

# Физическая экология

## Занятие 10

### Глобальные загрязнения

# Факторы глобального экологического кризиса



*«Назначение человечества, похоже, заключается в том, чтобы уничтожить свой род, предварительно сделав Землю непригодной для обитания»*

Жан Батист Пьер Антуан де Моне Ламарк (Lamarck),  
1809 г.

К глобальным антропогенным загрязнениям относят четыре явления, а именно:

1. глобальные загрязнения экологическими токсинами,
2. кислотные дожди (с pH < 5 и до 2.5),
3. озоновые дыры в атмосфере,
4. антропогенный климатический (парниковый) эффект.

# Экологические токсины

Так условились называть вещества искусственного происхождения, обладающие особой опасностью для природной среды. К ним относят стойкие органические загрязнители (СОЗ): хлорсодержащие диоксины и полициклические ароматические углеводороды, а также тяжелые металлы.

В настоящее время в Российской Федерации в наибольшей степени применяется комплекс показателей предельно допустимых концентраций (ПДК). Действуют более 1900 ПДК вредных химических веществ для водоемов, более 500 для атмосферного воздуха и более 130 для почв.

# ДИОКСИНЫ

Группа хлорорганических соединений – полихлорированные дибензо-*p*-диоксины (ПХДД) и диоксиноподобные соединения. Чужеродные живым организмам вещества (ксенобиотики), поступающие в живую и неживую природу с продукцией или отходами.

Пример: 2,3,7,8-тетрахлордибензо-*пара*-диоксин.

Диоксины – это глобальные экотоксины, обладающие мощным мутагенным, иммунодепрессантным и канцерогенным действием. Они накапливаются как в организме человека, так и глобально в биосфере. Величина летальной дозы этих веществ достигает  $10^{-6}$  г/кг живого веса, что меньше аналогичной величины для боевых отравляющих веществ, например, зомана, зарина и табуна (порядка  $10^{-3}$  г/кг). Токсичность диоксинов заключается в способности точно вписываться в рецепторы живых организмов и подавлять или изменять их жизненные функции. Для диоксинов не существует ПДК – они токсичны

# Пример диоксиана: ДДТ

ДДТ (ДихлорДифенилТрихлорметилметан) – пример классического инсектицида.

Синтезирован в 1873 г. австрийским химиком Отмаром Цейдлером (Othmar Zeidler).

Инсектицидные свойства открыл в 1939 г. швейцарский химик Пауль Мюллер (Paul Müller).

В 1943 г. успешно применен для борьбы с распространителями эпидемии тифа – вшами

В 1948 г. П. Мюллер получил Нобелевскую премию по физиологии и медицине с формулой «За открытие высокой эффективности ДДТ как контактного яда».

С 1950 г. по 1970 г. в мире было произведено более миллиона тонн ДДТ.

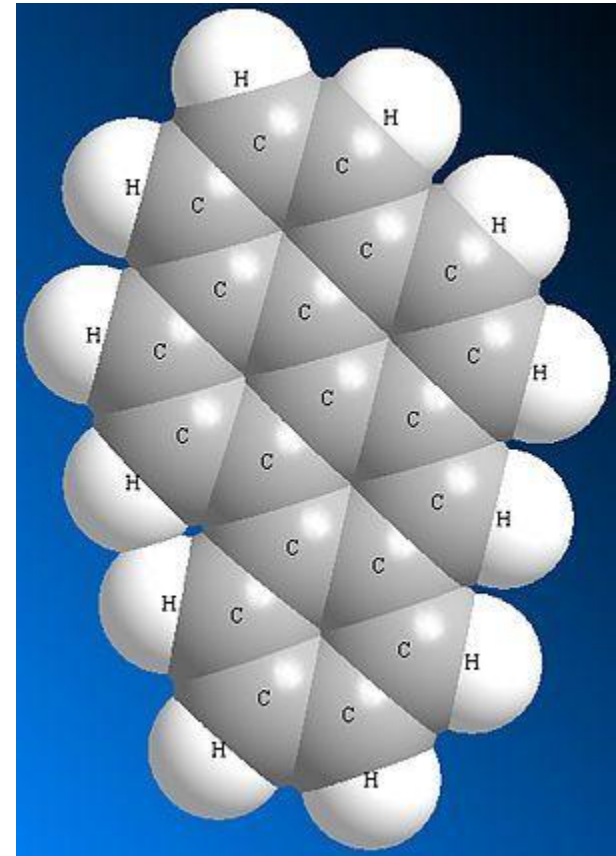
После 1976 г. запрещен к производству и сельскохозяйственному употреблению в большинстве стран.

# Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ)

ПАУ – это химические соединения, состоящие из двух и более сцепленных бензольных колец (нафталин, антрацен, пирен и др.). ПАУ встречаются в нефти, каменном угле, отложениях смолы. В основе практически всех техногенных источников ПАУ лежат термические процессы, связанные со сжиганием и переработкой органического сырья: нефтепродуктов, угля, древесины, мусора и др. Как загрязняющий агент ПАУ являются предметом большой обеспокоенности потому, что многие соединения были идентифицированы как канцерогенные, мутагенные и тератогенные.

# Пример ПАУ: бенз(а)пирен ( $C_{20}H_{12}$ )

Бенз(а)пирен является наиболее типичным химическим канцерогеном окружающей среды, он опасен для человека даже при малой концентрации, поскольку обладает свойством аккумуляции. Будучи химически сравнительно устойчивым, бенз(а)пирен может долго мигрировать из одних объектов в другие. В результате объекты, сами не обладающие способностью синтезировать бенз(а)пирен, становятся его вторичными источниками. Бенз(а)пирен оказывает также мутагенное воздействие на биологические системы.



# Тяжелые металлы

Термин тяжёлые металлы чаще рассматривается не с химической, а с медицинской и природоохранной точек зрения (формально, металлы с плотностью большей, чем плотность железа) и, таким образом, при включении в эту категорию учитываются не только химические свойства элемента, но и его биологическая активность и токсичность, а также объём использования в хозяйственной деятельности.

Тяжёлые металлы выделяются высокой токсичностью, многие - способностью к накоплению в живых организмах. Они поступают в окружающую среду со стоками и пылью промышленных предприятий. Образуют стойкие органические соединения с хорошей растворимостью и способностью к миграции в природных водах. К тяжёлым металлам относят более 40 элементов, но при учёте токсичности, стойкости, способности накапливаться во внешней среде и масштабов распространения, контроля требуют около 10



# Тяжелые металлы: ртуть

Ртуть (Hg) переносится со стоками промышленных вод и через атмосферу. В составе атмосферной пыли содержится около 12 тыс. тонн ртути. До трети от этого количества образуется при выветривании пород, содержащих ртуть. Ртуть антропогенного происхождения попадает в атмосферу в первую очередь при сжигании угля на электростанциях. Около половины годового промышленного производства (910 тыс. т) попадает в океан. Соединения ртути накапливаются многими морскими и пресноводными организмами в концентрациях, во много раз превышающих её содержание в воде. Соединения ртути высоко токсичны для человека. Употребление в пищу рыбы и морепродуктов неоднократно приводило к ртутному отравлению населения. Так, к 1977 году насчитывалось 2800 жертв болезни Минамата, причиной которой послужило поступление в со сточными водами отходов предприятий, на которых в качестве катализатора использовалась хлористая ртуть.

# Тяжелые металлы: свинец

Свинец (Pb) -- рассеянный элемент, содержащийся во всех компонентах окружающей среды: в горных породах, почвах, природных водах, атмосфере, живых организмах.

Содержание в коре:  $1,6 \cdot 10^{-5}$ , естественный цикл  $0,2 \cdot 10^{12}$  г/год.

Помимо того, свинец поступает в окружающую среду в результате хозяйственной деятельности человека, производство  $2,5 \cdot 10^{12}$  г/год.

До запрета на использование в топливе тетраэтилсвинца (ТЭС)  $Pb(CH_3CH_2)_4$  в конце XX века, выхлопные газы транспорта были самым заметным источником свинца в атмосфере.

С континентальной пылью из атмосферы океан получает 20—30 тысяч тонн свинца в год.

В организм человека свинец попадает как с пищей и водой, так и из воздуха в количестве 70 – 400 мкг/сутки. Свинец может выводиться из организма, однако малая скорость выведения может приводить к накоплению в костях, печени и почках.

# Экологические риски

Источник риска	Риск, человек/год
Смерть от болезни	$8,5 \cdot 10^{-3}$
Смерть от природных катастроф	$10^{-5}$
Смерть от профессиональной деятельности	
мужчины	$10^{-2}$
женщины	$2,6 \cdot 10^{-3}$
Смерть от техногенных факторов (экотоксинов)	$10^{-5}$

# Кислотные дожди (КД)

«Чистый» дождь имеет слегка кислую реакцию с рН 5,6, что соответствует равновесию между  $\text{CO}_2$  воды и атмосферы. Из-за постоянного присутствия в атмосфере различных примесей, реальный рН дождя варьирует от 4,9 до 6,5, со средним значением около 5,0 для зоны умеренных лесов. «Кислотным» считают дождь с рН ниже 5,0. Загрязнение атмосферы большим количеством оксидов серы и азота увеличивает кислотность осадков за пределы значений, переносимых большинством организмов.

Негативное влияние КД на окружающую среду наиболее остро проявляется в озерах и крупных реках. Смещение рН показателя в кислую сторону вызывает гибель организмов и экосистем. Закисление водоемов приводит к масштабным потерям растений и животных, утрате рыбных ресурсов, миграции видов и нарушению пищевых цепей.

# Последствия кислотных дождей



# Озоновый слой атмосферы



Высота озонового слоя

# Динамика озонового слоя

Озон (молекула  $O_3$ ), газ тяжелее воздуха с характерным запахом, в тропосфере является микропримесью, в стратосфере играет уникальную роль поглотителя жесткого ультрафиолетового излучения. Среднее планетарное содержание составляет  $8 \cdot 10^{18}$  молекул на  $cm^{-2}$ , доля по массе –  $6 \cdot 10^{-7}$ , а суммарная толщина слоя при стандартных условиях – около 3 мм. Для измерения толщины слоя озона была введена специальная Добсоновская единица (DU) интегральной по высоте концентрации:

$$1 \text{ DU} = 2,69 \cdot 10^{16} \text{ мол} \cdot \text{см}^{-2};$$

$$100 \text{ DU} = 1 \text{ мм } O_3 = 2,69 \cdot 10^{18} \text{ мол} \cdot \text{см}^{-2}.$$

Среднее время жизни молекулы озона в стратосфере меняется от минут и часов на высотах 40 – 50 км и суток на 30 км, до месяцев и единиц лет в слое максимальной концентрации 15 – 20 км.

# Цикл Чепмена (Sydney Chapman)

Образование озона:

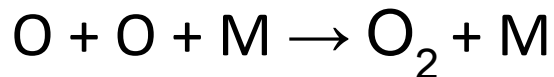


Диссоциация молекулярного кислорода на атомарный сопровождается изменением энтальпии на 498

кДж·моль<sup>-1</sup>. Проверим требуемую длину волны фотона:

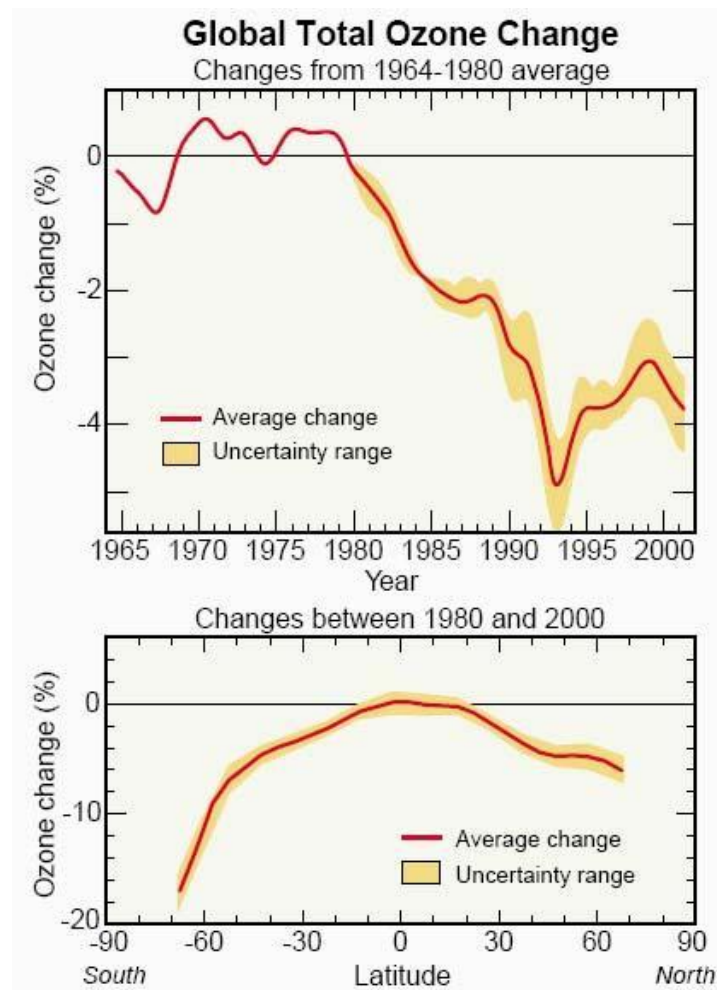
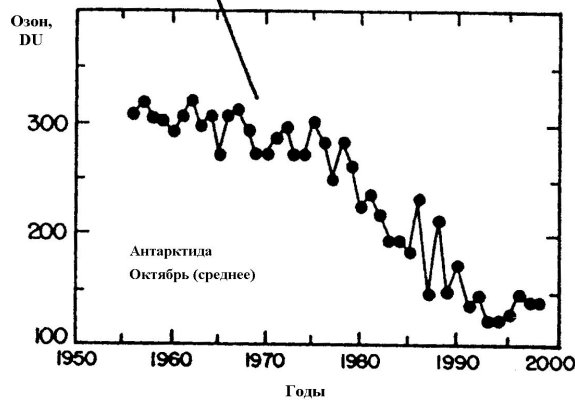
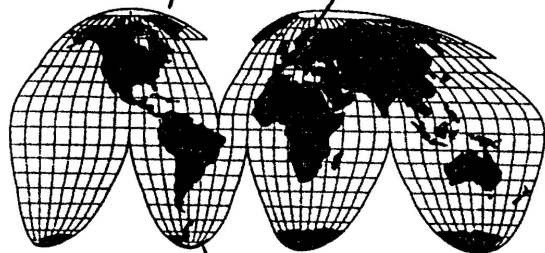
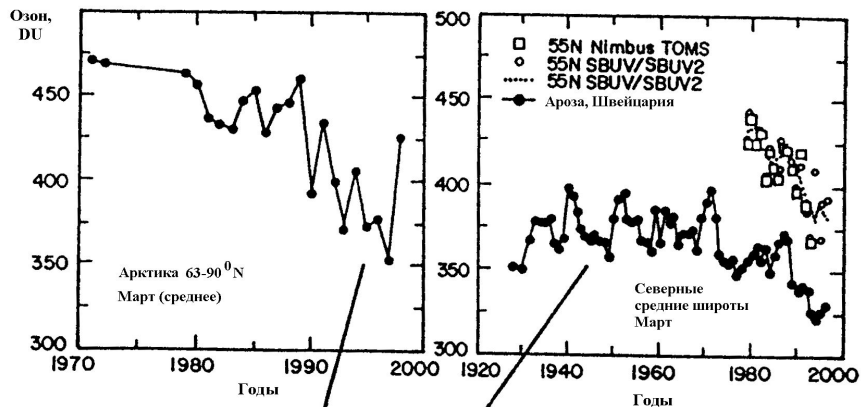
$$\lambda = \frac{hcN}{E} = \frac{(6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с})(3 \cdot 10^8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1})(10^9 \text{ нм} \cdot \text{м}^{-1})(6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1})}{498000 \text{ Дж} \cdot \text{моль}^{-1}} = 240 \text{ нм}$$

Разрушение озона:





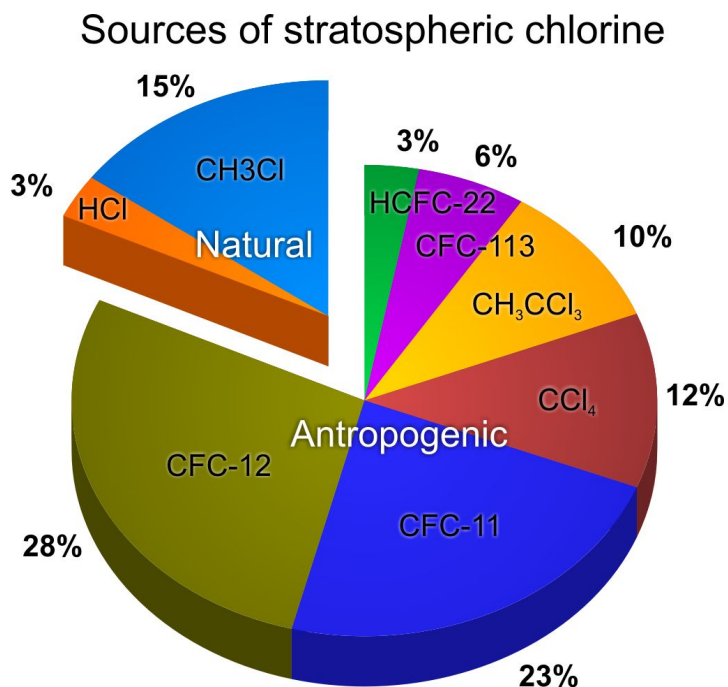
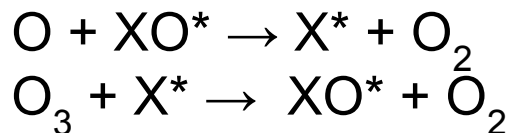
# Разрушение озонового слоя





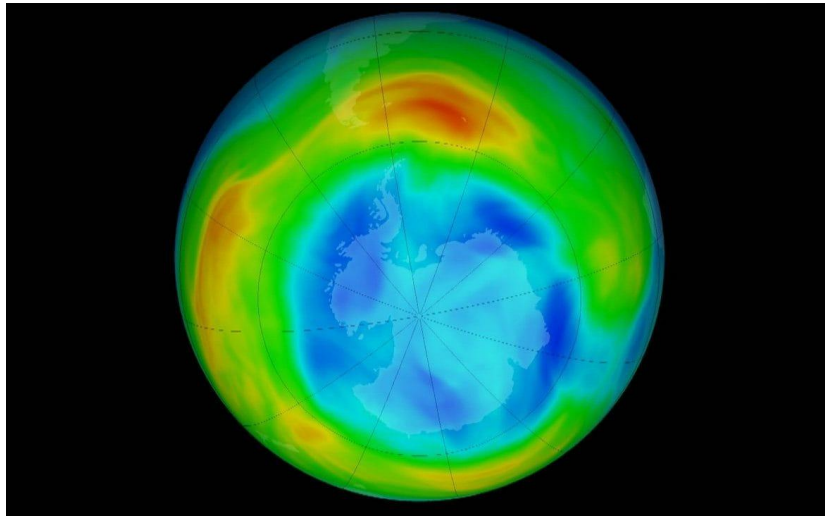
# Стратосферный хлор и каталитические ЦИКЛЫ

Каталитический цикл разрушения:



Искусственные соединения галогенов, фторхлоруглероды. Это – газы, известные под торговым названием фирмы «Дюпон» фреоны (в России – хладоны). Широко применялись для холодильных устройств и кондиционеров (фреон-12, CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> – дифтордихлорметан) и как вспениватель пенополиуританов и наполнитель аэрозольных баллонов (фреон-11, CFCl<sub>3</sub> – фтортрихлорметан)

# Озоновая дыра



Локальное падение концентрации озона в антарктической стратосфере. Площадь озоновой дыры составляла в 2018 году в среднем 22,8 млн квадратных километров (в 2010—2017 годах среднегодовые величины колебались от 17,4 до 25,6 млн квадратных километров, в 2000—2009 годах — от 12,0 до 26,6 млн квадратных километров, в 1990—1999 годах — от 18,8 до 25,9 млн квадратных километров).

# Международные действия по защите ОЗОНОВОГО СЛОЯ

1985 г. Венской конвенции об охране озонового слоя

1986 г. Монреальский Протокол, участники взяли на себя

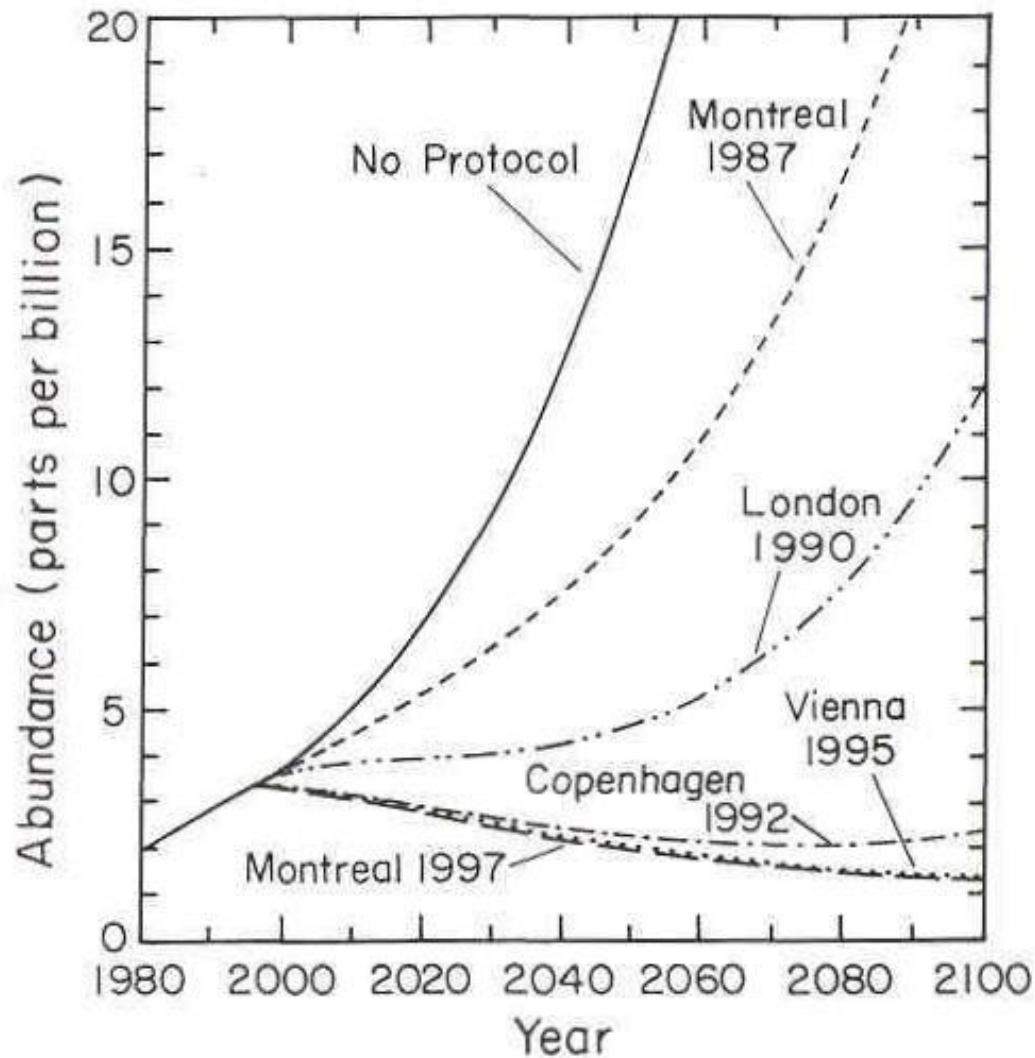
обязательство не превышать уровень  
производства

1990 г. Лондонский Протокол, рекомендация полного  
прекращения производства фреонов к 2000 г.

В 1995 г. присуждена Нобелевская премия по химии за  
работы по химии атмосферы, в частности, за механизмы  
образования и разрушения атмосферного озона.

Премии удостоены Пауль Крутцен (Paul Crutzen), Фрэнк  
Роуланд (Frank Rowland) и Марио Молина (Mario Molina)

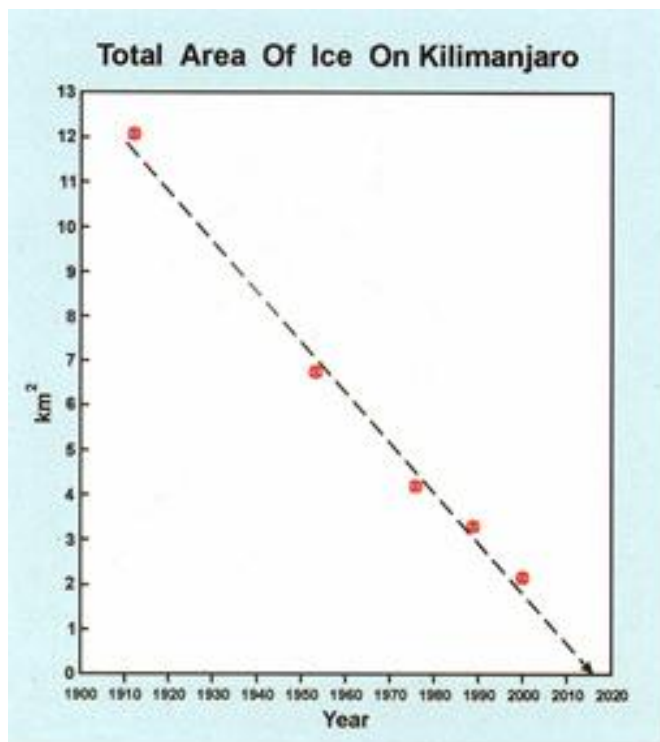
# Международные действия по защите ОЗОНОВОГО СЛОЯ



# Глобальное потепление: локальные свидетельства

Килиманджаро (Танзания, Африка):

со времени первого картирования ледника в 1912 г., он потерял 82% своей площади.



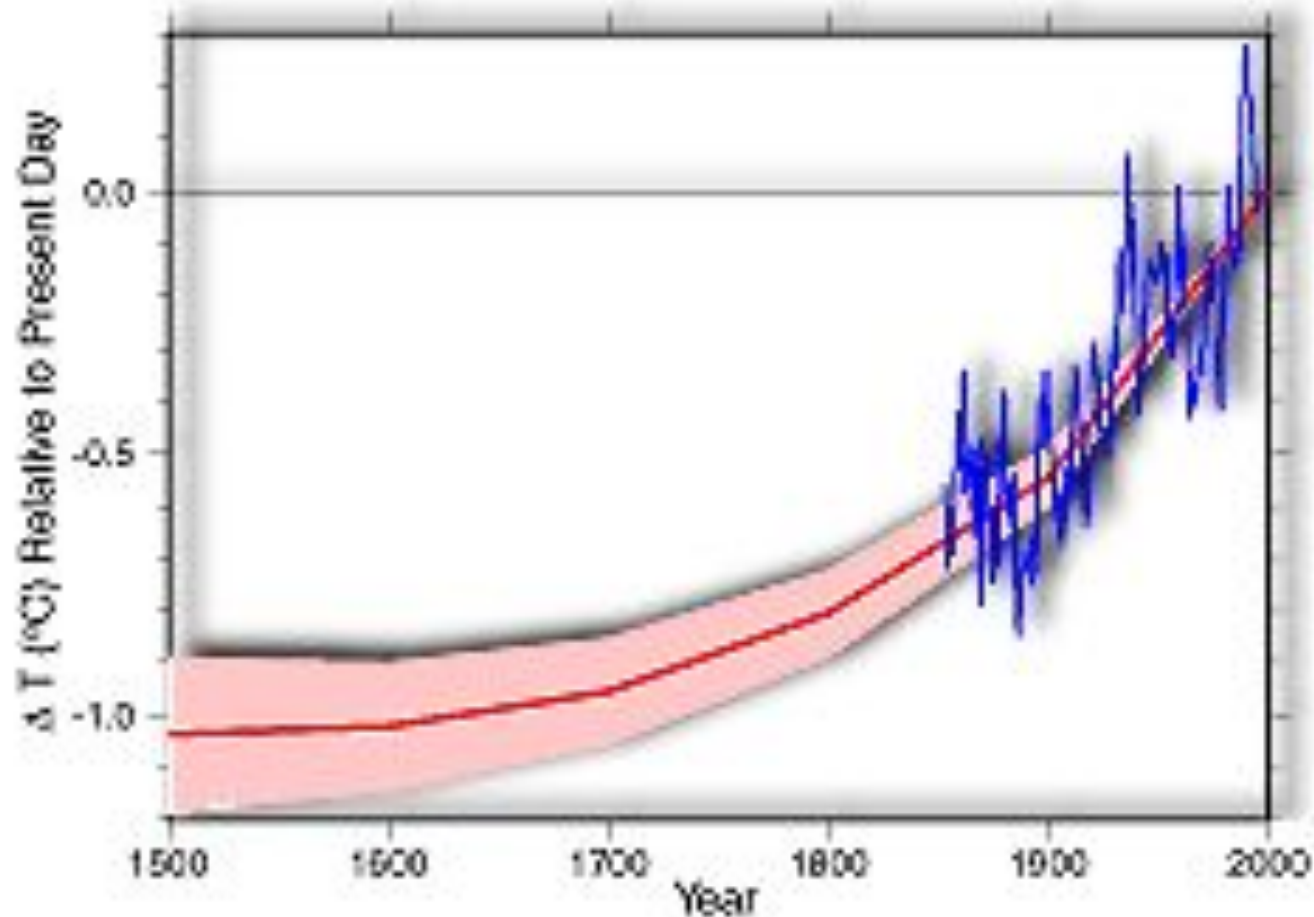
Total areal cover of the ice cap on Kilimanjaro from 1912 to present. Should the measured rate of retreat continue unchanged the ice cap will have vanished by around 2015. Source: Lonnie Thompson, unpublished data.



<http://www.athropolis.com/news/kilimanj.htm>



# Глобальное потепление: локальные свидетельства

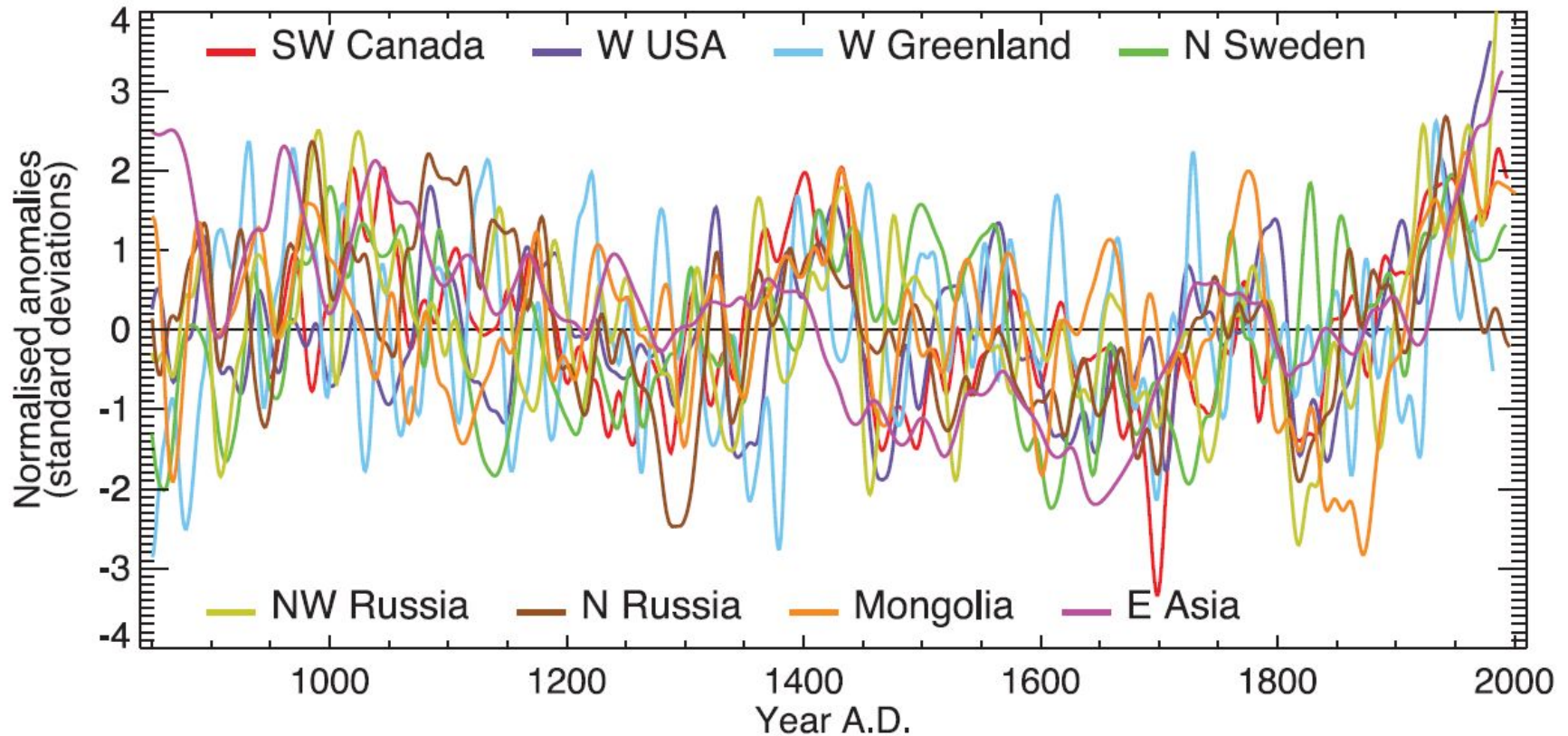


Реконструкция палеотемпературы по континентальным  
кернам

<http://www.ngdc.noaa.gov/paleo/globalwarming/pollack.html>

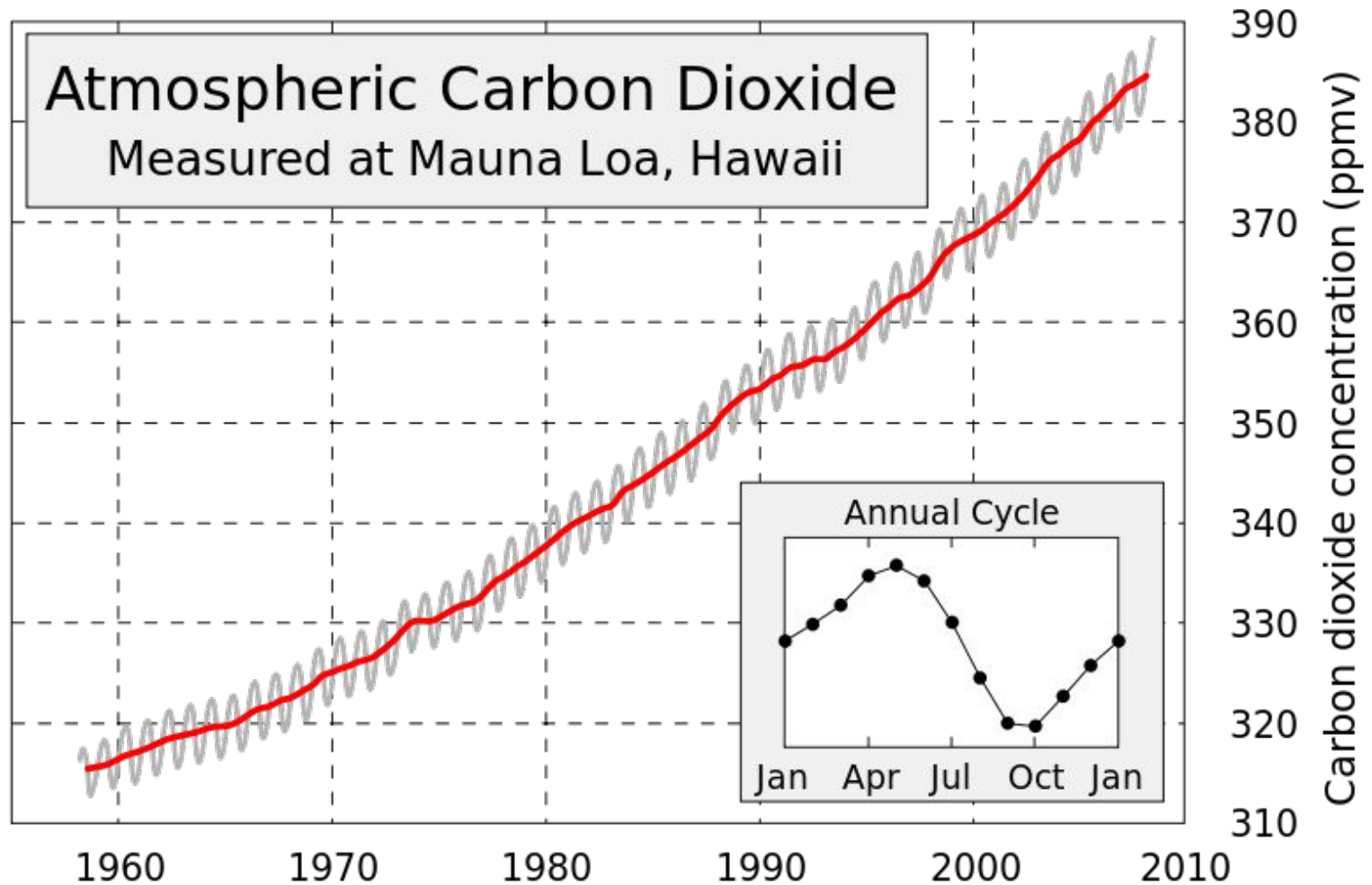


# Климат глобальный и локальный



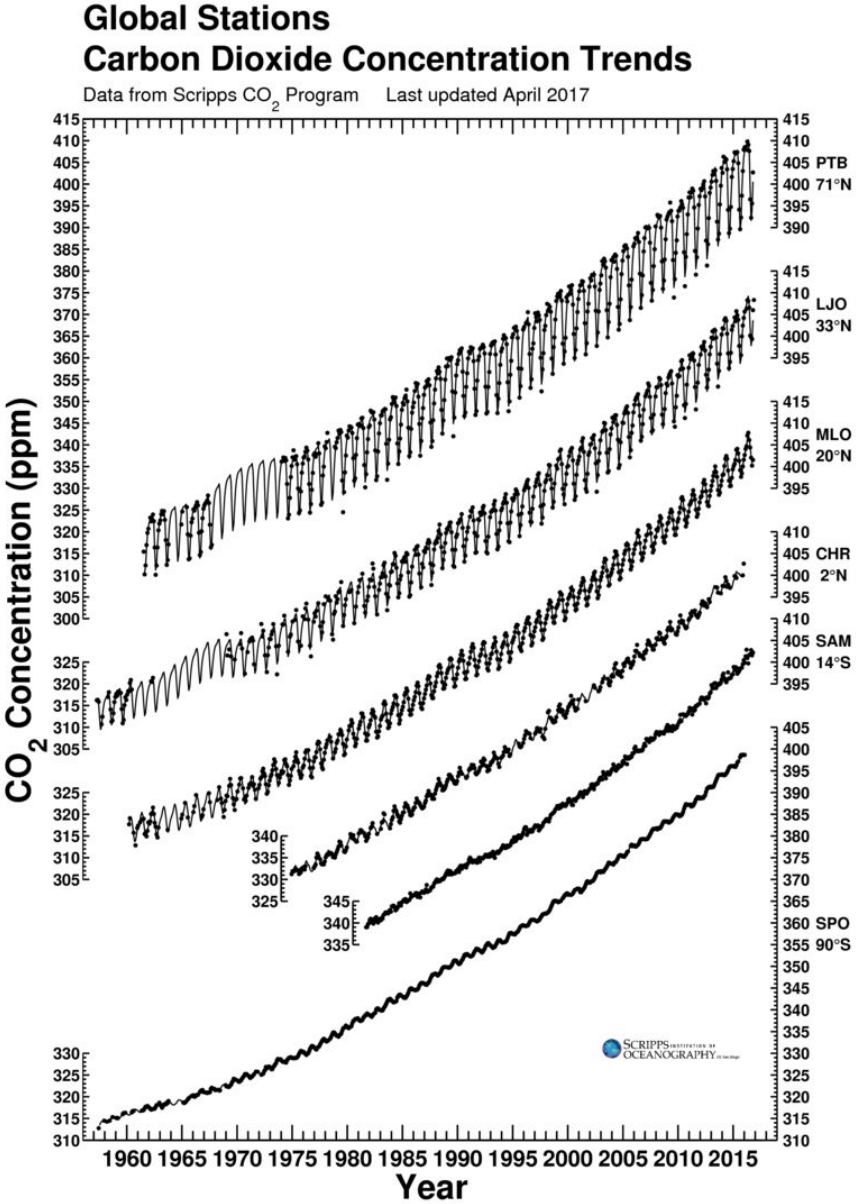
Реконструкции локального климата последние 12 столетий

# Рост концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере

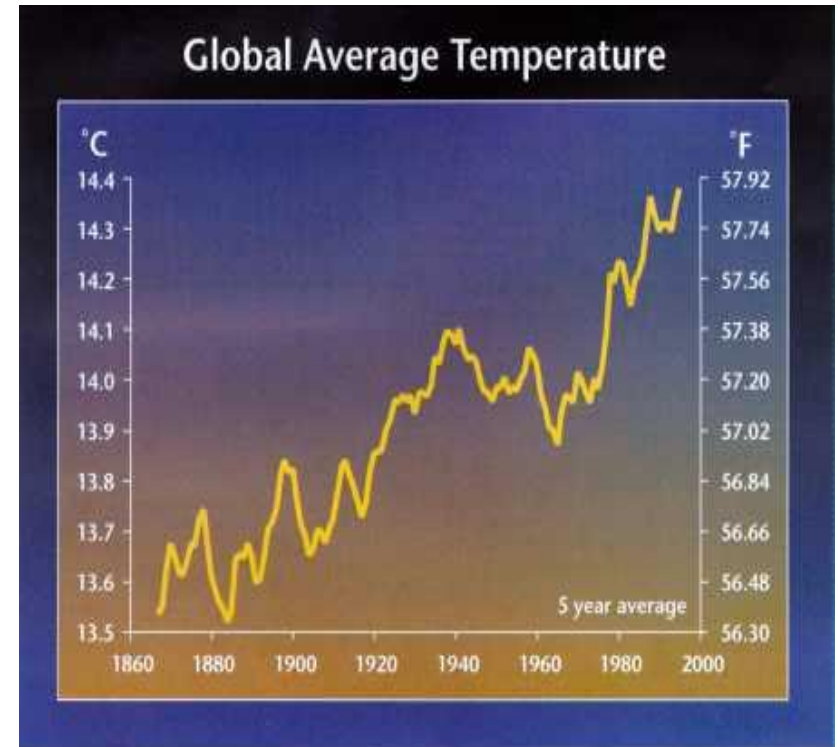
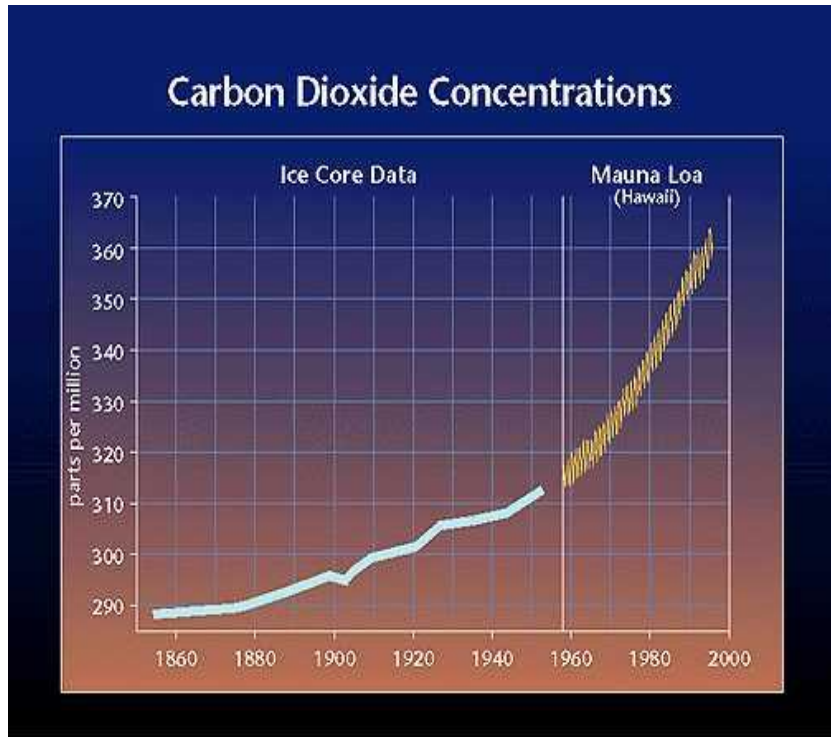


Концентрация CO<sub>2</sub> в воздухе (обсерватория Мауна Лоа, Гавайи)

# Рост концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере



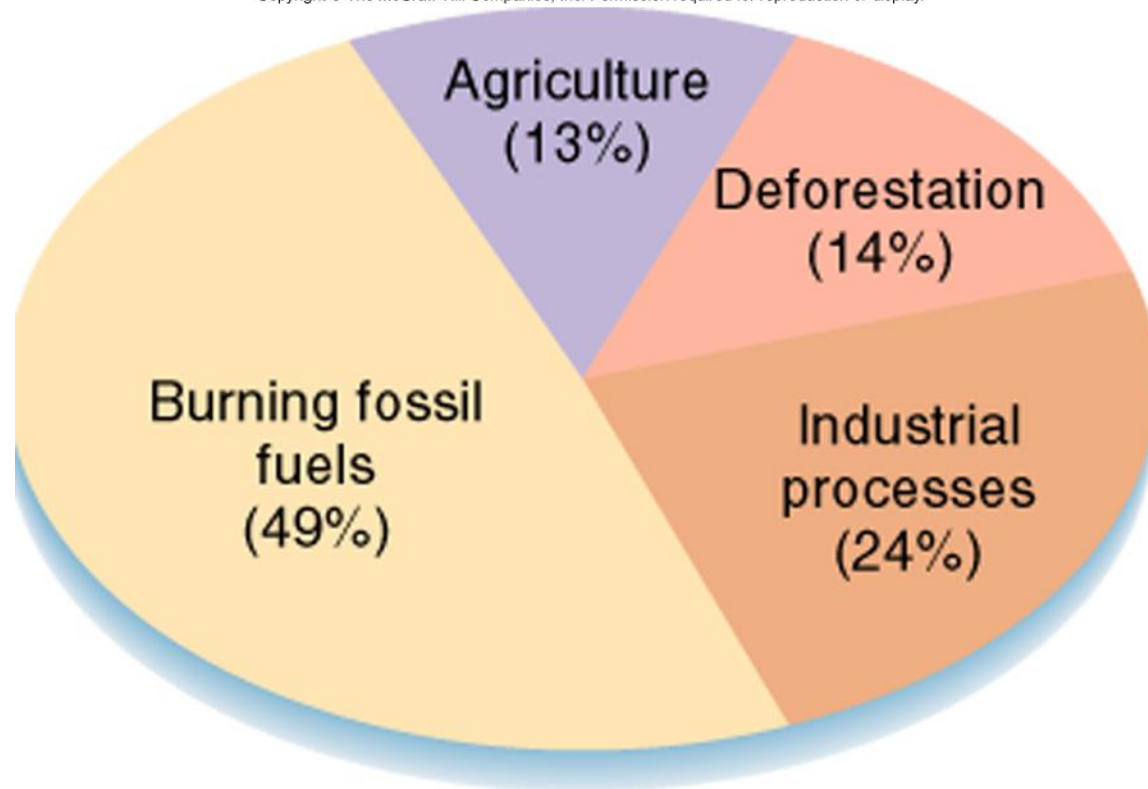
# Климатическая аномалия или изменение климата?



<http://www.whrc.org/>

# Что приводит к выбросу парниковых газов?

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.

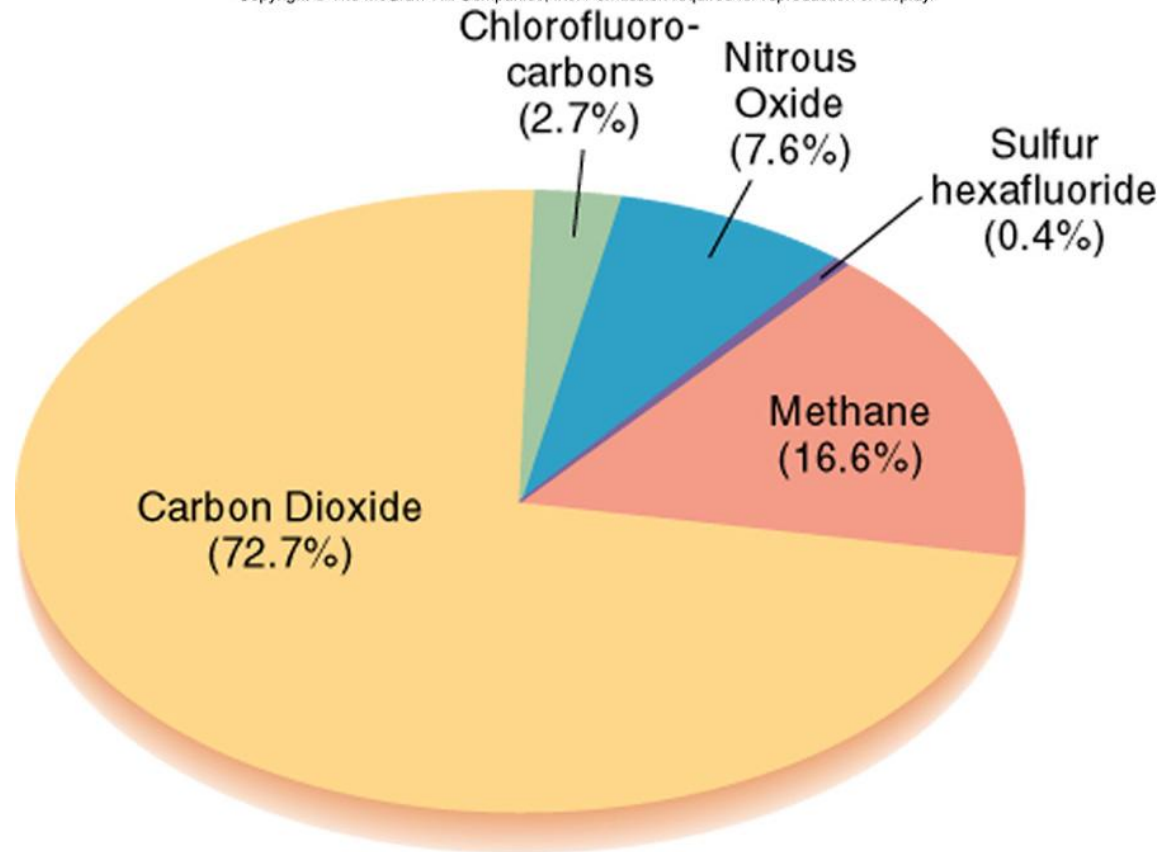


Source: Data from World Resources Institute.

Вклад техногенных процессов в атмосферное содержание парниковых газов

# Вклад парниковых газов в потепление

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



Source: NOAA Climate Change and Diagnostics Laboratory, 2001.

Оценочный вклад основных парниковых газов в глобальное потепление



# Глобальная климатическая система

