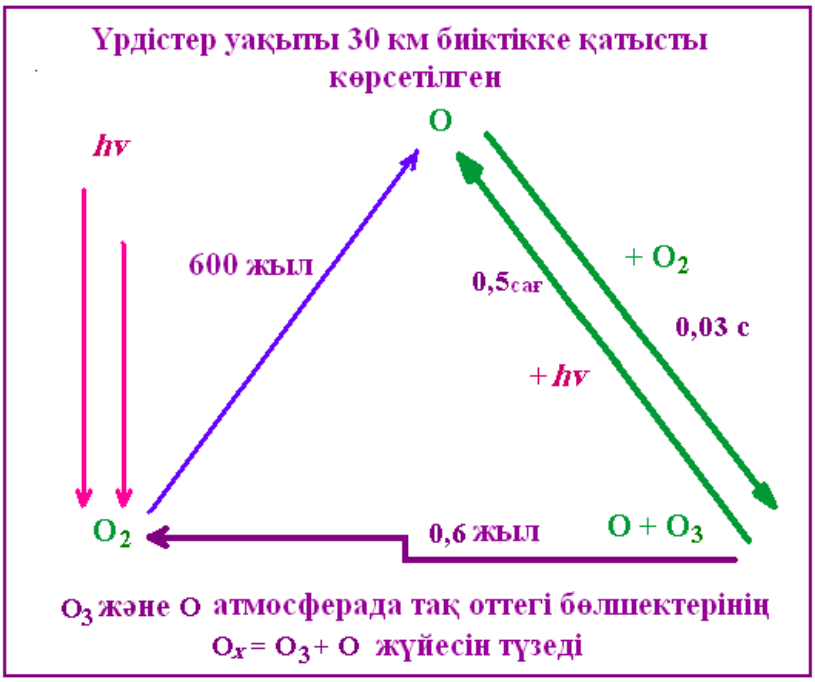
Атмосфералық озонның бұзылуының II Механизмі келесі реакцияларда:

$O_3 + O_3 \rightarrow 2O + 2O_2$

$O + O \rightarrow O_2$

Соңғысында озонның молекулалары емес, оттегінің атомдары қозғалады.

Атмосфералық озонның бұзылуының III Механизмі былайша түсіндіріледі: оттегі атомы мен озон молекулалары атмосферада тығыз байланысты бөлшектер жүйесін құрайды, ол тақ оттегі деп аталады, ондағы О атомдары мен O_3 молекулалары ажыратылмайды. Шындығында, 3.2.2 суретінде көрсетілгендей, озонның бұзылуына дейін, ол 30 шақырым биіктікте 0,6 жыл болады, O_3 мен О *арасында өзара ауысу жүреді, онда тақ оттегінің бөлшектері* $O_x = O_3 + O$ сақталады.



4.2.2 сурет - Атмосфералық озонның бұзылуының III Механизмі.

4.2.4 суретінде молекулярлық оттегінің тіршілік ету уақыты 600 жыл екені көрсетілген. Одан пайда болған күннің сәулесінің әсері арқылы атомдық оттегі бірден оттегімен қосылып, озон молекуласын түзеді. O_3 атом мен оттегінің молекуласына УК сәуле арқылы ыдырауы суретте қарама-қарсы белгіленген бағыттағышпен көрсетілген.

Атмосфералық озонның бұзылуынынң IV Механизмі келесі негізгі реакциямен көрсетілген:

$O_3 + O \rightarrow 2O_2$.

Барлық антропогендік және табиғи қосылыстардың әрекеттері осы реакцияны тездетеді.

Атмосфералық озонның бұзылуынынң V Механизмі реакцияны тездету үрдісін сипаттайды.

Тездету тақ оттегінің бұзылуының негізгі реакциясының параллель жолдарының пайда болуымен байланысты.

$O_3 + O \rightarrow 2O_2$

$+ X \rightarrow XO + O$, мұнда X = OH, NO, C1, Br және басқалары

X бөлшектерінің қатысуымен өтетін үрдістер тізбек механизмі бойынша өтеді. Нәтижесінде стратосферада пайда болған хлордың бір атомы озонның жүз мыңдаған молекуласын жойып жібере алады.

Атмосфералық озонның бұзылуынынң VI Механизмі осы үрдістің тізбек механизмі бойынша жүруін көрсетеді.

Тізбекті бастайтын белсенді химиялық X бөлшектерінің пайда болуы, (OH, N0, C1, Br).

1) Тізбектің жалғасу кезеңдері:

$X + O_3 \rightarrow XO + O_2$; а)

$XO + O \rightarrow X + O_2$ б)

Нәтижелі реакция: $O_3 + O \rightarrow 2O_2$,.

Озонның бұзылуының тізбектік реакциясын тудыратын X белсенді бөлшектері ретінде гидроксильді радикалдар OH, азот оксидінің молекулалары (II) NO, азот атомдары, хлор мен бром болып табылады. Олар O_3 химиялық реакцияға түсіп, жоғары реакциялық беймділігі бар аралық XO қосылысын түзеді, ол өз кезегінде оттегі атомымен өзара әрекетке түседі. Осының нәтижесінде реакцияның ақырғы өнімі - O_2 молекулярлық оттегі пайда болады. Берілген

реакциялардан көргеніміздей, белсенді бөлшектер үрдісті жылдамдатады, ал реакцияның соңына қарай химиялық жағынан өзгеріссіз қалады, бұдан шығатын қорытынды олар озонды бұзу үрдісінің катализаторлары болып табылады.

3) Х химиялық белсенді бөлшектері жоғалуы мүмкін, белсенді емес жағдайға немесе басқа қосылыстарға ауысуы мүмкін. Бұл тізбектің үзілуі болып табылады. Озон белсенді түрде 2000 және 3000 Е шамасында УК сәулелерді сіңіреді, бұл сәулелер атмосфераны қыздырады. O_3 молекуласы тұрақсыз, қолайлы жағдайда ауадағы белгілі бір концентрацияда өздігінен бірнеше секундттарда O_2 айналады. Температураның өсуі және қысымның түсуі екі атомды жағдайға ауысудың жылдамдығын арттырады. Үлкен концентрацияларда ауысу жарылыс сипатына ие болуы мүмкін. Озон - өте күшті тотықтырғыш, оттегінің екі атомына қарағанда реакцияға бейім болып келеді. Барлық металдарды (алтын, платина, иридийден басқасын) тотықтырады. Оксидтердің тотығу дәрежесін арттырады. Атмосферадағы озон жер атмосферасының күн радиациясын сіңіруін анықтайды. Атмосферадағы озонның негізгі массасы озоносфера қабаты түрінде болады. Озон қабаты жоғарғы атмосферада орналаса отырып, қалқан қызметін атқарады, күннің УК сәулелерінен қорғайды. Бұл қалқансыз жер бетіндегі даму мүмкін болмас еді.

Метанның қатысуымен фотохимиялық реакциялар. Метанның атмосферадағы қызметі туралы қарастыруды метанның жоғалу үрдісінен бастайық. Метанның молекулалары тұрақты болып келеді, сондықтан да оны атмосферадан шығару оңай емес. Метан тез ерімейді, 1 литр суда 30 $см^3$ газ ериді. Оны атмосферадан шығару жауын-шашын арқылы шығарылмайды. Атмосферадан шығару үшін метанды ұшқыш емес қосылыстарға не болмаса газ тәрізді қоспаларға айналдыру керек. Басқа да қоспалар сияқты метан, ОН радикалымен реакцияға түсу арқылы ғана атмосферадан шығады:

$$OH + CH_4 = H_2O + CH_3$$

ОН радикалы – химиялық үрдістердің анағұрлым реакцияға бейімделгіш бөлшек болып табылады. ОН радикалық тропосферадағы негізгі көзі – тропосфералық озон (O_3) болып табылады. УК жарықтың көмегімен тропосфералық озонның молекулалары оттегі молекуласы мен оттегі атомына ыдырайды:

$$O_3 + h\nu = O_2 + O^*$$

Отегі атомы сутегі мен судың бір атомын алып, ОН екі радикалын түзеді:

$$O^* + H_2O = 2OH$$

Сонымен, метанды атмосферадан шығару реакциясы мынадай:

$$OH + CH_4 = H_2O + CH_3,$$
$$CH_3 + O_2 = CH_3O_2,$$
$$CH_3O_2 + NO = CH_3O + NO_2,$$
$$CH_3O + O_2 = CH_2O + HO_2,$$
$$HO_2 + NO = OH + NO_2,$$
$$2[NO_2 + h\nu = NO + O],$$
$$CH_4 + 4O_2 = CH_2O + H_2O + 2O_3$$

Қалыптасқан формальдегид молекулалары жаңа циклдарға бастама болатын келесі үш реакцияға қатыса бастайды:

$$CH_2O + h\nu = H_2 + CO,$$
$$CH_2O + h\nu = H + HCO,$$
$$CH_2O + OH = HCO + H_2O$$

Екінші және үшінші реакция азот оксидінің қатысуымен жүретін келесі циклдарға бастама болады, осының нәтижесінде озонның екі молекуласы мен OH_2 радикалы пайда болады. Формальдегидтің ОН радикалымен реакциясы озонның түзілуінн әкеледі:

$CH_2O + OH = HCO + H_2O$,
$CH_2O + 2O_2 + h\nu = CO + O_3 + H_2O$

Осылайша, метанның аз санына қатысты көп сатылы үрдісінің нәтижесінде озонның салыстырмалы көп мөлшері пайда болады.

Азот оксидінің фотохимиялық үрдістері. Атмосферада NO мен NO_2 мөлшері олардың қатысуымен реакция жүргізуге болатын мөлшерде болады. Азоттың жалпы мөлшерінің 65 пайызы топырақтың азоты бар микроорганизмдерінің қызметінің нәтижесі болып табылады, 25% -ы аммиактың өнеркәсіптік синтезіне келеді. Қалған бөлігі 10 пайызы азоттың жану нәтижесінде түзіледі. Азот оксидінің қатысуымен жүретін фотохимиялық реакциялар атмосфераның жоғарғы қабатында да күн радиациясының тікелей әсерімен жүреді. Стратосфераның осы заттармен ластануы ұшақтар мен зымырандардың реактивті қозғалтқыштарының жұмыстарының нәтижесінде болады. Оған қоса, УК радиациясының әсерінен ауа азотының тотығу үрдісі жүріп, оның өнімдері NO және NO_2 болып табылады. Онымен озонның деструкциялану үрдісі байланысты, оған қоса, онда осы заттардың каталитикалық ролі анықталады:

$O + NO_2 = NO + O_2$
$NO + O_3 = NO_2 + O_2$

Соңғы жылдардағы зерттеулер атмосферадағы азоттың шала тотығының біртіндеп артуын көрсетеді. Бұл орташа уақытта N_2O молекуласы атмосферада 180 жыл болады:

$N_2O + O = N_2 + O_2$,
$N_2O + O = 2NO$

Осылайшы, азот оксиді – маңызды фактор, бізді қоршаған атмосфераның жағдайын және тіршілік етудің сыртқы жағдайын анықтайды. Бірақ, бұл зат қуатты ішкі биореттегіш болып табылады.

Атмосфера ылғи да өсімдіктердің және жануарлардың микроорганизмдерінің ыдырау нәтижесінде пайда болатын биохимиялық газдармен CH_4 және басқа да көмірсулар, CO_2, N_2, H_2S, H_2, O_2толықтырылып отырады. Тау жыныстарына жоғары темпаратуралардың әсерінен, қысымның әсерінен атмосфераға химиялық газдар (CO_2, H_2S, H_2, CH_4, CO, N_2, HCl, HF, NH_3, SO_2), оған қоса, жанартау өнімдері және радиоактивті ыдыраудың газ тәрізді өнімдері бөлінеді (He, Ar, Kr, Xe, Rn).

Атмосфераның жоғарғы қабаттары – ол атмосфераның 50 шақырым және одан жоғары қабаттары, ауа-райының құбылмалы өзгерістеріне тәуелді емес қабаттары болып табылады. Мұндай биіктікте ауа сирек болып келеді. Атмосфераның жоғарғы қабатына мынадай жерден тыс құбылыстар әсер етеді: күн және ғарыш радиациясы, олардың әсерінен атмосфералық газ иондалып, ионосфераны құрайды. Атмосфераның жоғарғы қабаттарының қатарына мезосфера, термосфера, ионосфера жатады.

60, 300, тіпті 1000 шақырым биіктіктегі орналасқан атмосфераның жоғарғы қабаттары да өзгеріске ұшырайды. Мұнда қатты жел тұрып, боран соғып, тіпті полярлық нұр шашу сияқты электрлік құбылыстар байқалады.

Аты аталған феномендердің болуы күн сәулесінің ағымымен, ғарыштық сәулеленумен, жердің магниттік өрісімен байланысты. Атмосфераның жоғарғы қабаттары – бұл химиялық зертхана, себебі вакуумға жақын жағдайда кейбір атмосфералық газдар күн сәулесінің қуатты энергиясының әсерінен химиялық реакцияға түседі. Осы өзара байланысты құбылыстар мен үрдістерді зерттейтін ғылым атмосфералық жоғарғы қабаттар физикасы деп аталады.

Ауада ылғи да озон болады, жердің бетіндегі оның концентрациясы орта есеппен 10^{-6} % құрайды.

Озондық «экран» стратосферада орналасқан, полюстарда шамамен 7-8 шақырым биіктікте, экваторда 17-18 шақырым биіктікте, ал жер бетінен 50 шақырым биіктікте орналасқан. Жер бетінен 22-24 шақырым биіктіктегі озон қабаты қоюырақ болып келеді.

Озон қабаты өте жұқа болады. Егер осы газды жері бетіне жинақтаса, онда қалыңдығы 2-4 мм болатын жұқа қабықша болар еді. Дегенмен де, осы қабықшаның өзі бізді берік қорғап тұр. Қауіпті УК сәулелерді өзіне сіңіріп тұр. Онсыз тіршілік тек қана өте терең су астында не болмаса радиация өте алмайтын топырақта ғана болар еді. Озон жердің инфрақызыл сәулеленуін де сіңіріп алады. Осының арқасында ол жердің сәулеленуінің 20 пайызын ұстап қалады, сөйтіп атмосфераның жылыту әрекеттерін арттырады.

Озон – белсенді газ, адам ағзасына жағымсыз әсер етуі мүмкін. Әдетте төменгі атмсоферада оның концентрациясы өте төмен болып келеді, сондықтан да адмға аса зиян емес. Озонның көптеп жиналуы үлкен қалалардағы автокөлік құралдарының бөліп шығарған зиянды газдарының нәтижесінен болады.

Озон, оған қоса, ғарыштық сәулелену қатаңдығын бақылап отырады. Егер бұл газ жартылай болса да жойылса, сәулелену қаттылығы бірден өседі, осыдан келіп, өсімдік және жануарлар әлемі үлкен өзгерістерге ұшырайды. Озонның жойылуы не болмаса аз концентрациясы рак ауруына шалдықтыратыны дәлелденді.

Озон қабаты жер бетін Күннің зиянды УК сәулелерінен қорғап тұрады. Көптеген жылдар бойы озон қабатының жер шарының кейбір адам тығыз орналасқан аумақтарында кішігірім, бірақ тұрақты түрде әлсіреуі байқалып отыр. Ал Антарктида үстінен үлкен «озон тесігі» анықталған.

Озонның бұзылуы УК сәулелердің әсерінен, ғарыштық сәулелерден, бірқатар газдардың: азот, хлор, бром, фторхлоркөміртегі (фреондар) қосылыстарының әсерінен жүреді. Озон қабатының бұзылуына адам әрекетінің кері әсер етуі өте үлкен алаңдаушылық туғызуда. Сондықтан да көптеген елдер озон қабатын ластайтын өндірісін қысқартуға бағытталған халықаралық келісімшарттарға қол қоюда. Бірақ озон қабатын реактивтік авиация мен ғарыш кемелерінің ұшуы да бұзады.

Озонды бұзатын заттар:

• хлорфторкөмірсулар (ХФУ, халықаралық белгісі CFC — chlorofluorocarbon), фтортрихлорметан $CFC1_3$ сияқты (ХФУ-11, немесе CFC-11), дифтордихлорметан CF_2C1_2 (ХФУ-12, немесе CFC-12) және т.б.;

• фторхлорбромкөміртегі, басқаша галондар деп аталатын дифторхлорбромметан CF_2C1Br (галон-1211) және трифторбромметан CF_3Br (галон-1301) сияқты;

• гидрохлорфторкөміртегі (ГХФУ, халықаралық белгісі — HCFC), ондағы сутегінің барлық атомдары галогендермен ауыстырылмаған. (мысалы, дифторхлорметан $CHC1F_2$);

• метилбромид CH_3Br, метилхлороформ CH_3CC1_3 (МХФ) және төртхлорлы көміртегі $CC1_4$ (ТХК).

Аты аталған заттардың ішіндегі озон қабатының бұзылуына *ХФК және галондер септігін тигізеді.*.

Озон қабатының әлсіреуінің бірнеше себептері көрсетіледі:

- біріншіден, ғарыш кемелерінің ұшырылуы. Жанып жатқан отын озон қабатында үлкен тесіктерді қалдырады. Бұрындары бұл тесіктер өздігінен қалпына келеді деп болжалатын. Ал шындығында ол олай емес. Ол тесіктер өте узақ уақытқа дейін тұрады.

- екіншіден, ұшақтар. Әсіресе, 12-15 шаырым биіктікте ұшатын ұшақтар, олар бөлетін бу мен басқа да заттар озон қабатын бұзады. Бірақ 12-15 шақырым биіктікте ұшатын ұшақтар озонды көбейтіп отырады. Ол қалалардағы фотохимиялық тұмшаның құрамдас бөлігі болып табылады.

- үшіншіден, азот тотығы. Оларды сол баяғы ұшақтар бөледі, бірақ дегенмен де топырақтың беткі қабатына азотты тыңайтқыштар себу кезінде.

- төртіншіден, бұл хлор мен оның оттегімен қосылуы. Бұл газдың аса көп мөлшері ауаға таралады, көбінесе фреондардың ыдырауынан. Фреондар жердің беткі қабатында ешбір газбен химиялық реакцияға түспейтін газдар, бөлме температурасында қайнайды, сондықтан да өз

көлемін ұлғайтады. Олардың кеңеюі барысында температурасы түсетіндіктен, фреондар мұздату өнеркәсібінде кеңінен қолданылады.

Әрбір жыл сайын жер атмосферасында фреонның көлемі 8-9% өсіп келеді. Олар біртіндеп стратосфераға көтеріліп, күн сәулесінің әсерімен белсенді болып, химиялық реакцияға түсіп, атомдық хлор бөледі. Хлордың әрбір бөлшегі озонның сан мыңдаған молекуласын жояды.

Озон қабатына антропогендік әсері келесі тізбектік реакциялармен көрсетілген:

1. биікте ұшатын ұшақтар мен зымырандар бөлетін газдар

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2,$$

$$NO + O_2 \rightarrow NO_2 + O,$$

$$NO_2 + O_3 \rightarrow \dot{N}O_3 + O_2,$$

$$H_2O \xrightarrow{h\nu} \dot{O}H + \dot{H},$$

$$\dot{O}H + O_3 \rightarrow H\dot{O}_2 + O_2,$$

$$\dot{H} + O_3 \rightarrow \dot{O}H + O_2.$$

2. Фреондар (hν = 175–220 нм)

$$CCl_3F \xrightarrow{h\nu} \dot{C}FCl_2 + Cl,$$

$$CF_2Cl_2 \xrightarrow{h\nu} \dot{C}F_2Cl_2 + Cl,$$

$$CHCl_2F \xrightarrow{h\nu} C\dot{H}ClF + Cl.$$

Cl еркін атомдары озонмен өзара әрекеттесіп, озон қабатының жойылуына септігін тигізеді:

$$Cl + O_3 \rightarrow O_2 + \dot{C}lO; \quad O_3 \rightarrow O_2 + O; \quad Cl\dot{O} + O \rightarrow \dot{C}l + O_2.$$

80 шақырым биіктікте ионосферада фотоионизация реакциясы жүреді:

$$N_2 \xrightarrow{h\nu} N_2^+ + e; \quad O_2 \xrightarrow{h\nu} O_2^+ + e; \quad O_2^+ \xrightarrow{h\nu} O^+ + O$$

Бұл молкулярлық иондар ион молекулярлық реакцияға түседі. Бұл бөлшектердің негізгі түрге ауысуы нұр шашудың негізгі себебі болып табылады. Бұл реакциялар қозған атомдар мен молекулярлық иондардың негізгі түрге ауысу реакцияларымен толықтырылады. $O^* \rightarrow O + h\nu$ (қызыл және жасыл бөліктері) және $N_2^{+}{}^* \rightarrow N_2^+ + h\nu$ (күлгін және көк бөліктері).

1975 ж. бастап стратосфералық озон Антарктида үстінде көктем айларында біртіндеп түсе бастады. 1980 ж. ортасында оның шоғырлануы 40 пайызға төмендеді. Озон қабатының тесігі туралы айтуға әбден болатын еді. Оның өлшемі шамамен АҚШ аумағындай болатын еді. Сол кездің өзінде Солтүстік полюс пен оңтүстікке қарай озон тесіктері пайда бола бастады.

1985 ж. жердің озон қабатын сақтап қалу үшін Вена конвенциясы қабылданды, ол кейіннен 1987 ж. Монреаль хаттамасымен толықтырылды. Бүгінде озон қабатына қатысты зиянды фреондарды өндіруге тиым салынған.

Алайда атмосфераға өтіп кеткен фреондар ауада 600 бен 400 жыл аралығында жүре алады. Кейбір сараптама бағаларына қарағанда, жер атмосферасындағы озонның мөлшері 8 пайызға азайған. Ал азаю жылдамдығы жылына 0,5 пайызды құрайды.

Ғаламшардың озондық қабатының қазіргі әлсіреуі 2 алып озон маусымдық тесігінің болуынан көрінеді.

1990 жылдары зиянды УК сәулеленуге қарсы табиғаттың қорғанысы бұрынғы КСРО аймағының барлық аумағының үстінде әлсірегені таңқаларлық емес. Осылайша, 1995 ж. қаңтар айының екінші жартысынан бастап Сібір территориясының үстінен озондық құбылыстар байқалды, ол ақпан-наурыз айларында Қырымнан Камчаткаға дейінгі аумақты қамтыды.

УК радиациясының мөлшерінің артуынан рак, мелонома, катаракта не бомаса ағзаның қорғаныш қабілеті төмендеуімен ауырған адамдар саны күрт өсті. УКР мұхиттың экожүйесіне кері әсер етеді. Тірі организмдерге зияны жағынан УКР ионды сәулеленуге жақын, бірақ g-сәулеленуге қарағанда толқыны ұзын болғандықтан ұлпаларға терең өте алмағандықтан тек қана беткі қабатын ғана зақымдай алады. УК ДНК мен органикалық молкулаларды бұза алатын жеткілікті энергияға ие. Ол тері рагын, меланоманы, катаракта мен иммундық қасиетінің төмендеуіне әкеп соғады.

УК сәуле қарапайым тері және көздің шырышты қабатының күйігін тудыруы мүмкін. УК сәуле сумен өте әлсіз сіңіріледі, сондықтан да теңіз экожүйесіне тигізер зияны өте үлкен. Зерттеулер, теңізді беткі қабатында жүретін планктондар УК сәуленің көбеюі кезінде зақымдалуына не болмаса толығымен жойылға әкелетінін көрсетті. Планктон барлық теңіз экожүйесінің азық тізбегінің негізі болғандықтан, асыра сілтеусіз теңіздер мен мұхиттардың беткі қабатындағы тіршілік атаулы жойылып кетуі мүмкін деуге болады. Өсімдіктер УК сәулеге төзімді болып келеді, дегенмен де мөлшері көбейген жағдайда олар да төтеп бере алмасы анық.