

Солнечная радиация.

Радиационный баланс.

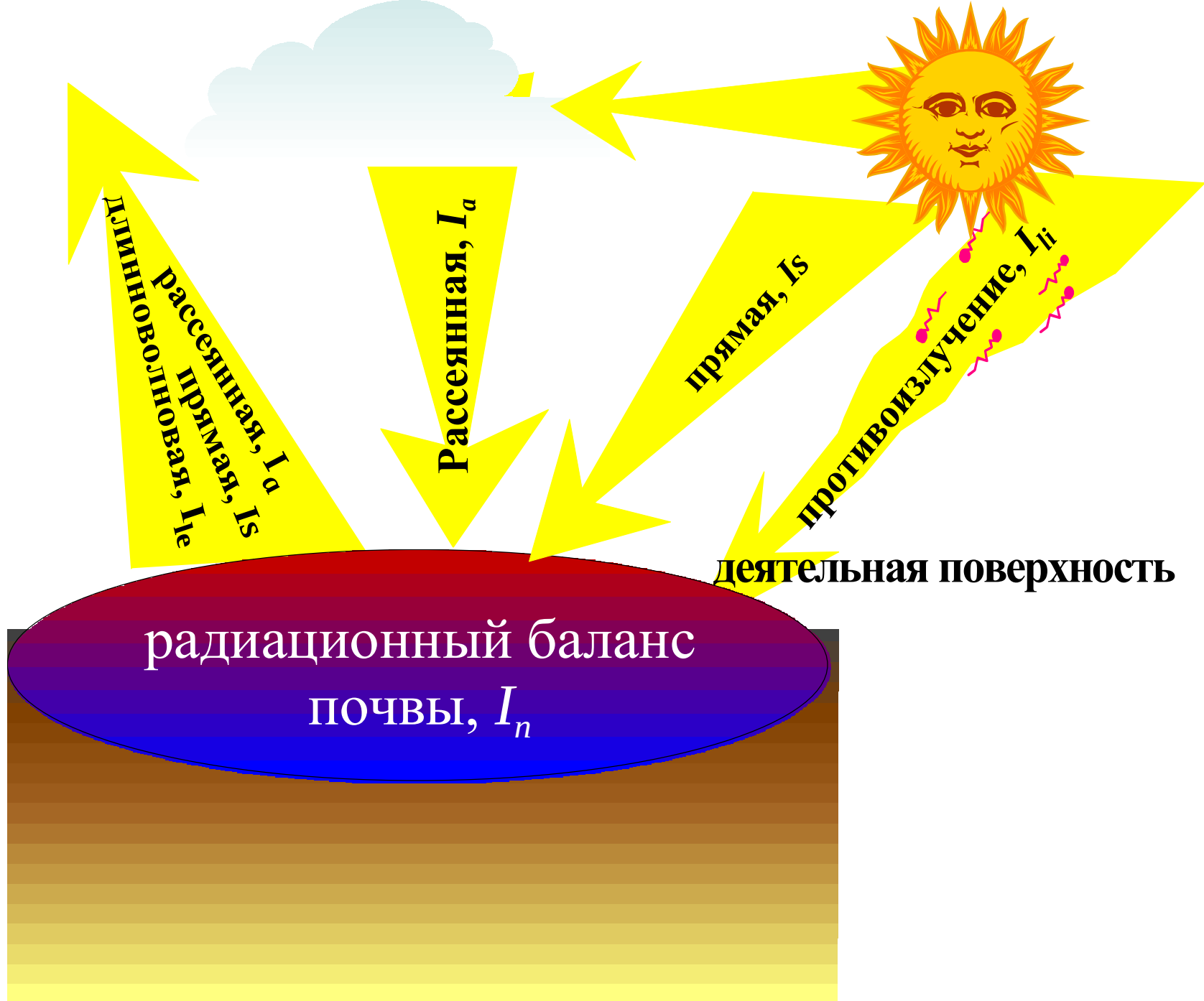
Поток лучистой энергии – количество лучистой энергии, проходящей в единицу времени через единицу площади (Вт/м², кал/см² мин, Дж/см²).

Радиационный баланс земной поверхности - **поступление**

солнечной энергии в виде радиации →

последующее ее **превращение** в тепловую на деятельной поверхности →

расход на нагрев почвы, растений, приземного воздуха и транспирацию.



Виды радиации

1. Прямая солнечная радиация I_s

коротковолновая (400–750 нм – ультрафиолетовая и видимая), идущая прямо и непосредственно от Солнца.

Именно она (в основном) и формирует климат (с греческого «климат» - «угол»):

чем ближе угол падения солнечных лучей к нулевому (угол падения лучей измеряют, как угол между лучом и нормалью к поверхности почвы), тем жарче будет климат. $h_\square$

Уравнение расчета прямой солнечной радиации по высоте Солнца

$$S' = S \sin h_\square$$

где S' - солнечная энергия, поступающая на горизонтальную поверхность,

S – прямая солнечная радиация при параллельных солнечных лучах.

2. Рассеянная (диффузная) радиация Iа

отраженная от взвешенных коллоидальных и других частиц, молекул газов, от облаков в атмосфере.

Если солнце закрыто облаками, то вся поступающая радиация – рассеянная.

Спектральный состав рассеянной радиации отличается от прямой, рассеянная содержит больше коротковолновых лучей.

Прямая и рассеянная формируют суммарную солнечную радиацию

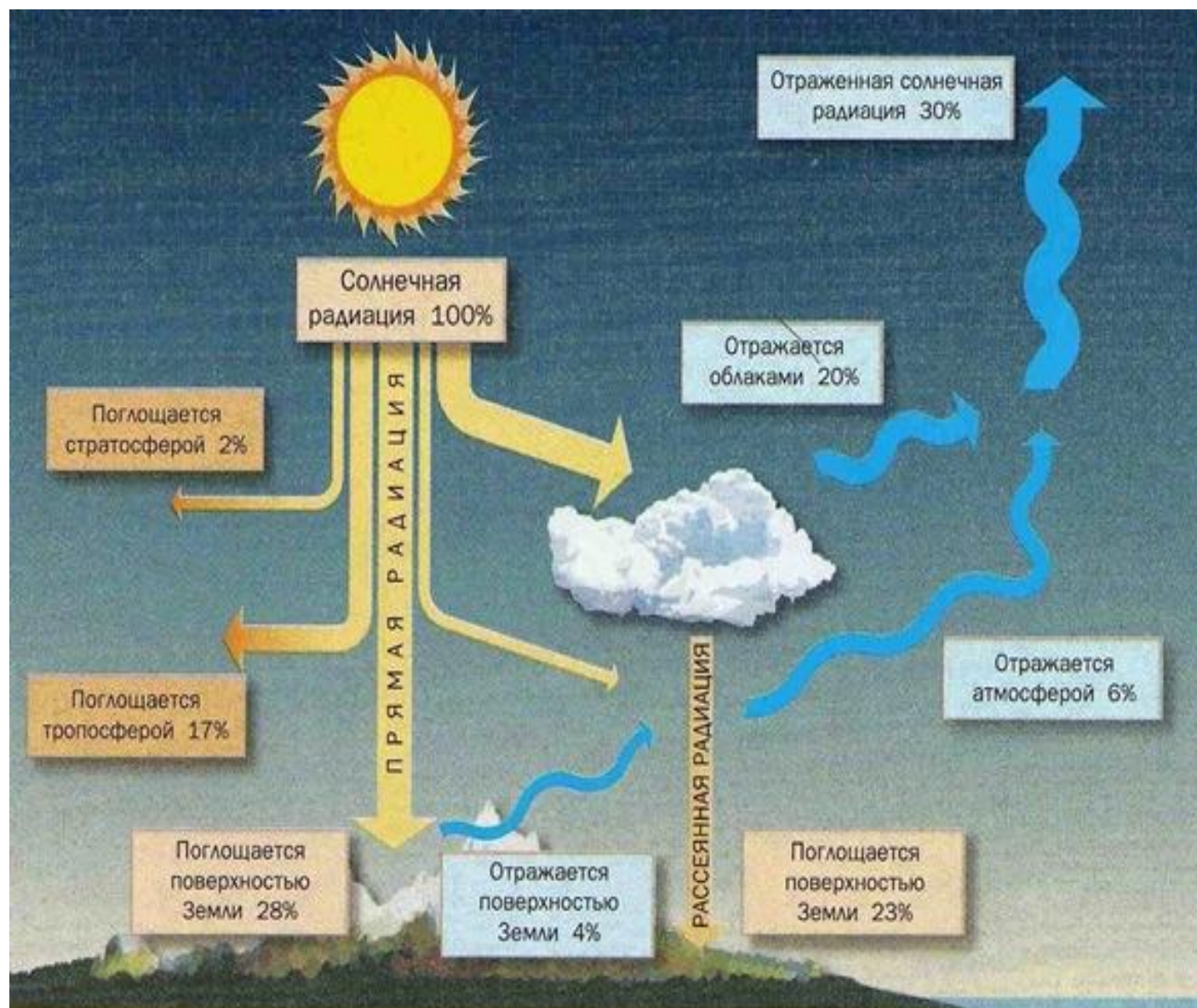
В июле в Москве при ясном небе в астрономический полдень (13^{30}):

- прямая солнечная радиация 700 Вт/м^2 , I_{Σ}
- суммарная радиация 1500 Вт/м^2

3. Противоизлучение атмосферы

еще одна составляющая, приходящая на деятельную поверхность, - формируется в результате нагрева частиц в атмосфере, окружающих растения предметов, в том числе и самих растений.

Это длинноволновое излучение - длина волны более 750 нм.



Распределение солнечной радиации между Землей и атмосферой

Таким образом,

на деятельную поверхность **поступает радиация:**

коротковолновая
и длинноволновая

$$(I_s + I_a)_{\text{поступ.}}$$

$$I_s + I_a + I_{li}$$

Они сравнимы по величинам.

отражается часть поступающей радиации:

в виде коротковолновой

$$(I_s + I_a)_{\text{отраж.}}$$

и длинноволновой (излучение почвы, I_{le}).

Радиационный баланс деятельной поверхности – это разность между всеми видами лучистой энергии, притекающей к этой поверхности, и всеми видами лучистой энергии, покидающей эту поверхность.

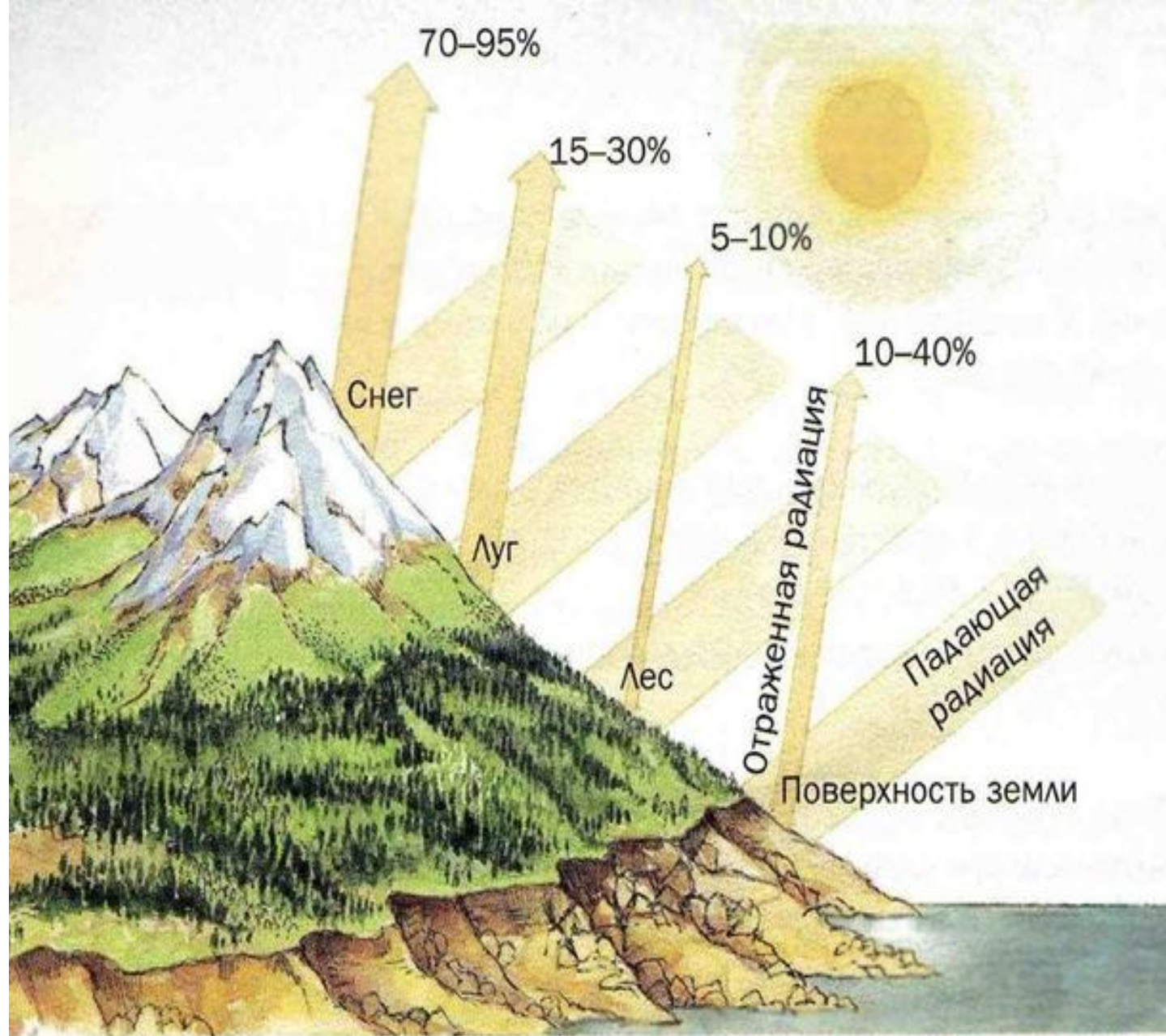
Радиационный баланс в дневное время:

$$I_n = \left[(I_s + I_a)_{\text{поступ.}} - (I_s + I_a)_{\text{отраж.}} \right] + (I_{li} - I_{le})$$

НОЧЬЮ он составит лишь разницу длинноволновых радиаций:

$$I_n = I_{li} - I_{le}$$





*Зависимость количества отраженной радиации
от свойств подстилающей поверхности*

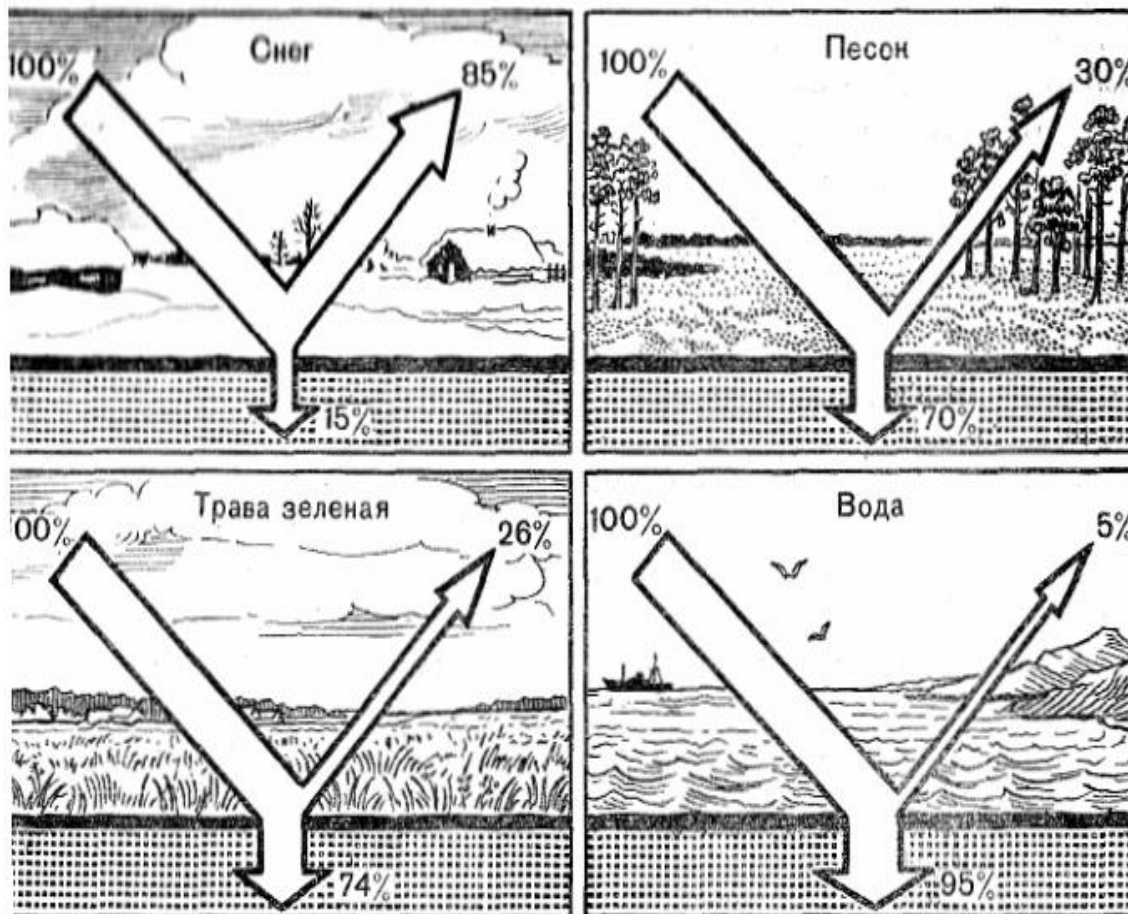
Альбедо - отношение отраженной к поступившей
коротковолновой энергии
(α , величина безразмерная):

для снега 0.8–0.85,

для сухой почвы 0.15–0.35,

для влажной 0.05–0.14

$$\alpha = \frac{(I_s + I_a)_{\text{отраж.}}}{(I_s + I_a)_{\text{поступ.}}}$$



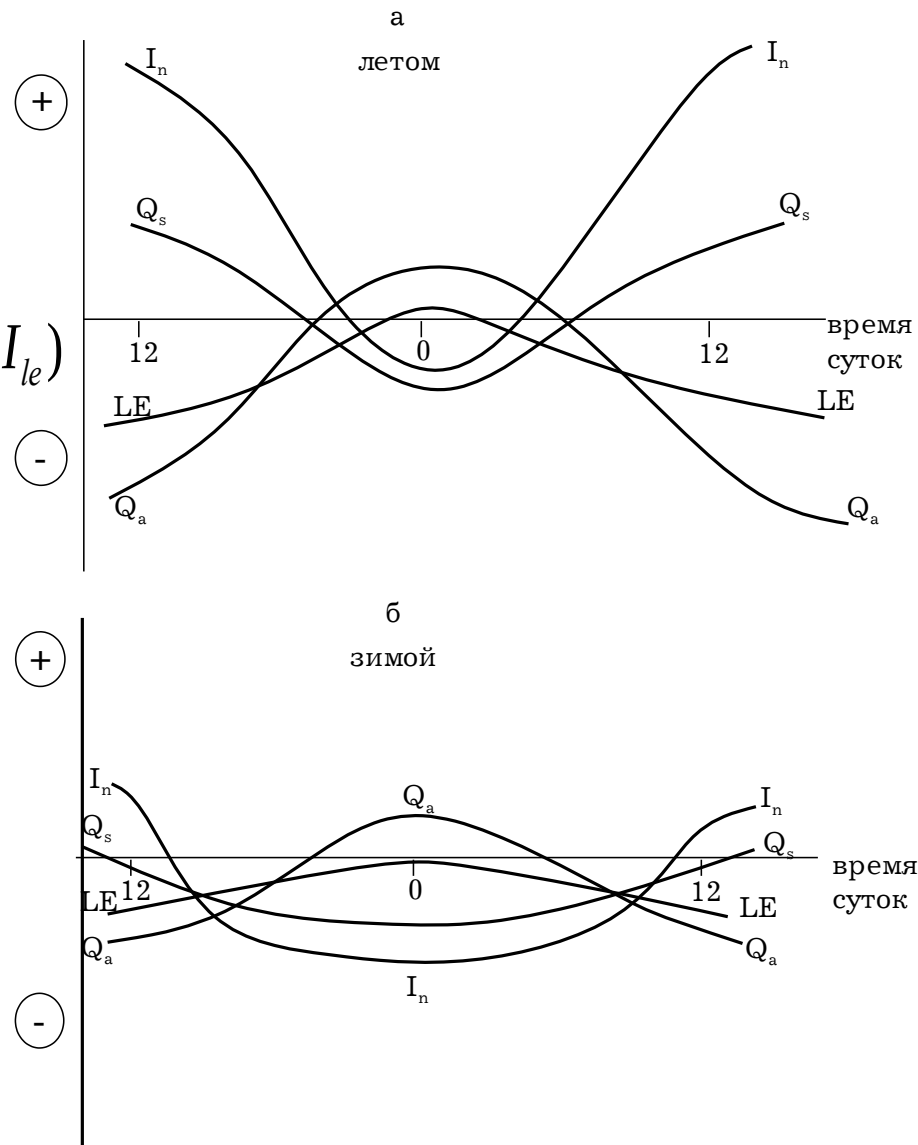
Суточный ход составляющих теплового баланса: в летний (вверху) и зимний (внизу)

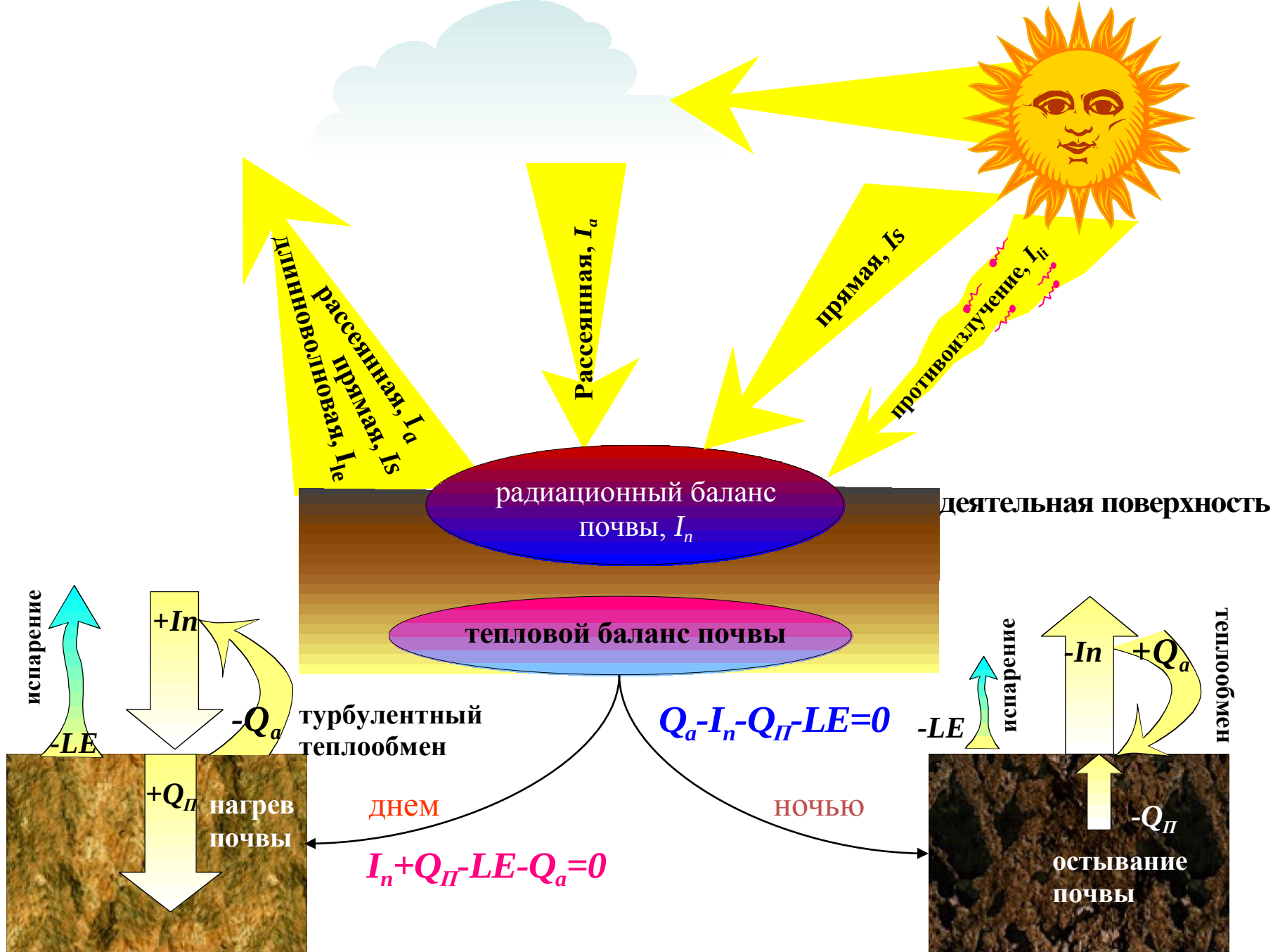
Радиационный баланс в **дневное**
время:

$$I_n = \left[(I_s + I_a)_{\text{поступ.}} - (I_s + I_a)_{\text{отраж.}} \right] + (I_{li} - I_{le})$$

Ночью он составит лишь
разницу длинноволновых
радиаций:

$$I_n = I_{li} - I_{le}$$





Теплообеспеченность

Основные показатели терморесурсов - суммы активных и эффективных температур.

Активная температура – среднесуточная температура воздуха после перехода через биологический ноль развития данной культуры:

Для каждой культуры свой собственный биологический ноль, после достижения которого растение начинает активно вегетировать:

- у озимых и ранних яровых зерновых среднесуточная температура начала вегетации - 5°C ,
- у поздних яровых - 10°C ,
- у теплолюбивых (рис, хлопчатник) - 15°C ,
- сахарный тростник, финиковые пальмы - 20°C .

Эффективная температура – это разность между среднесуточной температурой и биологическим нулем для данной культуры.

Физические основы некоторых метеорологических явлений

Засуха - длительный период с осадками ниже нормы при повышенных температурах воздуха.

Типы засухи: атмосферная (воздушная), почвенная и физиологическая.

- Атмосферная - следствие длительного периода без осадков при высокой температуре и низкой влажности воздуха.
Основная причина формирования засух на территории Русской равнины - вторжение холодных воздушных масс с севера или северо-запада и формирование вслед за этим холодным фронтом мощного антициклона.

Холодный воздух (0°C) содержание влаги не более 4.9 г/м^3 .

Двигаясь на юг, воздух прогревается.

При 20°C содержание влаги может достигать уже 17.3 г/м^3

Но содержит только 4.9 г или 28% !

В итоге - дефицит влаги - атмосферная засуха.

- Почвенная - следствие понижения доступности влаги при повышенной эвапотранспирации.
- Физиологическая - растение не способно потреблять влагу из почвы, хотя запасы ее в почве удовлетворительные.

- **Оазисы.**

В условиях **малой влажности и высокой температуры** воздуха и при **достаточном количестве влаги в почве** эвапотранспирация может быть значительной, что охлаждает поверхность почвы ниже температуры окружающего воздуха.

«**Оазисный эффект**» - разогретый и сухой воздух из пустыни внедряется на небольшой высоте эту зону.

В уравнении теплового баланса член турбулентного потока тепла становится положительным не только в ночное время, когда этот поток направлен в почву.

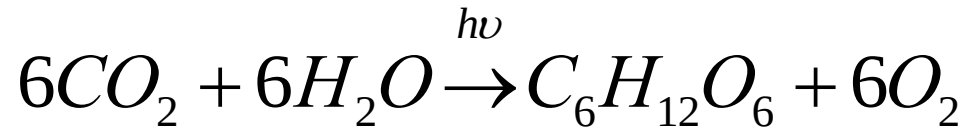
$$Q_s + Q_a - I_n - LE = 0$$

Складывается явление, называемое температурной инверсией, - смену знака турбулентного потока тепла.

Свет

Фотосинтез - процесс превращения солнечной энергии в растении в химическую и ее накопления в виде питательных органических веществ.

Итоговое уравнение фотосинтеза:



где $h\nu$ - квант света (лучистая энергия Солнца, E)

Солнечная радиация

Виды:

- Прямая
- Рассеянная



видимая область спектра

- Противоизлучение атмосферы
спектра



инфракрасная область



Спектральный состав света

Распределение лучистой энергии по длинам волн называется спектром



Спектральный состав солнечной радиации в зависимости от длины волны:

$< 0,4 \text{ мкм}$ (0,38)
ультрафиолетовая

0,4-0,8 мкм - видимая часть

$> 0,78 \text{ мкм}$
инфракрасная

Фотосинтетически активная радиация (ФАР) 380 - 710 нм
составляет около 50% всей солнечной радиации, достигающей поверхности.

Но!

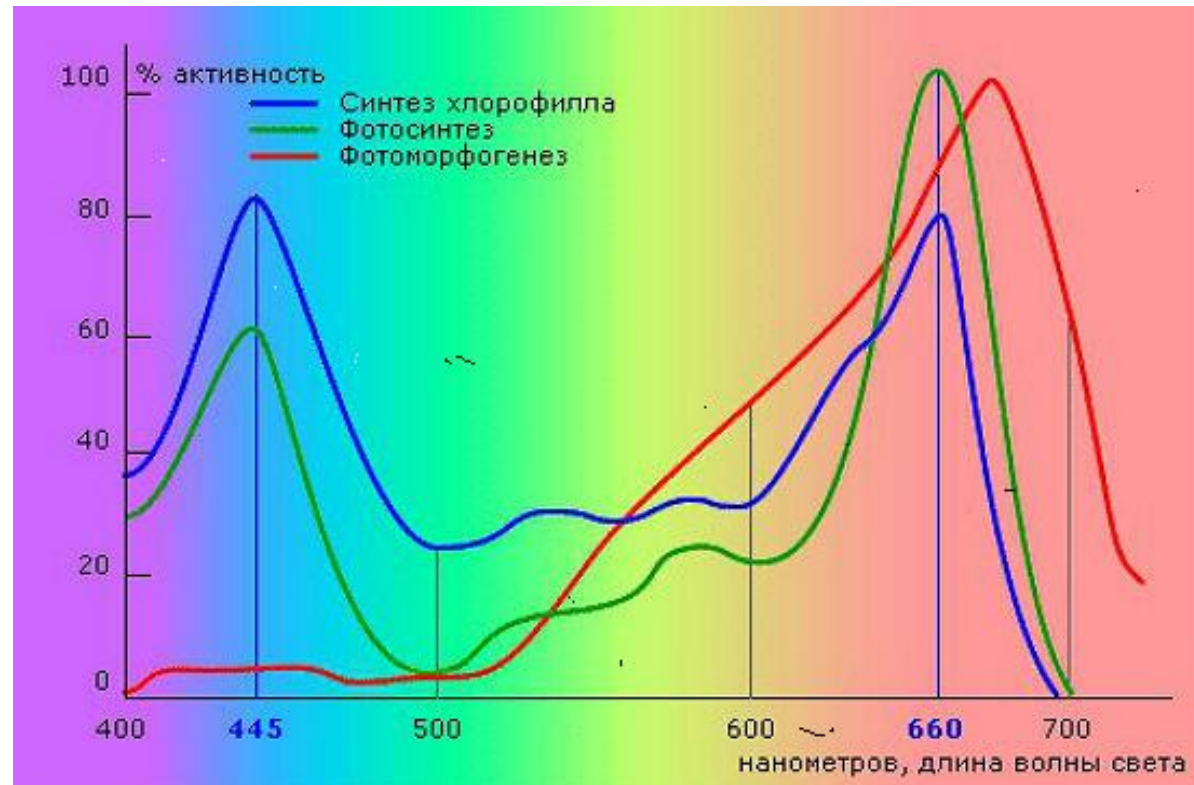
лишь **1–3%** ФАР накапливается в виде продуктов фотосинтеза,
в тропических лесах эта величина приближается к **5%**,
а в искусственных условиях достигает **8%**.

К.А.Тимирязев: «Фотосинтез интенсивнее всего должен происходить в красном участке спектра».

Изучая фотолиз углекислоты он выявил наиболее фотосинтетически активную часть спектра – **красная** область видимого света.

Впоследствии он показал, что и **сине-фиолетовая** часть спектра чрезвычайно важна для растений.

Именно здесь у большинства наземных растений фотосинтез проходит наиболее интенсивно.



Растения-гурманы

*Побаловать себя чем-нибудь вкусненьким любят все!
А как же быть растениям?*

Американский художник и философ Джонатан Кидс предлагает и их удивить кулинарными изысками.

В Калифорнии он открыл настоящий ресторан для растений: растения питаются светом, а их обеденная трапеза – фотосинтез. В ресторане фильтруют солнечный свет, смешивают волны различной длины, приготовляя «цветовые блюда».

***Красный свет** способствует образованию и увеличивает количество **углеводов** в растении,
синий стимулирует рост **белков**.*

Насладившись цветовыми блюдами в фотосинтетическом ресторане, цветы приобретают более насыщенные оттенки.

Биологическое действие основных частей спектра

- *Ультрафиолетовое* — на высотах более 4 км — замедляет рост и развитие растений, ускорение прохождения этапов формирования репродуктивных органов
- *Инфракрасная ближняя* - активно поглощается водой листьев растений. Оказывает **тепловой эффект** — существенное влияние на развитие растений.
- *Инфракрасная дальняя* — только тепловое воздействие. Очень большое значение в высокогорьях.



Интенсивность освещения



По отношению к количеству света, необходимого для нормального развития, растения подразделяют на 3 экологические группы:

-Светолюбивые (или гелиофиты) с оптимумом развития при полном освещении;
сильное затенение действует на них угнетающе.

-Теневыносливые растения имеют широкую экологическую амплитуду выносливости по отношению к свету.

-Теневые, для них приемлемы области слабой освещенности.

Мощность светового потока

По отношению к количеству света, необходимого для нормального развития, растения подразделяют на 3 экологические группы:

- Светолюбивые (или гелиофиты) с оптимумом развития при полном освещении;
сильное затенение действует на них угнетающе.
- Теневыносливые растения имеют широкую экологическую амплитуду выносливости по отношению к свету.
- Теневые, для них приемлемы области слабой освещенности.

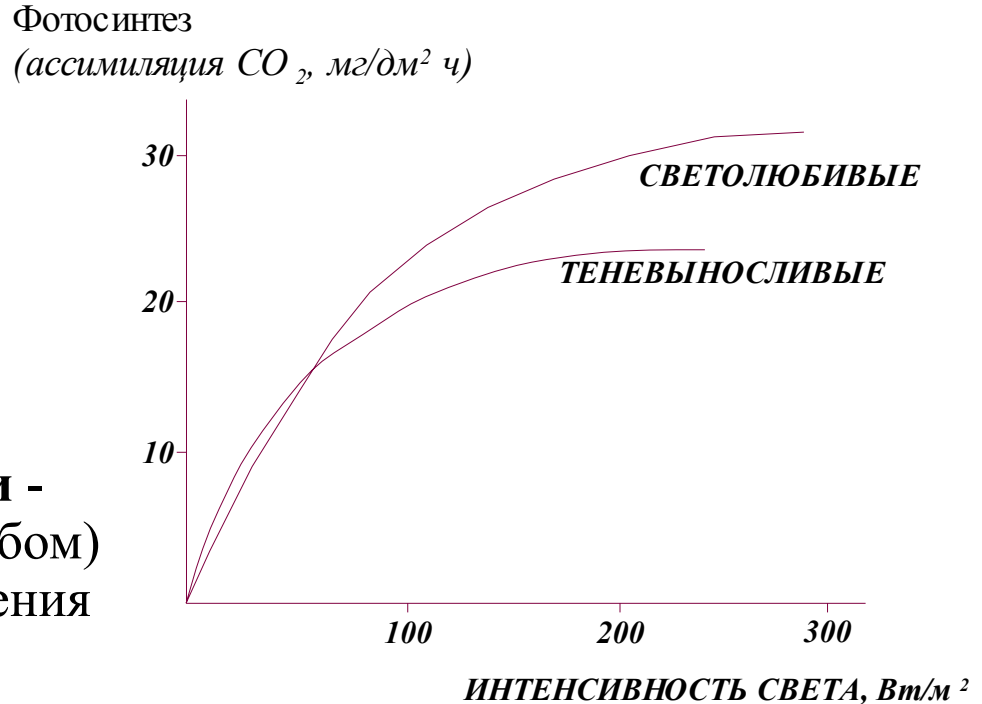
Световая кривая фотосинтеза - зависимость фотосинтеза от интенсивности поступающей лучистой энергии

Оптимум в области мощности светового потока в диапазоне 500-800 Вт/м², что близко к солнечному полуденному освещению.

Основные параметры кривой:

1 - угол наклона кривой в нарастающей части – **параметр светочувствительности** - чем больше угол при начальном (слабом) изменении света, тем активнее растения используют световую энергию, в особенности при малых ее значениях; более активно происходит нарастание процесса, растение чувствительнее к добавлению даже небольшой интенсивности света (группа теневыносливых растений).

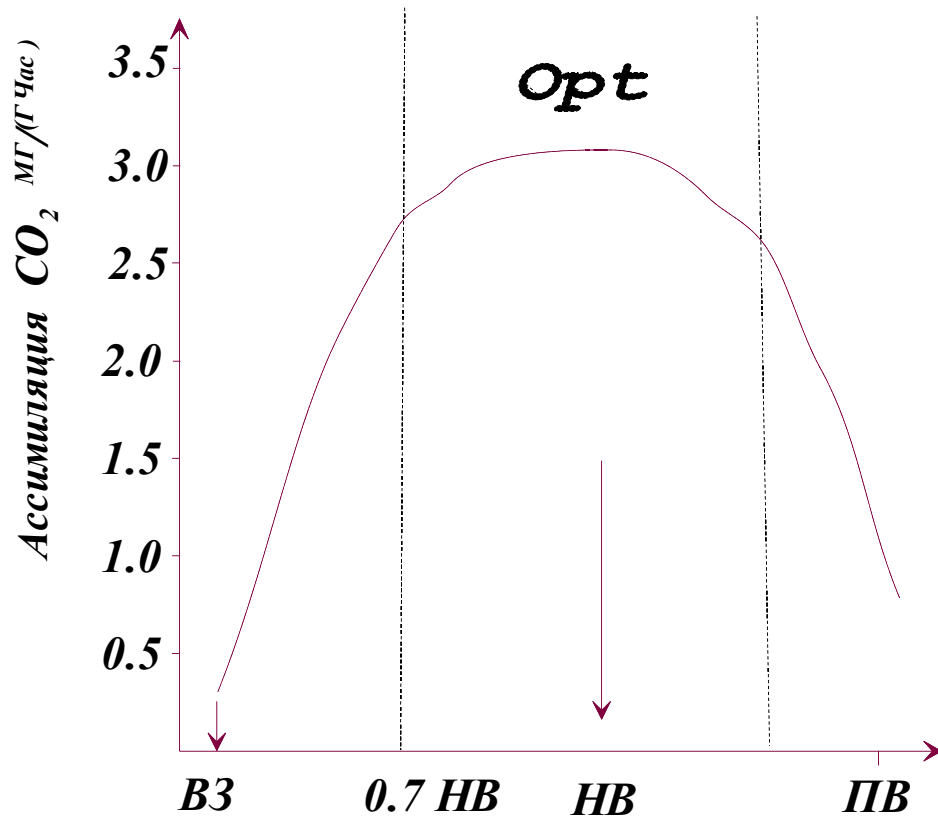
2 – **максимум фотосинтеза при полном обеспечении** растений светом - кривая выполаживается - характеризует «мощность» фотосинтеза (выше у светолюбивых).



Влияние на фотосинтез внешних факторов

Влияние влажности почвы на фотосинтез

H_2O – один из членов в уравнении фотосинтеза



Влажность (гидрологические константы)

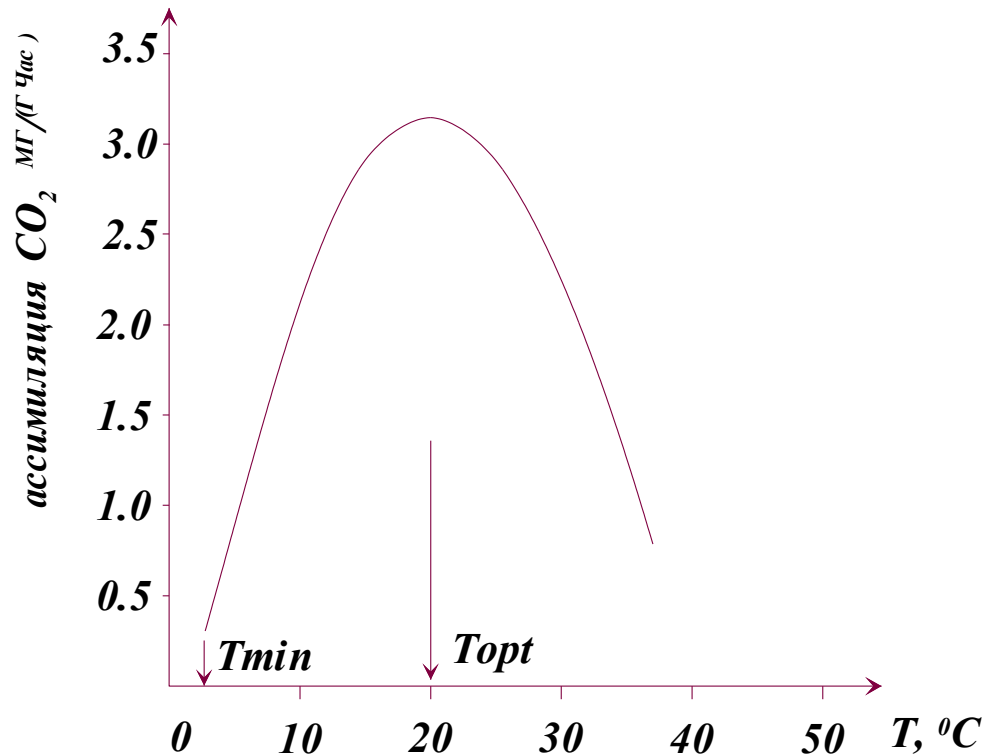
→ увеличение влажности почвы →

Влияние температуры на фотосинтез

Важны характеристики растений

T_{opt} – температуры оптимума и

T_{min} - начала фотосинтеза.



Они зависят от физиологических особенностей растений:

- северные древесные растения (ель, сосна) начинают фотосинтезировать даже при отрицательных температурах $(-15) - (-10)^\circ C$.
- тропические растения – при $+4 - +8^\circ C$.

Кроме того,

для описания влияния температуры на фотосинтез употребляют и параметр, аналогичный используемому в химической кинетике:

Q_{10} - во сколько раз возрастает скорость реакции при повышении температуры на 10^0C .

Обычно для фотосинтетических процессов, как для большинства ферментативных реакций, $Q_{10} = 2-3$.

Однако,

Q_{10} не является постоянной для конкретного растения и всей температурной кривой фотосинтеза –

если **температура** - единственный **лимитирующий фактор** (например, ярким утром после ночных заморозков), параметр Q_{10} может достигать и значений >4 .

Газообразный CO_2

необходимый минеральный продукт для фотосинтеза (уравнение фотосинтеза)

CO_2 - основной начальный «кирпичик» в формировании трех- или четырехкарбоновых кислот.

Зависимость фотосинтеза от содержания CO_2 в воздухе близка к логарифмической:

- быстро возрастает для большинства растений **от 0 до 0.1% CO_2** и
- достигает «насыщения» при **0.2-0.3% (а в земной атмосфере всего 0.03 % !)**.

Следовательно, в естественных условиях фотосинтез приближается лишь к половине от максимально возможного значения.

Перспектива регулирования условий в закрытом грунте!

Итоги:

Фотосинтез зависит от:

- **спектрального состава света:**

максимумы интенсивности фотосинтеза в сине-фиолетовой и красно-оранжевой частях спектра: **440 нм** и **620 нм**;

- **интенсивности светового потока** (освещенности) в виде **возрастающей логистической функции**, где основные параметры:

- **начальный угол наклона световой кривой** (параметр теневыносливости) и

- **максимальное значение фотосинтеза** (Φ_0);

- **температуры воздуха и влажности почвы:**

в виде одновёршинных куполообразных кривых с определенным для каждого вида растений диапазоном оптимума температур и влажностей.

Светообеспеченность растительного покрова

Световые ресурсы (светообеспеченность растений), продолжительность освещения)

По типу фотопериодической реакции (ФПР)

различают следующие основные группы растений:

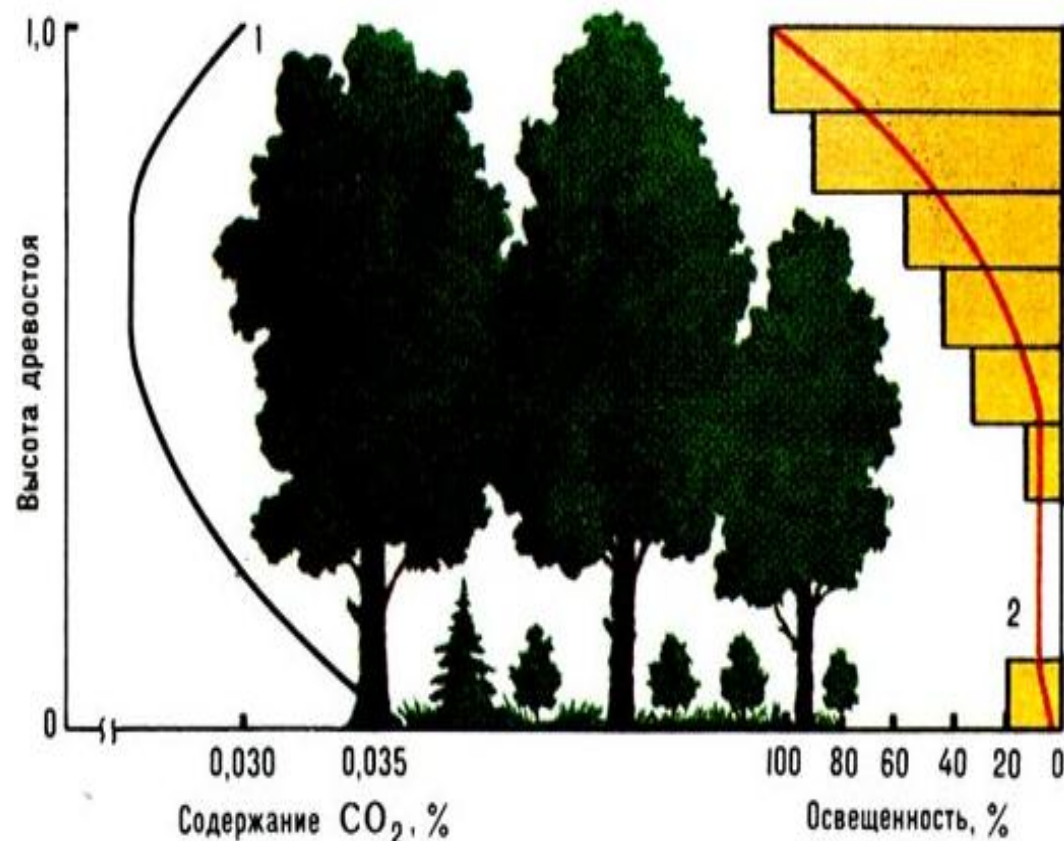
- **растения короткого дня** - для перехода к цветению требуется **12 ч** светлого времени и менее в сутки;
- **растения длинного дня** - для цветения и дальнейшего развития нужна продолжительность непрерывного светового периода **более 12 ч** в сутки;

Растения длинного дня произрастают преимущественно в северных широтах, растения короткого дня — в южных.

- **фотопериодически нейтральные**; для них длина фотопериода безразлична и цветение наступает при любой длине дня, кроме очень короткой (виноград, одуванчики, флоксы и др.).

Главные вопросы для реального растительного покрова:

- как изменяется продуктивность растений при изменении формы листовой пластинки, ее угла поворота к солнечным лучам, ее суточного движения
- как изменяется продуктивность растений за счет структуры растительного покрова (точнее архитектуры, ярусности листьев)
- как физика этого явления может способствовать наибольшему усвоению растениями солнечной лучистой энергии или искусственного освещения



Закон ослабления радиации в растительном покрове

$$I(L) = I(0)\exp(-KL)$$

$I(0)$ – поступающая световая энергия,

$I(L)$ – радиация под листовой поверхностью, имеющей индекс листовой поверхности L ,

$L=A/S$ - индекс листовой поверхности - отношение площади листьев к площади всего посева.

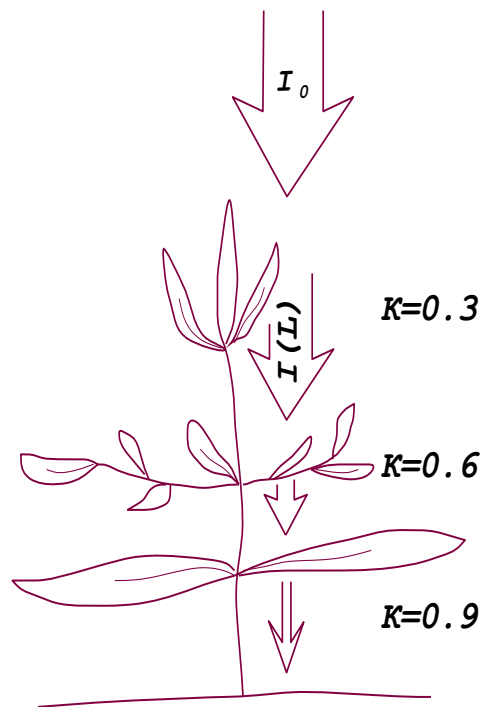
K – коэффициент экстинкции (поглощения или ослабления) листовой поверхностью лучистой энергии.

Поглощение световой энергии определенным листовым ярусом в одинаковой степени зависит от K и от L .

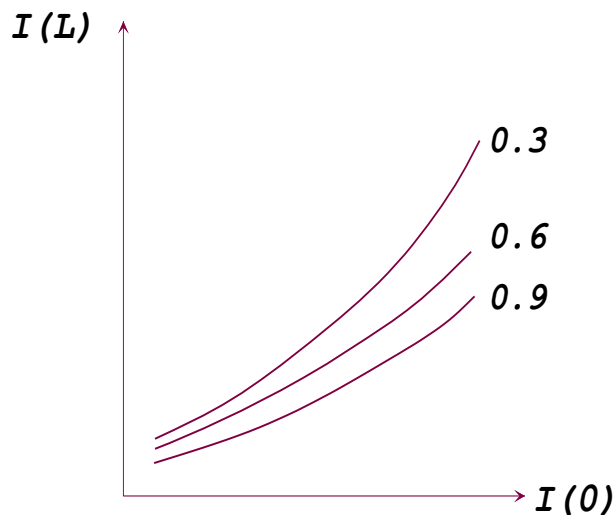
Чем они больше, тем сильнее данный ярус поглощает световую энергию.

Распределение светового потока в растительном покрове

(а) при различном расположении листьев



(б) изменение светового потока внутри растительного покрова при различных коэффициентах поглощения листьев

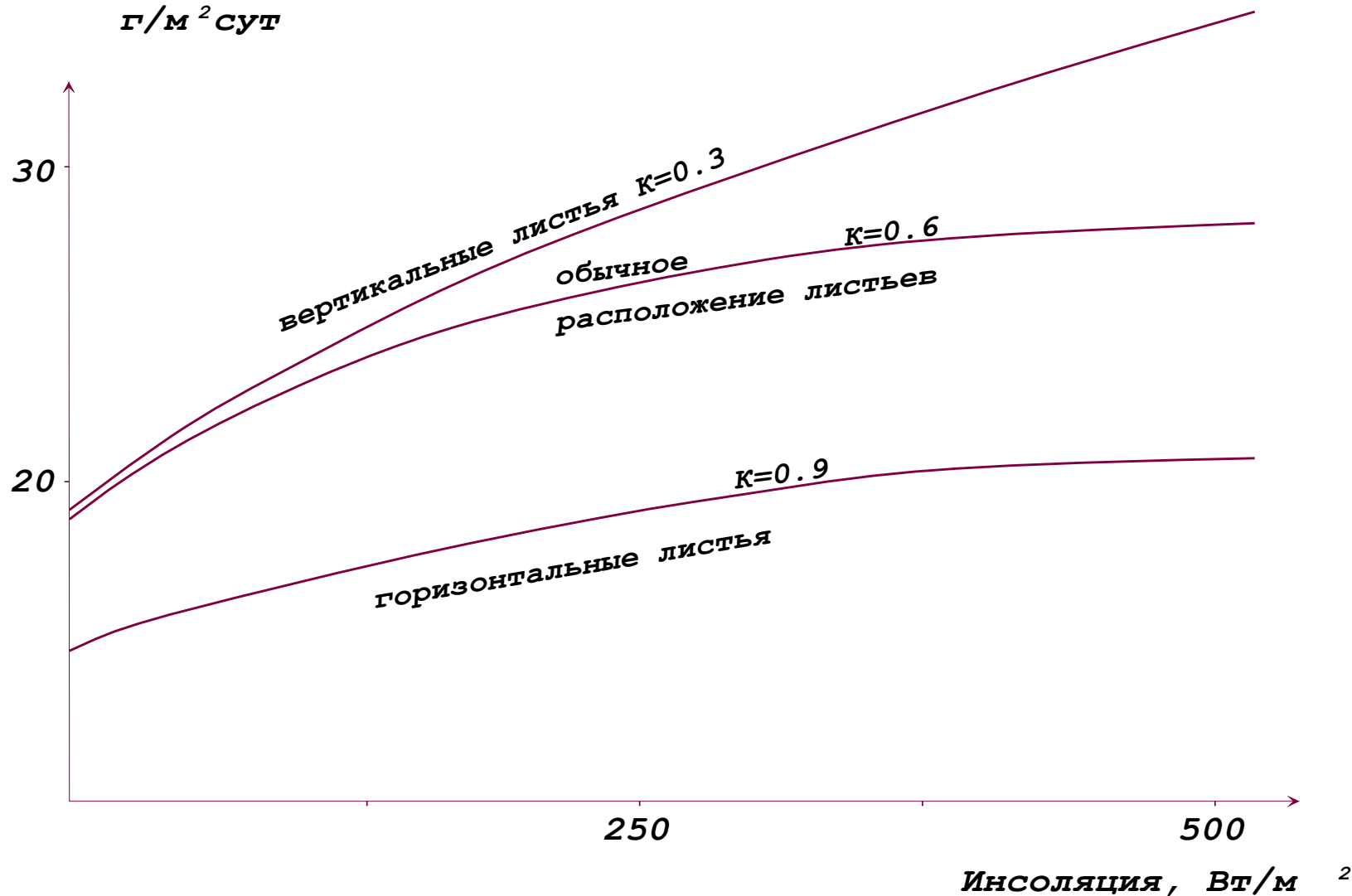


Для горизонтально расположенных листьев ($K=0.9$)
практически вся световая энергия усваивается растениями.

При вертикальном расположении K приближается к 0.3, зависимость крутая → увеличение поступающей энергии будет приводить к увеличению поглощения,
- растения чувствительны к фактору поступающего света.

Зависимость урожая от расположения листьев (коэффициента поглощения, К)

Прирост урожая,
 $\text{г/м}^2\text{сут}$



Направление светового потока

Опыты агрофизика профессора Б.С. Мошкова

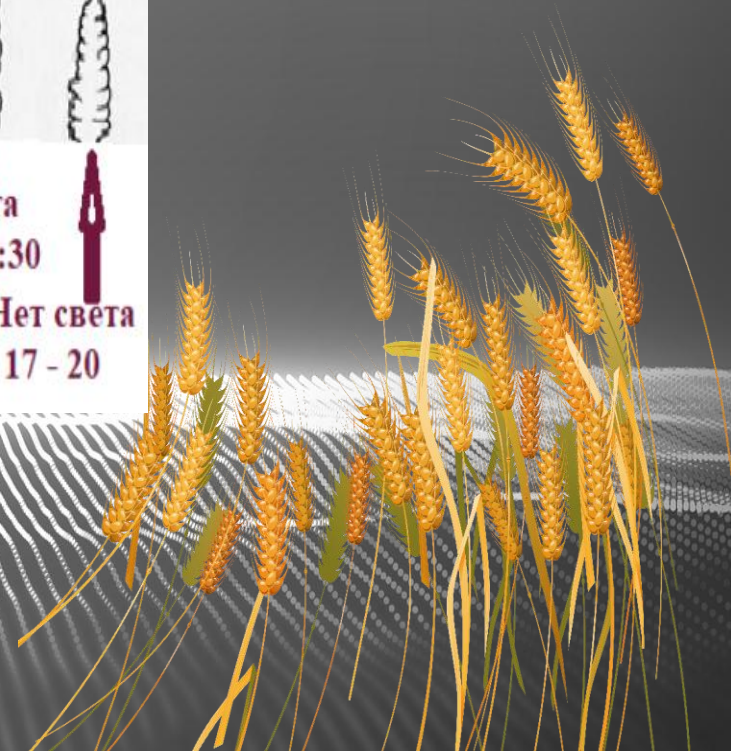
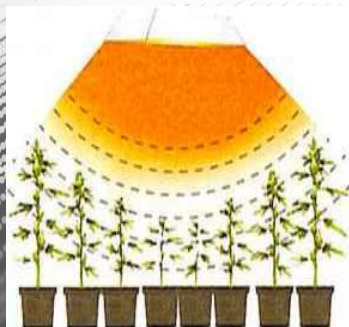
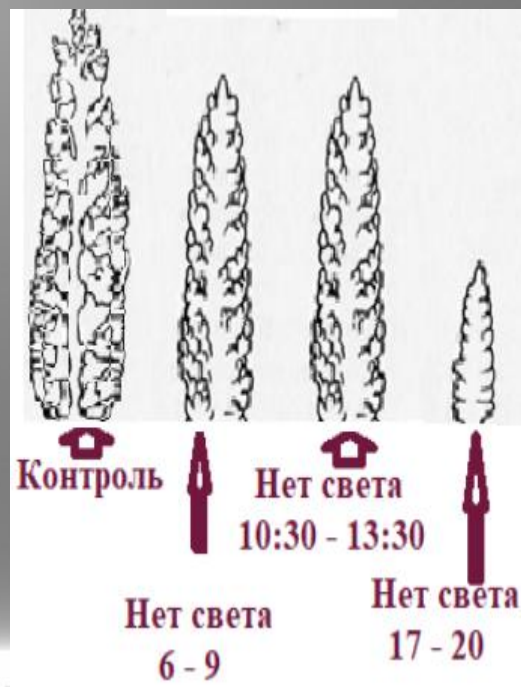
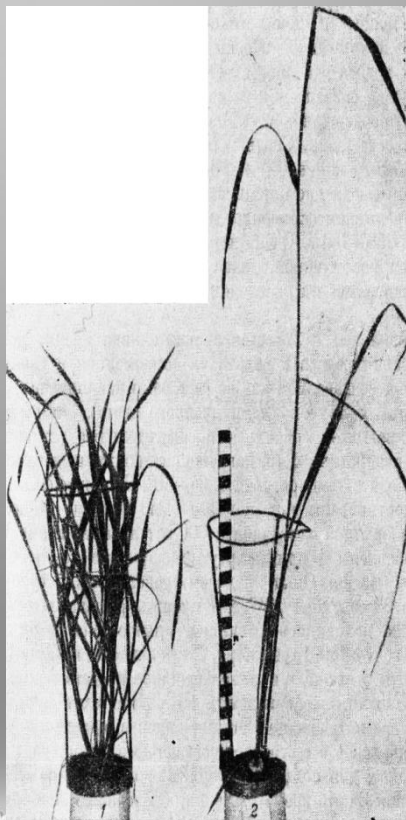
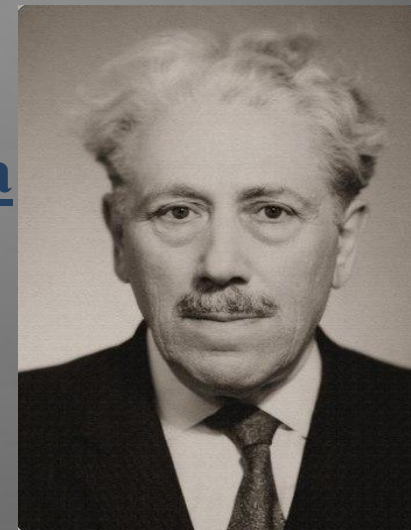
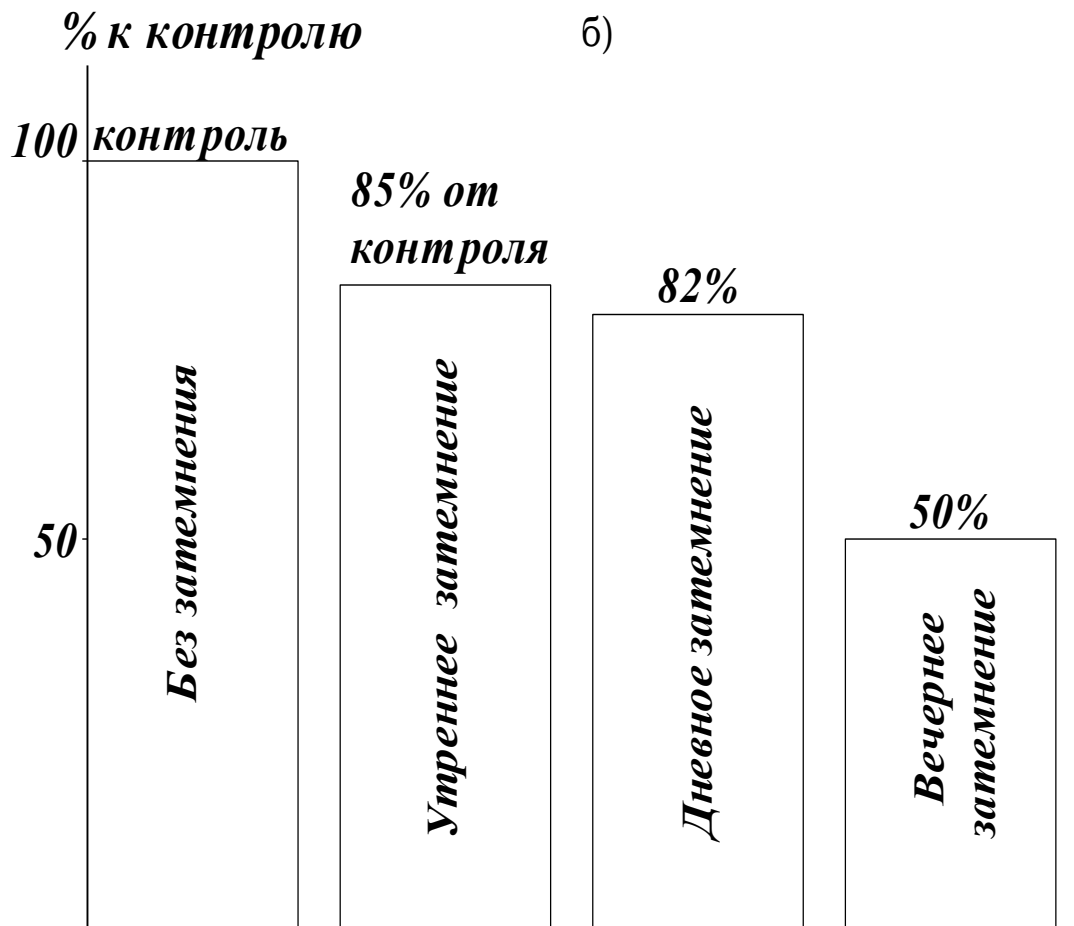
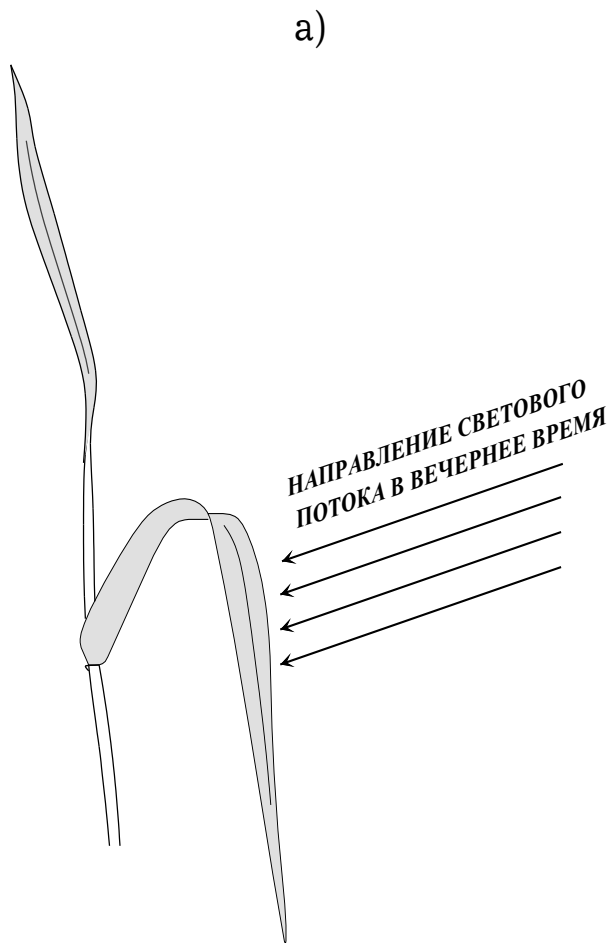


Схема расположения листа злаков
приспособлено
к боковому направлению
светового потока

результаты опыта по
влиянию утреннего,
дневного и вечернего света



Фотопериодичность

Свет как фактор онтогенеза

Длительность светового дня — один из основных факторов, регулирующим смену стадий развития растений, особенно древесных, в онтогенезе.

Например,

длительность светового дня является регулятором для подготовки деревьев к зиме: они запасают вещества, сбрасывают листья и пр.

Длительность светового дня - космический фактор, ответственный за осуществление фаз в онтогенезе многолетних растений и, соответственно, их «привязке» к определенной природно-климатической зоне.

Морозоустойчивость многолетних растений зависит не только от зимних холодов, а от предшествующих зиме световых условий.

Механизм этого явления – фотопериодический:
укорачивание светового дня является пусковым механизмом подготовки растений к зиме - растение сбрасывает листья, формирует запасы.

Если растение таким образом подготовлено, оно оказывается зимостойким.

Итоги:

- фотопериодический механизм – основной регулирующий фактор подготовки древесных и кустарниковых растений к зиме: укорачивание светового дня приводит к сбрасыванию растением листьев, формированием запасов и пр.

- зимостойкими оказываются только те особи и виды, которые в данных световых и климатических условиях успевают до наступления холодов закончить рост и подготовиться к зиме.

зимостойкость определяется генетическими особенностями вида, связанными с длительностью светового дня.

Тепло. Тепловой баланс ландшафта

Процессы радиационного и теплового балансов на поверхности Земли :

поступление энергии

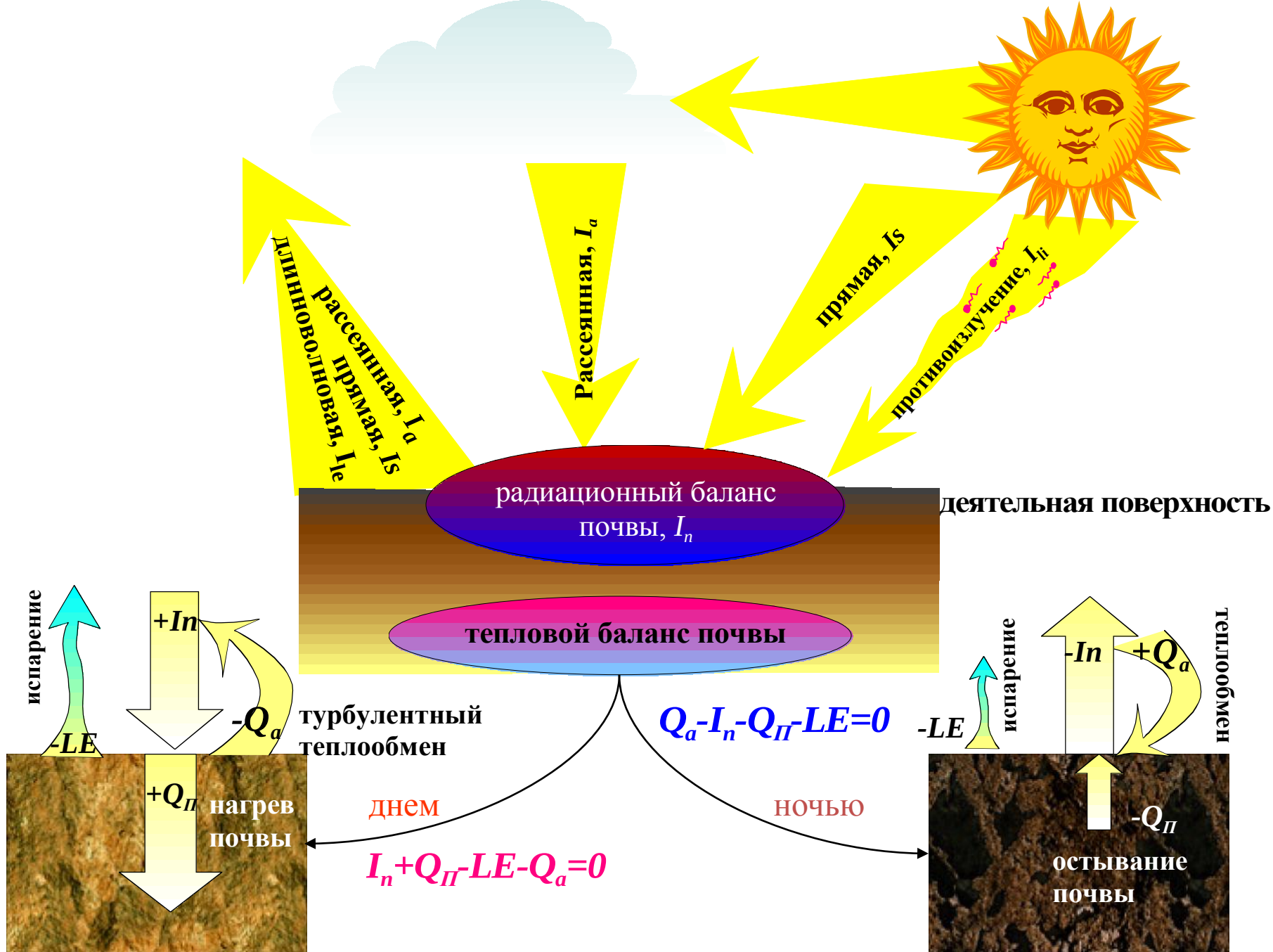
в виде прямой, рассеянной и отраженной радиаций →
последующее **превращение** ее в **тепловую** на деятельной
поверхности →

расход на нагрев почвы и растений, приземного воздуха и
эвапотранспирацию $L * E$,

где

L-удельная теплота испарения воды (585 кал/г)

E- количество испарившейся воды из почвы и из растений,
г $H_2O/cm^2 \cdot сут.$



Составляющие теплового и радиационного баланса (кал/см²·сут)

Положительные - направлены к рассматриваемому слою почвы, стремящиеся «наполнить»,

отрицательные – напротив, его «опустошающие».

5 членов входят из радиационного баланса In:

- 1) + Прямая солнечная радиация
- 2) + Рассеянная солнечная радиация
- 3) + Противоизлучение атмосферы
- 4) – Отраженная солнечная радиация
- 5) – Излучение почвой тепла

3 члена – тепловой расход:

- 6) – Поток тепла в почву (Q_s),
- 7) – Конвективный нагрев приземного слоя атмосферы (Q_a)
- 8) – Потери тепла на испарение и транспирацию (LE)
- 9) Есть еще составляющая - $Q_{ФАР}$ - энергия, пошедшая на фотосинтез, но она мала, и ее часто не указывают.

уравнение теплового баланса:

днем:

$$In - Q_s - Q_a - LE - Q_{ФАР} = 0$$

ночью:

- + Q_s - направлена из глубины к поверхности,
- + Q_a - тоже может быть направлен к поверхности,
- In – почва выделяет тепло в атмосферу,

$$+ Q_s + Q_a - In - LE = 0$$

Все процессы формируются на деятельной поверхности, и от ее характеристик зависят величины составляющих баланса:

- изменяя, например, величину альбедо α , мы можем изменить соотношение поступающей и отраженной энергий.
- изменяя свойства деятельной поверхности можно изменить соотношение составляющих теплового баланса.

Именно поверхности почвы или растительного покрова принадлежит основная роль в прогреве приземного слоя воздуха.

В уравнении теплового баланса есть LE - испарение или эвапотранспирация -, что позволяет совместно рассматривать два вида баланса – **тепловой и водный**, которые тесно взаимосвязаны. Это позволяет по тепловым ресурсам рассчитывать потери воды с поверхности растительного покрова, которые и определяют его влагообеспеченность и продуктивность.