

Рекомендации по оценке потребностей в поливе основных сельскохозяйственных культур в зонах экономического планирования

1	ВВЕДЕНИЕ.....	1
2	Климатические данные	2
2.1	Температура	2
2.2	Осадки	4
2.3	Другие климатические параметры.....	5
2.4	Эвапотранспирация эталонной культуры (ET_0).....	5
3	ПАРАМЕТРЫ КУЛЬТУРЫ, ВВОДИМЫЕ В ПРОГРАММУ cropwat.....	5
3.1	Дата посадки.....	5
3.2	Продолжительность вегетационного периода	5
3.3	Коэффициенты культур	6
3.4	Глубина корневой системы различных культур	6
4	ПОЧВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ В ПРОГРАММЕ cropwat.....	7
4.1	Доступная почвенная влага (AWC).....	7
4.2	Коэффициенты истощения и легко доступная почвенная влага (RAM)	9
5	ГРАФИК ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛИВОВ	9
6	ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ТАБЛИЦЫ ПРОГРАММЫ Cropwat.....	10
7	РЕКОМЕНДАЦИИ	144

Резюме

В этой записке даны среднесуточные климатические данные по одиннадцати метеостанциям, которые охватывают большинство агроклиматических зон Центральной Азии.

Также здесь описаны данные, которые требуются для расчетов графиков проведения поливов с помощью программы CROPWAT - среднемесячная ежесуточная температура, относительная влажность воздуха, скорость ветра, продолжительность солнечного сияния в часах и осадки, а также методология расчетов. Установки по умолчанию параметров культур и почв непригодны для условий Центральной Азии. Скорректированные данные по основным параметрам культур основаны на анализе минимальных температур – главном факторе роста тропических культур. Зоны к северу от Кызыл-Орды и горные зоны на отметках выше 800 метров не подходят для выращивания тропических культур. В других зонах, за исключением зон на южных границах, расположенных на низких отметках над уровнем моря, период идеальных условий для выращивания культур крайне короток и требует адаптации генотипов культур, и, вследствие этого, корректировки параметров в программе CropWat для Windows.

Также в этой записке кратко описываются выходные таблицы CropWat для Windows. Кратко изложено программирование, выполненное г-ном Солодким и рекомендуется обратиться к нему с просьбой о составлении справочной базы данных по потребностям в воде для основных культур для определённого диапазона УГВ и типов почв. Приложен предлагаемый формат представления выходных данных в результате пакетной обработки данных, полученных с использованием программы CROPWAT.

1 ВВЕДЕНИЕ

Местная методология оценки потребностей культур в воде основана на уравнении Иванова для расчета испарения с открытой поверхности воды (E_o). Молчанов вывел коэффициенты культур для различных агроклиматических зон (K_1 и K_2), увязывающие E_o с эвапотранспирацией культур (E_{tc}). Эти зависимости впоследствии были модифицированы Шредером. Уравнение Иванова использует для оценки E_o только температуру. Таким образом, в ветреных и жарких пустынных условиях, где величина составляющей адвективной энергии довольно значительна, поправка в виде зональных коэффициентов Молчанова, используемая в этом регионе, критична. Для того, чтобы определить значения коэффициентов Молчанова, использовалось большое количество весовых лизиметров, так что данные по эвапотранспирации хлопчатника, полученные при помощи местной методики, почти сравнимы с данными, полученными по методике ФАО¹. Коэффициенты для других культур были определены на основании меньшего количества эмпирических данных, таким образом, их величины для пшеницы и люцерны оказались гораздо менее сходны с коэффициентами, полученными по методике ФАО.

Местная методология составления графиков проведения поливов использует метод суточного водного баланса, что также используется в методике ФАО, за исключением того, что в местной методике «доступная влага» в почве – это содержание влаги в почве в пределах между влажностью почвы при предельной полевой влагоемкости (FC) и воздушно сухой почвой. В местной методике для определения даты проведения полива используется «процент оставшейся доступной почвенной влаги» в корнеобитаемой зоне, а не истощение «легкодоступной влаги» по методу ФАО. Для хлопчатника результаты, полученные по обеим методикам, оказались очень близкими, чего нельзя сказать о других культурах².

Методология ФАО³ использована в программе CROPWAT 7.1 (и в русской версии программы CROPWAT 7.0). Недостатком программы CROPWAT является отсутствие автоматической корректировки на подпитку корнеобитаемой зоны из грунтовых вод. Из-за высокого уровня грунтовых вод, подпитка из грунтовых вод в настоящее время в среднем оценивается на уровне 50% от потребностей культур в воде в Центральной Азии⁴. Программа CROPWAT не предназначена для пакетной обработки данных по потребностям в воде, но г-н Солодкий разработал макро-интерфейс в MSAccess, что упрощает корректировку исходных параметров. Он также написал программу для учёта подпитки из грунтовых вод на основе уравнения Харченко (модифицированного Хорстом), и в настоящее время он пишет MS-Excel макрос для записи наиболее важных компонентов выходных таблиц по графикам проведения поливов из программы CROPWAT.

В программе CROPWAT заложены по умолчанию биологические параметры для основных культур, но эти параметры непригодны для тропических культур, выращиваемых в Центральной Азии, из-за очень короткого периода действительно тропических условий. Этот период длится примерно с начала июня и до середины сентября. Также они не подходят для культур умеренного климата в виду очень быстрого увеличения дневных температур в летний период. Критическим фактором для тропических культур является не дневная температура (максимальная суточная

¹ Проект WARMAP (Исследование водопользования и сельхозпроизводства в ЦАР), Обзор сельскохозяйственного сектора, Том 4, 1996г.

² Проект WARMAP, Обзор сельскохозяйственного сектора, Том 4, 1996г.

³ Руководство ФАО №56 «Почвы и почвенная влага», Рим, 2000г.

⁴ Программа WUFMAS (Проект WARMAP2), Отчёт за 1997 сельскохозяйственный год

температура), а минимальная температура ночью. Ночная температура в 15°C обычно используется, как критический порог, в особенности для хлопчатника. В почвах Центральной Азии в результате выветривания доминируют фракции пыли. Принятые в программе CROPWAT по умолчанию величины доступной влаги в почве и скорость инфильтрации, должны быть скорректированы соответственно.

В этой записке представлены скорректированные параметры культур и почв для программы CROPWAT, основанные на обобщении и анализе среднесезонных климатических данных с 11-ти репрезентативных метеостанций.

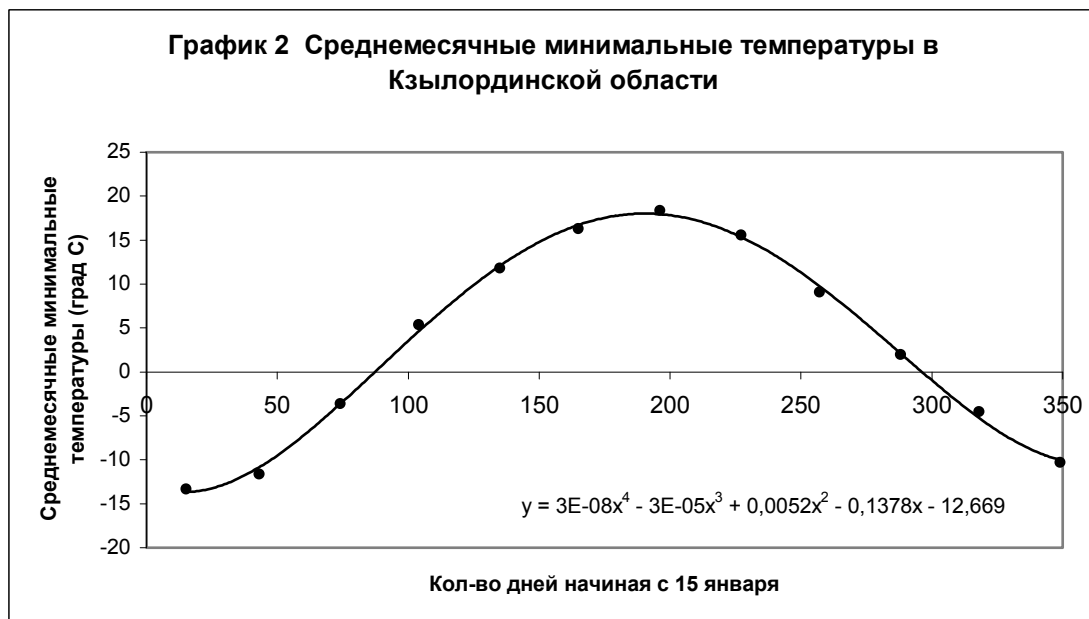
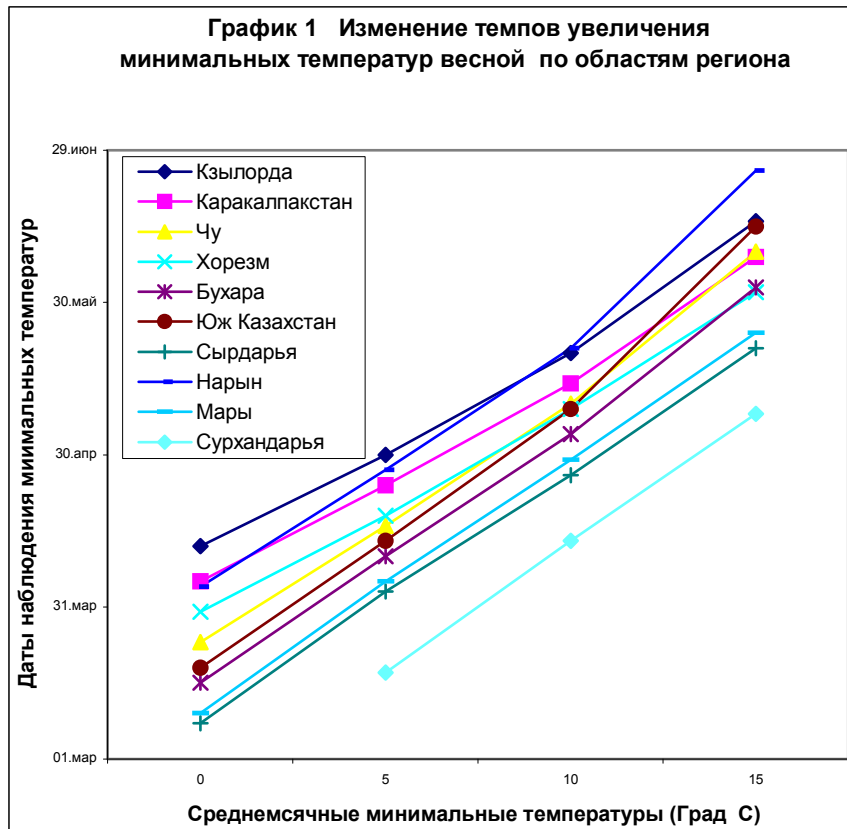
2 КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

В приложении находится Таблица №1, обобщающая среднесезонные климатические данные. Количество лет наблюдений, по которым рассчитаны эти среднесезонные данные, неизвестно. Указанные координаты соответствуют ближайшим к метеостанциям опытным хозяйствам программы WUFMAS, поэтому возможно эти координаты понадобится слегка скорректировать. Данные по средним минимальным температурам, полученные с метеостанции в Южном Казахстане, не согласуются с данным, полученными с близко расположенной метеостанции в Сырдарье, и должны рассматриваться как сомнительные. Среднемесячные значения суточных температур, относительная влажность воздуха, продолжительность солнечного сияния в часах, скорость ветра и осадки непосредственно используются для ввода в программу CROPWAT для ET₀ по методу Пенмана, усовершенствованного Монтифом. Средняя скорость ветра – наименее надежная величина из местных данных в виду несовершенности метода измерения и расположения флюгера на 11-метровой высоте, в то время как по стандартам ФАО анемометр должен устанавливаться на высоте 6 метров над поверхностью земли, но на это была сделана поправка.

2.1 Температура

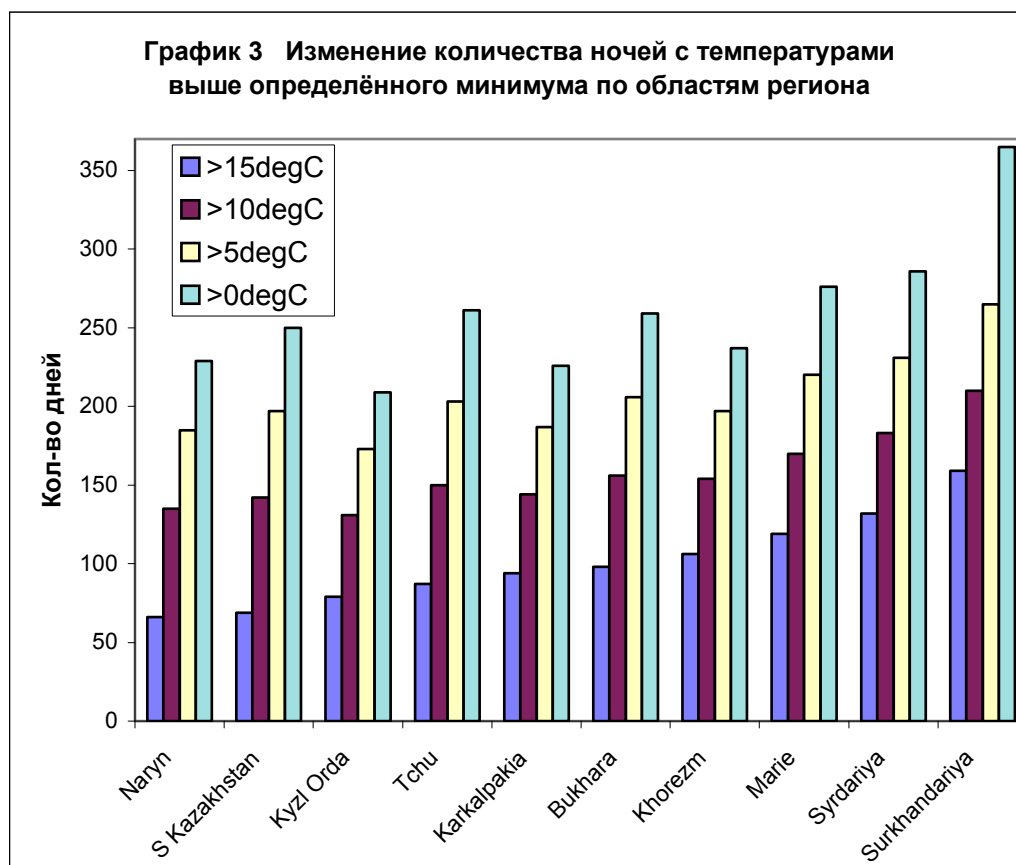
Выбор даты посадки культуры и продолжительность первых двух стадий развития культуры (первоначального и вегетативного) во многом зависят от минимальных температур, а продолжительность вторых двух стадий развития культуры (цветение/формирование плодоземента и сбор урожая) во многом зависит от максимальных температур. На графике 1 показаны те даты, с которых ночная температура перестает падать ниже 15°C – это примерно та температура, которая является критической для начала быстрого вегетативного роста тропических культур.

В Кызыл-Ординской области самое холодное время года это середина зимы, но по мере наступления весны температуры в Нарынской области, которая расположена на высоких отметках, остаются низкими гораздо дольше и эта область является последней, где ночные температуры устанавливаются выше 15°C. За исключением Сурхандарьинской области, во всех областях случаются ночные заморозки и средняя минимальная температура ниже нуля сохраняется, по крайней мере, до марта (до начала марта в Сырдарьинской области и до середины апреля в Кызыл-Ординской области). Среднемесячные минимальные температуры по каждой станции показаны на Графике 2. День, когда минимальная температура достигает 0, 5, 10 и 15 градусов весной и осенью, был рассчитан с помощью эмпирического полиномиального уравнения.



Продолжительность периодов холодных ночных температур показана на Графике 3. Области расположены в порядке увеличения продолжительности периодов, когда ночные температуры превышают 15 градусов, так установление таких температур означает начало эффективного вегетационного периода для тропических культур. Диапазон продолжительности вегетационных периодов составляет от 66 дней в Нарынской области (расположенной на отметках 1800 метров) до 159 дней в Сурхандарьинской области,

расположенной на отметках 390 метров и по южной границе которой протекает река Амударья. Этот диапазон является критическим, так как большинству тропических культур для созревания требуется более 90 дней, что исключает Нарынскую, Чуйскую и северную часть Кызыл-Ординской областей, как непригодные для выращивания тропических растений (заметьте также, что вегетационный период для Южно-Казахстанской области насчитывает всего 69 дней согласно имеющихся метеоданных, но маловероятно, что это так на самом деле).



На Графике 3 также показано количество суток в году с безморозными ночами, которое распределяется в диапазоне от 365 суток в Сурхандарьинской области до 210 суток в Кызыл-Ординской области.

2.2 Осадки

Зоны, расположенные вблизи гор и подвергающиеся воздействию ветров, дующих с северо-запада, влажнее, чем зоны, находящиеся на юго-восточных склонах гор и в низинных равнинах. Самое большое количество осадков выпадает в течение зимы и ранней весной и дефицит осадков увеличивается только весной, по мере потепления погоды. Таким образом, за исключением богарных культур, выращиваемых в предгорьях на более высоких отметках, осадки незначительно покрывают потребности большинства культур в воде.

Программа CROPWAT предлагает набор методов для оценки эффективного количества осадков (ER), как доли от общего количества осадков. Два из этих методов являются наиболее важными - это алгоритмы, разработанные Министерством сельского хозяйства США (USDA) и ФАО. Метод USDA учитывает поправку на поверхностный сток во время интенсивных дождей и на испарение дождя с горячей листвы растений и почвы.

Методика ФАО основывается на вероятностном анализе данных по осадкам со всего мира и оценивает вероятность эффективных осадков в 75% от их фактической величины. В связи с особенностями программы, последняя методика является более приемлемой, но для моделирования эффективных осадков для речного бассейна более подходит методика USDA.

2.3 Другие климатические параметры

Относительная влажность воздуха значительно изменяется в пределах от пиковых величин в конце зимы до минимума в июле-августе, но при этом она не имеет непосредственного воздействия на развитие культур, за исключением, возможно, только тех культур, которые предрасположены к болезням листьев, а также повышенная влажность вызывает загнивание корней всходов хлопчатника весной. Величина солнечной радиации зависит от количества часов солнечного сияния и она велика, за исключением дождливых периодов в конце зимы и начале весны. Изменения величины солнечной радиации имеют слабое влияние на рост большинства культур. Скорость ветра изменяется обычно от низкой до средней, с несколько более сильными ветрами весной во всех областях. Кроме высокогорья, наиболее ветреной зоной является Джизакская область, где ветра дуют в узкий туннель между горами.

2.4 Эвапотранспирация эталонной культуры (ETo)

Программа CROPWAT рассчитывает суточную эвапотранспирации культуры (ETc) на основе рассчитанной эвапотранспирации гипотетической эталонной культуры, которой является трава, выращиваемая в хороших условиях (ETo) и как бы растущая на том же поле, что и реальная культура. Расчёт проводится при помощи переходного коэффициента для конкретной культуры. По международному соглашению ETo оценивается в программе CROPWAT с помощью метода Пенмана, усовершенствованного Монтифом. Этот метод учитывает радиацию по количеству часов солнечного сияния и температуру воздуха и затем из рассчитанной величины эвапотранспирации с помощью корректировки на воздействие скорости ветра и относительной влажности воздуха получают эвапотранспирацию эталонной культуры.

3 ПАРАМЕТРЫ КУЛЬТУРЫ, ВВОДИМЫЕ В ПРОГРАММУ CROPWAT

3.1 Дата посадки

Самая ранняя рекомендуемая дата посадки это та дата, когда минимальная температура весной поднимается выше 0°C или 5°C в зависимости от культуры (таблица 2). Реально существует широкий разброс дат посадки, так как в хозяйствах наблюдается недостаток сельхозмашин, необходимых для того, чтобы этот разброс сократить. Очень часто посадка откладывается из-за незавершенности предпосевной подготовки земли, и относительно часто рано сажаемые культуры погибают от поздних заморозков, из-за чего приходится пересевать поля. По этим причинам при вводе идеальной даты посадки допускается небольшое отклонение от критической температуры. Кукуруза на силос и поздние овощи обычно выращиваются как вторые культуры после сбора урожая озимой пшеницы, так что дата их посадки связана с вероятной датой сбора урожая озимой пшеницы. Большинство орошаемой пшеницы высевается как озимая культура в октябре.

3.2 Продолжительность вегетационного периода

В Таблице 2 в приложении показаны скорректированные данные по продолжительности четырех стадий развития культур за весь вегетационный период для основных культур (в

Таблице 3 для риса приводятся данные по продолжительности 6-ти стадий развития). Данные по продолжительности **первоначальной** стадии развития культур (появление всходов и их развитие), заложенные в программу CROPWAT по умолчанию, были значительно пересмотрены и скорректированы в зависимости от той даты, когда минимальные температуры начинают превышать 15°C. Для тропических культур, высеваемых весной, этот период длится значительно дольше. Для культур умеренного климата, выращиваемых в жарких климатических условиях, продолжительность стадии первоначального развития несколько короче.

Стадия **вегетативного роста** завершается цветением, и часто эта стадия укорачивается из-за физиологического возраста растения, когда оно достигает этой стадии развития. Например, если хлопчатник посажен 1 апреля и стадия его вегетативного развития начинается только 7 июня, растение уже имеет возраст более 9 недель. Спустя всего три недели появляются цветы и стадия вегетативного роста завершается. Высокие температуры в середине лета также сокращают продолжительность стадий **цветения**, образования плодозлемента и **созревания плода** по сравнению со значениями, заложенными в программу по умолчанию.

3.3 Коэффициенты культур

В основном можно использовать коэффициенты культур, заложенные по умолчанию в программу CROPWAT, а в Таблице 4 приводятся несколько скорректированные коэффициенты культур. Хлопчатник является примером достижений местных селекционеров, которым удалось адаптировать культуру с длинным вегетационным периодом для выращивания в условиях короткого вегетационного периода. В результате были выведены малорослые растения хлопчатника, которые даже в период созревания не достигают полного листового покрова. Коэффициент такой культуры имеет меньшую величину по сравнению с нормально развитой культурой. Чтобы скомпенсировать маленький рост хлопчатника и следовательно меньшее количество коробочек на каждом кусте, в хозяйствах региона густота стояния растений хлопчатника в три раза больше нормы (120000 растений хлопчатника на гектар по сравнению с нормой в 40000). Это означает, что нормальная урожайность хлопчатника достигается при 5-10 коробочках на одном растении, тогда как на обычном кусте хлопчатника вызревает 20 коробочек и более. Кукуруза сажается также с большей густотой стояния растений, но так как кукуруза является полузонтчным растением (в отличие от хлопчатника, она перестает расти когда начинается формирование цветков). Это не очень хорошая практика, так как урожайность кукурузы снижается из-за слишком высокой густоты стояния растений.

3.4 Глубина корневой системы различных культур

График проведения поливов больше зависит от изменения глубины корней растений, нежели от коэффициентов культур и водно-физических свойств почвы (за исключением экстремального случая для песчаных почв). Причина этого состоит в том, что общее количество доступной влаги в почве (Total Available Moisture -TAM) находится в прямой зависимости от глубины корней: чем больше глубина корней, тем больше запас доступной для культуры почвенной влаги и тем дольше растение может выживать без полива.

В программе CROPWAT заложены данные по стандартной глубине корней, но эта глубина больше, чем это обычно наблюдается в Центральной Азии. Средняя глубина корней была измерена в рамках работ по программе WUFMAS, и замеры подтвердили, что она меньше, чем нормальная глубина корней для большинства культур (Таблица 4). Во многих почвах имеются плужные подошвы, плотные подпахотные слои и мощные

гипсовые горизонты, которые физически ограничивают развитие корневой системы растений. В результате проведения селекционных работ по выведению быстро созревающих сортов хлопчатника (по вышеописанным причинам) стало создание таких сортов хлопчатника, которые вызревают, в основном, при неглубокой корневой системе. Обычно соотношение высоты растения над поверхностью земли и глубины корней равно примерно 1:1, за исключением песчаных почв, где это соотношение равно 1:1,5³. Глубина корней естественным образом ограничивается в результате проведения поливов обильными нормами и наличия достаточного количества питательных веществ. Такая глубина корней характерна для культур, выращиваемых при капельном орошении, когда удобрения вносятся вместе с поливной водой и когда растения получают достаточно воды из неглубоких грунтовых вод. В этих случаях встречаются соотношения высоты растений и глубины их корней равные примерно 1:0,2.

Таблица 4 Коэффициенты культур и глубина корней по стадиям развития

Культуры	Кс первонач	Кс середина сезона	Кс конец сезона	Глуб корней- в начале (м)	Макс глуб корней- (м)
Стандартные величины ФАО					
Бобовые	0.4	1	0.9	0.3	1
Хлопчатник	0.35	1.2	0.7	0.3	1.4
Кукуруза на зерно	0.3	1.15	0.6	0.3	1
Кукуруза на силос	-	-	-	-	-
Бахчевые	0.4	1.05	0.75	0.3	1
Картофель	0.4	1.15	0.9	0.3	0.6
Подсолнух	0.35	1.15	0.35	0.3	1.3
Сахарная свекла	0.35	1.2	1	0.3	1
Овощи ранние	0.75	1.05	0.95	0.25	0.6
Овощи поздние	-	-	-	-	-
Оз пшеница	0.3	1.15	0.25	0.3	1.2
Рис	1.0	1.2	0.8	-	-
Величины для Центральной Азии					
Бобовые	0.4	1	0.9	0.3	0.5
Хлопчатник	0.35	1.15	0.7	0.3	0.7
Кукуруза на зерно	0.3	1.15	0.6	0.3	0.6
Кукуруза на силос	0.3	1.15	0.6	0.3	0.6
Бахчевые	0.4	1.05	0.75	0.3	0.7
Картофель	0.4	1.05	0.9	0.3	0.5
Подсолнух	0.35	1.15	0.35	0.3	0.7
Сахарная свекла	0.35	1.2	1	0.3	0.6
Овощи ранние	0.75	1.05	0.95	0.25	0.6
Овощи поздние	0.75	1.05	0.95	0.25	0.6
Оз пшеница	0.3	1.15	0.25	0.3	0.7
Рис	1.0	1.2	0.8	-	-

4 ПОЧВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ В ПРОГРАММЕ CROPWAT

4.1 Доступная почвенная влага (AWC)

Общее количество доступной влаги в почве (ТАМ) является абсолютной величиной, определяющей, сколько влаги потенциально культура может абсорбировать из почвы при

³ См. отчет по программе WUFMAS за 1996 год, Проект WARMAP

влажности почвы в диапазоне от предельной полевой влагоёмкости (FC – содержание влаги в почве после оттока воды под действием силы тяжести) и влажностью устойчивого завядания (PWP – содержание влаги в почве, при котором растение погибает). Предельную полевую влагоёмкость относительно легко определить для песчаных почв, и она достигается спустя всего несколько часов после насыщения почвы от дождя или полива, но в глинистых почвах отток воды настолько замедлен, что могут понадобиться дни для того, чтобы вода стекла вглубь почвенного профиля, а тем временем содержание влаги в верхнем слое почвы опускается ниже предельной полевой влагоёмкости (FC) из-за испарения с поверхности почвы и это происходит ещё до того, как в подпочвенном слое будет достигнут уровень FC. Содержание влаги в почве при котором растение погибает, в значительной мере зависит от его ксероморфного развития, поэтому наблюдается значительная разница по влажности завядания между, например, томатами и кактусом. По этим причинам обе точки содержания влаги в почве определяются конкретными матричными потенциалами, измеряемыми как их логарифм, который даёт величины, называемые pF . Предельной полевой влагоёмкости в почвах зон с умеренными климатическими условиям обычно соответствует величина $pF=1.8$, а в для почв зон тропических климатических условий эта величина равна $pF=2.2$. Так как климат Центральной Азии колеблется между этими двумя климатическими зонами, содержанию влаги в почве при предельной полевой влагоёмкости (FC) в Центральной Азии соответствует величина $pF=2.0$ (её рекомендуется принимать). Содержанию влаги в точке устойчивого завядания соответствует величина $pF=4.2$ (или 15 миллибар). Влага, содержащаяся в почве между двумя этими точками является доступной почвенной влагой (AWC) и обычно выражается величиной в % на объёмной основе или в мм/м слоя почвы ($=10 \times AWC$ в %). В местной системе расчётов доступная влага, это та влага, которая содержится в почве между величинами $pF=2.0$ (FC) и $pF=7.0$ (воздушно сухая почва). Типичные величины доступной почвенной влаги и скорости инфильтрации для почв Центральной Азии различного мехсостава приведены в Таблице 5.

Таблица 5 Величины доступной почвенной влаги и скорости инфильтрации по почвам различного мехсостава в Центральной Азии

Класс почвы по мехсоставу (USDA)		AWC (1)	Скорость инфильтрации (2)
		мм/м	мм/сутки
Z	Пыль	160	144
ZL	Пылеватый суглинок	160	192
ZC	Пылеватые глины	170	48
	Пылевато-иловатые		
ZCL	суглинки	160	120
L	Суглинки	155	240
SL	Опесчаненные суглинки	145	480
LS	Супеси	100	720
fS	Мелкий песок	80	960
cS	Крупный песок	60	2400
gS	Гравелистый песок	40	4800
	Опесчаненный		
SCL	иловатый суглинок	190	240
CL	Иловатый суглинок	180	192
C	Глина	210	12

Источник: (1) Отчёт WUFMAS за 1997г и (2) Booker Tropical Soils Manual 1991

Общее количество доступной влаги в почве (TAM) зависит от величины полезной влагоёмкости (AWC) и глубины корней растений: например, если $AWC=150\text{мм/м}$ и корни имеют глубину до 0.6м, то общее количество доступной влаги в почве $TAM=150 \times 0.6=90\text{мм}$. Программа CROPWAT рассчитывает суточный водный баланс и в

неё требуется вводить начальную влажность почвы, процент истощения ТАМ на день посадки культуры. Это величина изменяется в зависимости от времени, прошедшего с дня последнего выпадения дождя или проведения полива; по умолчанию обычно установлено значение 10%.

4.2 Коэффициенты истощения и легко доступная почвенная влага (RAM)

Культура не должна извлекать (=истощать) слишком много влаги из почвы, так как это снижает урожайность, и культура погибнет, если содержание влаги в почве достигнет влажности устойчивого завядания (PWP). За исключением капельного орошения и дождевания, при обычном способе полива расходуется слишком много воды, если культуру поливать слишком часто, и такая система становится неэкономичной. Идеальное содержание влаги в почве перед проведением полива изменяется в зависимости от вида культуры и в меньшей степени от функции экономической продуктивности, которая отражает соотношение между урожайностью и дефицитом влаги в почве. Доля ТАМ, которая является легко доступной для культуры без серьезного снижения урожайности, называется легкодоступной влагой (RAM). Она определяется **коэффициентом истощения**, в виде доли ТАМ. Коэффициенты истощения могут изменяться от 0.2 для культур, чувствительных к влаге, таких как овощи, и до 0.8 для ксероморфных культур, таких, как сизаль. Хлопчатник является полу-ксероморфной культурой и поэтому слишком много воды в период пика цветения вызывает у него сбрасывание цветков и завязи коробочек с последующим возвращением к стадии вегетативного роста и опять к цветению. В течение стадии вегетативного роста хлопчатника коэффициент истощения легкодоступной почвенной влаги не должен превышать 0.5, но как только начинается цветение этот коэффициент необходимо увеличить до 0.6 и затем вернуться опять к коэффициенту 0.5, как только завяжутся первые коробочки. Затем этот коэффициент следует увеличить до 0.9 для стимулирования раскрытия коробочек. Это легко запрограммировать в управляемой компьютером системе капельного орошения, но обученный персонал в хозяйствах также может проводить поливы должным образом при помощи расчётов ежесуточного водного баланса почвы, который можно проводить при наличии испарителя для определения испарения с открытой водной поверхности и дождемера (как это делалось в программе WUFMAS).

Например, количество легкодоступной влаги в почве (RAM) для хлопчатника с глубиной корней до 0.75м в почве с полезной влагоёмкостью $AWC=160\text{мм/м}$ и коэффициентом истощения во время цветения 0.6 равно 72мм ($160 \times 0.75 \times 0.6 = 72$). По-видимому, нет причин изменять значения, установленные в программу CROPWAT по умолчанию для всех культур, кроме хлопчатника.

5 ГРАФИК ПРОВЕДЕНИЯ ПОЛИВОВ

Программа CROPWAT поддерживает проведение расчётов величин ежесуточной эвапотранспирации сельхозкультур с момента их посадки и со дня проведения последнего полива, при этом потребность на орошение сокращается на количество выпавших эффективных осадков. Программа, разработанная г-ном Солодким, добавляет в расчёты подпитку корнеобитаемой зоны из грунтовых вод к выпавшим эффективным осадкам. В тот день, когда суммарная величина эвапотранспирации культуры ET_c за предыдущий период (с учётом количества эффективных осадков и подпитки из грунтовых вод) становится равной количеству легкодоступной влаги в почве (RAM), означает, что уже необходимо поливать. Если поливальщик последует этому идеальному

графику проведения поливов, то тогда это позволит избежать потерь урожая, проводя при этом поливы с как можно большими интервалами между поливами.

Программа CROPWAT предлагает несколько альтернативных субоптимальных графиков проведения поливов, например, проведение поливов с фиксированными интервалами. В этом случае, если принять интервалы между поливами слишком коротким, то такой график проведения поливов окажется менее экономичным, если же принять слишком длинные интервалы, тогда это приведет к некоторой потере урожайности из-за нехватки воды для растений. Потери урожайности показаны в выходной таблице и вычисляются при помощи коэффициентов, увязывающих урожайность культур в зависимости от водоподачи в течение четырех стадий развития культуры. По-видимому, нет причин менять значения этих коэффициентов, установленные по умолчанию в программе CROPWAT.

В случае, если идеальный интервал между поливами превышен, то в растении происходят физиологические изменения. Изменяется тургор клеток, окружающих устьица пор, идущих из мезофилловой ткани внутри листа через эпидерму и серозную оболочку, что ведет к закрытию устьица пор. Постепенно, по мере увеличения натяжённости почвенной влаги, скорость эвапотранспирации снижается и растения могут выживать ещё в течение многих дней почти без признаков водного стресса, за исключением увядания листьев в середине дня. Однако, это влияет на процесс развития растений и на обмен веществ, так как меньшее количество питательных веществ достигает поверхности фотосинтеза у листьев, изменяется величина рН в клетках и ферментативные реакции становятся субоптимальными. Это снижение суточных величин ЕТс запрограммировано в программе CROPWAT.

6 ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ТАБЛИЦЫ ПРОГРАММЫ CROPWAT

Следующие таблицы являются примером выходных данных программы CROPWAT.

Таблица 6 – это выходная таблица климатических данных, получаемая после того, как в программу были введены данные по температуре и влажности воздуха, скорости ветра и продолжительности солнечного сияния в часах.

Таблица 6 ЕЖЕМЕСЯЧНАЯ ЭВАПОТРАНСПИРАЦИИ ЭТАЛОННОЙ КУЛЬТУРЫ ПО ПЕНМАНУ-МОНТИФУ								
☐ Метеостанция: Душанбе				Страна: Таджикистан			° ☐	
☐ Высота над ур моря: 803 м.				Координаты: 38.70 сев шир 68.50 вост долг			☐	
☐ Месяц	MinTemp	MaxTemp	Влажн	Ветер	Солн сиян	Радиация	ЕТО-ПенМонт	☐
☐			%	м/сек	Часы	MJ/м2/сут	мм/мес	☐
☐ Январь	0.8	0.8	62	1.3	3.8	7.1	24.4	☐
☐ Февраль	3.6	3.6	51	1.6	3.9	9.2	39.2	☐
☐ Март	8.8	8.8	61	1.7	4.7	12.7	63.2	☐
☐ Апрель	14.9	14.9	56	1.5	6.7	17.9	97.2	☐
☐ Май	19.8	19.8	53	1.3	8.8	22.4	136.7	☐
☐ Июнь	24.3	24.3	39	1.2	11.3	26.5	168.6	☐
☐ Июль	27.0	27.0	37	1.0	11.9	27.0	177.3	☐
☐ Август	25.1	25.1	42	0.9	11.1	24.2	149.7	☐
☐ Сентябрь	19.9	19.9	40	0.9	10.0	19.9	103.2	☐
☐ Октябрь	13.7	13.7	44	1.0	7.6	13.6	64.5	☐
☐ Ноябрь	8.7	8.7	54	1.1	5.1	8.6	36.0	☐
☐ Декабрь	4.0	4.0	62	1.2	3.4	6.2	24.8	☐
☐ Ср годов	14.2	14.2	50	1.2	7.4	16.3	90.4	☐
CROPWAT 7.0 Climate file: C:\CROPWAT7.1\CLI\DUSHANBE.PEM								09/03/01

Если нет данных по среднемесячному суточному максимуму и минимуму температур, то в обе колонки вводятся среднесуточные данные, как показано ниже. Скорость ветра может быть введена в метрах в секунду или километрах в день. (Программа CROPWAT сама распознаёт в каких единицах были введены данные по скорости ветра). Затем программа автоматически рассчитывает радиацию и эвапотранспирацию эталонной культуры (ЕТо) из введенных климатических данных. Файл сохраняется с восьмизначным именем и расширением “.rem”.

Таблица 7 показывает ввод данных по общему количеству осадков по месяцам. Программа CROPWAT предлагает несколько алгоритмов для определения эффективных осадков (ER). Метод USDA показан в примере с уравнением, приведенным внизу таблицы, которое показывает, что ER является функцией ЕТо. Подпитка из грунтовых вод должна быть добавлена к эффективным осадкам.

Таблица 8 показывает параметры культур. Как было описано выше, установки по умолчанию в программе CROPWAT нуждаются в корректировке так же, как в приведённом примере для хлопчатника. Наиболее критический параметр – это максимальная глубина корней.

Программа CROPWAT усредняет изменения в параметрах и ежемесячных климатических данных по последовательному ряду декад (10-дневным периодам), как это показано в Таблице 9. В этой же таблице показана потребность нетто воды на полив культуры, общая потребность по декадам и среднесуточная потребность по каждой декаде после посадки культуры.

Таблица 10 является примером требуемых параметров для пылеватых суглинков – тип почв, который очень распространён в Центральной Азии.

Таблица 7 ЕЖЕМЕСЯЧНЫЕ ДАННЫЕ ПО ОСАДКАМ				
☐ Метеостанция: Душанбе		Метод эффект осадков: Метод USDA S.C.		
☐		Осадки	Эффективные осадки	☐
☐		(мм/месяц)	(мм/месяц)	☐
☐	Январь	66.0	59.0	☐
☐	Февраль	73.0	64.5	☐
☐	Март	39.0	36.6	☐
☐	Апрель	113.0	92.6	☐
☐	Май	75.0	66.0	☐
☐	Июнь	17.0	16.5	☐
☐	Июль	0.0	0.0	☐
☐	Август	0.0	0.0	☐
☐	Сентябрь	0.0	0.0	☐
☐	Октябрь	21.0	20.3	☐
☐	Ноябрь	51.0	46.8	☐
☐	Декабрь	63.0	56.6	☐
☐	Итого	518.0	459.0	☐
☐ Форм эфф осад : $P_{eff} = (P_{mon} * (125 - 0.2 * P_{mon})) / 125$ for $P_{mon} \leq 250$ mm ☐				
° $P_{eff} = 125 + 0.1 * P_{mon}$ for $P_{mon} > 250$ mm °				
CROPWAT 7.0		Rainfile: C:\CROPWAT7.1\CLI\DUSHANBE.CRM		09/03/01

Таблица 8 ДАННЫЕ ПО КУЛЬТУРАМ							
☐	Название культуры: ХЛОПЧАТНИК-ЦА						☐
☐	Стадия развития	Первонач	Вегет	Серед	Конец	Всего	☐
☐	Продолж [дней]	53	38	47	30	168	☐
☐	Коэф культуры [коэфф]	0.35	->	1.10	0.70		☐
☐	Глуб корней [метр]	0.20	->	0.70	0.70		☐
☐	Уров истощен [доля]	0.60	->	0.60	0.90		☐
☐	Зависим урожая [коэфф]	0.40	0.40	0.50	0.40	0.85	☐
☐							☐
CROPWAT 7.0		Crop file: C:\CROPWAT7.1\CRO\COT-CA.CRO				09/03/01	

Таблица 9 ЭВАПОТРАНСПИРАЦИЯ КУЛЬТУРЫ И ПОТРЕБНОСТИ НА ОРОШЕНИЕ										
☐	Дождь/Метеостанция: Душанбе				Культура: ХЛОПЧАТНИК-ЦА				☐	
☐	ЕТо /Метеостанция: Душанбе				Дата посадки: 1 Апреля				☐	
☐	Месяц	Дек	Стад	Коэфф Кс	ЕТcrop мм/сут	ЕТcrop мм/дек	Эфф осад мм/дек	Потр полив мм/сут	Пот пол мм/дек	☐
☐										☐
☐	Апр	1	Перв	0.35	0.99	9.9	27.2	0.00	0.0	☐
☐	Апр	2	Перв	0.35	1.13	11.3	34.8	0.00	0.0	☐
☐	Апр	3	Перв	0.35	1.27	12.7	30.5	0.00	0.0	☐
☐	Май	1	Перв	0.35	1.41	14.1	25.7	0.00	0.0	☐
☐	Май	2	Перв	0.35	1.54	15.4	23.0	0.00	0.0	☐
☐	Май	3	Пер/Вег	0.43	2.06	22.7	17.2	0.50	5.5	☐
☐	Июн	1	Вегет	0.61	3.20	32.0	10.0	2.21	22.1	☐
☐	Июн	2	Вегет	0.80	4.60	46.0	4.0	4.20	42.0	☐
☐	Июн	3	Вегет	1.00	5.73	57.3	2.6	5.46	54.6	☐
☐	Июл	1	Серед	1.10	6.33	63.3	0.1	6.31	63.1	☐
☐	Июл	2	Серед	1.10	6.40	64.0	0.0	6.40	64.0	☐
☐	Июл	3	Серед	1.10	6.04	66.4	0.0	6.04	66.4	☐
☐	Авг	1	Серед	1.10	5.64	56.4	0.0	5.64	56.4	☐
☐	Авг	2	Сер/Кон	1.07	5.18	51.8	0.0	5.18	51.8	☐
☐	Авг	3	Конец	0.97	4.25	46.8	0.0	4.25	46.8	☐
☐	Сен	1	Конец	0.83	3.25	32.5	0.0	3.25	32.5	☐
☐	Сен	2	Конец	0.70	2.41	12.0	0.0	2.41	12.0	☐
☐	Итого					614.8	175.1			☐
CROPWAT 7.0										09/03/01

Таблица 10 ПОЧВЕННЫЕ ДАННЫЕ	
☐	Тип почвы: пылеватый суглинок ☐
☐	Общее кол-во доступной почвенной влаги (ТАМ): 160.0 мм/метр ☐
☐	Максимальная скорость инфильтрации дождя: 200 мм/сут ☐
☐	Максимальная глубина корней: 900 сантиметров ☐
☐	Первонач истощение почвенной влаги (% ТАМ): 10% ☐
☐	(-> Первонач доступная почвенная влага: 144.0 мм/метр) ☐
CROPWAT 7.0 Soil file: C:\CROPWAT7.1\SOI\SILTLOAM.SOI 09/03/01	

В этом примере рассчитанное первоначальное количество доступной почвенной влаги равно 144мм/м слоя почвы, при этом предполагалось, что на момент посадки 10 процентов почвенной влаги уже было истощено (на испарение).

Таблица 11 – это окончательная выходная таблица, показывающая график проведения поливов. В данном случае была использована опция «по умолчанию», в которой день проведения полива определяется как день, на который суммарная величина эвапотранспирации культуры накопительным итогом равняется рассчитанной величине содержания легкодоступной влаги в почве (RAM). Если все поливы будут проводиться точно в указанные в таблице 7 конкретных дней, то тогда культура не будет подвергаться водному стрессу и следовательно не будет допущено потерь потенциального урожая. Производить поливы чаще, чем определено в данной таблице, будет экономически невыгодно.

Таблица 11 РАСЧЁТ ГРАФИКА ОРОШЕНИЯ – ИДЕАЛЬНЫЙ ГРАФИК													
☐ Дождь/Метеостанция: Душанбе						Культура: ХЛОПЧАТНИК-ЦА						☐	
☐ ЕТо /Метеостанция: Душанбе						Почвы: пылеватый суглинок						☐	
☐ Дата посадки: 1 апреля						Общее кол-во почвенной влаги: 160 мм/м						☐	
☐						Первоначальное содержание почвенной влаги: 144 мм/м						☐	
☐ Сроки поливов: При истощении (100% RAM)													☐
☐ Норма полива: Восполнять до предельной полевой влагоёмкости													☐
☐ КПД полива поля: 40%													☐
☐ №	Инт	Дата	Стад	Источ	ТХ	ЕТа	Нетто	Дефицит	Потери	Брутто	Расх	☐	
☐ Полив дней			-		%	%	мм	мм	мм	мм	л/с/га	☐	
☐	1	79	19 июн	В	64	100	100	64.5	0.0	0.0	161.4	0.24	☐
☐	2	13	2 июл	С	63	100	100	70.3	0.0	0.0	175.7	1.56	☐
☐	3	11	13 июл	С	62	100	100	69.6	0.0	0.0	174.1	1.83	☐
☐	4	11	24 июл	С	62	100	100	69.3	0.0	0.0	173.3	1.82	☐
☐	5	12	5 авг	С	63	100	100	70.9	0.0	0.0	177.2	1.71	☐
☐	6	13	18 авг	Д	63	100	100	70.1	0.0	0.0	175.3	1.56	☐
☐	7	25	12 сен	Д	87	100	100	97.2	0.0	0.0	243.1	1.13	☐
☐ Конец	5	16 сен	Д	9	100	100						☐	
☐ Всего оросит норма брутто						1280.1 мм	Сумма осадков			205.1 мм	☐		
☐ Всего оросит норма нетто						512.0 мм	Эффективные осадки			104.3 мм	☐		
☐ Всего потери оросит воды						0.0 мм	Всего потери осадков			100.7 мм	☐		
☐ Дефицит влаги при сборе урожая						9.6 мм							☐
☐ Фактич водопотребление культуры						614.8мм	Фактич потребности на орош			510.5мм	☐		
☐ Потенциальное водопотребление культуры						614.8мм							☐
☐ КПД графика поливов						100.0 %	КПД осадков			50.9 %	☐		
☐ Дефицит влаги при поливах						0.0 %							☐
☐ СНИЖЕНИЕ УРОЖАЯ – нет												☐	
СРОК РАБОТЫ 7 0										09/03/01			

Кроме расчёта идеального графика проведения поливов программа CROPWAT предлагает ряд других вариантов расчёта графиков проведения поливов. Причина отклонений от идеального графика проведения поливов заключается в том, что оросительная система не всегда может подавать воду в установленные интервалы из-за недостатка воды для обеспечения идеальных графиков проведения поливов на всех полях. Одной из полезных особенностей этой программы является то, что в ней используется функция зависимости урожая от воды⁴ для оценки потерь потенциального урожая культуры из-за водного стресса, который может иметь место в каждой из стадий развития культуры. В Таблице 12 показаны результаты проведения поливов через фиксированные и удлинённые интервалы между поливами, количество которых снизилось с 7-ми до 3-х поливов. Суммарная эвапотранспирация культуры за вегетационный период снизилась на 33%, но в результате произошло также и снижение урожая на 28%.

Таблица 12 РАСЧЁТ ГРАФИКА ОРОШЕНИЯ – С ФИКСИРОВАННЫМИ ИНТЕРВАЛАМИ МЕЖДУ ПОЛИВАМИ

☐ Дождь/Метеостанция: Душанбе	Культура: ХЛОПЧАТНИК-ЦА	☐
☐ ЕТО /Метеостанция: Душанбе	Почвы: пылеватый суглинок	☐
☐ Дата посадки: 1 апреля	Общее кол-во почвенной влаги: 160 мм/м	☐
☐	Первоначальное содержание почвенной влаги: 144 мм/м	☐

☐ Сроки поливов: с фиксированными интервалами (50, 40, 30, 50 дней)	☐
☐ Норма полива: Восполнять до предельной полевой влагоёмкости	☐
☐ КПД полива поля: 40%	☐

☐ №	Инт	Дата	Стад	Источ	ТХ	Ета	Нетто	Дефицит	Потери	Брутто	Расх	☐
☐ Полив	дней		-	%	%	%	мм	мм	мм	мм	л/с/га	☐

☐ 1	50	21 мая	A	8	100	100	6.2	0.0	0.0	15.4	0.04	☐
☐ 2	40	30 июн	B	87	36	83	97.2	0.0	0.0	243.0	0.70	☐
☐ 3	30	30 июл	C	98	6	59	109.5	0.0	0.0	273.7	1.06	☐
☐ Конец	49	16 сен	D	100	2	53						☐

☐ Всего оросит норма брутто	532.2 мм	Сумма осадков	205.1 мм	☐
☐ Всего оросит норма нетто	212.9 мм	Эффективные осадки	98.2 мм	☐
☐ Всего потери оросит воды	0.0 мм	Всего потери осадков	106.9 мм	☐
☐ Дефицит влаги при сборе урожая	111.8 мм			☐
☐				☐
☐ Фактич водопотребление культуры	4116мм	Фактич потребности на орош	516.6мм	☐
☐ Потенциальное водопотребление культуры	614.8мм			☐
☐				☐
☐ КПД графика поливов	100.0%	КПД осадков	47.9%	☐
☐ Deficiency Irr. Schedule	33.0 %			☐

☐ СНИЖЕНИЕ УРОЖАЯ	Стадии разв	A	B	C	D	За вегетац	☐
☐							☐
☐ Снижение ЕТС		0.0	16.9	30.6	81.6	33.0 %	☐
☐ Коэфф зависимости урожая		0.40	0.40	0.50	0.40	0.85	☐
☐ Снижение урожая		0.0	6.7	15.3	32.6	28.1	☐
☐ Снижение урожая нарастающим итогом		0.0	6.7	21.0	46.8		☐

ФОРМАТ 7.0
00/02/01

7 РЕКОМЕНДАЦИИ

Рекомендуется, чтобы г-н Солодкий продолжил подготовку интерфейсов программы CROPWAT для ввода и получения данных и начал проводить пакетную обработку данных по потребностям культур в воде для 11 климатических зон, используя приложенные к этой записке параметры. Необходимо получить выходные данные для основных культур, выращиваемых на землях с определённым диапазоном УГВ и классов почвы по мехсоставу, используя вышеприведённые скорректированные параметры, а также параметры, приведенные в прилагаемых таблицах. Рекомендуется принять диапазон изменения УГВ в пределах от 0.5 до 2.5 м, с интервалами в 0.5 м. Уровень стояния грунтовых вод ближе, чем 0.5 м к поверхности земли вероятнее всего является временным, а доля капиллярного подъёма влаги к поверхности земли с глубины более 2.5 метров в условиях потенциального вторичного засоления, очень мала. Диапазон классов почвы по мехсоставу можно ограничить тремя классами: пылеватые суглинки, пылевато-иловатые суглинки и суглинки, так как эти классы почв представляют около 80% всех орошаемых земель. В случае если в экономических зонах планирования будут встречаться другие классы почв, например, песчаные почвы, опесчаненные суглинки и супеси в предгорных зонах и пылеватые глины на подтопляемых пойменных землях, то тогда г-н Солодкий может запустить свою программу и сделать расчёты специально для этих данных.

Предлагаемый формат таблицы выходных данных показан в Таблице 13 в приложении. Набор таких таблиц будет служить справочной базой данных, по которой можно будет определять, как те или иные условия в экономических зонах планирования в настоящее время или в будущем могут влиять на потребности в оросительной воде и на процент потери урожая в зависимости от водообеспеченности.

Таблица 1 Многолетние среднемесячные климатические данные

№№ мет-ста ний	Хоз-во/ Обл-ты/ зона (1)	Коорди наты сш/вд	Высо ты	Месяц	Суточ Т	Мах средн Т	Абсол Мах Т	Min средн Т	Абсол Min Т	Осад всего влаж- ность	Отн ветра	Скор ветра	Солн сиян	Солнечн радиация	ЕТо Пен- ман
			м		°С	°С	°С	°С	°С	мм	%	м/сек	час	МД/м2/су	мм
1	1,2	44:53	117	Январь	-10	-5	15	-13	-38	14	78	4.5	5.5	6.7	11
1	Кзылорда	64:30		Феврал	-8	-2	24	-12	-34	14	77	4.8	6.2	9.7	16
1	NL			Март	1	7	30	-4	-30	17	71	4.9	7	14	43
1				Апрель	12	19	36	5	-11	17	51	5.3	8.9	19.7	114
1				Май	20	27	41	12	-2	12	39	4.7	11.3	25	192
1				Июнь	24	32	44	16	3	6	36	4	12.5	27.5	217
1				Июль	26	34	46	18	8	5	37	3.7	13	27.6	228
1				Август	24	32	44	16	4	3	37	3.9	12.1	24.3	199
1				Сентяб	17	26	42	9	-6	4	42	3.8	10.9	19.2	127
1				Октяб	9	16	35	2	-15	9	54	3.7	8.1	12.2	63
1				Ноябрь	0	6	26	-5	-28	13	70	3.9	5.8	7.4	24
1				Декаб	-6	-2	17	-10	-33	15	78	4.2	5.3	5.9	12
16	27,28	42:40	80	Январь	-5	-1	18	-10	-34	8	79	3.8	4.2	6.4	14
16	Каракалпак	59:40		Феврал	-3	2	25	-8	-31	10	75	4	5.5	9.7	22
16	стан			Март	4	11	32	-1	-25	15	67	4.4	6.1	13.5	53
16	NL			Апрель	13	21	37	7	-7	17	54	4.6	7.7	18.6	112
16				Май	21	29	41	13	1	12	44	4.4	10.6	24.4	187
16				Июнь	26	33	44	17	6	5	42	4.1	12.1	27.1	219
16				Июль	28	35	45	19	9	4	45	3.9	12.4	27.1	229
16				Август	25	33	43	17	7	2	48	3.8	12	24.6	192
16				Сентяб	19	27	39	11	-3	3	52	3.4	10.5	19.4	122
16				Октяб	11	19	34	4	-9	8	58	3.2	8.2	13	65
16				Ноябрь	3	9	26	-2	24	7	68	3.3	5.5	7.8	28
16				Декаб	-3	2	20	-7	-28	11	80	3.5	3.4	5.2	14
5	7,8	42:50	800	Январь	-3	2	14	-8	-29	35	78	1.6	4.8	7.4	14
5	Чу	74:30		Феврал	-1	5	19	-5	-27	40	79	1.7	4.7	9.5	22
5	NH			Март	6	11	28	2	-16	60	76	2	5.5	13.3	48
5				Апрель	14	20	32	8	-6	45	63	2.4	6.9	17.9	92
5				Май	19	25	39	13	2	40	55	2.6	8.5	21.8	138
5				Июнь	24	31	40	16	6	17	44	2.7	11.1	26.1	181
5				Июль	25	33	40	18	8	8	45	2.2	11.3	25.9	184
5				Август	23	31	40	16	7	4	52	2.1	11	23.8	152
5				Сентяб	18	26	33	11	0	5	54	2.1	9.9	19.3	105
5				Октяб	12	19	32	6	-6	31	62	2	7.5	13	57
5				Ноябрь	4	11	23	0	-29	39	74	1.7	5.1	8.1	23
5				Декаб	0	5	18	0	-25	29	79	1.5	4	6.2	13
15	25,26	41:20	90	Январь	-4	1	22	-8	-27	7	77	3.6	4.2	6.7	17
15	Хорезм	60:20		Феврал	-3	4	26	-6	-28	10	73	4	5.5	10	24
15	CL			Март	5	12	32	0	-20	18	67	4.2	6.1	13.8	56
15				Апрель	14	21	38	8	-6	16	54	4.1	7.7	18.8	114
15				Май	22	29	41	14	3	9	41	3.8	10.6	24.6	188
15				Июнь	26	33	44	18	8	4	37	3.6	12.1	27.4	220
15				Июль	28	35	45	21	12	2	41	3.2	12.4	27.3	223
15				Август	26	33	42	18	10	1	45	3	12	24.4	187
15				Сентяб	19	27	39	12	-3	2	49	2.7	10.5	19.8	120
15				Октяб	11	19	35	5	-8	4	56	2.7	8.2	13.4	66
15				Ноябрь	4	10	28	-1	-20	10	66	3.2	5.5	8.2	32
15				Декаб	-2	3	19	-5	-26	11	78	3.4	3.4	5.5	17
20	35,36	39:40	230	Январь	0	6	25	-5	-23	18	74	2.9	4.1	7.1	22
20	Бухара	64:20		Феврал	3	9	28	-2	-25	21	70	3.2	4.7	9.7	33
20	CM			Март	8	16	33	3	-18	28	63	3.5	5.2	13.1	67
20				Апрель	16	24	38	10	-6	26	54	3.6	7.3	18.5	118
20				Май	22	30	42	14	2	10	39	3.8	10.1	24.2	193
20				Июнь	26	35	43	17	7	3	31	4	12.3	27.9	237
20				Июль	28	36	45	19	12	1	32	4	12.8	28.1	252
20				Август	25	34	43	17	8	0	34	4.1	12	25.3	219
20				Сентяб	20	29	39	11	-2	0	40	3.3	10.2	19.9	139
20				Октяб	13	23	36	5	-7	5	51	2.6	7.6	13.3	75
20				Ноябрь	6	15	30	0	-17	13	62	2.5	5.6	8.7	36
20				Декаб	2	8	24	-2	-25	18	74	2.5	4	6.4	21
2	3,4	40:50	257	Январь	-3	3	18	-6	-35	40	81	1.8	5.9	8.2	13
2	Южный	68:31		Феврал	1	6	26	-4	-32	34	79	1.9	7	11.6	24
2	Казахстан			Март	7	14	32	2	-22	54	74	1.9	7.2	15.2	54
2	CM			Апрель	15	22	37	8	-5	47	65	2	8.3	19.7	96
2				Май	21	29	42	13	0	27	62	2.1	10.8	25	146
2				Июнь	25	34	42	16	6	6	44	1.8	12.7	28.3	182
2				Июль	27	36	43	17	8	3	49	1.5	12.4	27.4	181
2				Август	24	34	42	14	4	1	55	1.3	12.9	26.2	152
2				Сентяб	19	29	40	9	-2	1	56	1.3	10.6	20.1	96
2				Октяб	12	22	36	4	-8	23	62	1.4	8.2	13.6	54
2				Ноябрь	5	12	30	0	-28	32	74	1.4	6.4	9.1	22
2				Декаб	0	5	21	-4	-35	43	82	1.5	5.2	7	12

Таблица 1 Многолетние среднемесячные климатические данные (продолжение)

№№ мет-ста нций	Хоз-во/ Обл-ты/ зона (1)	Коорди наты сш/вд	Высо ты	Месяц	Суточ Т	Max средн Т	Абсол Max Т	Min средн Т	Абсол Min Т	Осад всего	Отн влаж- ность	Скор ветра	Солн сиян	Солнечн радиация	ЕТо Пен- ман
			м		°С	°С	°С	°С	°С	мм	%	м/сек	час	МД/м2/су	мм
14	23,24	40:23	280	Январь	0	4	22	-3	-28	37	68	5.2	3.8	6.7	31
14	Сырдарья	68:23		Феврал	3	7	22	-1	-24	42	69	4.6	4.5	9.4	36
14	СМ			Март	9	14	31	4	-16	63	67	4.1	5.4	13.2	66
14				Апрель	16	22	37	11	-5	59	61	3	7.4	18.6	106
14				Май	22	29	40	16	1	34	48	2.8	10	23.9	166
14				Июнь	27	34	44	20	9	9	33	2.5	12	27.4	206
14				Июль	30	37	47	22	13	3	30	2.1	12.5	27.6	213
14				Август	27	35	44	20	8	1	31	1.8	11.9	25	178
14				Сентяб	22	30	40	15	3	3	35	1.6	10.1	19.6	115
14				Октяб	15	22	37	9	-6	24	48	2.4	7.4	12.9	77
14				Ноябрь	7	13	28	3	-24	32	62	3.6	5.2	8.2	44
14				Декаб	2	6	23	-1	-28	33	69	4.5	3.5	5.9	31
8	14,37	40:16	400	Январь	-2					13	72	5.3	3.9	6.8	26
8	Лениабад	70:20		Феврал	1					14	66	5.5	5	9.9	38
8	СМ			Март	8					24	59	5.6	4.9	12.7	77
8				Апрель	15					24	51	4.8	8.1	19.5	128
8				Май	22					19	39	4.2	9.8	23.7	194
8				Июнь	27					10	28	4	11.8	27.1	239
8				Июль	29					4	23	4.4	12.6	27.7	277
8				Август	27					1	24	4.4	11.1	23.9	240
8				Сентяб	20					1	27	4	9.8	19.3	164
8				Октяб	14					14	46	3.8	8.1	13.6	92
8				Ноябрь	6					15	65	4.6	5.1	8.2	44
8				Декаб	1					16	75	4.8	3.4	5.8	26
4	5,6	41:10	1800	Январь	-5	1	2	-10	-32	23	69	1.7	5.5	7.7	15
4	Нарын	75:15		Феврал	-3	3	25	-7	-34	27	72	1.8	6	10.5	22
4	СН			Март	4	10	31	-1	-24	48	72	2	6.2	13.9	49
4				Апрель	12	18	35	6	-12	72	63	2.2	7.7	18.8	89
4				Май	17	23	35	11	-3	64	59	2.1	9.1	22.6	129
4				Июнь	22	28	39	15	1	39	51	2.2	10.3	24.9	158
4				Июль	24	31	43	17	8	20	44	2.1	10.9	25.2	176
4				Август	23	30	40	16	5	13	45	1.9	10.3	22.7	147
4				Сентяб	18	25	36	11	-3	16	47	2	9.3	18.4	102
4				Октяб	11	18	34	5	-13	36	57	1.9	7.6	12.8	55
4				Ноябрь	3	9	26	-2	-32	37	69	1.7	5.3	8	22
4				Декаб	-3	3	23	-8	-38	27	71	1.6	5.3	6.9	13
11	17,18	37:35	240	Январь	2	8	28	-3	-26	25	71	2.9	5.7	9	28
11	Мары	62:11		Феврал	5	12	32	-1	-22	22	66	3	6.4	12	41
11	СМ			Март	10	17	36	4	-17	35	62	3	6.6	15.3	74
11				Апрель	17	24	39	10	-4	26	53	2.9	7.9	19.7	119
11				Май	24	31	46	15	3	12	39	2.8	10.1	24.4	185
11				Июнь	28	36	46	19	8	2	30	2.7	11.9	27.5	219
11				Июль	30	38	48	21	12	0	27	3	12.2	27.5	245
11				Август	28	36	46	19	7	0	27	2.7	11.6	25.1	211
11				Сентяб	22	31	42	13	-2	1	34	2.3	10.4	20.7	140
11				Октяб	15	24	39	7	-8	7	44	2.3	8.6	15	87
11				Ноябрь	9	16	34	2	-22	12	57	2.5	6.7	10.3	46
11				Декаб	4	10	29	-1	-23	18	70	2.7	5.6	8.2	28
13	21,22	37:38	390	Январь	4	9	23	0	-18	35	68	2.8	4.5	7.9	32
13	Сурхан- дарья	66:58		Феврал	7	12	27	3	-14	34	65	2.9	5.2	10.7	44
13	СМ			Март	12	17	32	7	-11	44	61	3	5.8	14.3	78
13				Апрель	19	25	38	13	0	29	52	3	7.7	19.4	127
13				Май	25	32	43	18	6	11	37	2.9	10.6	25.1	196
13				Июнь	30	37	47	22	11	1	23	2.8	12.5	28.3	234
13				Июль	32	39	47	24	16	0	22	2.6	12.5	27.9	244
13				Август	30	37	46	22	12	0	23	2.4	11.6	25.1	207
13				Сентяб	25	32	41	17	6	0	25	2.6	10.5	20.8	160
13				Октяб	18	24	38	12	-5	3	35	2.8	8.4	14.8	108
13				Ноябрь	11	17	32	6	-10	13	50	2.8	6.3	10	57
13				Декаб	6	11	27	3	-16	24	64	2.7	4.5	7.3	35

Примечание: (1) N – север, С – централь, С – южный, Ц – восток, М – западный, Л – западный

Таблица 2 Идеальные даты посадки и продолжительность стадий развития культур для программы CROPWAT

Минимальн темпера- туры	Нарын	Юж- Казахст	Кзыл орда	Чу	Каракал- пакия	Бухара	Хоре- зм	Мары	Сыр- дарья	Сурхан- дарья	Ленин- абад	Стан- дарты ФАО
День с >0°C	4 апр	19 марта	12 апр	24 март	5 апр	16 мар	30 мар	10 март	8 марта	Нет	Нет дан	
День с >5°C	27 апр	13 апр	30 апр	16 апр	24 апр	10 апр	18 апр	5 апр	3 апр	18 марта	Нет дан	
День с >10°C	21 мая	9 мая	20 мая	10 мая	14 мая	4 мая	9 мая	29 апр	26 апр	13 апр	Нет дан	
День с >15°C	25 июня	14 июня	15 июня	9 июня	8 июня	2 июня	1 июня	24 мая	21 мая	8 мая	Нет дан	
Дней с >15°C	66	69	79	87	94	98	106	119	132	159	Нет дан	
Идеальные даты посадки												
Бобовые	21-May	10-May	11-May	05-May	04-May	28-Apr	27-Apr	19-Apr	16-Apr	03-Apr	13-Apr	
Хлопчатник		15-Apr	16-Apr	10-Apr	09-Apr	03-Apr	02-Apr	25-Mar	22-Mar	09-Mar	20-Mar	
Кукуруз зерно		05-May	06-May	30-Apr	29-Apr	23-Apr	22-Apr	14-Apr	11-Apr	29-Mar	10-Apr	
Кукуруз силос	09-Aug	18-Jul	29-Jul	19-Jul	23-Jul	03-Jul	08-Jul	28-Jun	25-Jun	02-Jun	25-Jun	
Бахчевые	11-Apr	30-Mar	10-Apr	31-Mar	04-Apr	25-Mar	30-Mar	20-Mar	17-Mar	04-Mar	17-Mar	
Картофель	02-Aug	19-Mar	05-Apr	22-Mar	30-Mar	16-Mar	24-Mar	11-Mar	09-Mar	21-Feb	05-Mar	
Подсолнух	21-May	10-May	11-May	05-May	04-May	28-Apr	27-Apr	19-Apr	16-Apr	03-Apr	13-Apr	
Свекла сахар	26-Apr	14-Apr	25-Apr	15-Apr	19-Apr	09-Apr	14-Apr	04-Apr	01-Apr	19-Mar	28-Mar	
Овощи ранне	07-Apr	24-Mar	10-Apr	27-Mar	04-Apr	21-Mar	29-Mar	16-Mar	14-Mar	26-Feb	03-Apr	
Овощи поздн	05-Aug	17-Jul	03-Aug	20-Jul	28-Jul	14-Jul	22-Jul	09-Jul	07-Jul	01-Jul	01-Jul	
Оз пшеница	01-Oct	07-Oct	07-Oct	07-Oct	07-Oct	15-Oct	15-Oct	15-Oct	15-Oct	01-Nov	15-Oct	
Продолжительность первоначальной стадии развития в днях												
Бобовые	30	25	25	25	25	20	20	20	20	15	20	20
Хлопчатник		60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	30
Кукуруз зерно		40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	25
Кукуруз силос	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	
Бахчевые	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	30
Картофель	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Подсолнух	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	25
Свекла сахар	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
Овощи ранне	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Овощи поздн	15	15	15	15	15	15	15	15	15	12	15	
Оз пшеница	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	30
Продолжительность стадии вегетативного развития в днях												
Бобовые	35	30	30	30	30	25	25	25	25	20	25	30
Хлопчатник		55	55	55	55	50	50	50	50	45	50	50
Кукуруз зерно		45	45	45	45	40	40	40	40	35	40	40
Кукуруз силос	50	45	45	45	45	40	40	40	40	35	40	
Бахчевые	40	35	35	35	35	30	30	30	30	25	30	30
Картофель	30	25	25	25	25	20	20	20	20	15	20	30
Подсолнух	45	40	40	40	40	35	35	35	35	30	35	35
Свекла сахар	35	30	30	30	30	30	30	30	30	25	30	35
Овощи ранне	35	30	30	30	30	25	25	25	25	20	25	30
Овощи поздн	35	30	30	30	30	25	25	25	25	20	25	
Оз пшеница	212	194	205	195	199	181	186	176	173	143	170	30
Продолжительность стадии цветения в днях												
Бобовые	35	30	30	30	30	30	30	30	30	25	30	30
Хлопчатник		60	60	60	60	60	60	60	60	55	60	60
Кукуруз зерно		40	40	40	40	40	40	40	40	35	40	40
Кукуруз силос	45	40	40	40	40	40	40	40	40	35	40	
Бахчевые	55	50	50	50	50	50	50	50	50	45	50	50
Картофель	50	45	45	45	45	45	45	45	45	40	45	45
Подсолнух	50	45	45	45	45	45	45	45	45	40	45	45
Свекла сахар	55	50	50	50	50	50	50	50	50	45	50	50
Овощи ранне	35	30	30	30	30	30	30	30	30	25	30	30
Овощи поздн	35	30	30	30	30	30	30	30	30	25	30	
Оз пшеница	40	35	35	35	35	30	30	30	30	25	30	40
Продолжительность стадии созревания в днях												
Бобовые	45	40	40	40	40	40	40	40	40	35	40	40
Хлопчатник		55	55	55	55	55	55	55	55	50	55	55
Кукуруз зерно		30	30	30	30	30	30	30	30	25	30	30
Кукуруз силос		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
Бахчевые	35	30	30	30	30	30	30	30	30	25	30	30
Картофель	35	30	30	30	30	30	30	30	30	25	30	30
Подсолнух	30	25	25	25	25	25	25	25	25	20	25	25
Свекла сахар	55	50	50	50	50	50	50	50	50	45	50	50
Овощи ранне	25	20	20	20	20	15	15	15	15	10	15	15
Овощи поздн	25	20	20	20	20	15	15	15	15	10	15	
Оз пшеница	35	30	30	30	30	25	25	25	25	20	25	30

**Таблица 3 Сроки уборки урожая и продолжительность вегетационного периода
основных культур и стадии развития риса**

	Нарын	Юж- Казахст	Кзыл орда	Чу	Каракал- пакия	Бухара	Хоре- зм	Мары	Сыр- дарья	Сурхан- дарья	Ленин- абад	Стан- дарты ФАО
Сроки уборки урожая												
Бобовые	13октяб	12 сент	13 сент	7 сент	6 сентяб	21 авг	20 авг	12 авг	9 авг	7 июля	6 авг	
Хлопчатник		1 декабр	2 декаб	26 нояб	25 нояб	14 нояб	13 нояб	5нояб	2 нояб	5 октября	31 окт	
Кукуруз зерно		7 октябр	8 октяб	2 октяб	1 октяб	20 сент	19 сент	11сент	8 сент	11 август	7 сент	
Кукуруз силос		10 ноябр	21 нояб	11 нояб	15 нояб	21 окт	26 окт	16 окт	13 окт	10 сентяб	13 окт	
Бахчевые	28 сент	1 сентяб	12 сент	2 сент	6 сентяб	22 авг	27 авг	17 авг	14 авг	17 июля	14 авг	
Картофель	20 авг	22 июля	8 авг	25 июл	2 авг	14 июля	22 июля	9 июля	7 июля	6 июня	3 июля	
Подсолнух	28 окт	2 окт	3 окт	27 сент	26 сент	15 сент	14 сент	6 сент	3 сент	6 августа	31 авг	
Свекла сахар	13 окт	16 сент	27 сент	17 сент	21 сент	11 сент	16 сент	6 сент	3 сент	6 августа	30 авг	
Овощи рание	31 июл	2 июля	19 июля	5 июля	13 июля	19 июня	27 июня	14 июн	12 июн	12 мая	2 июля	
Овощи поздн	23 нояб	20 октяб	6 нояб	23 окт	31 октяб	7 октяб	15 окт	2 октяб	30 сент	6 сентябр	24 сент	
Оз пшеница	4 авг	13 июля	24 июля	14 июл	18 июля	28 июня	3 июля	23 июн	20 июн	28 мая	17 июн	
Продолжительность вегетационного периода в днях												
Бобовые	145	125	125	125	125	115	115	115	115	95	115	120
Хлопчатник	0	230	230	230	230	225	225	225	225	210	225	195
Кукуруз зерно	0	155	155	155	155	150	150	150	150	135	150	135
Кукуруз силос	120	115	115	115	115	110	110	110	110	100	110	
Бахчевые	170	155	155	155	155	150	150	150	150	135	150	140
Картофель	140	125	125	125	125	120	120	120	120	105	120	130
Подсолнух	160	145	145	145	145	140	140	140	140	125	140	130
Свекла сахар	170	155	155	155	155	155	155	155	155	140	155	160
Овощи рание	115	100	100	100	100	90	90	90	90	75	90	95
Овощи поздн	110	95	95	95	95	85	85	85	85	67	85	
Оз пшеница	307	279	290	280	284	256	261	251	248	208	245	
Продолжительность стадий развития риса в днях												
Дата посадки		07 мая	15 мая		07 мая	01 мая	07 мая	25 апр	25 апр	07 апреля	25 апр	
Посадка саженцев		1	1		1	1	1	1	1	1	1	30
Подгот земли		1	1		1	1	1	1	1	1	1	20
Первонач		55	55		55	50	50	50	50	45	50	20
Вегетативная		30	30		30	25	25	25	25	25	25	30
Середина		35	35		35	30	30	30	30	30	30	40
Окончание		35	35		35	30	30	30	30	25	30	30
Вся вегетац		157	157		157	137	137	137	137	127	137	170
Дата уборки	урожая	11 октяб	19октяб		11 октяб	15 сент	21 сент	09 сент	09 сент	12 августа	09 сент	

Таблица 13 Сводные данные по потребностям культур в воде																				
№№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Метеостанции																				
Культура																				
Тип почвы																				
ТАМ (%)																				
УГВ																				
Потребности на полив нетто в мм																				
Январь																				
Февраль																				
Март																				
Апрель																				
Май																				
Июнь																				
Июль																				
Август																				
Сентябрь																				
Октябрь																				
Ноябрь																				
Декабрь																				
Всего																				
Эффективные осадки (включая подпитку из грунтовых вод в мм)																				
Январь																				
Февраль																				
Март																				
Апрель																				
Май																				
Июнь																				
Июль																				
Август																				
Сентябрь																				
Октябрь																				
Ноябрь																				
Декабрь																				
Всего																				
Требуемый средний расход водоподачи (л/сек/га)																				
Январь																				
Февраль																				
Март																				
Апрель																				
Май																				
Июнь																				
Июль																				
Август																				
Сентябрь																				
Октябрь																				
Ноябрь																				
Декабрь																				
Кол-во поливов																				
% снижения урожая																				