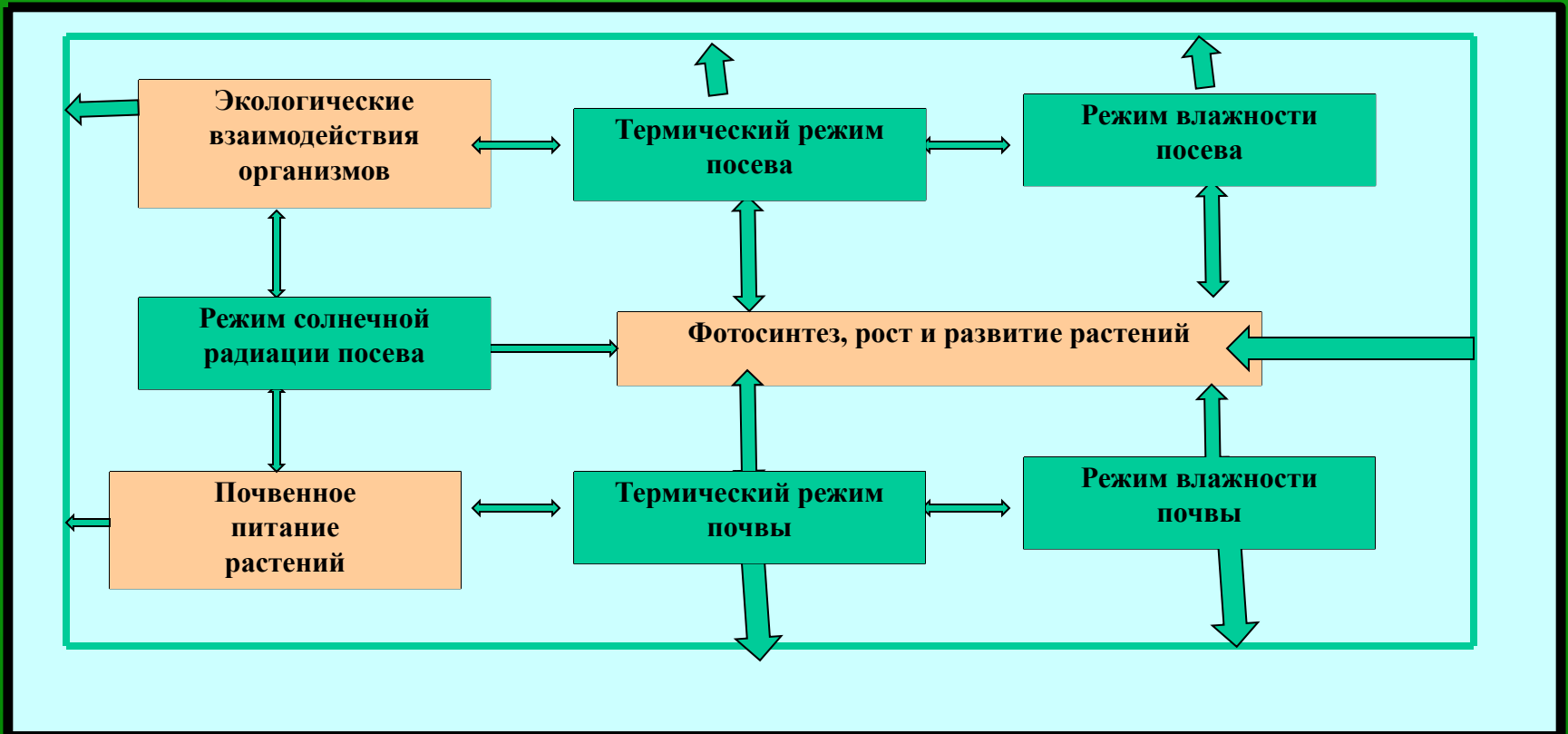


## Лекция 5

# ВОДНЫЙ РЕЖИМ АГРОЭКОСИСТЕМ



## *Лекция 5*

# **ВОДНЫЙ РЕЖИМ АГРОЭКОСИСТЕМ**

- **ЗНАЧЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ И ВОЗДУХА В ЭКОСИСТЕМЕ**
- **ПОСТУПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГИ В ЭКОСИСТЕМЕ**
- **ВЛАГОПЕРЕНОС В ПОЧВЕ**
- **ВЛАГОПЕРЕНОС В ПОСЕВЕ**
- **МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЯ ВЛАГИ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР (МОДЕЛЬ 2 УРОВНЯ ПРОДУКТИВНОСТИ)**

Для производства биомассы растению требуется определенное количество влаги, которое оно получает из почвы и атмосферы. Недостаток, или избыток влаги влечет за собой снижение продуктивности.

Процесс влагопереноса во многом аналогичен теплопереносу, отличия лишь в скорости переноса влаги в почвенных слоях. Влага в почве передвигается настолько медленно, что заметное ее изменение можно зарегистрировать только с интервалом 1 сутки.

# ЗНАЧЕНИЕ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ И ВОЗДУХА В ЭКОСИСТЕМЕ

Так же, как солнечная радиация и температура, влага может выступать в качестве внешнего или внутреннего существенных факторов.

**Внешним** (экзогенным) фактором она бывает в виде облаков, которые, во-первых, рассеивают прямую солнечную радиацию, а, во-вторых, служат источником капельно-жидкой влаги (осадков).

**Внутренним** (эндогенным) фактором влага становится, когда испытывает обратное влияние экосистемы, что наблюдается внутри посева (влажность воздуха) и в корнеобитаемом слое почвы (влажность почвы).

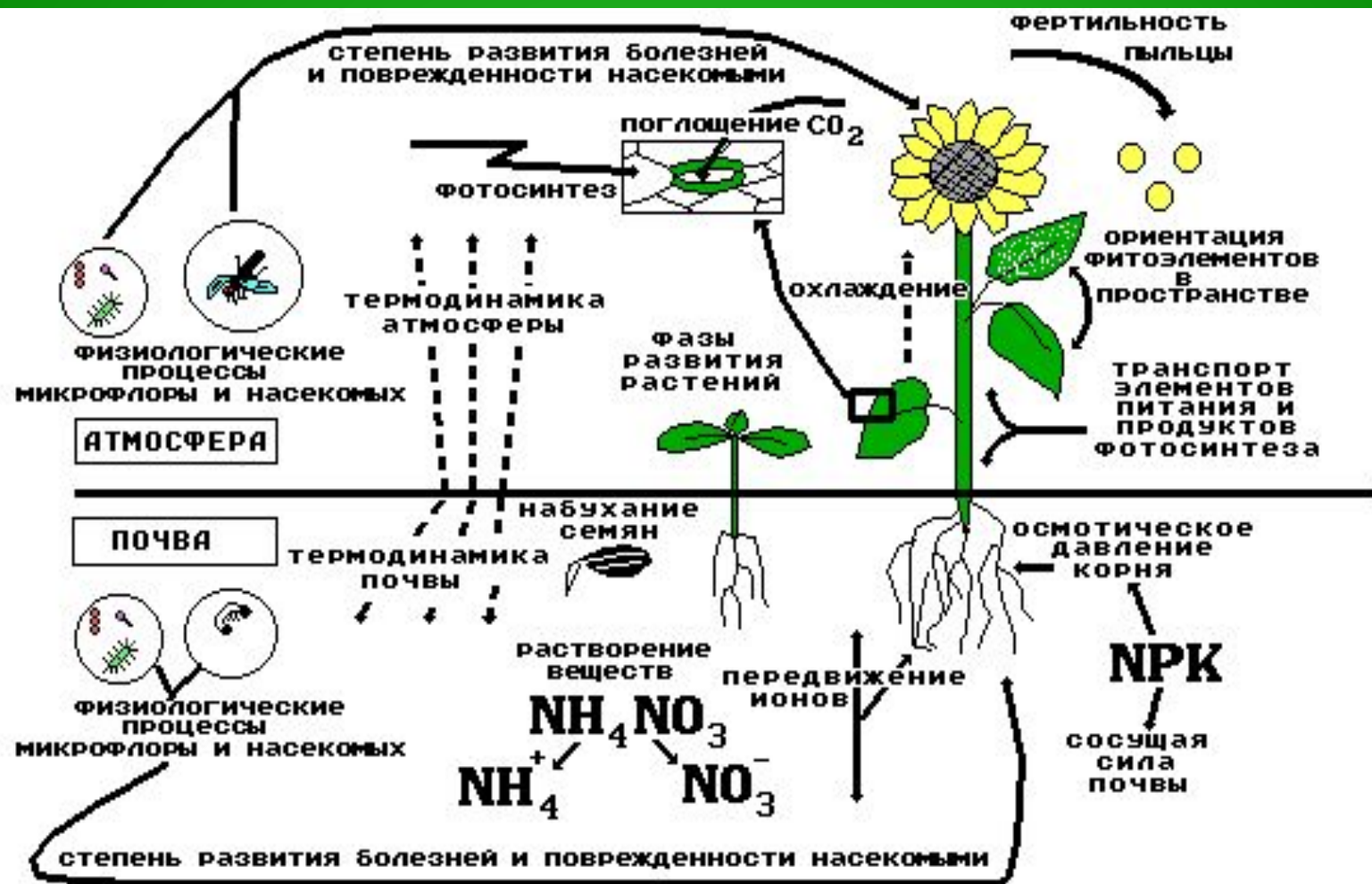


Рис.2. Связь влаги с процессами экосистемы (Ориг.).

# ФУНКЦИИ ВОДЫ В ЭКОСИСТЕМЕ

- **реакторные функции**, то есть растворяет химические вещества (в том числе и удобрения).
- **терморегуляторные функции**. От влажности зависит температурный режим почвы и атмосферы: чем больше влажность, тем выше теплоемкость этих компонентов экосистемы.
- **физиологические функции** организмов.
- **транспортные функции**. Передвижение ионов по горизонтам почвы и к всасывающим волоскам корневой системы. Передвижение элементов минерального питания по сосудам ксилемы к различным органам растения. Перенос ассимилянтов по сосудам флоэмы для перераспределения их по органам растения.

# ПОСТУПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛАГИ В ЭКОСИСТЕМЕ

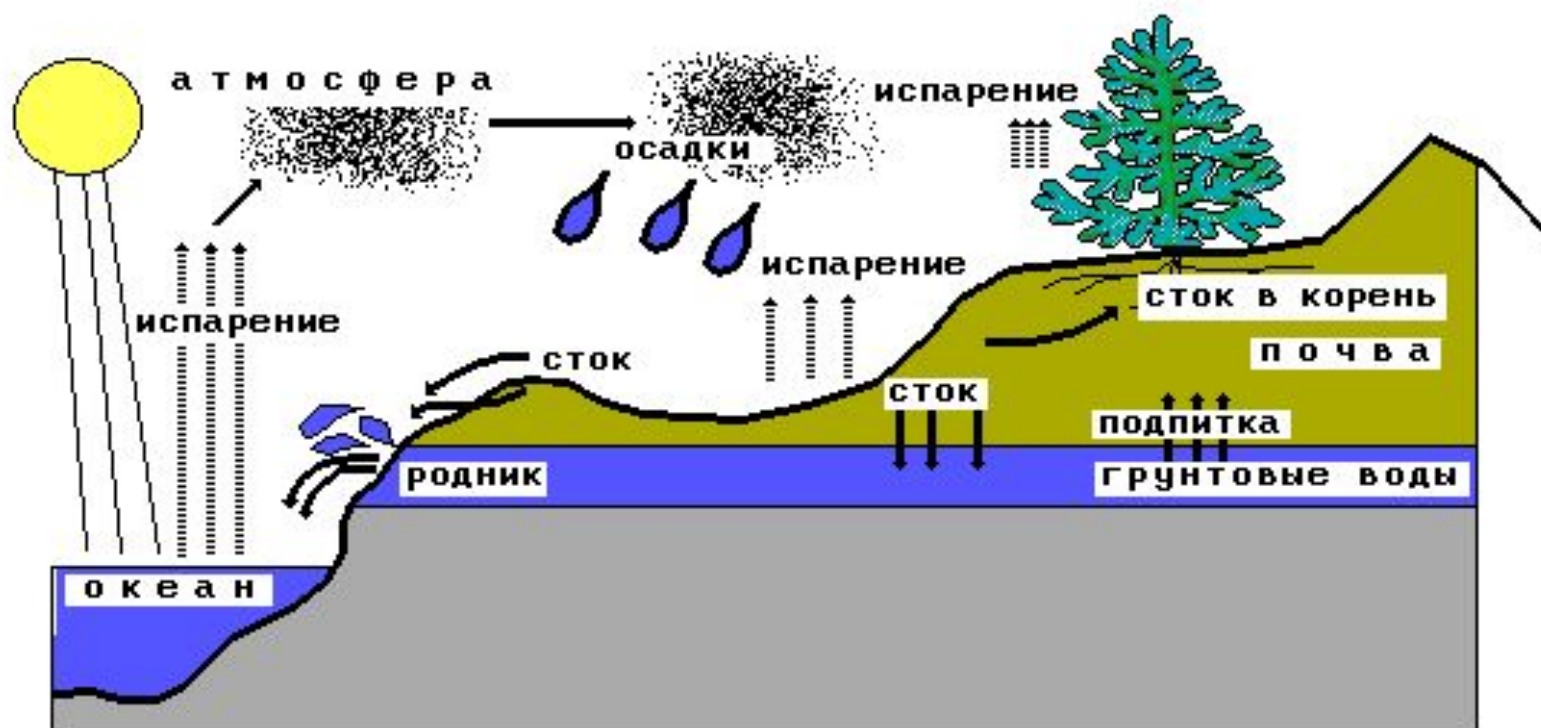


Рис.3. Круговорот воды на Земле (Ориг.).

**Влага, оставшаяся в экосистеме, перераспределяется так, как показано на рисунке**

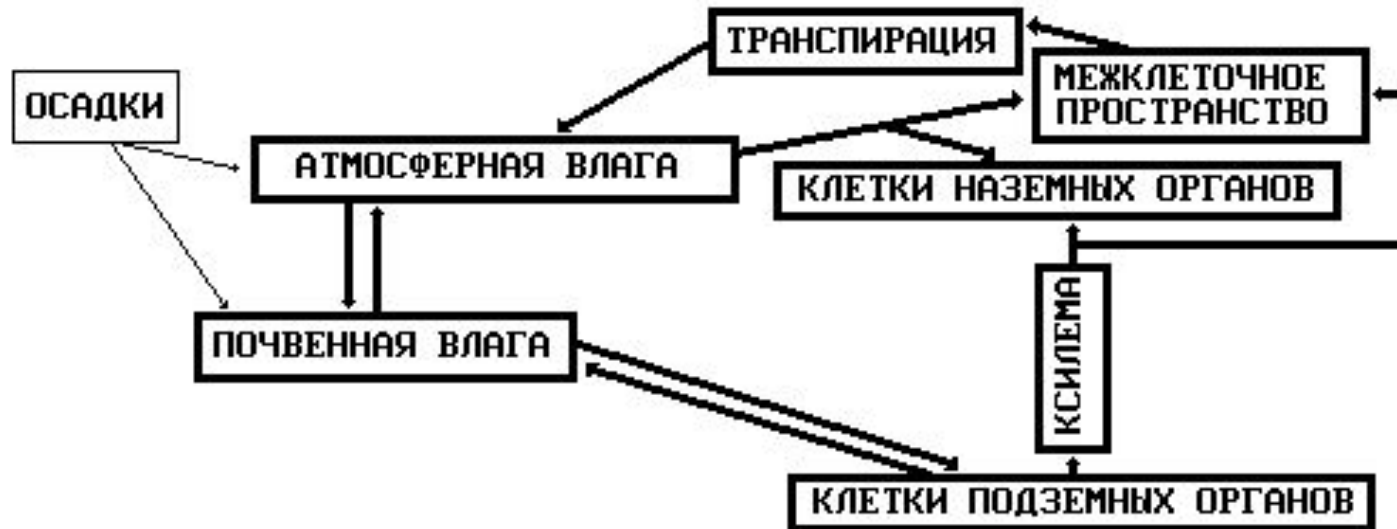


Рис.4. Перенос влаги в системе почва – растение – атмосфера (Ориг.)



# Всю влагу в экосистеме можно разделить на

•почвенную



•атмосферную



•растительную



•зоологическую



**Поступление влаги в растение идет по двум направлениям:**  
**непосредственно из атмосферы и из почвы.** Атмосферная влага, задерживаясь на листьях, поглощается клетками растений или поступает через устьица в межклетники.

**Основное количество влаги растения все же получают из почвы через специализированные органы - корни. Влага, а вместе с ней различные элементы минерального питания и физиологически активные вещества, всасываются в корневые волоски, поступают в сосуды ксилемы и распределяются следующим образом:**

- **Остаются в клетках корня** для поддержания его в тургорном состоянии и обеспечения физиологических функций.
- **Запасаются в специально приспособленных для этого органах** (корневищах, клубнях, луковицах, корневой шейке, утолщенных корнях, стеблях и листьях).
- **Поступают в наземные органы** для выполнения физиологических функций.
- По сосудам ксилемы вода передвигается в межклеточные пространства, подходит к устьицам и испаряется через них в атмосферу, то есть **расходуется на транспирацию**.

# ВЛАГОПЕРЕНОС В ПОЧВЕ

**Баланс влаги в почве складывается из двух взаимно противоположных процессов:**

- *промачивания* и
- *иссушения.*

# ПРОМАЧИВАНИЕ

атмосферные  
осадки

роса

Сток  
с вышерасположенных  
участков

капиллярный  
подъем  
грунтовых вод

орошение и  
поливы

Однако, все эти факторы действуют непродолжительное время и не регулярно.

# ИССУШЕНИЕ

**Испарение  
из почвы**

**Транспирация  
растениями**

**Сток  
на нижерасположенные  
участки**

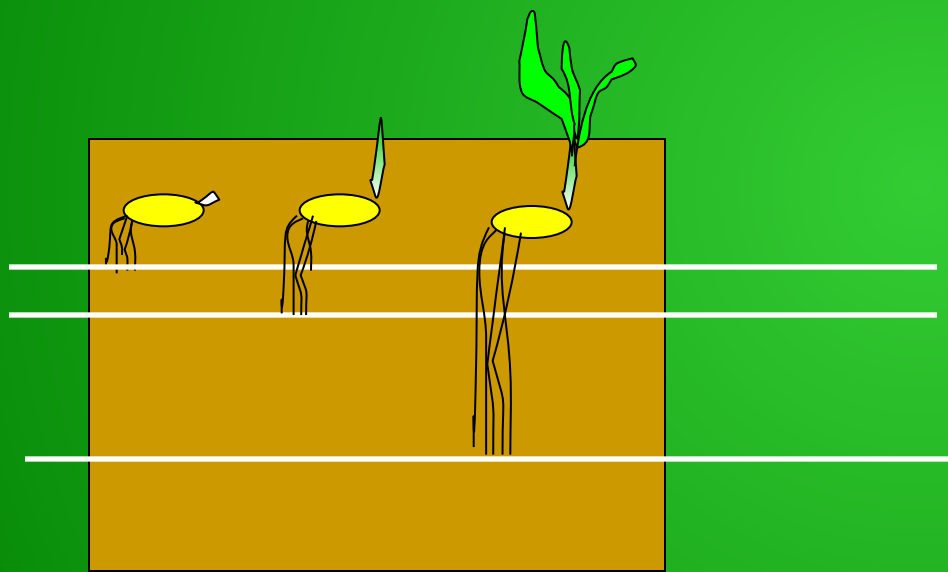
**Сток  
в грунтовые воды**

**Сброс избытков  
воды в  
дренажные  
системы**

**Поэтому для растения гораздо важнее режим иссушения, который действует на протяжении почти всего вегетационного периода**

**Запас влаги в корнеобитаемом, а тем более в метровом слое почвы, который учитывается многими моделями, довольно далеки от реального водопотребления растений.**

**По мере роста корни постепенно осваивают влагу нижних горизонтов.**



**Следовательно, для повышения точности работы модели необходимо разбить почвенную часть экосистемы на отдельные слои (компартменты) и рассчитывать влажность каждого слоя отдельно.**



Следовательно, толщина почвенных слоев для расчета влажности должна соответствовать таковой для температуры. Распределение корневой системы тоже должно соответствовать этим слоям, что позволит подключить модуль динамики роста корневой системы.

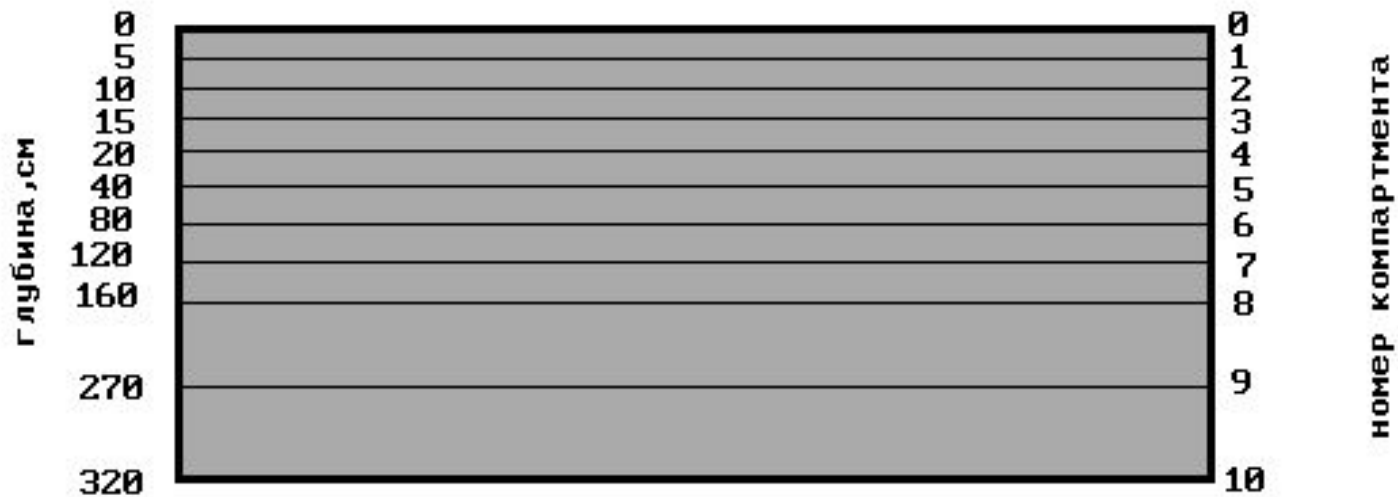


Рис.5. Схема почвенных компартов для расчета динамики влажности почвы (Ориг.).

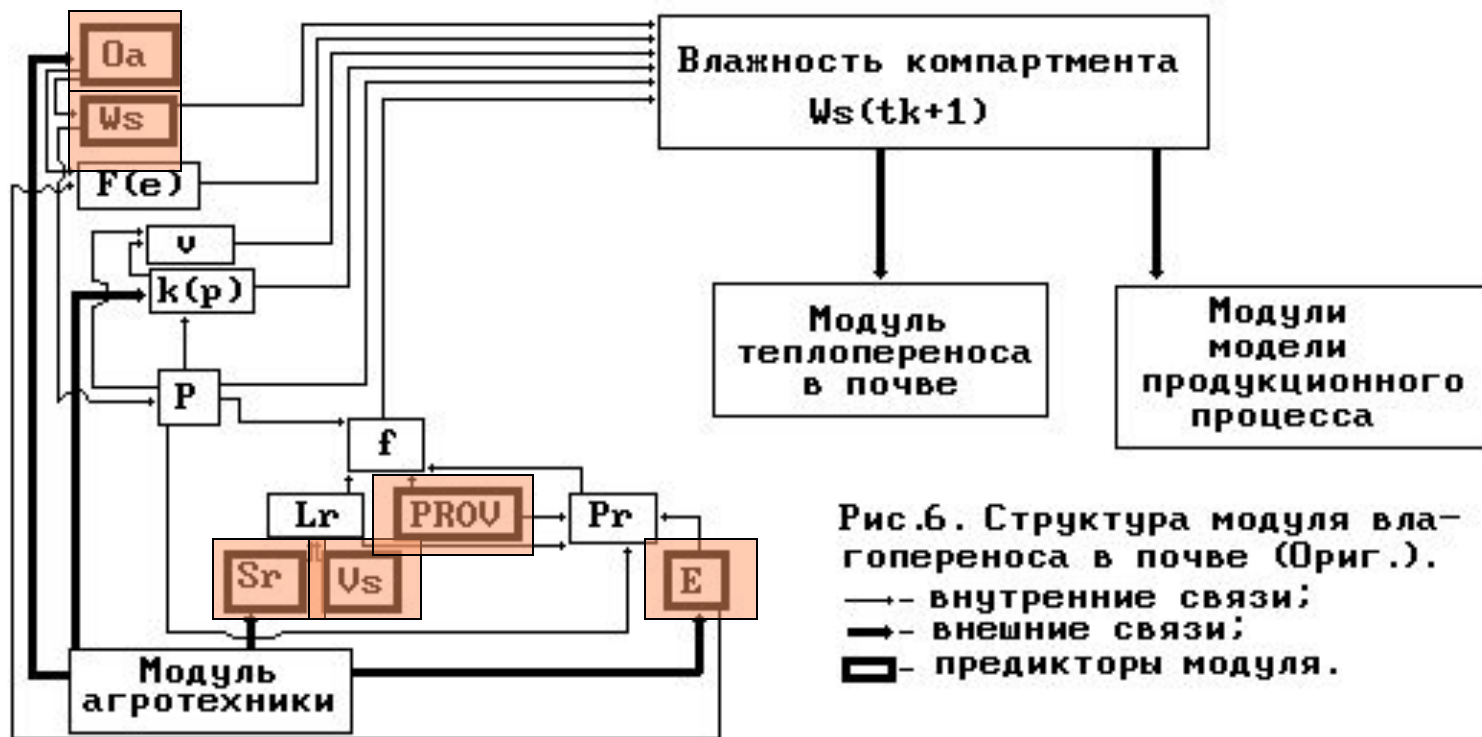
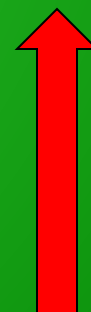
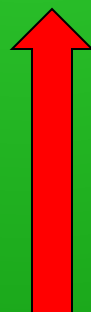
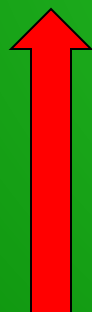


Рис.6. Структура модуля теплопереноса в почве (Ориг.).

$\rightarrow$  - внутренние связи;  
 $\Rightarrow$  - внешние связи;  
 $\square$  - предикторы модуля.

**Направление движения влаги  
между компартментами  
зависит от режима увлажнения почвы**

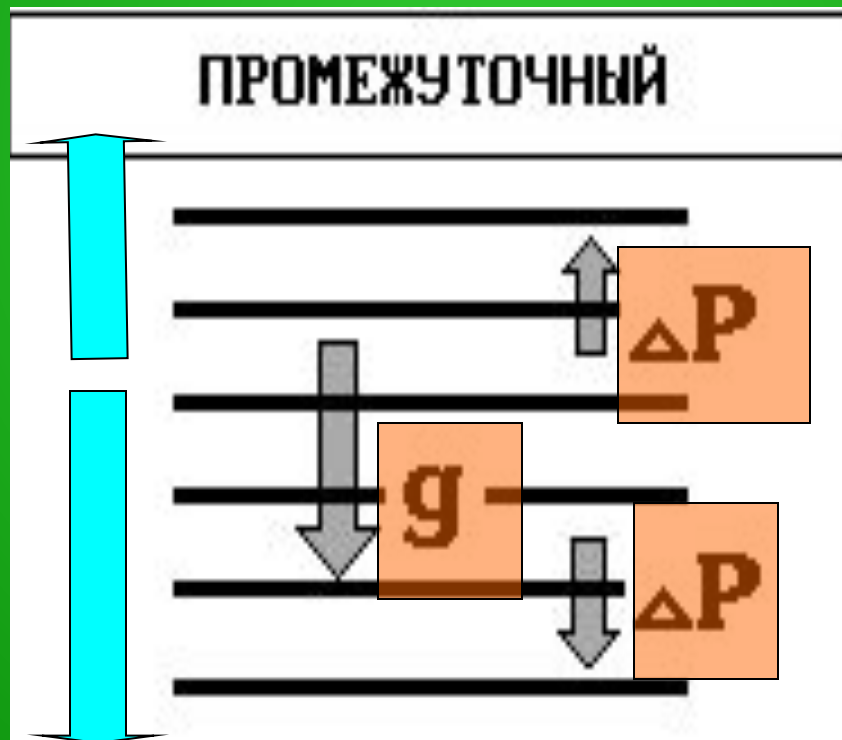


в режиме **промачивания** почвы влага передвигается  
сверху вниз под действием **гравитации**

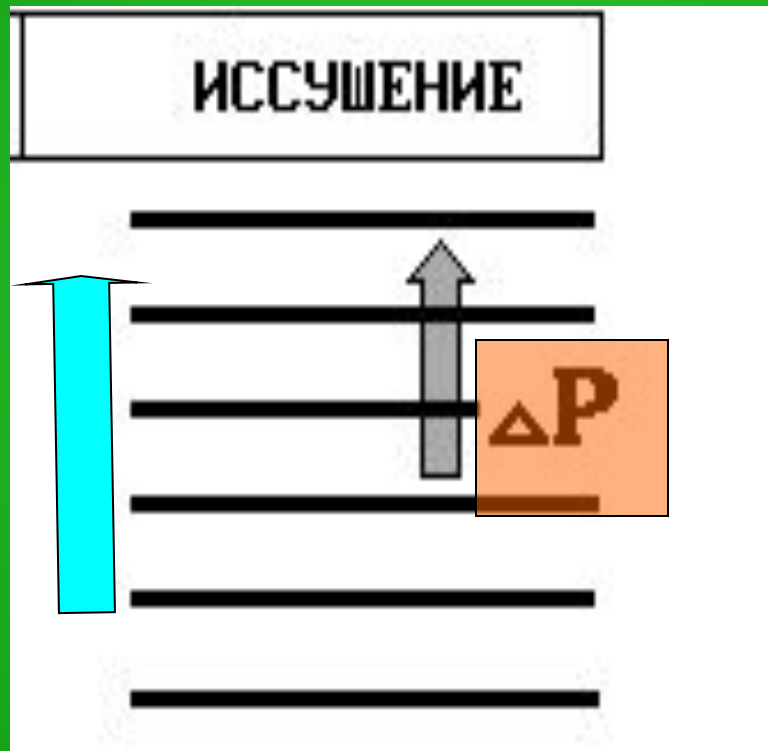
и **градиента водного потенциала** **нижних**  
**горизонтов**



некоторое время после дождя влага за счет инерции двигается вниз, но уже начинают работать силы, заставляющие двигаться ее вверх.



*в режиме **иссушения** почвы влага передвигается снизу вверх под действием **водного потенциала** верхних горизонтов.*



*скорость обмена влагой  
между почвенными компартментами  
зависит от  
градиента их водного потенциала и  
коэффициента влагопроводности*

# ВОДНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ

Сила, которая обеспечивает поглощение капельно-жидкой влаги почвенных агрегатов называется сосущей силой почвы (или **водным потенциалом**) ( $P$ ), который изменяется в зависимости от количества влаги в почве.

**Водный потенциал** (или "давление" почвенной влаги) – это величина отрицательная и измеряется в гектопаскалях, атмосферах или сантиметрах водного столба. При уменьшении влажности он увеличивается по абсолютной величине, а при достижении полной влагоемкости обращается в ноль.



Графическое изображение функции зависимости водного потенциала от влажности называется **кривой водоудерживания** (или **основной гидрофизической характеристикой (ОГХ)**) **ПОЧВЫ.**

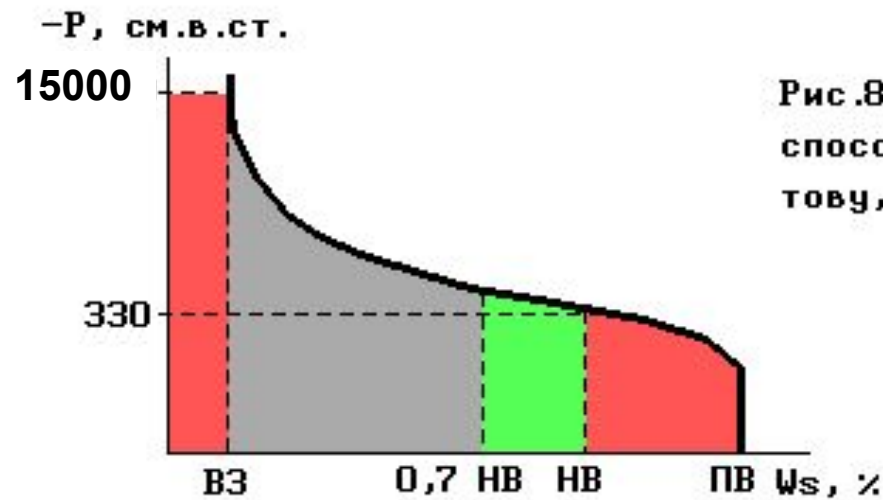


Рис.8. Кривая водоудерживающей способности почв (по Р.А.Полуэктову, 1991).

# КОЭФФИЦИЕНТ ВЛАГОПРОВОДНОСТИ

Следующий показатель, характеризующий водный режим почвы - **коэффициент влагопроводности**.

При полном насыщении почвы влагой он называется **коэффициентом фильтрации**.

Этот показатель определяет скорость передвижения влаги по компартментам почвы.

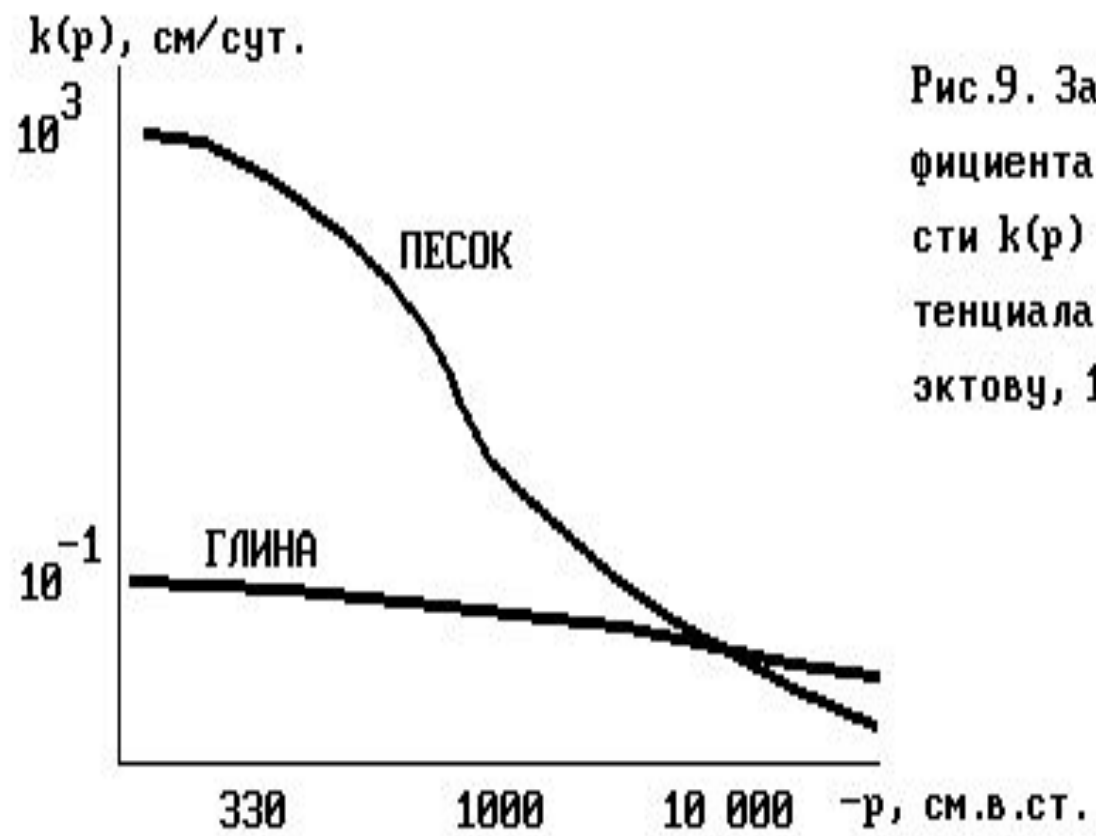
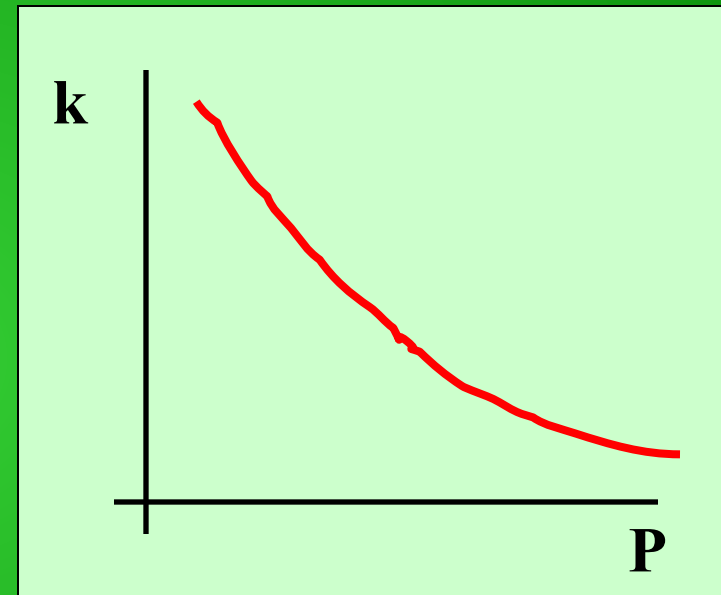
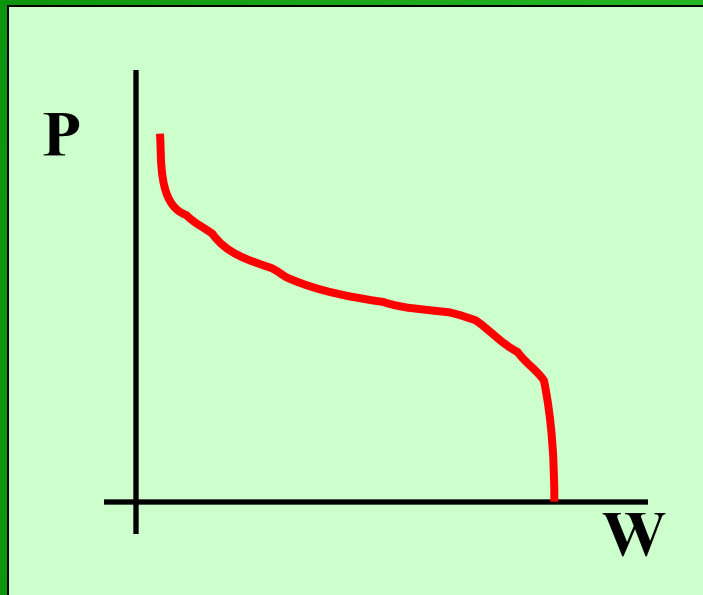


Рис.9. Зависимость коэффициента влагопроводности  $k(p)$  от водного потенциала  $P$  (по Р.А.Полухову, 1991).

**Итак, влажность почвы связана с водным потенциалом**

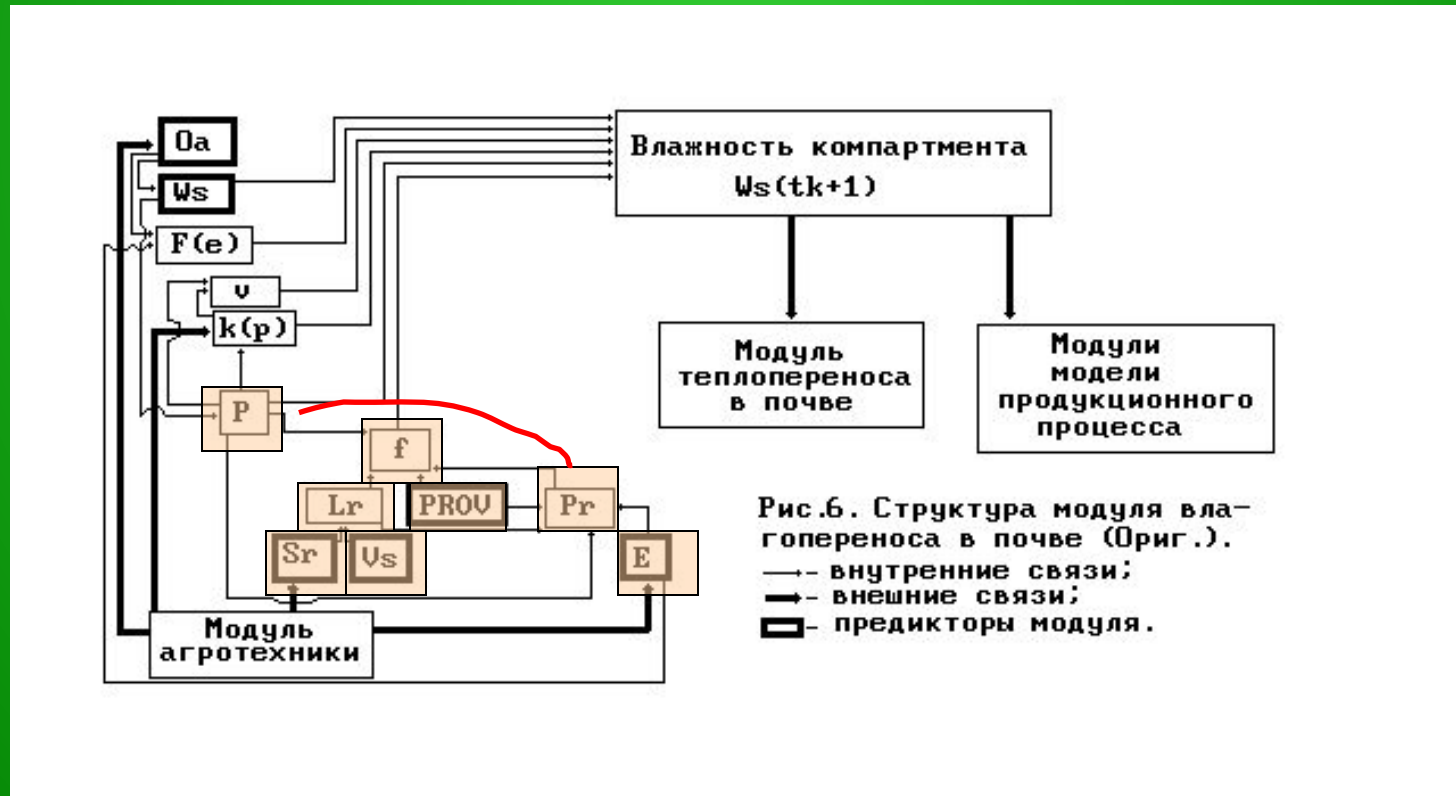
**Водный потенциал связан с коэффициентом  
влагопроводности**



**Следовательно, зная влажность компартамента, можно  
рассчитать его водный потенциал, а через него  
коэффициент влагопроводности, что обеспечит расчет  
расчет содержания влаги в компарimente на следующий  
шаг расчета модуля**

Если почва покрыта растительностью, то почвенное испарение приближается к нулю в зависимости от площади проективного покрытия фитоэлементами.

Так, при 100%-ном покрытии испарение из почвы столь мало, что в расчетах им можно пренебречь. Тем не менее, почва все же теряет влагу за счет **транспирации растениями**. Поглощение влаги корневой системой идет в первую очередь из тех горизонтов, которых достигли корни.



Водный режим почвы можно регулировать агротехническими способами через действие на

- атмосферные осадки,
- коэффициент влагопроводности,
- площадь корневой системы и
- транспирацию растений.

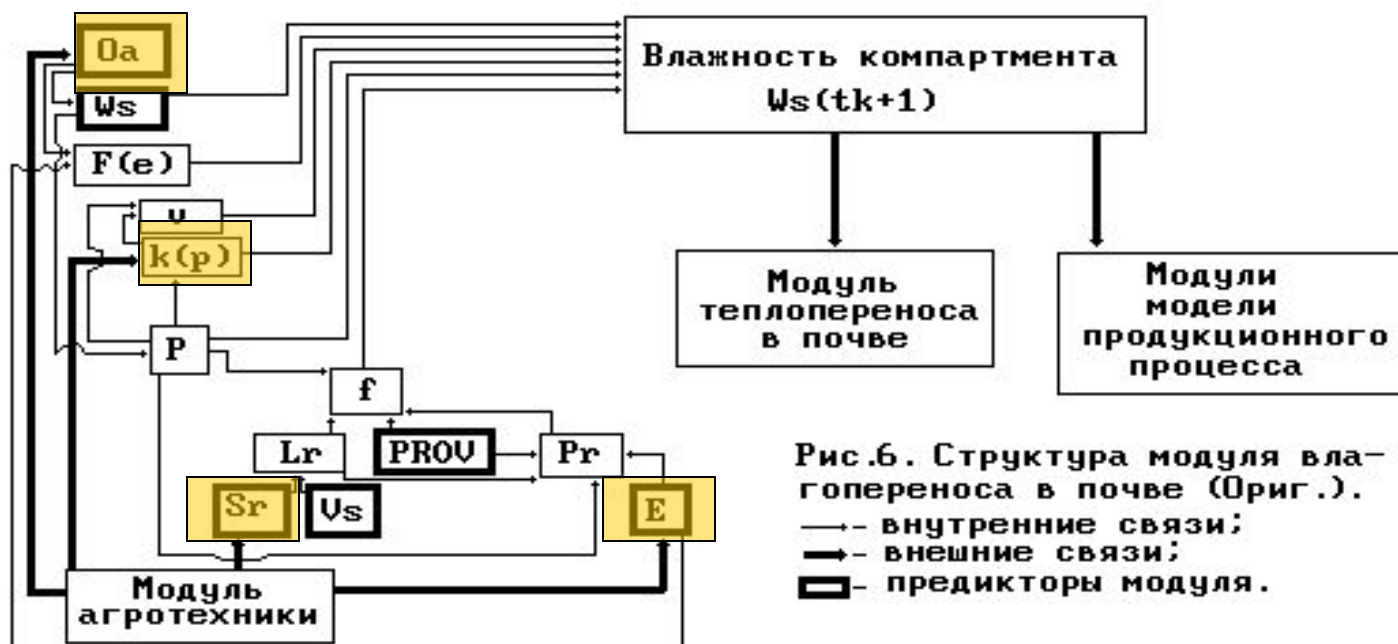
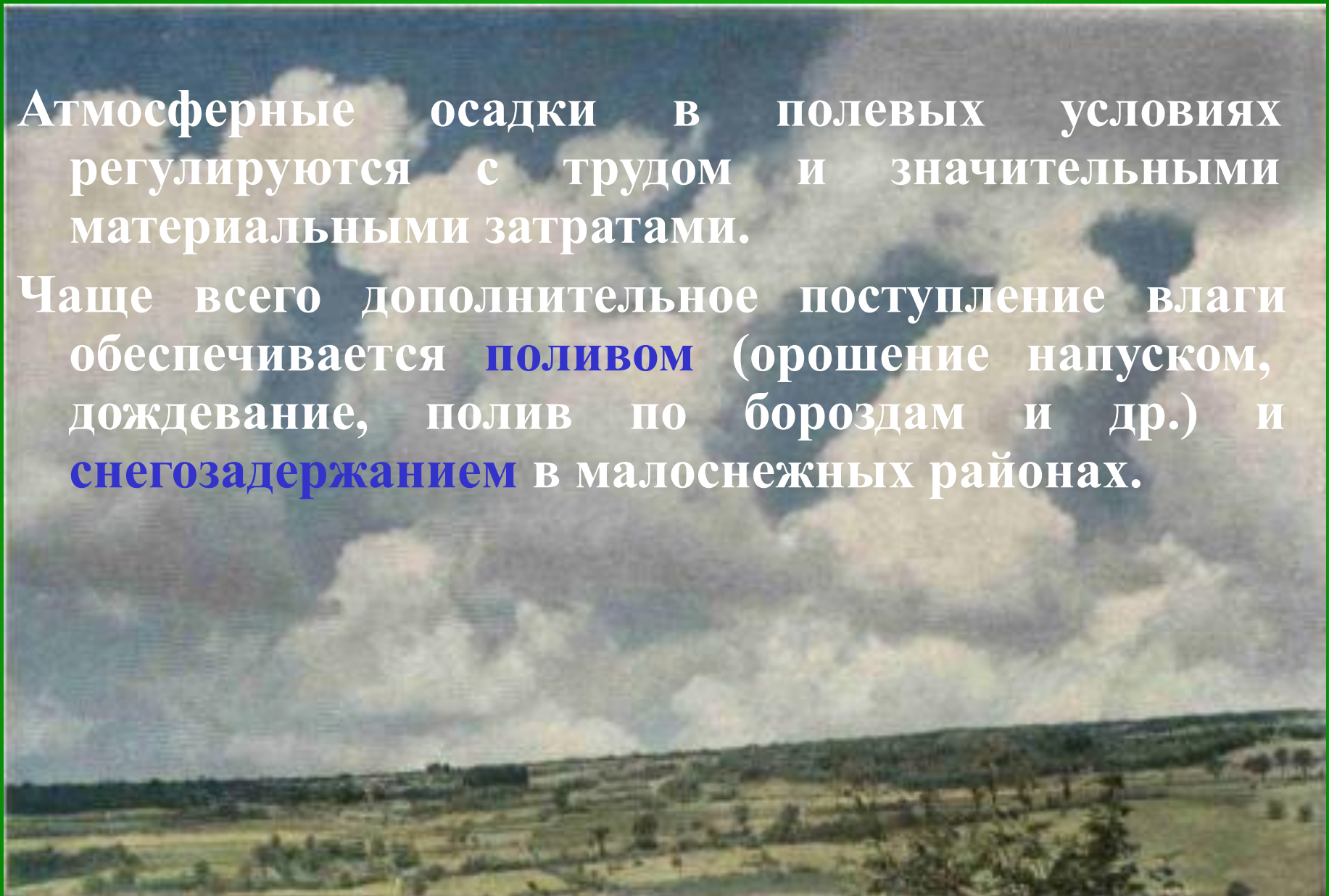


Рис.6. Структура модуля влагопереноса в почве (Ориг.).  
— — внутренние связи;  
→ — внешние связи;  
▭ — предикторы модуля.

Атмосферные осадки в полевых условиях регулируются с трудом и значительными материальными затратами.

Чаще всего дополнительное поступление влаги обеспечивается **поливом** (орошение напуском, дождевание, полив по бороздам и др.) и **снегозадержанием** в малоснежных районах.



**Коэффициент влагопроводности зависит не только от водного потенциала, но и от плотности почвы. Чем более она оструктурена, тем больше ее влагопроводность.**

**Плотность почвы регулируется почвообрабатывающими орудиями**





Регулировать влажность почвы можно и через действие на **площадь корневой системы**.

Чем больше площадь корней в слое почвы, тем выше их общее потребление влаги, то есть почва быстрее иссушается.

Поэтому, чем засушливее зона, тем меньше **норма высева культурных растений**.

На переувлажненных почвах высеваются **влаголюбивые культуры** с высоким коэффициентом транспирации, что значительно понижает уровень грунтовых вод.

**Многокомпонентные смеси культур** рекомендуется подбирать таким образом, чтоб основная масса корней размещалась у разных видов на разной глубине, что позволяет более рационально использовать ресурсы влаги.

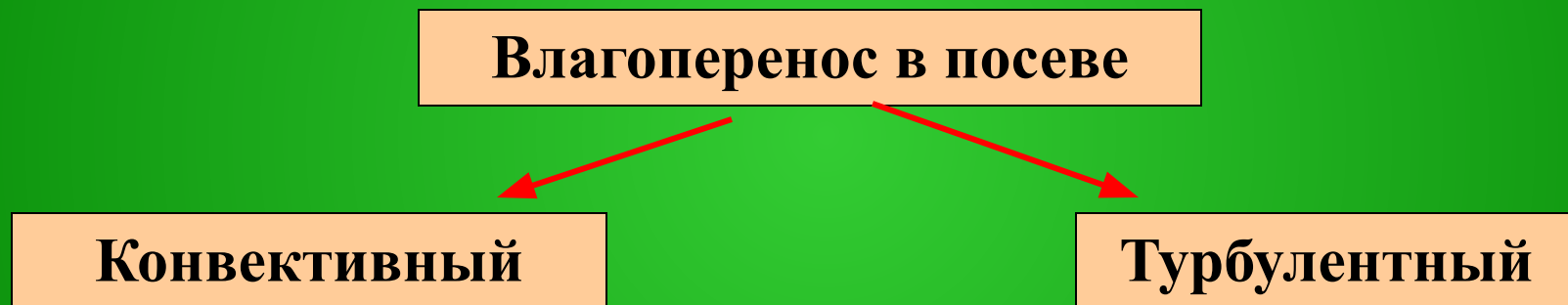
Обычно в агроэкосистемах растения периодически испытывают недостаток влаги, вызывающий водный стресс и, как следствие, снижение фотосинтетической активности, ведущее к недобору биомассы.

Здесь должна помочь **селекция**, направленная на получение сортов с пониженным транспирационным коэффициентом. Это позволит снизить непродуктивные потери воды на испарение.



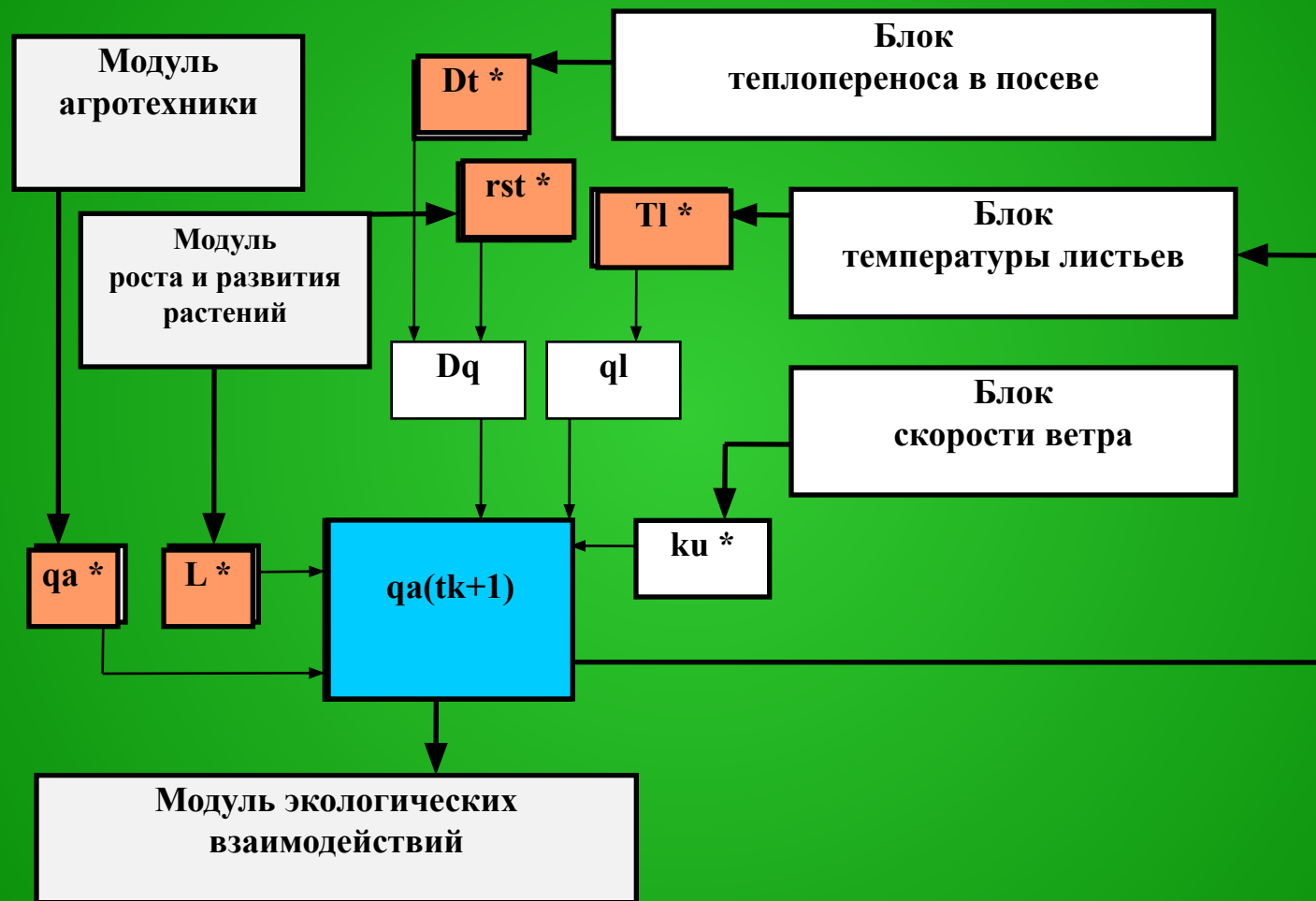
# ВЛАГОПЕРЕНОС В ПОСЕВЕ

Запасы влаги, содержащиеся в поступающих к экосистеме воздушных массах, постоянно пополняются за счет эвапотранспирации.



Влагоперенос в компартментах происходит одновременно с теплопереносом

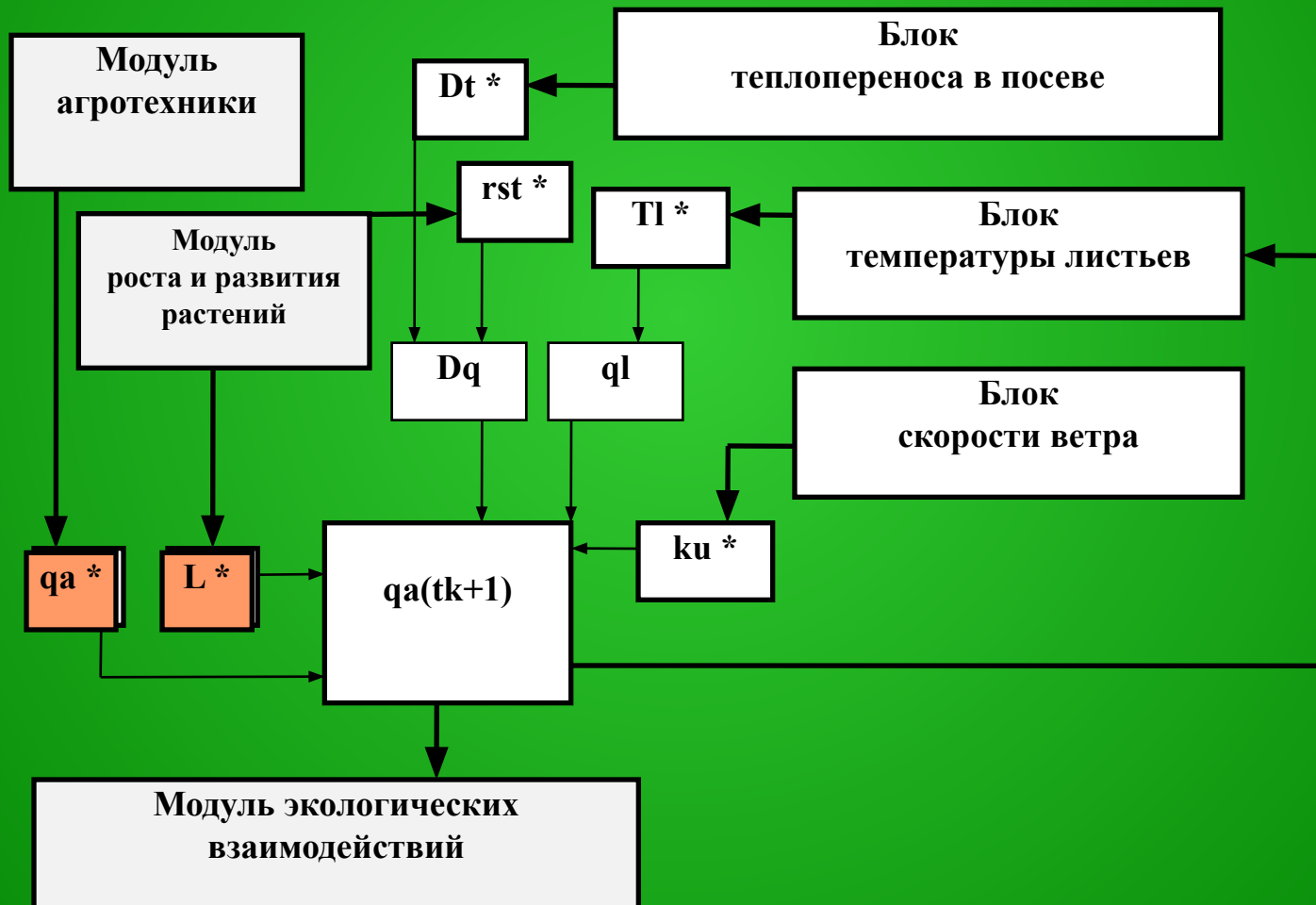
**Исходными параметрами, от которых зависит влажность воздуха в наземных компартаментах являются:**



# Способы регулирования влажности воздуха направлены на изменение

**листового индекса (L)**

**и влажности воздуха (qa).**



# **МАЛОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЯ ВЛАГИ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР (МОДЕЛЬ 2 УРОВНЯ ПРОДУКТИВНОСТИ)**

**Разработка базовой модели 2-го уровня продуктивности достаточно сложна, равно как и ее использование в повседневной практике. Поэтому для расчетов, не требующих большой точности и допускающих погрешность 15...25%, можно пользоваться малопараметрической моделью**

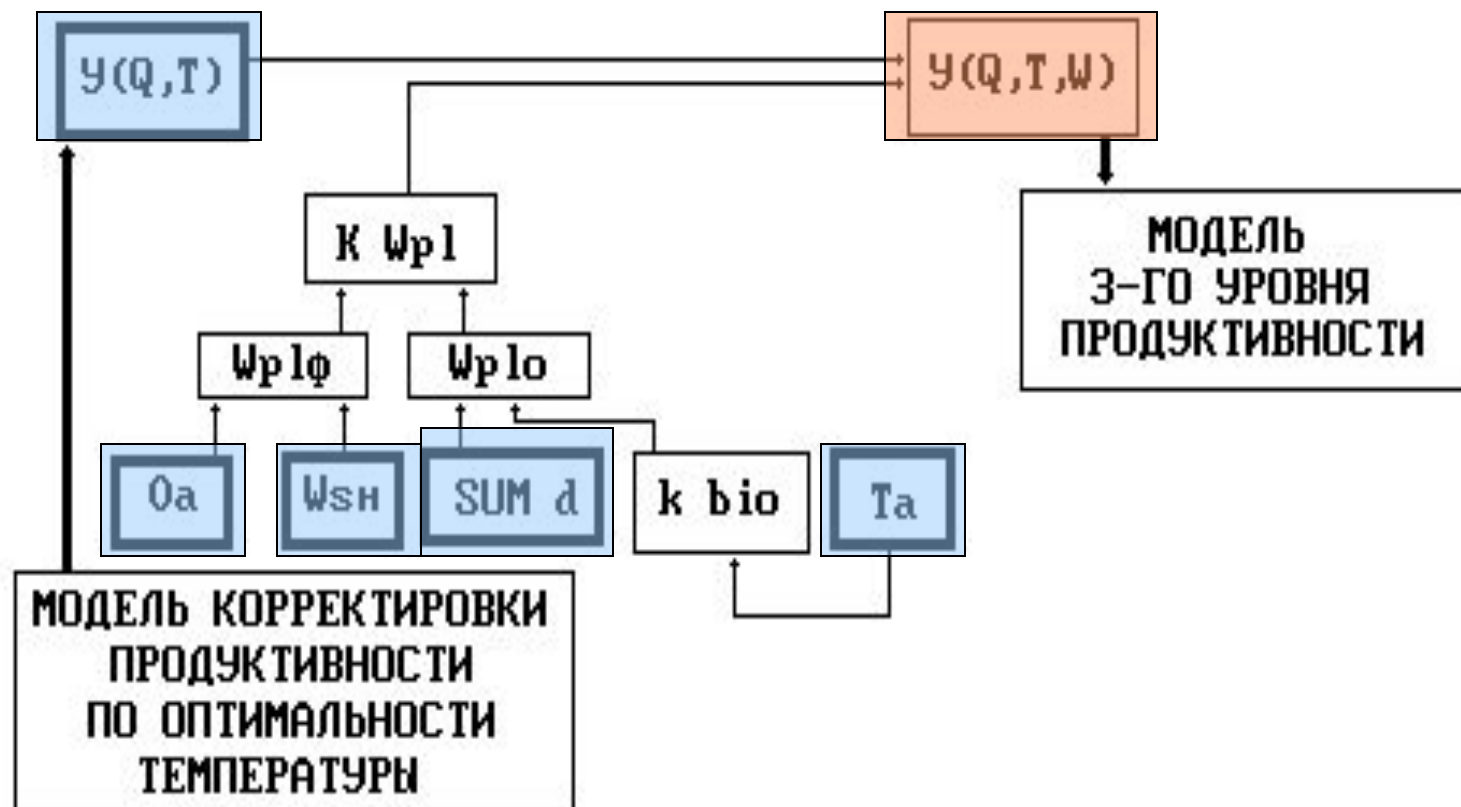


Рис.11. Структурная схема модели 2-го уровня продуктивности (Ориг.);  $\Rightarrow$  - внешние связи;  $\rightarrow$  - внутренние связи;  $\square$  - предикторы модели.

Далее рассчитывается функция оптимальности увлажнения, которая в общем виде записывается

$$K_w = \frac{W_{pl}\phi}{W_{plo}}$$

Величина  $W_{pl}\phi$  рассчитывается по **сокращенному уравнению водного баланса**, для которого задаются  $W_{sh}$  - запасы влаги в корнеобитаемом слое почвы на начало вегетации, мм;  $O_a$  - сумма осадков за учитываемый период вегетации, мм. Эти входные параметры задаются или по прогнозу, или по фактическим наблюдениям.

**Оптимальное водопотребление** можно определить по общепринятой формуле Алпатьева:

$$W_{plo} = R_{bio} \cdot \text{SUMd}$$

Биоклиматический коэффициент приближенно определяется по формуле:

$$R_{bio} = (1 - k_{mk} \cdot T_a)$$



Для расчета величины урожайности в зависимости от влагообеспеченности применяется производственная функция А. С.Образцова (1990):

$$Y(Q, T, W) = Y(Q, T) \cdot K_w$$

Несмотря на недостатки присущие всем регрессионным моделям, малопараметрическую модель 2-го уровня продуктивности можно использовать для решения **прогностических и оптимизационных** задач.

Например, изменяя температуру, дефицит влажности, запасы влаги в почве и количество осадков, можно **прогнозировать уровень урожайности при различных значениях этих параметров.**

И, наоборот, **для оптимизации параметров** можно задать уровень урожайности, а затем подбирать значения  $O_a$ ,  $W_{sh}$ ,  $SUM_d$ , и  $T_a$ , после чего искать способы регулирования фактически наблюдаемых значений до рассчитанных при помощи агротехнических приемов.

**Спасибо за внимание!**