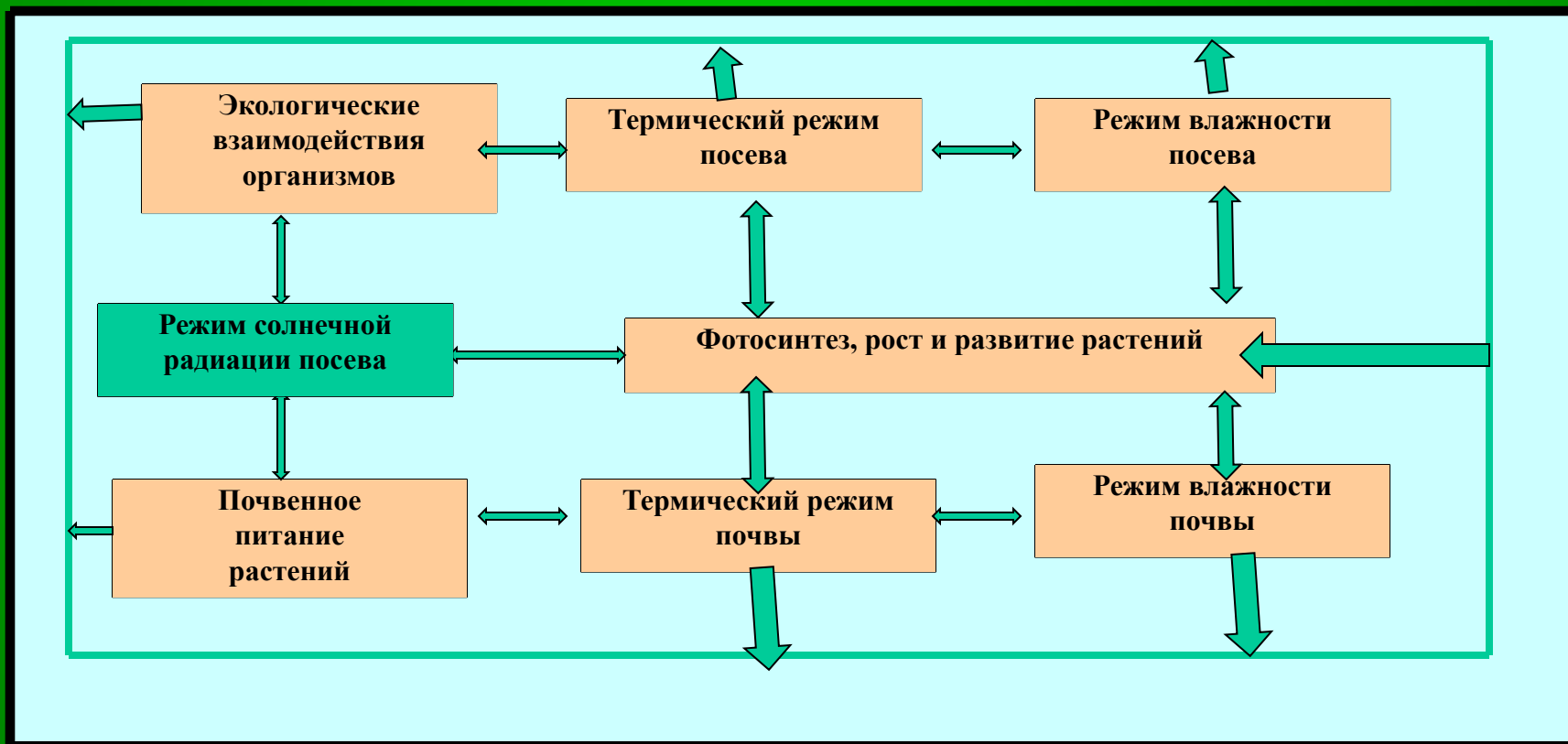


Лекция 3

РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ЭКОСИСТЕМЫ



Основным
энергетическим фактором
большинства экосистем
является
солнечная радиация.

Лекция 3

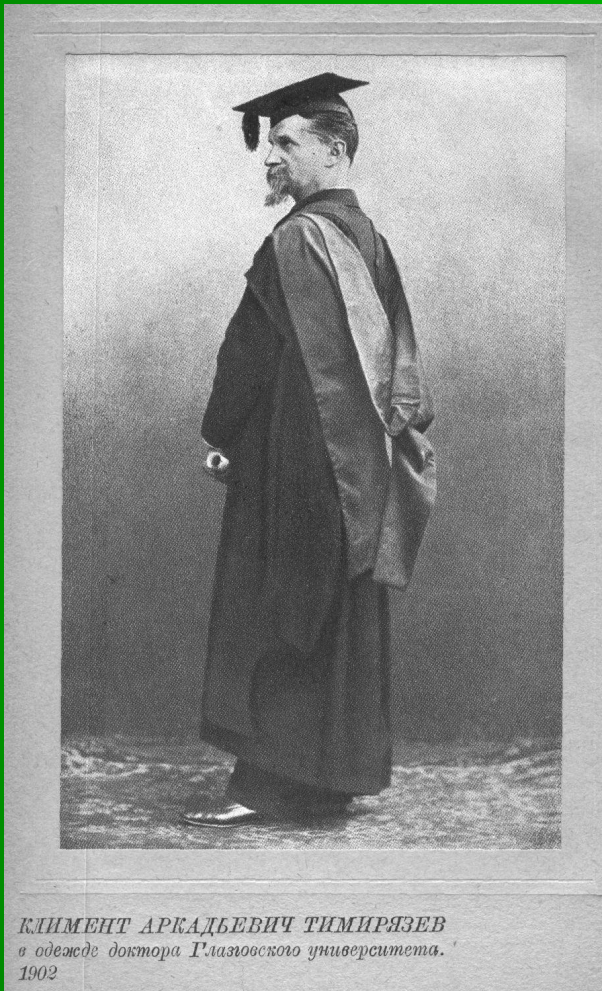
РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ЭКОСИСТЕМЫ

- СОЛНЦЕ КАК ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛА И СВЕТА ДЛЯ РАСТЕНИЯ
- АРХИТЕКТОНИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА
- МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРВОГО УРОВНЯ ПРОДУКТИВНОСТИ

СОЛНЦЕ КАК ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК ТЕПЛА И СВЕТА ДЛЯ РАСТЕНИЯ

Жизнь на Земле возникла, развивалась, продолжает развиваться и существовать благодаря Солнцу. Энергия солнечных лучей преобразуется в процессе фотосинтеза в органические соединения, которые составляют 90...95% биологической массы растения. На долю минеральных элементов приходится всего лишь 5...10%.

Поэтому-то русский физиолог К.А. Тимирязев в основу плодородия почвы, а, следовательно, и урожайности культур ставил не количество внесенных удобрений, не количество полученной влаги, а именно солнечную энергию.



КЛИМЕНТ АРКАДЬЕВИЧ ТИМИРЯЗЕВ
в одежде доктора Глазовского университета.
1902

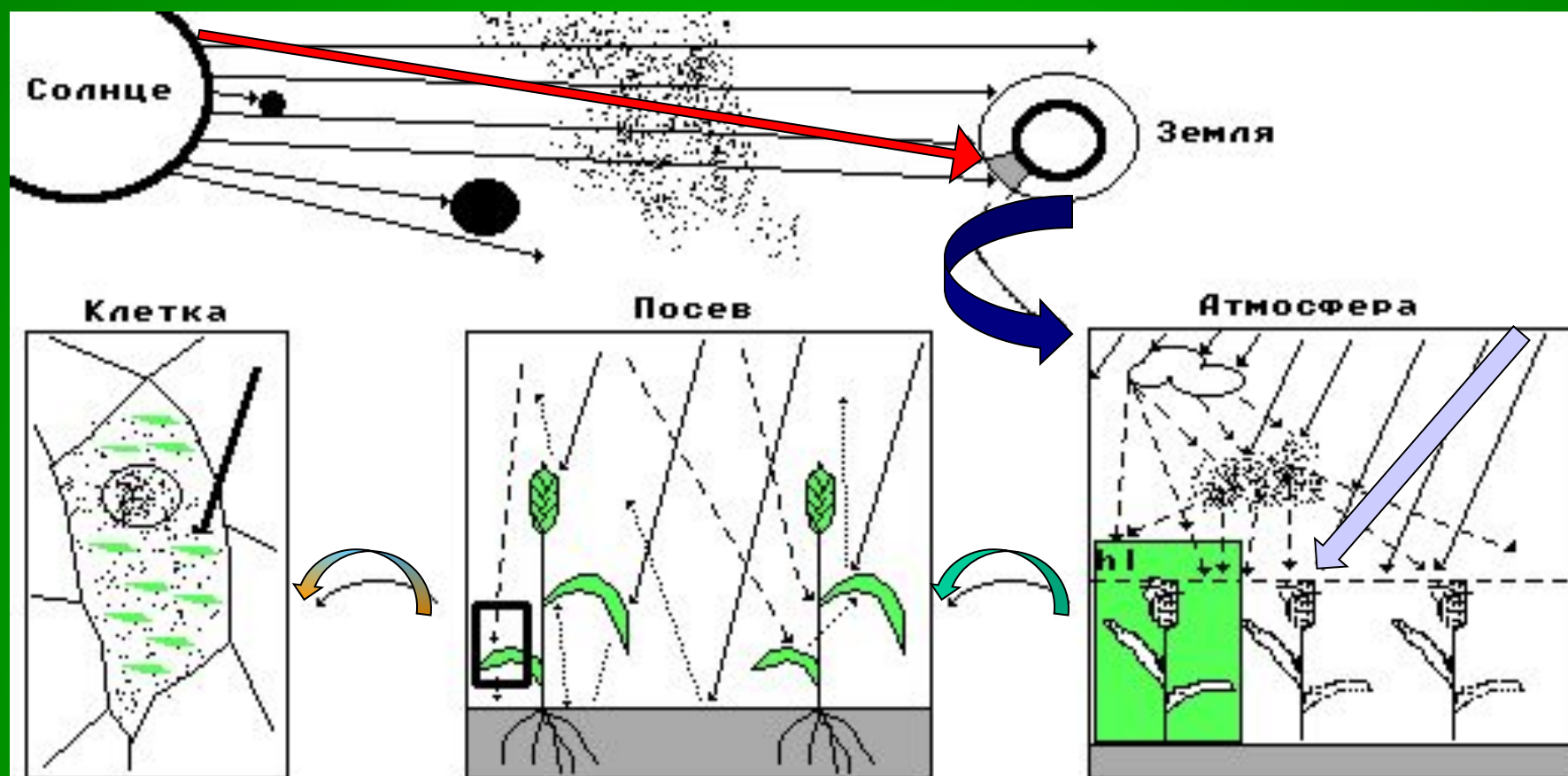
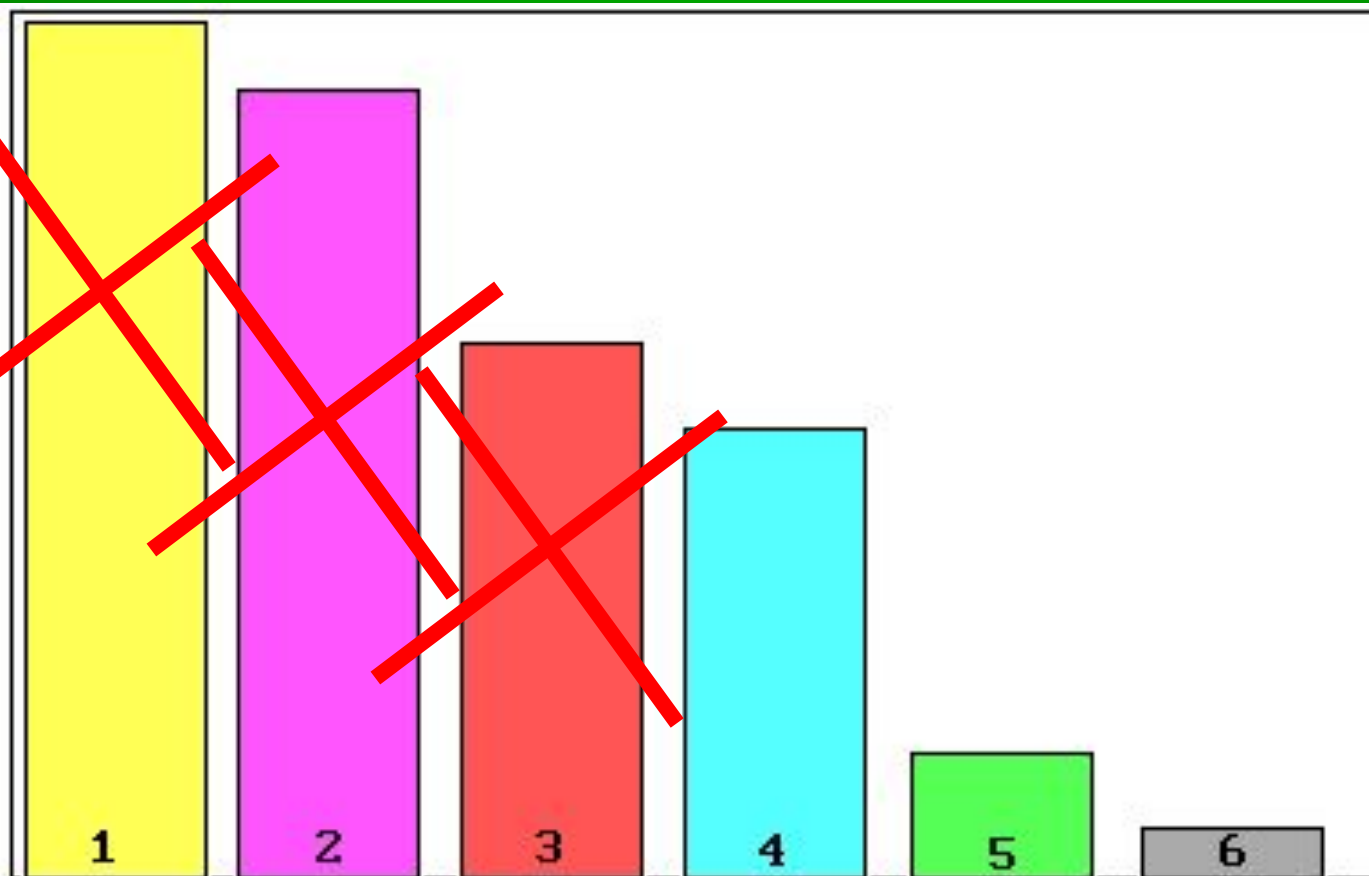


Рис.2. Схема распределения солнечной радиации (Ориг.).
 Радиация: —————→ — прямая; - - - - - → — рассеянная;
→ — отраженная.

Итак, на продуктивную функцию растением используется теоретически всего 8...10% поступающей солнечной энергии (К.А.Тимирязев), а практически при обычной агротехнике посевы используют только 0,5...3,0% той *части радиации, которая идет на фотосинтез*, то есть **фотосинтетически активной радиации (ФАР)**. Если всю ФАР принять за единицу, то *доля* от нее, *используемая растением для формирования биомассы*, представляет величину **коэффициента полезного действия ФАР (КПДфар)**.



Соотношение поступающей солнечной радиации (Ориг.).
Радиация: 1 – Солнца; 2 – на верхней границе атмосферы;
3 – на верхней границе посева; 4 – внутри посева; 5 –
поглощенная листьями; 6 – закрепленная биомассой.

ВОЗМОЖНОСТИ РЕГУЛИРОВАНИЯ КПД ФАР

- Во-первых, если часть радиации проходит мимо растений и попадает на почву, желательно уменьшить эти потери **ПОДБОРОМ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА РАСТЕНИЙ НА ЕДИНИЦЕ ПЛОЩАДИ** (которая, в свою очередь, регулируется **НОРМОЙ ВЫСЕВА**).
- Во-вторых, если растение потребляет ФАР от всходов (или начала отрастания) до физиологического отмирания, то чем дольше оно остается зеленым, тем больше накопит биомассы. Следовательно, надо **ЗАЩИЩАТЬ РАСТЕНИЕ ОТ ФИТОФАГОВ** (разумеется не до полного уничтожения последних).
- В-третьих, чем больше площадь листьев и более оптимально их расположение, тем большее количество солнечных лучей будет поглощено листом. Этот вопрос решается селекцией при создании **СОРТОВ С ПОВЫШЕННОЙ ПЛОЩАДЬЮ ЛИСТЬЕВ И ОПТИМАЛЬНОЙ АРХИТЕКТОНИКОЙ**, а также агротехническими мероприятиями, направленными на **ОПТИМИЗАЦИЮ ВОДНО-ВОЗДУШНОГО И ТЕПЛОВОГО РЕЖИМОВ И РЕЖИМА ПИТАНИЯ**

АРХИТЕКТОНИКА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА

Основной показатель, определяющий КПДфар
- это архитектоника
растительного покрова,
то есть *расположение фотосинтезирующих
органов по высоте посева и их ориентация в
пространстве.*

**Ориентацию листьев в пространстве можно
определить двумя углами:**

**наклоном листовой пластины по отношению к
направлению "вверх" (OI)**

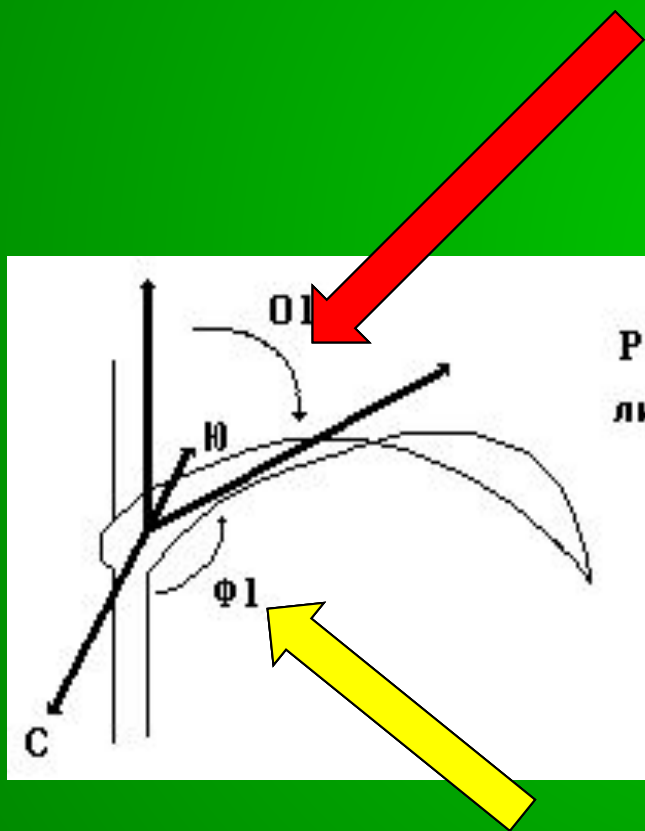


Рис.4. Углы для характеристики ориентации
листьев в пространстве (по Р.А.Полуэктову)

**и азимутом расположения
пластинки (ΦI)**

растение обычно имеет листья разной ориентации, можно говорить лишь о преимущественном их расположении, которое характеризуется **функцией распределения** ($q(OI, \Phi I)$), показывающей долю листьев, имеющих тот или иной угол наклона. Эта функция зависит от таксономического вида, биологического возраста и высоты расположения листьев на растении.

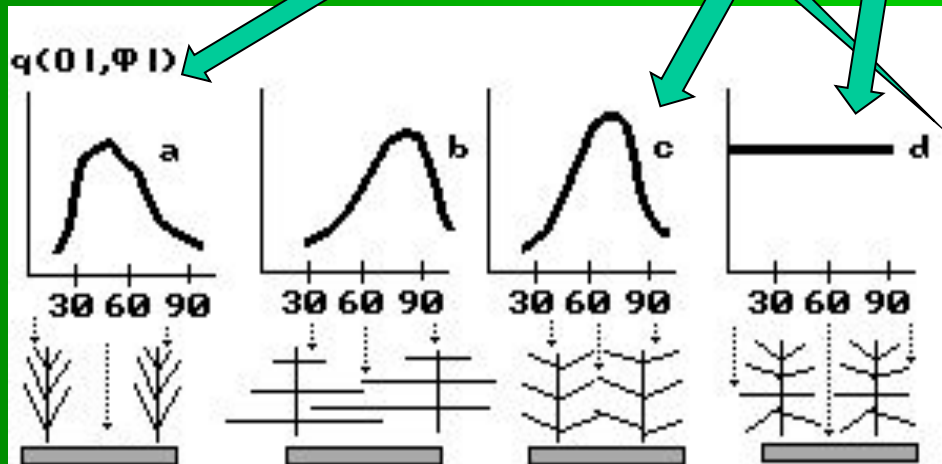
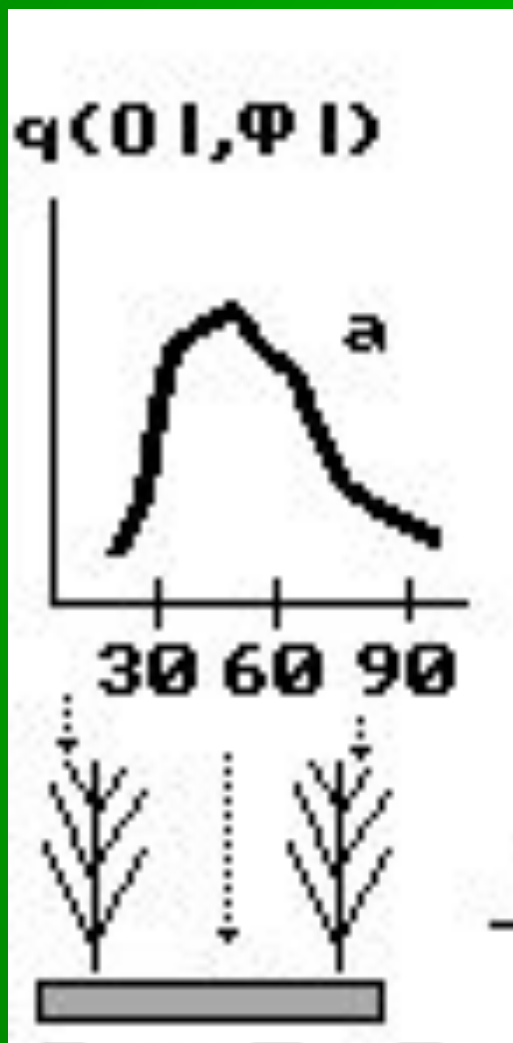


Рис.5. Распределение листьев на растении (Ориг.).

а – преимущественно вертикальное; б – преимущественно горизонтальное; в – промежуточное; д – сферическое; → – поток солнечной радиации.

ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ВЕРТИКАЛЬНОЕ расположение листьев

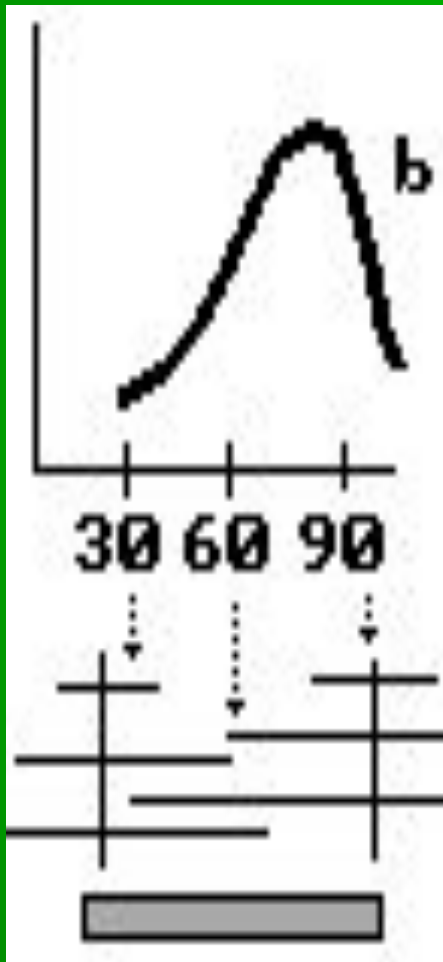


+ лучи освещают все ярусы
листьев

— значительная часть лучей
попадает на почву

ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ГОРИЗОНТАЛЬНОЕ

расположение листьев



+ листья верхнего яруса
находятся в условиях хорошего
освещения

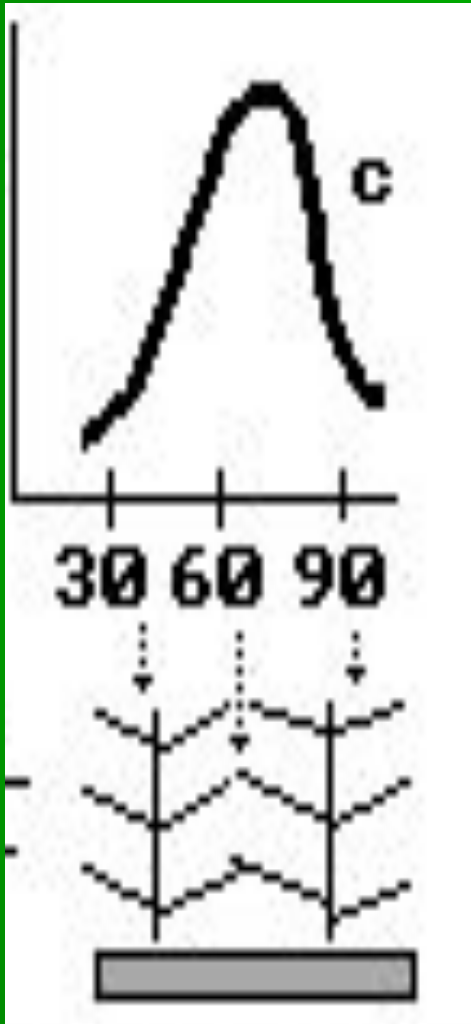
- листья верхних ярусов
затеняют нижние

- нижние листья отмирают

- общая площадь листового
аппарата уменьшается

ПРЕИМУЩЕСТВЕННО ПРОМЕЖУТОЧНОЕ

расположение листьев

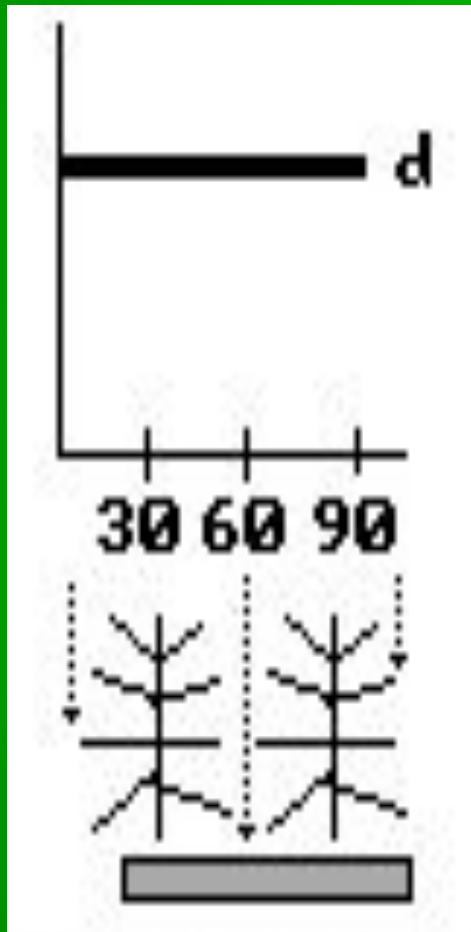


+ листья верхнего яруса
находятся в условиях хорошего
освещения

- листья верхних ярусов частично
затеняют нижние

СФЕРИЧЕСКОЕ

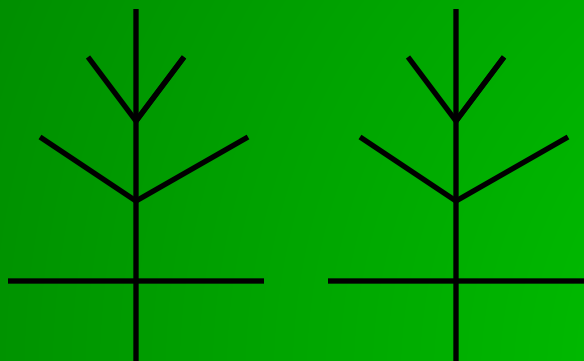
расположение листьев



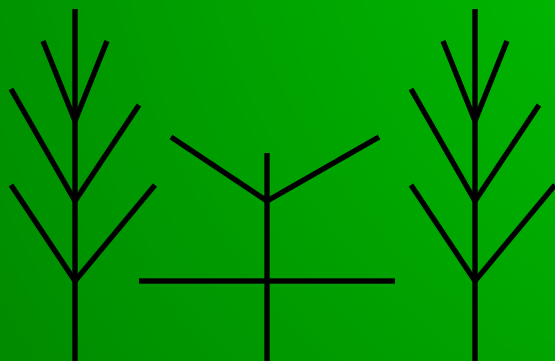
+ листья находятся в условиях
хорошего освещения

— характерно для деревьев и
кустарников

ОПТИМАЛЬНАЯ АРХИТЕКТОНИКА ПОСЕВА



- **Моновидовой посев с оптимальным расположением листьев по ярусам**



- **Поливидовой посев с оптимальным в целом расположением листьев по ярусам**

МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРВОГО УРОВНЯ ПРОДУКТИВНОСТИ

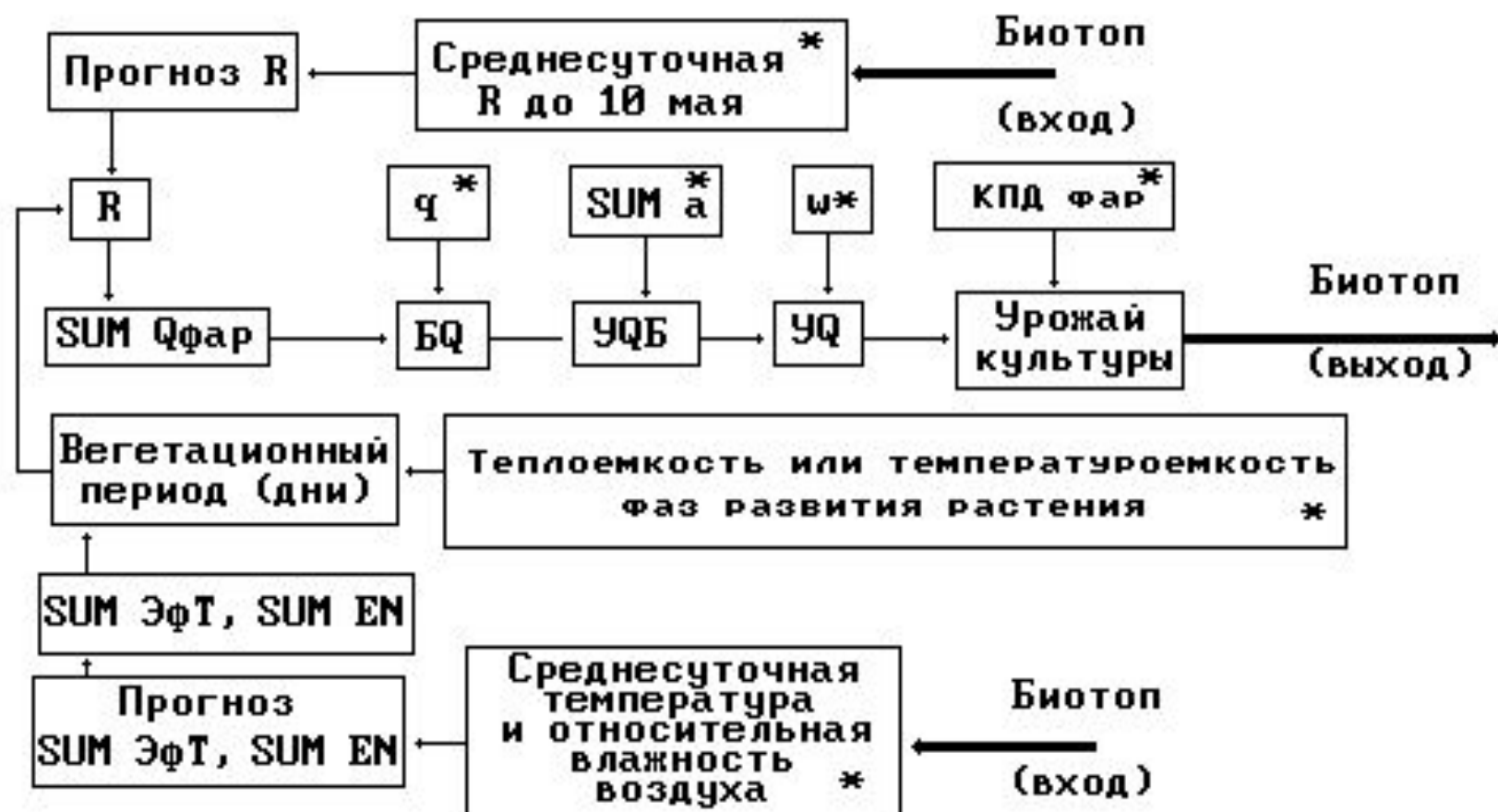
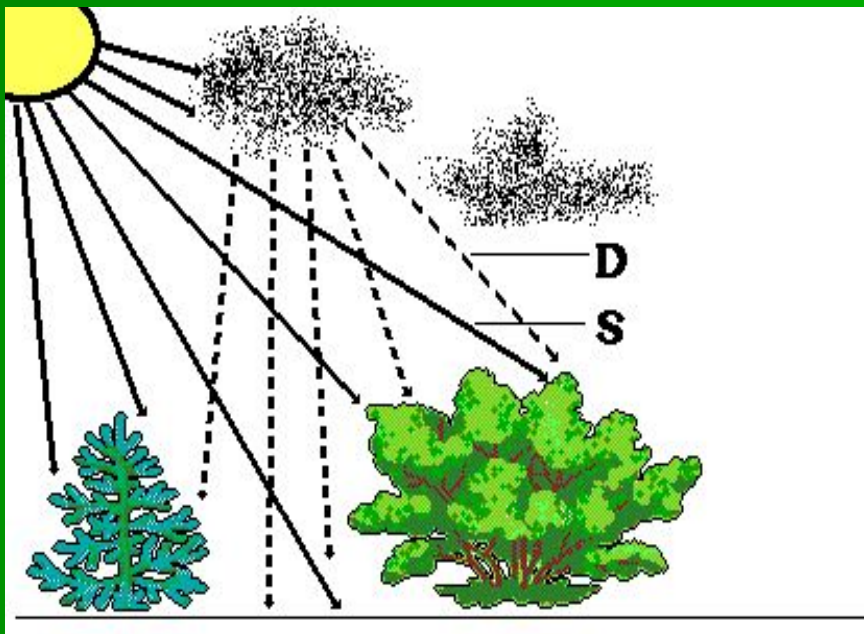


Рис.6. Структурная схема модели первого уровня продуктивности (Ориг.). * – предикторы модели.

Прогноз среднесуточной интегральной радиации



- **Прямая солнечная радиация** - это часть лучистой энергии солнца, поступающая к земле в виде почти параллельных лучей. Обозначается она S и имеет размерность $\text{кДж}/\text{см}^2 \cdot \text{мин}$.
- **Рассеянная солнечная радиация** - часть солнечной радиации, падающая на горизонтальную поверхность после рассеивания атмосферой и отражения от облаков. Обозначается она D и имеет размерность $\text{кДж}/\text{см}^2 \cdot \text{мин}$.

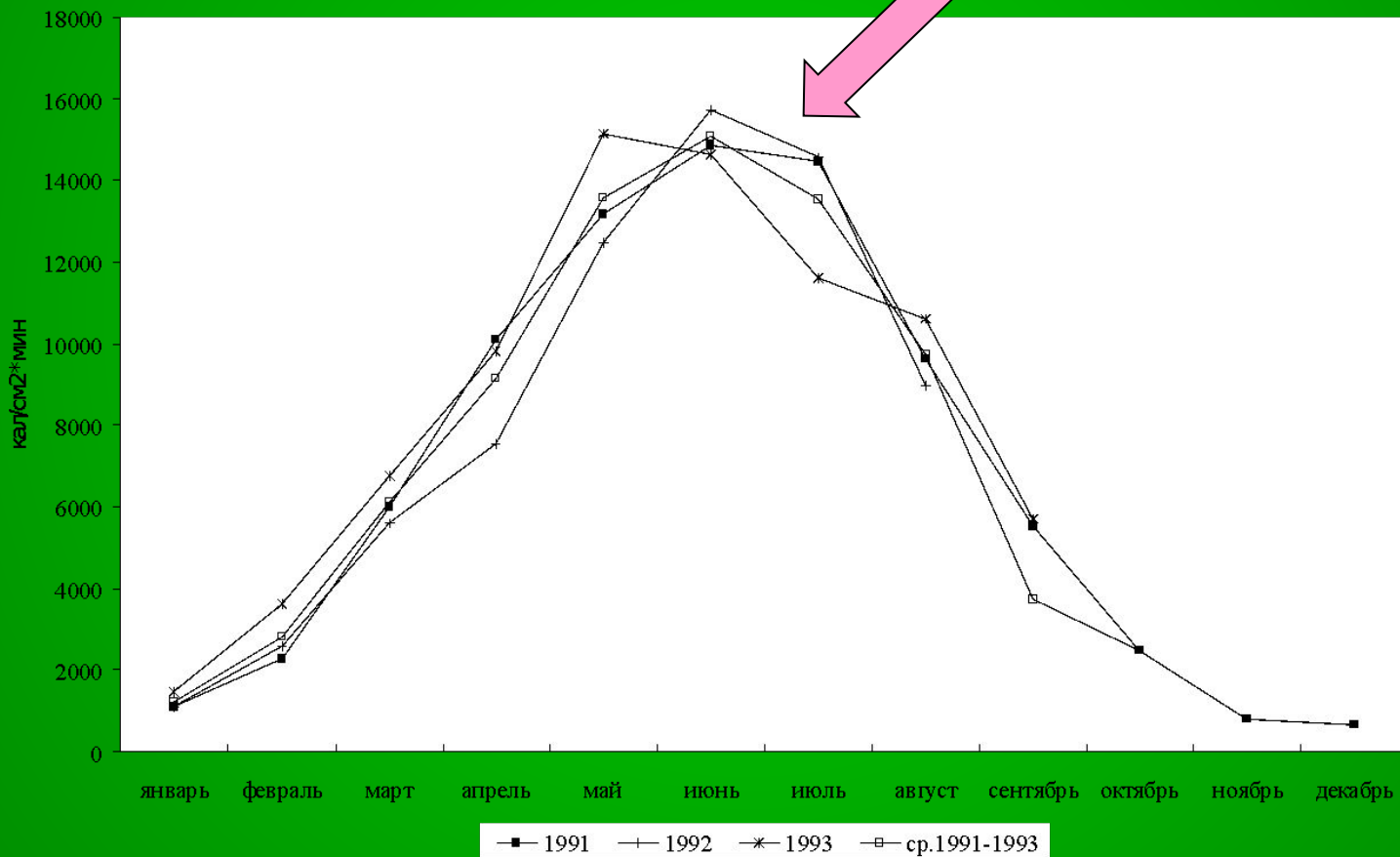
• Отсюда **интегральная (суммарная) коротковолновая радиация**, поступающая на горизонтальную поверхность состоит из *поток* **прямой (S) и рассеянной (D) солнечной радиации**:

$$R = S \cdot \sin h_o + D,$$

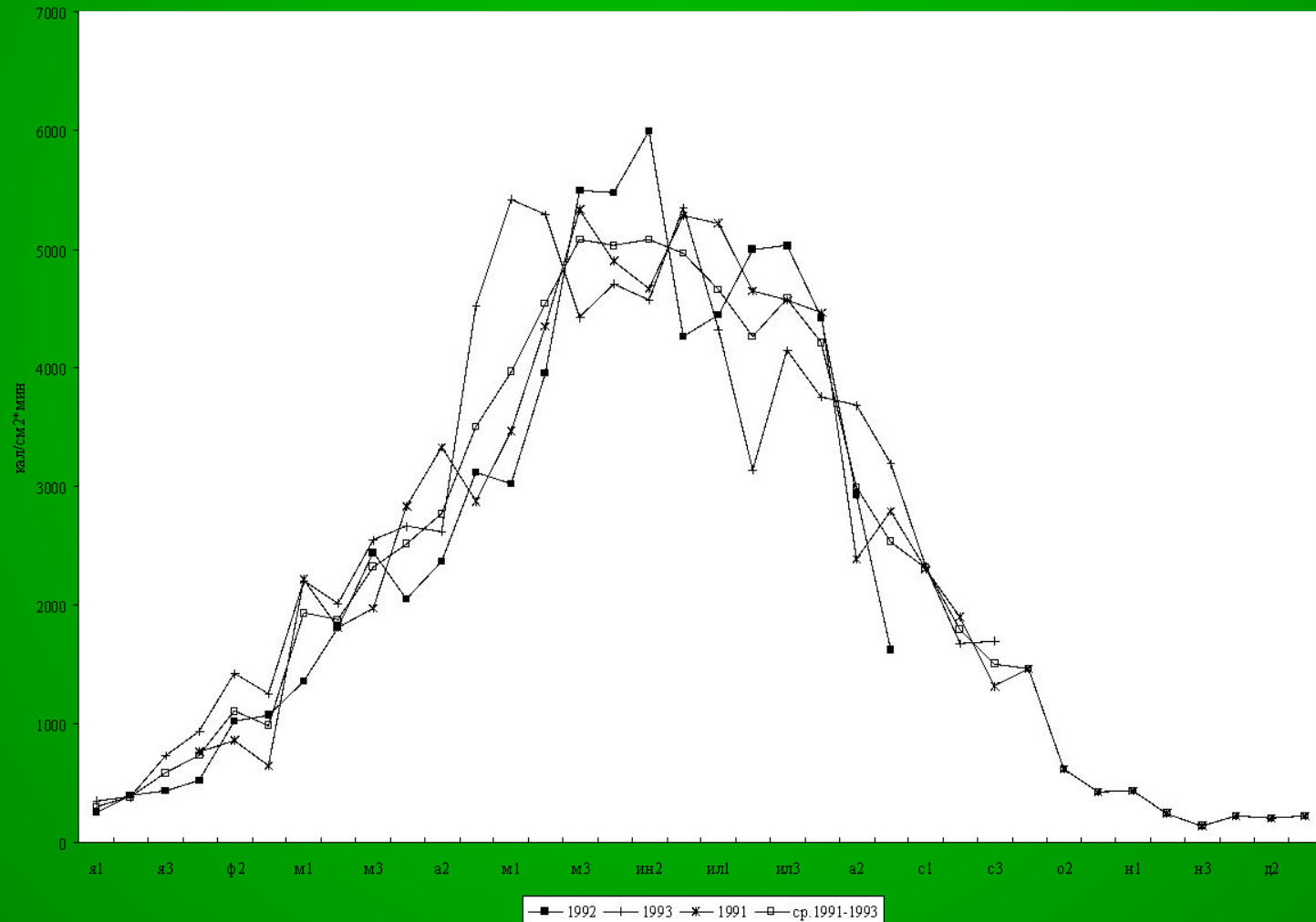
где h_o - угловая высота Солнца над горизонтом, измеряемая в радианах. 19

Исследованиями, проведенными на кафедре растениеводства Костромской ГСХА установлена возможность расчета прогноза поступления интегральной радиации с точностью $99,4 \pm 0,2\%$, что позволяет значительно снизить ошибку расчета поступления ФАР в период вегетации по сравнению с традиционно используемыми среднемноголетними значениями.

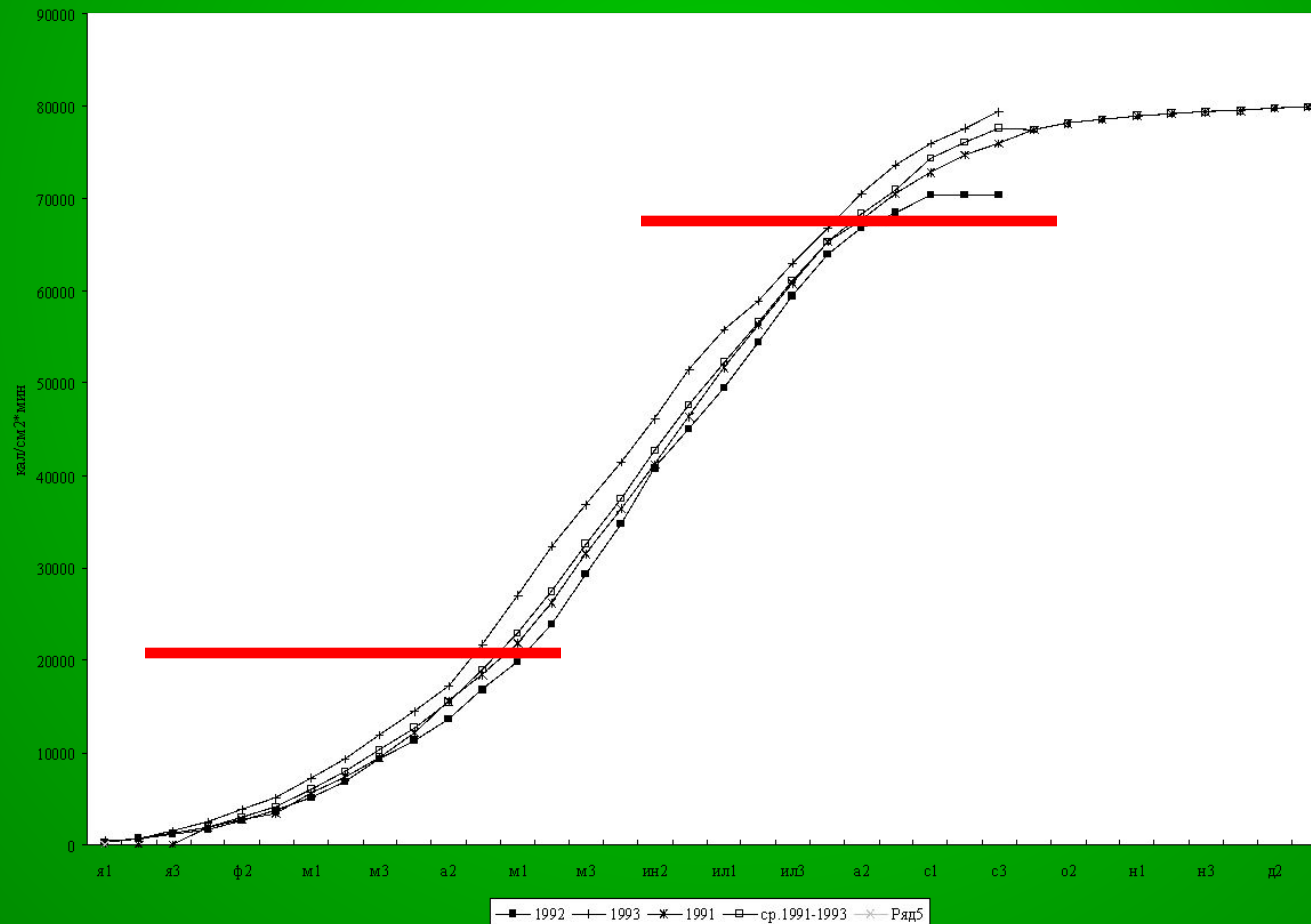
Несовпадение линий за разные годы говорит о ежегодном варьировании количества поступающей радиации, а пересечение линий - о невозможности непосредственно использовать параболическую функцию для прогнозирования.



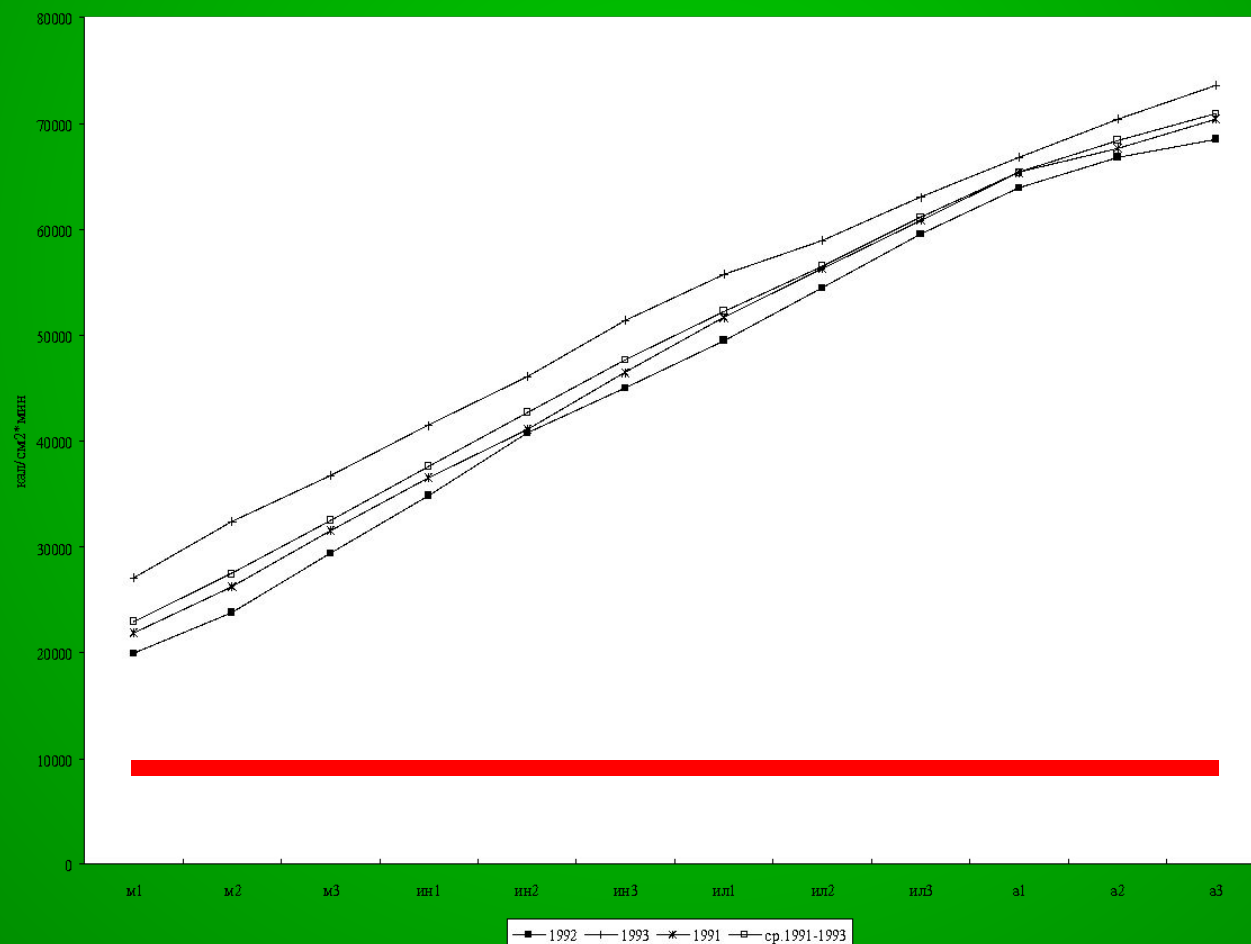
При более мелком дроблении шкалы времени процесс становится еще сложнее, так как колебания динамики по декадам выражены гораздо сильнее.



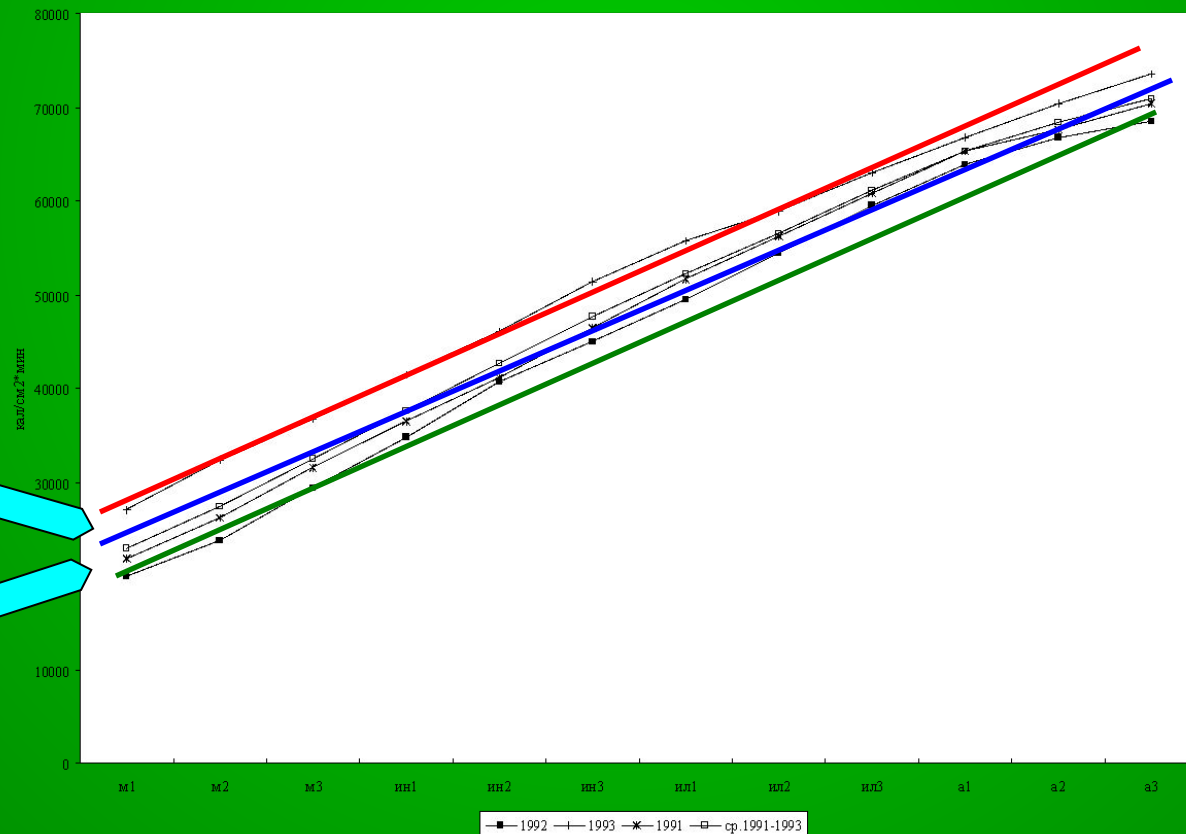
Если суммировать R с нарастающим итогом, получаются S-образные линии, расходящиеся, в зависимости от условий года, от 10 января до 10 мая, параллельные от 10 мая до 31 августа и несколько расходящиеся к декабрю.



**Параллельность линий, каждая из которых
представлена прямой, обеспечивает возможность
прогнозирования R для довольно значительного
интервала вегетационного периода, а именно: от 10
мая до 31 августа**



если сумма R на 10 мая выше (ниже) средней многолетней, то и до конца августа линия динамики остается выше (ниже). Это отклонение учитывается моделью прогноза.



Средняя многолетняя динамика поступления суммы R является прямой линией и рассчитывается по уравнению:

$$R = aX + b$$

для разработки прогностической модели необходимо ввести поправочный коэффициент, позволяющий осуществить параллельный перенос линии выше или ниже средних многолетних значений. Этот коэффициент (R') представляет собою разность между фактическим уровнем (R_f) и среднемноголетним (R_{cm}):

$$R' = R_f - R_{cm}$$

Объединив уравнения, получим:

$$R = aX + b + R'$$

где $R'=0$, если $R_f = R_{cm}$;

$R'>0$, если $R_f > R_{cm}$;

$R'<0$, если $R_f < R_{cm}$.

По прогнозу поступления интегральной радиации за период фотосинтетической деятельности растения можно рассчитать полученную ими величину ФАР, которая составляет примерно 52% интегральной.

$$\Sigma Q_{\text{фар}} = 0,52 \cdot R,$$

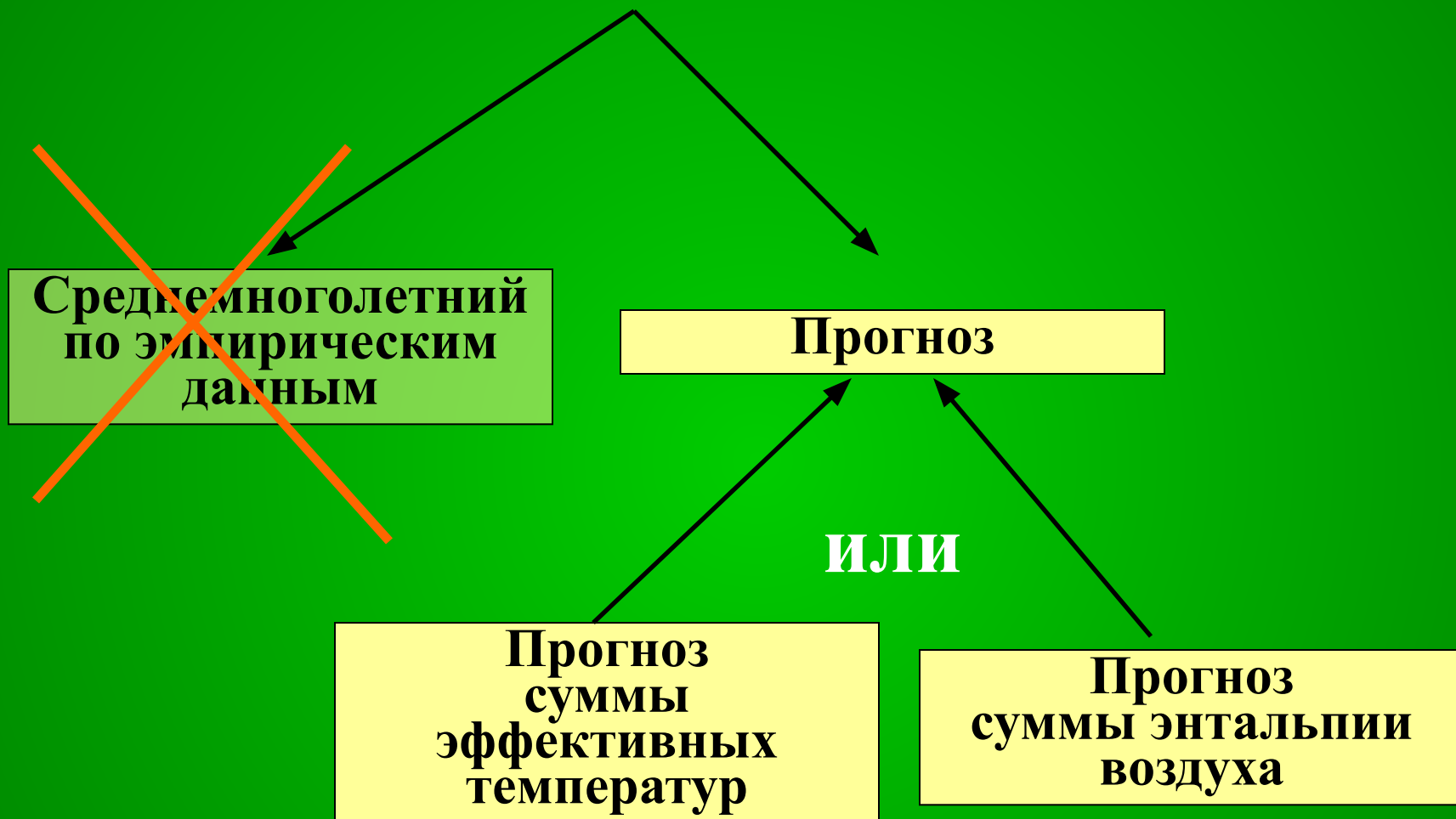
остальные 48% – это длинноволновая радиация, обеспечивающая тепловой режим экосистемы.

Итак, по одному входу модели получена
интегральная радиация
Необходимо рассчитать
продолжительность вегетационного периода



Рис.6. Структурная схема модели первого уровня продуктивности (Ориг.). * – предикторы модели.

Расчет вегетационного периода



Прогноз суммы эффективных температур

*пороговая температура, при которой прекращается рост и развитие называется **эффективной температурой**.*

$$T_{\text{эф}} = t_{\text{ср}} - 5.$$

$$\sum_{i=1}^n T_{\text{эф}} = \sum_{i=1}^n (t_{\text{ср}} - 5)_i$$

$$\sum T_{\text{эф}} = ax + b + T'$$

$$T' = \sum T_{\text{эф}}_{\text{ф}} - (ax + b)$$

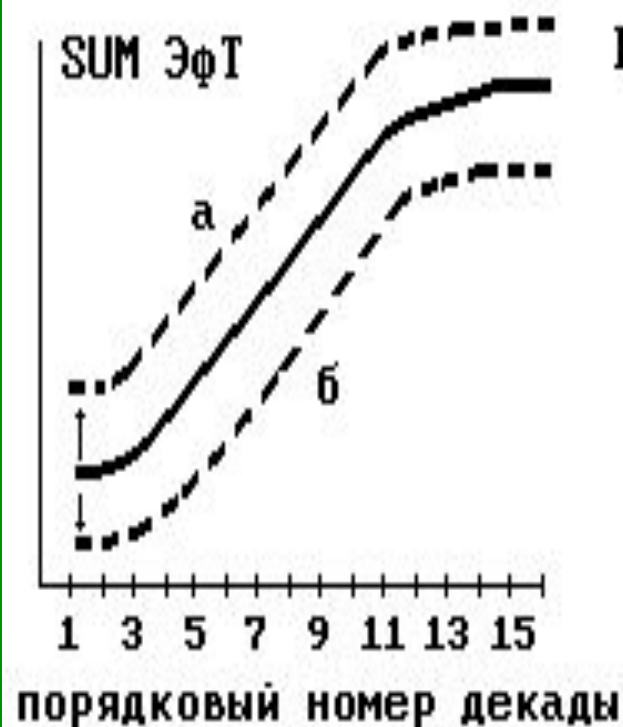


Рис.13. Отклонения от средней многолетней суммы эффективных температур в теплый (а) и холодный (б) годы (Ориг.)

- Таким образом, значение суммы эффективных температур на начало прогноза определяется разностью между фактической и средней многолетней на 10 мая или на любую последующую декаду.

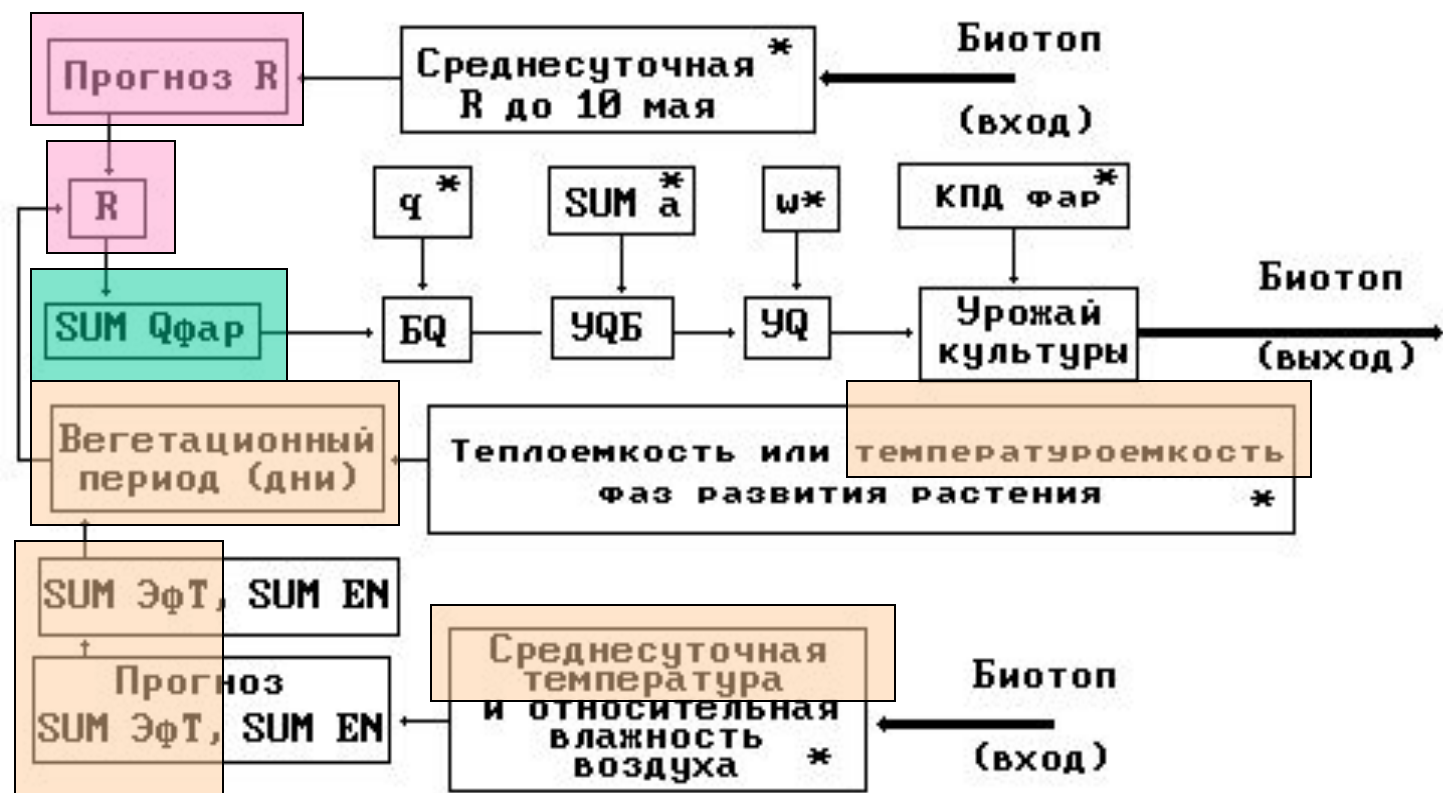


Рис.6. Структурная схема модели первого уровня продуктивности (Ориг.). * – предикторы модели.

Однако важна не температура воздуха сама по себе, а тепло, которое содержится в воздухе.

Какая же между ними разница?

Прогноз суммы энтальпии воздуха

при одной и той же температуре в воздухе будет содержаться, а, следовательно, и передаваться организмам, тем больше тепла, чем выше влажность воздуха.

Таким образом, объединяются уже два климатических параметра: **среднесуточная температура** и **относительная влажность воздуха** и получается критерий, называемый **энтальпией**:

$$C_p = \frac{0,24 \cdot t_{cp} + 0,001 \cdot (622 \cdot (0,01 \cdot f \cdot q))}{(P - 0,01 \cdot f \cdot q) \cdot (595 + 0,46 \cdot t_{cp})}$$

$$\sum_{i=1}^n C_{p_{\phi}} = \sum_{i=1}^n C_{p_i}$$

$$C_p = aX + b + C_{p'}$$

$$C_{p'} = \sum C_{p_{\phi}} - (aX + b)$$

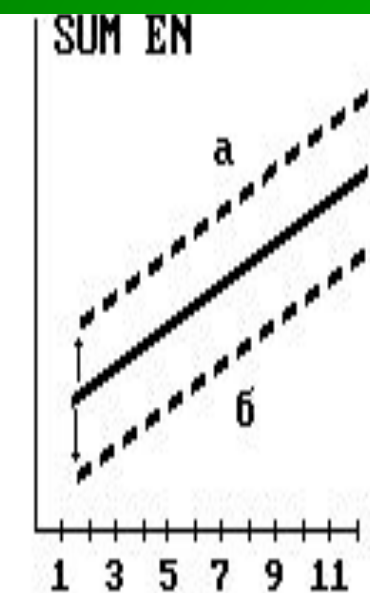


Рис.14. Отклонения от средней многолетней суммарной энтальпии воздуха в теплый (а) и холодный (б) годы (Ориг.)

порядковый номер декады
от 1 декады мая

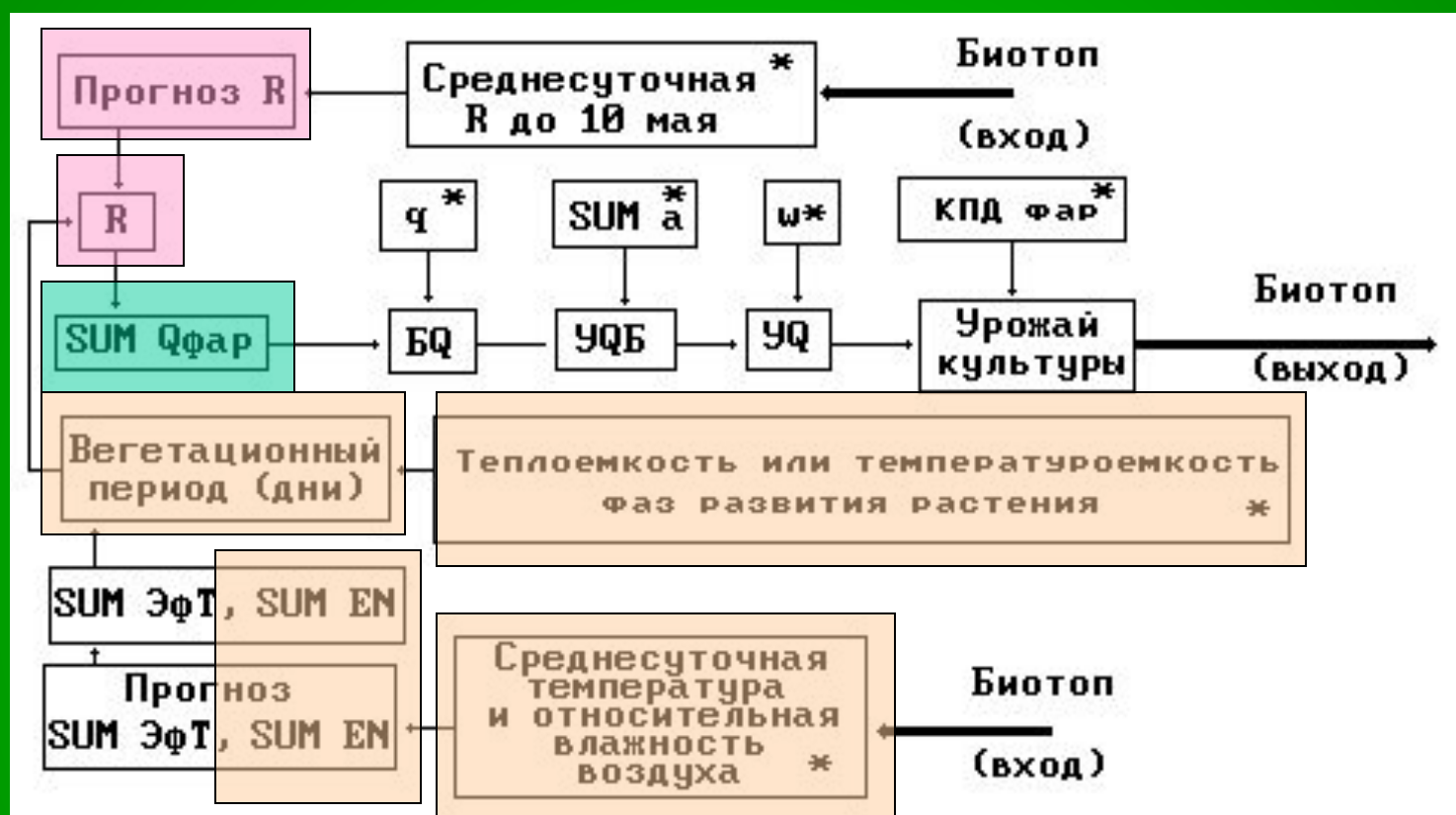
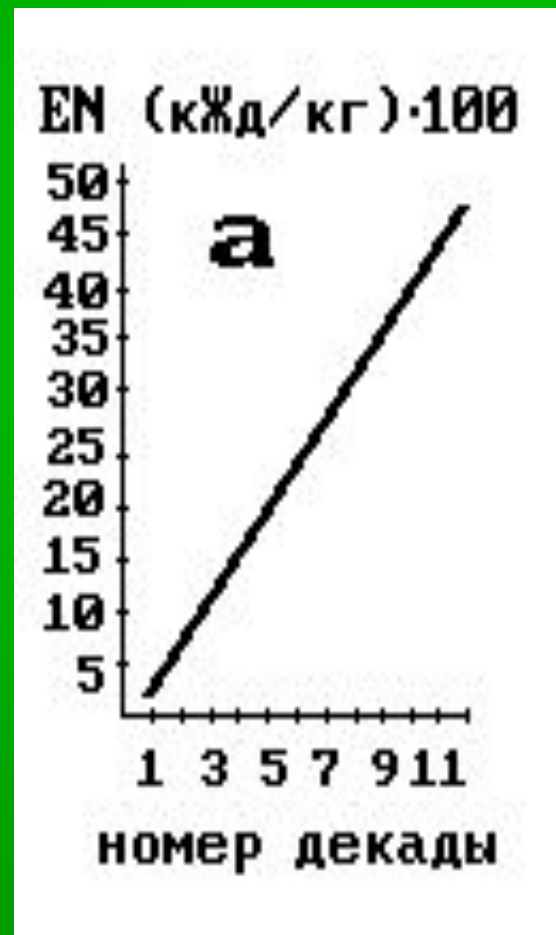


Рис.6. Структурная схема модели первого уровня продуктивности (Ориг.). * – предикторы модели.

Прогноз фаз развития растений

- Когда рассчитан прогноз тепла, поступающего к растению в весенне-летний период, можно вычислить продолжительность как вегетационного периода в целом, так и каждой фазы развития в складывающихся погодных условиях конкретного года. Для этого потребуется еще один параметр: **теплоемкость фазы**, то есть *количество тепла, необходимое растению для перехода в следующую фазу развития.*

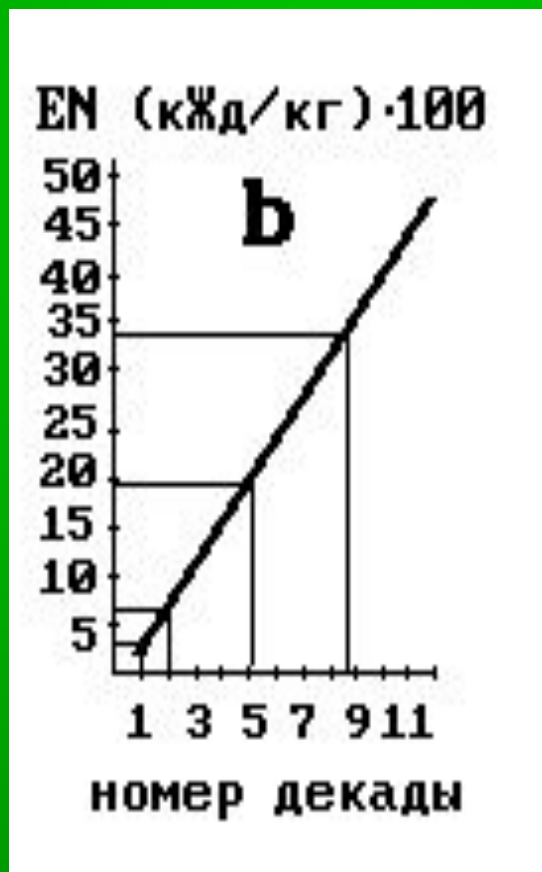
Для примера составим прогноз фаз развития ячменя
Зазерский 85. По прогнозу от даты посева (3 мая)
суммарная энтальпия распределилась так, как
показано на рисунке.



Энтальпия фаз развития ячменя составляет:

- Всходы **330,2** кДж/кг,
- Начало кущения **612,6** кДж/кг,
- Колошение **2090,4** кДж/кг,
- Восковая спелость **3317,2** кДж/кг,

Зная теплоемкость фаз развития, переведем энтальпию в календарные сроки



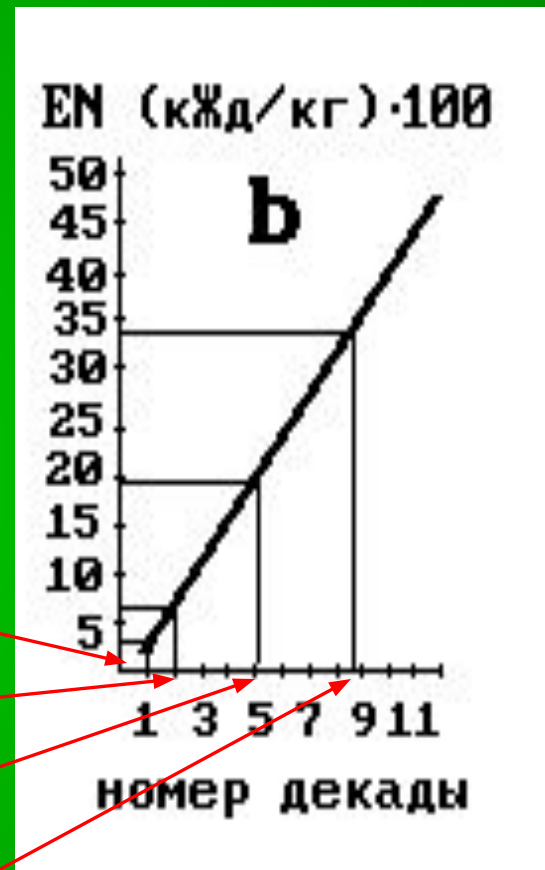
По графику находим календарные даты фаз развития:

Всходы 10 мая

Начало кущения 20 мая

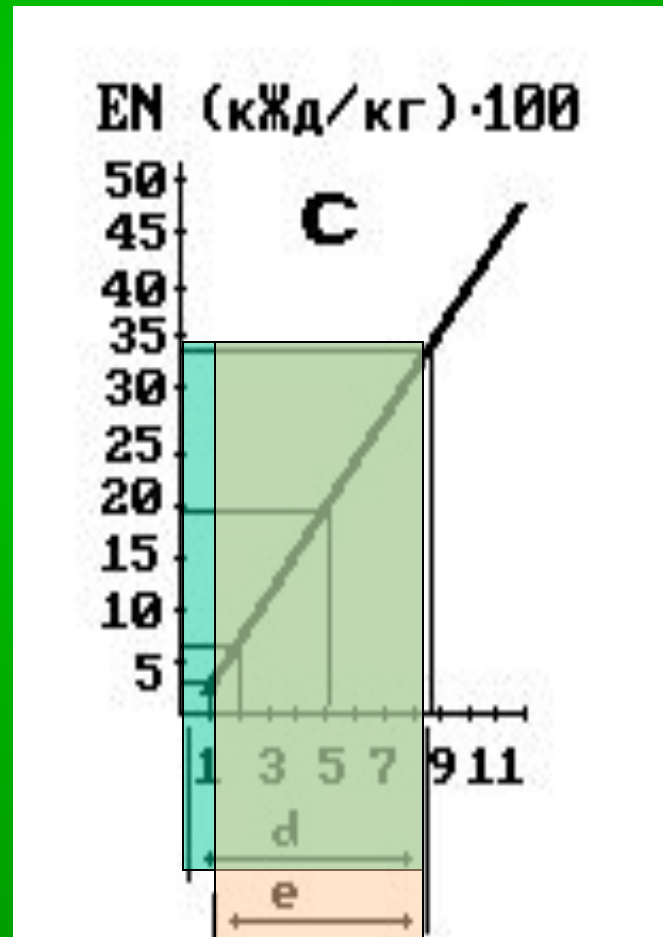
Колошение 21 июня

Восковая спелость 29 июля.



Теперь уже несложно установить **период**
вегетации (**3 мая...29 июля**)

и период фотосинтетической деятельности (**10**
мая...29 июля)



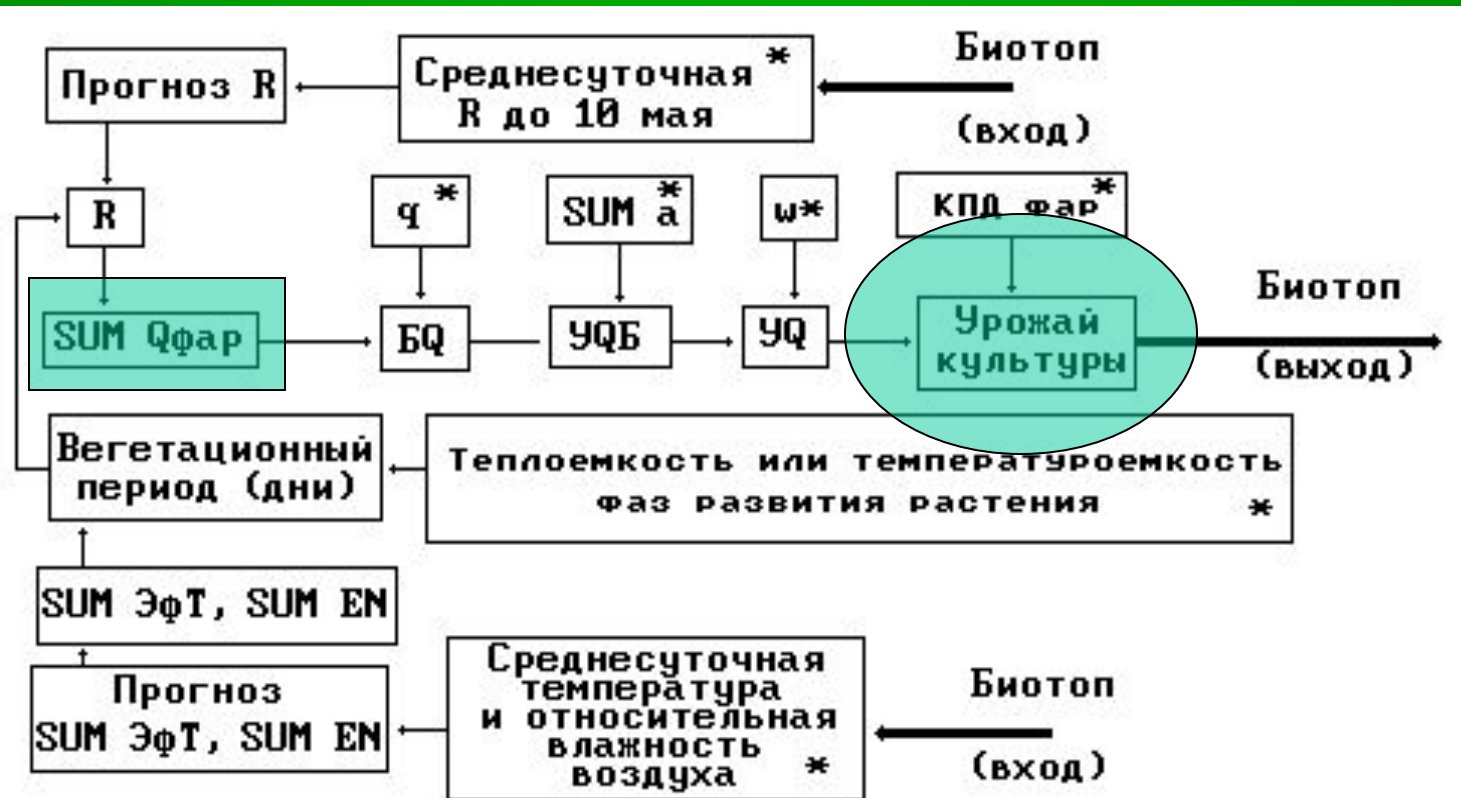
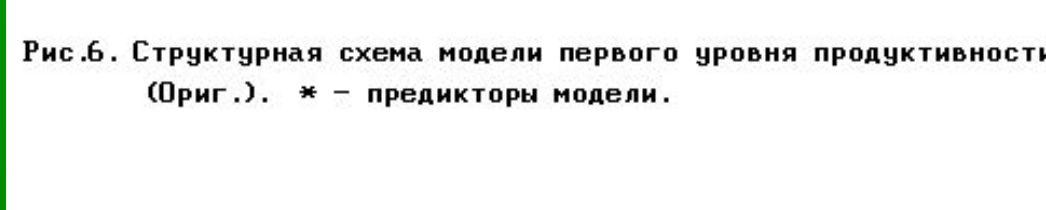


Рис.6. Структурная схема модели первого уровня продуктивности (Ориг.). * – предикторы модели.



Но количество биомассы - это еще не совсем урожай, поскольку обычно используется только часть ее (корнеплоды, семена, зеленая масса и др.). Следовательно, надо ввести **соотношение основной и побочной продукции**.

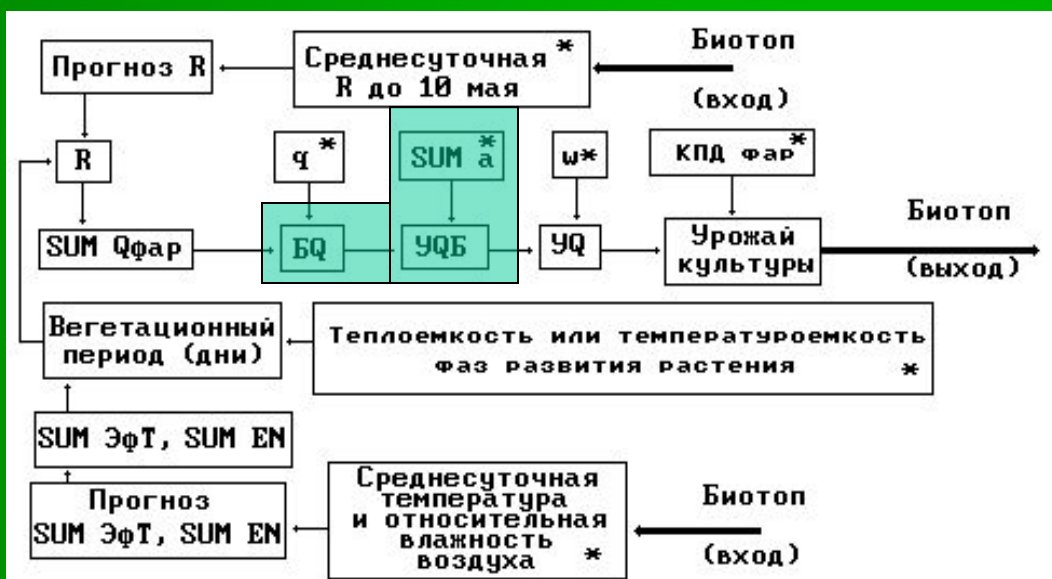


Рис.6. Структурная схема модели первого уровня продуктивности (Ориг.). * – предикторы модели.

$$УQB = \frac{BQ}{\Sigma a}$$

Теперь приведем полученный урожай к **стандартной влажности основной продукции**, которая зависит от вида продукции (зерно 14%, корнеплоды - 80% и т. д.):

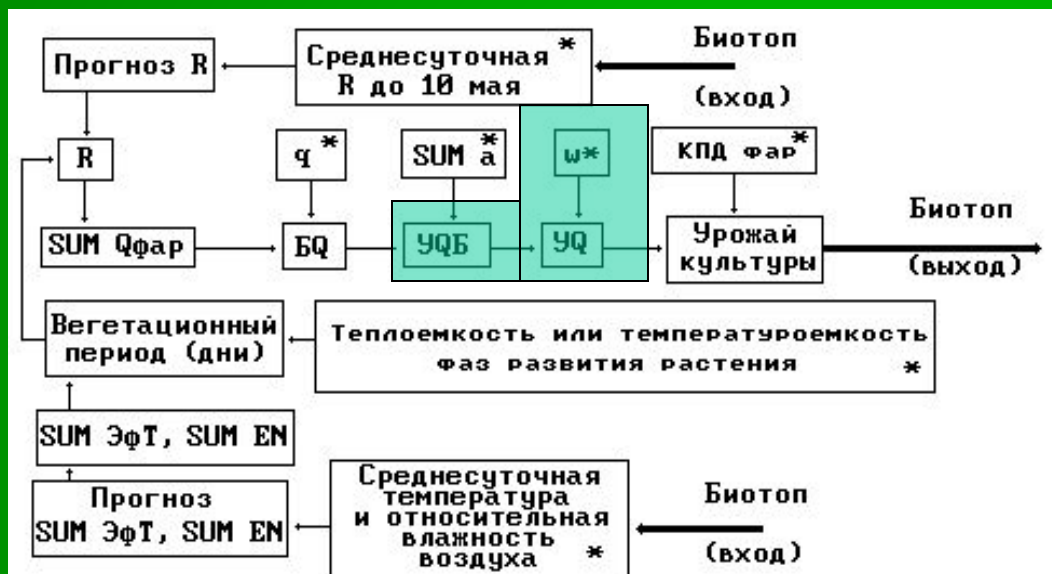
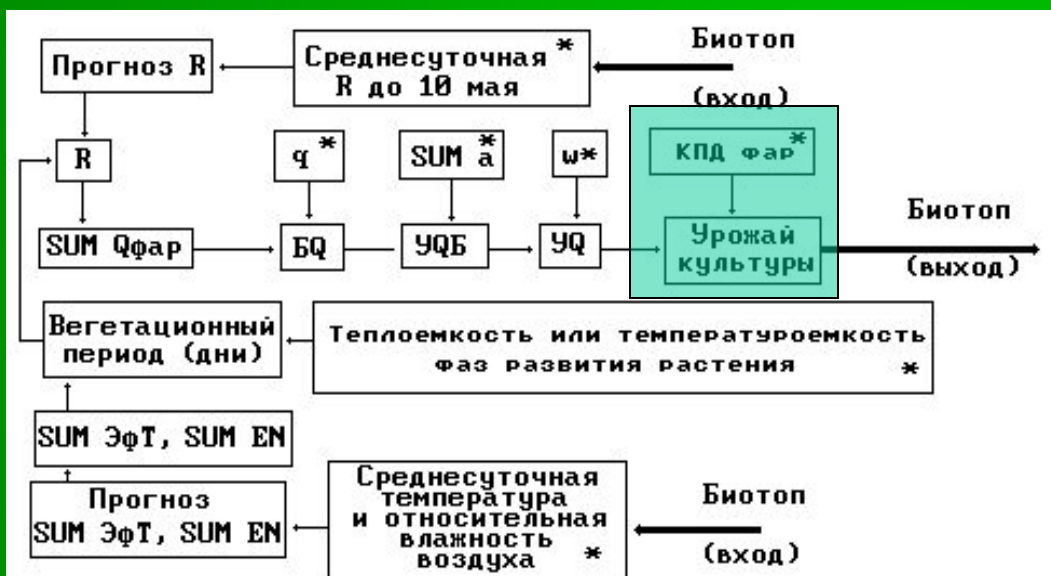


Рис.6. Структурная схема модели первого уровня продуктивности (Ориг.). * – предикторы модели.

$$UQ = \frac{UQB \cdot 100}{100 - w}$$

В результате прогнозируется урожайность культуры при 100% использовании солнечной радиации. Но в природе этого не происходит, так как энергия ФАР расходуется не только на образование пластических веществ: часть идет на синтез АТФ, транспортировку воды, ионов и ассимилянтов, часть расходуется на дыхание. В связи с этим считается идеальным, если на производство биомассы используется 8...10% поступающей ФАР, в том числе 5...7% на формирование надземной массы. При обычной же агротехнике посевы используют только 0,5...3,0% ФАР.

С учетом **КПДфар** производственная функция урожайности (по С.А. Образцову, 1992), или **величина первого уровня продуктивности** (по Р.А. Полуэктову, 1991), принимает вид:



$$Y = YQ \cdot \text{КПДфар}$$

Рис.6. Структурная схема модели первого уровня продуктивности (Ориг.). * – предикторы модели.

Этот уровень урожайности имеет **самостоятельный выход**, но может служить **входом** на другие модули производственной функции.

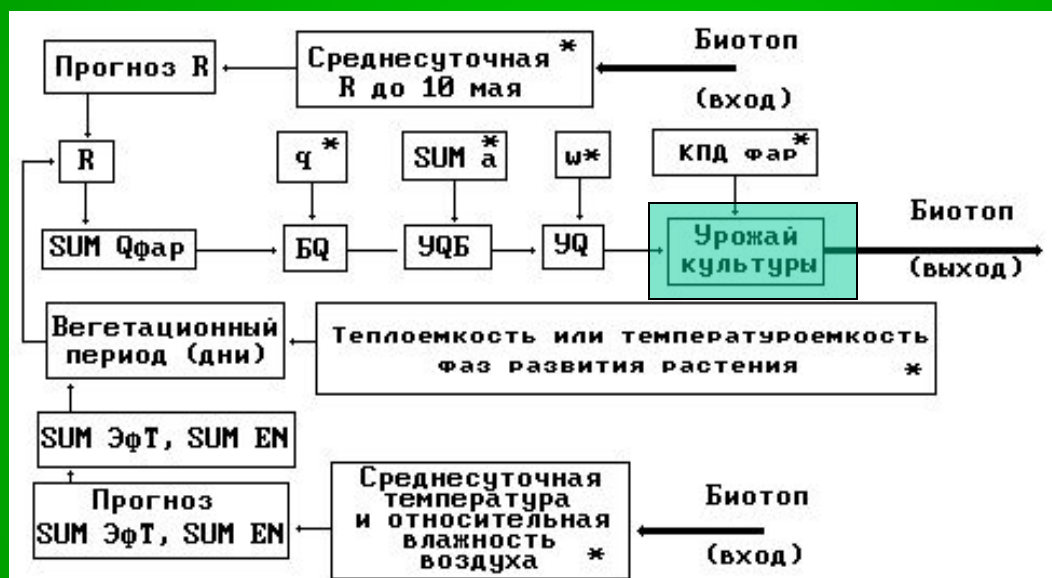


Рис.6. Структурная схема модели первого уровня продуктивности (Ориг.). * – предикторы модели.

Благодарю за внимание!