



# Инструмент CROPWAT и его функциональные возможности для оценки потребности растений в воде

Кахрамон Джумабоев, Тулкун Юлдашев

26 июля 2022 г. – Кызылорда, Казахстан

Международный институт управления водными ресурсами

# Введение

- Режим орошения - это совокупность оросительной и поливных норм, числа и сроков поливов.
- При проектировании режима орошения определяют водопотребление (суммарное испарение), оросительные и поливные нормы, сроки и число поливов каждой культуры севооборота, составляют график гидромодуля и согласовывают режим орошения с режимом водоисточника.
- Режим орошения зависит от характера сельскохозяйственных растений, метеорологических условий года, свойств почвы, гидрогеологических условий, организационно-хозяйственных условий

# Цель презентации

- Обзор местных методик определения режима орошения сельхозкультур;
- Ознакомление с международной методикой ФАО расчета водопотребления и режим орошения;
- Ознакомление с расчетами оросительных и поливных норм по методике ФАО и сравнение их с местными методами



# МЕТОДИКА ГИДРОМОДУЛЬНОГО РАЙОНИРОВАНИЯ СОЮЗНИХИ (1988-1991)

**Единая Шкала гидромодульных районов  
для условий Средней Азии и Южного Казахстана**

Гидромод. район	Характеристика почвы
<i>Аэтоморфные почвы (УГВ &gt; 3 м)</i>	
I <sup>a</sup>	Очень маломощные, сильнокаменистые разные по гранулометрическому составу
I	Маломощные (0,2-0,5 м) среднекаменистые различного гранулометрического состава на песчано-галечниковых отложениях и на гипсах, а также мощные песчаные
II	Среднемощные слабокаменистые разные по гранулометрическому составу на песчано-галечниковых отложениях и гипсах; мощные супесчаные и легкосуглинистые
III	Мощные средне, тяжелосуглинистые и глинистые
<i>Полугидроморфные почвы (УГВ 2-3 м)</i>	
IV	Мощные песчаные и супесчаные, а также мало- и среднемощные разного гранулометрического состава
V	Мощные легко- и среднесуглинистые однородные; тяжелосуглинистые, облегчающиеся книзу
VI	Мощные тяжелосуглинистые и глинистые плотные, однородные; разные по гранулометрическому составу, слоистые по строению
<i>Гидроморфные (УГВ 1-2 м)</i>	
VII	Мощные песчаные и супесчаные, а также мало- и среднемощные разного гранулометрического состава
VIII	Мощные легко- и среднесуглинистые однородные; тяжелосуглинистые, облегчающиеся книзу
IX	Мощные тяжелосуглинистые и глинистые плотные, однородные; разные по гранулометрическому составу, слоистые по строению

# Преимущество метода “СоюзНИХИ”

Преимущество метода “СоюзНИХИ” в том, что обоснование оросительных норм привязано к фазам развития сельхозкультур и режимы орошения рассчитаны на основе фактических натуральных полевых исследований проводившиеся в различных почвенно-климатических условиях.

Сезонная оросительная норма представляет собой сумму этих общих поливных норм. Это основная составляющая общего водопотребления или суммарного испарения влаги с орошаемого поля.

В дополнение, кроме оросительной нормы, к суммарному водопотреблению входят: запасы влаги в почве, образованные атмосферными осадкам или промывками засоленных земель; осадки и расход грунтовых вод в вегетационный период

# Подпитка из уровня грунтовых вод, %

Уровень грунтовых вод, м	Однородные или облегчающиеся к низу почвогрунты				Тяжелые или слоистые почво-грунты			
	ГМР	Хлопчатник	Люцерна	Кукуруза	ГМР	Хлопчатник	Люцерна	Кукуруза
2-3	V	40-45	55-60	25-30	VI	5-10	20-25	0
1-2	VIII	60-65	75-80	35-40	IX	25-30	35-40	10-15

# Режим орошения (УЗНИХИ)

$$M_{\text{бр.пол}} = 10 \times (E - O) \times K_1 \times K_2 \times K_3$$

Здесь:  $M$  – оросительная норма (м<sup>3</sup>/га);

$E$  – испарение за вегетационный период (апрель-сентябрь) (мм);

$O$  – количество осадков (мм);

$(E - O)$  – Дефицит влаги, (мм);

$K_1$  – биоклиматический коэффициент для III базисного гидромодульного района;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий водно-физические свойства и гидрогеологические условия;

$K_3$  – коэффициент, учитывающий КПД техники полива.



# Биоклиматический коэффициент $K_1$

Биоклиматический коэффициент  $K_1$  – определялась как отношение оптимальной оросительной нормы к дефициту влаги на основе многолетних полевых экспериментальных исследований СоюзНИХИ, НИИ Земледелия Таджикистана, Қиргизстана Туркменистана и Казахстана.

$K_1$  для III гидромодульного района для средневолокнистого хлопчатника - 0,65; для тонковолокнистого хлопчатника- 0,70; для люцерны- 0,70; и кукурузы - 0,52, озимые зерновые -0,15.

Гидромул район	Культуры		
	Хлопчатник	люцерна	Кукуруза
I	1,15	1,1	1,15
II	1,05	1,05	1,05
III	1	1	1
IV	1,1	0,95	1,1
V	0,75	0,7	0,8
VI	0,9	0,8	0,95
VII	0,85	0,75	0,95
VIII	0,5	0,5	0,6
IX	0,65	0,6	0,75

# Режим орошения хлопчатника

Средазгиппроводхлопок		СоюзНИХИ		Разница по отношению к нормам по Средазгиппроводхлопок, %
Количество поливов	Оросительная норма м <sup>3</sup> /га	Количество поливов	Оросительная норма м <sup>3</sup> /га	
Ц-II (Бухора), А, область «а», III гидромодул район				
5	7000	7	7500	+ 7,1
Ц-II (Бухора), А, область «в», V гидромодул район				
5	6200	5	5500	- 11,2

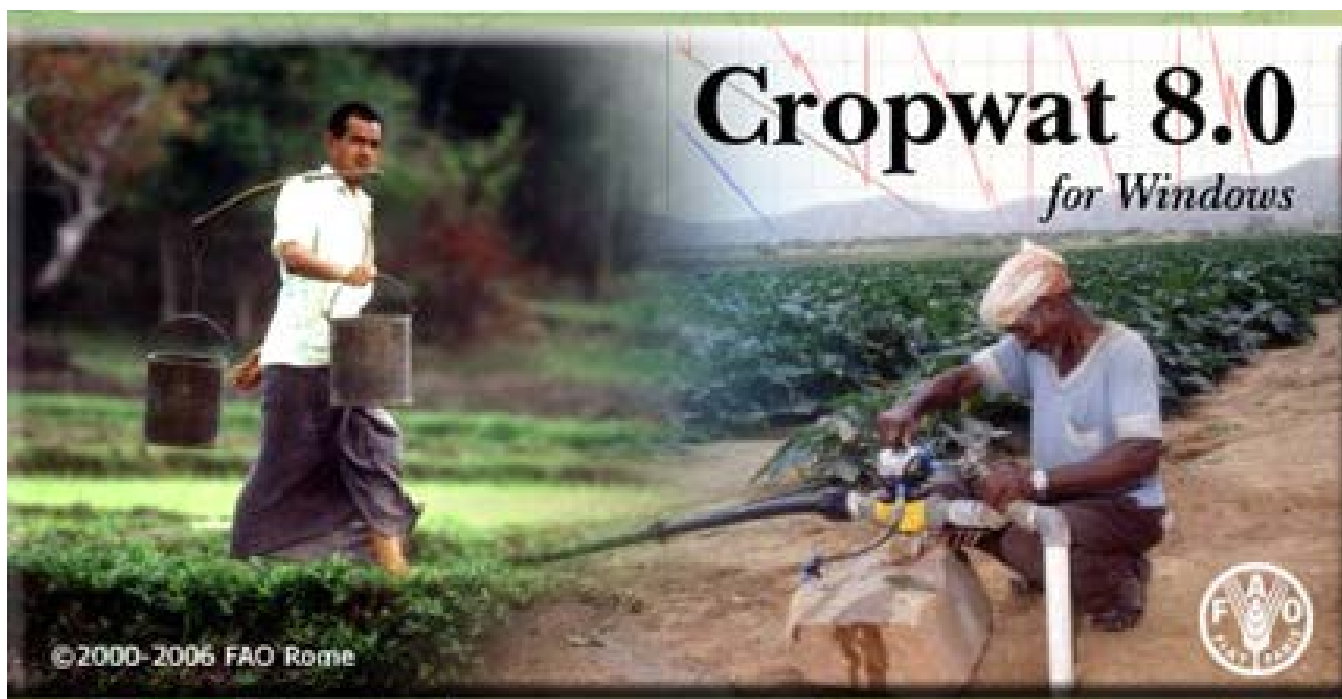
# Методика по разработке удельных норм водопотребления и водоотведения

(Приказ Замминистра - Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 30 декабря 2016 года № 545) Кызылординская область

<https://adilet.zan.kz/rus/archive/docs/V1600014827/30.12.2016>

Орошаемые культуры	Почвенно-гидрогеологические области								
	Автоморфные, (УГВ>3 метра)			Полугидроморфные, (УГВ=2 – 3 метра)			Гидроморфные, (УГВ=1 – 2 метра)		
	Расчетная обеспеченность стока, %								
	50	75	95	50	75	95	50	75	95
Яровые зерновые	3300	3800	4600	2400	2800	3400	1650	2100	2550
Озимая пшеница	2950	3450	4250	2150	2550	3200	1500	1900	2400
Кукуруза на зерно	5350	6100	7000	3800	4400	5100	2750	3250	3800
Кукуруза на силос	4600	5150	6050	3300	3800	4500	2450	2850	3400
Хлопчатник	6050	6700	7700	4050	4600	5450	2650	3150	3950
Картофель	5450	6100	6850	3900	4350	5000	2750	3250	3700
Овощи	6550	7400	8350	4650	5300	6000	3300	3850	4450
Бахчевые	4100	4400	4900	3100	3400	3650	2350	2550	2750
Многолетние травы	7950	8600	9900	5600	6100	7250	3950	4400	5450
Соя	4850	5600	6500	3350	4150	5000	2150	3100	3950
Виноградники	4750	5500	6400	3400	4050	4750	2500	3050	3550
Сады	6750	7650	8800	4350	5100	6100	2750	3350	4350

# Программа расчета режима орошения



USAID PEER Cycle 4 Project , 2017-2018

# Метод ФАО – Уравнение Пенмана-Монтейта

FAO Irrigation and Drainage Paper

No. 56

Crop  
Evapotranspiration

(guidelines for computing crop water requirements)

This pdf version of FAO-56 has a February 2008 errata sheet at the end of the document followed by the corrected Examples 35 and 38

by  
Richard G. ALLEN  
Utah State University  
Logan, Utah, U.S.A.

Luis S. PEREIRA  
Instituto Superior de Agronomia  
Lisbon, Portugal

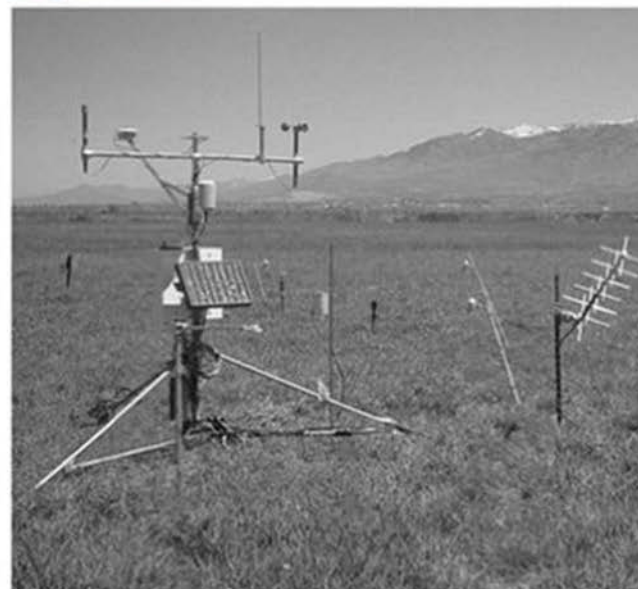
Dirk RAES  
Katholieke Universiteit Leuven  
Leuven, Belgium

Martin SMITH  
FAO, Water Resources, Development and Management Service  
Rome, Italy

The ASCE Standardized

Reference  
Evapotranspiration  
Equation

Edited by  
Richard G. Allen  
Jon A. Waters  
Ronald L. Elliott  
Serry A. Howell  
Daxel Kortebein  
Martin E. Jensen  
Richard L. Snyder



ASCE



IWMI

International Water  
Management Institute

# Эвапотранспирация при стандартных условиях (ЕТс)

ЕТс является эвапотранспирацией с хорошо удобренных, здоровых культур, выращенных на большом поле в оптимальных условиях увлажнения почвы и достигшие полной продуктивности в данных климатических условиях:

$$ET_c = K_c ETo$$

# Уравнение эталонной ET

$$ET_{sz} = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{C_n}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + C_d u_2)}$$

Где:  $ET_0$  = эталонная эвапотранспирация [ $\text{мм сут}^{-1}$ ];

$R_n$  = чистая радиация на поверхности растений [ $\text{МДж м}^{-2} \text{сут}^{-1}$ ];

$G$  = плотность теплового потока почвы [ $\text{МДж м}^{-2} \text{сут}^{-1}$ ],

$T$  = среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м [ $^{\circ}\text{C}$ ],

$u_2$  = скорость ветра на высоте 2 м [ $\text{м с}^{-1}$ ],

$e_s$  = давление насыщенного пара [кПа],

$e_a$  = фактическое давление пара [кПа],

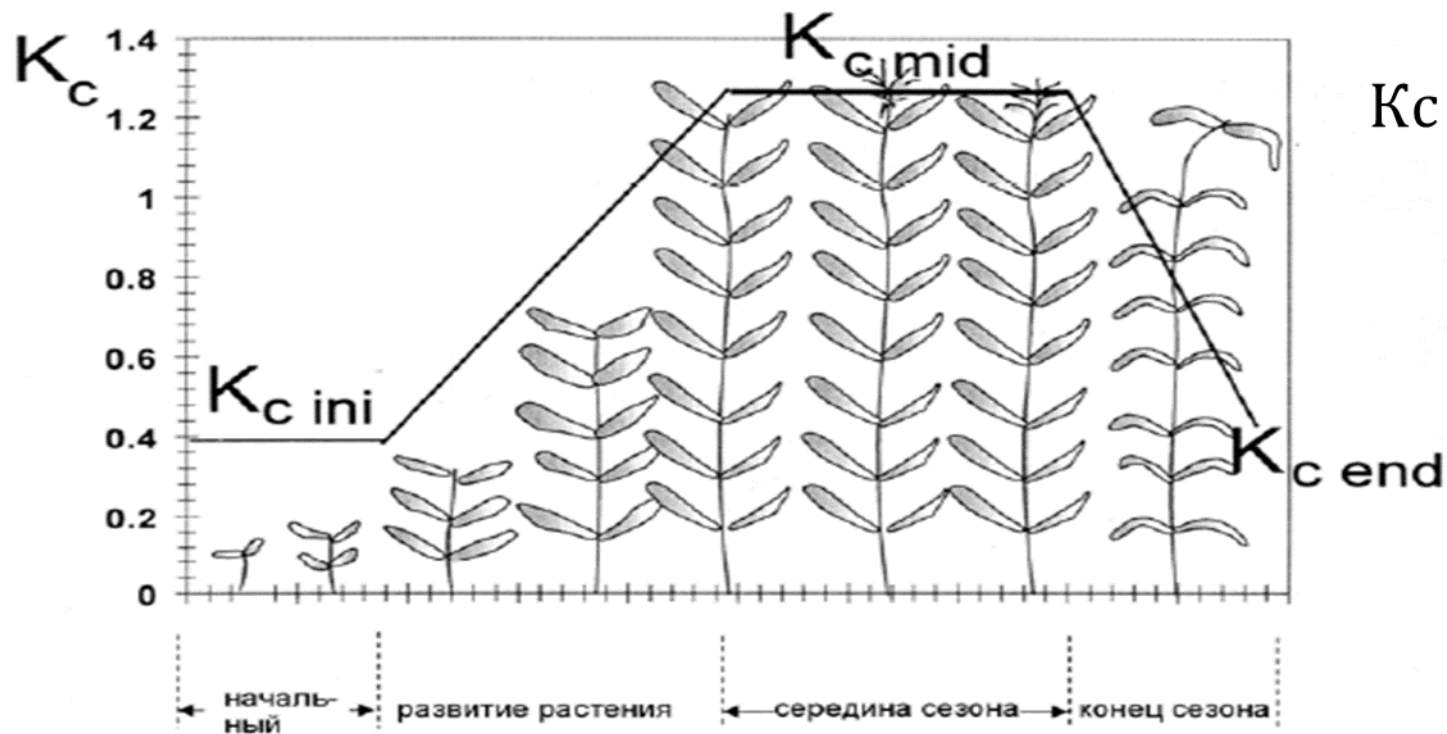
$[e_s - e_a]$  = дефицит давления пара насыщения [кПа],

$\Delta$  = уклон кривой давления пара [кПа  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ],

$\gamma$  = психрометрическая постоянная [кПа  $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ].



# Выбор коэффициента сельхозкультур



$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0}$$

		I	II	III	IV
Хлопчатник	$K_c$	0,25	0,35	0,65	0,45
	$t$	37	45	31	

# Влажность почвы

## Доступная влага

$$TAW = 1000 (\theta_{FC} - \theta_{WP}) Z_r$$

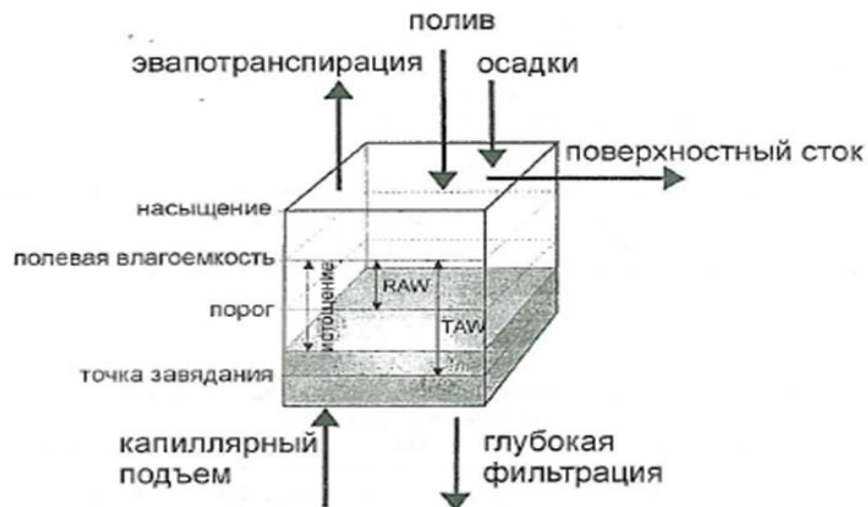
здесь:

TAW - общая доступная влага в корнеобитаемой зоне;

$\theta_{fc}$  - влажность при наименьшей (предельно-полевой влагоемкости);

$\theta_{wp}$  - точка завядания;

$Z_r$  - глубина корней



# Водно-физические свойства почвы

Типы почвы ( текстура по классификации USDA, Минсельводхоза США)	Водно-физические параметры		
	$f_c$	$w_p$	$(f_c - w_p)$
	$M^3 M^{-3}$	$M^3 M^{-3}$	$M^3 M^{-3}$
Песок	0,07-0,17	0,02-0,07	0,05-0,11
Глинистый песок	0,11-0,19	0,03-0,10	0,06-0,12
Супесь	0,18-0,28	0,06-0,16	0,11-0,15
Суглинок	0,20-0,30	0,07-0,17	0,13-0,18
Иловатый суглинок	0,22-0,36	0,09-0,21	0,13-0,19
Ил	0,28-0,36	0,12-0,22	0,16-0,20
Иловатый тяжелый суглинок	0,30-0,37	0,17-0,24	0,13-0,18
Иловатая глина	0,30-0,42	0,17-0,29	0,13-0,19
Глина	0,32-0,40	0,20-0,24	0,12-0,20

Источник: ФАО Ирригация ва дренаж 56 <http://www.cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/fao56.pdf>

[//www.cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/fao56.pdf](http://www.cawater-info.net/bk/improvement-irrigated-agriculture/files/fao56.pdf)

# Легкодоступная влага (RAW).

Доля TAW, которую растение может извлекать из корневой зоны, не испытывая водного стресса, является легко доступной водой:

$$RAW = p * TAW$$

Здесь,

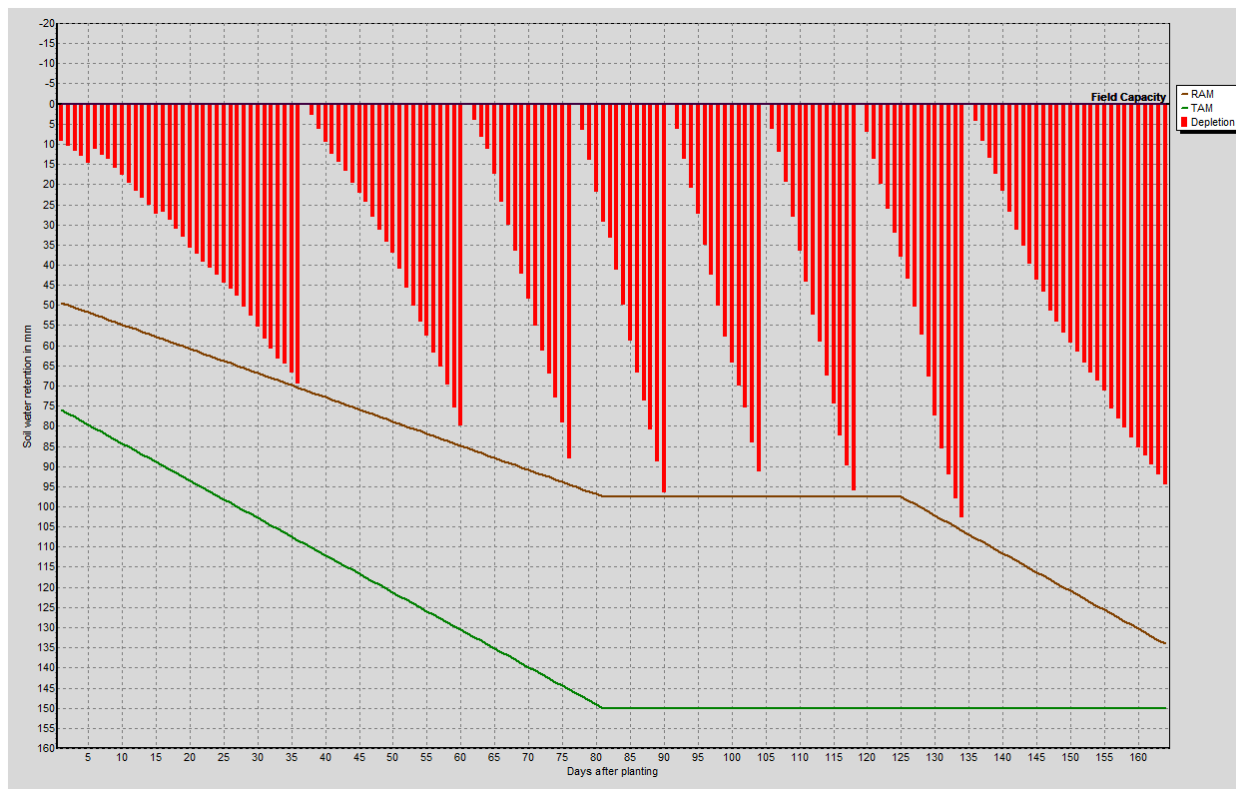
RAW – легко доступная вода в корневой зоне [мм];сув;

P – средняя доля общего количества воды (TAW), которая может быть изъята из корневой зоны до водного стресса (снижение ET) [0 - 1]

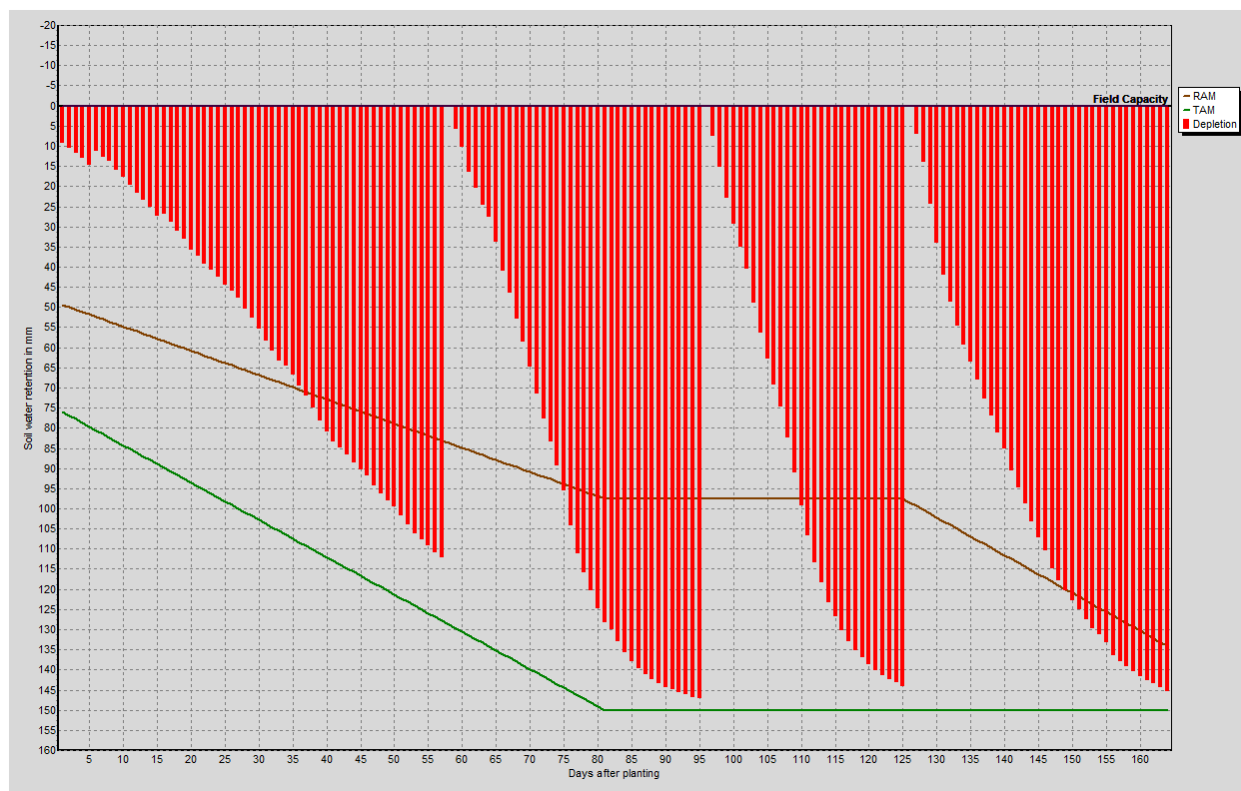
# Предполивной порог влажности (р)

- В соответствии с Методикой ФАО рекомендуется назначать поливы до того момента, как влажность в корнеобитаемом слое снизится до уровня легкодоступной влажности;
- Для всех культур определяется предполивной порог влажности (р), который предотвращает снижение урожайности из-за дефицита влаги
- «р» для хлопчатника для I и II стадии развития 0,60, III и IV стадии развития 0,65;
- «р» для озимой пшеницы 0,50 и 0,55.

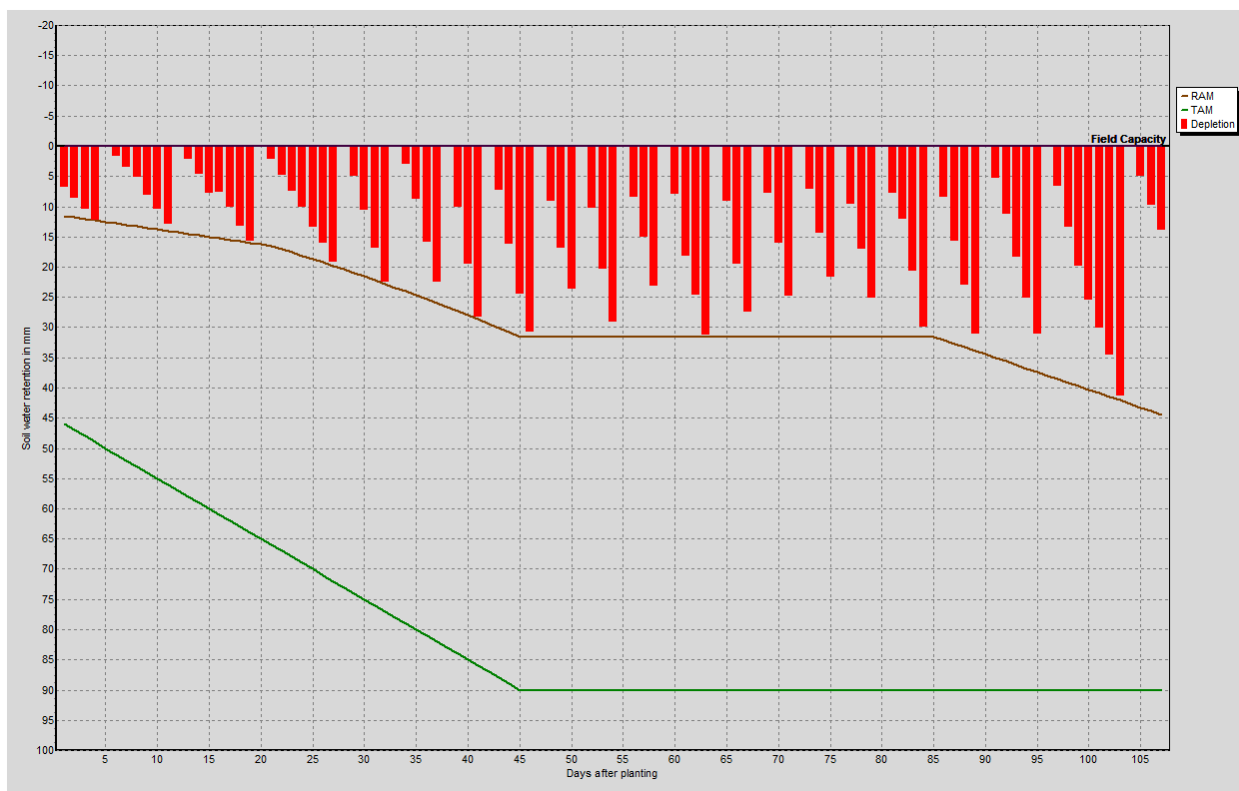
# Пример расчета режима орошения хлопчатника (Традиционный полив, Кызыюрда, II ГМР) (Идеальный график полива)



# Пример расчета режима орошения хлопчатника (Традиционный полив, Кызыюрда, II ГМР) (график полива при дефиците воды)

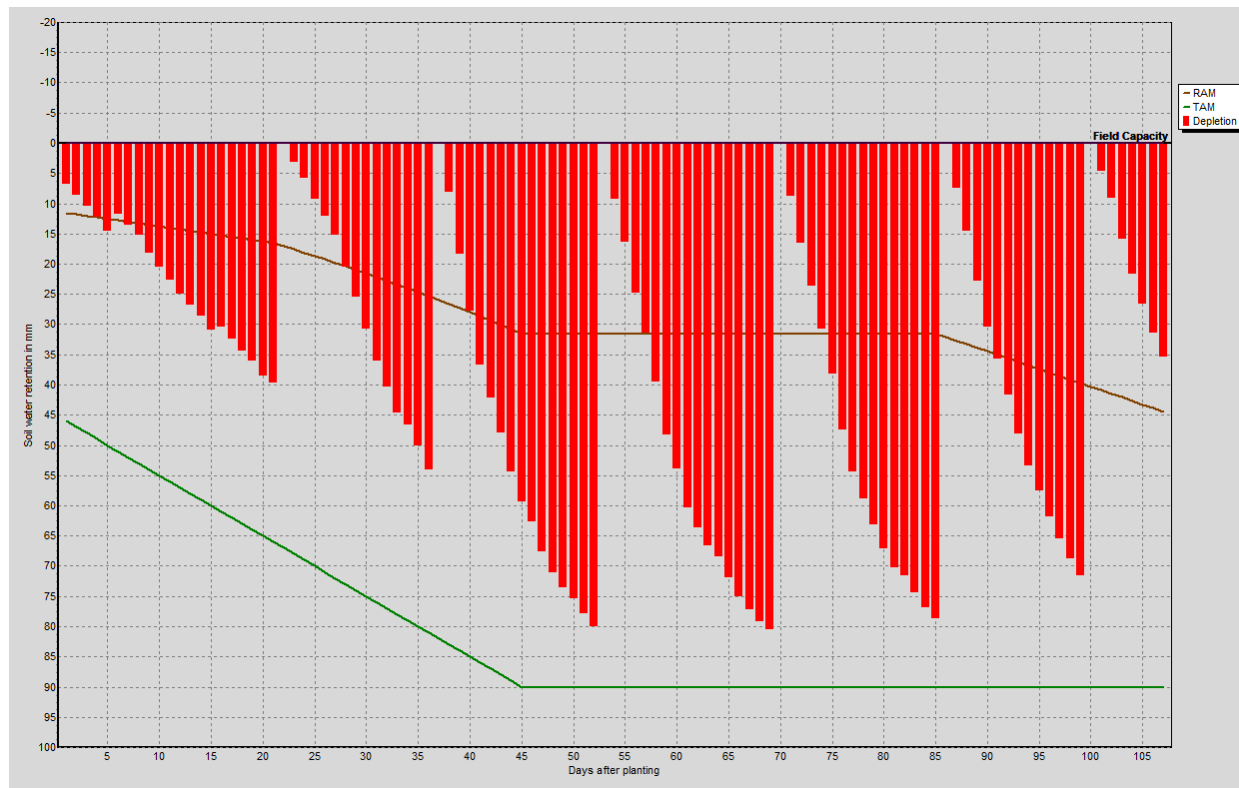


# Пример расчета режима орошения картофеля (Традиционный полив, Кызыорда, II ГМР) (Идеальный график полива)





# Пример расчета режима орошения картофеля (Традиционный полив, Кызыюрда, II ГМР) (график полива при дефиците воды)



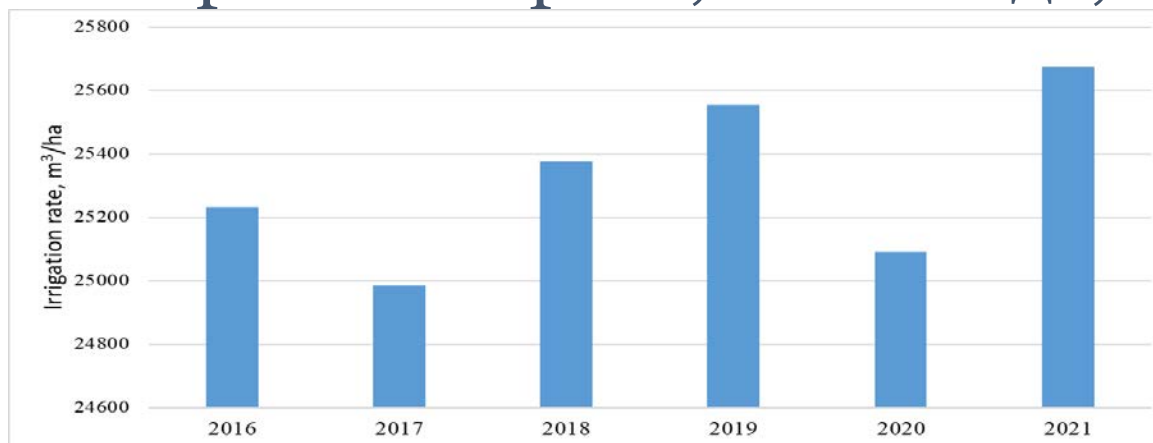
# Режим орошения хлопчатника, Кызылода, 2016-2021

Гидромодуль ный район	Министерств о сельского хозяйства, 2016	CROPWAT-8 Program					
		2016	2017	2018	2019	2020	2021
II	7700	5995	6926	6889	6844	5912	6644
V	5450	5020	4733	4680	4658	4831	5953
VIII	3950	4054	3756	3839	3681	4039	3630

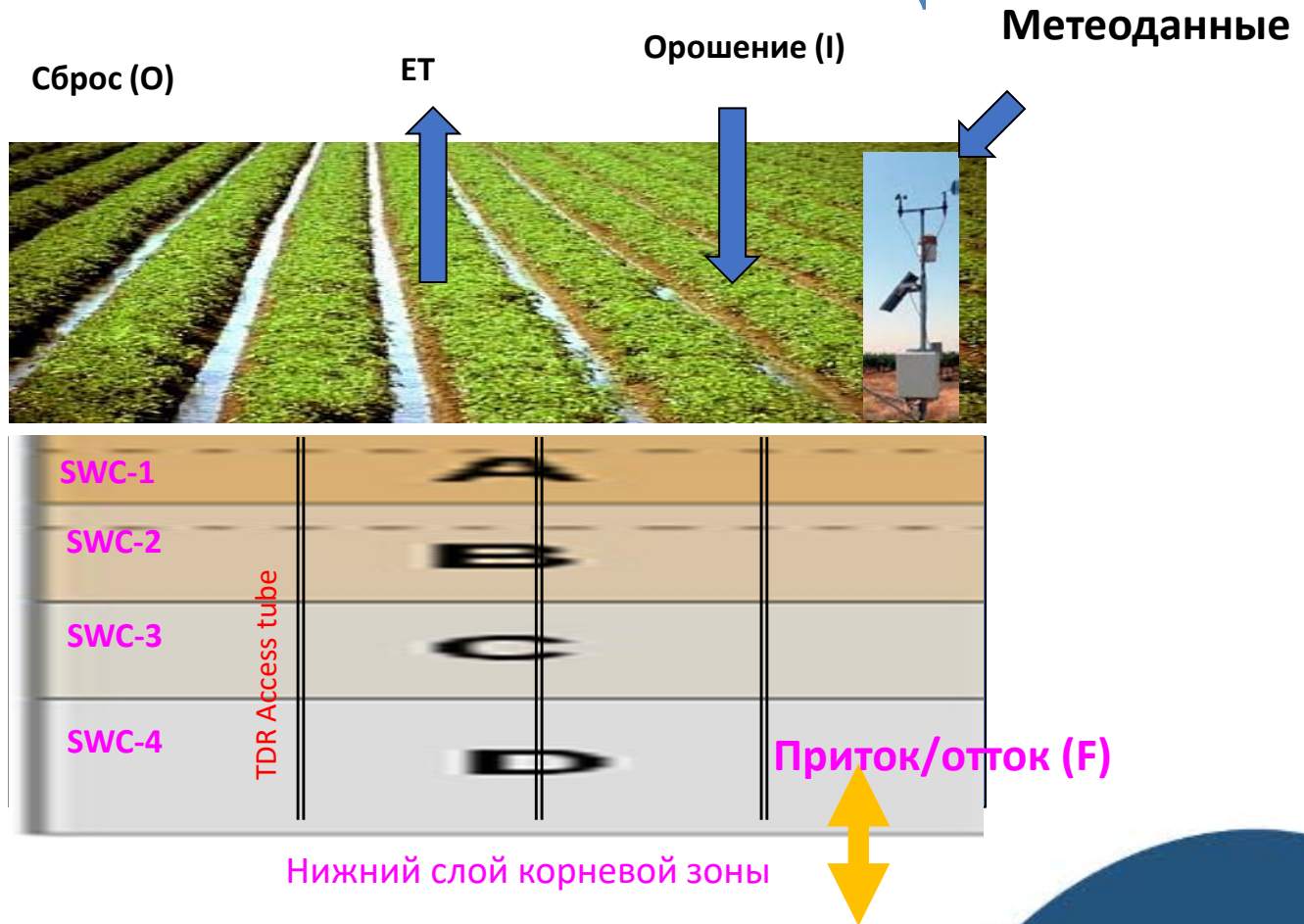
# Режим орошения картофеля, Кызылода, 2016-2021

Гидромодуль ный район	Министерств о сельского хозяйства, 2016	CROPWAT-8 Program					
		2016	2017	2018	2019	2020	2021
II	7700	5995	6926	6889	6844	5912	6644
V	5450	5020	4733	4680	4658	4831	5953
VIII	3950	4054	3756	3839	3681	4039	3630

# Режим орошения риса, Кызылода, 2016-2021



# ПЛАНИРОВАНИЕ ОРОШЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПОДСЧЕТА ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ

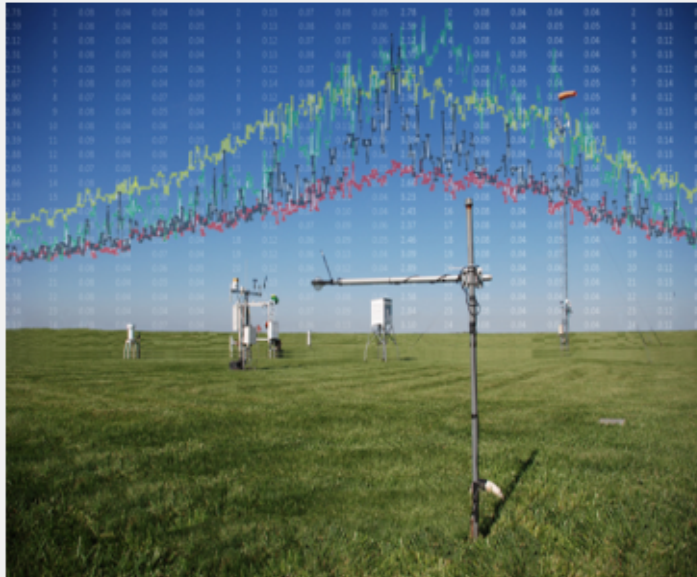


# Эталонный ET Calculator

Bushland Reference ET Calculator: Home

Menu Single Calculation Time Series

## Bushland Reference ET Calculator



Prasanna H. Gowda, Jerry E. Moorhead, Travis C. Warzecha,  
Terry A. Howell, Thomas H. Marek and, Dana P. Porter  
USDA-ARS Conservation and Production Research Laboratory  
Bushland, Texas

Version 2.0  
\*Copyright 2013

# Режим орошения, основанное на ET

## Какие данные нам нужны?

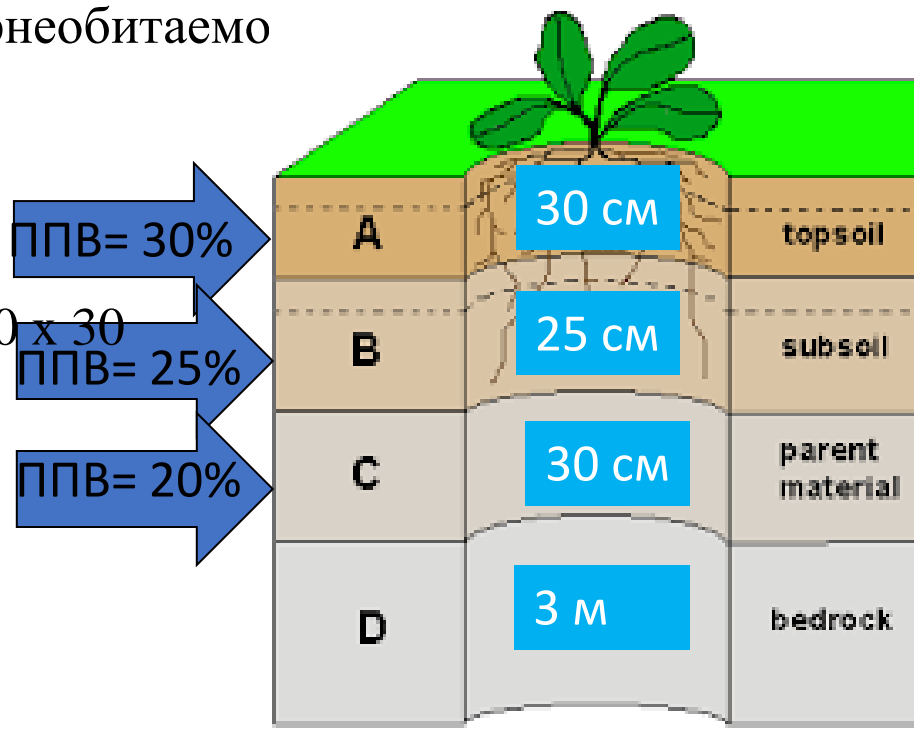
Эффективные осадки, Запасы влаги при ППВ, и ET

Определить запасы влаги в корнеобитаемо  
ППВ (FC)

ППВ каждого слоя

$$WNC = 0.3 \times 30 + 0.25 \times 25 + 0.20 \times 30$$

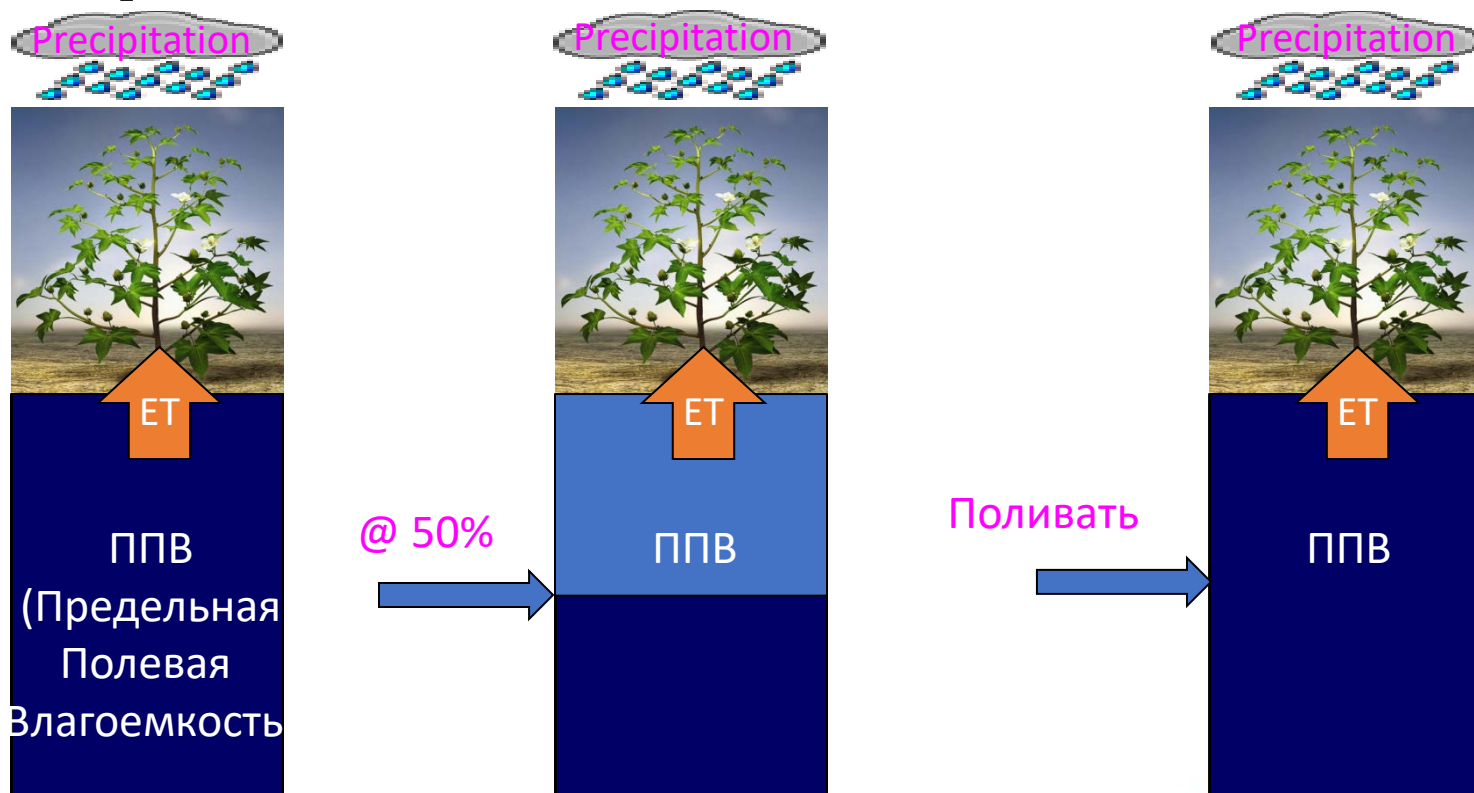
$$WNC = 21.25 \text{ см воды}$$



# Режим орошения, основанное на ET

Как мы будем это осуществлять?

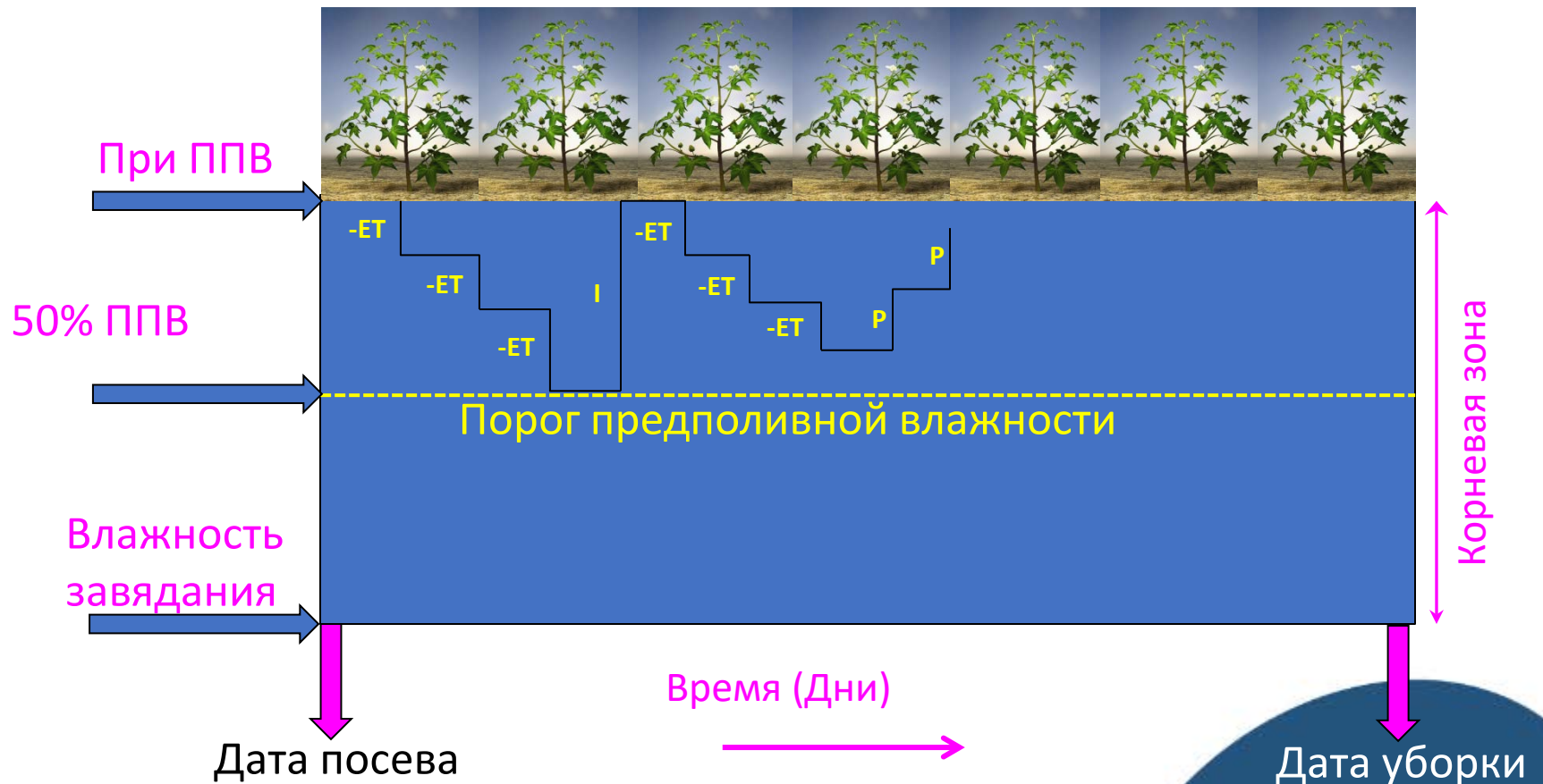
Поливать при влажности в почве 50% от ППВ.



Поливать при влажности  $WC = 50\%$  ППВ,

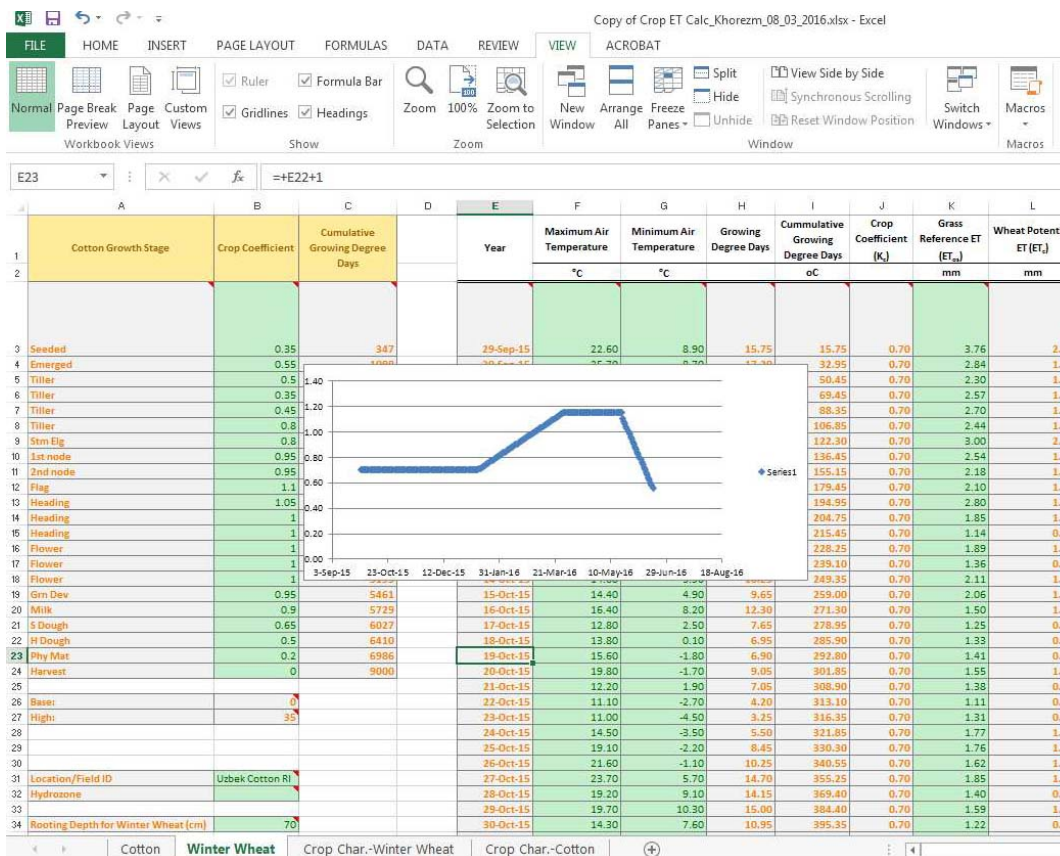
# Режим орошения, основанное на ET

▶ Как мы будем это осуществлять?





# График режима орошения





# Выводы

- Результаты исследований свидетельствуют о том, что режимы орошения сельхозкультур (Министерство сельского хозяйства Казахстана в 2016 г.) являются пока что единственными документами по обоснованию режима орошения в различных почвенно-климатических условиях Узбекистана и Казахстана.
- В мае 1990 года Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) совместно с Международным комитетом по ирригации и дренажу (МКИД) и Всемирной метеорологической организацией (ВМО) были организованы консультации специалистов для рассмотрения методологии ФАО на потребностях воды и для рекомендаций по исправлениям и обновлениям методов.
- Группа специалистов рекомендовала принять комбинированный метод Пенмана-Монтейта, как новый стандарт для эталонного суммарного испарения и использовать для вычисления различных параметров.

# Выводы

- На основании метеорологических, почвенных и сельскохозяйственных данных, собранных по Кызылординской области Республики Казахстан, по методологии ФАО были рассчитаны рекомендуемые режимы орошения для сельскохозяйственных культур.
- Результаты расчетов показывают, что нормы орошения хлопчатника и картофеля, рассчитанные для традиционного орошения по методике ФАО-56, для Кызылординской области на 10-15 % ниже рекомендуемых Министерством сельского хозяйства Казахстана.
- Результаты расчетов показывают, что нормы орошения риса, рассчитанные для традиционного орошения по методике ФАО-56, для Кызылординской области на 3-6 % выше рекомендуемых Министерством сельского хозяйства Казахстана.
- Режимы орошения культур меняются в зависимости от водности года, которая не учитывается в разработанных рекомендациях.

# Выводы

- Учитывая, что Кызылординская область ежегодно сталкивается с сокращением воды рекомендуется пересмотреть существующие режимы орошения с обновленными метеоданными в существующих почвенных и гидрогеологических условиях.
- Учет испарения рекомендуется осуществлять по методике Пенмана-Монтейта и использовать все имеющиеся возможности компьютерной программы CROPWAT-8
- Если доступны только данные о максимальной и минимальной температуре воздуха, рекомендуется измерять стандарт ET по методу Харгрейвса-Самани.
- Для этого целесообразно откалибровать модель по многолетним данным, а затем адаптировать метод Харгрейвса-Самани.

## IWMI-Publications

СПАСИБО  
Thank you

Email:  
[tulkun\\_yuldashev@mail.ru](mailto:tulkun_yuldashev@mail.ru)  
[k.djumaboev@cigar.org](mailto:k.djumaboev@cigar.org)

Innovative water solutions for sustainable development  
Food · Climate · Growth

<http://www.iwmi.cgiar.org/resources/apps/>

