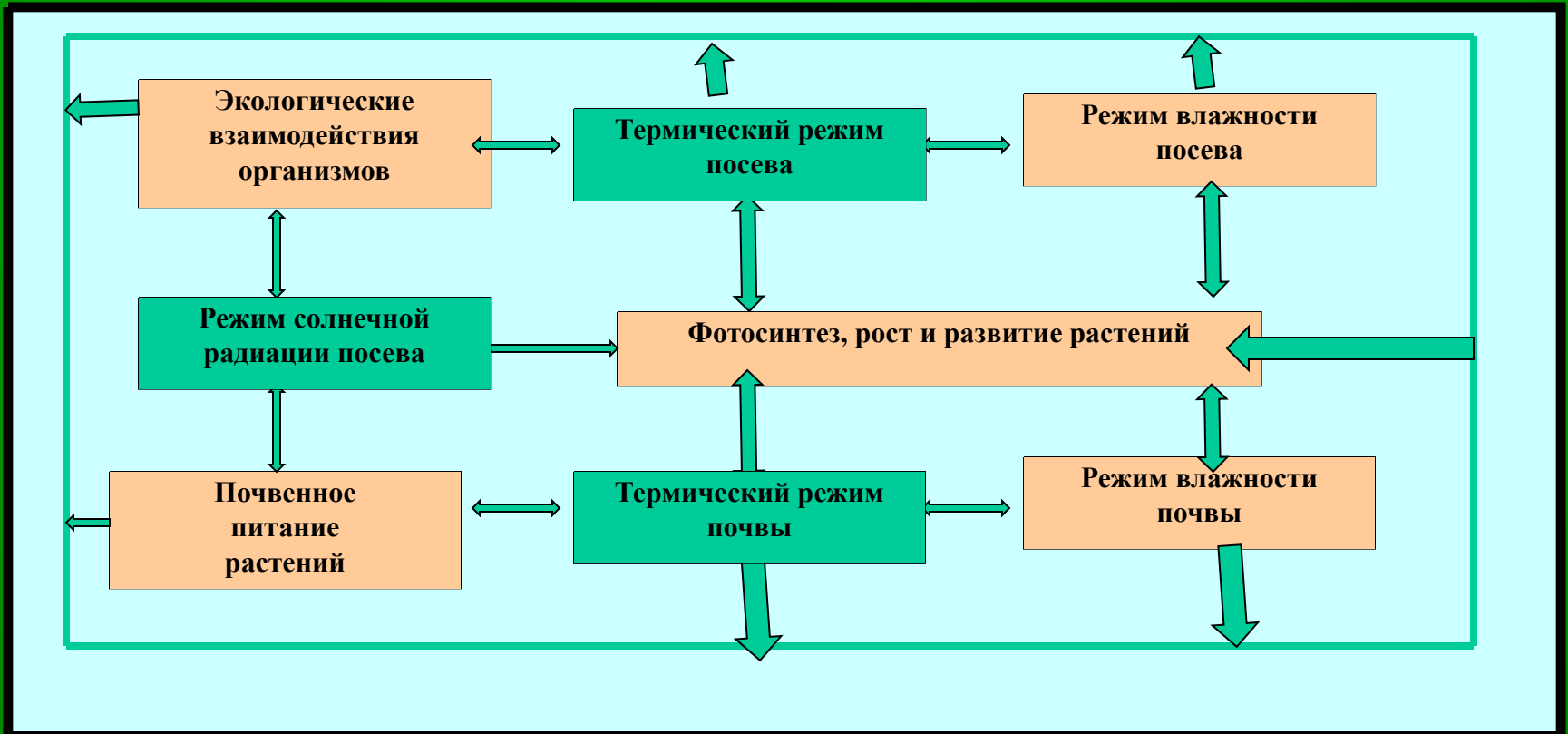


## Лекция 4

# ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ЭКОСИСТЕМЫ



## *Лекция 4*

# ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ЭКОСИСТЕМЫ

- **ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ И ВОЗДУХА ДЛЯ ЭКОСИСТЕМЫ**
- **ПОСТУПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА В ЭКОСИСТЕМЕ**
- **ТЕПЛОПЕРЕНОС В ПОЧВЕ**
- **ТЕПЛОПЕРЕНОС В ПОСЕВЕ**
- **МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР**

# **ЗНАЧЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ И ВОЗДУХА ДЛЯ ЭКОСИСТЕМЫ**

**Температура воздуха  
играет решающую роль  
в процессах, происходящих в экосистеме**

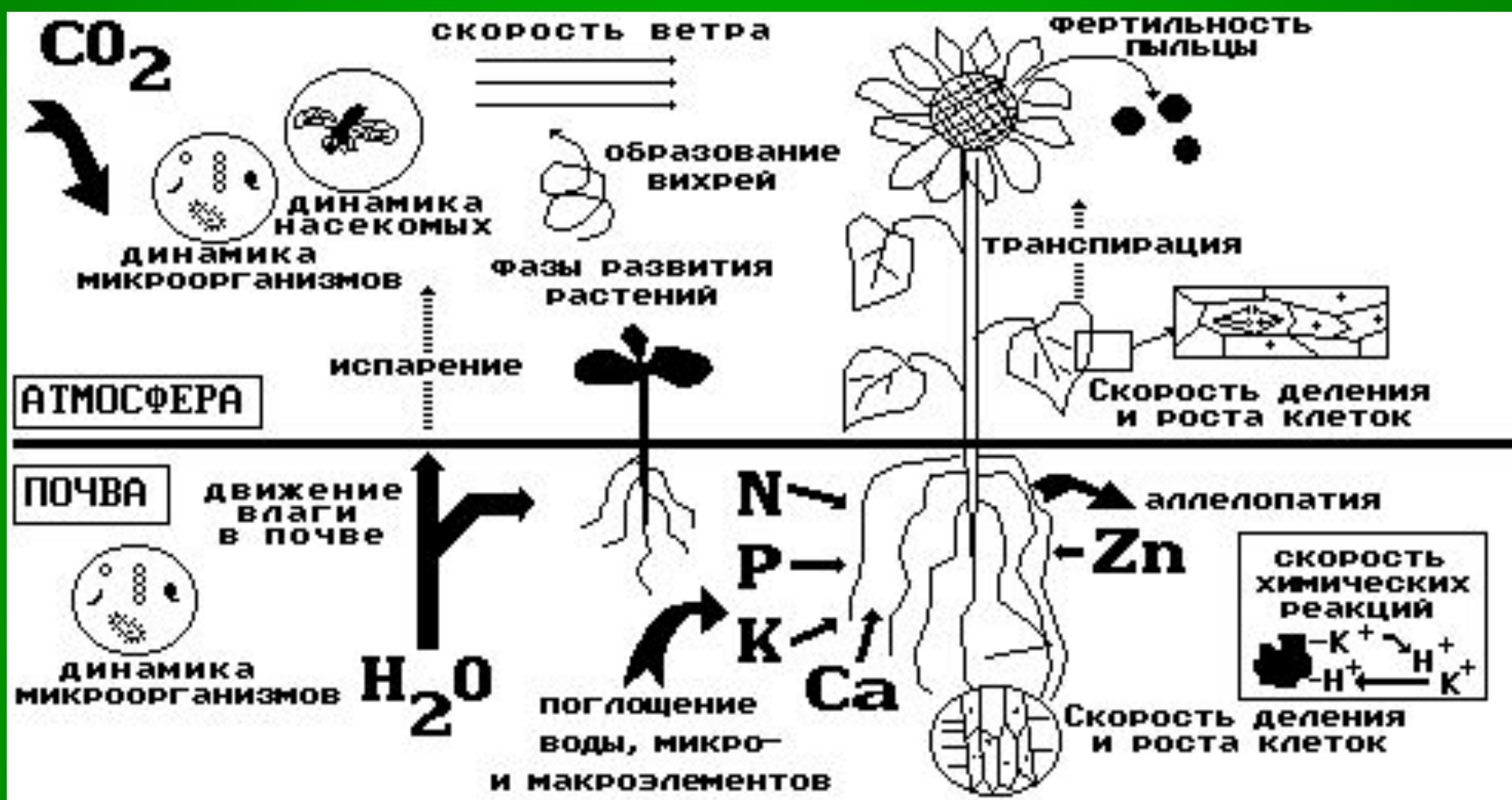


Рис.2. Связь температуры с процессами, происходящими в экосистеме (Ориг.).

# ПОСТУПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛА В ЭКОСИСТЕМЕ

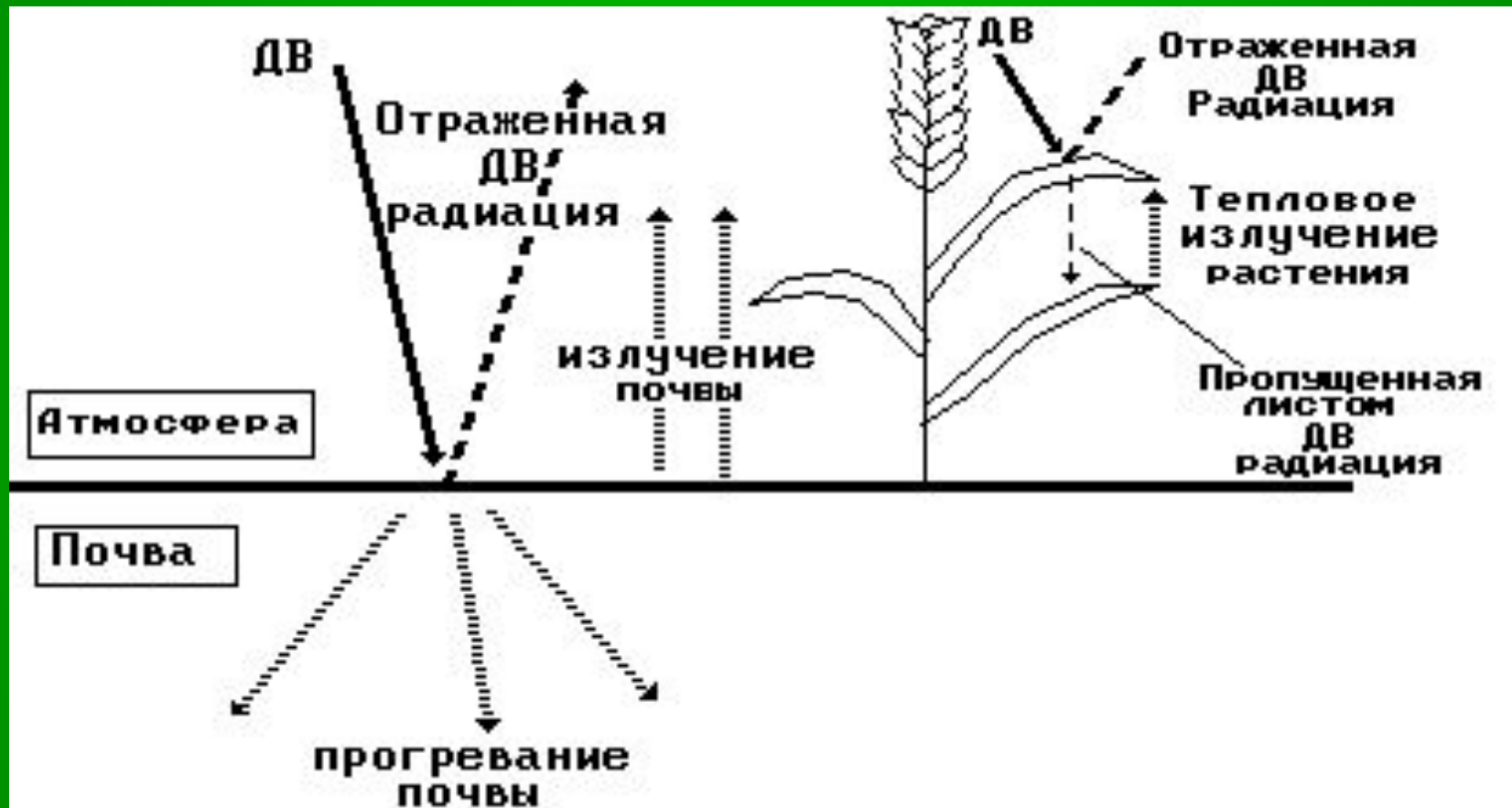


Рис.3. Поступление и распределение длинноволновой солнечной радиации (Ориг.).

Главным отличием агроэкосистемы от экосистемы является то, что *пока не появились всходы, она представляет собою почву с населяющими ее компонентами, лишенную растительного покрова.* В результате солнечные лучи беспрепятственно попадают на ее поверхность и нагревают верхние слои. Поэтому с термического режима почвы целесообразно начать рассмотрение теплопереноса в агроэкосистеме. В экосистемах, а так же в многолетних агроэкосистемах, динамика температуры почвы, наоборот, зависит от температурного режима надземной части, которая покрыта растениями и поэтому первая принимает и распределяет ДВ радиацию.

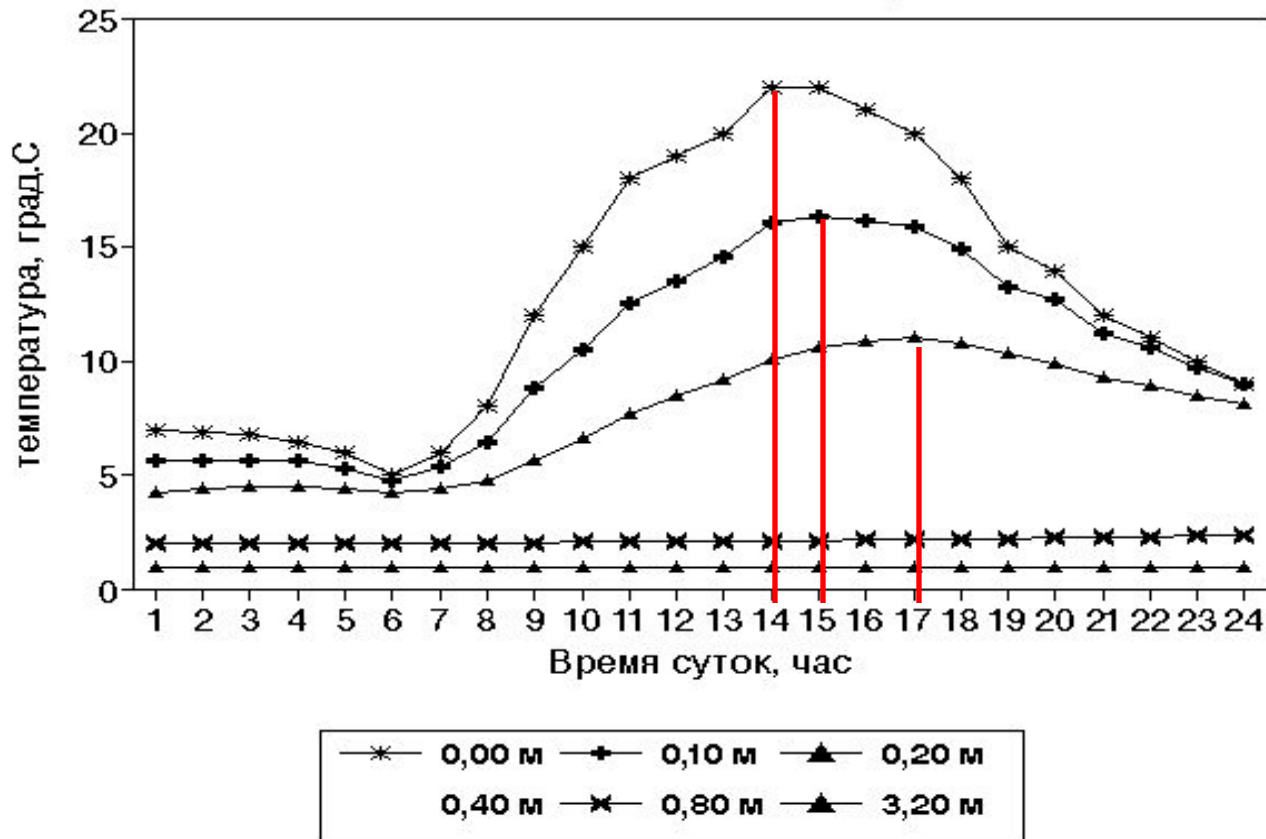
# ТЕПЛОПЕРЕНОС В ПОЧВЕ

**Скорость нагревания верхнего слоя почвы зависит от ее влажности и плотности травостоя (чем выше, тем медленнее прогревание).**

**Суточный ход температуры более наглядно можно представить графически.**

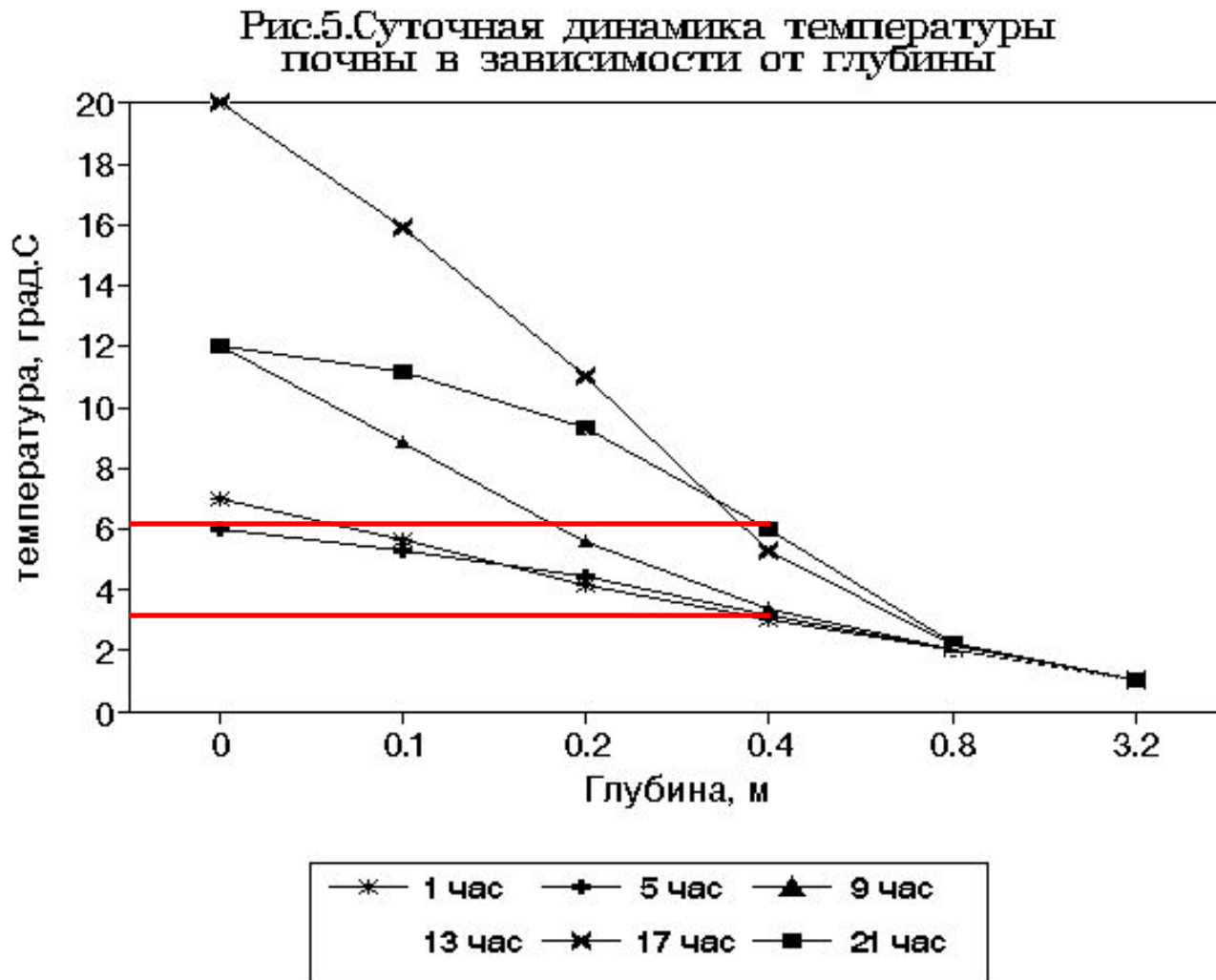
Как видно из рисунка, максимум в суточном ходе температуры запаздывает с увеличением глубины.

Рис.4.Суточная динамика температуры почвы в зависимости от глубины





Если построить профили температуры в летний день, то на глубине 0,4...0,5м амплитуда колебаний не превышает 2...3 градусов



В более глубоком слое почвы (более 1,0...1,5м) температура в течение суток не изменяется, но имеет хорошо выраженный сезонный ход.

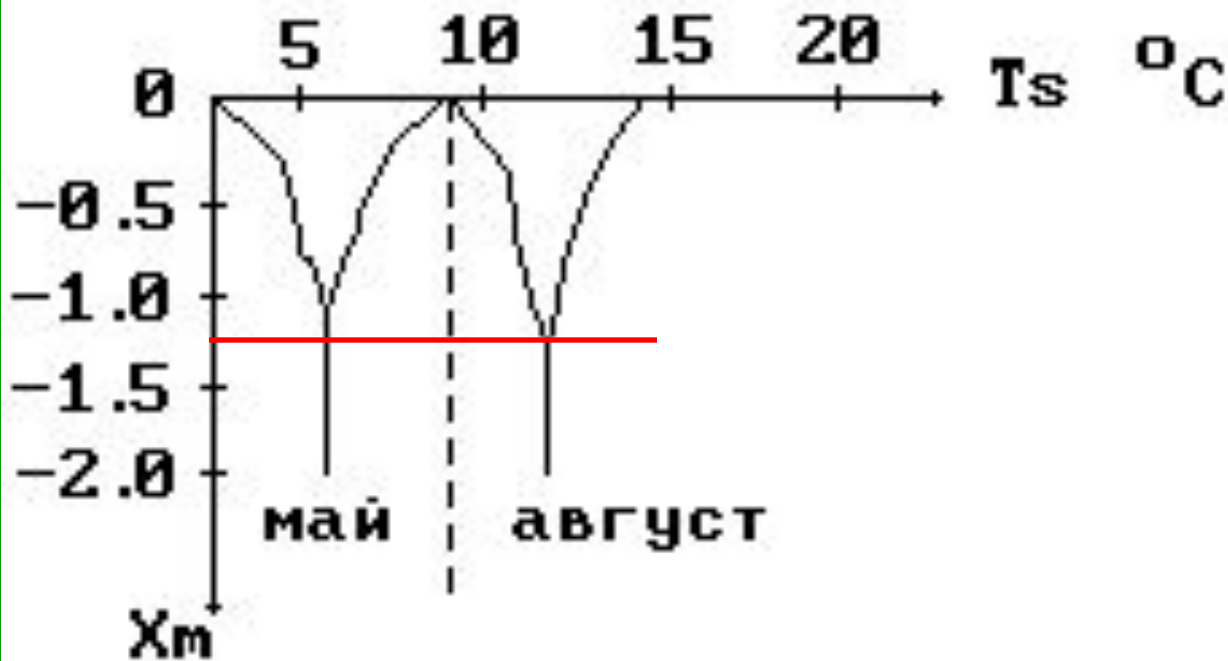
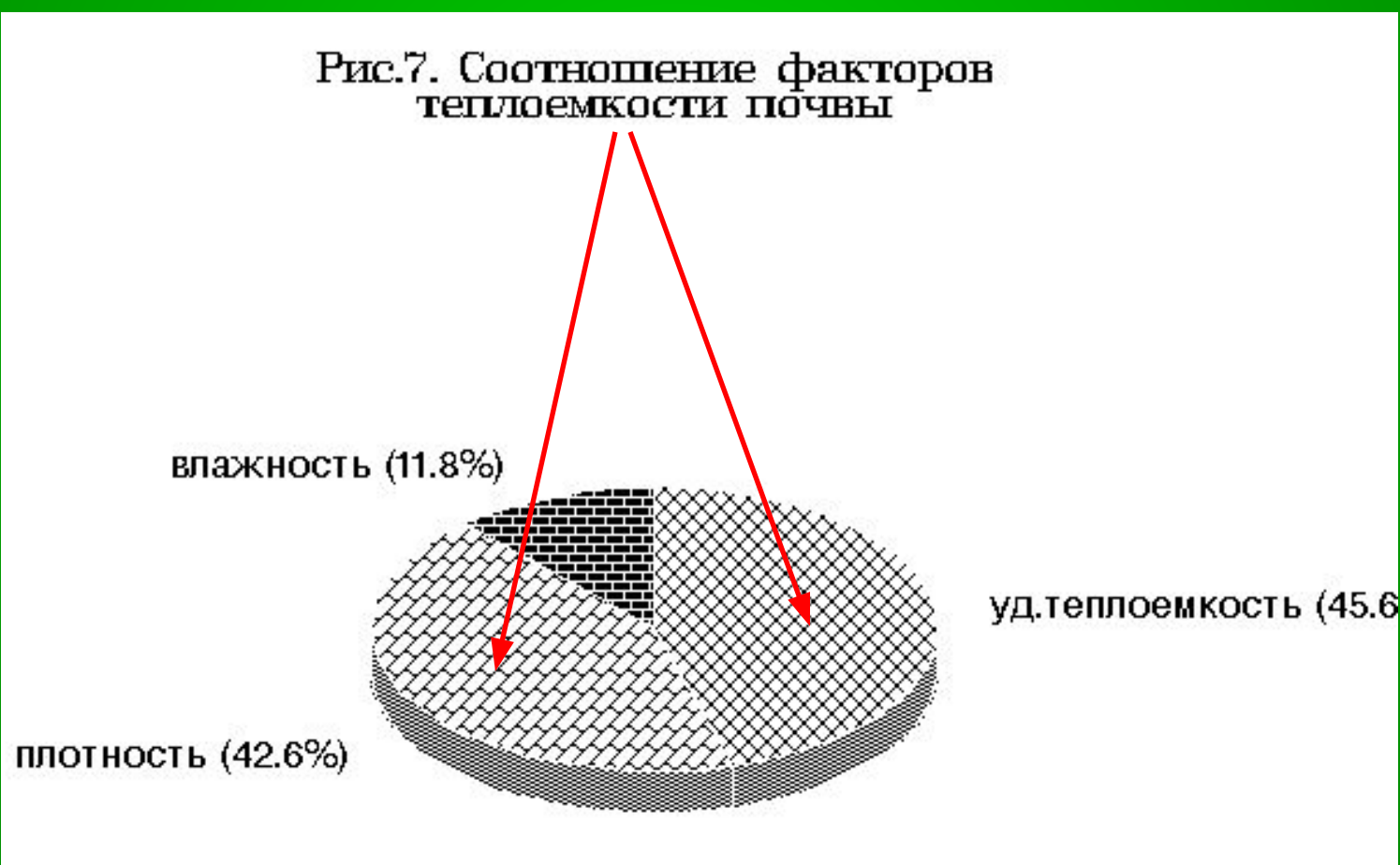


Рис.6. Сезонная динамика температуры почвы (по Р.А.Полуэктову)

**Отмеченные явления (сдвиг максимума во времени и уменьшение амплитуды в зависимости от глубины) объясняется теплофизическими характеристиками почвы, которые представлены **теплоемкостью и теплопроводностью.****

**Теплоемкость** - это количество тепловой энергии, которое должно быть сообщено почвенному слою для повышения его температуры на 1 градус.

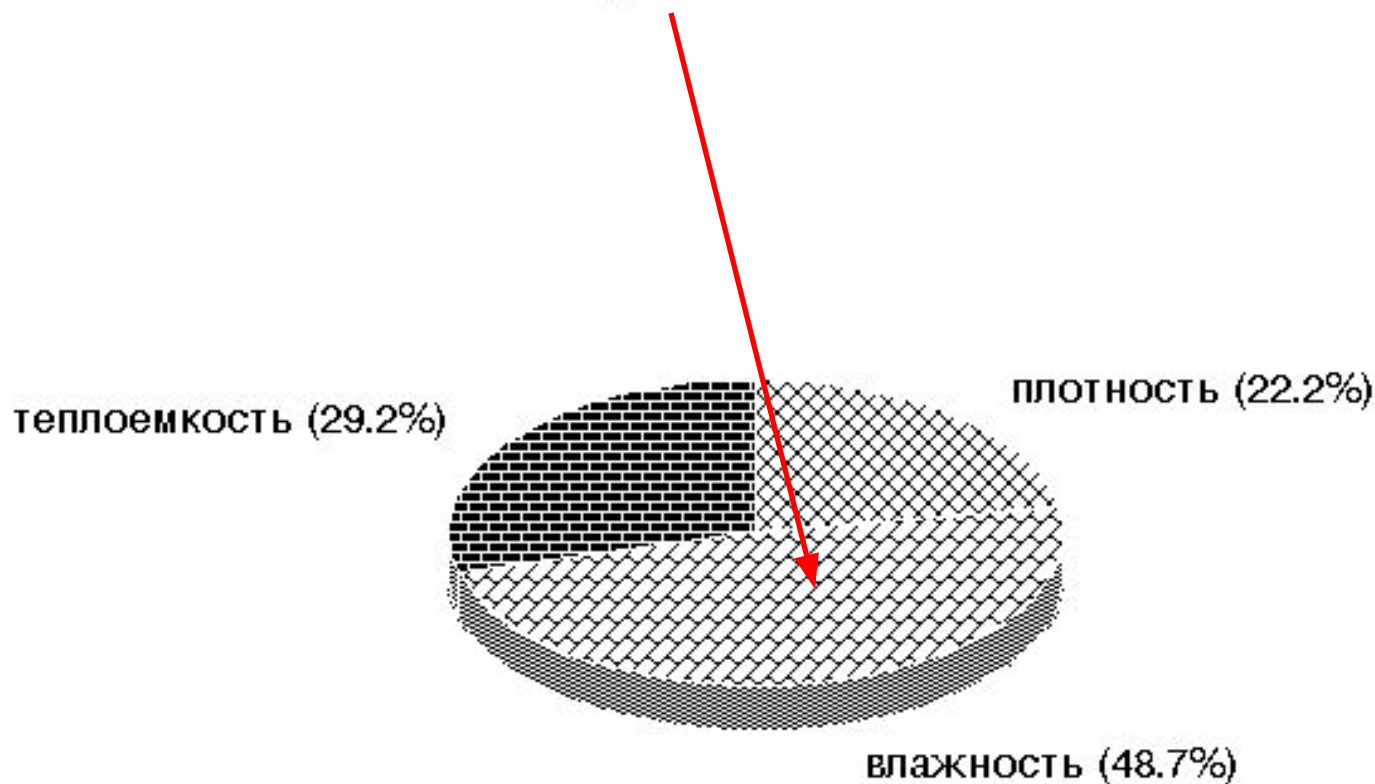
Она зависит на 46% от теплоемкости почвенного скелета (удельной теплоемкости) и на 43% от плотности почвы.



**Теплопроводность** - это *скорость передачи тепла между почвенными слоями.*

**Она, в основном, зависит от влажности почвы.**

Рис.8. Соотношение факторов теплопроводности почвы



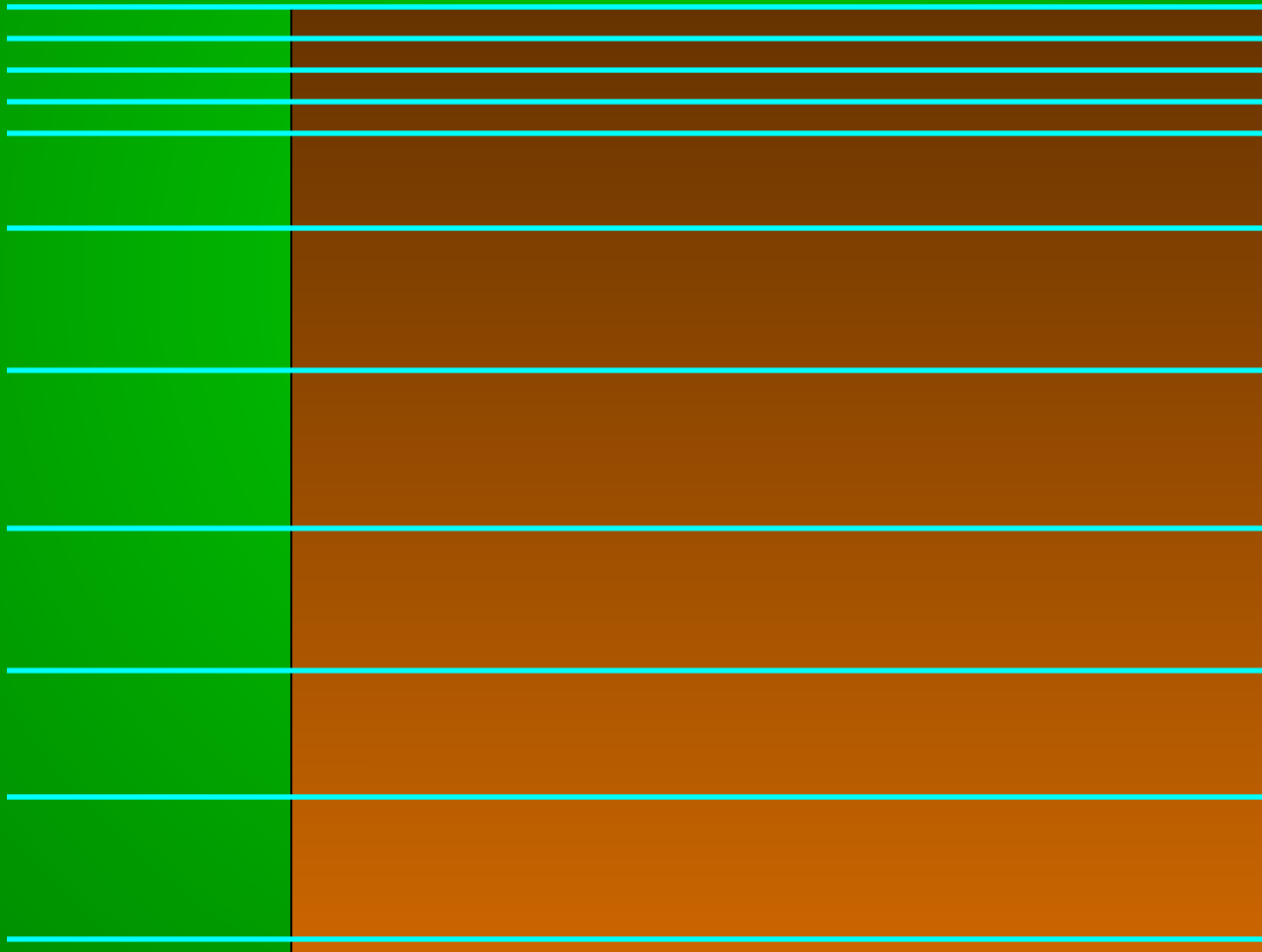
Таким образом, для описания динамики температуры почвы во времени и по глубине совершенно невозможно использовать усредненные по всему профилю показатели удельной теплоемкости, плотности и влажности, поскольку для каждого слоя они различаются довольно значительно.

Следовательно, расчет должен проводиться для каждого слоя отдельно,

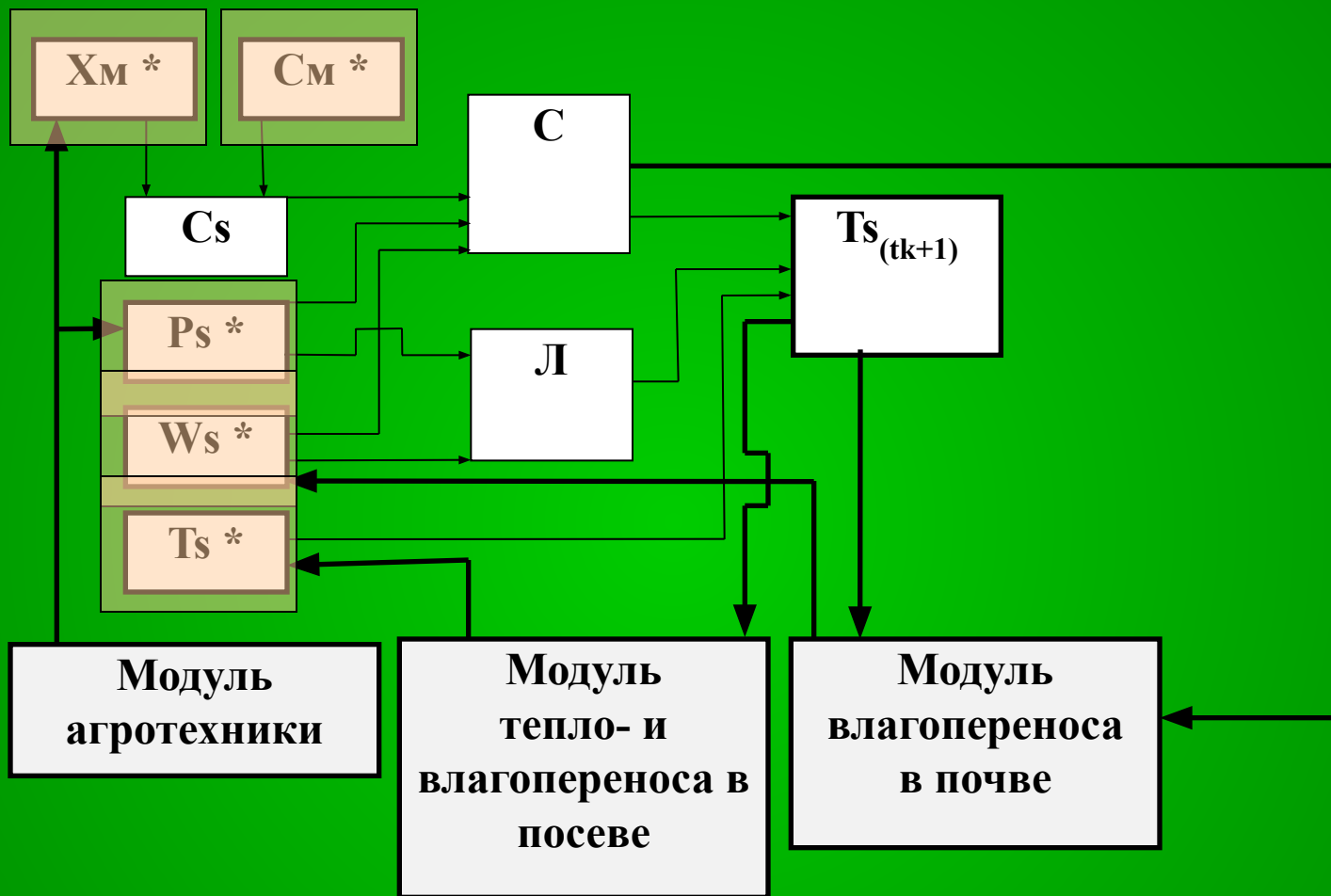
а потом, используя уравнение теплопроводности, можно связать эти слои между собой уравнениями теплового баланса.

**для построения компартментальной модели модуля термического режима почвы надо задать высоту каждого компартмента.**

**Стандартная глубина мониторинга температуры в агрометеослужбе 0, 5, 10, 15, 20, 40, 80, 120, 160, 270 и 320 см. Поэтому и высота компартментов ориентирована на эти глубины**



# Структурная схема модуля теплопереноса в почве

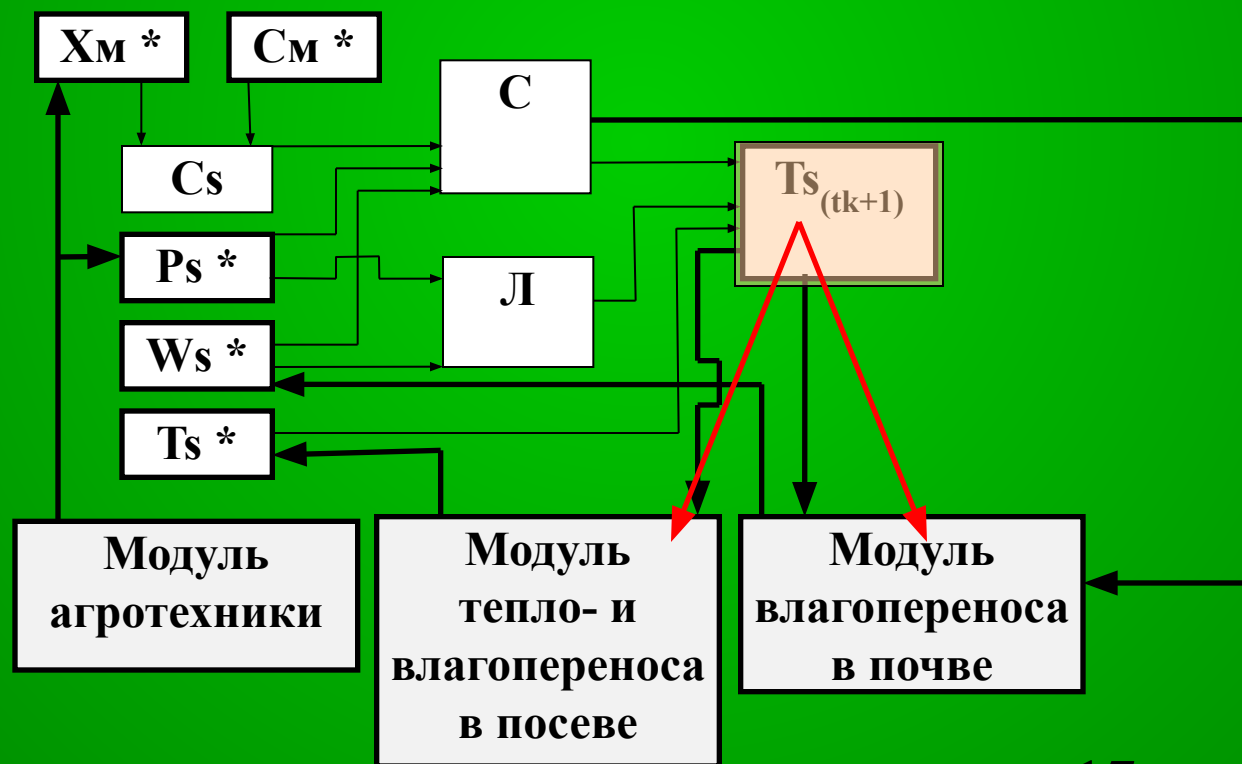


Расчет выполняется по каждому компартменту



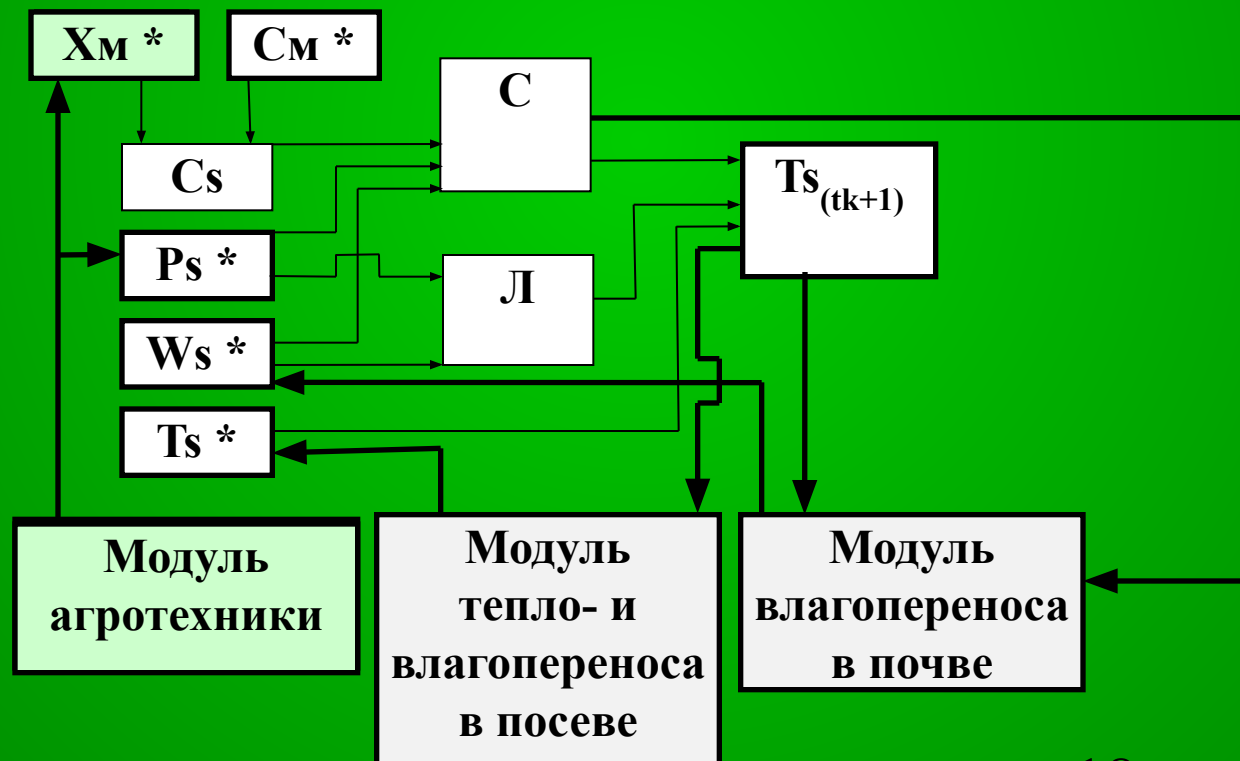
на выходе модуля получаем рассчитанную по профилю температуру, которую можно использовать **автономно** (например, изучая зависимость температуры от плотности почвы)

или подавать **на вход в другие модули** модели продукционного процесса, обеспечивая связь между ними.



# Регулируются агротехническими методами

- *Содержание в почве органического и минерального вещества ( $X_m$ ).*



# Регулируются агротехническими методами

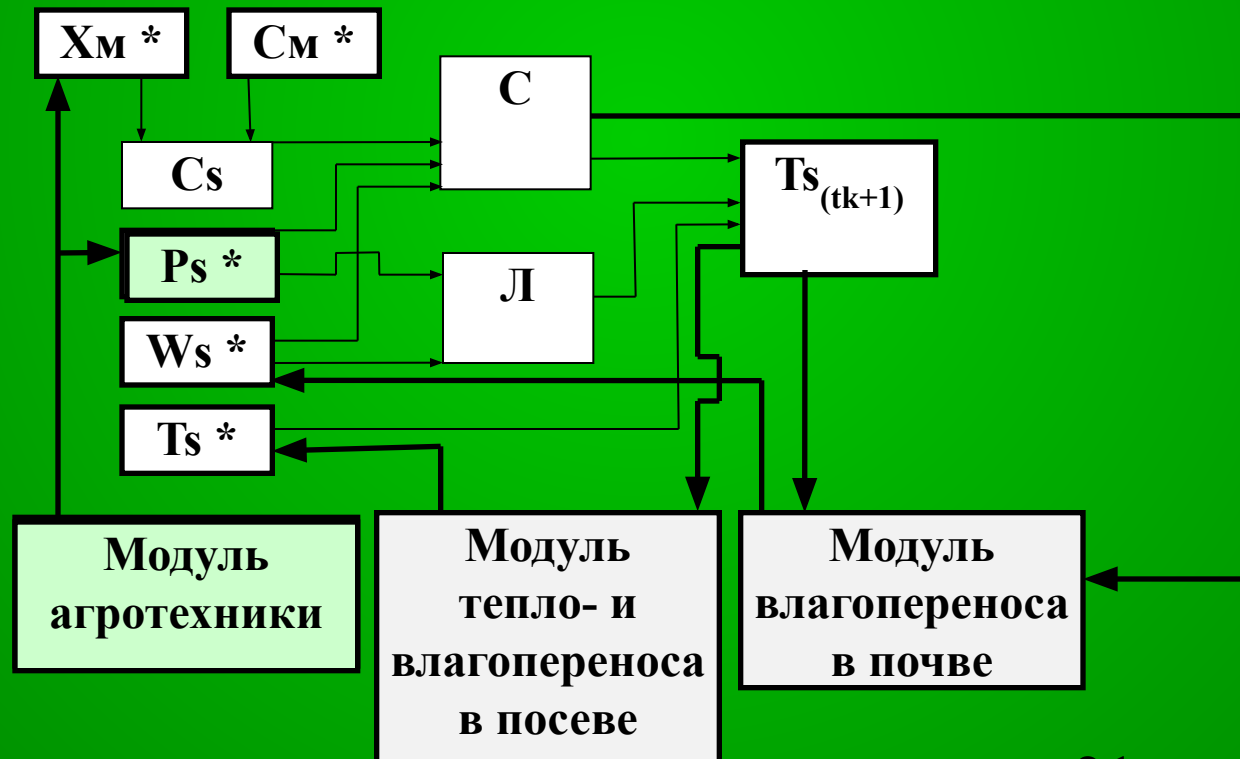
- *Содержание в почве органического и минерального вещества (Хм).*
- **ПЕСКОВАНИЕ** глинистых и
- **ГЛИНОВАНИЕ** песчаных почв,
- **ИЗВЕСТКОВАНИЕ** кислых и
- **ГИПСОВАНИЕ** засоленных.
- самым эффективным приемом является внесение в почву **ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА** в виде торфа, навоза, компостов, растительных остатков и других видов органических удобрений.

Расчет показывает, что с увеличением процентного содержания органического вещества, а, следовательно, уменьшением минерального, удельная теплоемкость почвы возрастает и, наоборот, обеднение почвы органическим веществом ведет к снижению удельной теплоемкости.



# Регулируются агротехническими методами

- *плотность почвы ( $P_s$ ).*



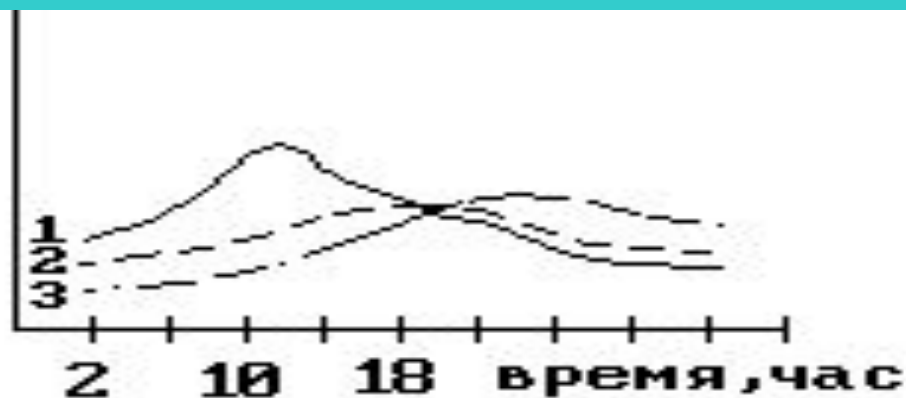
# Регулируются агротехническими методами

- *плотность почвы (Ps).*
  - **ВСПАШКА,**
  - **КУЛЬТИВАЦИЯ,**
  - **ДИСКОВАНИЕ,**
  - **ЛУЩЕНИЕ,**
  - **РЫХЛЕНИЕ,**
  - **БОРОНОВАНИЕ** и др

**В периоды возрастания температуры** поверхности почвы (начало вегетационного периода и дневные часы суток) нижние слои обработанной почвы имеют более низкую температуру, чем необработанной.

**В периоды же охлаждения** (конец вегетационного периода и ночное время суток) зависимость обратная.

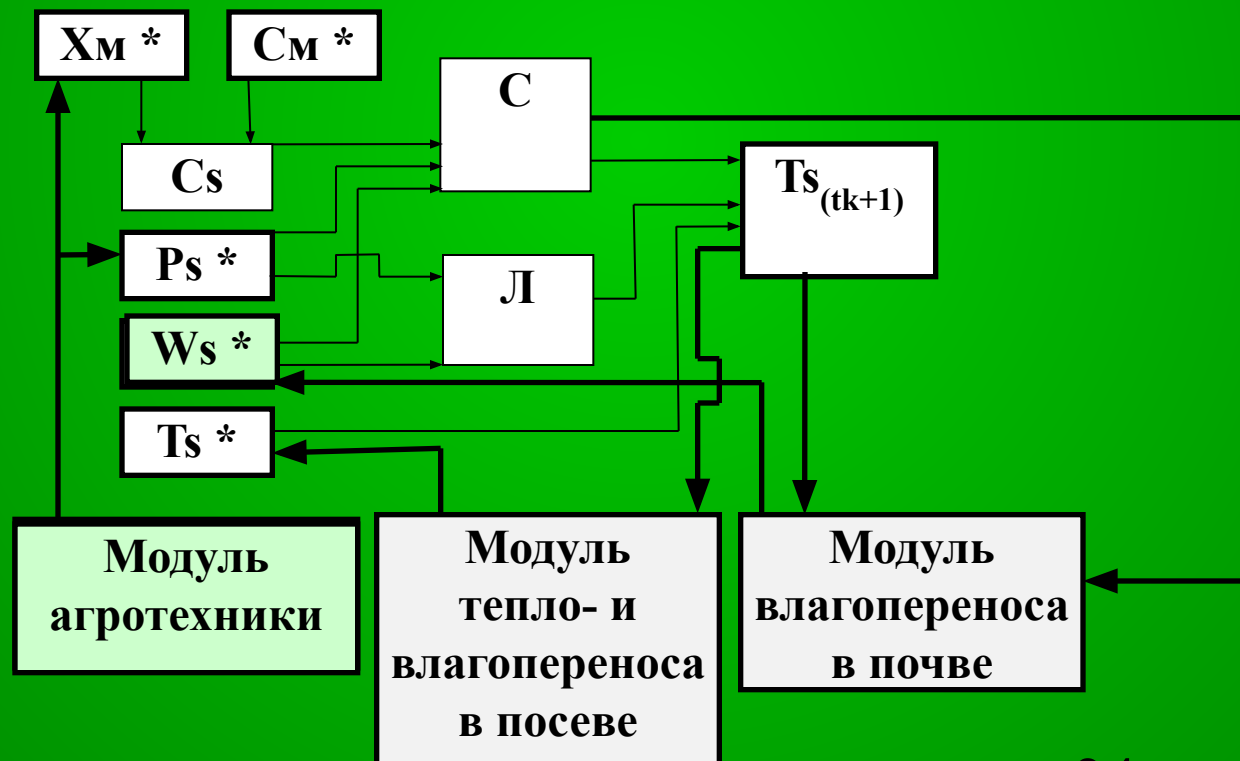
**Это связано с пониженной теплопроводностью обработанных слоев почвы.**



**Рис .13. Динамика температуры почвы в зависимости от обработки (Ориг.). 1—поверхность 2—необработанная; 3—обработанная почва.**

# Регулируются агротехническими методами

- Влажность почвы ( $W_s$ )





# Регулируются агротехническими методами

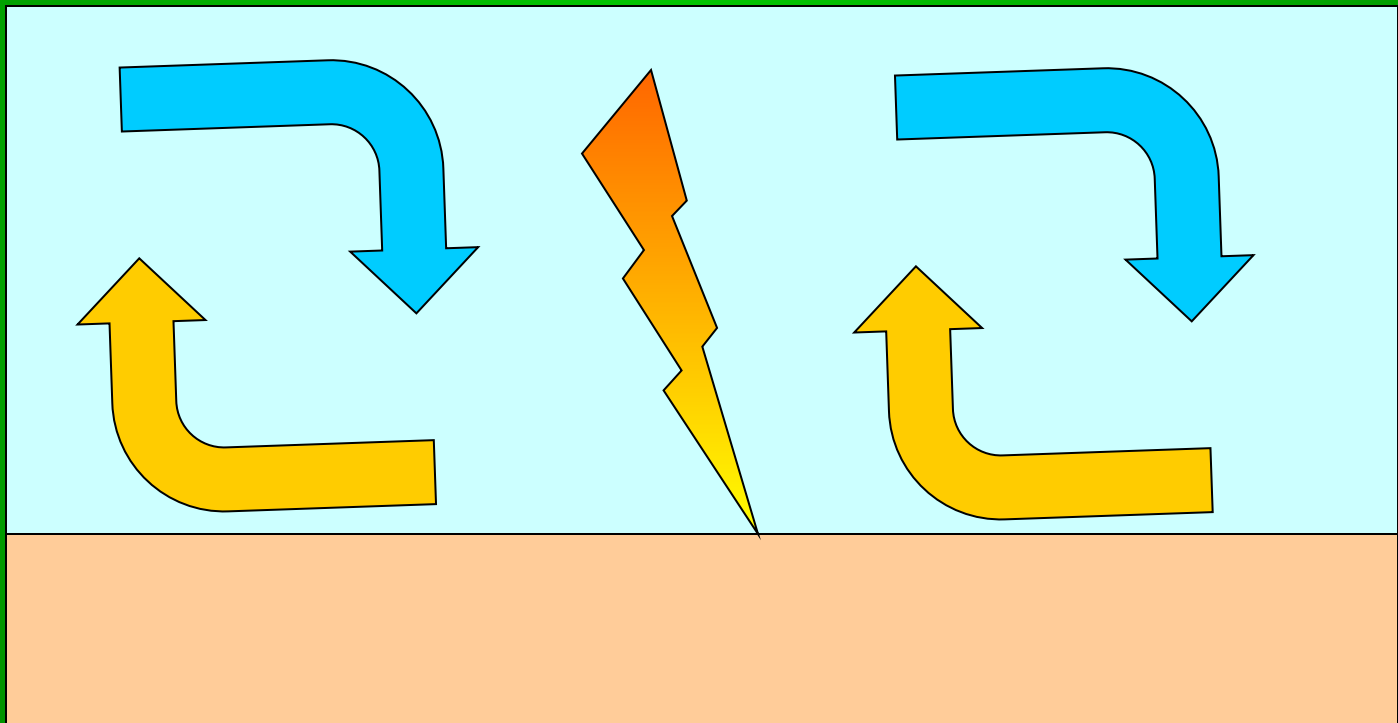
- *Влажность почвы (Ws)*
- **ОРОШЕНИЕ** и
- **ОСУШЕНИЕ**, которые относятся к мелиоративному воздействию, приводящему порой к коренному изменению всех или большинства физико-химических свойств почвы.
- **АГРОМЕЛИОРАТИВНЫЕ** (нарезка гряд и гребней, лункование и бороздование, кротование и др.).
- **АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ**

# ТЕПЛОПЕРЕНОС В ПОСЕВЕ

- **Конвективный перенос тепла**
- **Турбулентный перенос тепла**

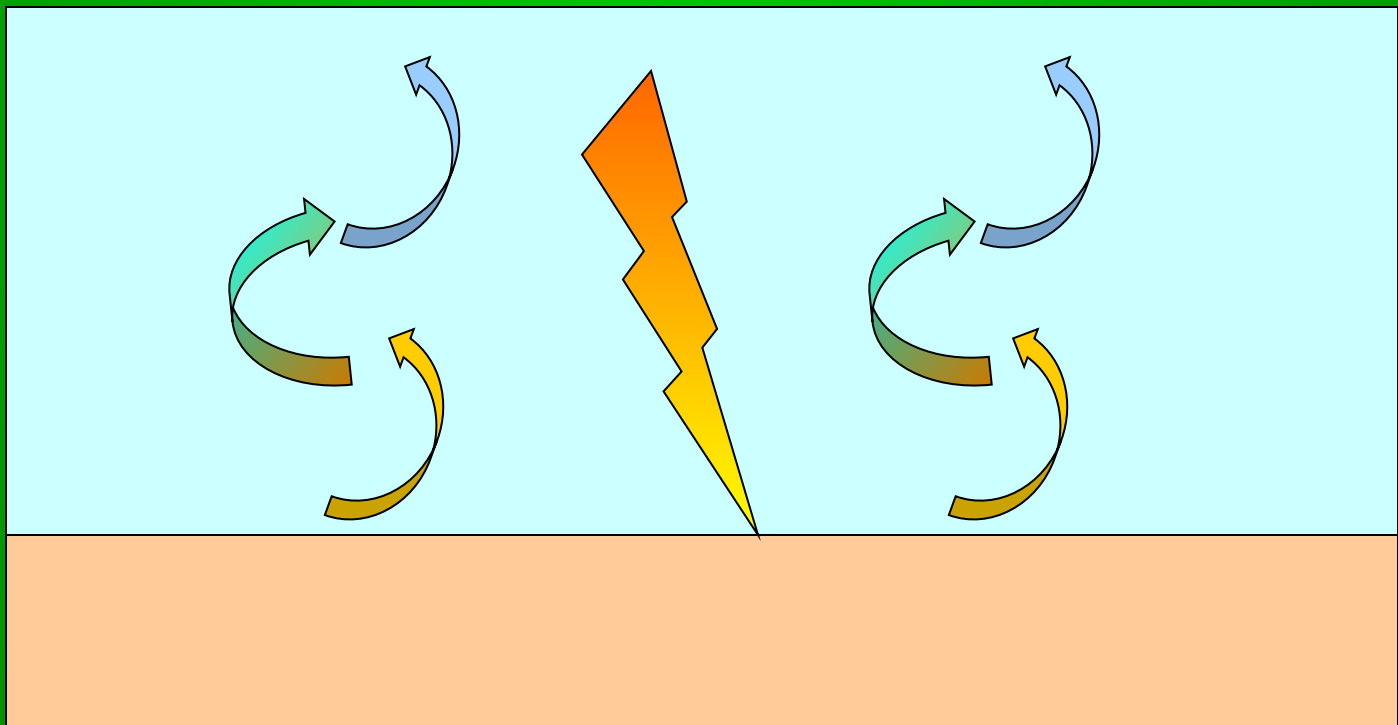
# Конвективный перенос тепла

- При прогревании воздуха теплые массы поднимаются вверх, а на их место поступают холодные.



# Турбулентный перенос тепла

- Завихрения воздуха в результате изменения скорости ветра по высоте и препятствий, которые он встречает на своем пути.



Турбулентный обмен идет как над посевом, так и внутри него, но с разной интенсивностью, зависящей от скорости ветра.

Сама же скорость ветра затухает по мере приближения к почве из-за сопротивления фитоэлементов

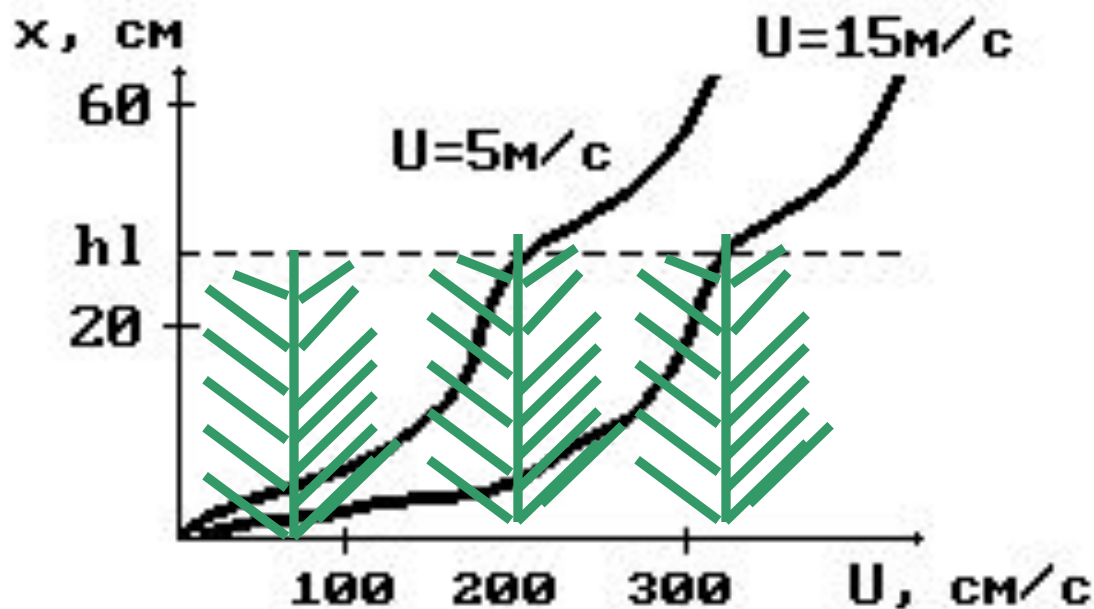
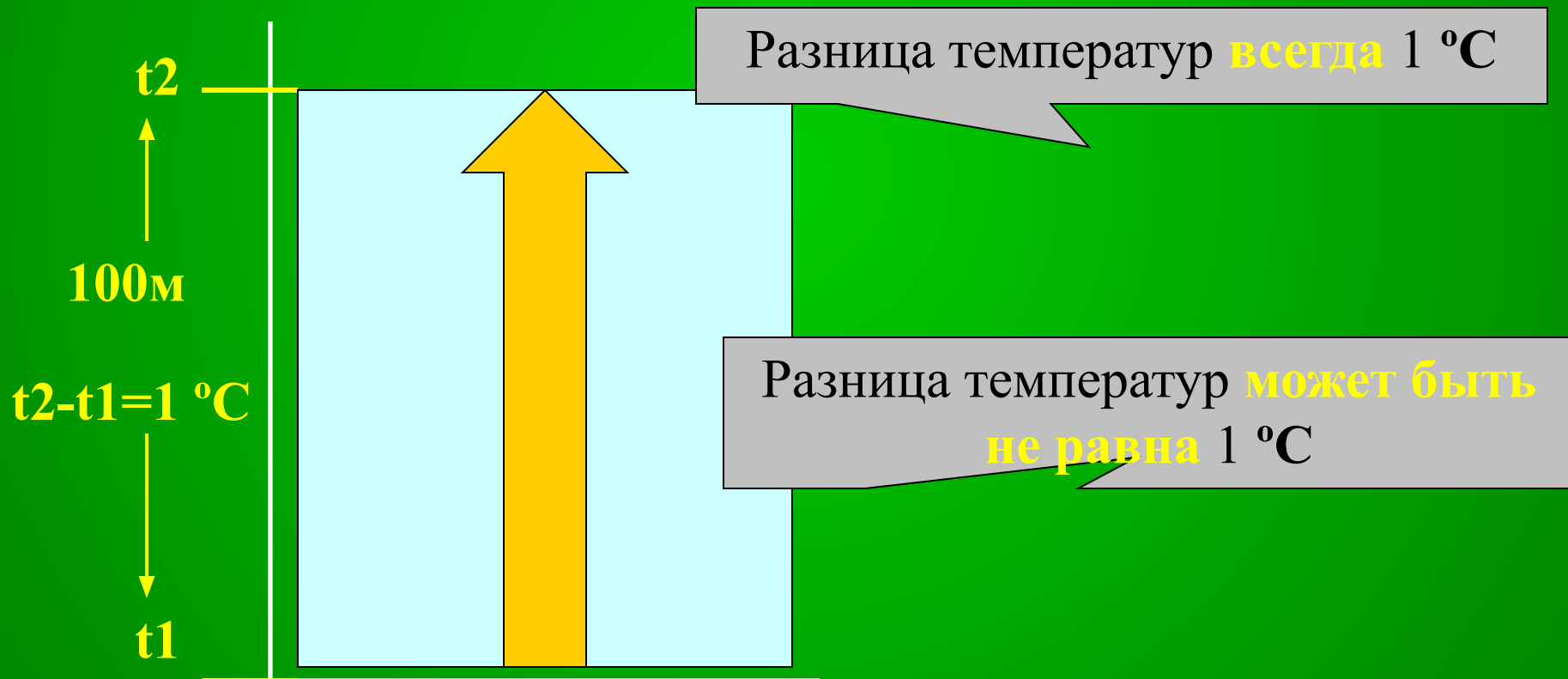


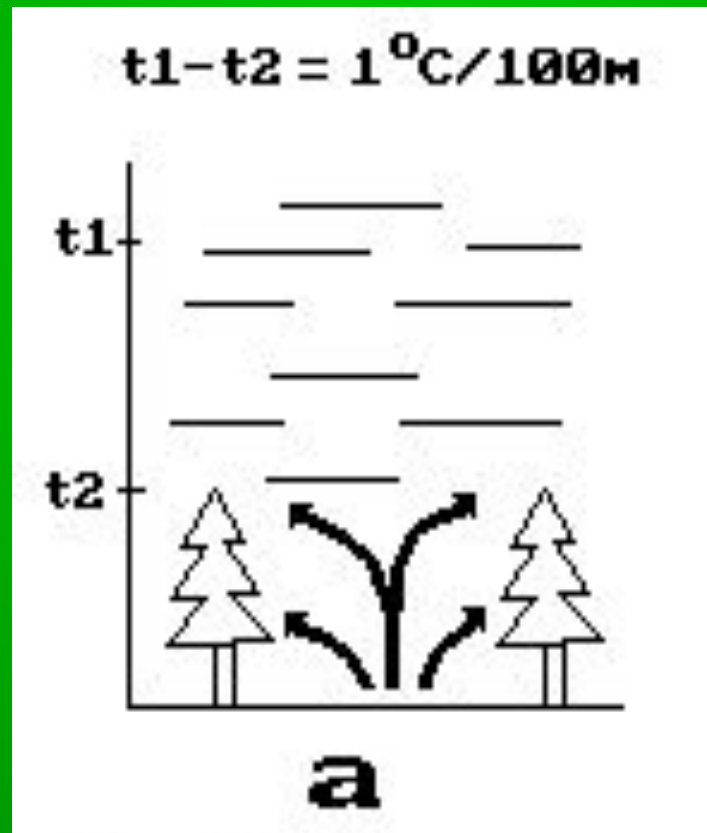
Рис.14. Динамика скорости ветра внутри посева (по Р.А.Полузэктову)

В экосистеме поочередно наблюдаются и турбулентное и конвективное движение воздуха в зависимости от **стратификации** (состояния) атмосферы. Различают *нейтральную, устойчивую и неустойчивую* стратификацию.

- Стратификация атмосферы зависит от разницы температур поднимающегося нагретого столба воздуха и окружающего этот столб воздуха



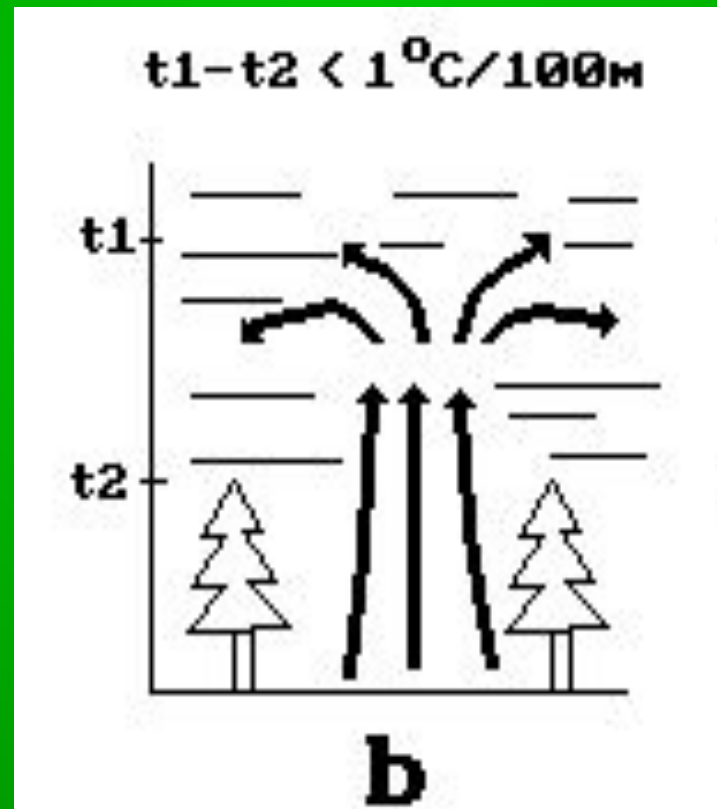
- Если температура **неподвижного** воздуха с высотой уменьшается **на  $1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$** , **поднимающийся** воздух, температура которого тоже снижается **на  $1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$**  беспрепятственно смешивается с окружающим и стратификация называется **нейтральной (или безразличной)**  
Интенсивность обмена слабая, поскольку восходящего потока воздуха практически нет.





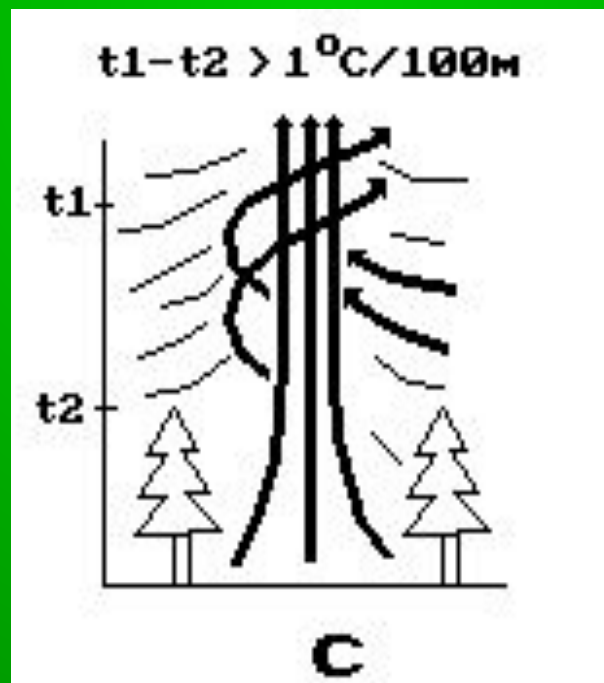


- Если температура **неподвижного** воздуха снижается с высотой на величину **менее  $1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$** , **поднимающийся** вихрь (снижается на  $1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ ) охлаждается быстрее. Это приводит к его разрушению, а воздух остается в спокойном состоянии, называемом **устойчивой** стратификацией атмосферы





- Если температура **неподвижного** воздуха снижается с высотой **более, чем на  $1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$** , **поднимающийся** воздух (снижается на  $1^{\circ}\text{C}/100\text{м}$ ) остается постоянно теплее окружающего. Это ведет к образованию вихрей разной силы. Такое состояние называется **неустойчивая** стратификация. Завихрения увеличивают тепло- и влагообмен между атмосферой и подстилающей средой в десятки и сотни раз.





Таким образом, термодинамика наземной части экосистемы представляет собою гораздо более сложный процесс, чем термодинамика почвы, поскольку ее модуль должен быть связан с модулем скорости ветра. Так как скорость ветра неодинакова на разной высоте, слой атмосферы надо разделить на компартменты. Большинство выращиваемых культур не превышает по высоте 2м, следовательно, будем считать эту высоту предельной. Толщину компартментов целесообразно установить 10 см, что позволит более точно рассчитать их параметры в ранние фазы развития растений. Тогда получается 20 компартментов

Уровень,см      Номер компартмента      Высота компартмента,см

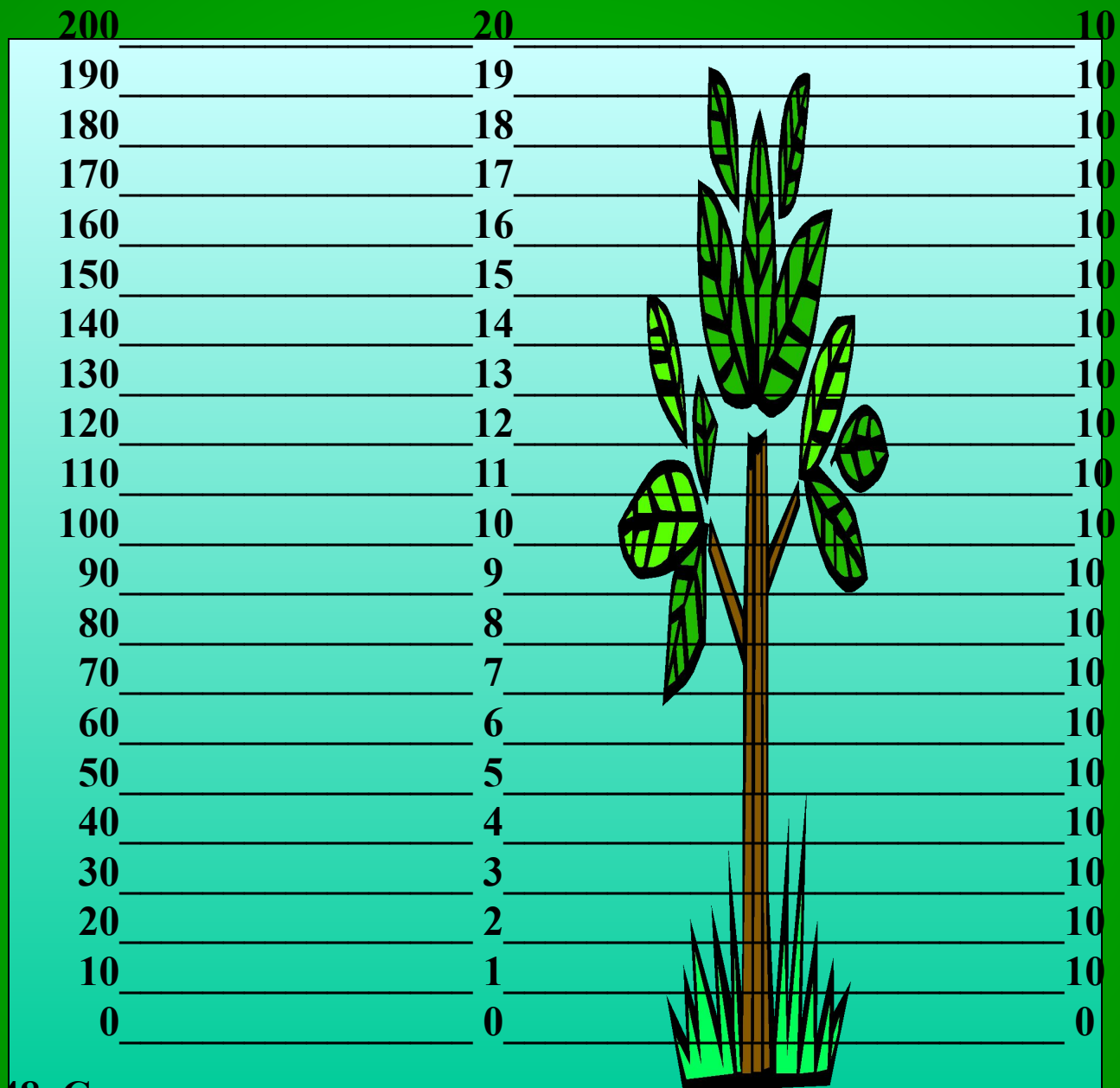


Рис. 48. Схема компартментального распределения приземного слоя воздуха (Ориг.).

Температуру воздуха в полевых условиях можно регулировать агротехническими способами только через три параметра: **скорость ветра ( $U_f$ )**, **высоту посева ( $h_l$ )**, и **листовый индекс ( $L$ )**.

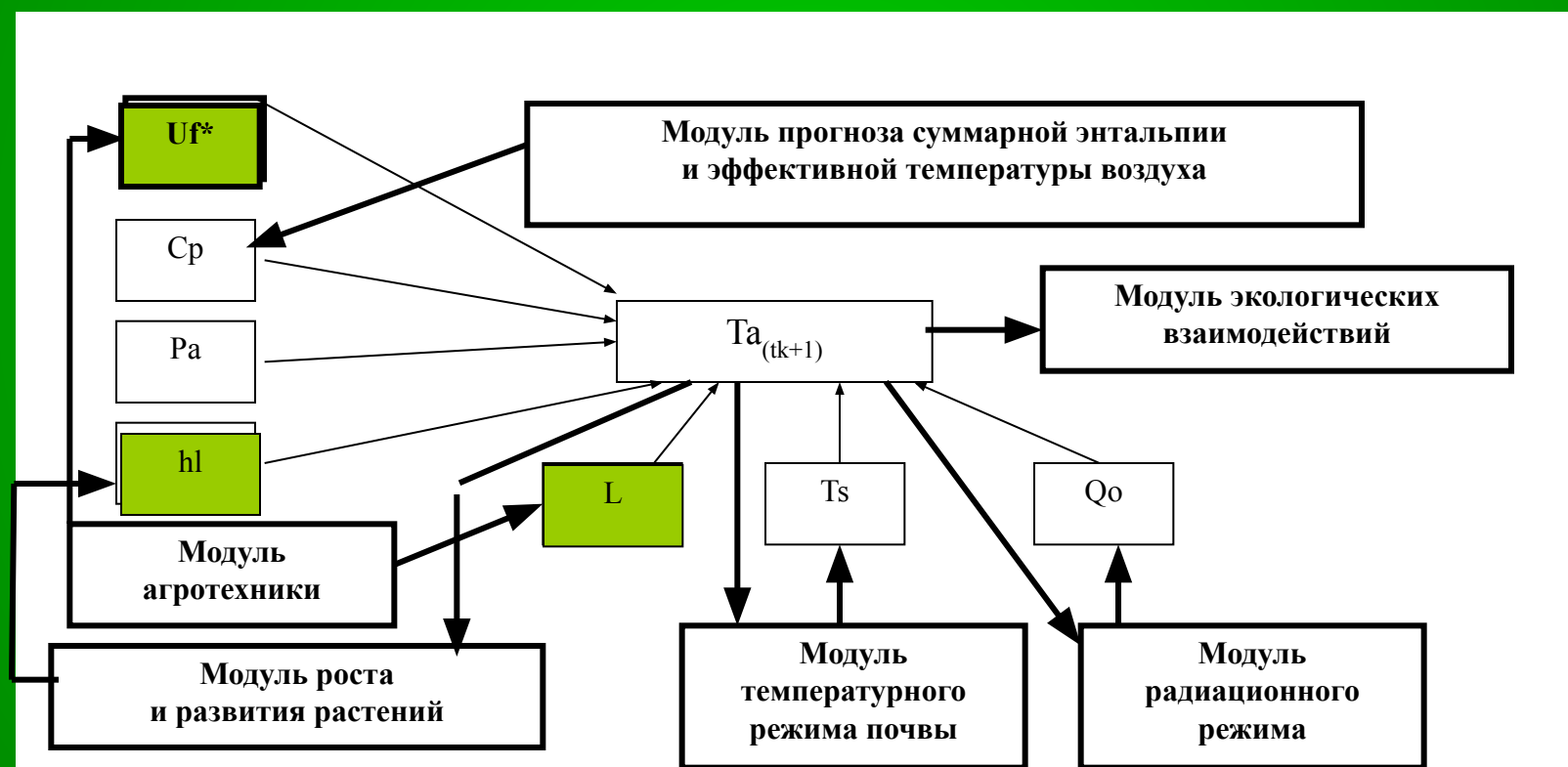


Рис. 49. Структурная схема модуля температурного режима атмосферы.



## **скорость ветра ( $U_f$ )**

- **Высота посева**
- **Полезащитные лесополосы**

**высота посева (hl)**  
**листовой индекс (L).**

- определяется **ВИДОМ** и
- **СОРТОМ** возделываемой культуры,
- **УРОВНЕМ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ**

# МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР



- динамика температуры воздуха, почвы и листьев изменяется на протяжении суток

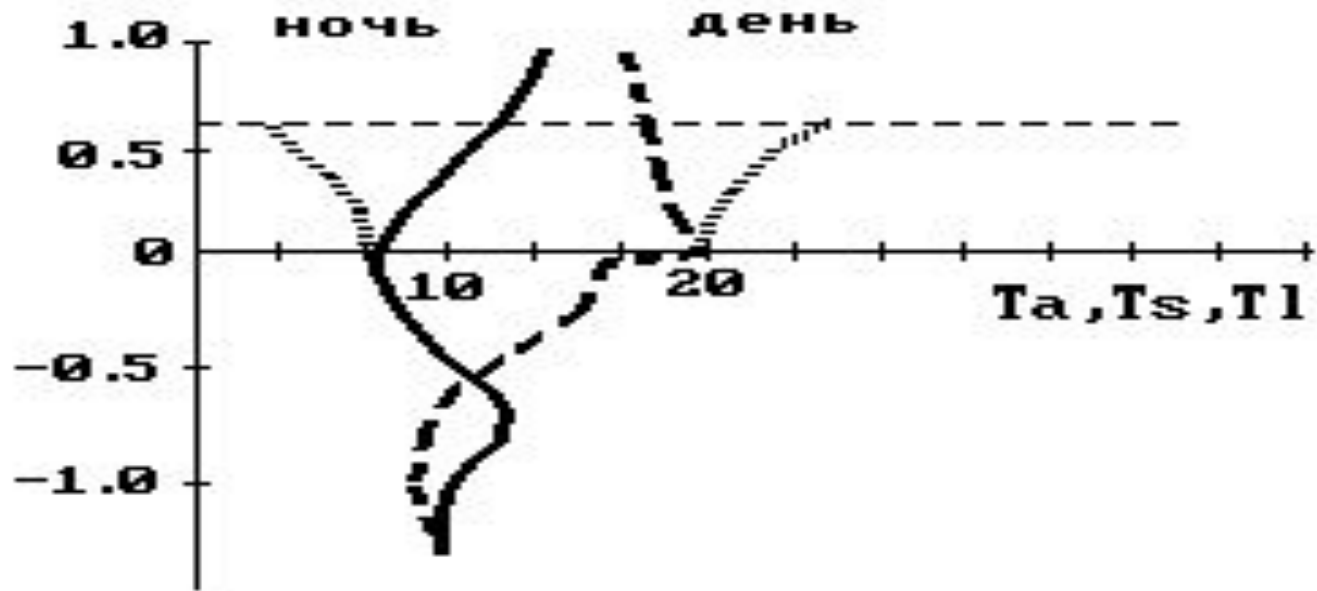


Рис.19. Суточная динамика температуры воздуха, почвы и листьев (по Р.А.Полуэктову).  
—  $T_a, T_s$  (ночь); - -  $T_a, T_s$  (день);  
.....  $T_l$ .

- Таким образом, в полевых условиях температура подвержена довольно значительным колебаниям, часто выходящим за пределы оптимальных значений.
- Отсюда ясно, что урожайность, обеспечиваемая ресурсами ФАР, в полевых условиях не всегда достигается поскольку она может лимитироваться тепловым фактором.

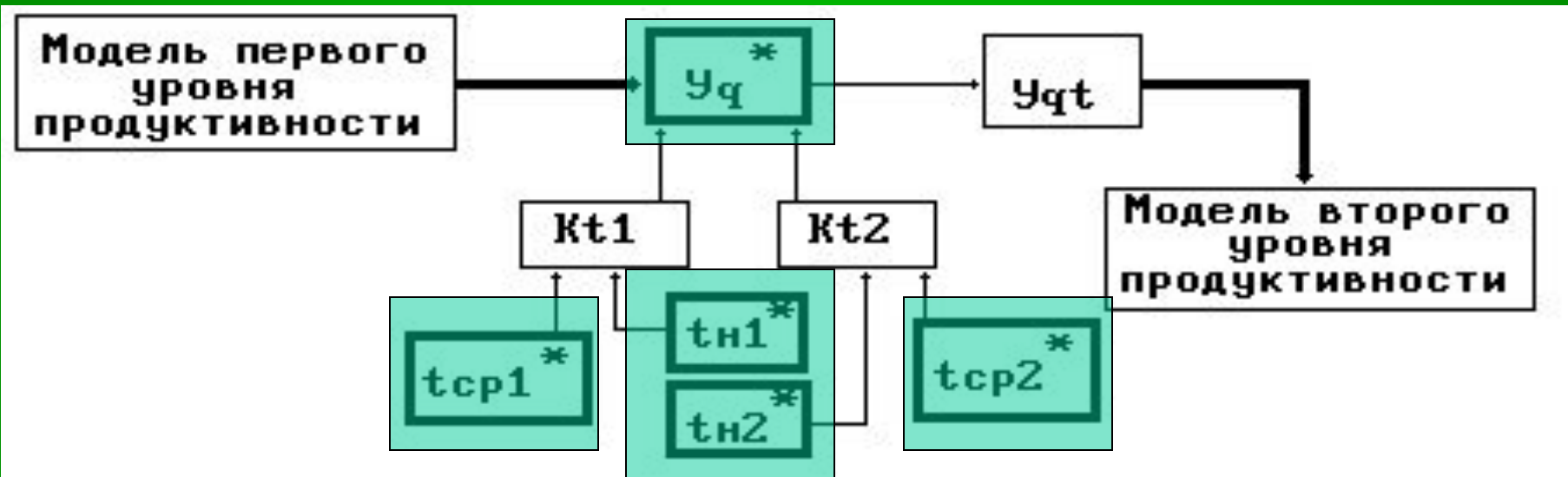


Рис.20. Структурная схема модуля корректировки продуктивности по оптимальности температуры (Ориг.). **→** – внешние связи; **—** – внутренние связи; \* – предикторы модуля.

# ФУНКЦИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ РАССЧИТЫВАЕТСЯ КАК

$$Kt = \frac{t\phi}{topt}$$

Произведение урожайности, рассчитанной по модели первого уровня продуктивности, на  $Kt_1$  и  $Kt_2$  и будет урожайностью, скорректированной по оптимальности температуры:

$$Y(Q,T) = Y(Q) * Kt_1 * Kt_2, \text{ т/га.}$$

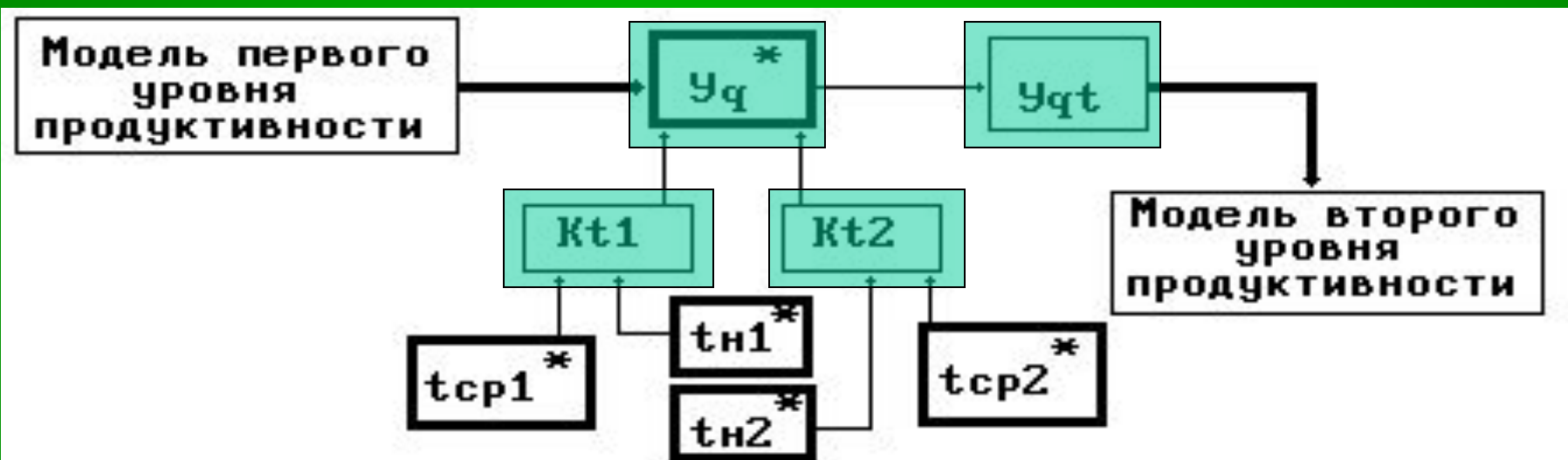


Рис.20. Структурная схема модуля корректировки продуктивности по оптимальности температуры (Ориг.). **→** – внешние связи; **—** – внутренние связи; \* – предикторы модуля.



- Итак, температурный режим экосистемы определяется поступлением коротковолновой и длинноволновой солнечной радиации, причем последняя действует как в дневное, так и в ночное время суток.
- Днем идет нагревание посева и почвы, ночью - охлаждение. Наибольшей амплитуде колебания температуры подвержены органы верхнего яруса растений.
- По мере приближения к поверхности почвы и вглубь нее амплитуда температуры уменьшается, а на глубине 0,5...0,6м суточные колебания затухают.

- Температура в экосистеме имеет огромное значение, так как скорость почти всех наблюдающихся процессов зависит от термодинамики атмосферы и почвы.
- Однако, антропогенно изменять этот параметр довольно затруднительно из-за небольшого числа регулируемых факторов.
- Так, тепловой режим надземной части агроэкосистемы эффективно контролируется только через высоту посева и площадь фитоорганов.
- На термодинамику почвы можно действовать более эффективно: через изменение содержания органического вещества, влажности и плотности почвы.

- В период вегетации может наблюдаться отклонение температуры от оптимального для растения, что вызовет снижение урожайности на величину прямо пропорциональную отклонению функции оптимальности температуры от единицы.
- В связи с тем, что в периоды до и после цветения благоприятная температура роста и развития растения может отличаться, значения функции рассчитываются применительно к каждому периоду в отдельности, а потом проводится корректировка первого уровня продуктивности по оптимальности температурного режима.

**Благодарю за внимание!**