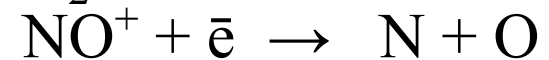
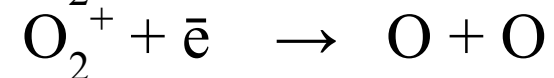
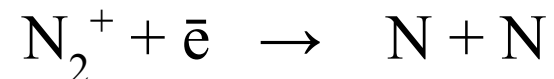


В ионосфере на высотах 90-200 км основными первичными ионами являются ионы N_2^+ , O_2^+ , O^+ , образующиеся в результате поглощения нейтральными частицами N_2 , O_2 , и O наиболее коротковолнового излучения (80-135 нм) с последующей ионизацией.

Заряженные частицы в ионосфере исчезают в результате реакций диссоциативной рекомбинации:



Основной вклад в процессы на высоте менее 90 км вносят отрицательные ионы и гидрат-ионы $H^+(H_2O)_n$, $n = 1, 2, 3$.

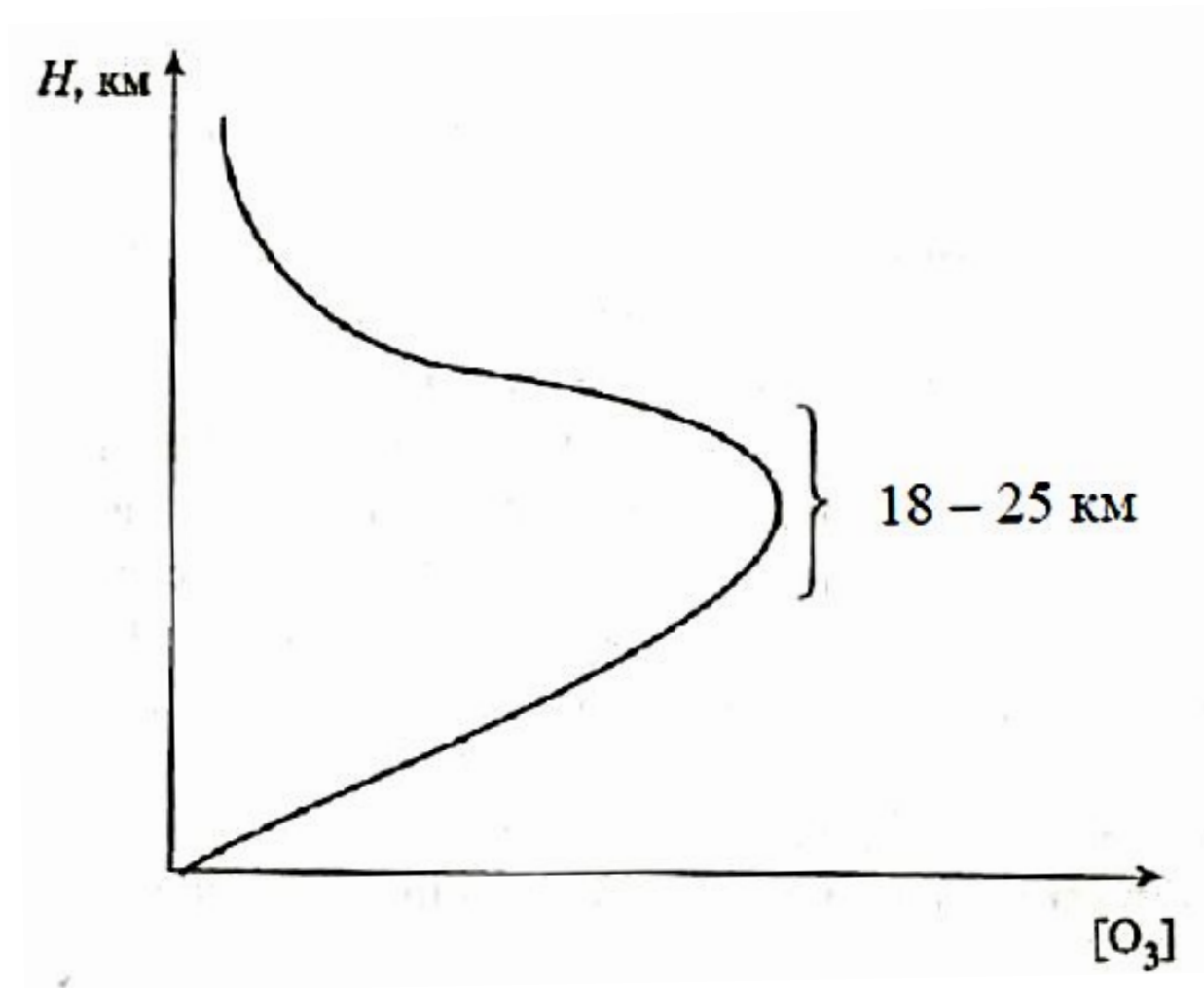


Рис. 4. Изменение содержания озона в атмосферном воздухе в зависимости от высоты над поверхностью Земли

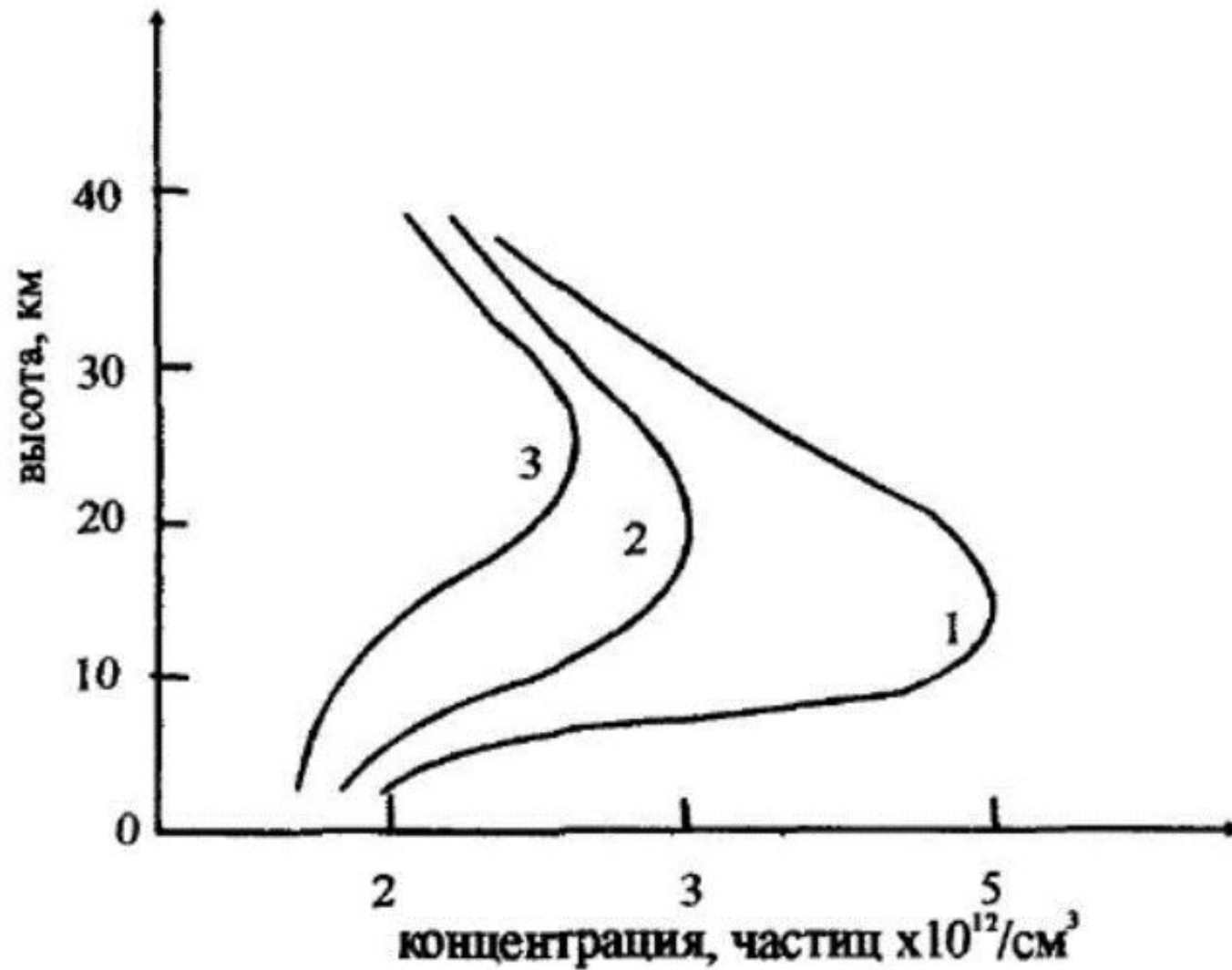
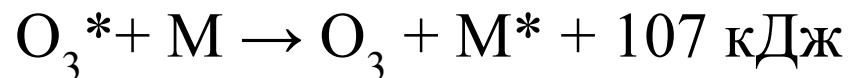
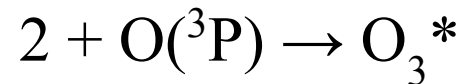


Рис. 5. Схема вертикального распределения озона в разных широтных зонах: 1- полярная зона (13-15 км); 2 – средние широты (19-21 км; 3 – тропики (24-27 км).

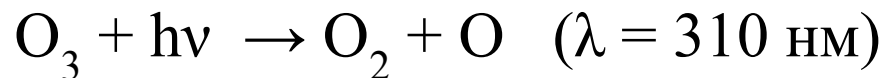
В стратосфере, на высотах менее 50 км, происходит образование озона по реакции:



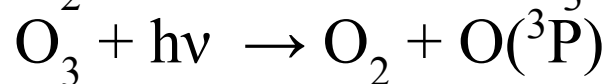
Наряду с процессом образования озона в атмосфере происходит его расходование в реакции взаимодействия с атомарным кислородом:



и в результате фотохимического разложения:

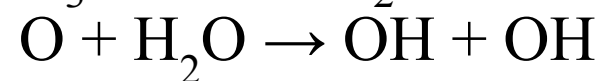
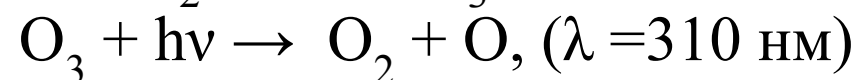
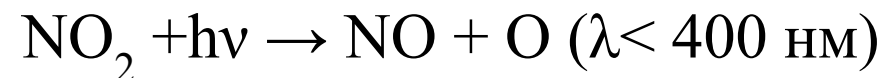


Реакции

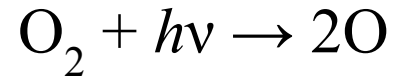


называют нулевым циклом озона.

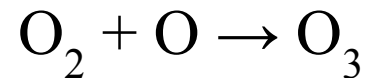
Основной вклад в его образование гидроксильного радикала дают реакции с участием тропосферного озона, образующегося в результате фотохимических реакций с участием оксидов азота:



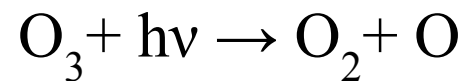
Впервые цепочку образования и распада озона предложил Сидни Чепмен (1930). Сначала под воздействием солнечной радиации происходит фотодиссоциация кислорода:



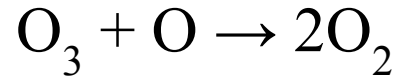
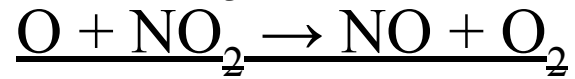
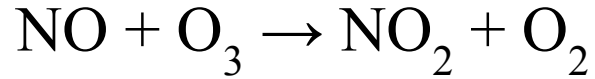
Затем молекулярный кислород взаимодействует с атомарным кислородом с образованием озона:



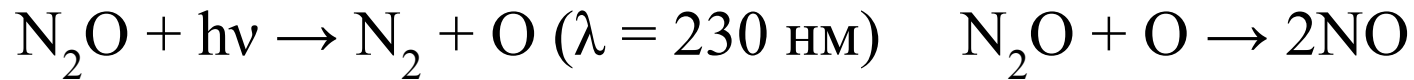
Далее при взаимодействии с ультрафиолетовым излучением Солнца происходит фотолиз молекул озона с образованием молекул и атомов кислорода:



Реакции азотного цикла с участием оксида азота (II):

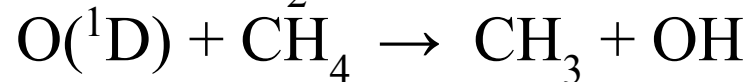
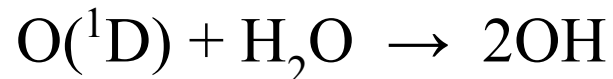


Оксид NO в стратосфере образуется из оксида азота (I) по реакциям

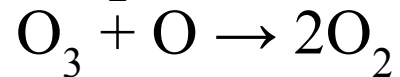
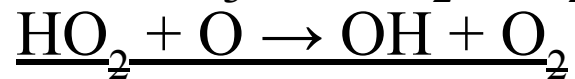
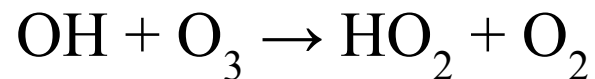


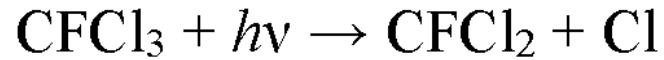
Водородный цикл – реакции разложения озона с участием гидроксильных радикалов, которые образуются при фотохимическом разложении молекул воды под действием излучения с длиной волны менее 240 нм:

$\text{H}_2\text{O} + h\nu \rightarrow \text{OH} + \text{H}$, а также при взаимодействии молекул воды и метана с возбужденным атомом кислорода:

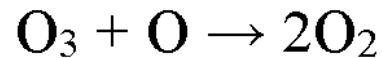
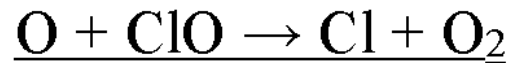
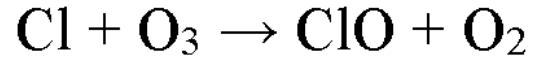


Реакции водородного цикла:

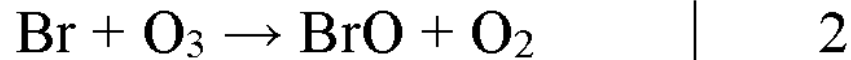




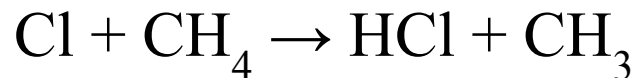
Это дает толчок к хлорному (бромному) каталитическому циклу. Таким образом, в реакциях хлорного цикла



и бромного цикла



Взаимодействие хлора и метана приводит к образованию хлороводорода:



Гидроксил может реагировать с диоксидом азота:



Доля в расходовании озона различных химических семейств на разных высотах

Давление, гПа	азотное	кислородное	водородное	галогеновое
1,31	0,10	0,26	0,41	0,21
3,78	0,50	0,14	0,11	0,25
8,93	0,68	0,11	0,08	0,13
21,9	0,46	0,12	0,19	0,20
55,8	0,12	0,03	0,48	0,14

Атмосферные галогеносодержащие вещества

Вещества	Концентрация, млрд ⁻¹	Общее содержание в атмосфере, Т/г	Время существования, лет	Источник
CFCl_3	0,268	6,2	50	антропогенный
CF_2Cl_2	0,503	10,3	102	антропогенный
CH_3Cl	0,600	5,0	1,5	океан
CH_3Br	0,120	0,15	1,3	океан

В загрязненной оксидами азота атмосфере метан вступает в сложную цепочку превращений с участием кислорода и паров воды:



Основными положениями Монреальского протокола были определены следующие действия, которые обязались предпринять подписавшие его страны:

- 1) производство фреонов 11, 12, 113, 114, 115 заморозить на уровне 1986 г. и, начиная с 1992 г., начать сокращение его производства;
- 2) производство галлонов (бромированных галогеналканов для тушения пожаров) ограничить на уровне 1986 г.

В 1990 г. Монреальский протокол был вновь пересмотрен. Страны, его подписавшие, взяли на себя следующие обязательства:

1) производство фреонов:

- сократить до 50 %, начиная с 1995 г.;
- сократить до 15 %, начиная с 1997 г.; - прекратить полностью к 2000 г.;

2) производство тетрахлорметана (четырёххлористого углерода, используемого в качестве растворителя):

- сократить до 15 %, начиная с 1995 г.;
- прекратить полностью к 2000 г.;

3) производство 1,1,1-трихлорэтана (используемого в качестве растворителя):

- сократить до 70 %, начиная с 1995 г.;
- сократить до 30 %, начиная с 1997 г.;
- прекратить полностью к 2005 г.

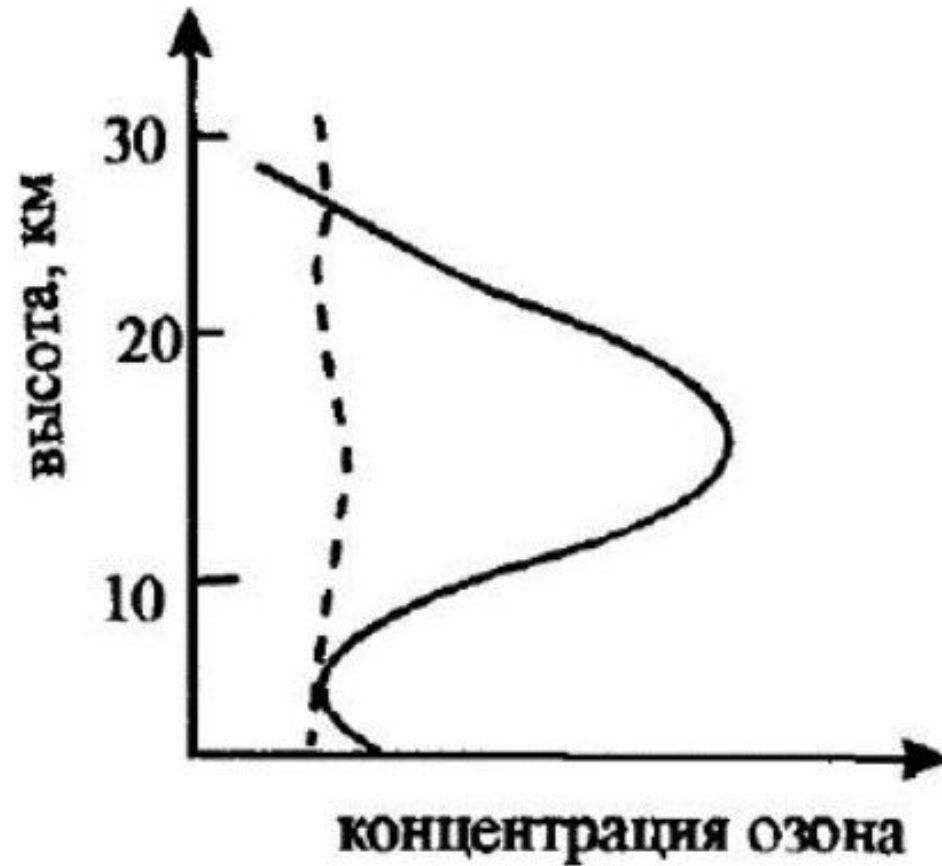


Схема вертикального распределения озона над Антарктидой для среднего состояния (сплошная линия) и в период весеннего уменьшения его содержания (пунктир).

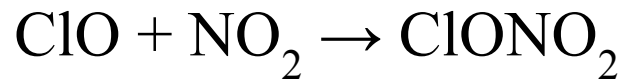
Причина образования озоновой дыры над Антарктидой комплексная:

- увеличение поступления хлорфторуглеводородов в атмосферу (антропогенный фактор).
- специфика движения воздушных масс в стратосфере высоких широт (полярный вихрь).

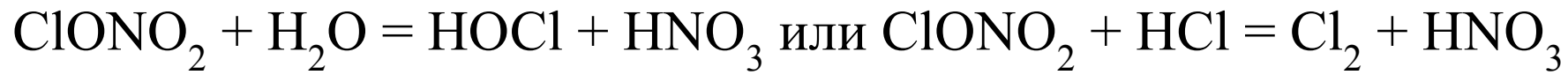
Последствия полярного вихря:

- прекращение обмена воздухом с другими областями стратосферы;
 - сток озона в тропосферу;
 - снижение температуры воздуха внутри вихря до $-70\dots-80$ °С;
- появление устойчивых аэрозольных образований - серебристых облаков, состоящих из аэрозолей - кристаллов льда и капель переохлажденной жидкости.

Образование хлористого нитразида:



Гетерогенные химические процессы на поверхности кристаллов льда:



Распад продуктов реакций под воздействием видимого излучения:



Особую роль в разрушении озона над Антарктидой играют димеры оксида хлора.

Эти соединения неустойчивы и при воздействии излучения разлагаются:



Суммируя все уравнения реакций димерного цикла, получим

