

ОЗОНОВЫЙ СЛОЙ ЗЕМЛИ

Заведующий лабораторией
Химической физики атмосферы
Института энергетических проблем
химической физики РАН
д.ф.-м.н., профессор
Ларин Игорь Константинович

О чём пойдёт речь...

- Краткая биография атмосферного озона
- Свойства молекулы озона
- История возникновения озонового слоя
- Каким образом озон защищает флору и фауну Земли
- Механизм образования и гибели озона в атмосфере
- Высотное и широтное распределение озона
- Естественные причины изменчивости озона
- Влияние антропогенных факторов на атмосферный озон
- Экологические последствия истощения озонового слоя
- Антарктическая озоновая дыра
- Решение проблемы истощения озонового слоя
- Последние достижения в области атмосферного озона
- Атмосферный озон в XXI веке
- Заключение

Краткая «биография» атмосферного озона (1)

1840 – Кристиан Шонберг (Christian Friedrich Schönbein) открывает озон, как вещество, содержащееся в нижней атмосфере и даёт ему название

1881 – Хартли (W.N. Hartley) обнаруживает, что озон поглощает солнечное ультрафиолетовое излучение с длиной волны, короче 290 нм

1907 год - Вигерт (Wiegert) обнаружил ускорение фотодиссоциации озона голубым светом в присутствии хлора

1920 год - Добсон (G. M. B. Dobson) создаёт спектрометр для натурных измерений общего содержания озона в атмосфере, которым пользуются и сегодня. Начинаются регулярные измерения

Краткая «биография» атмосферного озона (2)

1930 год - Чэпмена (S. Chapman) предлагает классическую теорию образования озона в атмосфере, позволяющую рассчитать высотный профиль озона

1973 год – Столярский и Цицерон (R. S. Stolarski and R. J. Cicerone) предлагают каталитический цикл гибели озона с участием хлорных частиц

1974 год – Молина и Роуданд (M. J. Molina and F. S. Rowland) выдвигают фреоновую теорию разрушения озонового слоя

1978 год - на американском спутнике NIMBUS-7 устанавливается спектрометр для исследования озона

Краткая «биография» атмосферного озона (3)

1985 год (22 марта) – принятие Венской Конвенции по охране озонового слоя

1985 год (май) – Фарман (J. C. Farman) открытие весенней Антарктической озоновой дыры

1987 год (сентябрь) – подписан Монреальский протокол, призывающий сократить производство фреонов на 50% во всём мире

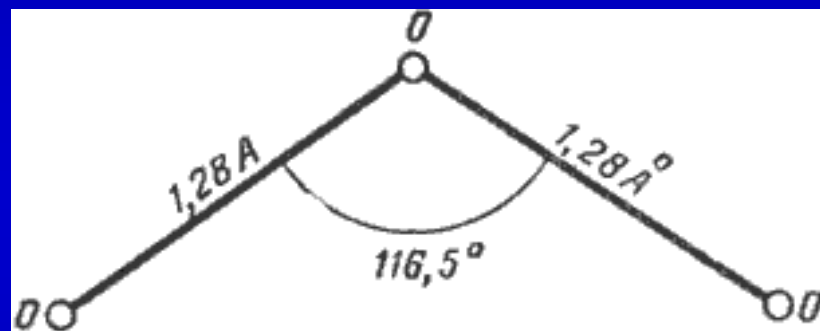
1995 год - М. Молина и Ш. Роуланд и П. Крутцен удостоиваются Нобелевской премии за установление причин снижения концентрации стратосферного озона

2008 год – Антарктическая озоновая дыра 16 сентября достигла размеров в 27 миллионов кв. км. Максимальная дыра была в 2006 году (27.5 милл. кв. км)

Свойства молекулы озона (1)

Чрезвычайно низкая энергия связи атомов в молекуле озона

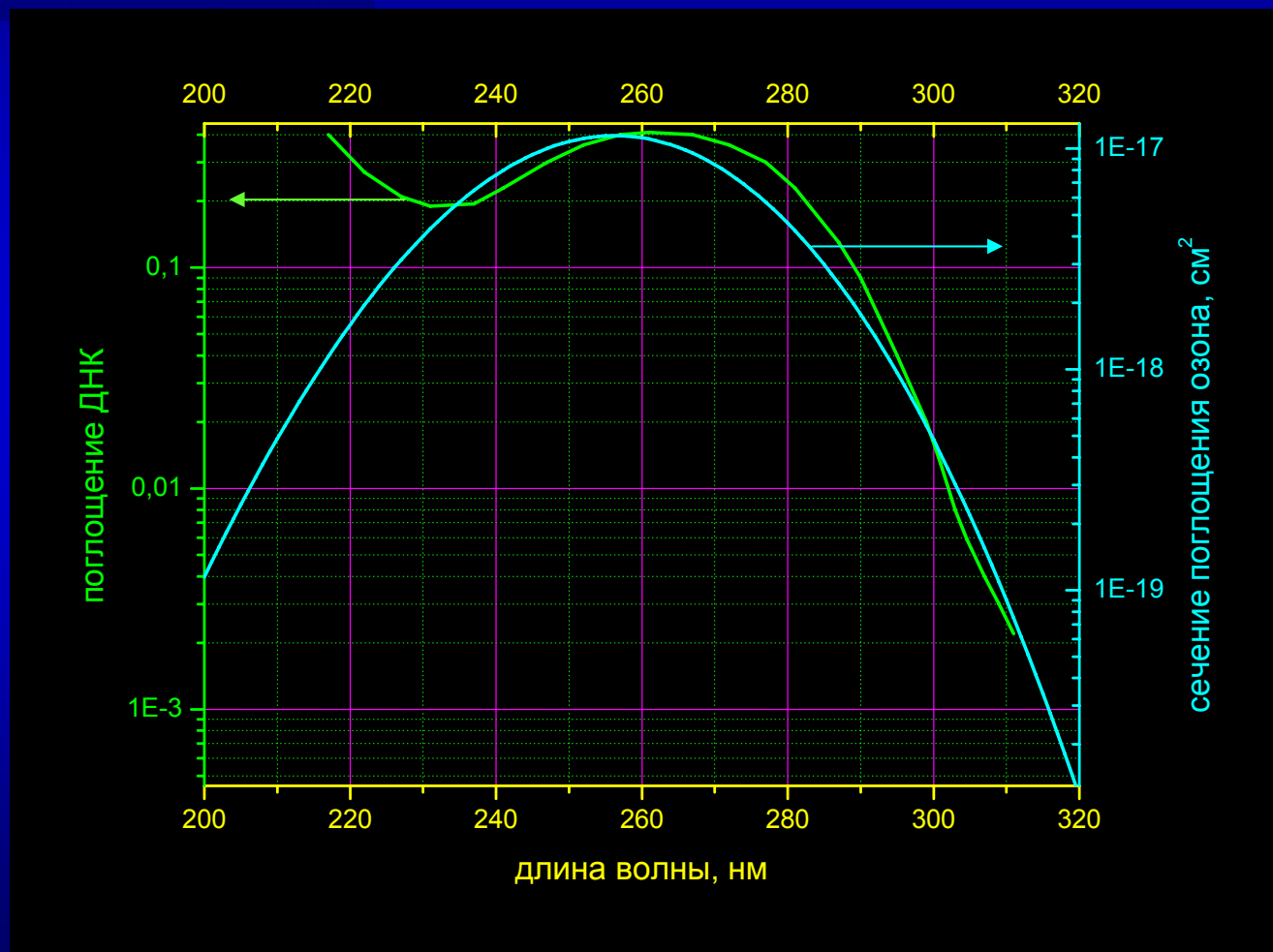
Структура молекулы



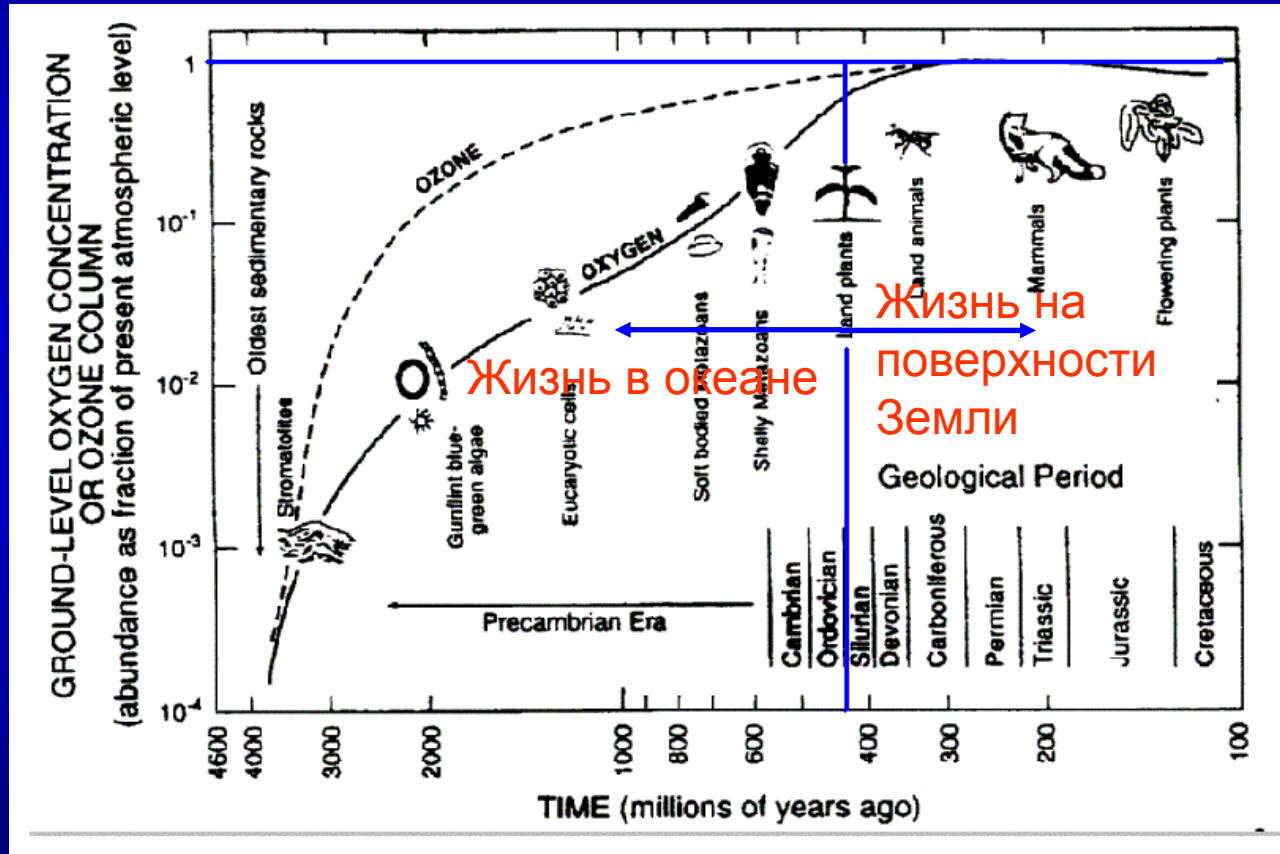
Энергия связи атомов в молекуле озона составляет 23, ккал на моль, что в пять раз меньше, чем в молекуле кислорода. Это приводит к тому, что молекула озона разваливается под действием даже видимого солнечного излучения.

Свойства молекулы озона (2)

- Способность поглощать биологически опасное ультрафиолетовое излучение Солнца

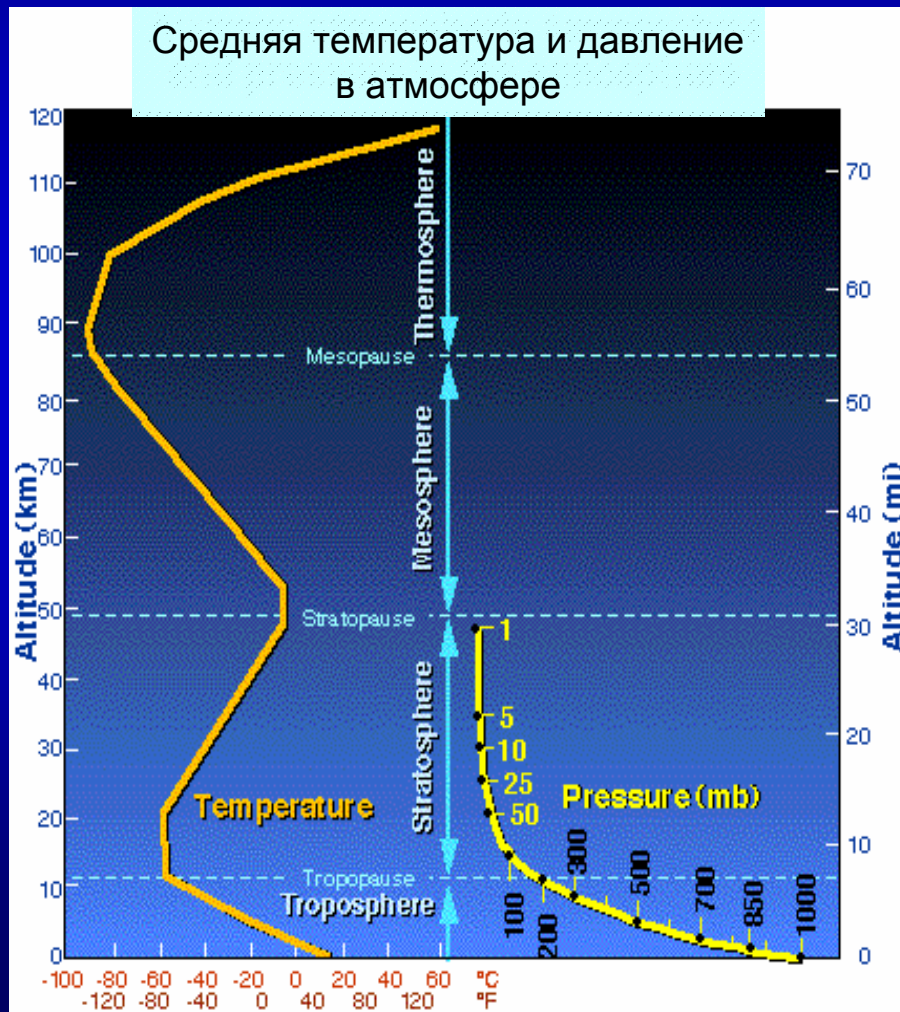


История возникновения озонового слоя



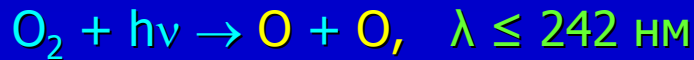
Стратификация атмосферы.

Зависимость температуры и давления от ВЫСОТЫ



Механизм образования озона в стратосфере

Практически единственным источником озона в стратосфере является фотодиссоциация молекулярного кислорода на атомы

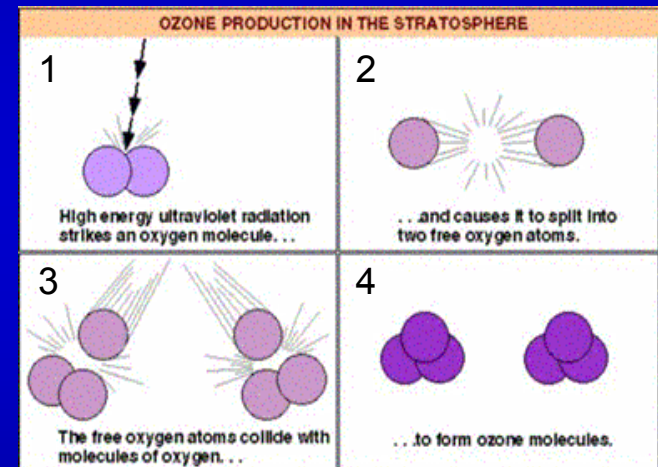


с последующим быстрым прилипанием атома к молекуле O_2 и образованием молекулы озона –



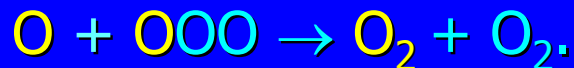
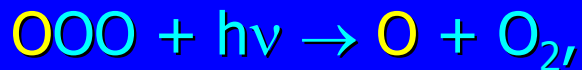
Этот процесс происходит на высотах более 30 км, поскольку ниже этой высоты коротковолновое солнечное излучение практически не проникает.

В результате в атмосфере возникают молекулы озона и атомы кислорода.



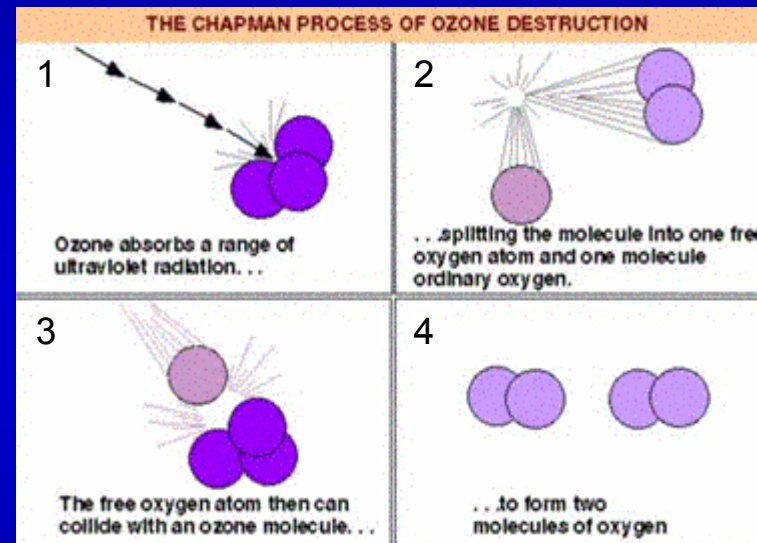
Механизм гибели озона в стратосфере (1)

Механизм гибели озона впервые предложил С.Чепмен в начале 1930-х годов:



В результате образовавшиеся когда-то из молекулы кислорода атомы вновь соединяются в молекулу.

Предложенный механизм впервые позволил рассчитать высотный профиль озона, т.е. концентрацию молекул озона на разных высотах, что стало чрезвычайно важным этапом исследований озонового слоя.

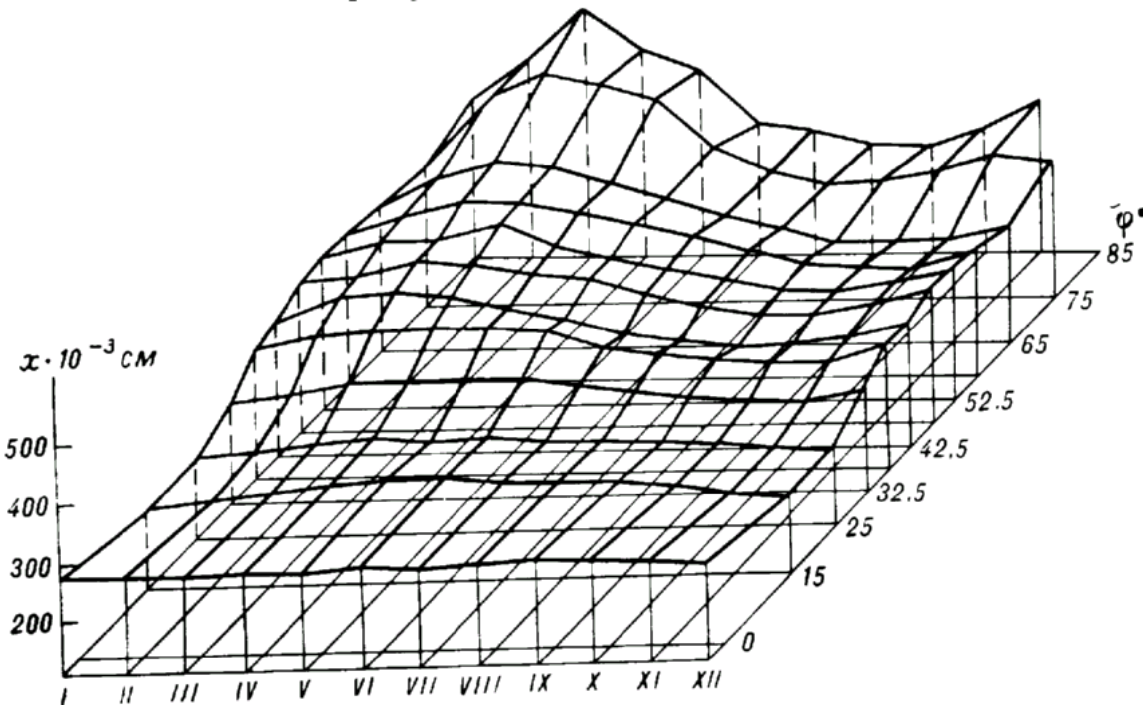


Механизм сезонных и широтных вариаций озона

Из приведенной схемы следует, что если бы после образования молекул озона можно было «выключить» Солнце, то накопленный озон сохранялся.

Такой механизм действует в естественных условиях. Он заключается в том, что образовавшийся в тропической стратосфере (где много света) озон процессами глобальной циркуляции переносится к полюсам, где в условиях полярной ночи происходит его накопление и сохранение.

Сезонные и широтные вариации атмосферного озона

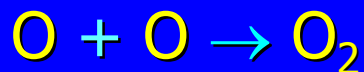
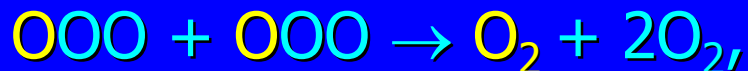


А.Х.Хргиан, Физика атмосферы. Госкомгидромет, Л., 1978 г.

Механизм гибели озона (2)

Помимо реакции $O + OOO \rightarrow O_2 + O_2$

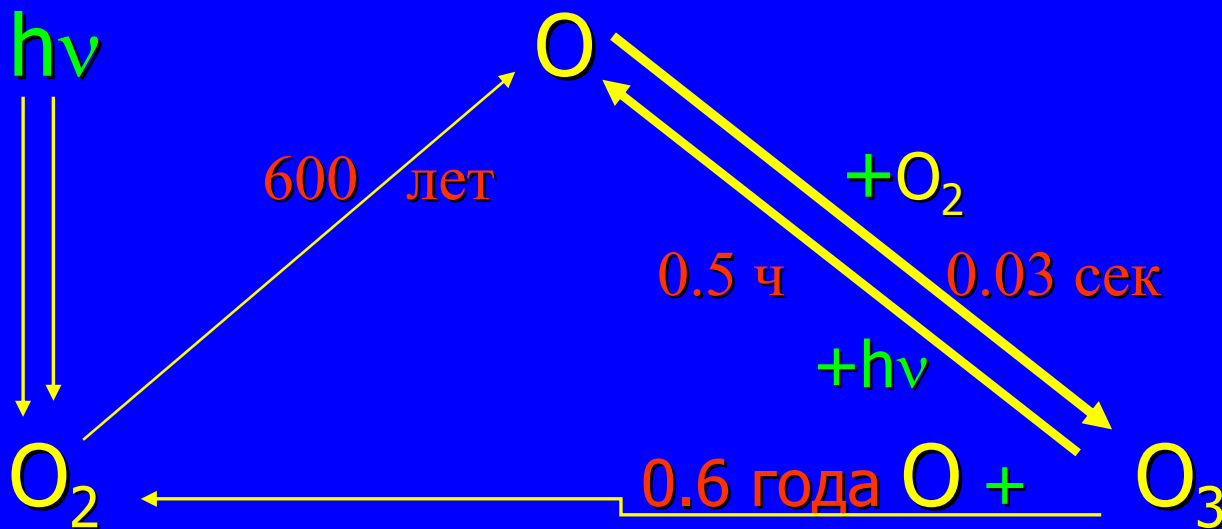
реакции



также приводят к гибели озона, хотя в последнем случае реагируют не молекулы озона, а атомы кислорода.

Механизм гибели озона (3)

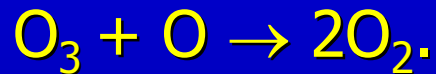
Времена процессов относятся к высоте 30 км



O_3 и O образуют в атмосфере систему частиц нечётного кислорода: $O_x = O_3 + O$.

Механизм гибели атмосферного озона (4)

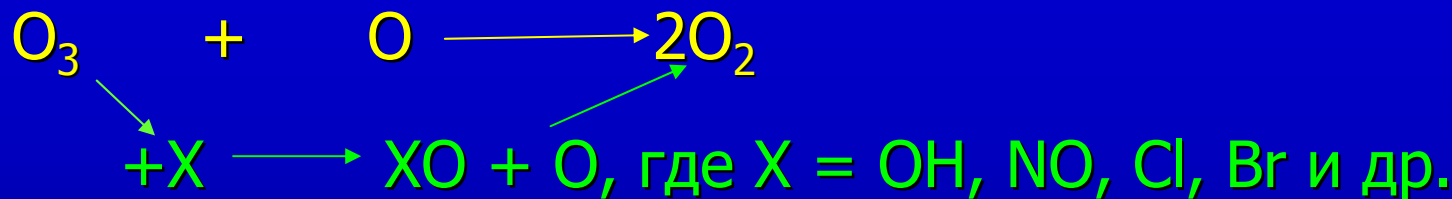
Из всего сказанного следует, что основной реакцией гибели частиц O_x в стратосфере является реакция



Действие всех других антропогенных и естественных соединений, способных разрушить атмосферный озон, обусловлено исключительно **УСКОРЕНИЕМ ЭТОЙ РЕАКЦИИ.**

Механизм гибели атмосферного озона (5)

Это ускорение связано с существованием более быстрых, параллельных основной реакции, путей гибели нечётного кислорода:

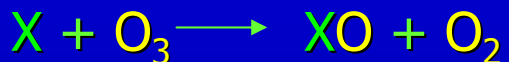


Механизм гибели атмосферного озона (6)

Цепной механизм разрушения стратосферного озона включает следующие стадии:

1. Образование химически активных частиц X , ведущих цепь ($X = OH, NO, Cl, Br$)

2. Стадии продолжения цепи:

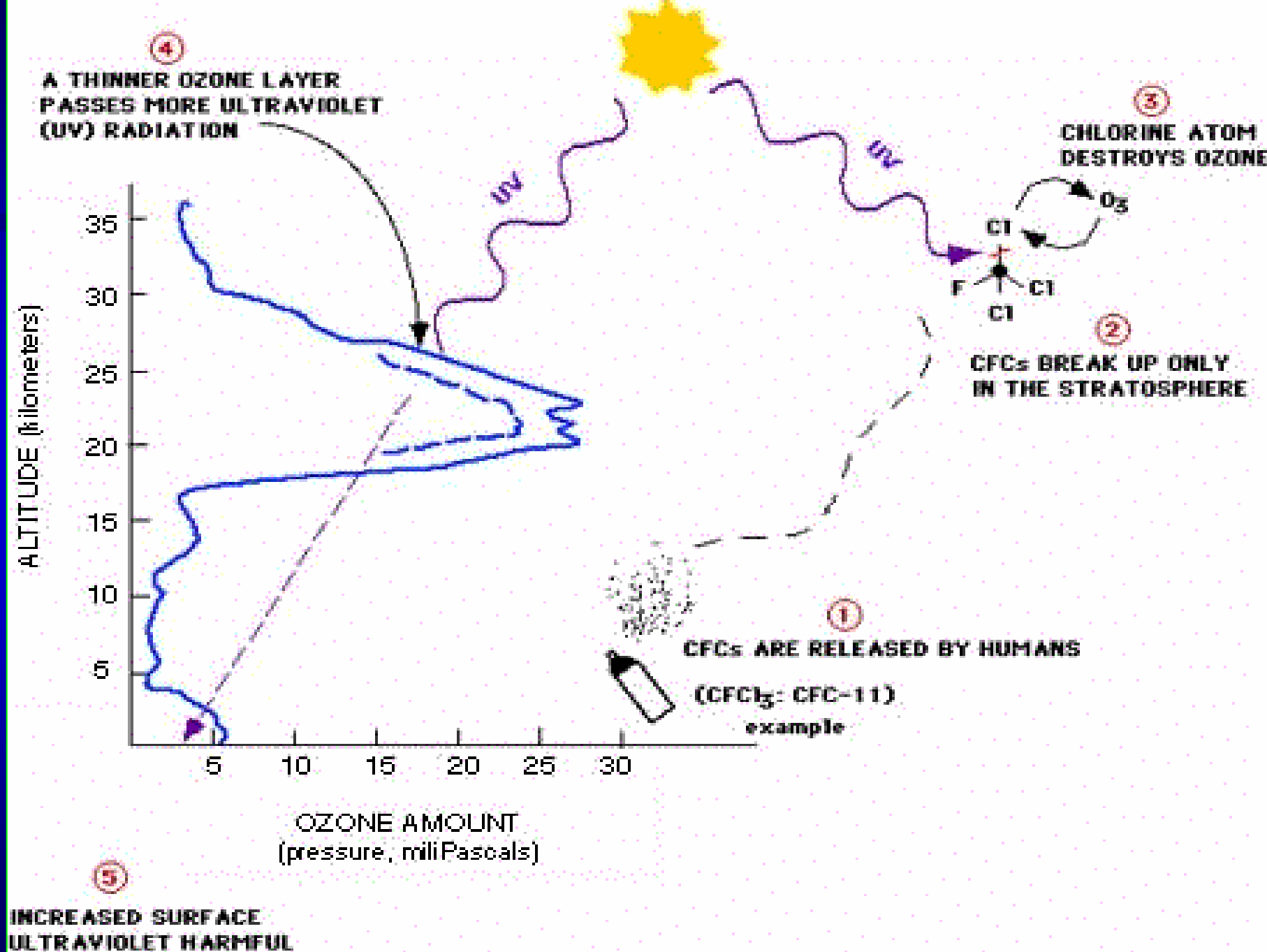


На этой стадии частицы X сохраняются, а O_3 и O гибнут



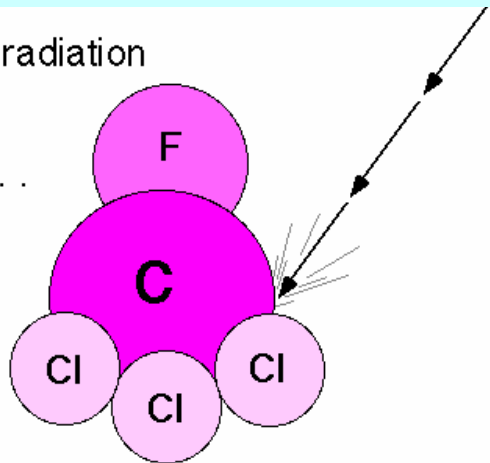
3. Гибель частиц X .

Отношение скорости продолжения цепи к скорости гибели частиц X определяет длину цепи процесса и число разрушенных молекул озона.



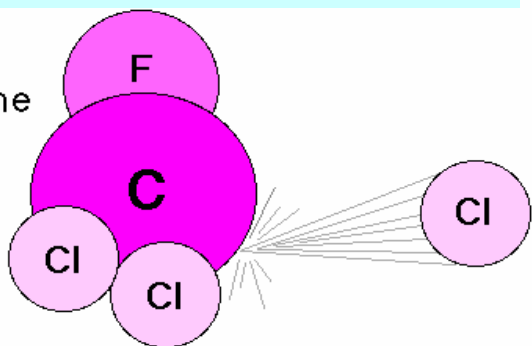
...и атакует молекулу фреона

Ultraviolet radiation strikes a CFC molecule. . .

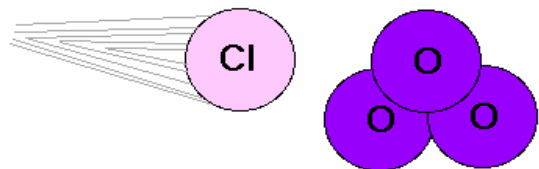


...и отщепляет от неё атом хлора

...and causes a chlorine atom to break away



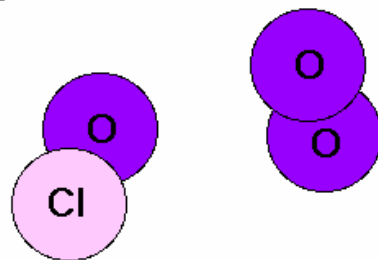
Атом хлора атакует молекулу озона



The chlorine atom collides with an ozone molecule. . .

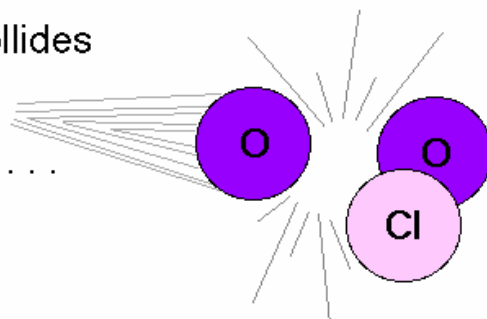
...и отщепляет от неё атом кислорода, образуя ClO

to form chlorine monoxide and leave a molecule of ordinary oxygen.



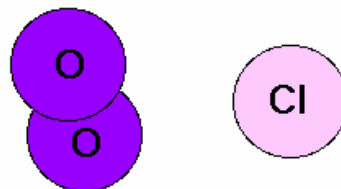
Теперь атом кислорода реагирует с ClO и отбирает у неё атом кислорода...

atom of oxygen collides with the chlorine monoxide . . .

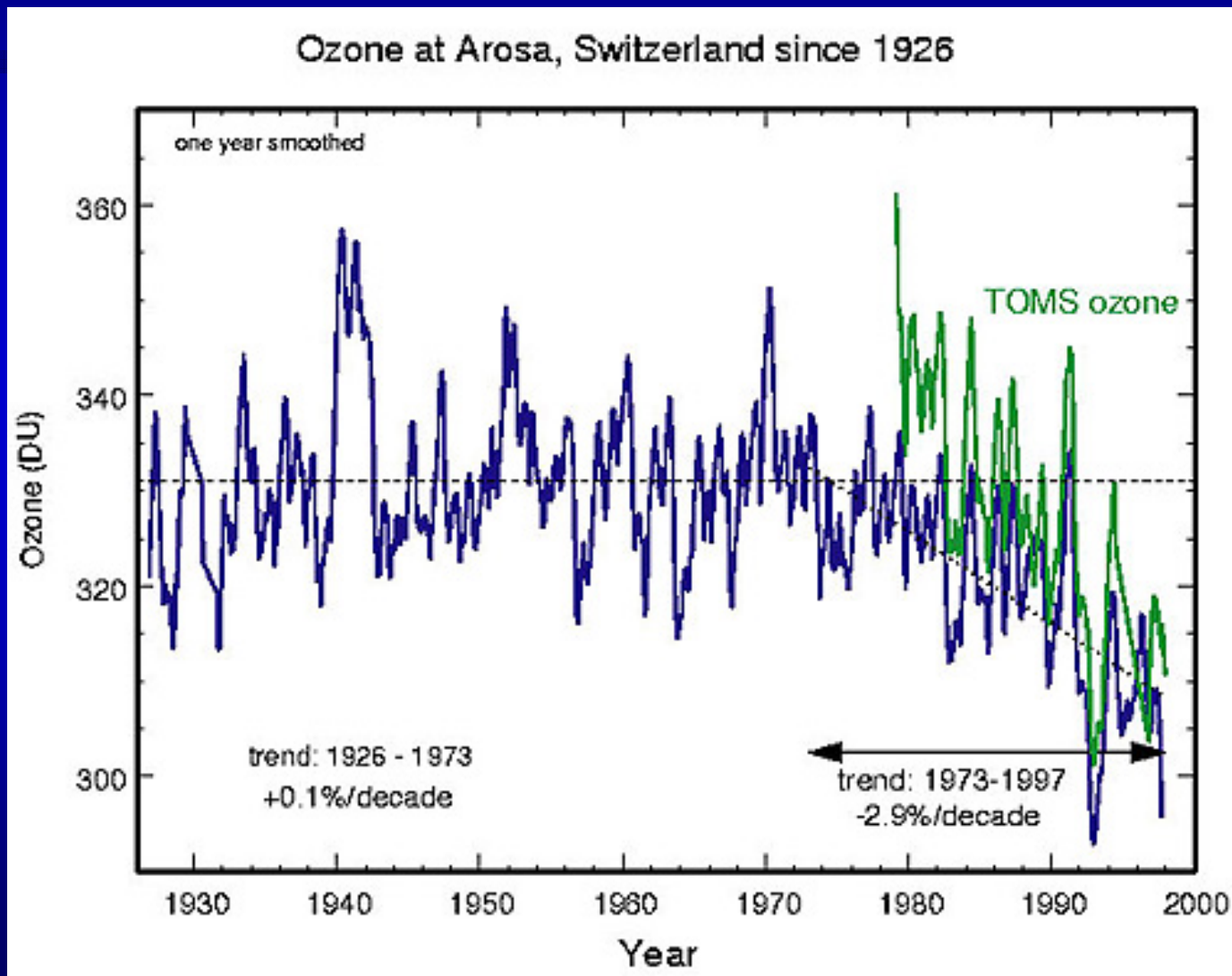


... образуя молекулу кислорода и свободный атом хлора, снова атакующий молекулу озона... И так миллион раз подряд...

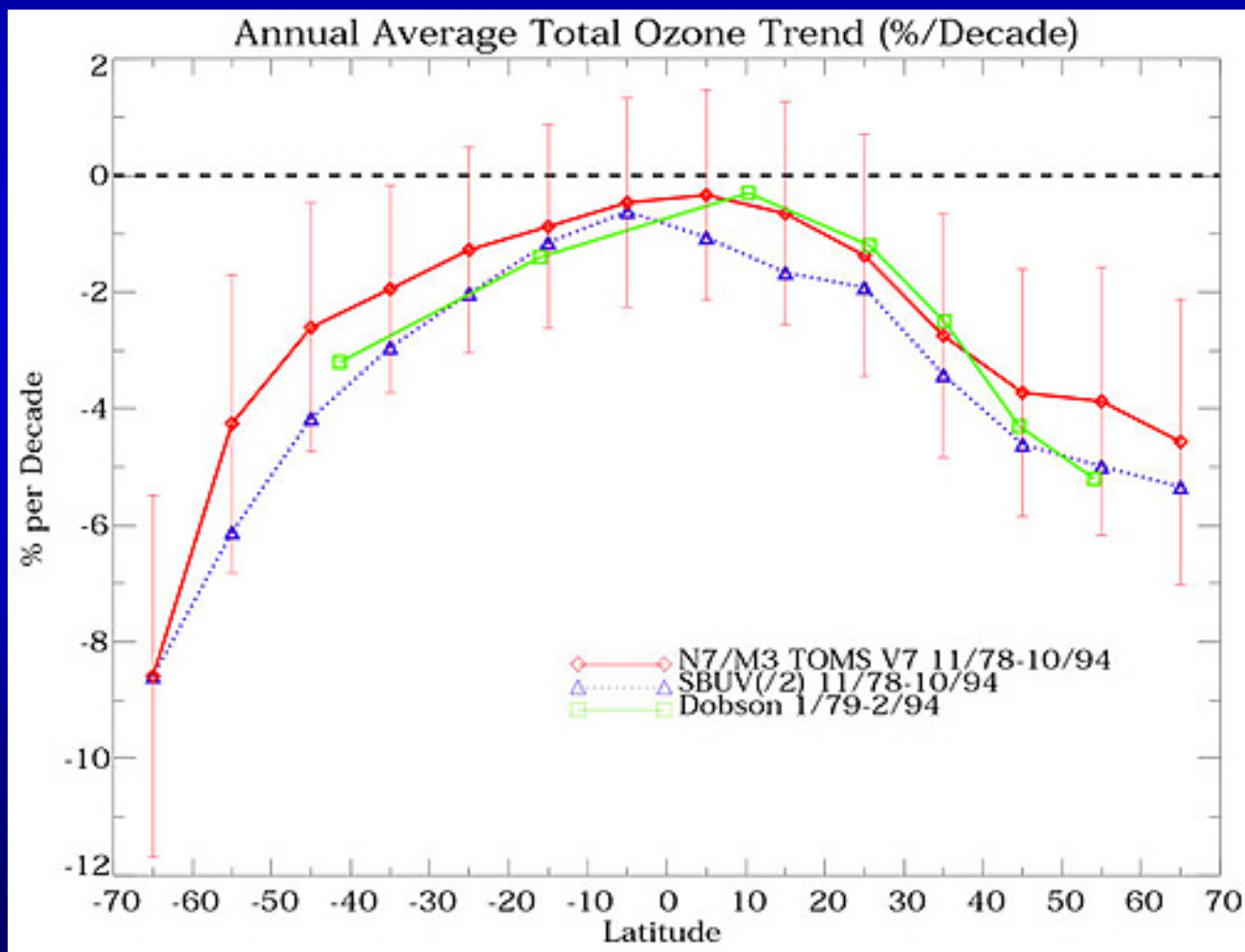
to destroy more ozone

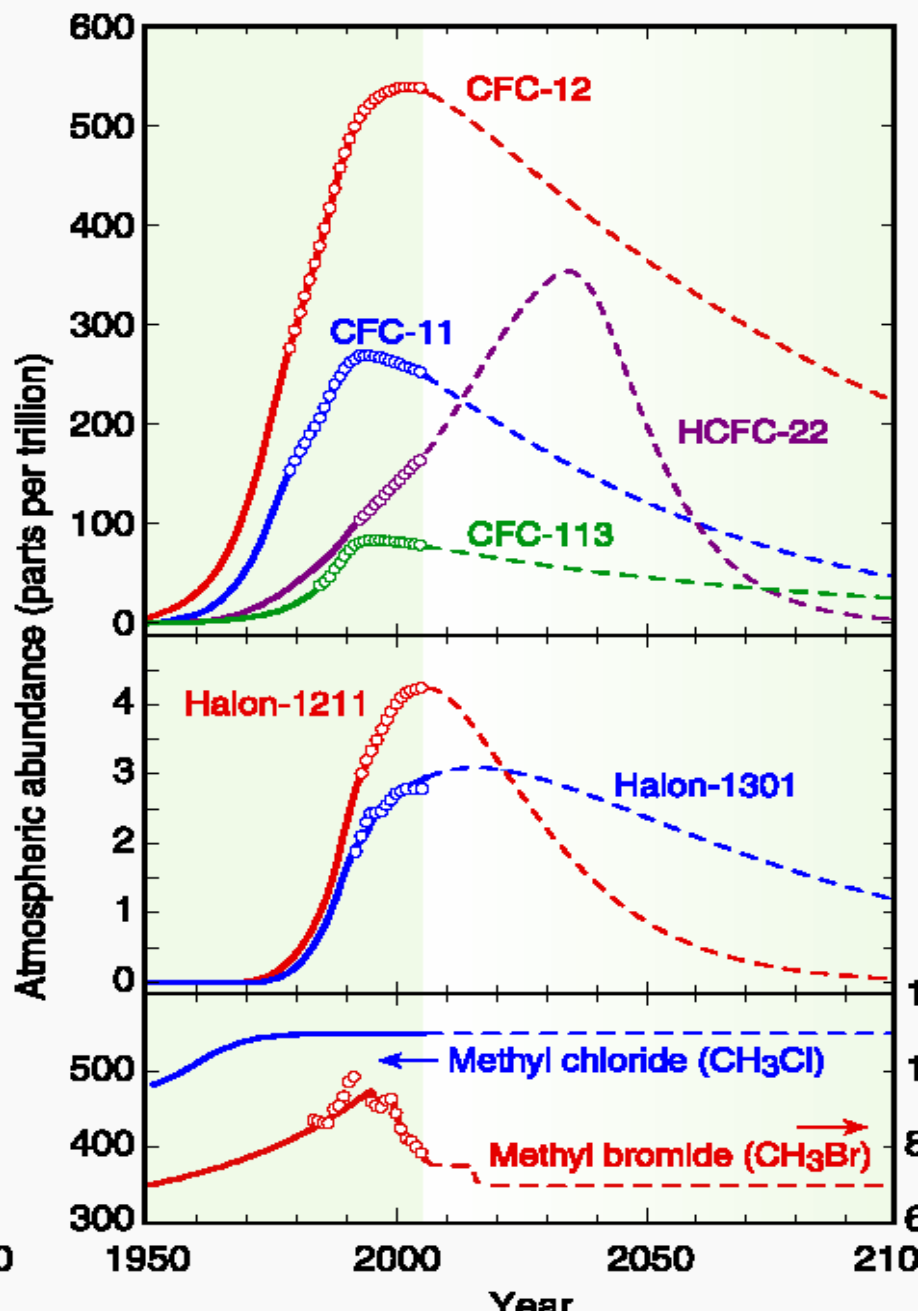
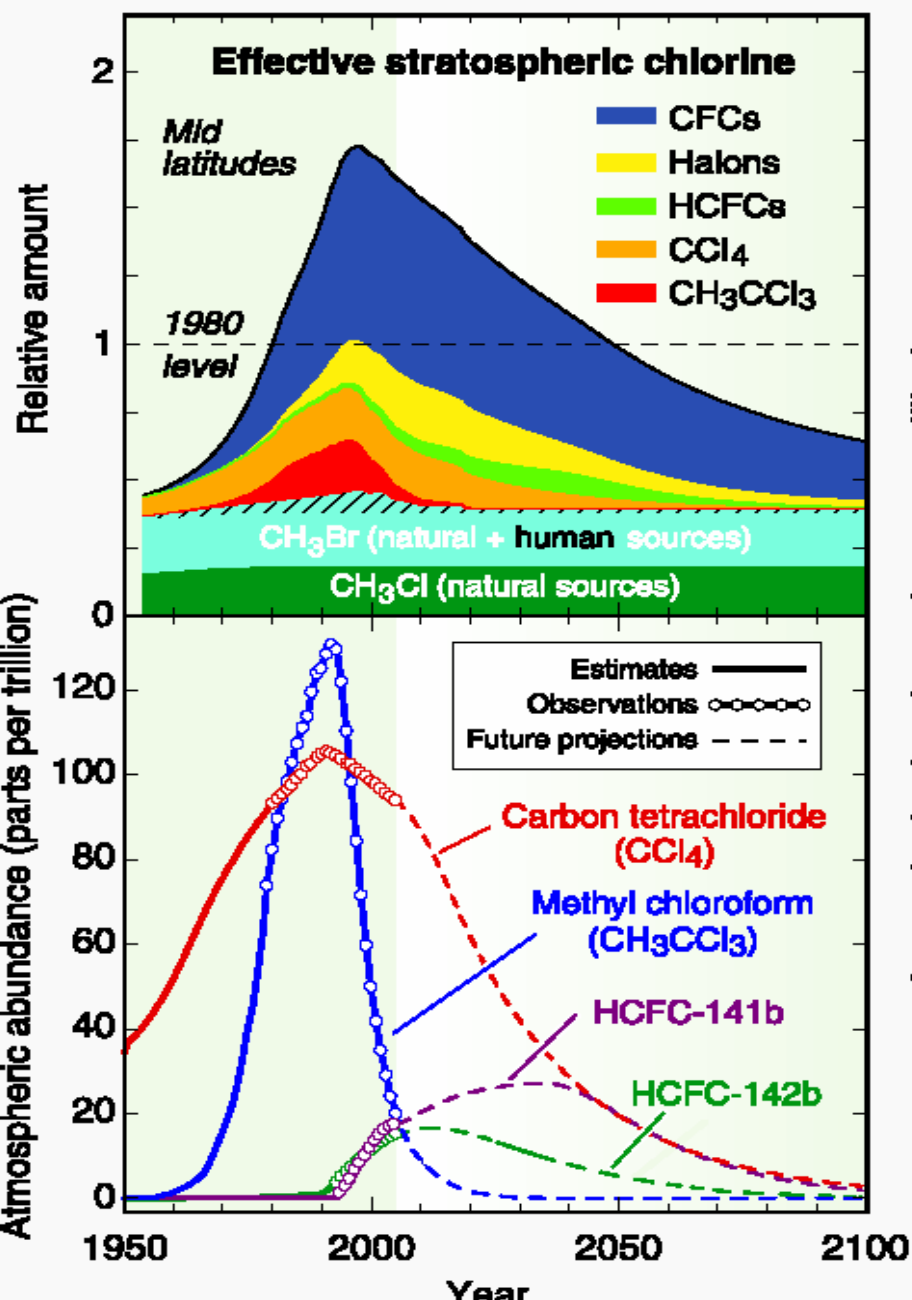


Изменение общего содержания озона на станции Ароза (Швейцария) с 1926 по 1997 гг

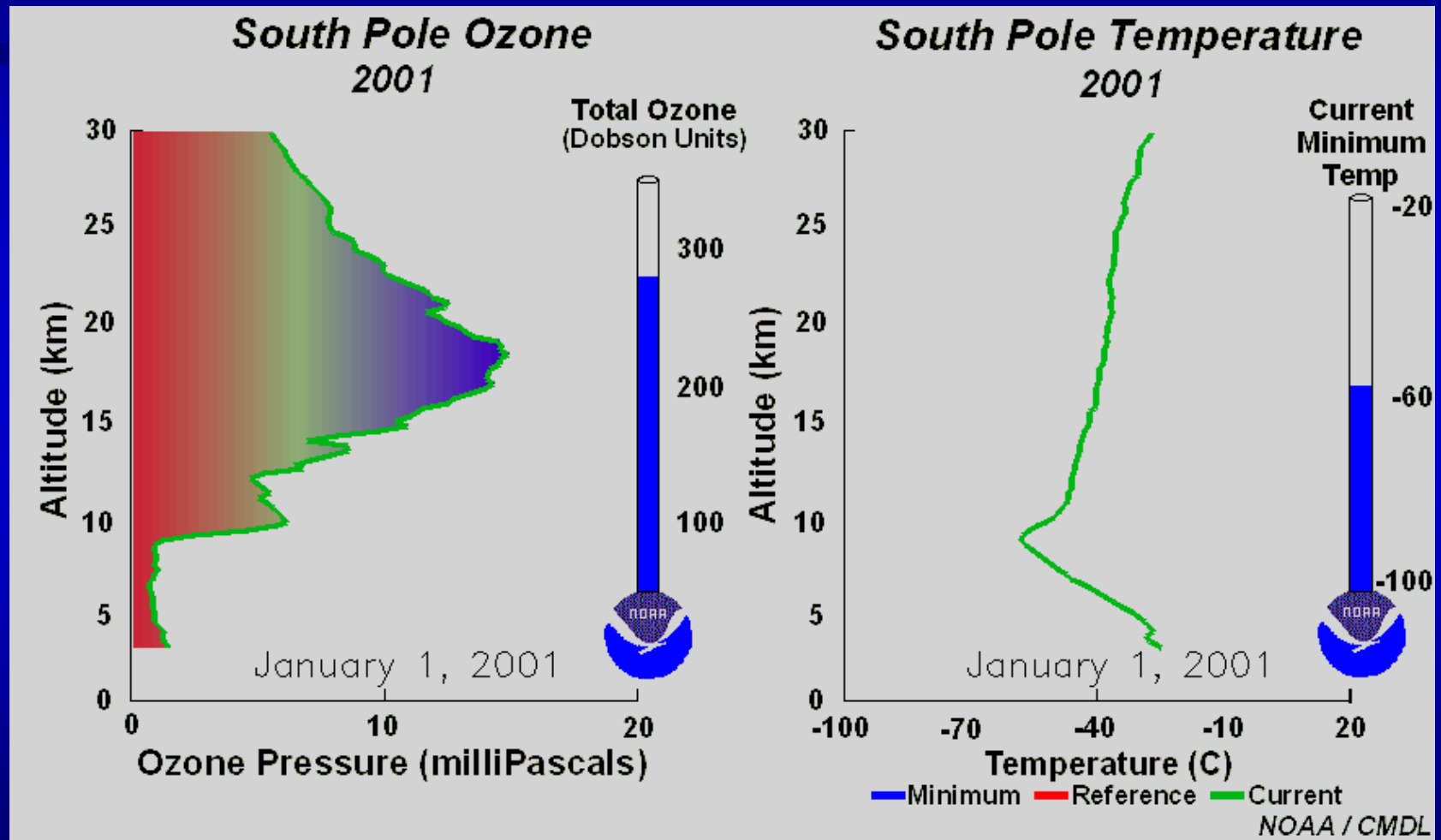


Изменение общего содержания озона на других широтах к концу XX века





Высотный профиль озона и температуры в атмосфере Антарктиды



Механизм образования Антарктической весенней озоновой дыры

В темноте полярной
ночи

1. Образование полярных
стратосферных облаков

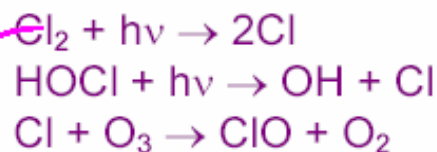


2. Активация Cl_x

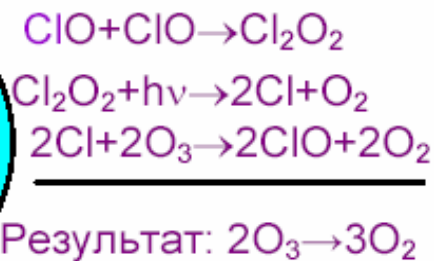


В свете восходящего
весеннего солнца

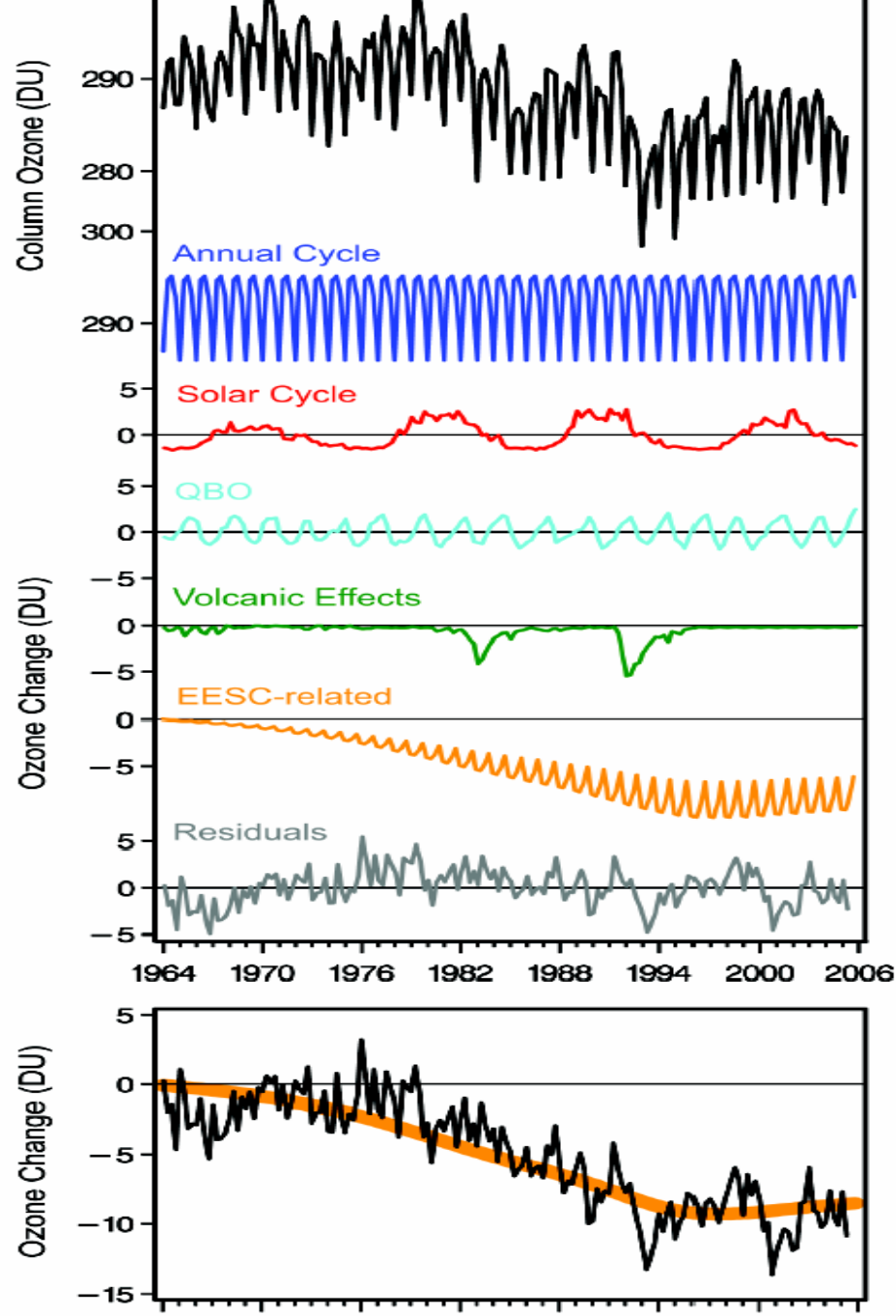
3. Образование
активных частиц Cl_x



4. Цепное разрушение
озона



Холодный,
изолированный
полярный вихрь.
 -80°C



Первичный ряд озона в широтном диапазоне 60° ю.ш.- 60° с.ш.

Годовой цикл

Вклад солнечного цикла

Вклад квазидвухлетних колебаний

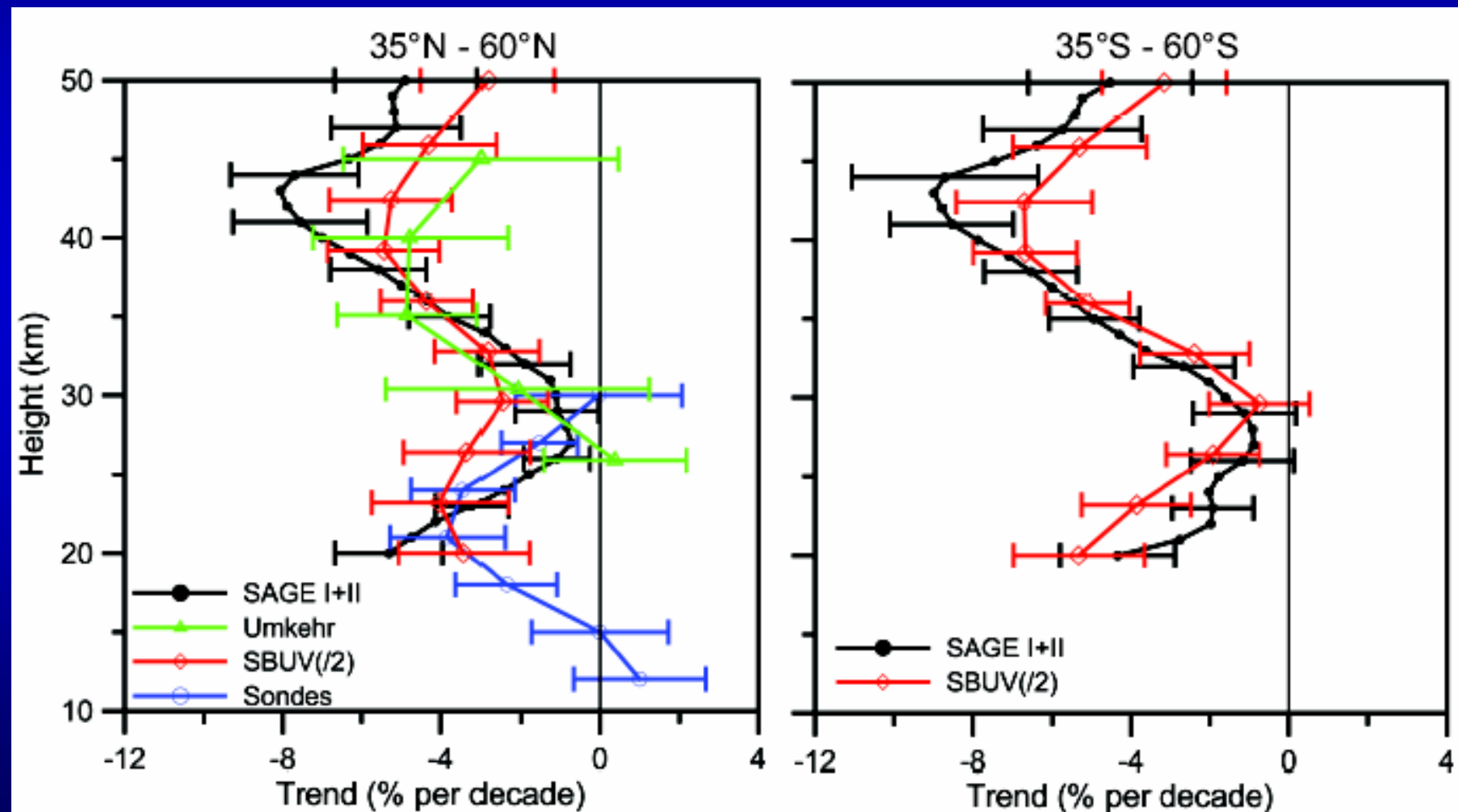
Вклад вулканов

Вклад антропогенного хлора

«Остатки» = первичный ряд озона минус вклады всех факторов

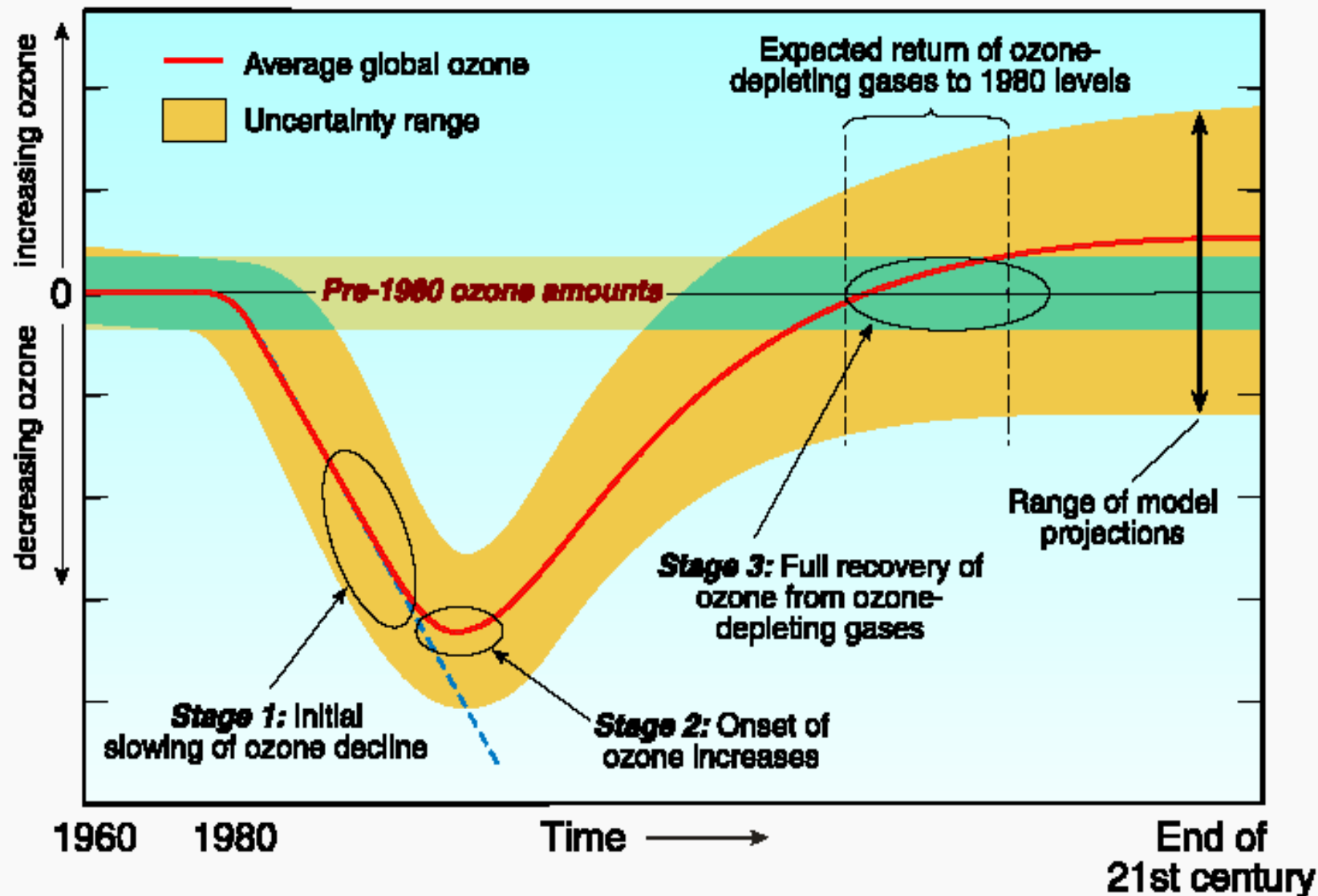
Сумма вкладов всех факторов.
Жёлтая кривая – вклад антропогенного хлора.

Тренд вертикального профиля озона для периода 1979-2004 гг.



Recovery Stages of Global Ozone

Global ozone change from pre-1980 values



Спасибо
за внимание
и терпение!