

Лекция 6

ПРОГНОЗ

БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСТЕНИЙ

- **ЗНАЧЕНИЕ ФОТОСИНТЕЗА В ЖИЗНИ РАСТЕНИЯ**
- **ГАЗООБМЕН ЛИСТА И ПОСЕВА**
- **ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И УПРАВЛЕНИЕ РОСТОМ РАСТЕНИЯ**

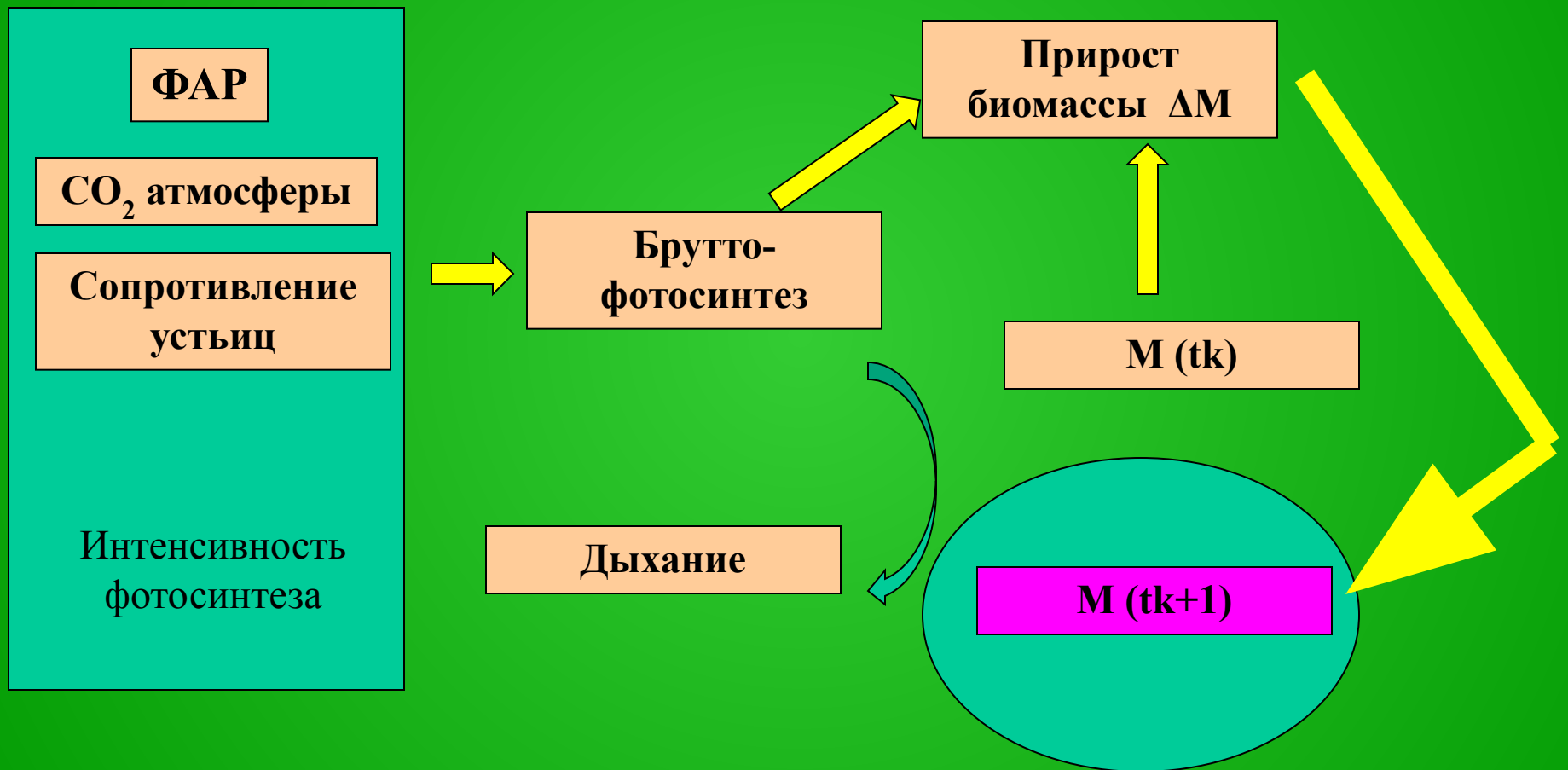
Прогноз динамики урожая и управление процессом его формирования рассчитывается по следующей схеме



ЗНАЧЕНИЕ ФОТОСИНТЕЗА В ЖИЗНИ РАСТЕНИЯ

Фотосинтез является важнейшей физиологической функцией хлорофиллсодержащих растений, обеспечивающий процесс трансформации вещества и энергии биосферы.

Упрощенно продукционный процесс можно представить следующей схемой



ФАКТОРЫ, ЛИМИТИРУЮЩИЕ ФОТОСИНТЕЗ

- *интенсивность и соотношение световой и темновой стадий фотосинтеза.*
- *плотность стеблестоя в посеве.*
- *расположение листьев в пространстве (архитектоника растительного покрова).*
- *температура.*
- *концентрация углекислого газа в клетке.*

ГАЗООБМЕН ЛИСТА И ПОСЕВА

Содержание CO_2 в атмосфере определяется количеством его в естественном составе **воздуха**, поступлением из **почвы** и в процессе **антропогенной деятельности**.

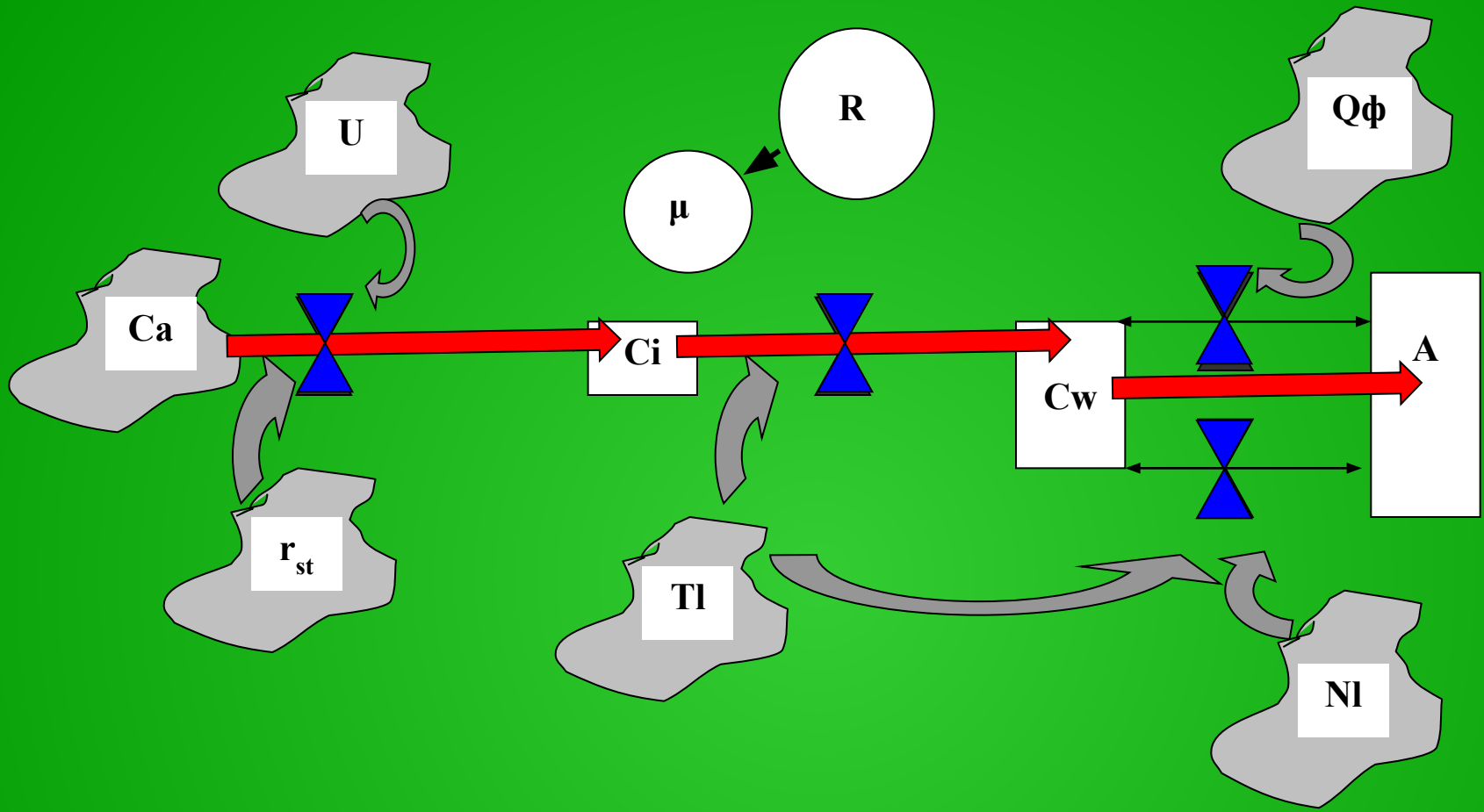
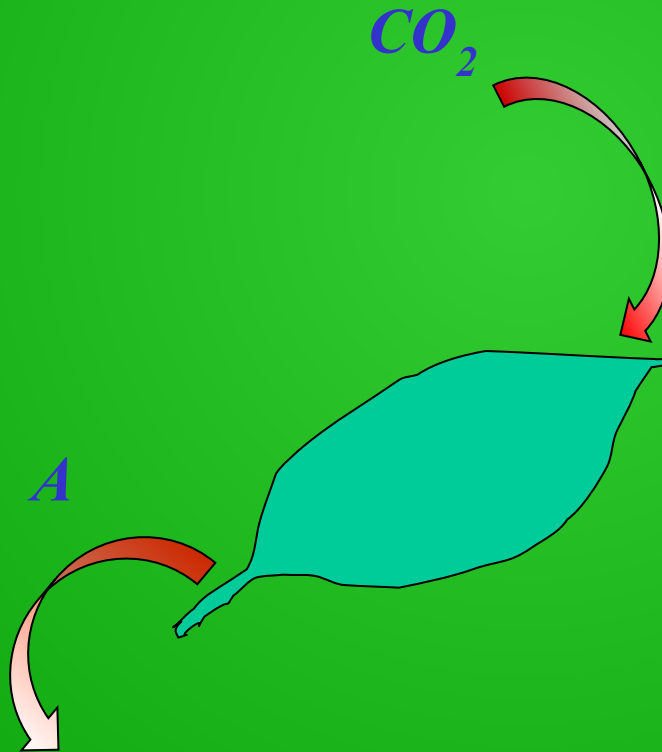


Рис. 63. Поточковая диаграмма газообмена листа.

Углерод межклетников (C_i) поступает в клеточный раствор (C_w), где в цикле Кельвина он **расходуется на синтез ассимилятов (A)**.

Поэтому в светлый период суток $C_i < C_a$

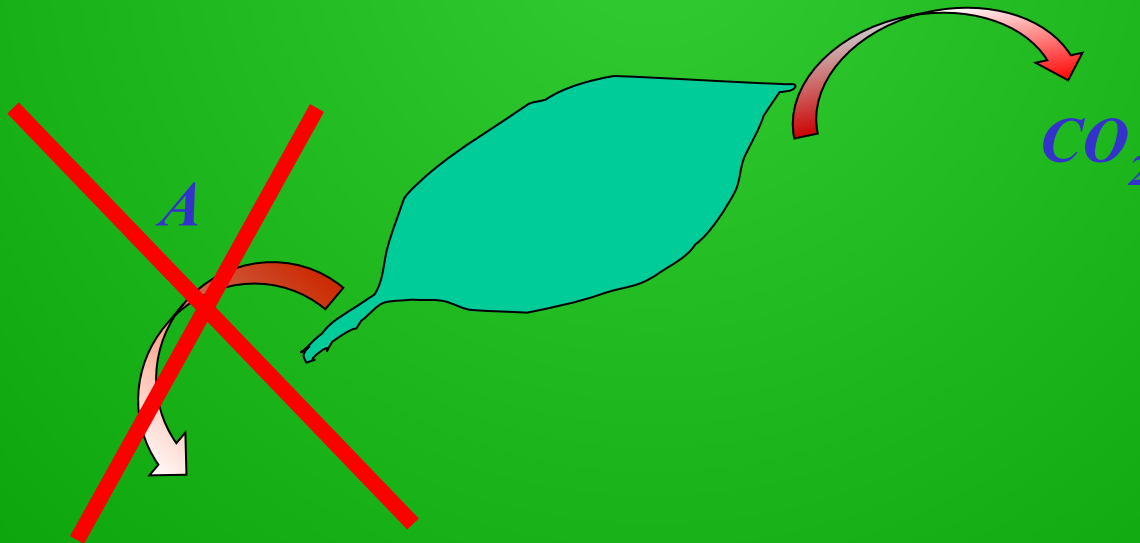
и *поток CO_2 направлен внутрь листа.*



В темное время суток **синтез ассимилятов прекращается**, но дыхание продолжается, что приводит к повышению концентрации CO_2 в клеточном растворе и в межклетниках.

Поэтому в темный период суток **$C_i > C_a$**

и **поток CO_2 направлен наружу листа.**



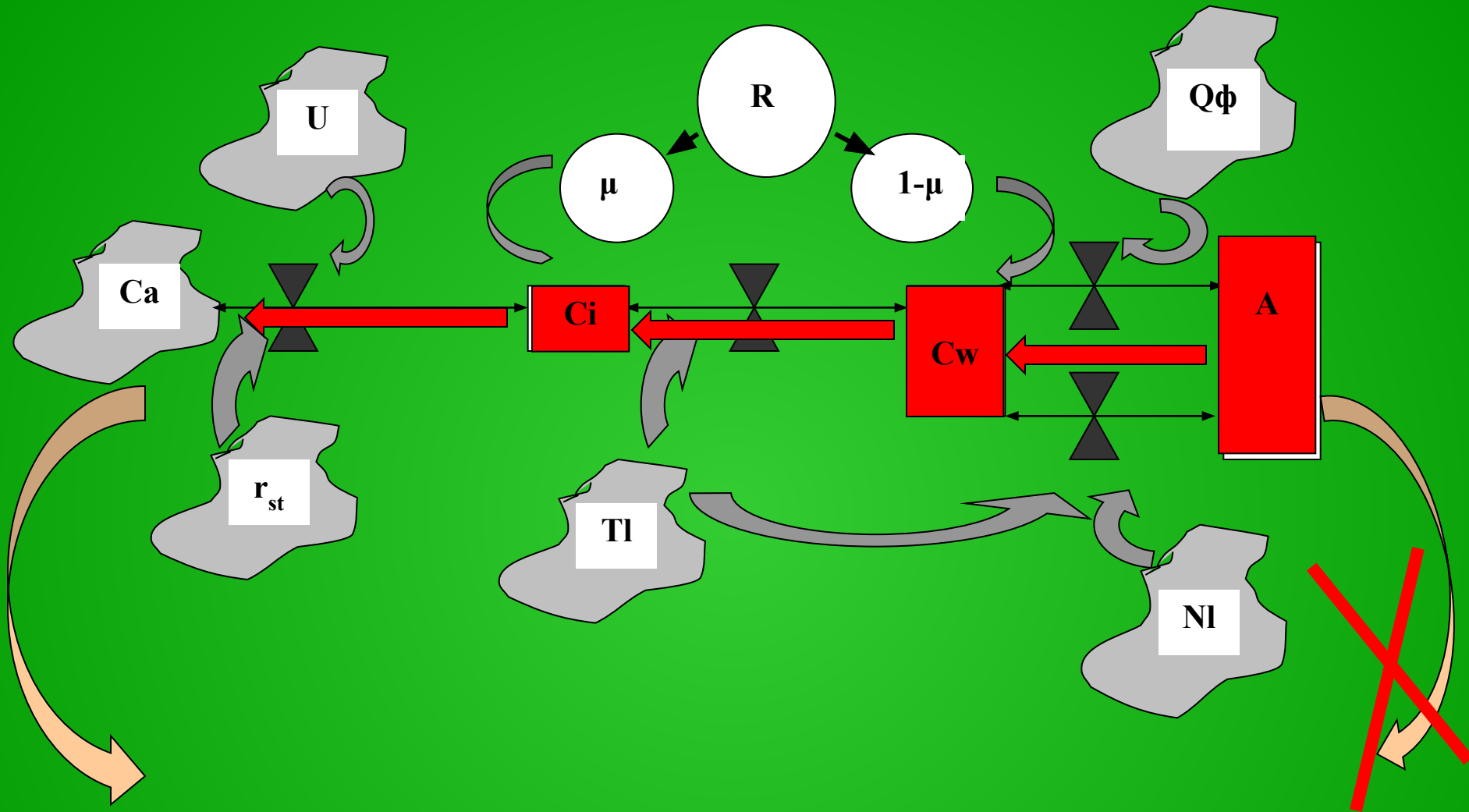
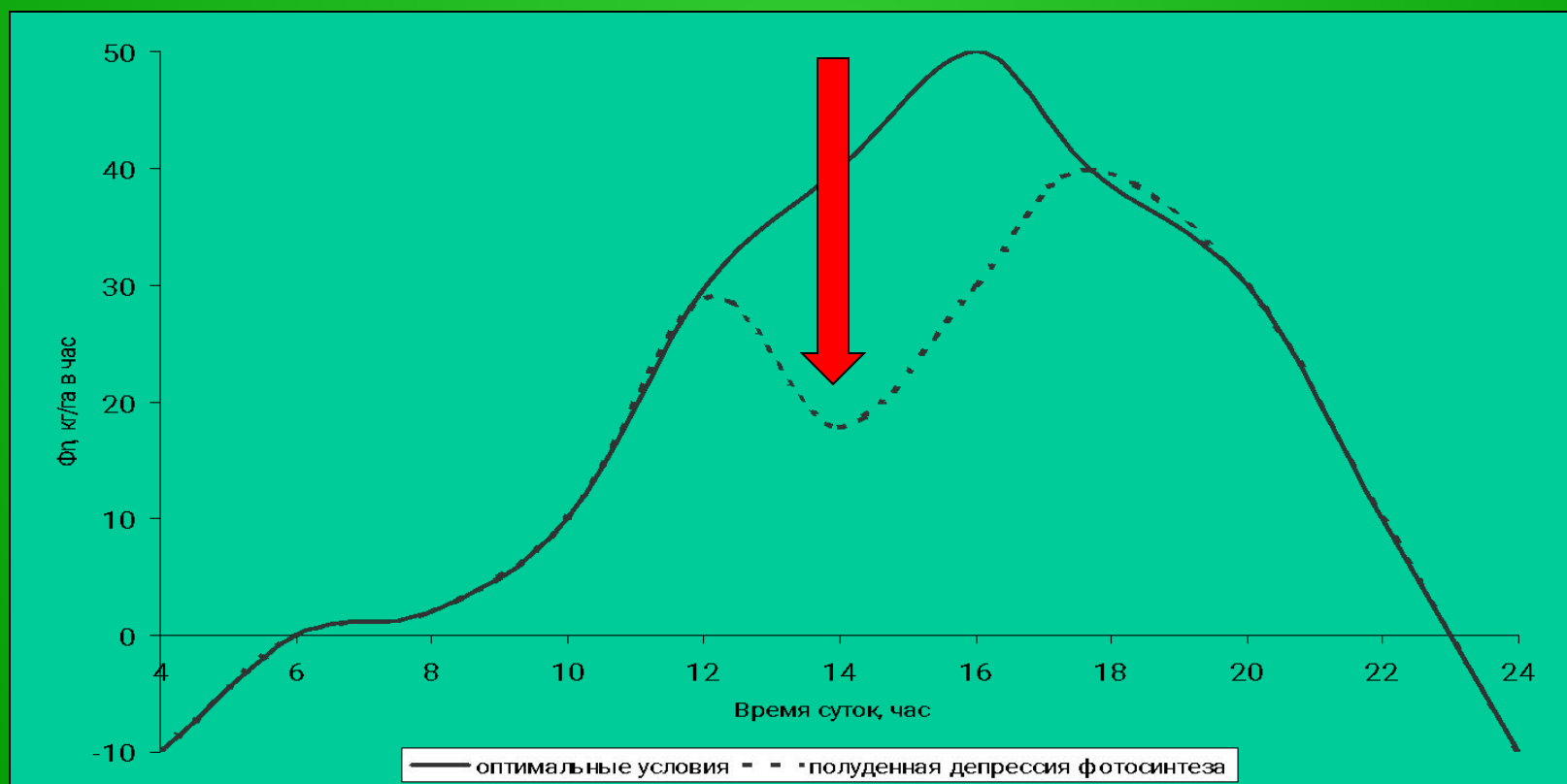


Рис. 63. Потоквая диаграмма газообмена листа.

При недостатке одного или нескольких факторов, регулирующих газообмен, ситуация $C_i > C_a$ может наблюдаться и при достаточно высокой освещенности.

В результате наступает полуденная депрессия фотосинтеза и суточный ход газообмена листа принимает вид синусоиды.



Итак, для прогноза накопления биомассы необходимы входные параметры F_n и R_d , которые требуют довольно сложных расчетов и некоторых трудноопределимых параметров.

Поэтому для мониторинга и прогноза в производственных условиях можно применить хотя и упрощенные, но достаточно эффективные аппроксимации динамики биомассы в зависимости от биологического времени (СЭТ, СЭВ).

ПРОГНОЗ ДИНАМИКИ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ И УПРАВЛЕНИЕ РОСТОМ РАСТЕНИЯ

Широкомасштабный мониторинг биомассы посевов сельскохозяйственных культур невозможен из-за трудоемкости методики определения биомассы корневой системы.

Между тем, нашими наблюдениями установлено, что отношение надземной к подземной биомассе мало варьирует по годам.

Тем не менее, это динамическая величина, существенно изменяющаяся в течение периода вегетации.

В начале периода вегетации масса подземной части растения превышает надземную, но постепенно зависимость становится обратной

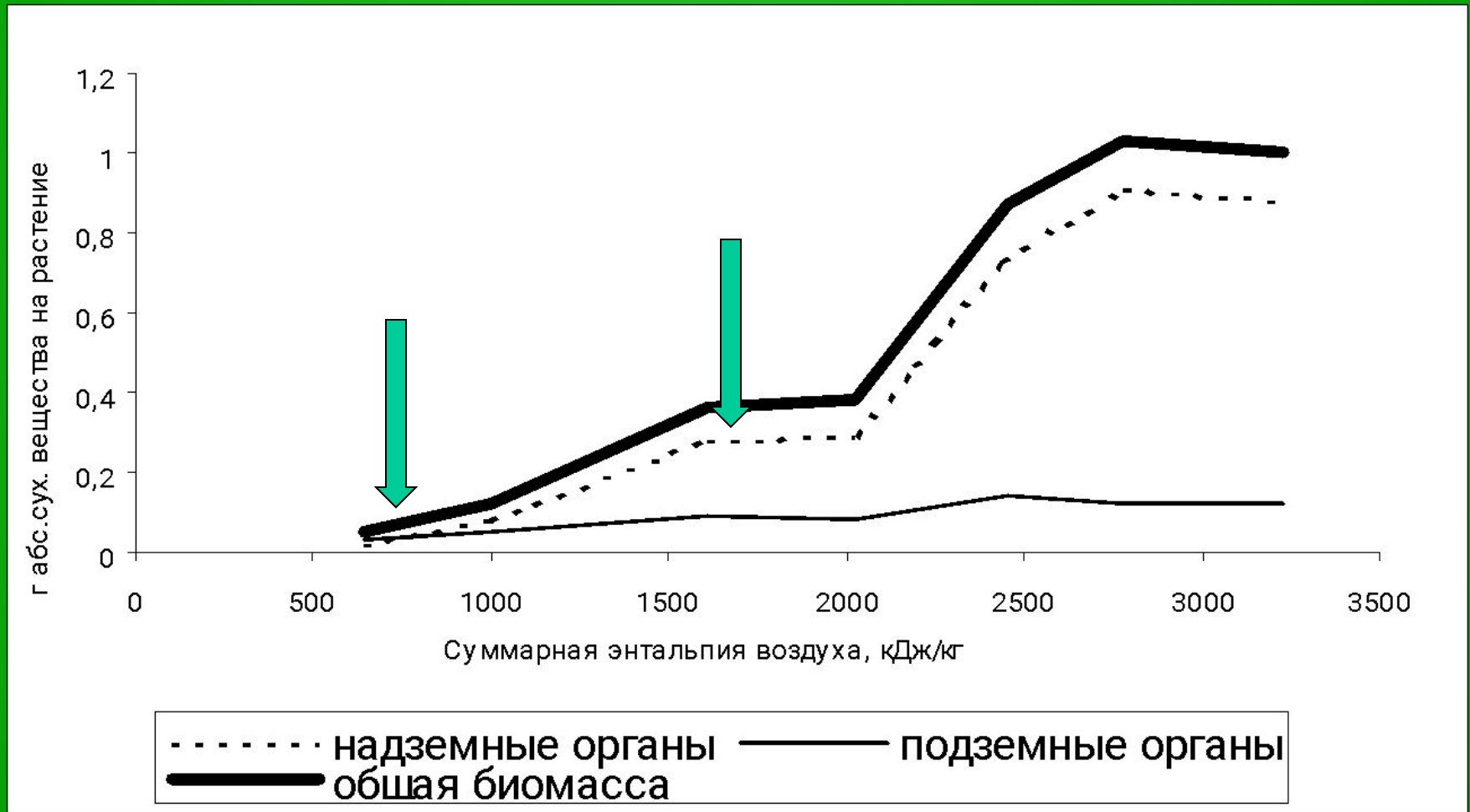


Рис. 65. Динамика биомассы ячменя, 1995г.

Следовательно, для вычисления общей биомассы растения при обследовании полей достаточно знать **суммарную энтальпию воздуха** от посева (или весеннего возобновления вегетации) до даты отбора образцов и **абсолютно сухую надземную массу растений**.

По общей массе **надземных** органов растения (M_n) и рассчитанному **соотношению** ее с **подземной** ($K_{н/п}$), вычисляется биомасса всего растения ($M'(t_k)$) по зависимости:

$$M'(t_k) = M'_n(t_k) / K_{н/п}(t_k) + M'_n(t_k)$$

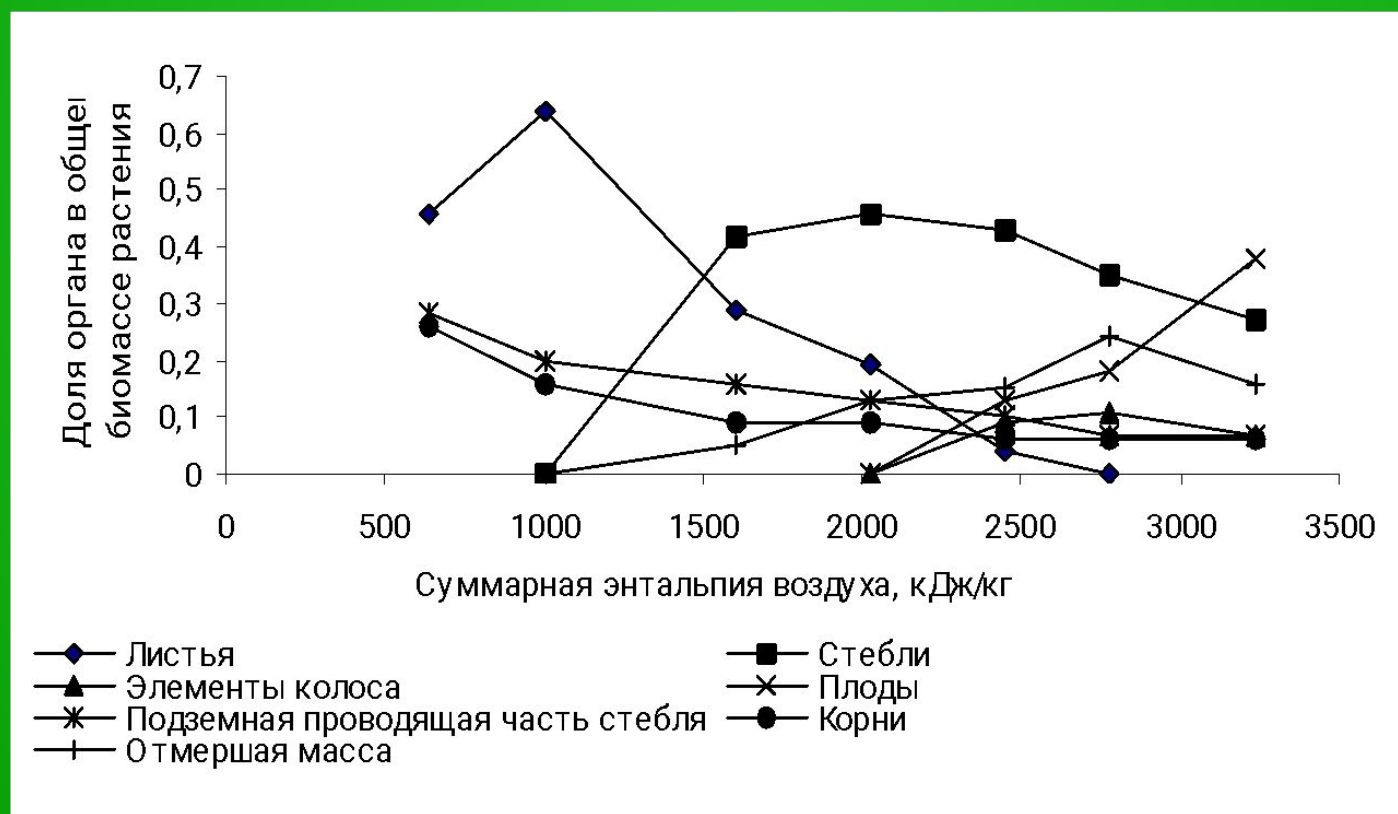
При отсутствии входных параметров базовой модели фотосинтеза, прогноз динамики биомассы рассчитывается по функции:

$$M'(tk+1) = aCp^b + KorrM$$

$$KorrM = M'(tk) - aCp^b,$$

где M' – прогнозируемая биомасса, г. абс.сух.в-ва · растение⁻¹; a, b – статистические коэффициенты; $KorrM$ – корректирующий коэффициент.

Рассчитанную **общую биомассу** растения следует **распределить между органами** растения, что позволит определить урожай основной, побочной продукции и корневых остатков, то есть связать модель продукционного процесса с моделями животноводства, экологии и экономики сельскохозяйственного предприятия.



В начале роста фитоорганов их биомасса возрастает, но по мере старения и созревания наблюдается тенденция к снижению фотосинтеза и возрастанию оттока ассимилянтов из фотосинтезирующих органов.

Следовательно, **доля активных фитоорганов** – это динамическая величина, зависящая от таксономического вида и возраста растения, определяющегося, в свою очередь, энтальпией среды:

$$Kd^j = aLnCp+b,$$

где Kd^j – доля j-го органа в абсолютно сухой биомассе растения, безразмерная; a, b – статистические коэффициенты.

Тогда функция динамики биомассы j-го органа ($M'^j(tk)$) будет определяться, как

$$M'^j(tk) = M'(tk)Kd^j$$

$$M'^{об}(tk) = M'(tk) - \sum M'^j(tk),$$

где $M'^{об}(tk)$ – суммарная биомасса отмерших органов на текущем шаге работы модели, г.абс.сух.в-ва · растение⁻¹.

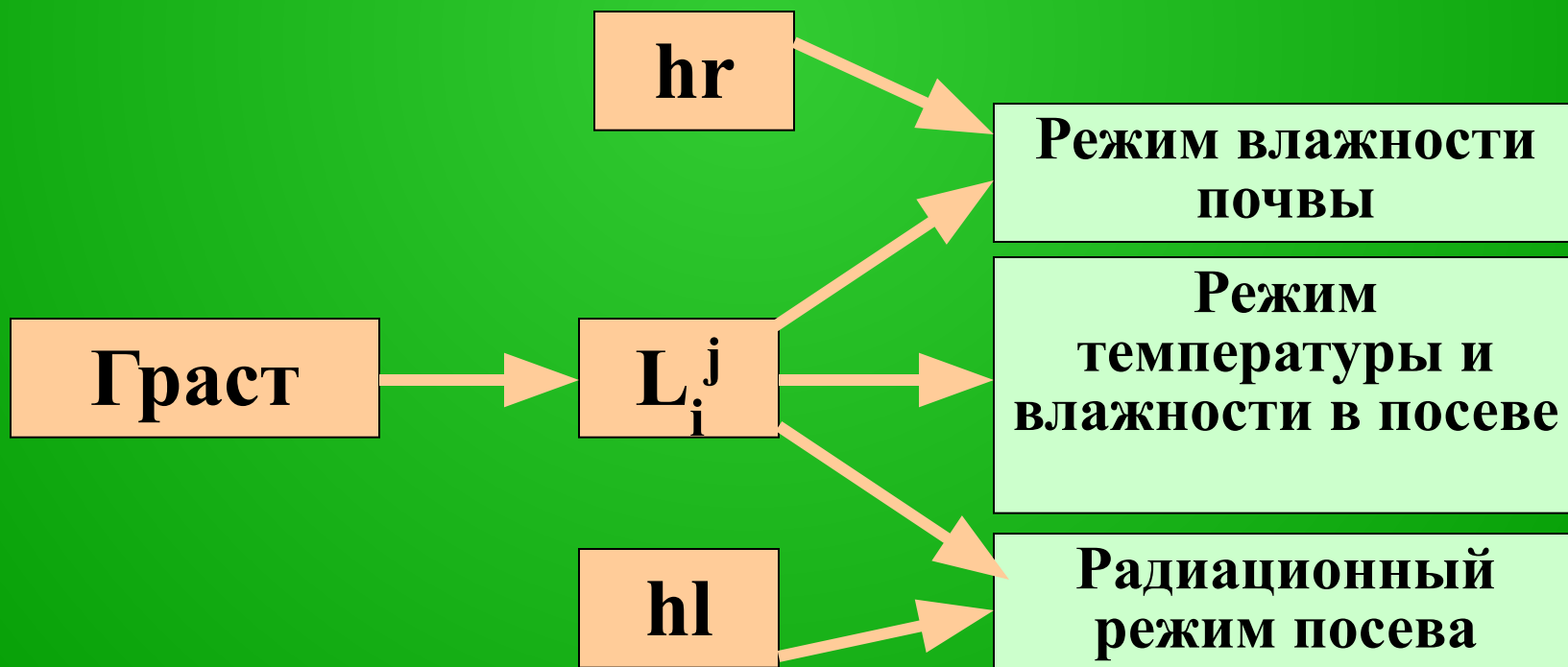
Если учитывать долю каждого фитооргана в компартменте, являющуюся динамической величиной, то распределение биомассы органа записывается функцией:

$$M_i^j(tk) = M^j(tk)Kd_i^j$$
$$Kd_i^j = aLnCp+b$$

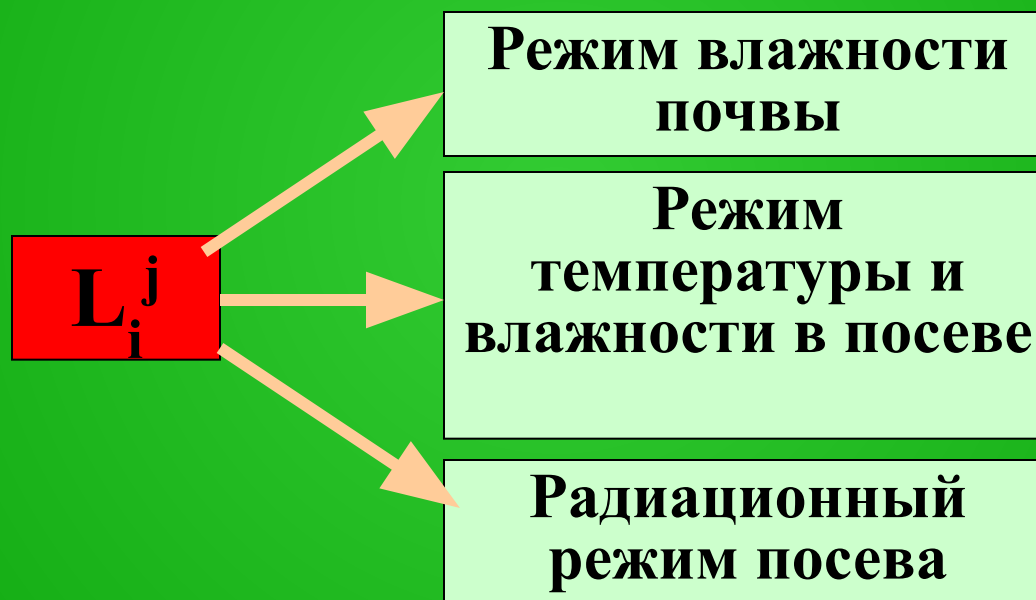
где $M_i^j(tk)$ – биомасса j -го органа в i -м компартменте на текущем шаге работы модели, г.абс.сух.в-ва · растение⁻¹; Kd_i^j – доля j -го органа в i -м компартменте, безразмерная; a, b – статистические коэффициенты.

В результате становится возможным вычислить биомассу для любого компартмента в пределах диапазона работы функции Kd_i^j .

Для связи с другими модулями модели продукционного процесса, модуль роста и развития растений должен обеспечивать расчет прогноза динамики **индекса фитоорганов компартментов (L_i^j)**, **высоты стеблей (hl)**, **глубины корневой системы (hr)** и **количества стеблей на единице площади (Граст)**



ИНДЕКС ФИТООРГАНОВ КОМПАРТМЕНТА



Численные значения индексов фитоорганов поступают на вход модулей влагопереноса в почве, радиационного режима посева и тепло- и влагопереноса в почве. Расчет их ведется по общей формуле

$$L_i^j = SSI_i^j \Gamma \text{раст } 0,0001$$

где L_i^j – индекс j -го фитооргана в i -м компартменте; SSI_i^j – площадь j -го органа в i -том компартменте для одного растения, см^2 ; Γ – количество растений на 1м^2 .

Из формулы следует, что основным параметром при расчете индексов является **плотность популяции и площадь фитоорганов.**

Результаты наших наблюдений позволили значительно упростить методику определения площади активной поверхности фитоорганов исходя из предположения наличия связи между биомассой растения и площадью его органов.

Было вычислено отношение площади надземных органов к их биомассе (K_s/m) и корневой системе (K_s/mr).

$$S_{l,st,gen} = M'_{н} K_s/m$$

$$S_r = M'_{п} K_s/mr$$

где $S_{l,st,gen}$ – площадь надземных фитоорганов, $см^{-2}$; S_r – площадь корневой системы, $см^{-2}$; $M'_{н}$ – масса надземных фитоорганов, $г \cdot растение^{-1}$; $M'_{п}$ – масса корневой системы, $г \cdot растение^{-1}$.

Площадь надземных органов нецелесообразно разделять на листья, стебли и генеративные органы, так как все они участвуют в фотосинтезе.

Коэффициенты $K_{s/m}$ и $K_{s/mr}$ описываются системой динамических функций от суммарной энтальпии воздуха:

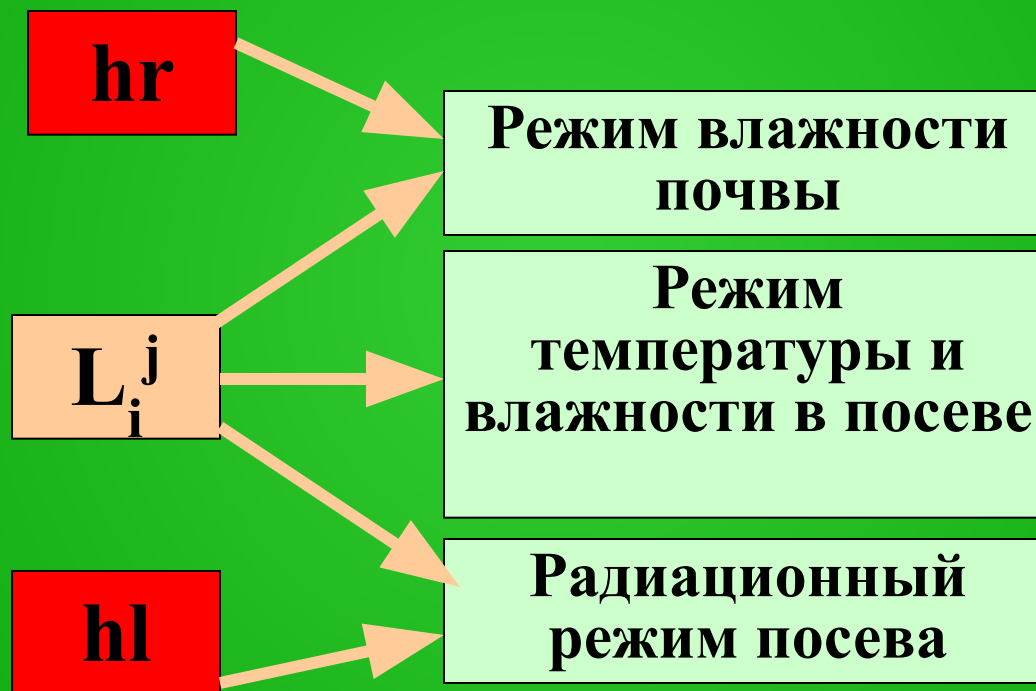
$$K_{s/m}, K_{s/mr} = f(C_p)$$

Далее вычисляется площадь фитоорганов **одного растения (или одного стебля)** (SSI). Распределение их по компартментам рассчитывается по функциям

$$SSI = S_{l,st,gen,r} K_i^j$$
$$K_i^j = a \ln C_p + b,$$

где a, b – статистические коэффициенты; K_i^j – доля фитооргана в компартменте.

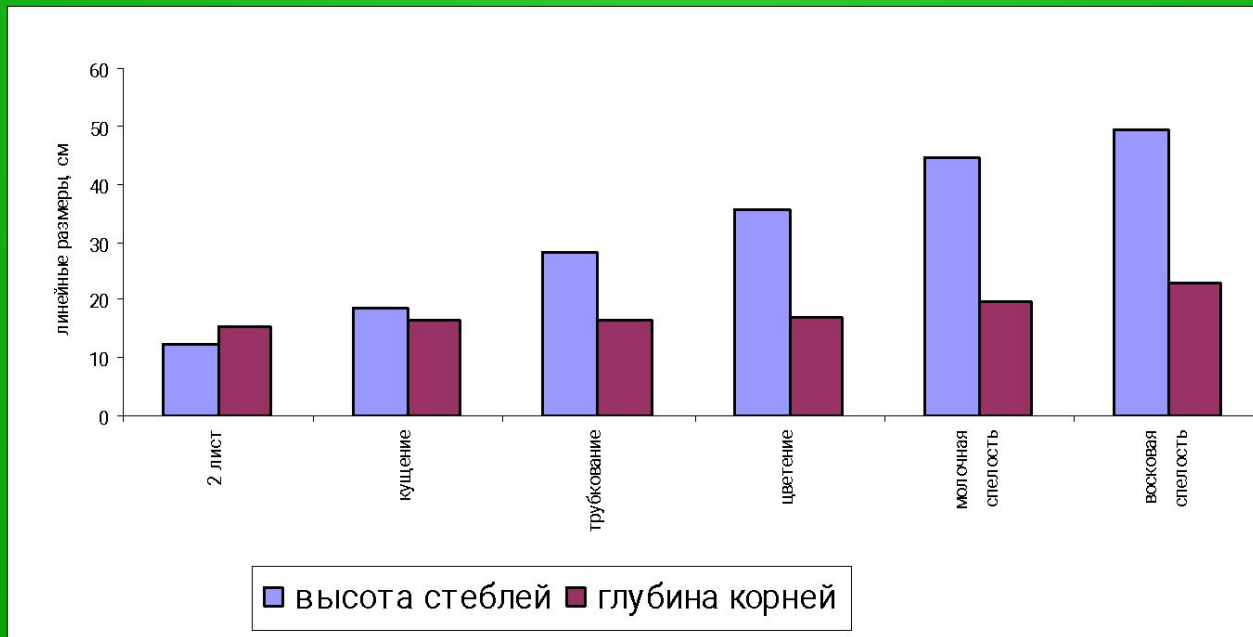
ДИНАМИКА ВЫСОТЫ СТЕБЛЕЙ И ГЛУБИНЫ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ РАСТЕНИЙ



Для нормального роста растению необходимы вода и минеральное питание. Поэтому **в гетеротрофный период первоначально растет корень**, что объясняет преобладание длины корня над высотой стебля,

причем, такая закономерность характерна не только для однолетних растений, но и для многолетних в период весеннего отрастания.

После укоренения начинает расти стебель, высота которого очень быстро превосходит длину корней



Если вычислить отношение «глубина корневой системы : высота растения», то получается коэффициент, зависящий от биологического времени и с достаточно высокой точностью рассчитывающийся степенной функцией от суммарной энтальпии воздуха:

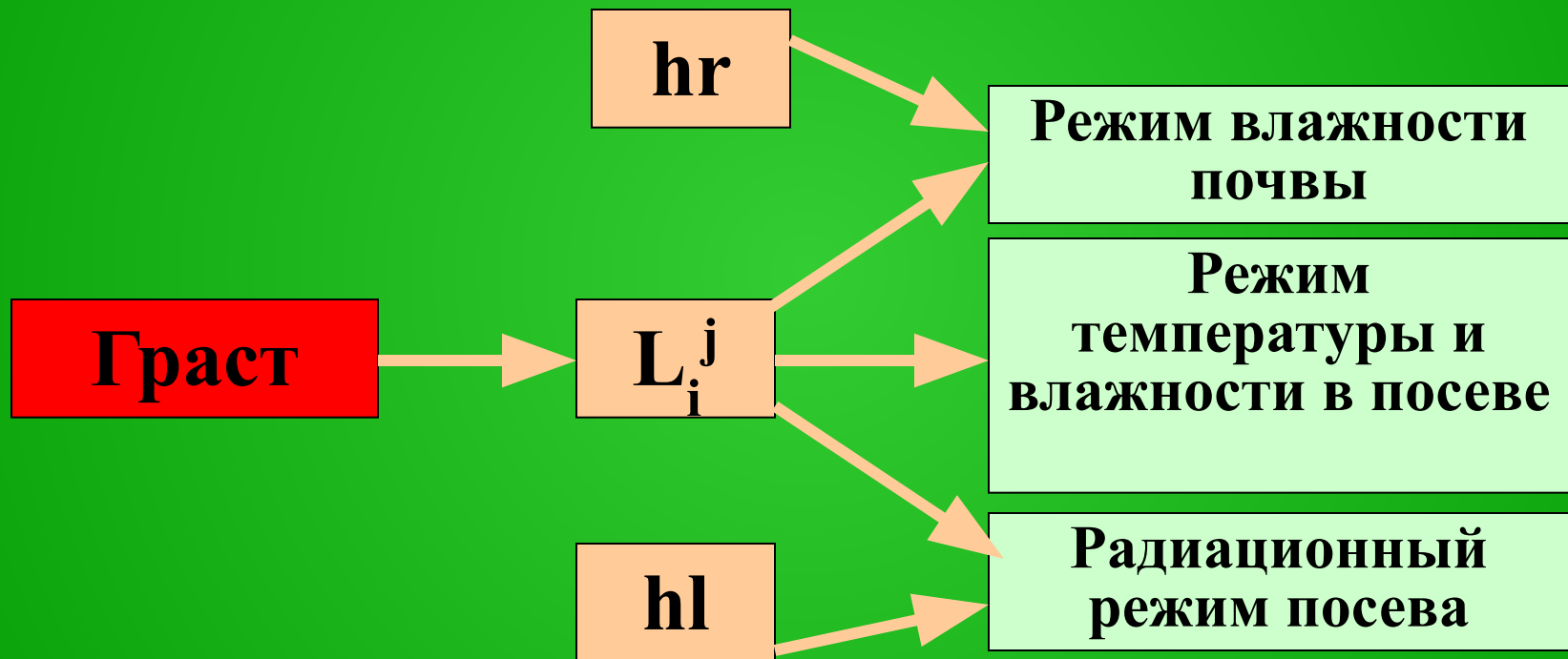
$$K_{hr} = a C_p^b,$$

где K_{hr} – коэффициент глубины корневой системы; a, b – статистические коэффициенты.

Применение этого коэффициента значительно упрощает мониторинг посевов, так как исключается необходимость трудоемкой операции по извлечению почвенного монолита и отделение корневой системы от почвы, поскольку длина корней рассчитывается как

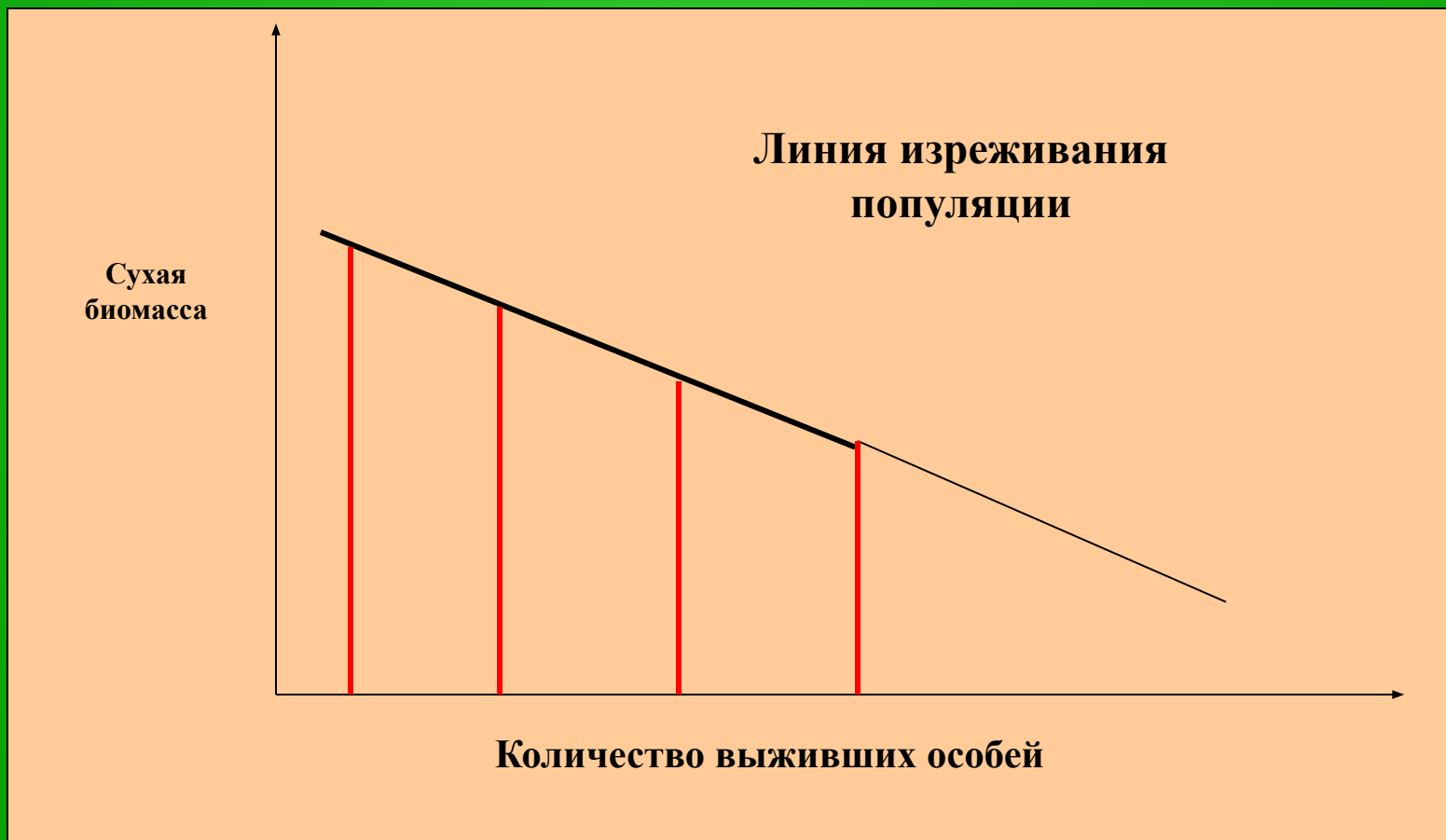
$$hr = hl Khr$$

ДИНАМИКА КОЛИЧЕСТВА РАСТЕНИЙ НА ЕДИНИЦЕ ПЛОЩАДИ



Самоизреживание популяций наблюдается с постоянной скоростью.

Причем, чем **ниже исходная плотность** популяции, тем **позднее начинают проявляться** конкурентные взаимодействия (при большей массе)



Наблюдениями за популяциями различных таксономических видов растений обнаружено, что наклон линии изреживания является величиной постоянной.

Поэтому чем выше начальная плотность, тем раньше начинается изреживание.

Эту зависимость часто называют «закон степени $-3/2$ » (*Yoda et al., 1963*):

$$M' = c \cdot \text{Граст}^{-3/2},$$

где M' – биомасса 1 растения; Граст – плотность, экз./м²; c – коэффициент, определяющий высоту заложения линии по оси (Y).

Управление параметрами продукционного процесса в рассматриваемом модуле осуществляется через регулирование

плотность популяции (Граст)

высота (hl)

площадь фотосинтезирующих органов (SSI^j)

Ретарданты, сорт

норма посева или посадки и операции по формированию оптимальной плотности растений на единице площади.

таксономический вид культуры, сорт, уровень минерального питания

Компьютерный вариант модуля работает в режиме **мониторинга производственных посевов** основных полевых культур. По запросу программы вводятся:



Корреляционный анализ между расчетными и эмпирическими значениями параметров биомассы растений показал высокую степень соответствия, что обеспечивает применение модуля в условиях производства

Культура	Глубина корней	Масса абсолютно сухого вещества							
		суммарная	листья	стебли	генеративные органы	семена	подземная часть стеб.	отмещающая	корни
Ежа сборная	0,90	0,97	0,93	0,99	0,99	*	**	0,85	0,94
Лен долгунец	0,84	0,87	0,99	0,93	1,00	*	0,66	0,99	0,90
Рапс яровой	0,95	0,99	0,99	0,99	1,00	*	0,99	0,86	0,92
Ячмень	0,70	0,99	0,98	0,91	1,00	1,00	0,68	0,66	0,97
Овес	0,61	0,99	0,99	0,99	0,96	0,99	0,78	0,83	0,90
Яровая пшеница	0,17	0,99	0,95	0,99	0,99	0,99	0,88	0,84	0,61
Горох посевной	0,90	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,48	0,99	0,96
Кукуруза (на силос)	0,40	0,99	0,99	0,98	0,98	*	0,38	0,97	0,86

Примечание: * – входит в массу генеративных органов; ** – входит в массу корневой системы.

Спасибо за внимание!