

МФК-2021

Глобальная экология и кризис биосферы

Леонард Владимирович Полищук

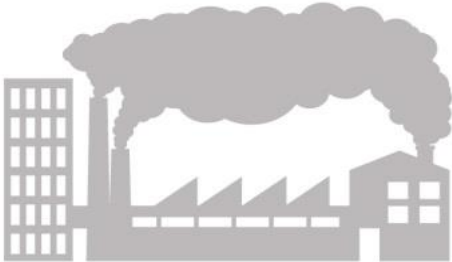
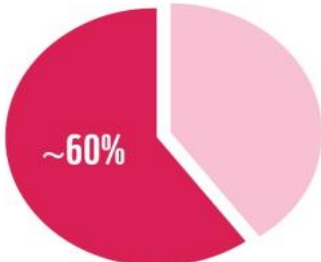
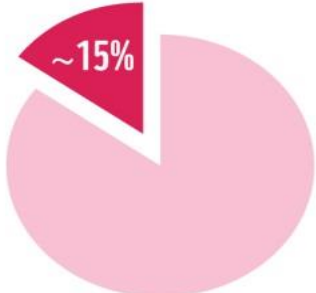
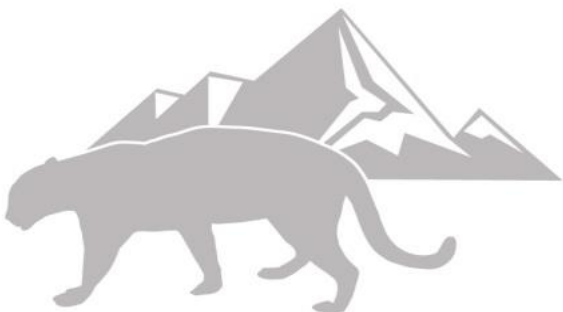
Ольга Владиславовна Честных

ochestn@mail.ru

Лекция 7. Глобальные циклы азота и фосфора, их изменения под воздействием человека. Какой из глобальных циклов нарушен в наибольшей степени и чем это грозит населению биосферы.

«Парижское» соглашение

Сфера охвата международной деятельности

	КИОТСКИЙ ПРОТОКОЛ	ПАРИЖСКОЕ СОГЛАШЕНИЕ
ВЫБРОСЫ парниковых газов 	“План”  ~60% 1997 г. “Факт”  ~15% 2014 г.	 > 80% ВСЕ крупные страны снижают выбросы или ограничивают их рост
АДАПТАЦИЯ к негативным последствиям изменения климата 	НЕТ ● Предположение о снижении выбросов, достаточном для естественной адаптации	ЕСТЬ ● Адаптация признается делом, равнозначным снижению выбросов ● Естественной адаптации недостаточно ● Сильнейшие страны помогают более слабым и уязвимым

Сможет ли Парижское соглашение сдержать потепление на уровне до 2°C?

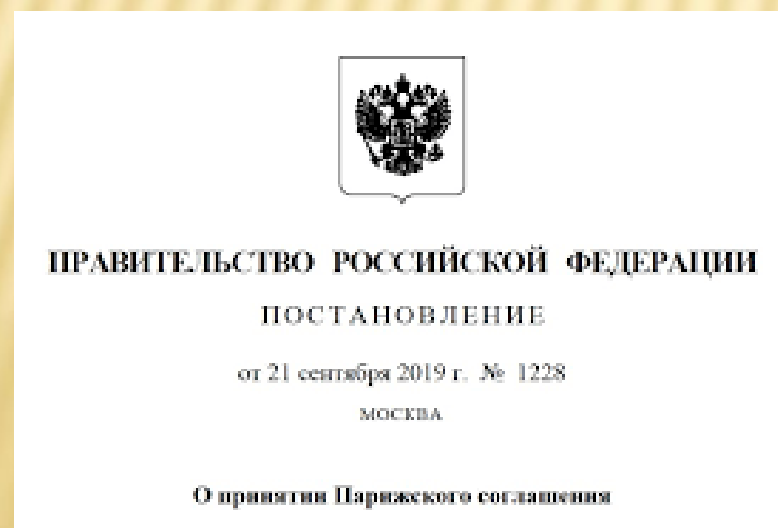
Почти все страны подали «вклады» (INDCs) по сокращению выбросов парниковых газов.

Чтобы на конец XXI века быть рост температуры не превысил 2°C, на 2030 год выбросы не должны превышать 36-42 млрд. т CO₂-эквивалента. INDC дают 59-60 млрд. т CO₂-эквивалента, то есть на 50% больше.

Вывод: современные INDCs недостаточны для удержания роста глобальной температуры в пределах 2°C.

«ПАРИЖСКОЕ» СОГЛАШЕНИЕ

- ✗ Россия подписала Парижское соглашение в апреле 2016 года.
- ✗ Премьер-министр России Дмитрий Медведев 21 сентября 2019 года подписал постановление о принятии Парижского соглашения по климату.
- ✗ Парижское соглашение было подписано 197 странами в декабре 2015 года, однако не все страны впоследствии его ратифицировали. Сейчас в Парижском соглашении по климату участвуют 186 стран. США вышли из соглашения в 2020 году, но вновь присоединились к нему 19 февраля 2021 года.
- ✗ Парижское соглашение было принято в рамках конвенции ООН об изменении климата. С 2020 года оно должно регулировать меры по снижению выбросов углекислого газа в атмосферу.



МЕЖДУНАРОДНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ 2021 ГОДА

- ✗ **Саммит "Большой двадцатки"** проходил 30-31 октября в Риме;
- ✗ **26-я Конференция** сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (COP26), Глазго 01 – 12 ноября 2021 г.



26 Конференция РКИК ООН

- ✗ 1. **Достижение нулевых выбросов** к середине века и удержание глобального потепления в пределах **1,5 градусов** по Цельсию.
- ✗ 2. **Адаптация** к уже наступившим климатическим изменениям и защита естественной среды обитания.
- ✗ 3. **Мобилизация финансовых ресурсов.** Перераспределение финансовых потоков в направлении менее развитых государств.
- ✗ 4. **Глобальное сотрудничество.**



«ЗИМА В ТЕХАСЕ И ЛЕТО В ЕВРОПЕ» VS ЗЕЛЕНАЯ ЭНЕРГЕТИКА: РАНО ОТКАЗАЛИСЬ ОТ НЕФТЕГАЗА?



Возможные альтернативные решения проблемы изменения климата

- ✗ Активное воздействие на климат (геоинженерия). – Слишком много непредсказуемых последствий глобального масштаба.
- ✗ Технологический прогресс – замена ископаемого топлива на новый источник энергии. – Управляемая термоядерная реакция?

Геоинженерные решения по контролю климата Земли

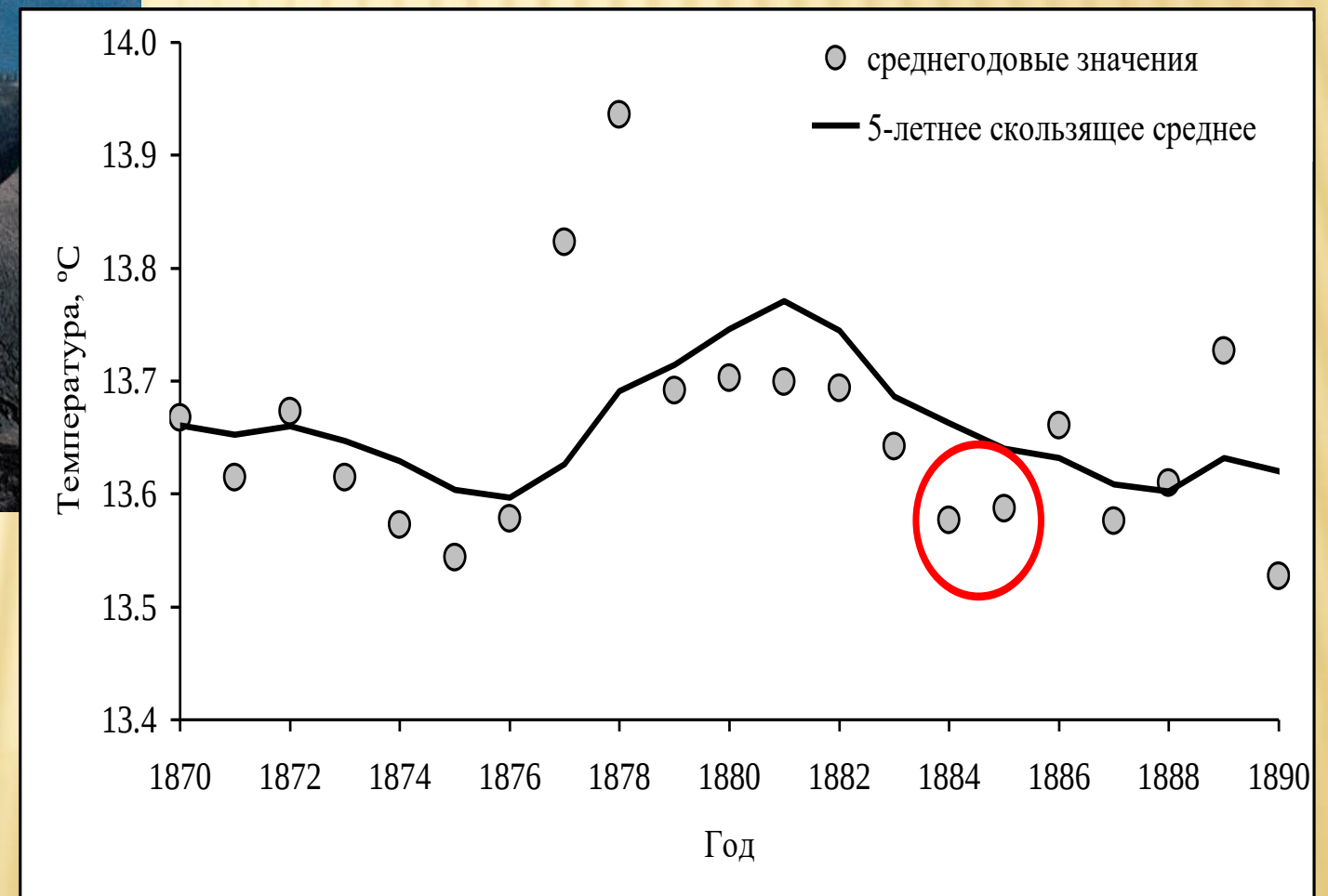
Распыление аэрозолей
(сульфат бария, сульфат
железа) в стратосфере с
самолетов



Результат – «белое небо»
и усиление отражения
солнечного излучения.



Естественный геоинженерный эксперимент – взрыв вулкана Кракатау (1883)



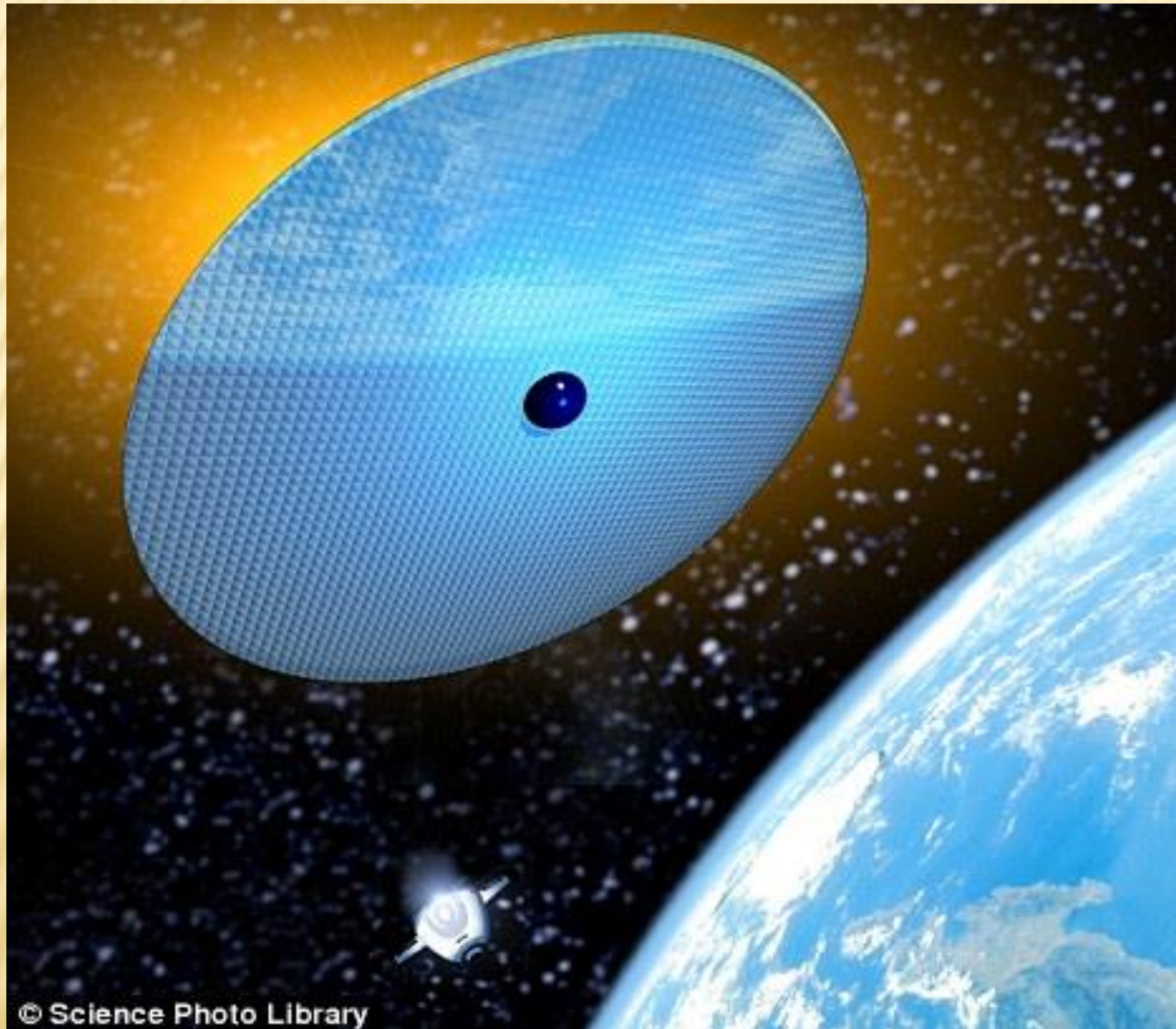
Геоинженерные решения по контролю климата Земли



Усиление испарения с поверхности океана, увеличение облачности.

Отправить в плавание 1500 судов, которые, используя энергию ветра, будут распылять в атмосфере 50 м³ воды в секунду.

Геоинженерные решения по контролю климата Земли



Затенение Земли
при помощи
зеркал из
полимерной
пленки,
выведенных в
космическое
пространство.

ЧИСТАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ СООБЩЕСТВА

NEP – Net Ecosystem Production

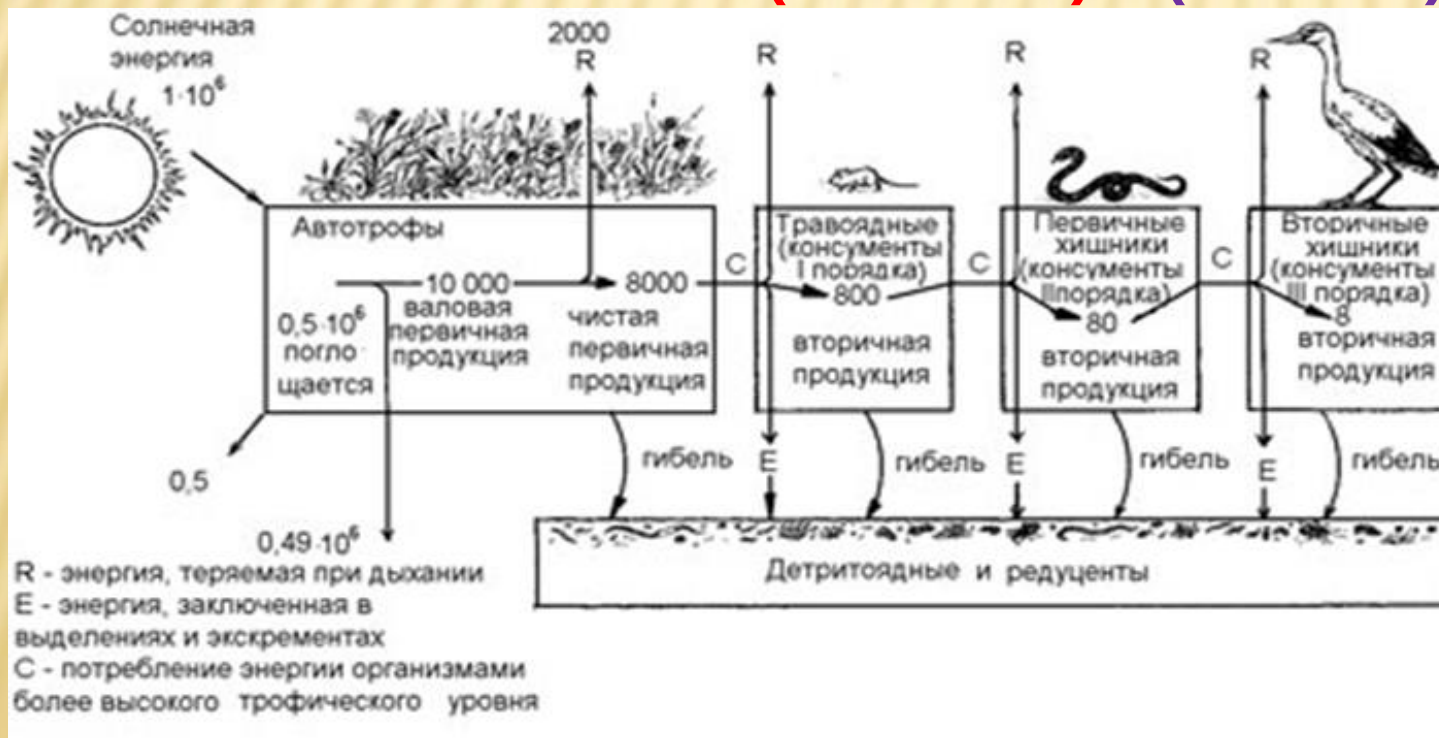
Скорость накопления органического вещества, не потребленного гетеротрофами (чистая первичная продукция минус потребление гетеротрофами) за определенный период

ПРОДУЦЕНТЫ – автотрофы; **КОНСУМЕНТЫ** – гетеротрофы, питаются готовым органическим веществом; **РЕДУЦЕНТЫ** – потребители детрита.

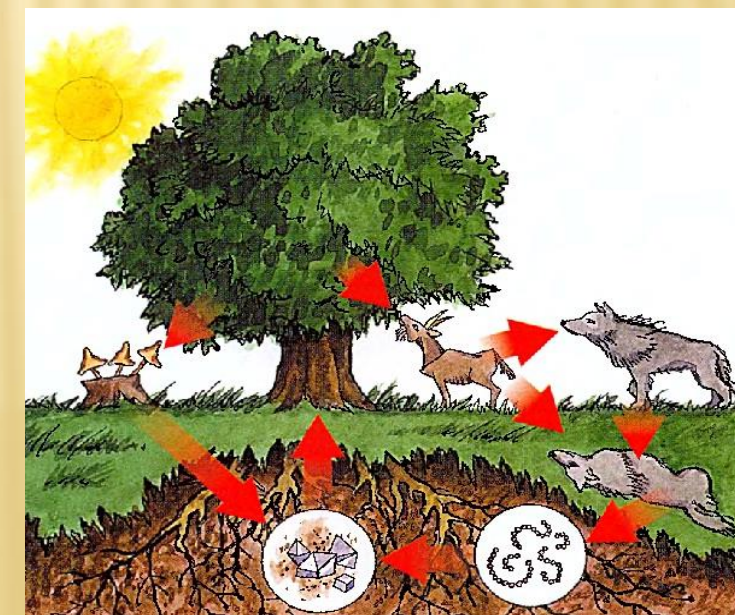
✗ **Потери на дыхание гетеротрофов** Суммарные потери на дыхание

$R_h = R_c + R_r$ (консументы и редуценты). $ER = R_a + R_h$ (автотрофы и гетеротрофы)

✗ $NEP = GPP - ER = (NPP + R_a) - (R_a + R_h) = NPP - R_h$



$$GPP = NPP + R_a$$

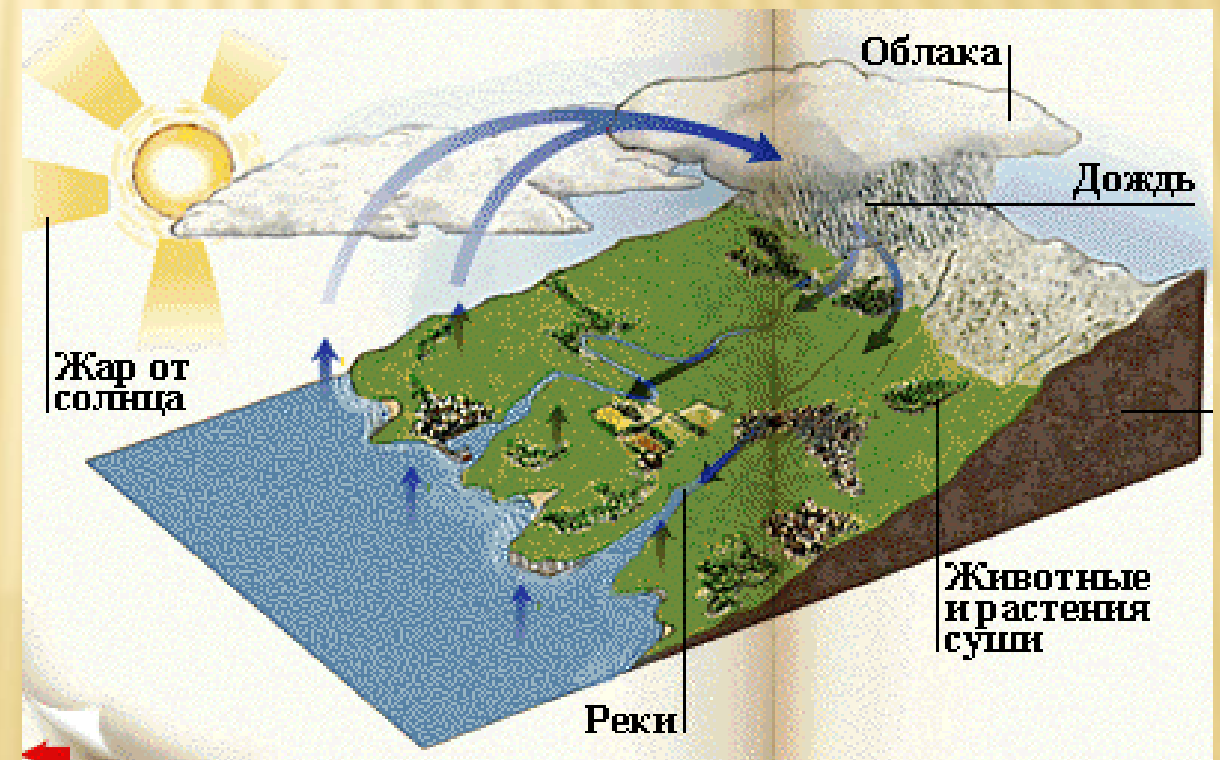


БИОГЕННАЯ МИГРАЦИЯ АТОМОВ

- ✗ **Биогенная миграция - миграция атомов основных химических элементов через живые организмы и косную среду.**
- ✗ Для биогенной миграции характерна **аккумуляция, концентрация элементов в живых организмах**. Аккумуляции противостоит процесс **минерализации** в результате разложения мертвых организмов.

Биогенная миграция вызывается тремя процессами жизни:

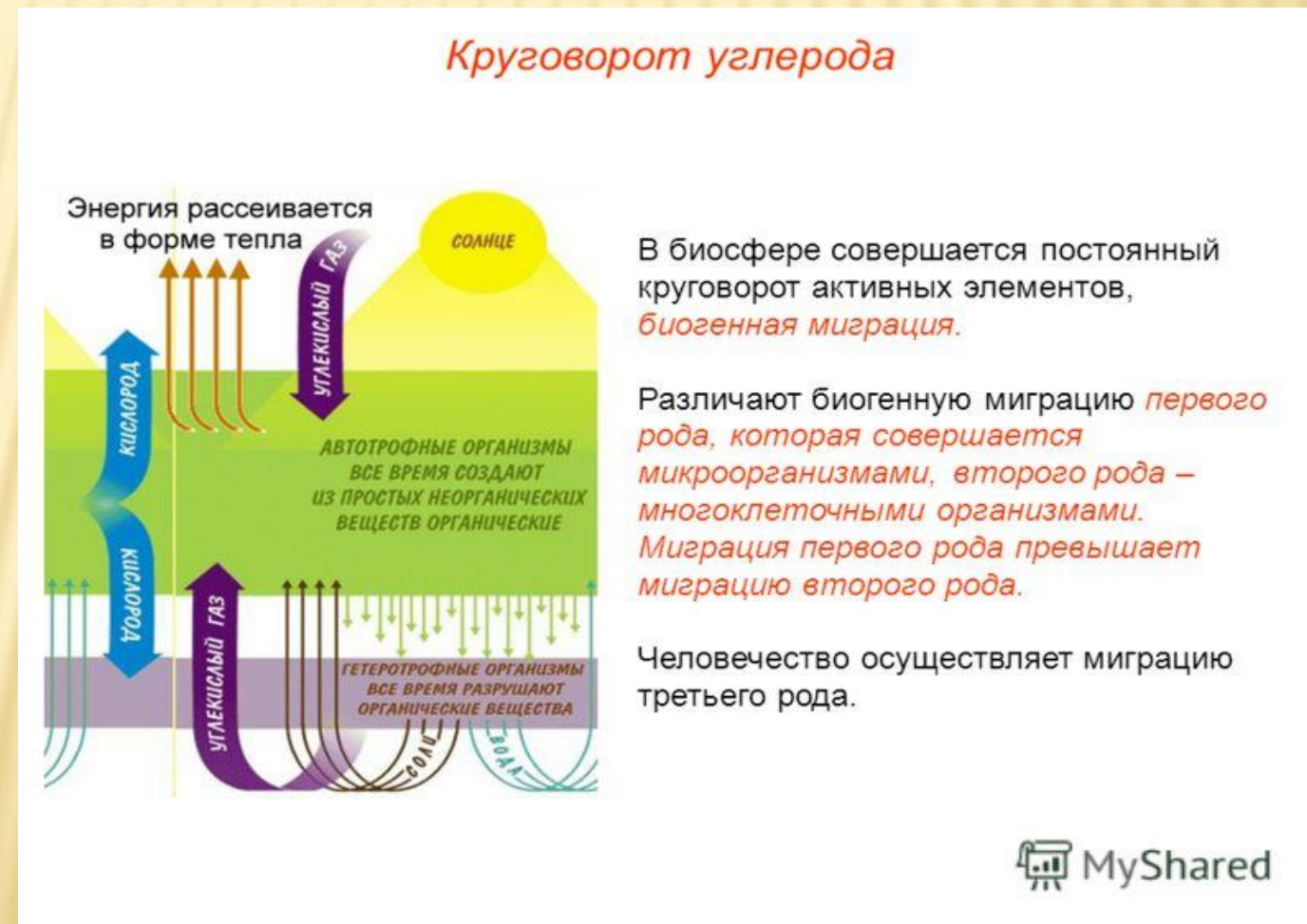
- ✗ обменом веществ в организмах,
- ✗ ростом и
- ✗ размножением.



2 рода биогенной миграции атомов:

- ✗ **миграция первого рода, более интенсивная, производится микроорганизмами**
- ✗ **миграция второго рода - многоклеточными организмами.**

Миграция атомов первого рода превышает миграцию второго, т.к. микроорганизмы размножаются значительно быстрее многоклеточных организмов.



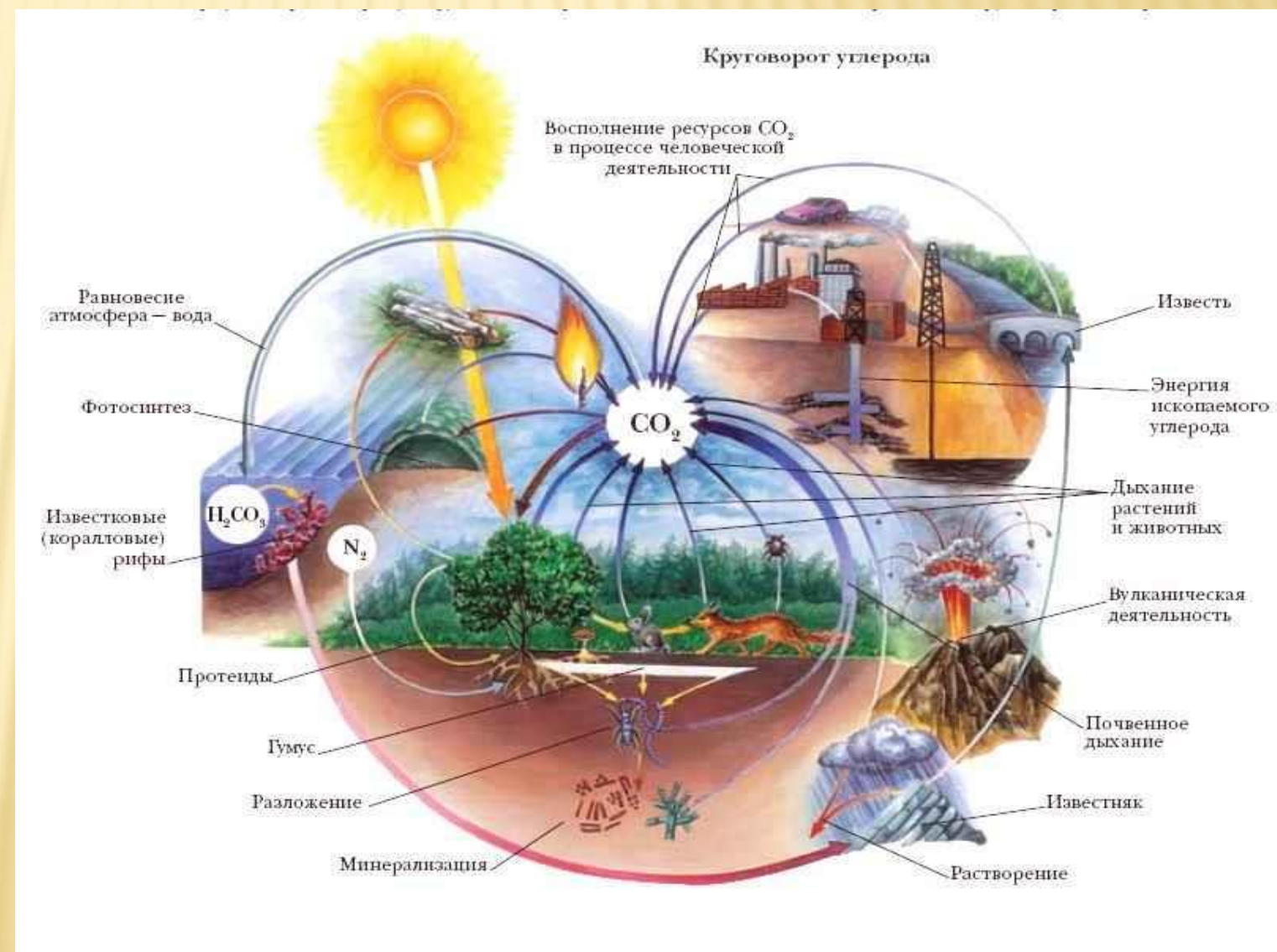
БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРУГОВОРОТЫ

- ✗ **Скорость оборота** - та часть общего количества данного вещества в данном компоненте среды, которая освобождается за определенное время.
- ✗ **Время оборота** - величина обратная, т.е. время, необходимое для полной смены всего количества этого вещества в данном компоненте экосистемы.
- ✗ **Коэффициент рециркуляции** –

соотношение суммарных количеств веществ, циркулирующих между разными блоками системы и общим потоком вещества через систему. Позволяет установить **степень повторного** использования элемента.

$$C = T_c / T$$

T_c – рециркулируемая доля потока вещества через систему,
 T – общий поток вещества через систему



Кислород (O)

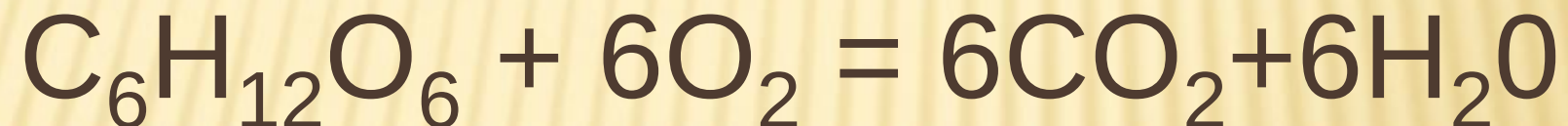
- ✗ Преобладает по массе в живых существах (за счет того, что входит в состав воды).
- ✗ Входит в состав органических веществ, занимает второе место после углерода в сухой биомассе.
- ✗ Важен для энергообмена: за счет окисления органического вещества кислородом большинство живых организмов получает энергию.
- ✗ Из свободного кислорода образуется озон.

Дыхание – фотосинтез наоборот

✗ Фотосинтез



✗ Дыхание



✗ Сгорание метана



Дыхательный коэффициент

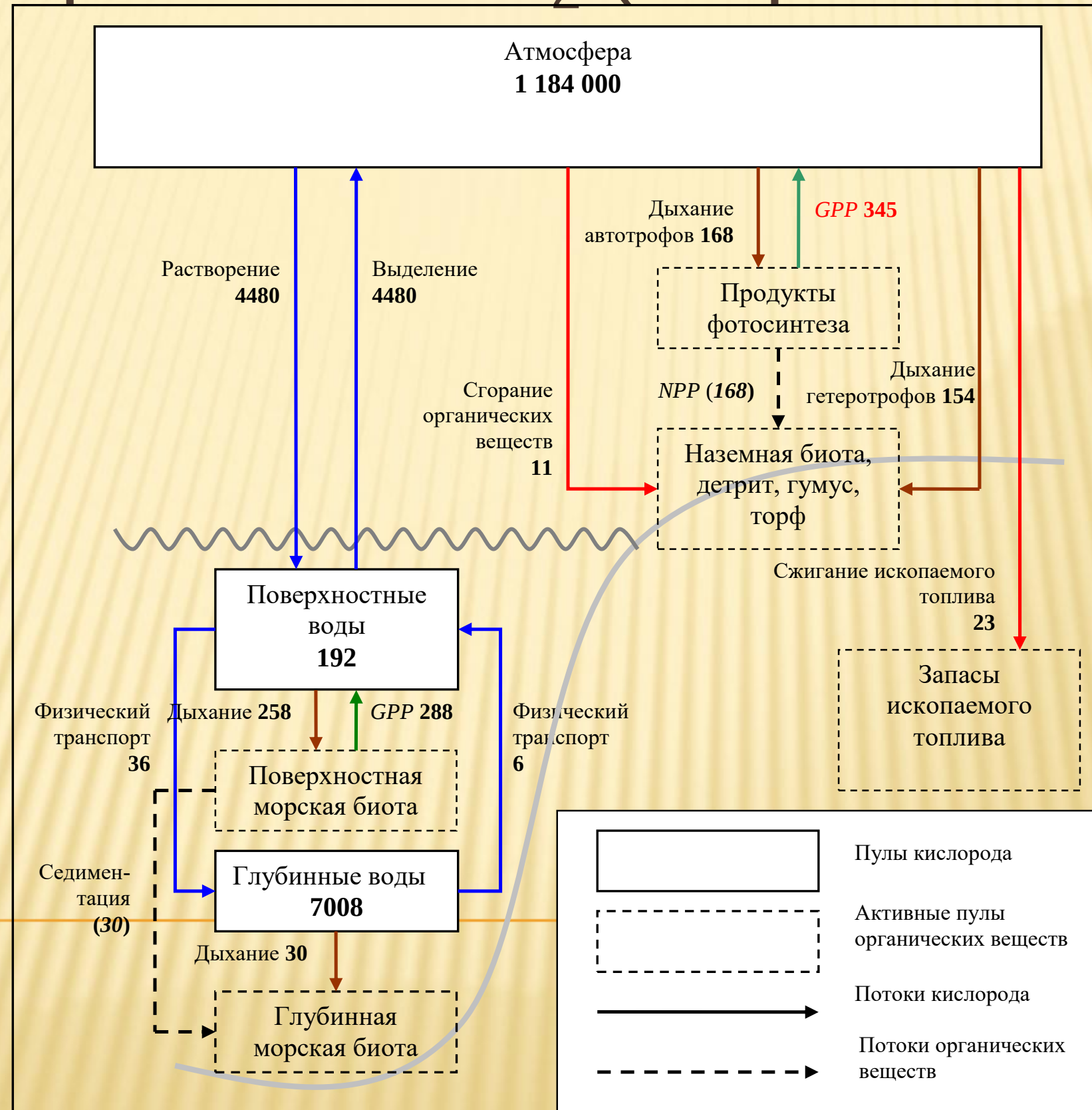
отношение объема CO_2 , выделяемого при дыхании организма, к объему поглощаемого O_2 .

для углеводов равен 1

для белков равен 0.8

для жиров равен 0.7

Биосферный цикл O_2 (современный), Гт O_2



Глобальная специфика кислородного цикла

Время обновления кислорода в атмосфере
около 2000 лет.

$$1184000 / (311 + 288) = 1976$$

Гт O₂ Гт O₂/год Лет

Вопрос: если фотосинтез остановится, за
какое время биосферное дыхание
полностью истратит атмосферный
кислород?

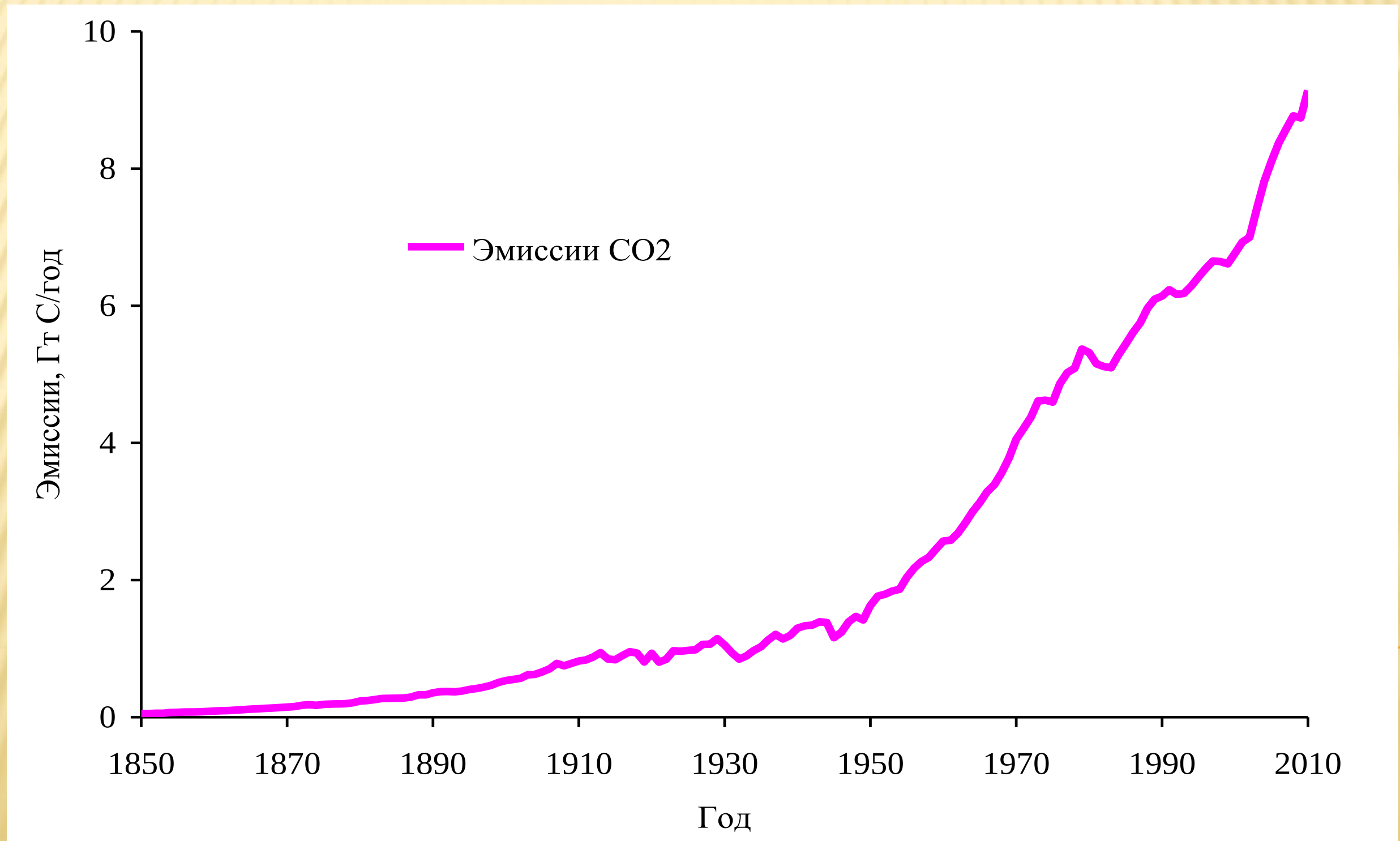
Ответ: **никогда.**

При полном окислении биомассы и детрита (включая торф и гумус), будет использовано всего 0.3% (!) запаса атмосферного кислорода.

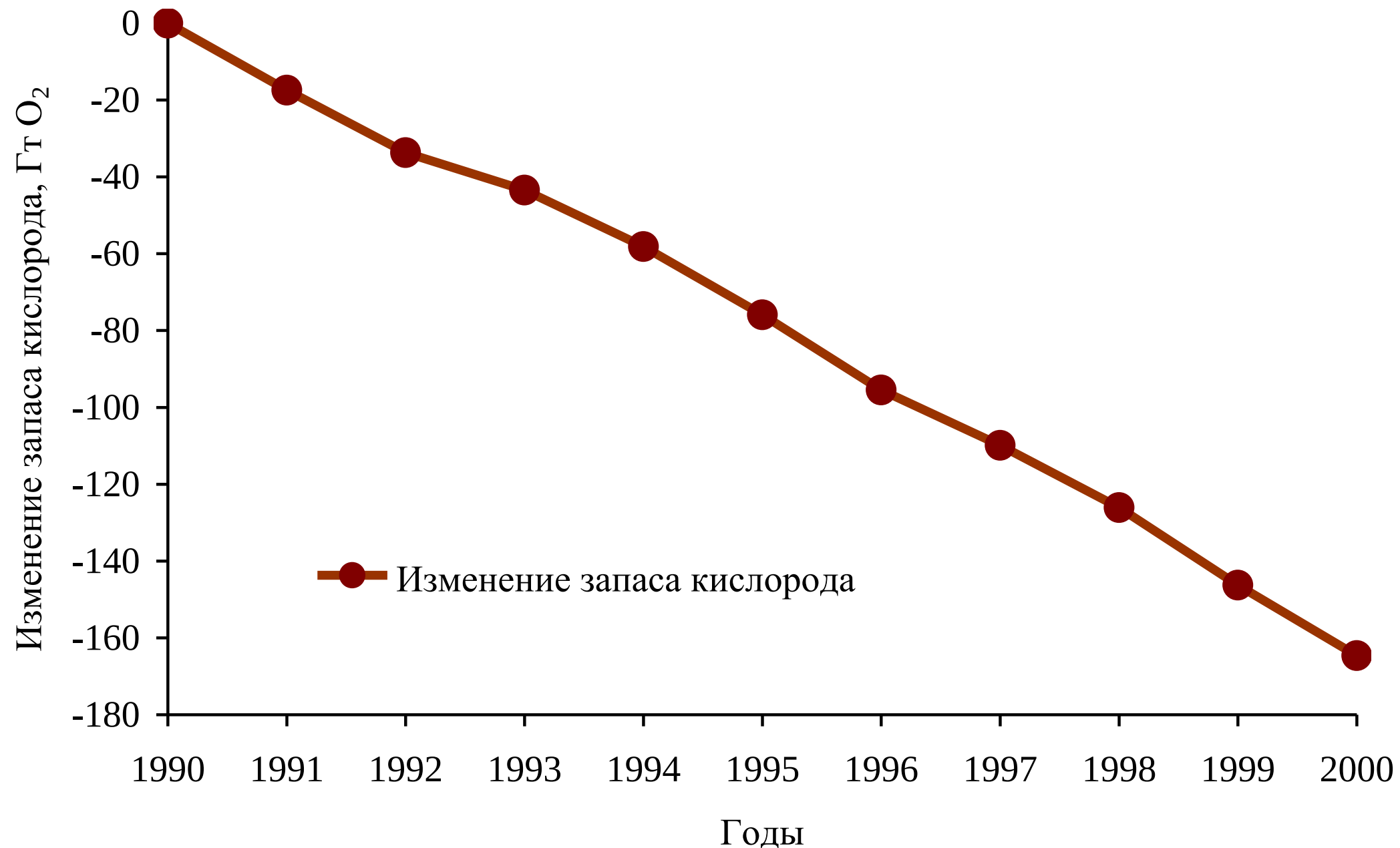
$$(1500 \times 2.5) / 1184000 = 0.003$$

Гт С О/С Гт О

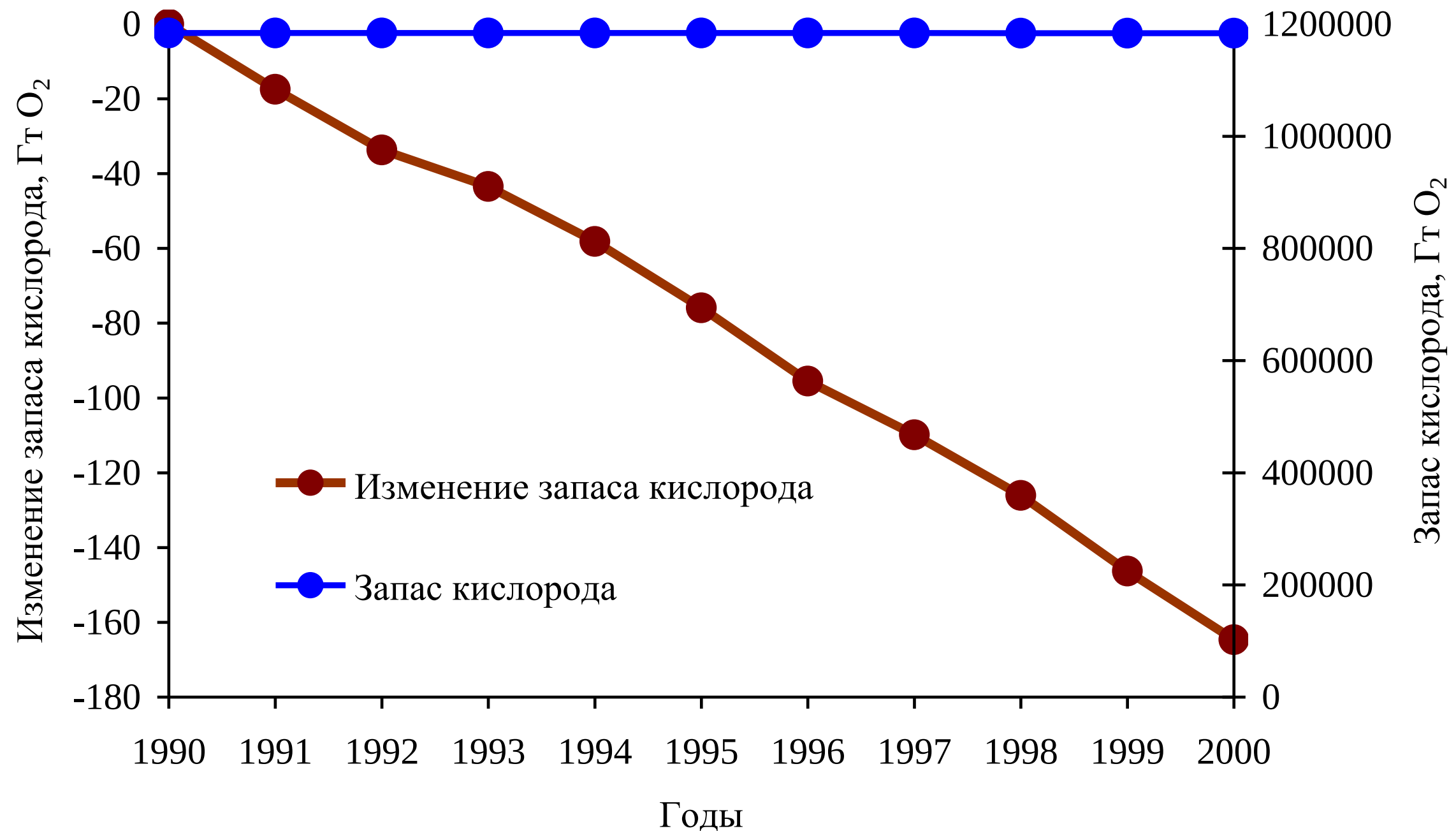
Сжигание ископаемого топлива сопровождается поглощением атмосферного кислорода



Изменение запаса кислорода атмосферы за счет сжигания ископаемого топлива

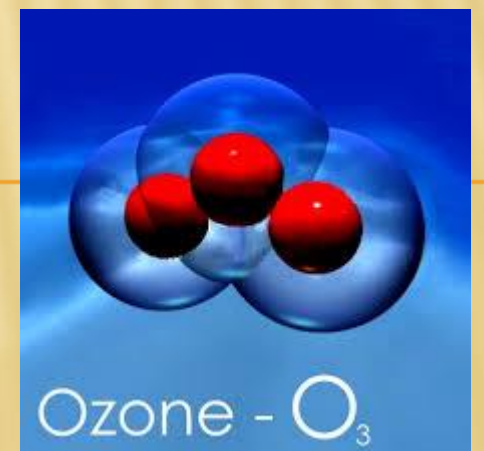
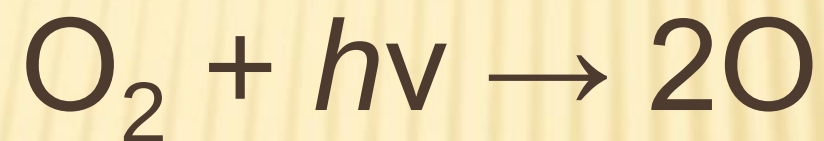


Динамика запаса кислорода атмосферы: проблемы с дефицитом кислорода нет!

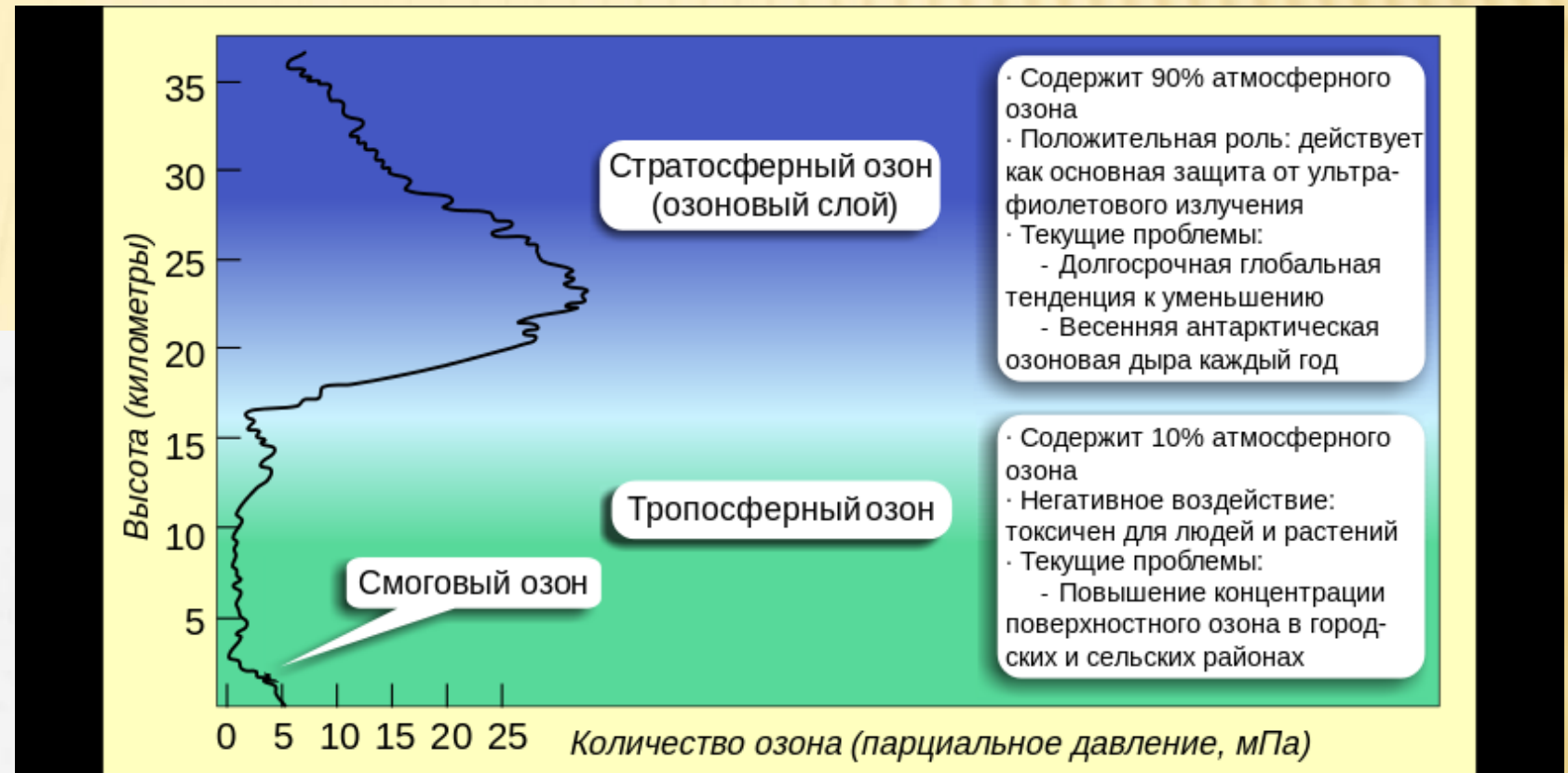
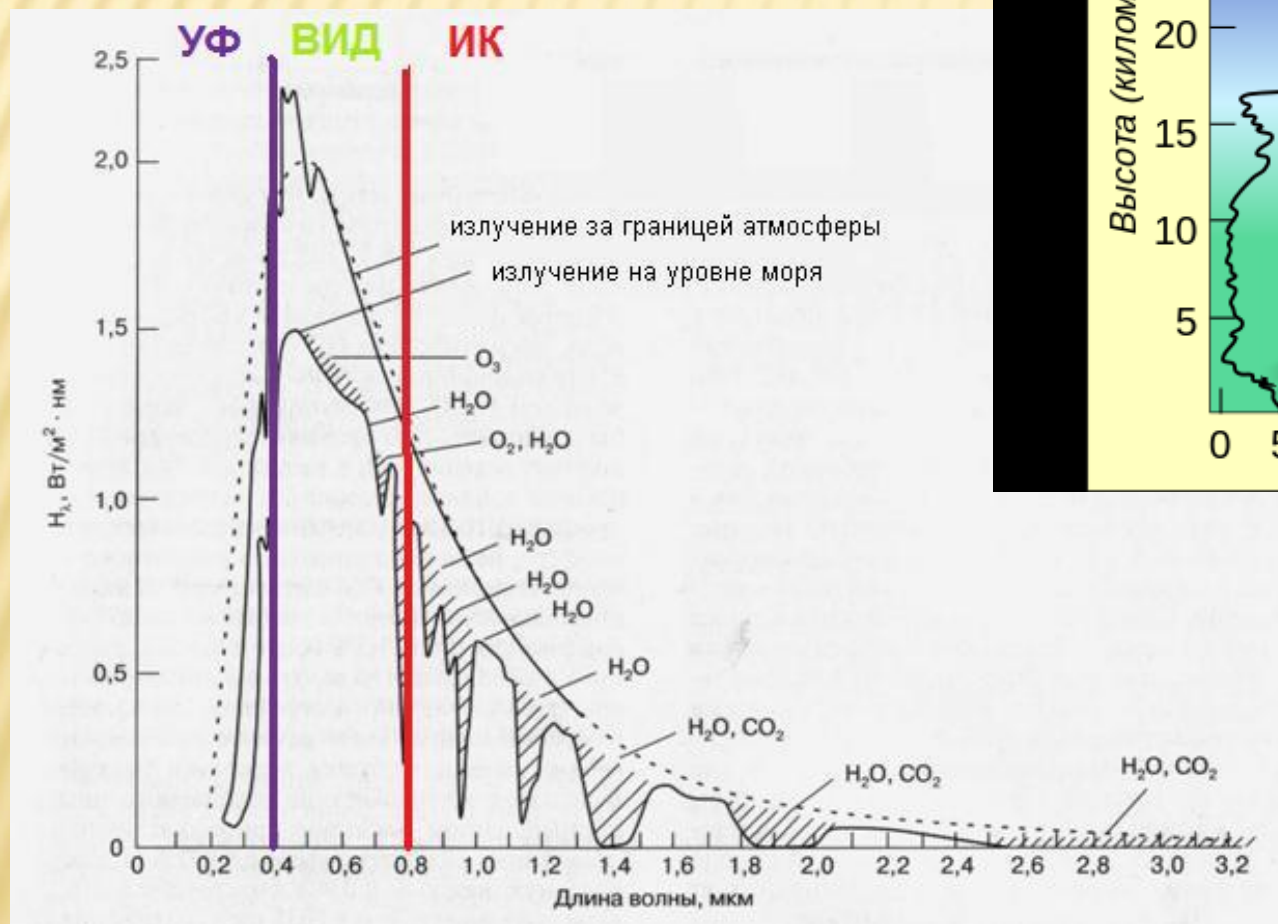


Озоновая ветвь кислородного цикла

Механизм Чепмена – образование озона из кислорода под воздействием УФ излучения



Озон (O_3) поглощает ультрафиолетовое излучение Солнца



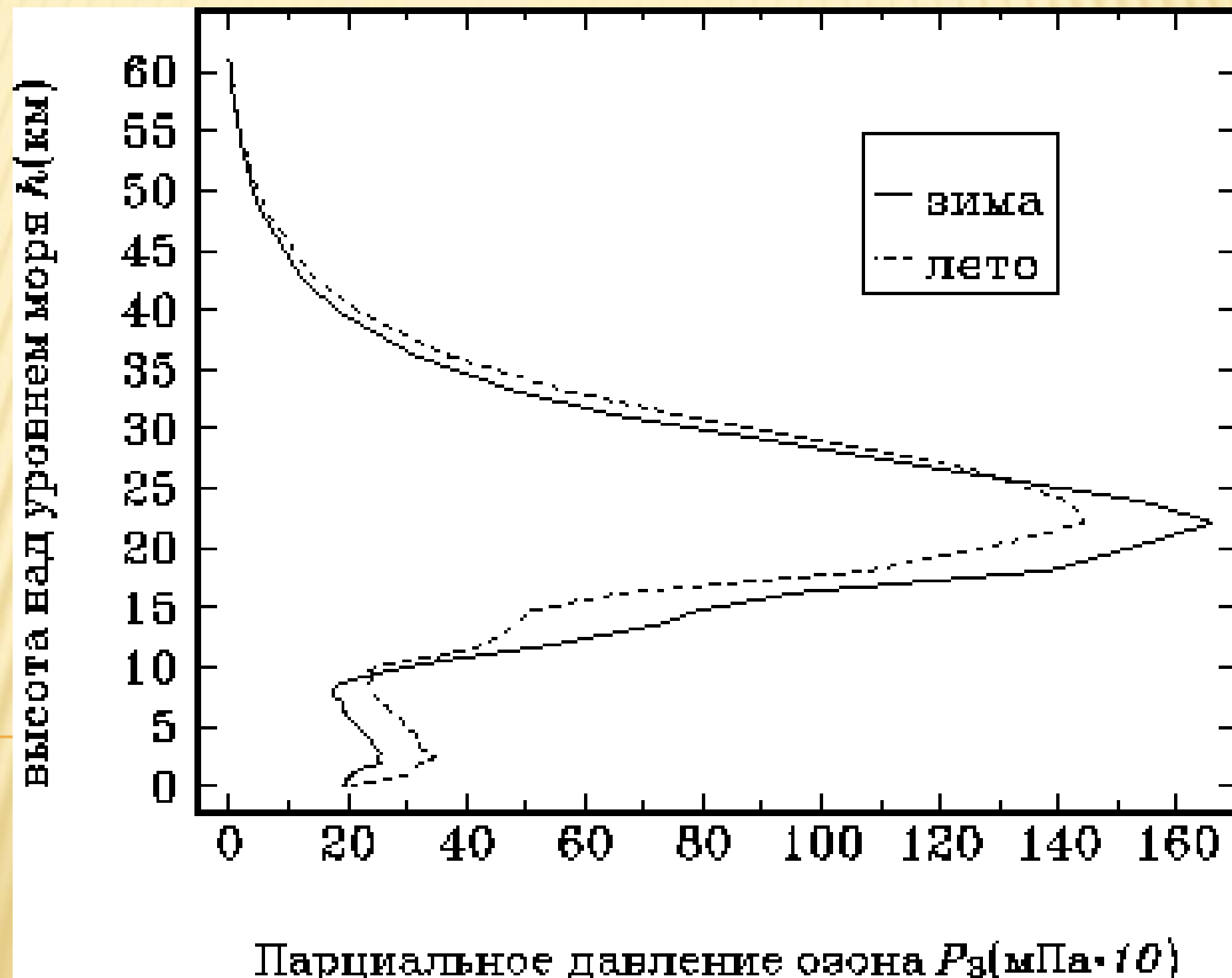
УФ излучение – мощный токсический и мутагенный фактор



Обеззараживание водопроводной воды УФ излучением

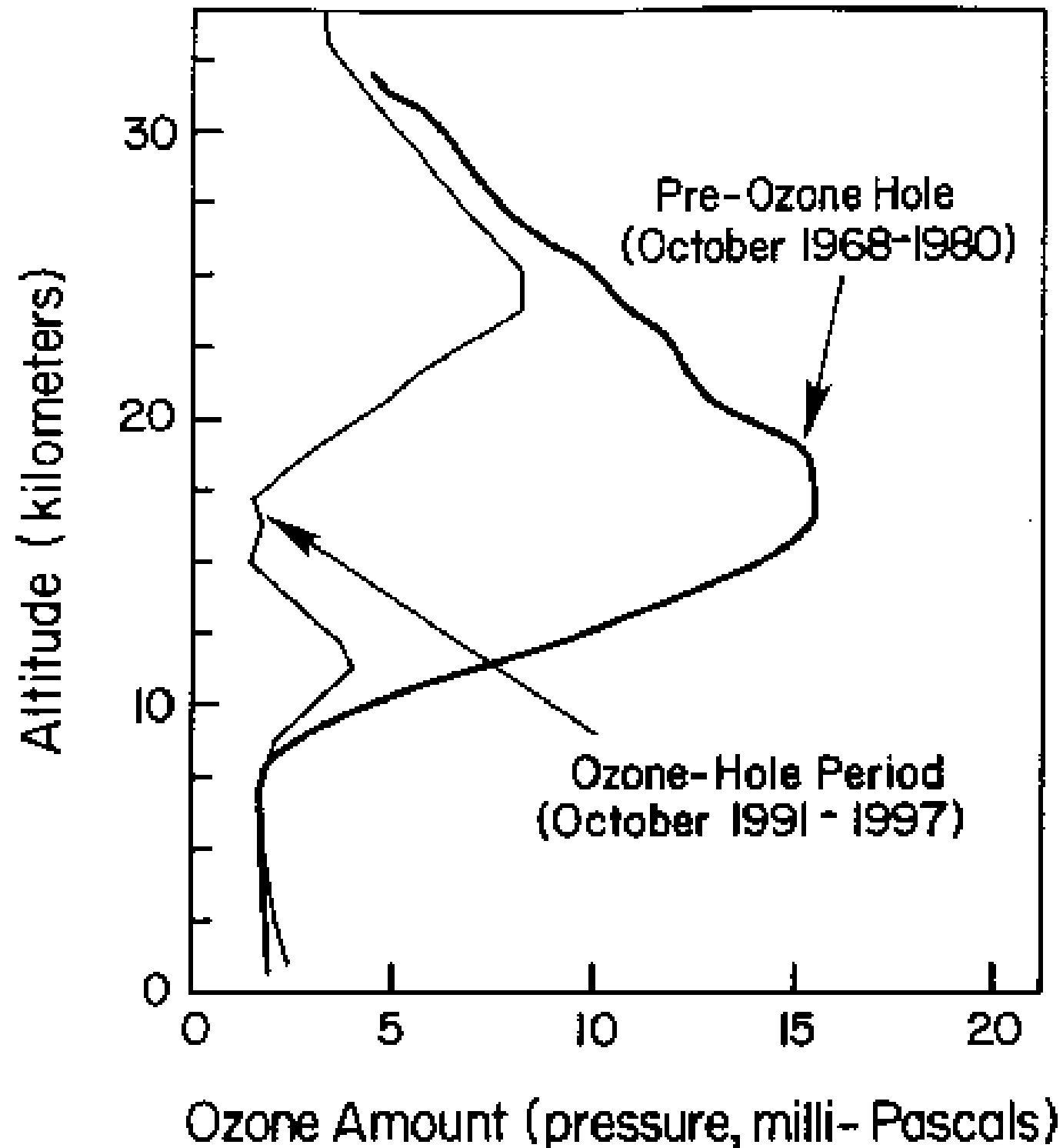


Озоновый слой – повышенное содержание озона в стратосфере (от 10 до 35 км)

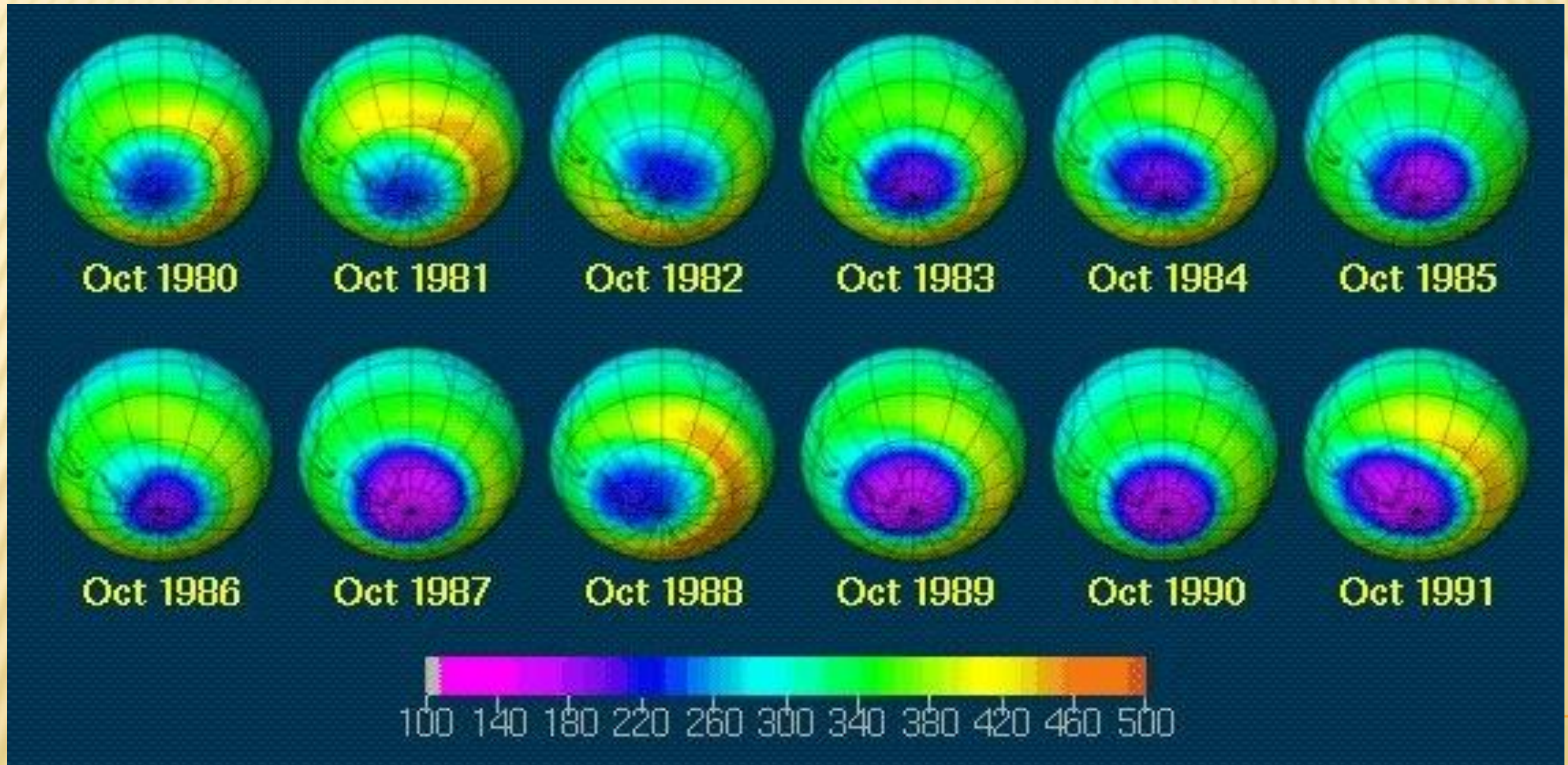


Пример развития озоновой дыры (Антарктика)

Springtime Depletion of the Ozone Layer over Syowa, Antarctica



Пространственная динамика озоновой дыры в Антарктике



1 единица Добсона = 1 микрометр слоя чистого O_3 = 1.25 ppb O_3

Причина «озоновых дыр» - антропогенные эмиссии озоноразрушающих газов

✗ Фреоны (ХФУ)

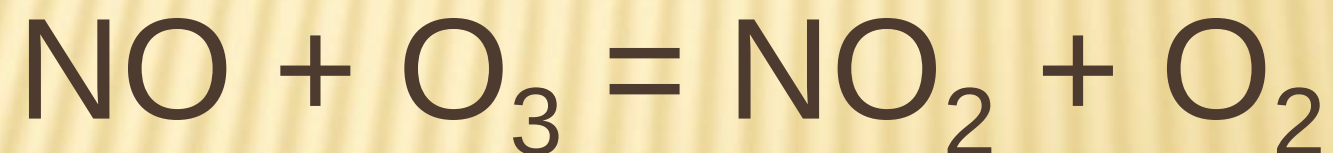
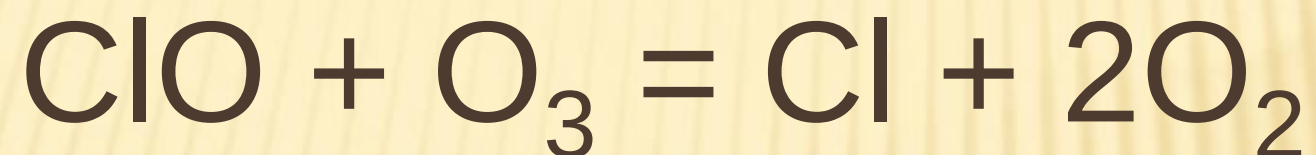
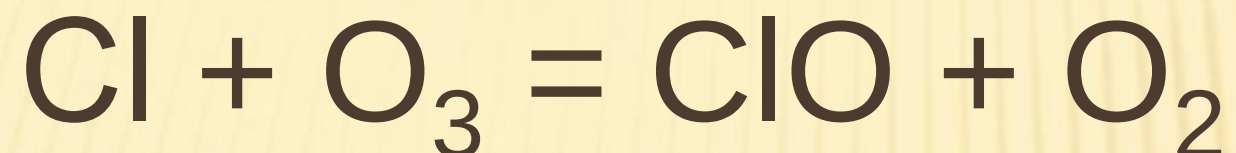


✗ Оксиды азота



(сп 10051) СССР-77107 Ту-144 1978 год (с) В. А. Владимиров

Фреоны и окислы азота разрушают озоновый слой

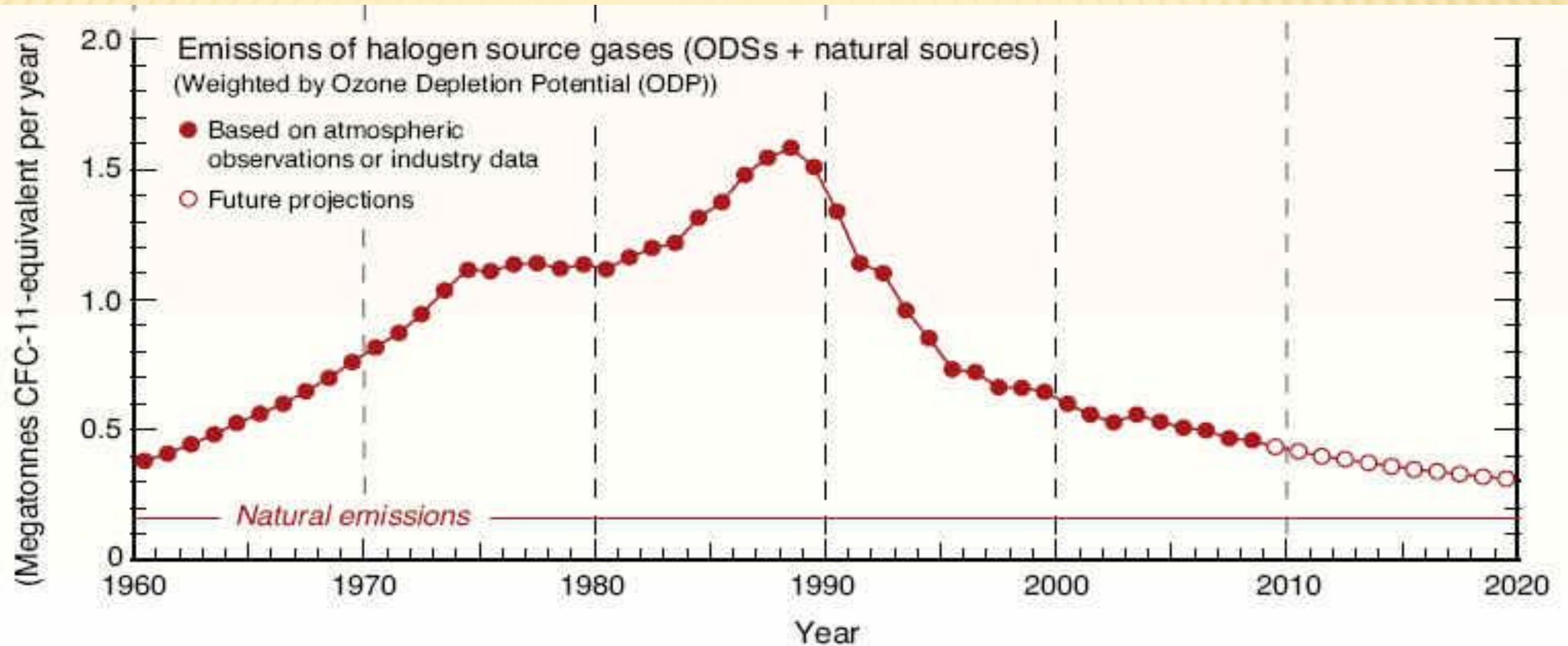


Международные соглашения об охране озонового слоя

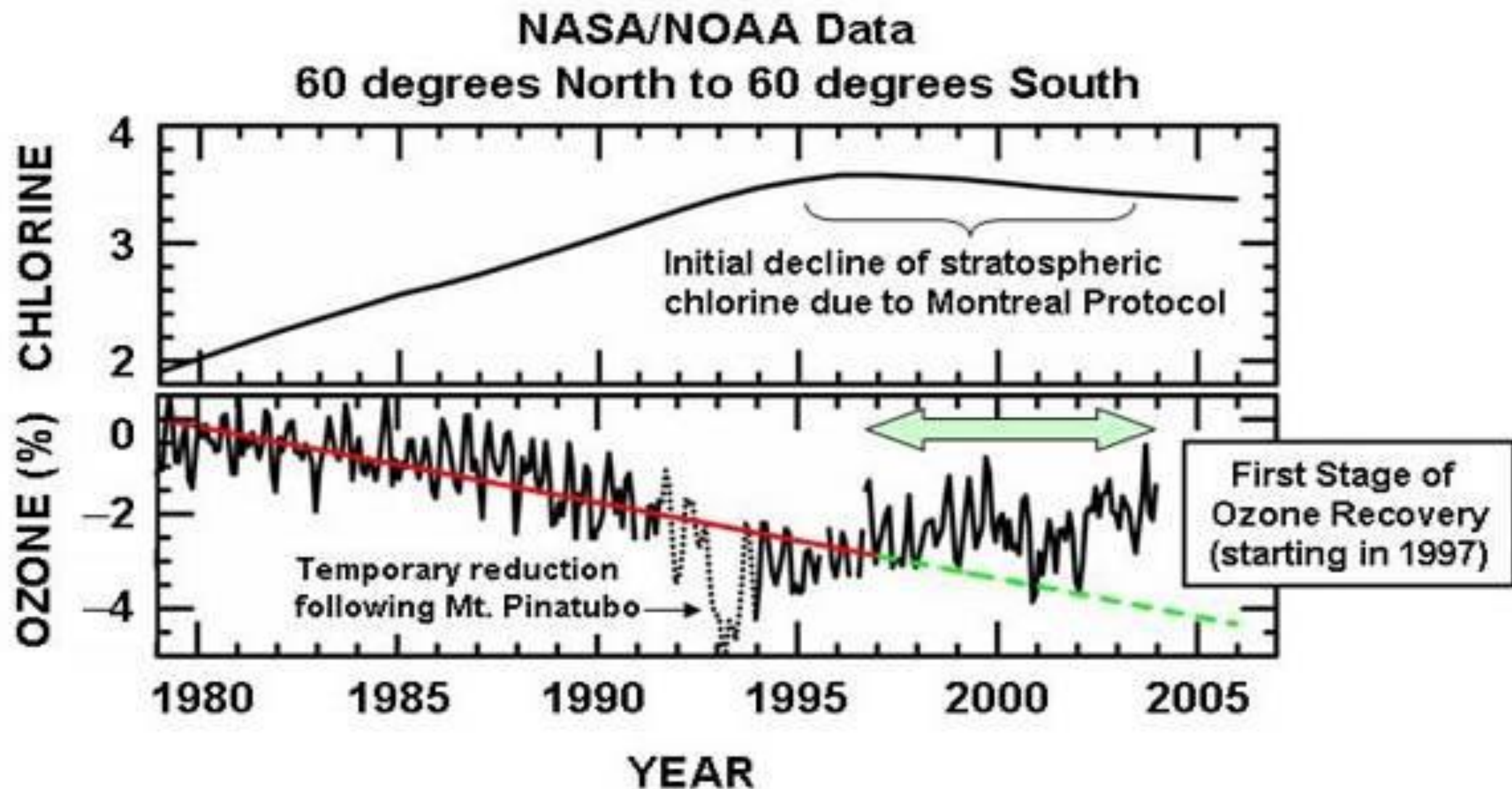
- ✗ Венская конвенция об охране озонового слоя (1985 г.). Ратифицирована всеми членами ООН.
- ✗ Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой (1987 г.)



Мировые эмиссии озонразрушающих газов



Динамика озона в атмосфере Земли по спутниковым данным



- ✗ Согласно имеющимся прогнозам, озоновый слой Земли полностью восстановится примерно к 2050 г.
- ✗ Мнение Кофи Анана (бывший Генеральный секретарь ООН): «возможно, единственным очень успешным международным соглашением можно считать Монреальский протокол».



Азот (N)

- ✗ Входит в состав белков – наиболее активной части биологических молекул
 - ✗ Входит в состав нуклеиновых кислот.
 - ✗ По массе занимает 4-е место в составе живых существ (после O, C, H).
-

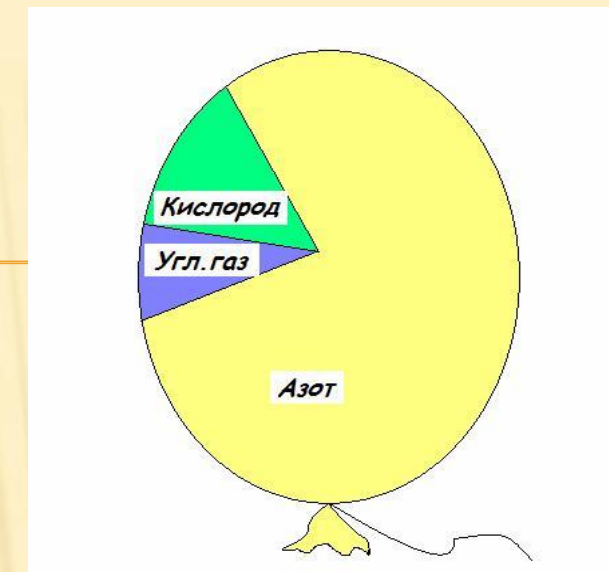
КРУГОВОРОТ АЗОТА

✗ Содержание АЗОТА в атмосфере в газообразном виде составляет **78%**.



Существует два пути фиксации азота (перевода его в форму, доступную для растений)

1. **Абиогенная фиксация** - в результате электрических разрядов (молний) и других физических процессов



2. **Биогенная фиксация азота** - в результате деятельности микроорганизмов, бактерий или водорослей

Схема азотного цикла биосферы

Атмосфера

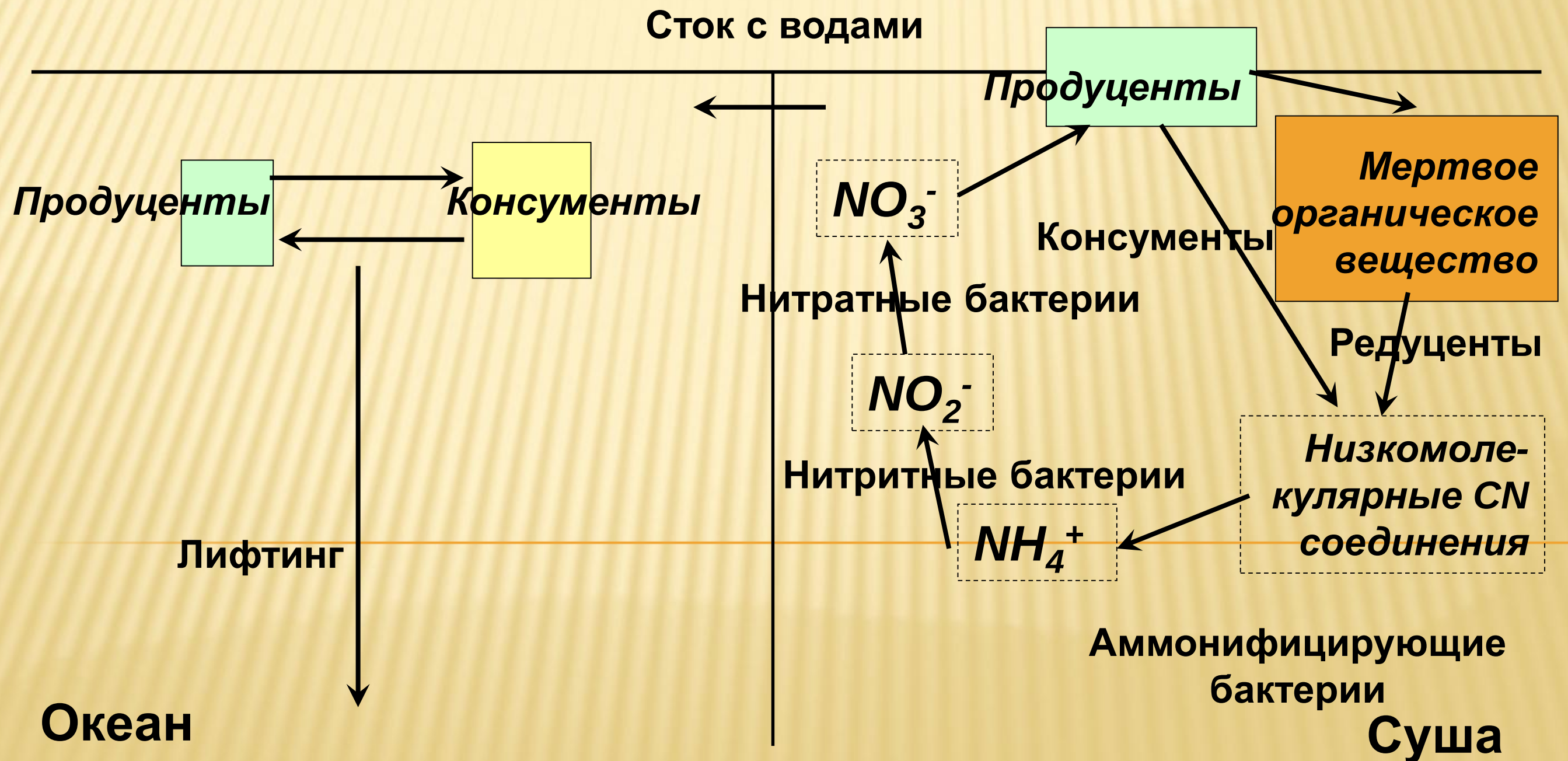
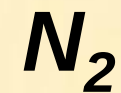
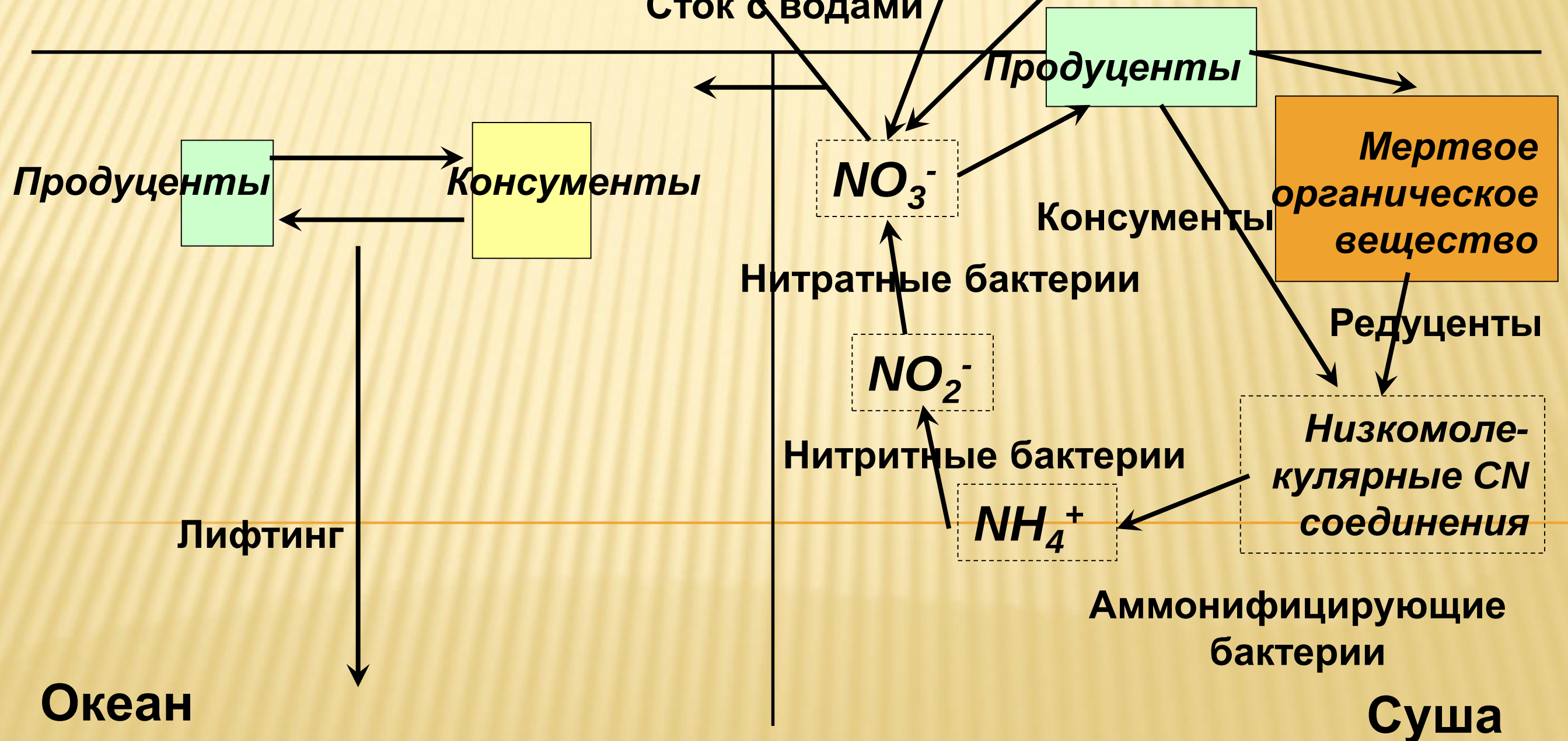


Схема азотного цикла биосферы

Атмосфера

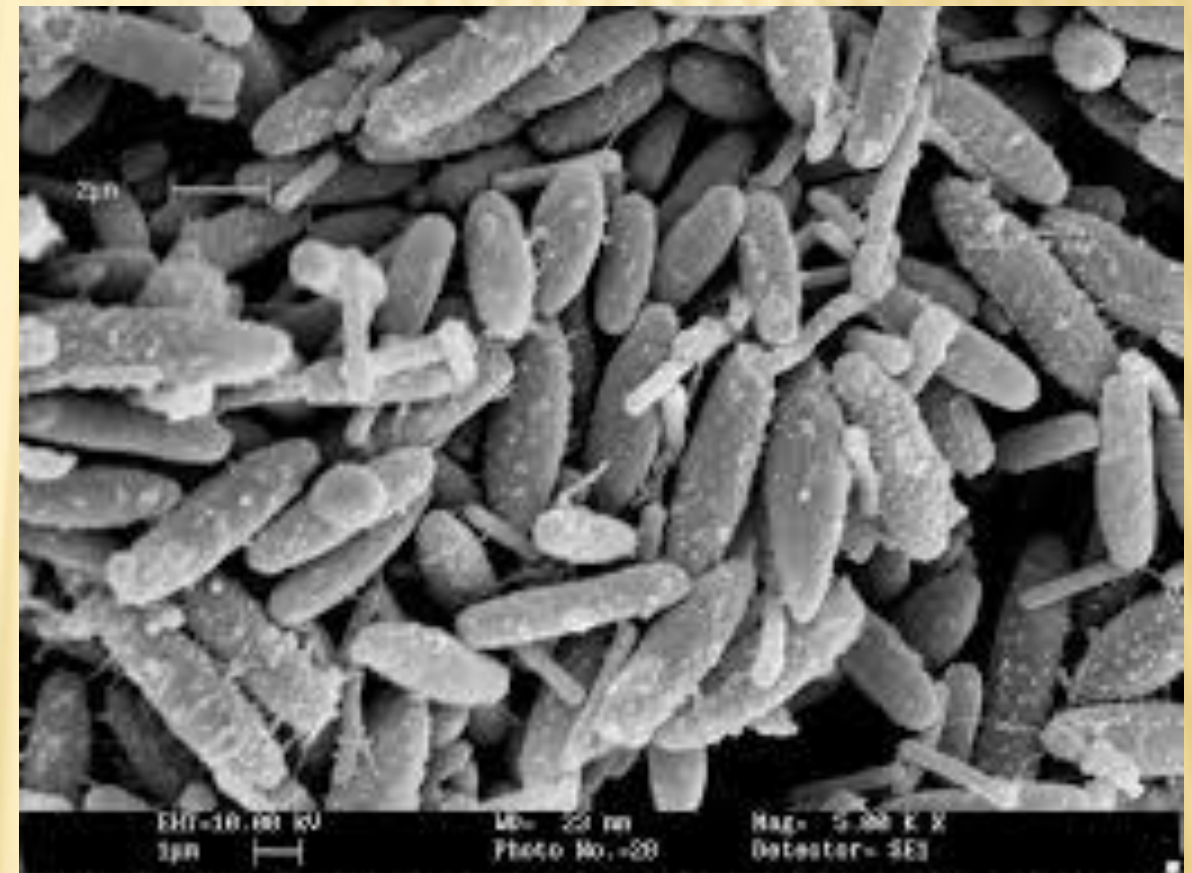
N_2
Денитрификация
Абиогенная фиксация
Биогенная фиксация
Сток с водами



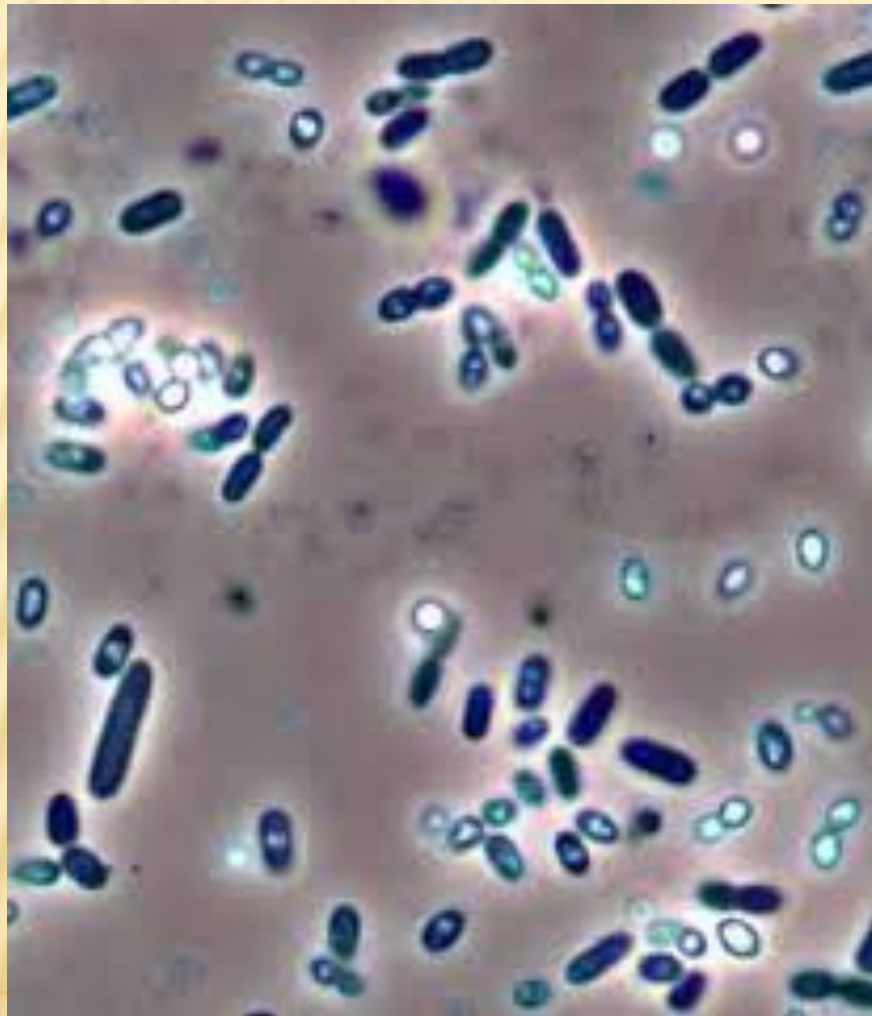
Нитритная бактерия *Nitrosomonas*



Денитрифицирующая бактерия *Bacillus*



Свободноживущие
азотфиксирующие
бактерии *Azotobacter*



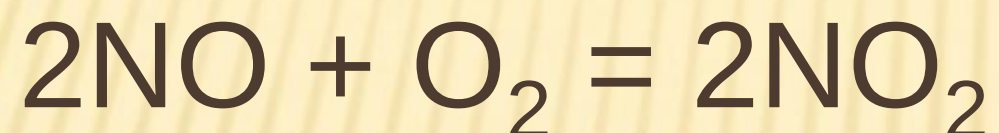
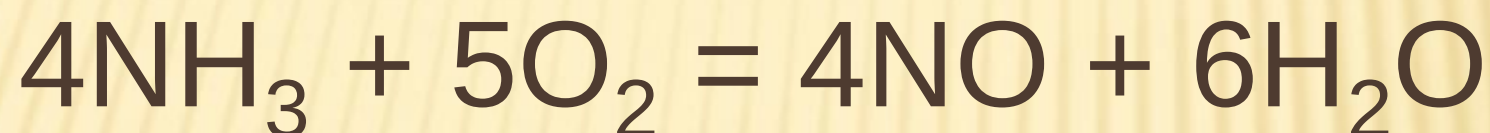
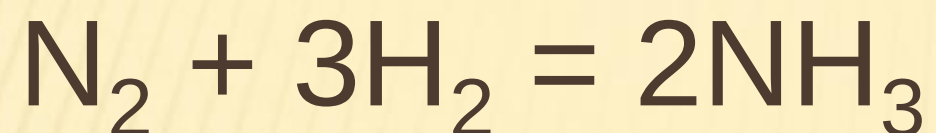
Клубеньки на корнях
фасоли



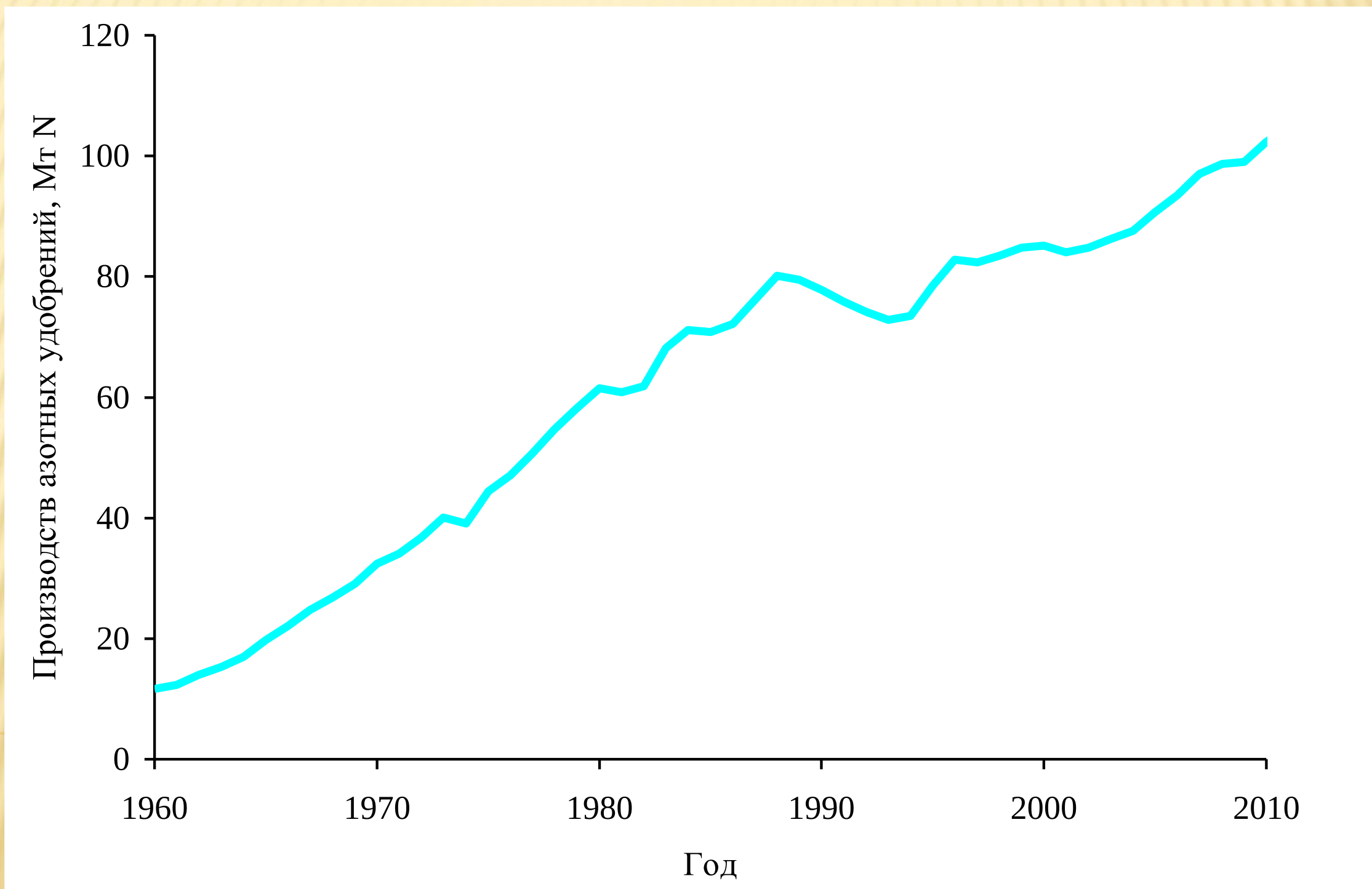
Антропогенные воздействия на цикл азота: 1) производство азотных удобрений; 2) выбросы оксидов азота при сжигании топлива; 3) возделывание бобовых.



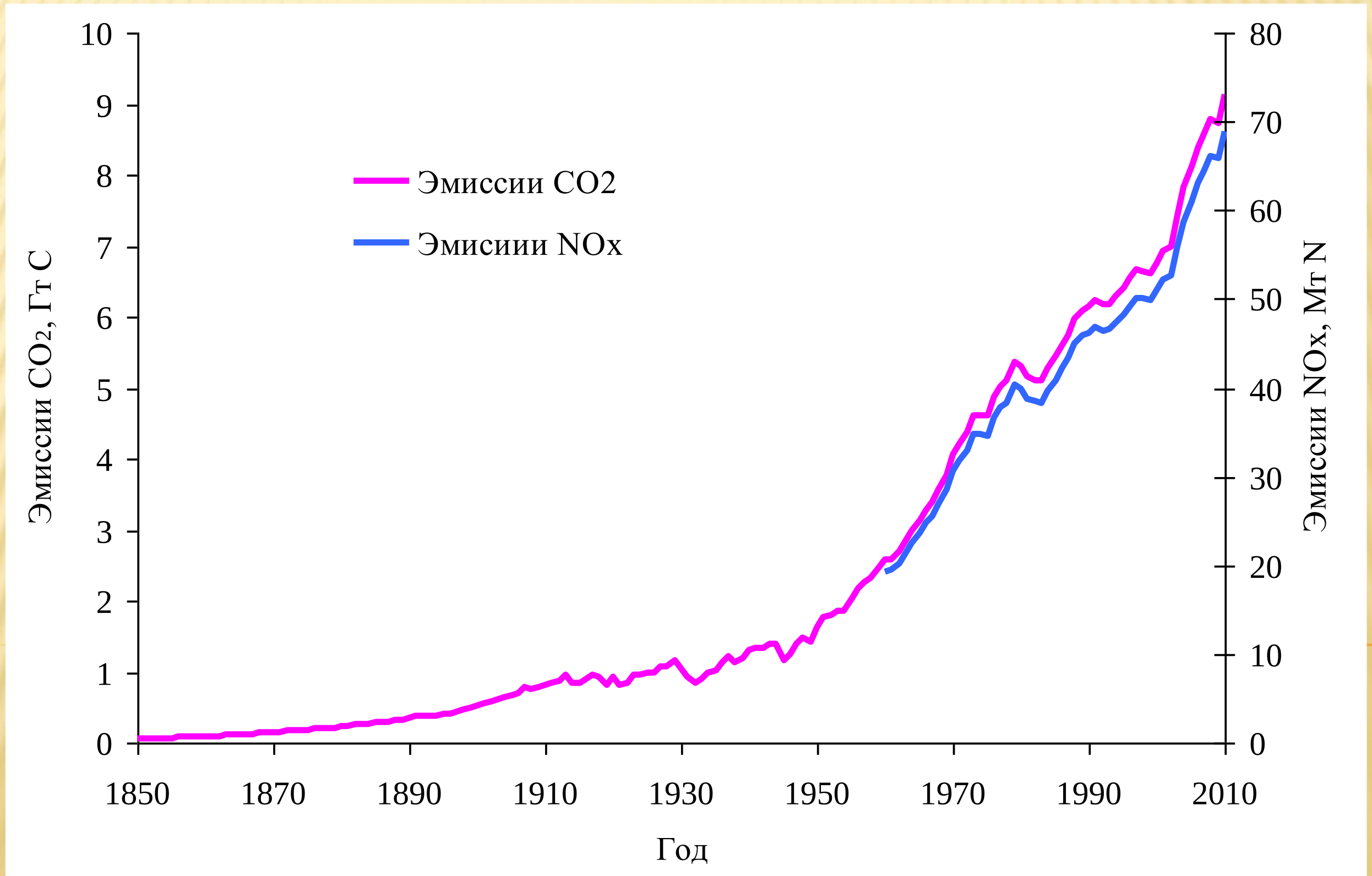
Производство азотных удобрений



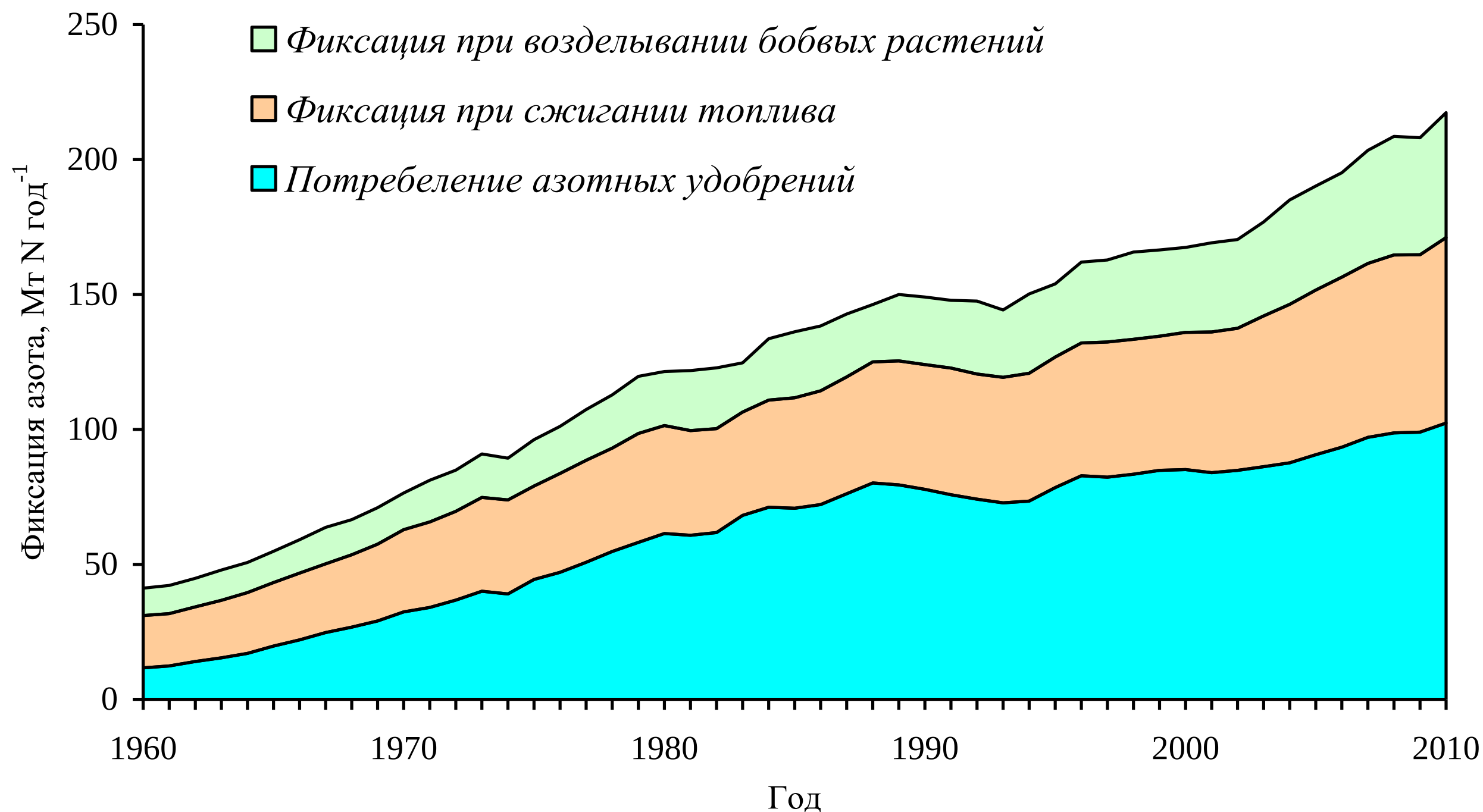
Рост производства азотных удобрений



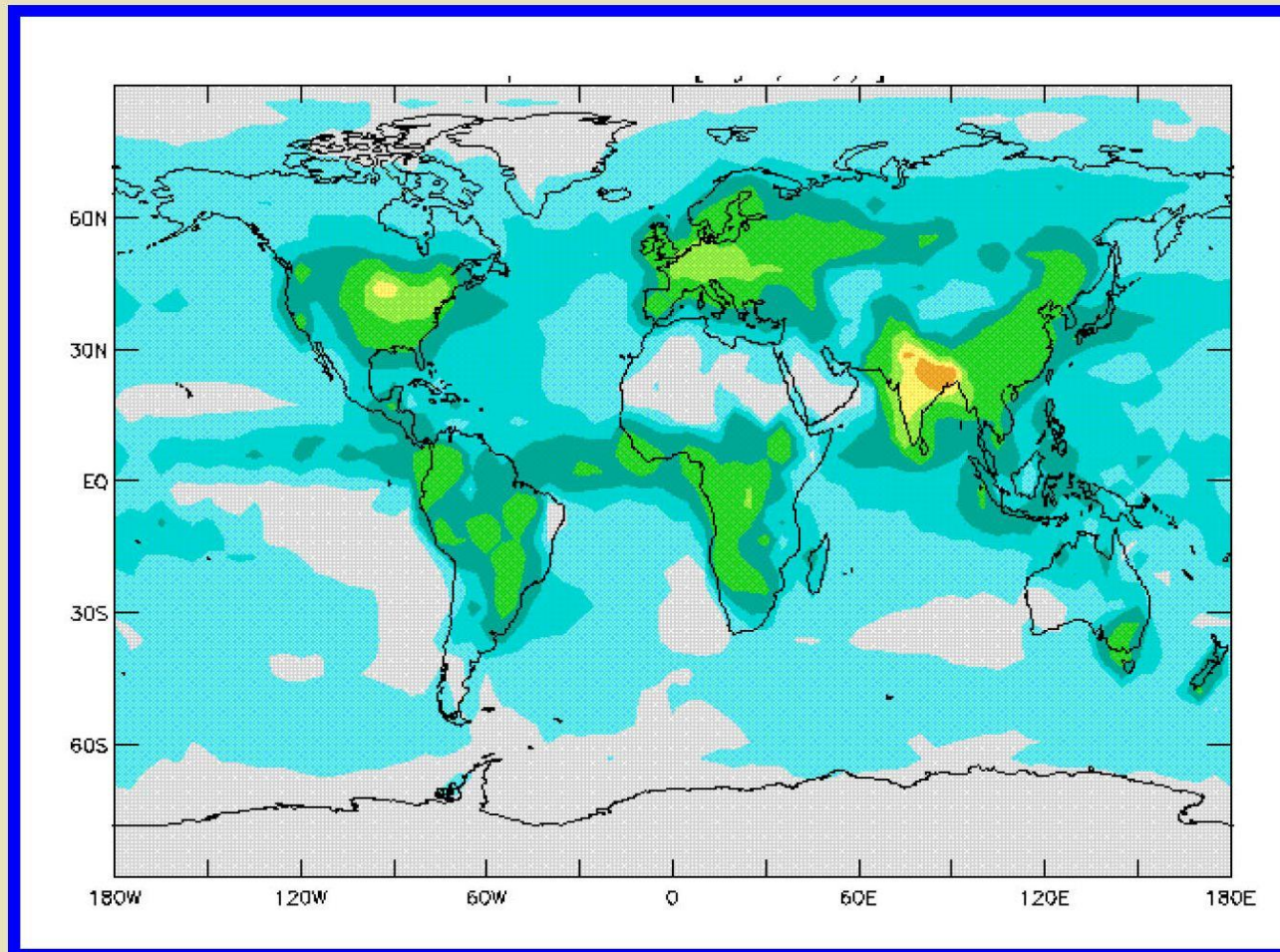
Эмиссии NO_x, связанные со сжиганием ископаемого топлива



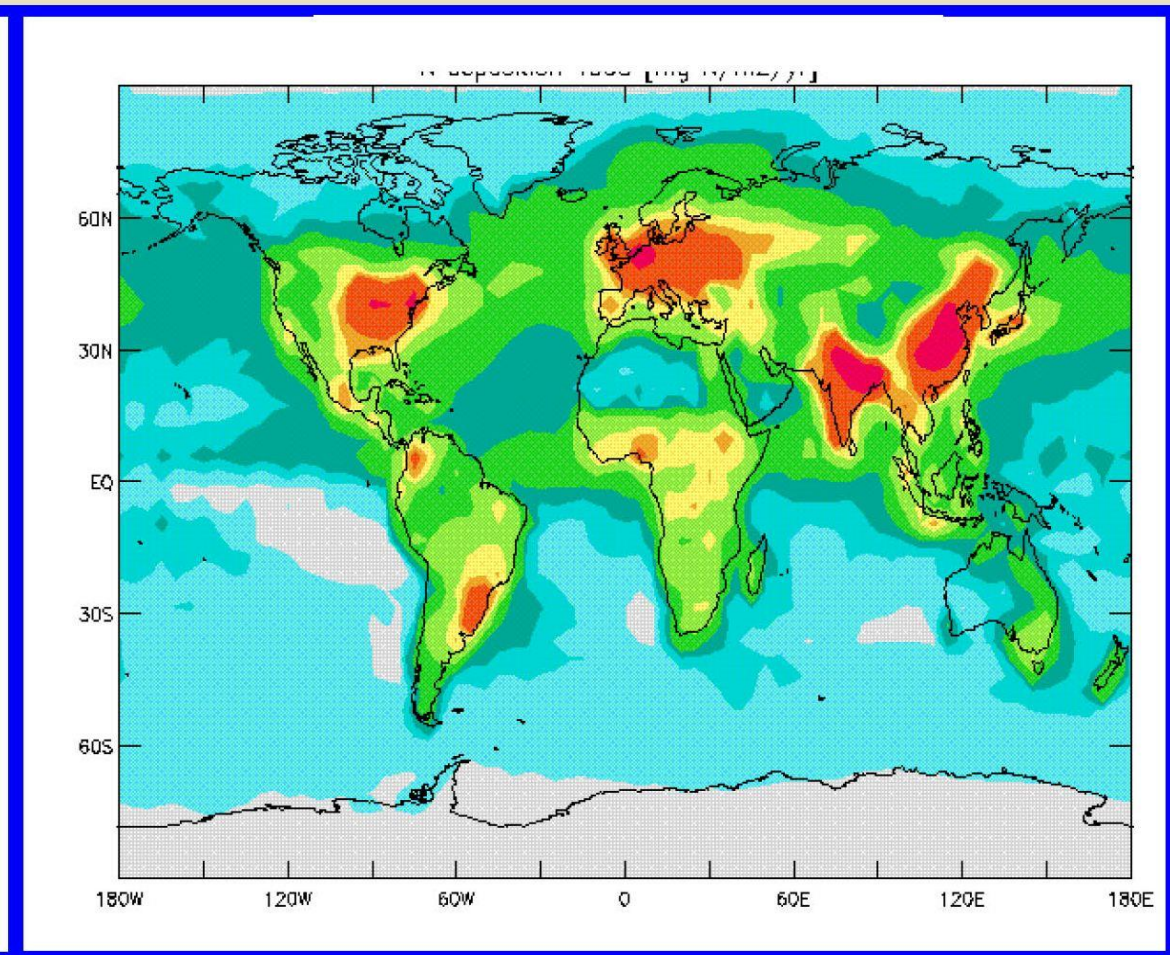
Динамика антропогенной фиксации азота



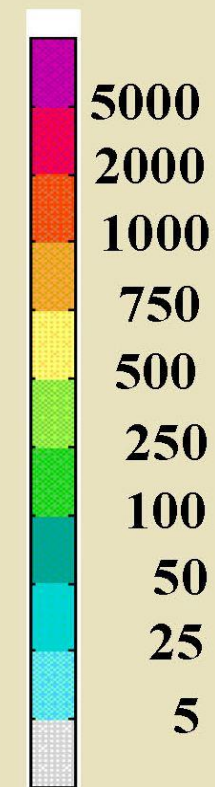
Усиление выпадения азота с осадками



1860



1993



ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЦИКЛА АЗОТА

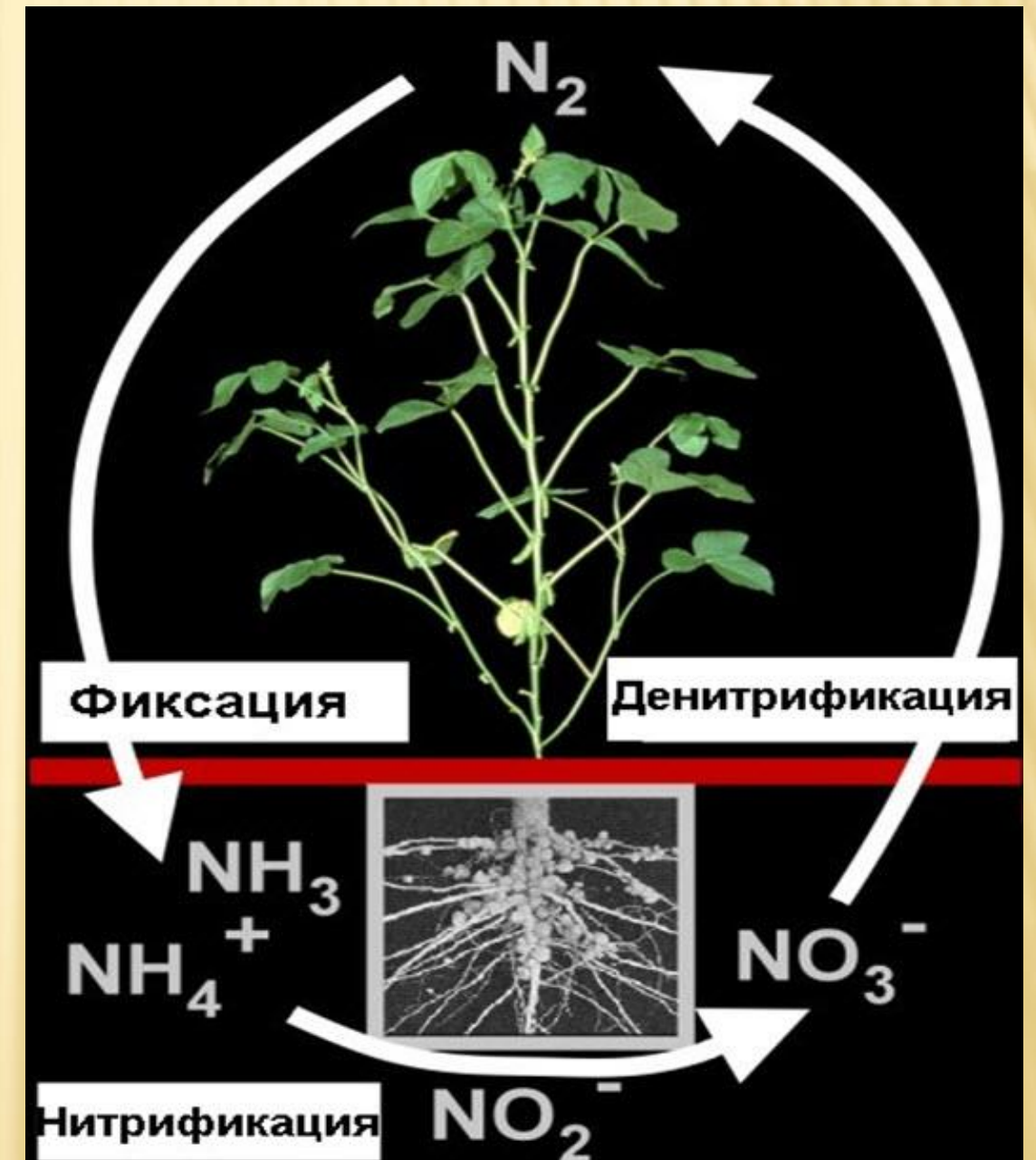
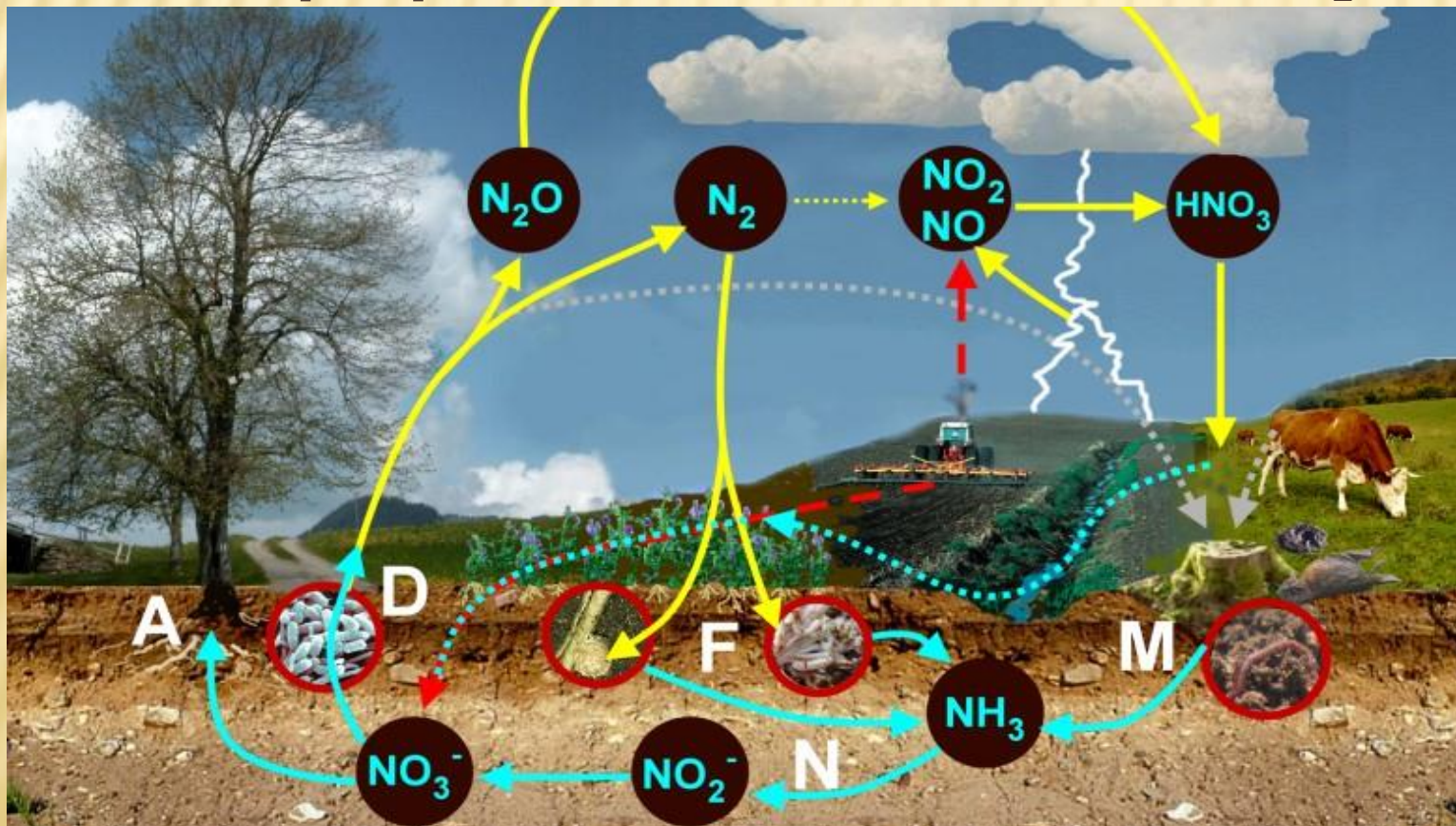
Азотфиксация: абиогенная и биогенная

Ассимиляция: синтез в живом организме

Аммонификация: разложение органических азотсодержащих соединений

Нитрификация: соли азотной кислоты

Денитрификация: восстановление до N_2



Количественная оценка современного биосферного цикла азота



Фосфор (P)

- ✗ Важный компонент нуклеиновых кислот
 - ✗ Участвует в энергообмене на биохимическом уровне (АТФ-АДФ)
 - ✗ У млекопитающих – входит в состав костной ткани
-

КРУГОВОРОТ ФОСФОРА

Круговорот фосфора складывается из этапов:

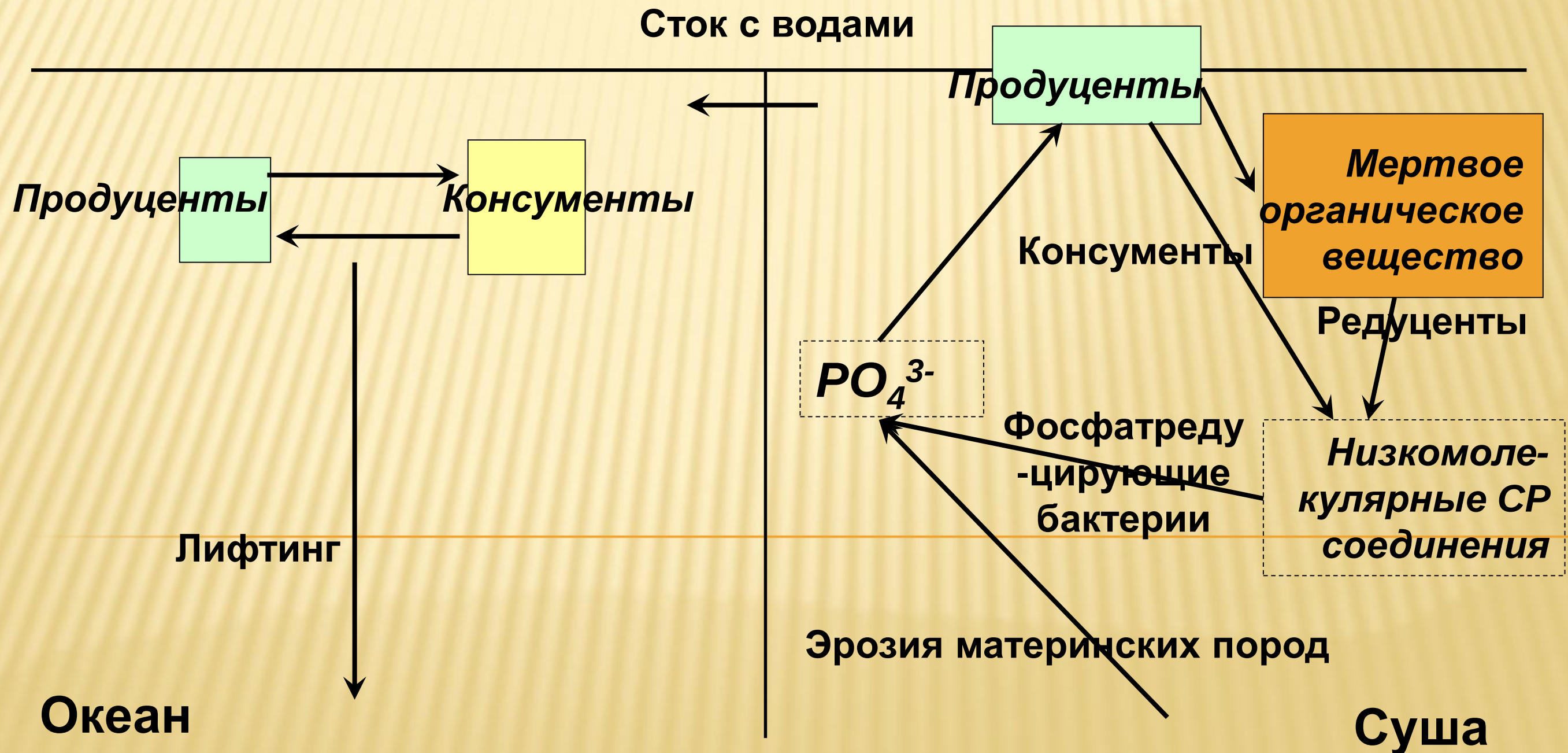
1. Растения **ассимилируют фосфор** в виде фосфат-иона (PO_4^{3-}) непосредственно из почвы или воды;
2. Животные, которые получают фосфор, поедая растения, содержащийся в пище **избыточный органический фосфор** выводится из организма с мочой в виде фосфатов;
3. Некоторые группы бактерий превращают содержащийся в детрите **органический фосфор в фосфат**.



Фосфор поступает в атмосферу в единственной форме – в виде пыли. Поэтому в круговорот фосфора вовлечены **только почва и вода**.

Схема цикла фосфора в биосфере

Атмосфера



КРУГОВОРОТ ФОСФОРА

Влияние факторов среды

- ✗ При обилии растворенного кислорода фосфор образует **нерастворимые соединения**, которые **осаждаются**, тем самым изымая фосфор из фонда доступных биогенных элементов. Возврат фосфора: *либо в результате эрозии, либо при искусственном удобрении почвы или сливе сточных вод.*

В щелочной среде фосфат-ионы соединяются с натрием или кальцием, образуя **нерастворимые соединения**.

Высокая кислотность **снижает доступность фосфора**. В кислых средах алюминий, железо и марганец становятся растворимыми и образуют химические комплексы, связывающие фосфор и изымающие его из круговорота.

Фосфор наиболее доступен в узком диапазоне кислотности в слабокислой среде.

Коэффициент рециркуляции
– от 85 % до 70%.

Круговорот фосфора более открыт и может скорее кончиться. Существует **гипотеза об истощаемости запасов фосфора** в связи с отсутствием механизмов возврата из глубинных морских отложений.



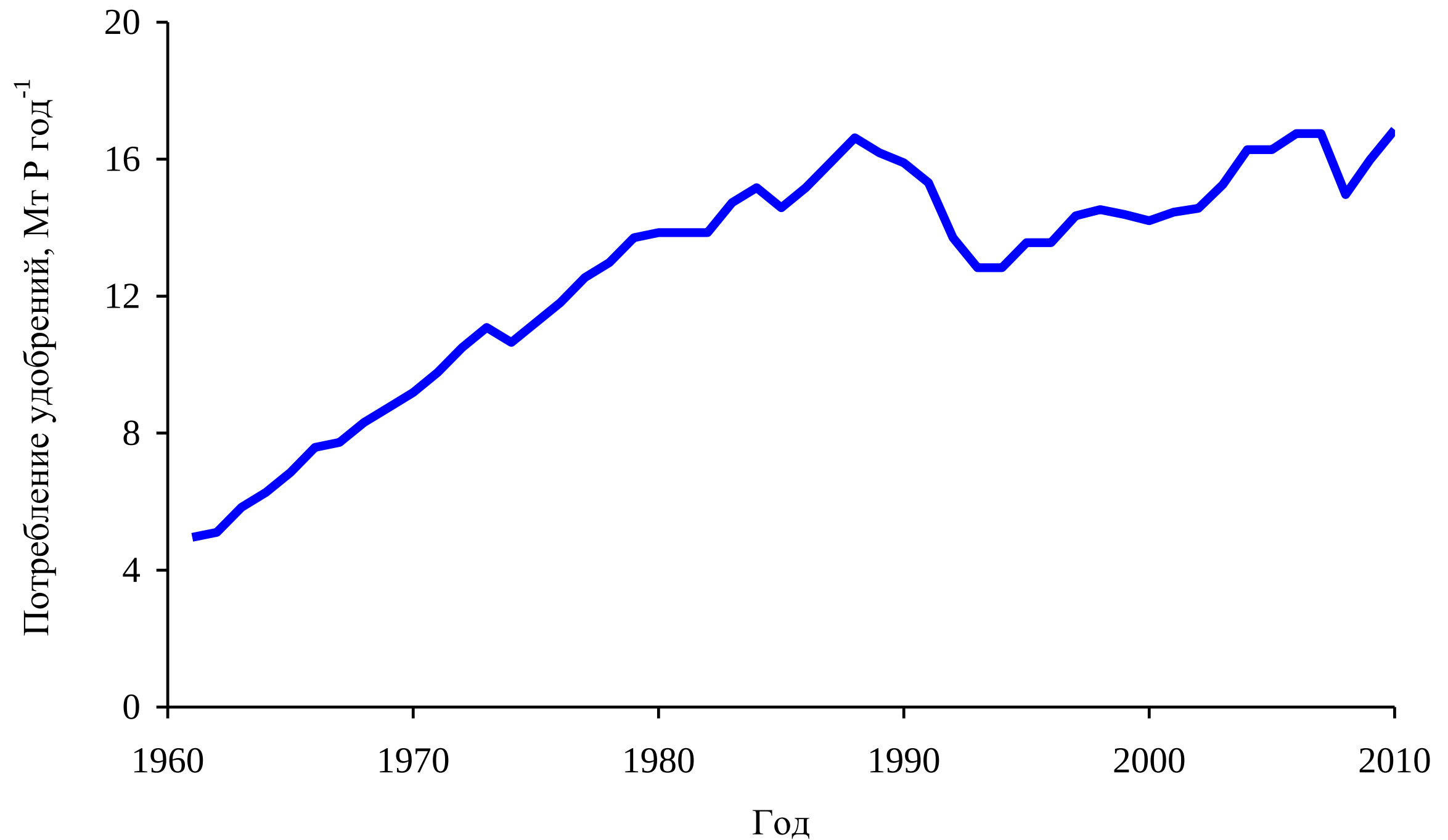
Воздействие человека на цикл фосфора: удобрения и отходы



<http://geo.web.ru/druza/L-Rasvumchorr.htm>

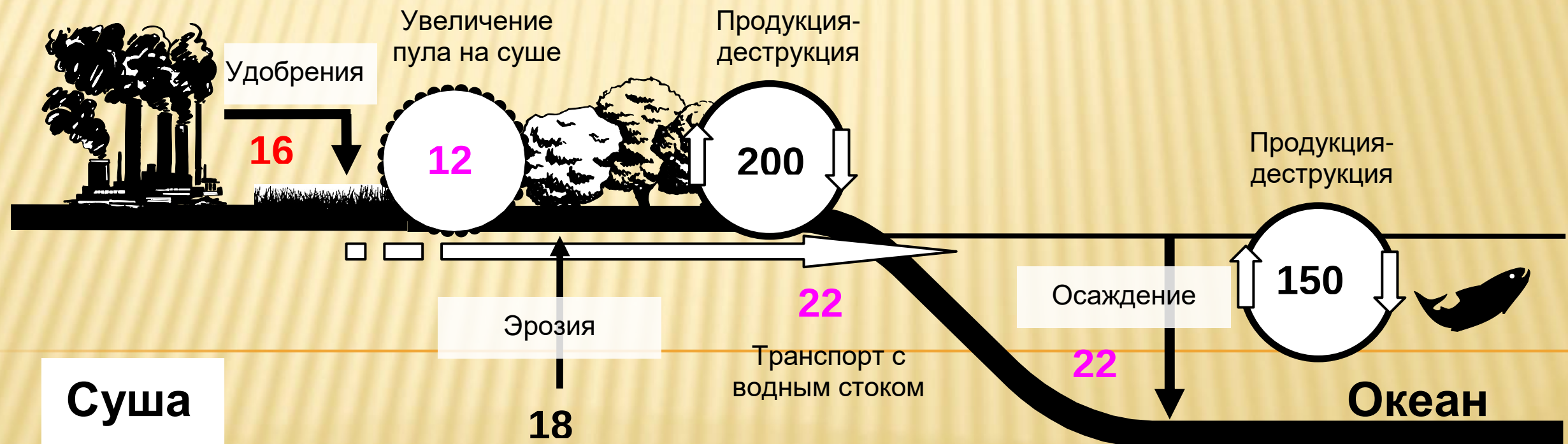
kanalizaciya-expert.ru

Потребление фосфорных удобрений



Количественная оценка современного биосферного цикла фосфора (пулы – Мт Р, потоки – Мт Р в год)

Атмосфера



НАРУШЕНИЯ КРУГОВОРОТА ФОСФОРА

У фосфора нет газовой фазы и, следовательно, нет свободного возврата в атмосферу. Попадая в водоемы, фосфор насыщает, а иногда и перенасыщает экосистемы.

Недостаток фосфора



ЭВТРОФИКАЦИЯ ВОДОЁМОВ ИЛИ ЧЕМ ОПАСЕН ФОСФОР



ПОВЕРХНОСТЬ ВОДЫ,
ПОКРЫТАЯ
СИНЕ-ЗЕЛЕНЫМИ
ВОДОРОСЛЯМИ



ВОДОРОСЛИ ПРЕПЯТСТВУЮТ ПРОНИКНОВЕНИЮ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА
И ПОТРЕБЛЯЮТ КИСЛОРОД.
В РЕЗУЛЬТАТЕ ГИБНУТ РАСТЕНИЯ И ЖИВОТНЫЕ

фонтанка Fi

www.fontanka.ru © 2000-2001 г.г. ООО «Фонтанка»

НАХОЖДЕНИЕ В ПРИРОДЕ

P

ОРГАНИЗМЫ

МИНЕРАЛЫ

ФОСФОЛИПИДЫ,
ФЕРМЕНТЫ,
ФОСФАТ КАЛЬЦИЯ
ЭФИРЫ
ОРТОФОСФОРНОЙ
КИСЛОТЫ

ФОСФОРИТ
БИРЮЗА
АПАТИТ

В ЗУБАХ И КОСТЯХ



АПАТИТ

Prezentacii.com

Глобальная проблема: эвтрофикация пресных и прибрежных морских вод, сопровождаемая «цветением» водорослей

Волгоградское водохранилище



Красный прилив (Австралия)

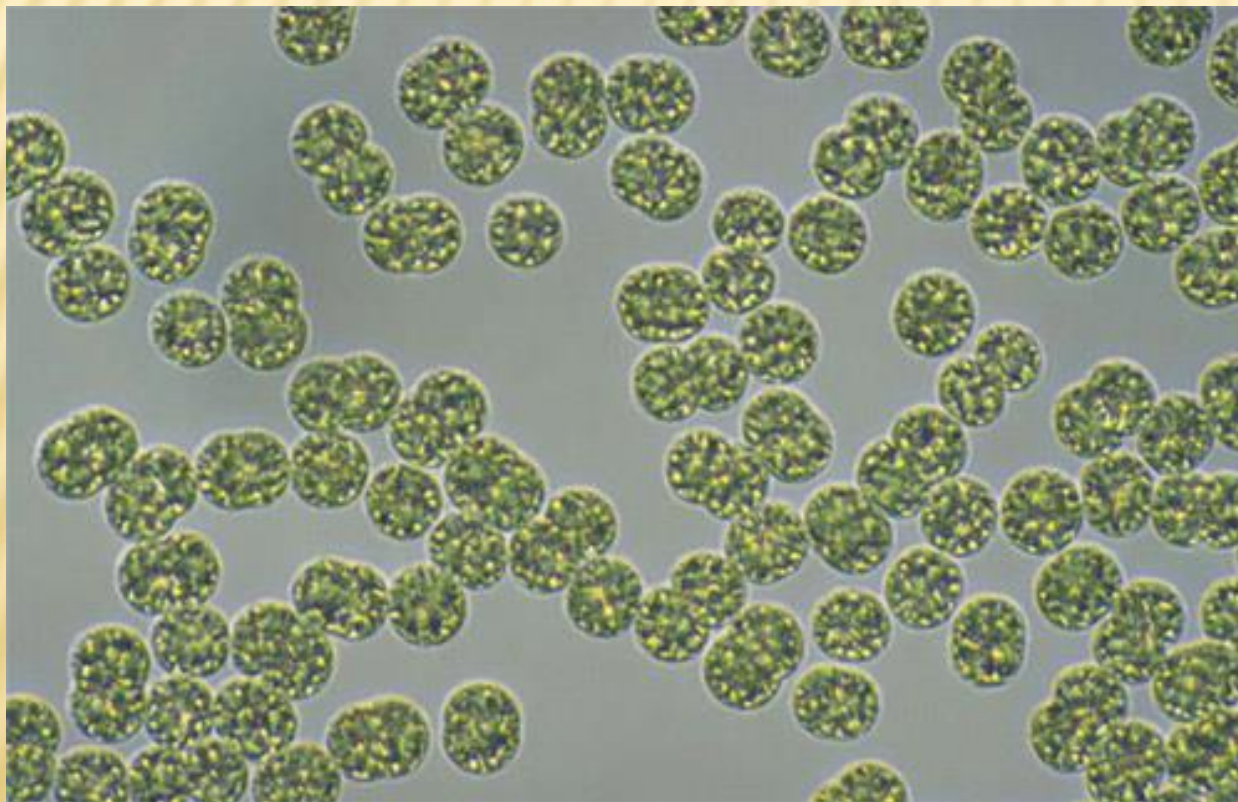


<http://kamyshin.ru>

<http://olgworld.com/prilivyii/>

При цветении водоемов в условиях
повышенного фосфорного удобрения
происходит изменение состава
фитопланктона в сторону доминирования
цианобактерий

Microcystis aeruginosa



Anabaena sp.



Гипоксия (понижение содержания кислорода) и накопление водорослевых токсинов – проблемы, сопряженная с эвтрофикацией

Гибель рыбы при гипоксии
(Род Айленд, США)



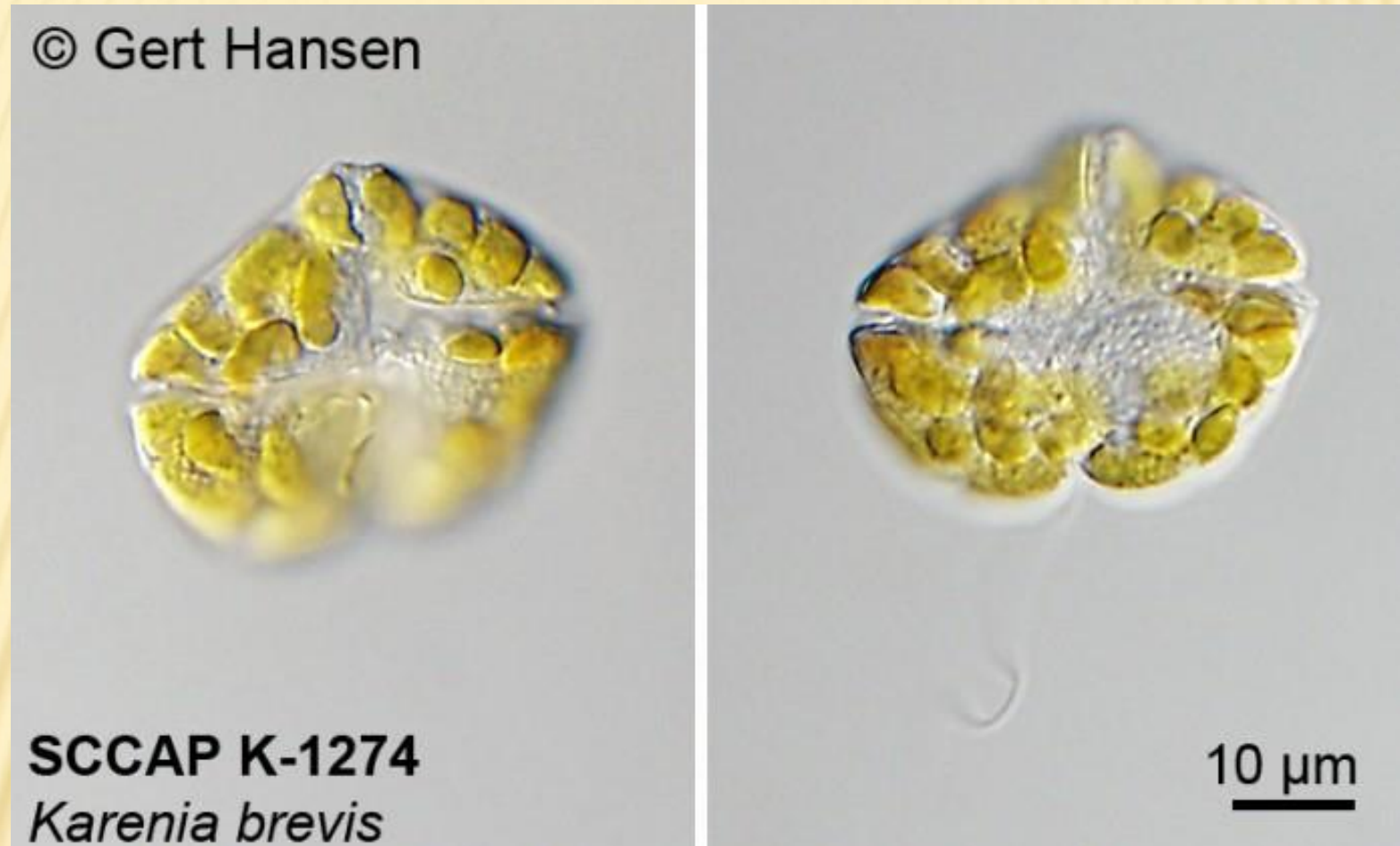
Гибель рыбы в красном приливе
(Персидский залив)



<http://www.trend.az/iran/politics/1794858.html>

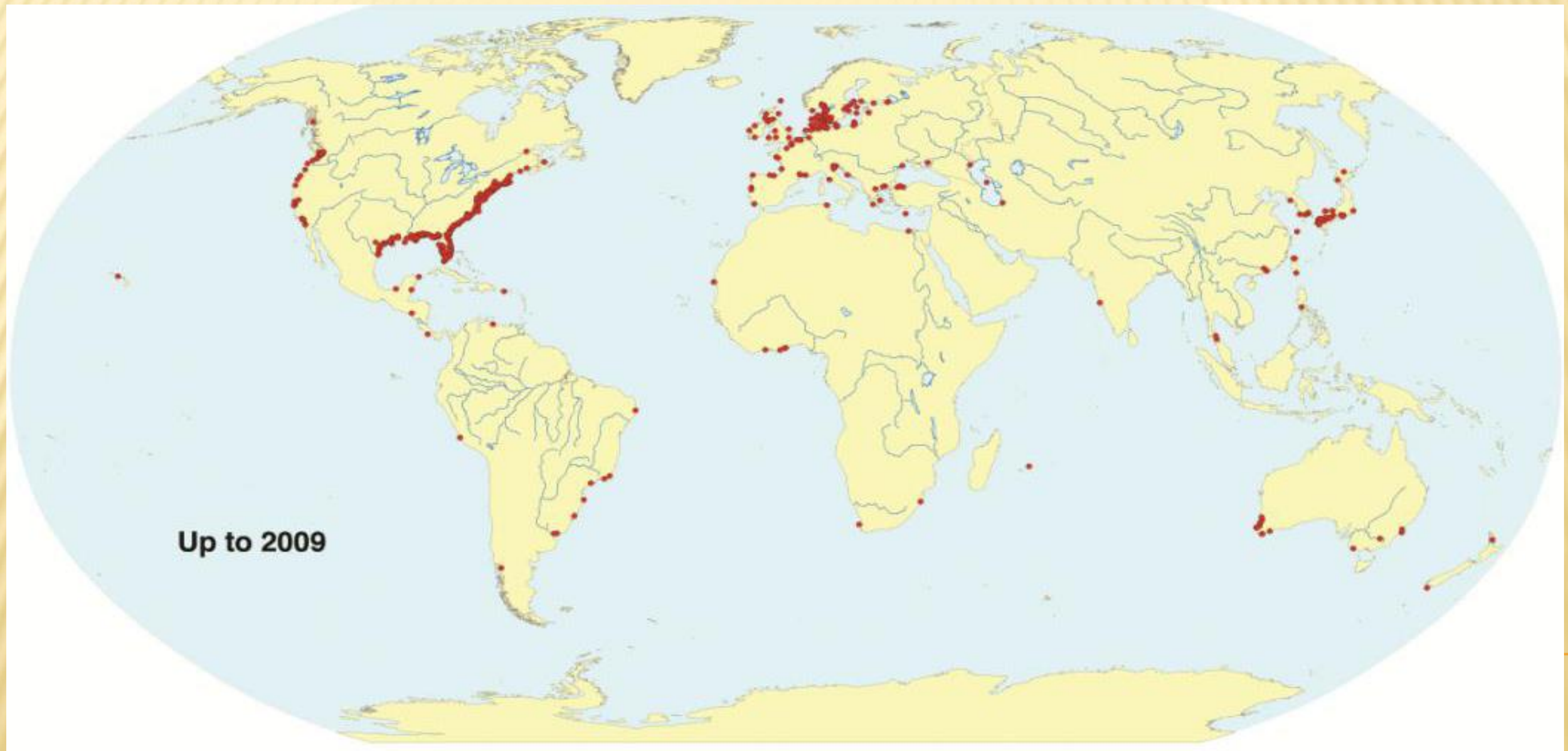
<http://sailorsforthesea.org/resources/ocean-watch/ocean-dead-zones>

Агент красного прилива – пиррофитовая водоросль *Karenia brevis*



Производит нейротоксин бревотоксин, блокирующий нервномышечную передачу.

Развитие зон прибрежной гипоксии



Rabalais et al., Biogeosciences, 2010

Потеря пресноводных водоемов



Copyright Alexander Zubkov, <http://thinking.ru>

Шри-Ланка



Окрестности Омска

Взаимосвязь глобальных биогеохимических циклов и экологических проблем

Биогеохимический цикл	Изменение климата	Нарушение озонового слоя	Загрязнение воздуха	Асидификация экосистем	Эвтрофикация	Снижение естественной биол. продуктивности
Углерод	+	+	+			+
Азот	+	+	+	+	+	+
Фосфор					+	+
Сера	+	+	+	+		+

Сравнительный анализ последствий нарушений биогеохимических циклов

Элемент	Последствие	Состояние	Глобальные меры
С (CO ₂)	Глобальное потепление Подкисление океана	Кризис Кризис	РКИК ООН
О (O ₂)	Отсутствует	Незначительное изменение	Отсутствуют
О (O ₃)	Депрессия озона стратосферы	Изменение (восстановление)	Венская конвенция
N (NO ₃ ⁻) Р (PO ₄ ³⁻)	Эвтрофикация	Кризис	Отсутствуют