Физическая экология

Занятие 4

Энергия в окружающей среде.

Природная радиоактивность.

Природный парниковый эффект

Поток солнечной радиации, падающей на горизонтальную площадку атмосферы, составляет

$$F_S = S_0 \left(\frac{\bar{r}}{r_\otimes} \right)^2 \cos\upsilon$$

Функция

$$f(r) = \left(\frac{\bar{r}}{r_\otimes} \right)^2$$

достигает своего максимума, равного 1,0344 в январе, а минимума 0,9646 – в июле

Планета	Расстояние до Солнца, см	Солнечная постоянная $Вт \cdot м^{-2}$	Альбедо (α)	Толщина атмосферы, $г \cdot см^{-2}$	Эффективная температура поверхности, К (^{0}C)	Температура поверхности К (^{0}C)
Земля	$1{,}5 \cdot 10^{13}$	1366	0,3	1033	255(-18)	288 (15)
Венера	$1{,}1 \cdot 10^{13}$	2613	0,75	~100000	234 (-39)	703 (430)
Марс	$2{,}3 \cdot 10^{13}$	589	0,17	16	215 (-58)	228 (-45)

Поток энергии через атмосферу

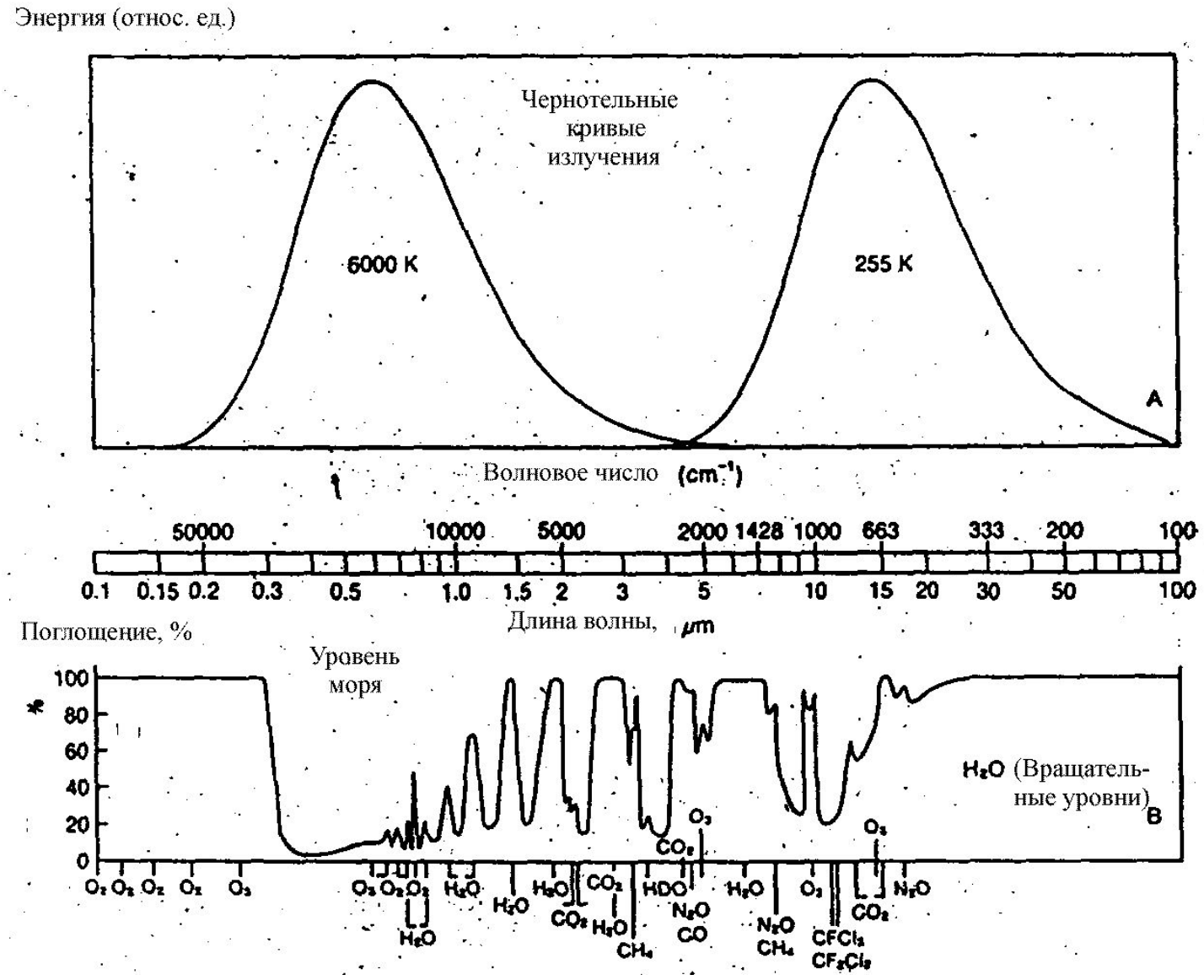
Средний поток энергии на границе атмосферы составляет с учетом альбедо 240 Вт · м$^{-2}$

Поглощенная в атмосфере энергия *E* может быть выражена через сечения элементарных процессов:

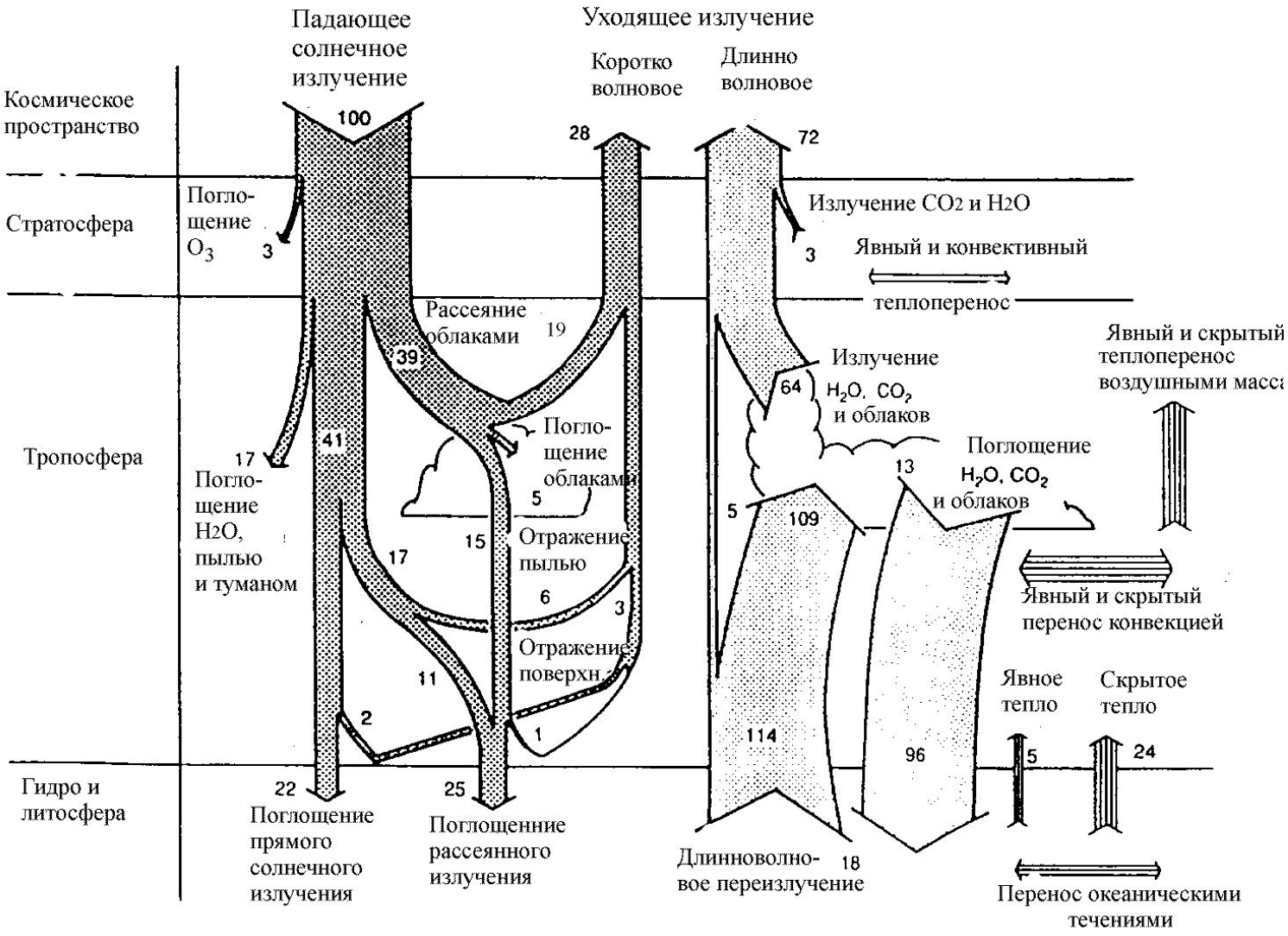
$$E_{погл} = hc\sum_i C_i \int_0^\infty \sigma_i(\lambda) J(\lambda) \frac{d\lambda}{\lambda}$$

Газ	Концентрация, 10^{-6}	Основная линия поглощения, мкм	Нагрев атмосферы, Вт м$^{-2}$	Доля парникового эффекта, %
H_2O	~ 3000	Много	100	65,4
CO_2	345	15	50	32,7
CH_4	1.7	7	1,7	1,1
O_3	(10-100) · 10^{-3}	8	1,3	0,8

Поглощение энергии в атмосфере



Глобальный энергетический баланс



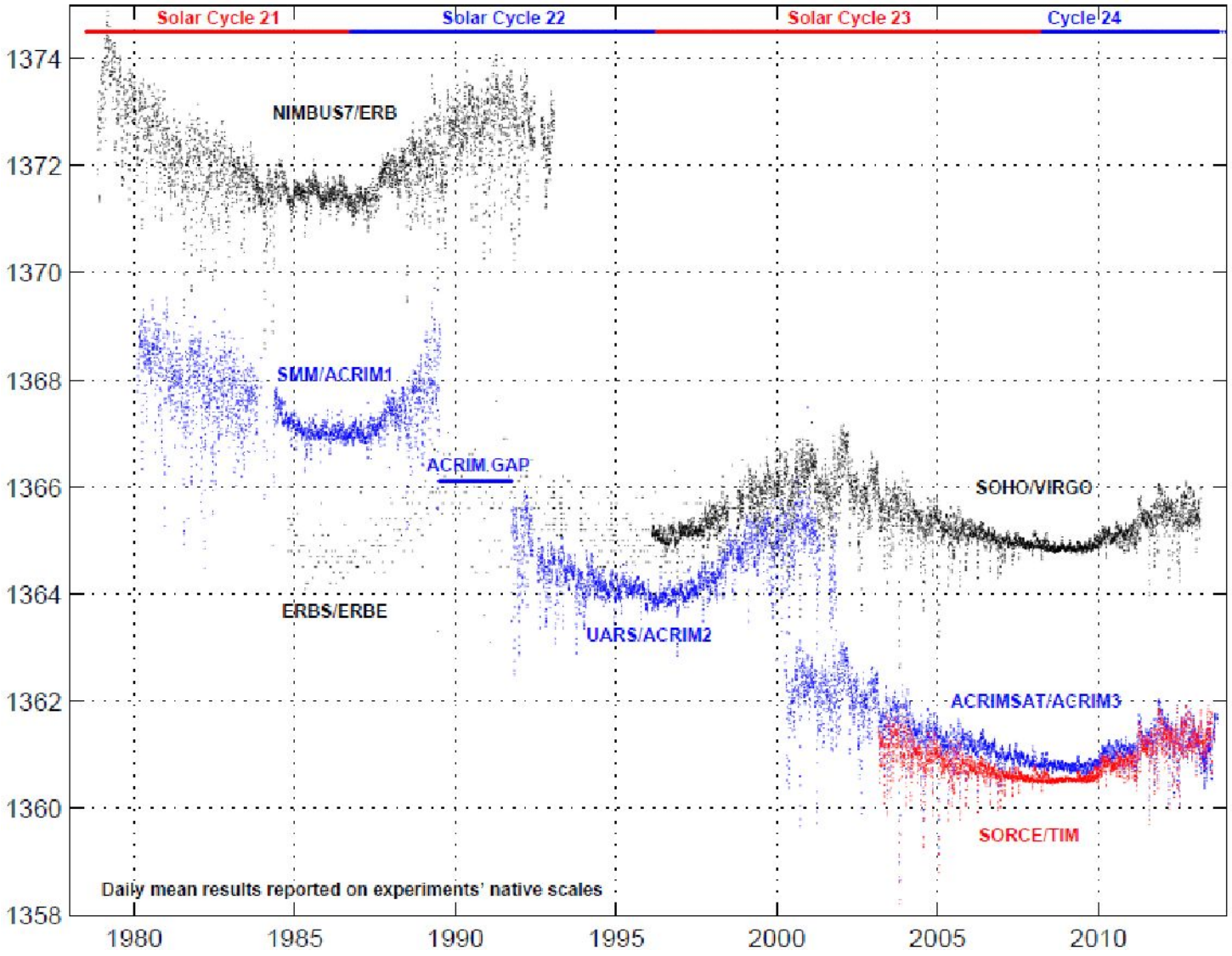
Преобразование солнечной энергии

Канал стока	Доля энергии, %
Отражение	30
Переход в тепло	47
Испарение, осадки	23
Ветер, волны, течения	0,21
Фотосинтез	0,023

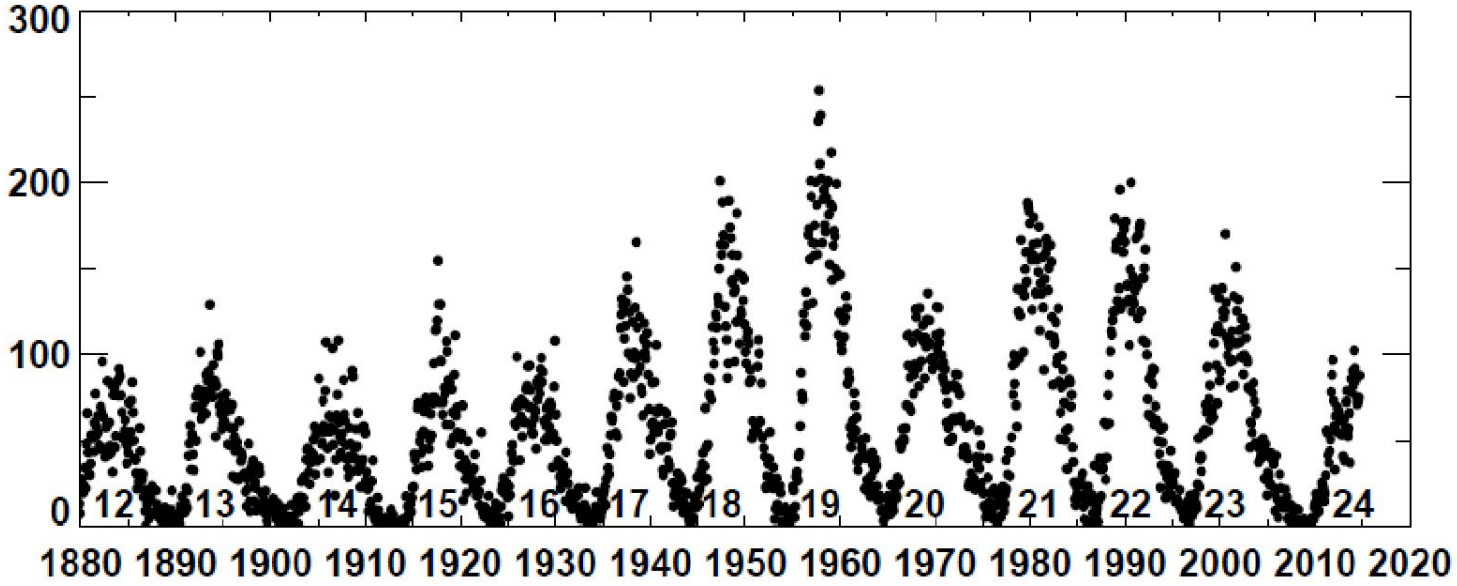
Составляющие теплового потока на

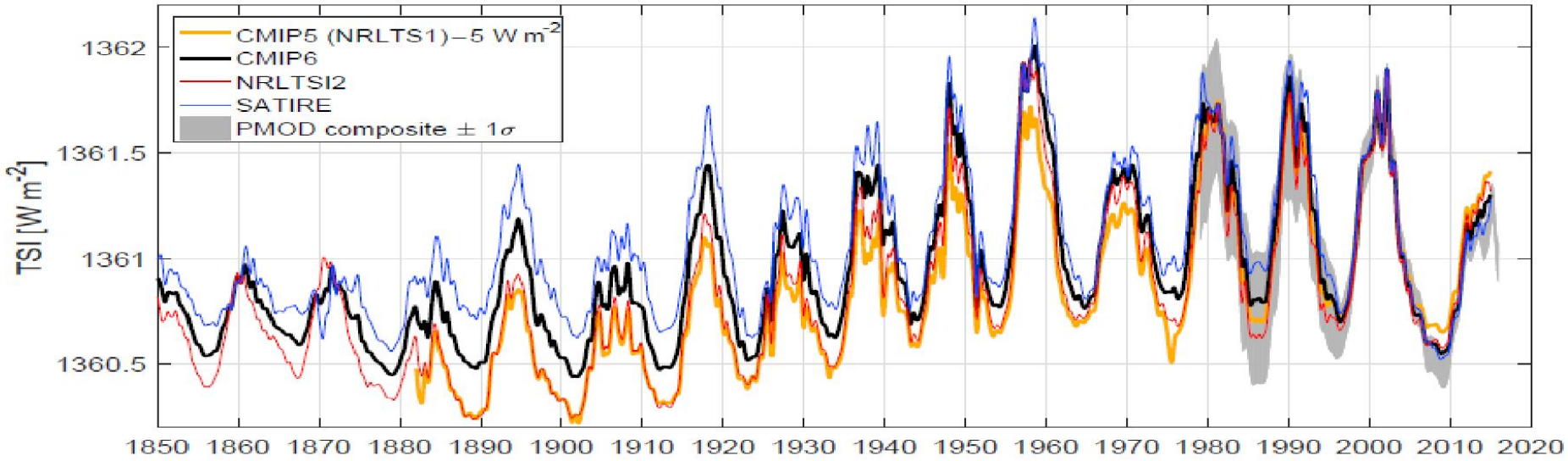
Источники	Поток тепловой энергии, Вт · м$^{-2}$
Солнечная энергия	$1,4 \cdot 10^{2}$
Термальные воды	0,1
Теплопроводность из недр	$5 \cdot 10^{-2}$
Деятельность человека	0,1
Приливное трение	10^{-3}
Вулканизм	10^{-3} -10^{-4}
Космическое излучение	10^{-7}
Землетрясения	10^{-7}

Вариации солнечной постоянной



Постоянно ли Солнце?





Эффективность фотосинтеза

$$CO_2 + H_2O + n\,(h\nu) \rightarrow CH_2O + O_2 + 480\ кДж \cdot моль^{-1}$$

Число фотонов, необходимых для прохождения реакции, рассчитывалось и измерялось. Теоретическое значение при длине волны 700 нм составляет 3. Лабораторные опыты регистрировали число фотонов > 7. Скорость фотосинтеза измерялась по выходу кислорода. Затраты 8 световых квантов составляют 1470 кДж · моль$^{-1}$, т.е. кпд фотосинтеза в искусственных условиях достигает 35%.

Фотосинтез у разных организмов может протекать с использованием различных доноров (Д) и акцепторов (А) электронов, и водорода. Он может быть представлен схематически обобщённым уравнением: $ДН_2 + А \quad АН_2 + Д$, где $АН_2$ – продукты фотосинтеза.

Эффективность фотосинтеза растений в природе намного ниже. Морские водоросли используют солнечную радиацию с коэффициентом полезного действия около 4%, однако средним по всем экосистемам Земли является значение не более 0,1%.

Чистая Первичная Продуктивность (ЧПП) биосферы

Биомасса суши (сухой вес) составляет $2,6 \cdot 10^{18}$ г, океана – $7 \cdot 10^{15}$ г.

Растительная биомасса суши очень инертна. Ее годовая продуктивность составляет всего около 8%. Напротив, продуктивность океана превышает 1000%. В результате, так называемая Чистая Первичная Продуктивность (ЧПП) биосферы, равная полной продуктивность минус затраты на жизнедеятельность продуцентов, в расчете на органическое вещество складывается из $57 \cdot 10^{15}$ г с суши и $48 \cdot 10^{15}$ г из океана. Суммарная годовая ЧПП составляет примерно 105 Пг.

Это соответствует примерно 200 г $\cdot$ м$^{-2}$ $\cdot$ год$^{-1}$ биомассы, или около 0,12 Вт $\cdot$ м$^{-2}$ непрерывно запасаемой мощности.

Емкость биологических аккумуляторов

Топливо	Теплота окисления, кДж $г^{-1}$
Сухая биомасса растений	16,8
Уголь $C + O_2 = CO_2$	25,2
Метан $CH_4 + 2\ O_2 = CO_2 + 2\ H_2O$	55,1
Глюкоза $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 = 6\ CO_2 + 6\ H_2O$	15,7
Октан $C_8H_{18} + 2{,}5\ O_2 = 8\ CO_2 + 9\ H_2O$	47,8

Базовая скорость метаболизма(БСМ)

Приближенно, для человека средней массы (70 кг) БСМ или основной обмен, т.е. энергетические затраты организма в условиях бодрствования и бездействия, составляют 7800 кДж в сутки. Это соответствует средней мощности около 100 Вт. При тяжелых нагрузках (спорт, физический труд) пиковая мощность может возрастать до 1,6 кВт, но среднесуточные значения по гигиеническим нормам не должны превышать 240 Вт.

Интересно, что в основном обмене половина энергии расходуется на тепло, 20% - на синтез (ежедневно обновляется 2,4 кг белков) и только 15% на мышечную, т.е. механическую энергию.

Будем в оценке исходить из 120 Вт на человека. Получается, что Земля может прокормить примерно $1{,}5 \cdot 10^{11}$ человек.

Распределение по трофическим уровням

Уровень	Число видов, тысячи	Биомасса, т
Продуценты	35	$2,4\ 10^{12}$
Консументы	1500	$2,3\ 10^{10}$
Редуценты	75	$2,3\ 10^{10}$
Человек	0,001	$3,8\ 10^{8}$

Правило экологической пирамиды

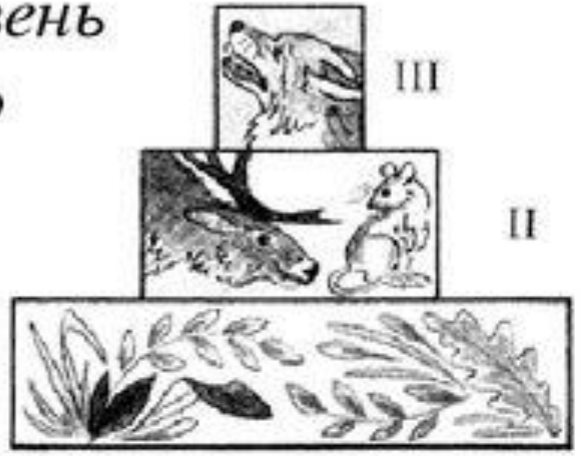
Раймонд Линдеман

(1915-1942)

(правило 10%)

Каждый последующий трофический уровень ассимилирует не более 10% энергии предыдущего.

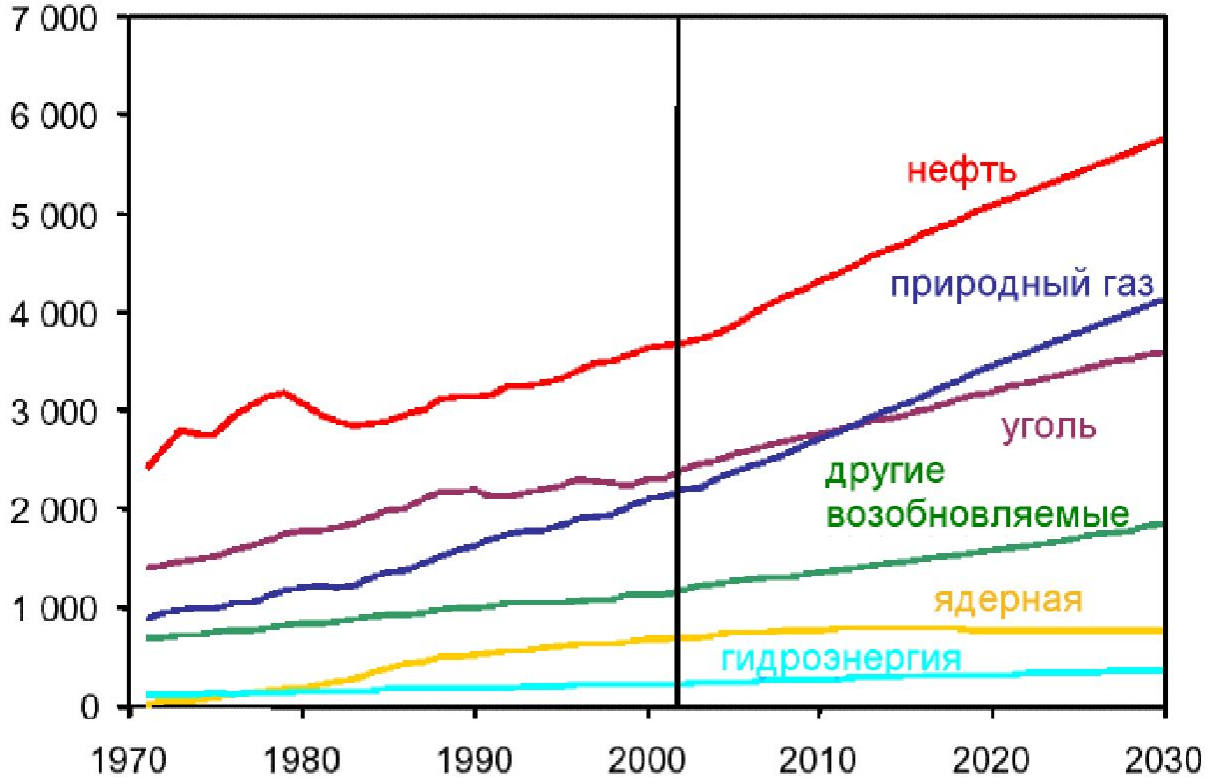
(с уровня на уровень переходит около 10% энергии)



Энергетическая революция

$$C + O_2 \rightarrow CO_2 + 400\ кДж \cdot моль^{-1}$$

Энергетическая революция человеческой цивилизации связана с опережающим необходимый уровень потреблением ископаемого топлива, то есть с использованием стратегического эволюционного запаса Земли.



Энергетическая революция -- прогноз

Мировое производство энергии в 2009 г. оценивалось мощностью порядка 35 ТВТ, из них на электроэнергию приходилось 16%, т.е. 5,6 ТВТ.

Примерно 40% энергии человечество получало за счет использования нефти. На долю газа приходилось 20%, угля – 24%.

Атомные электростанции обеспечивали 6%, гидроэлектростанции – 6%.

Возобновляемые источники энергии (солнце, ветер, биомасса, геотермальная, приливная и пр.) обеспечивали менее 2% потребностей человечества в электроэнергии.