

Стулина Г.В., Солодкий Г.Ф.



Использование усовершенствованной методики ФАО для оценки водопотребления сельскохозяйственных культур в процессе орошения в Центральной Азии

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

Стулина Г.В., Солодкий Г.Ф.

**Использование усовершенствованной
методики ФАО для оценки
водопотребления сельскохозяйственных
культур в процессе орошения
в Центральной Азии**

Ташкент 2020

Содержание

1. МЕТОДИКА ФАО	7
1.1. Описание методики.....	7
1.2. Программа CROPWAT	14
2. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ CROPWAT	15
2.1. Пример реализации усовершенствованной программы CROPWAT в проекте WUFMAS	15
2.1.1. Параметры, вводимые в программу CROPWAT.....	16
2.1.2. График проведения поливов	22
2.1.3. Входные и выходные таблицы программы CROPWAT.....	22
2.2. Реализация усовершенствованной программы CROPWAT в проекте «ИУВП-Фергана». «Корректировка гидромодульных районов и расчет водопотребления основных сельскохозяйственных культур».....	28
2.2.1. Методология	28
2.2.1.1. Принципы гидромодульного районирования.....	29
2.2.1.2 Основные факторы изменения границ гидромодульных районов	32
2.2.2. Объект исследования	34
2.2.3. Результаты исследований.....	36
2.2.3.1. Построение карты гидромодульных районов.....	36
2.2.3.2 Расчет режима орошения.....	41
2.3 Реализация усовершенствованной программы CROPWAT для прогнозирования режима орошения в условиях изменения климата в проекте «ИУВП-Фергана». Адаптация планирования водного хозяйства к изменению климатических и гидрогеологических условий	49
2.3.1. Разработка механизмов климатической идентификации ряда лет. Расчет режимов орошения с/х культур для подвешенной площади ЮФК по влажному, сухому и среднему годам	50
2.3.2. Разработка механизмов климатической идентификации года и пересчета режима орошения на конкретный год, подекадный прогноз.....	54
2.4. Реализация усовершенствованной программы CROPWAT (REQWAT). «Влияние изменения климата на землепользование и водопользование», проект САВА	58
2.4.1. Объекты и методы исследований	59

2.4.2. Результаты исследований.....	62
2.4.2.1. Изменение даты устойчивых переходов температуры.....	62
2.4.2.2. Оценка термических ресурсов и их прогнозы.....	66
2.4.2.3. Продолжительность вегетационных периодов культур.....	68
2.4.3. Оценка водопотребления в сценариях будущего.....	74
2.4.3.1 Оценка водного дефицита	74
2.4.3.2 Изменение водопотребления.....	74
2.5. Учет возможного позитивного влияния изменения климата на процессы развития культур. Реализации программы REQWAT, проект PEER, USAID.....	77
2.5.1. Задачи исследований.....	77
2.5.2. Методика исследований и последовательность работ	77
2.5.3. Результаты исследований.....	78
2.5.3.1. Оценка термических ресурсов и их прогнозы.....	78
2.5.3.2. Изменение даты устойчивых переходов температуры.....	80
2.5.3.3. Продолжительность вегетационных периодов культур.....	83
2.5.4 Расчет водопотребления и анализ результатов	91
Заключение	95
Литература	98
Приложение 1. Единые коэффициенты культур и средняя максимальная высота растений для не подверженных стрессу с использованием уравнения Пенмана-Монтейта.....	101
Приложение 2. Многолетние среднемесячные климатические данные.....	106
Приложение 3. Идеальные даты посадки и продолжительность стадий развития культур для программы CROPWAT.....	109
Приложение 4. Сроки уборки урожая и продолжительность вегетационного периода основных культур и стадии развития риса	111
Приложение 5. Описание программной части задачи. Моделирование водопотребления с/х культур по программе REQWAT с учетом влияния изменения климата.....	113

Уважаемые коллеги!

Несмотря на наличие большой программы, посвящённой изучению и внедрению методов адаптации к изменению климата, выполняемой через РЭЦ Центральной Азии в регионе, за исключением работ ряда климатологических учреждений как Узгидромет, САIAG, ряда таджикских учёных, в регионе очень мало практических работ, основанных на последних достижениях мировой и европейской науки, которые демонстрируют возможность противостоять вызовам климатических изменений и адаптироваться к ожидаемым их колебаниям.

Предлагаемая Вашему вниманию работа научных сотрудников НИЦ МКВК доктора Г.В. Стулиной и климатолога Г.Ф. Солодкого при участии К. Курбановой являются приятным исключением. На протяжении более 20 лет эта команда, начав с семинара, когда-то в далёкие советские годы организованного ФАО (М. Смит), упрямо и целеустремлённо совершенствовала свои знания предлагаемых новых методов сначала совместно с ФАО, затем в проекте «Коперникус» совместно с Лиссабонским Аграрным Университетом (профессор Л. Перейра), затем в проекте Rivertwin Университета Гогенхайм (ФРГ) и наконец в проекте «ИУВР-Фергана», где учёным представилось большое поле деятельности в части возможности демонстрации практических результатов пересмотра нормативов потребности в воде для орошения на территории четырёх областей Ферганской долины.

Используя как классификационную основу известную систему гидромодульного районирования, берущую начало в исследованиях гидромодульной части Министерства земледелия России под руководством А.Н. Костякова, позже уточнённую СОЮЗНИХИ (В.Р. Шредер и Н.Г. Беспалов), авторы использовали методику ФАО-24 и 56, но внесли в неё существенное добавление – создав программное обеспечение и введя в алгоритм подпитку из грунтовых вод. Созданный на основе CROPWAT новый программный продукт PROGWAT, был успешно апробирован и внедрён в практику водохозяйственных организаций Ферганской долины на площади 130 тысяч гектаров орошаемых земель. Это позволило бассейновым управлениям снизить водозабор в среднем на 200 миллионов кубометров воды в год и успешно преодолеть при снижении ещё на 150 миллионов дефицит водных ресурсов в маловодном 2008 году!!! И всё это без какого-либо снижения урожая.

Далее, развитые возможности данных методов нормирования были продемонстрированы в виде увязки нормативов с работой местных климатических станций, что позволило осуществлять корректировку графика поливов каждую декаду по ходу изменения климатических показателей.

В процессе работы над внедрением этих программ было установлено важное преимущество данной методики в условиях изменения климата - используя повышение естественных тепловых ресурсов по большинству культур установлена возможность не увеличивать, а уменьшить затраты воды на создание урожая. Это очень важный вывод является очень перспективным в условиях изменения климата.

Мы рассматриваем этот подход как возможность охвата предлагаемой методикой всего региона и опробования её в широком масштабе во всех республиках.

Директор НИЦ МКВК,
профессор В.А. Духовный

1. МЕТОДИКА ФАО

1.1. Описание методики

Подходы к расчету водопотребления изложены в двух выпусках ФАО 24 и ФАО 56 [1, 2]. Они содержат, как теоретическое обоснования методологии, так и рекомендации по практическому применению.

Как известно, полив сельскохозяйственных культур направлен на поддержание необходимого водного баланса в корнеобитаемом слое почвы. На рис. 1 приводится схема статей водного баланса.

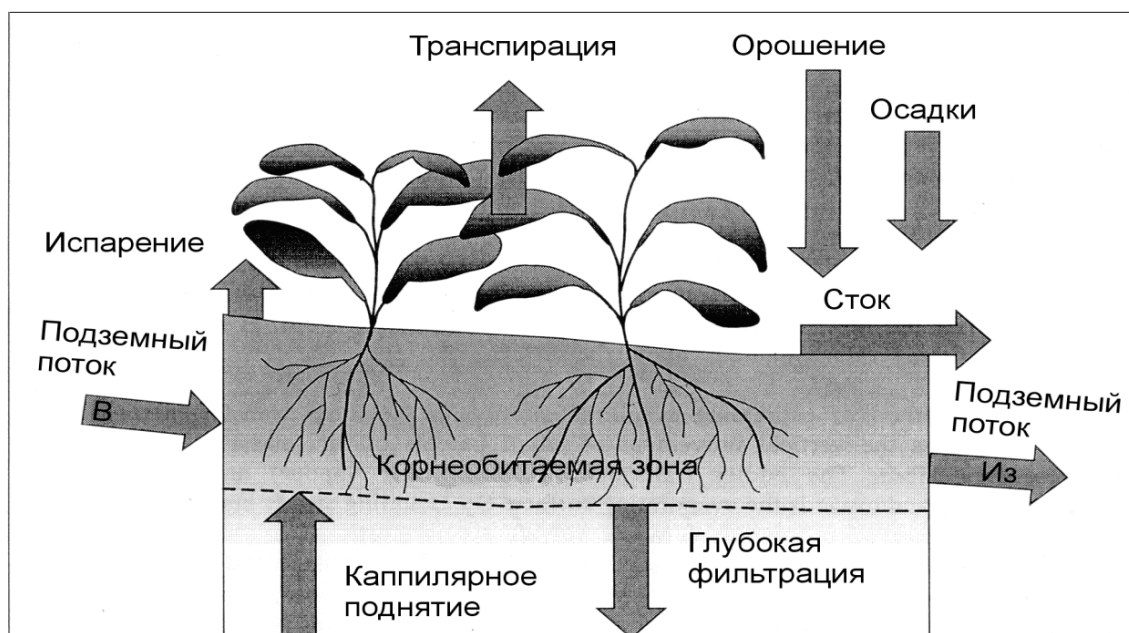


Рис. 1. Водный баланс корнеобитаемой зоны
(источник: ФАО 56)

Потребность сельскохозяйственных культур в воде определяется, как количество воды требуемое для пополнения дефицита запасов воды в результате испарения ее с поверхности почвы и транспирации с поверхности листьев растений.

Сочетание двух отдельных процессов, при которых почва теряет воду через испарение, а растения - через транспирацию, называется эвапотранспирацией (ET).

Испарение характеризуется процессом преобразования воды в пар (парообразование) и удаления с испаряющей поверхности (удаление пара). Вода испаряется с множества поверхностей, как, например, озера, реки, покрытия, почвы и влажная растительность.

Для преобразования молекул воды в молекулы пара требуется энергия. Эта энергия обеспечивается прямой солнечной радиацией и, в меньшей степени, температурой воздуха. Движущей силой, отрывающей пар от поверхности испарения, является разница между давлением паров воды на испаряющей поверхности и в атмосфере. По мере испарения окружающий воздух насыщается паром, процесс испарения замедляется и может прекратиться, если влажный воздух не будет перемещен в атмосферу. Замена насыщенного влагой воздуха более сухим зависит в основном от скорости ветра. Следовательно, при рассмотрении процесса испарения основными факторами являются: солнечная радиация, температура воздуха, влажность воздуха и скорость ветра.

Транспирация состоит из превращения воды, содержащейся в тканях растений, в пар и его перемещения в атмосферу. В основном, растения испаряют воду через листву. В листьях растений имеются мелкие отверстия, через которые проходят газы и вода (рис. 1). Образование пара происходит внутри листа, а именно в межклеточном пространстве и его обмен с атмосферой контролируется этими отверстиями. Почти вся вода, взятая корнями из почвы, расходуется на транспирацию и лишь незначительная ее часть используется внутри растения.

Транспирация, подобно прямому испарению, зависит от поступления энергии, градиента давления пара и скорости ветра.

Скорость эвапотранспирации обычно выражается в миллиметрах в единицу времени. Скорость выражает количество воды, потерянной с культивируемой площади в единицах толщины слоя воды (глубины). Единицей времени может быть час, день, декада, месяц или даже целиком вегетационный период.

Поскольку $1 \text{ га} = 10\,000 \text{ м}^2$, а $1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$, потеря 1 мм означает потерю 10 м^3 воды с гектара. Другими словами, 1 мм/сутки эквивалентен $10 \text{ м}^3/\text{га/сутки}$.

Скорость эвапотранспирации с эталонной поверхности без дефицита воды называется эталонной эвапотранспирацией и обозначается как E_{To} . За эталонную поверхность принимается гипотетическая травянистая поверхность с высотой травы $0,12 \text{ м}$, сопротивлением поверхности 70 с м^{-1} и альбедо $0,23$. Эталонная поверхность близка к поверхности, покрытой зеленой, хорошо увлажненной травой одинаковой высоты, активно растущей и полностью затеняющей землю.

Концепция (понятие) эталонной эвапотранспирации была введена для изучения испарительной потребности атмосферы независимо от вида культур, а также практики их выращивания. Поскольку на эталонной поверхности вода имеется в изобилии, почвенные факторы не влияют на E_T . Привязка E_T к конкретной поверхности обеспечивает эталон, к которому можно привязать эвапотранспирацию с другой поверхности. Значения E_{To} , измеренные и подсчитанные для различных мест или разных сезонов, являются сравнимыми. Поскольку они привязываются к E_T для одной и той же эталонной поверхности, единственными факторами, влияющими на E_{To} , являются климатические параметры. Следовательно, E_{To} является климатическим параметром и может быть подсчитана, исходя из метеоданных. E_{To} выражает испаренную силу атмосферы в конкретной местности и для конкретного времени года и не зависит от сельхозкультур или типа почвы. Метод Пенмана-Монтейта рекомендован как единственный метод определения E_{To} . Он был избран, поскольку он хорошо аппроксимирует E_{To} для травы для исследуемой местности к физически обоснованным и физиологическим и аэродинамическим параметрам.

Уравнение Пенмана-Монтейта (ФАО) (1) приведено ниже.

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)} \quad (1)$$

где:

ET_o – эталонная эвапотранспирация [мм сут⁻¹];

R_n – чистая радиация на поверхности растений [МДж м⁻² сут⁻¹];

G – плотность теплового потока почвы [МДж м⁻² сут⁻¹];

T – среднесуточная температура воздуха на высоте 2 м [°C];

u_2 – скорость ветра на высоте 2 м [м с⁻¹];

e_s – давление пара насыщения [кПа];

e_a – фактическое давление [кПа];

$(e_s - e_a)$ - дефицит давления пара насыщения [кПа];

Δ – уклон кривой давления пара [кПа °C⁻¹];

γ – психрометрическая постоянная [кПа °C⁻¹].

Эталонная эвапотранспирация ET_o обеспечивает стандарт, с которым:

- можно сравнивать эвапотранспирацию в разные периоды года;
- можно соотнести эвапотранспирацию для различных культур;
- можно сравнивать эвапотранспирацию в условиях изменения климата.

Метод Пенмана-Монтейта включает все параметры, управляющие обменом энергии и соответствующий скрытый поток тепла (эвапотранспирация) с однородного растительного покрова. Большинство параметров могут быть измерены или рассчитаны из метеоданных. Уравнение может быть использовано для прямого расчета эвапотранспирации любой культуры при специфическом поверхностном и аэродинамическом сопротивлении.

Эвапотранспирация растений существенно отличается от эталонной эвапотранспирации (ET_o), поскольку растения отличаются от травы по степени покрытия поверхности, кронам растений и аэродинамическому сопротивлению. Влияние характеристик, отличающих сельхозкультуры от травы, объединяются в коэффициенте культуры (K_c).

Эвапотранспирация культуры ET_c рассчитывается по произведению эталонной эвапотранспирации культуры на коэффициент культуры K_c :

$$ET_c = K_c ET_o \quad (2)$$

где:

ET_c – эвапотранспирация культуры [мм/сут];

K_c – коэффициент культуры [-];

ET_o – эталонная эвапотранспирация [мм/сут].

Коэффициент культуры K_c является отношением ET_c к эталонной ET_o и представляет собой объединенное влияние четырех различных характеристик, которые отличают культуры от эталонной травы. Эти характеристики следующие:

- Высота растения. Высота растения воздействует на аэродинамическое сопротивление и турбулентный перенос пара от растения в атмосферу.
- Альbedo (отражающая способность) поверхности «растение-почва». На альbedo влияют часть поверхности, покрытая растительностью и влажность почвы. Альbedo поверхности, в свою очередь, влияет на чистую радиацию поверхности, которая является главным источником обмена энергией для процесса испарения.
- Сопротивление кроны. Сопротивление растений удалению пара зависит от площади листового покрова (количество устьиц), возраста листьев и их условий, и степени контроля устьиц. Сопротивление кроны влияет на сопротивление поверхности.
- Испарение с почвы, особенно обнаженной.

K_c в уравнении 2 рассчитывает ET_c в стандартных условиях, которые предполагают отсутствие ограничений на рост растений или эвапотранспирацию ввиду дефицита воды, густоты (плотности) растений или болезней, сорняков, насекомых и солевого давления. ET_c , адаптируется, если необходимо, к нестандартным условиям. $ET_{c\ adj}$, для любых условий среды, рассчитывается скорректированным K_c .

Стандартные условия относят к культурам, растущим на полях большого размера в отличных агрономических и почвенных условиях. Различия в испарении и транспирации между полевыми культурами и эталонным травяным покровом могут быть объединены в единичном коэффициенте культуры (K_c) или разделены на два коэффициента: основной коэффициент культуры ($K_{c\ b}$) и коэффициент испарения почвы (K_e), т. е. $K_c = K_{c\ b} + K_e$. Метод должен быть выбран в зависимости от цели расчета, требуемой точности и наличия данных.

Стадии роста культуры

По мере развития растения изменяются: покрытие поверхности, высота растений и площадь листьев. Ввиду различий в эвапотранспирации в течение различных стадий роста K_c для данной культуры будет изменяться в течение вегетационного периода. Вегетационный период может быть поделен на четыре стадии роста: начальную, развитие растения, середину сезона и конец сезона. Рис. 2 иллюстрирует общую последовательность и пропорции этих стадий для различных видов культур.

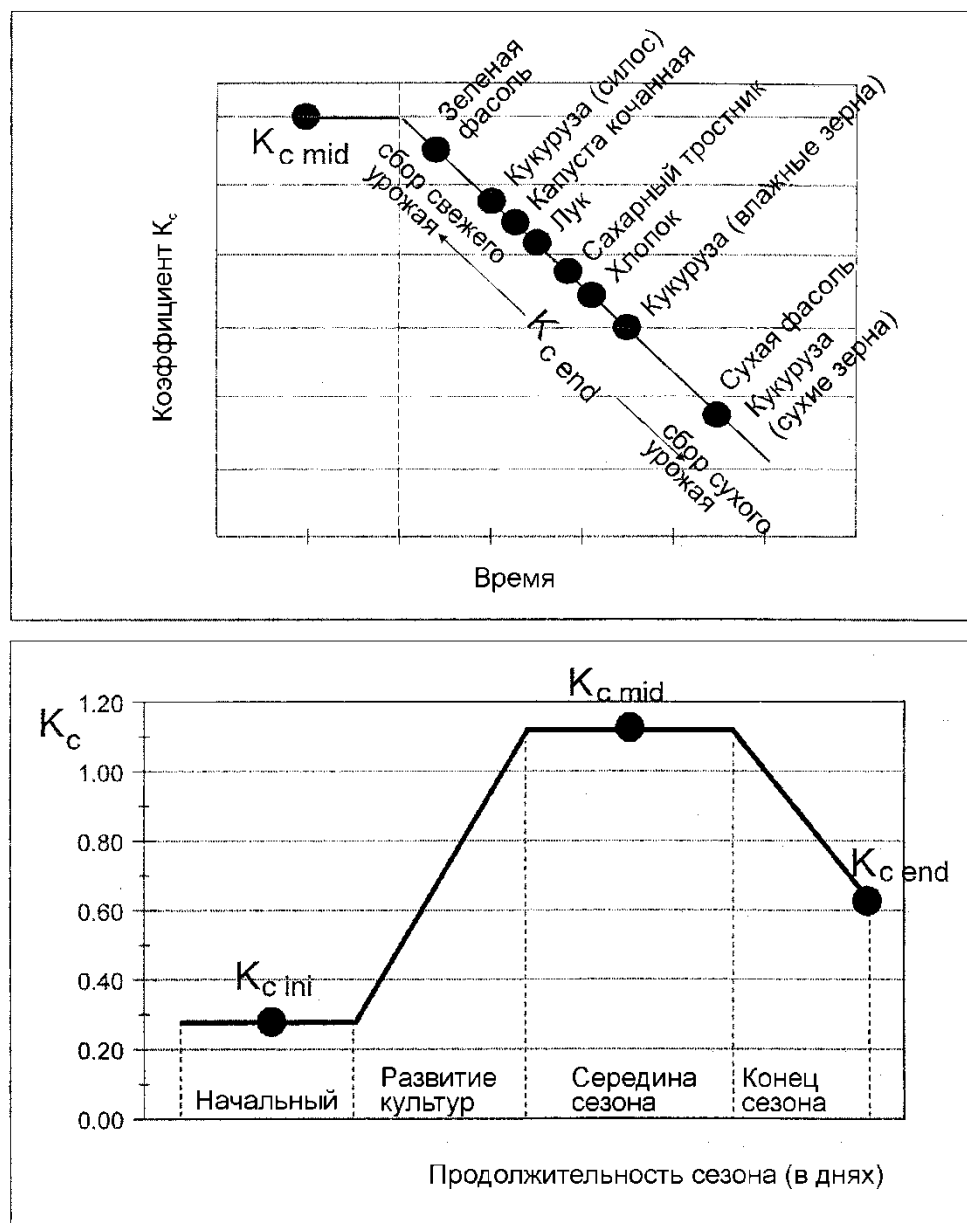


Рис. 2. Стадии роста растений
(источник: ФАО 56)

Начальная стадия. Начальная стадия длится с даты посадки до 10 % покрытия поверхности почвы. Длительность начального периода зависит от культуры, ее разновидности, даты посадки и климата. Окончание начального периода определяется временем 10 % покрытия земной поверхности растительностью. Для многолетних культур дата посадки заменяется датой «озеленения», т. е. временем появления новых листьев.

В течение начального периода площадь листьев мала и эвапотранспирация происходит, в основном, в виде испарения с поверхности почвы. Следовательно, K_c в течение начального периода ($K_{c \text{ ini}}$) большой, когда почва влажная после орошения или

дождя, и малый, когда поверхность сухая. Время высыхания почвы определяется интервалом между увлажнениями, испарительной силой атмосферы (ET_0) и степенью увлажнения.

Стадия развития растения. Стадия развития растения длится, начиная с 10 % до полного покрытия растениями поверхностей. Эффективное полное покрытие для многих культур совпадает с началом цветения. Для культур, растущих рядами, таких, как бобы, сахарная свекла, картофель и кукуруза, эффективное покрытие может определяться как время, когда листья с соседних рядов начинают перекрывать друг друга, так что поверхность оказывается почти полностью затененной, или когда растения достигают почти полного размера, если перекрывания листьев не происходит. Для некоторых культур, особенно выше 0,5 м, средняя доля поверхности, покрытой растительностью к началу эффективного полного покрытия равна 0,7-0,8. Доля освещенной и затененной почвы и листьев существенно не меняются с ростом растения. Понятно, что культура или растение может продолжать расти как в высоту, так и по площади листьев после времени полного покрытия. Поскольку трудно определить визуально, когда густо посеянная растительность, такая, как озимые и яровые зерновые и некоторые травы, достигает полного эффективного покрытия, для этих типов культур обычно используется начало цветения.

Для густой травы эффективное полное покрытие может наступить при высоте 0,10-0,15 м. Для небольших полигонов высота травы может достичь 0,3-0,5 м до наступления полного покрытия. Густо посаженные кормовые, такие, как люцерна и клевер, достигают полного покрытия при высоте 0,3-0,4 м.

Еще один способ определения полного эффективного покрытия – по достижению индексом площади листьев (LAI) значения 3. LAI определяется как отношение средней общей площади листьев (одна сторона) к единице площади поверхности почвы.

По мере того, как растение развивается и все больше затеняет почву, испарение все больше ограничивается и транспирация становится основным процессом. В стадии развития растения значение K_c соответствует покрытию поверхности и развитию растения. Обычно если поверхность почвы сухая, $K_c = 0,5$ соответствует 25-40 % покрытию поверхности растительностью благодаря эффекту затененности и микропереносу физического тепла из почвы в растительность. $K_c = 0,7$ часто соответствует 40-60 % покрытию. Эти значения варьируют, в зависимости от культуры, частоты увлажнения и от того, потребляет ли растение больше воды, чем эталонная культура при полном покрытии (т. е. в зависимости от архитектуры кроны и высоты растений по отношению к подстриженной траве).

Стадия середины сезона. Стадия середины сезона начинается с момента полного эффективного покрытия до момента начала созревания. Начало созревания обычно характеризуется началом старения, пожелтения и опадания листьев или пожелтения фруктов до степени, когда эвапотранспирация снижается относительно ET_0 . Стадия середины сезона является самой продолжительной для многолетних культур и многих однолетних, но может быть относительно короткой для овощей, которые снимаются свежими.

В стадии середины сезона K_c достигает максимальной величины. Значение K_c ($K_{c\ mid}$) является относительно постоянным для большинства условий произрастания культур. Отклонения $K_{c\ mid}$ от эталонной величины «1», в первую очередь, благодаря разнице в высоте растений и сопротивлению между эталонным травяным покровом и сельхозкультурой и погодным условиям.

Стадия окончания сезона. Стадия конца сезона длится с начала созревания до уборки урожая или полного опадания листьев. Расчет K_c и ET_c приурочен к сбору урожая, естественному высыханию или опаданию листьев.

Для некоторых многолетних растений в регионах с безморозным климатом культуры могут расти круглый год, так что дата завершения сезона может быть совмещена с датой посадки растений.

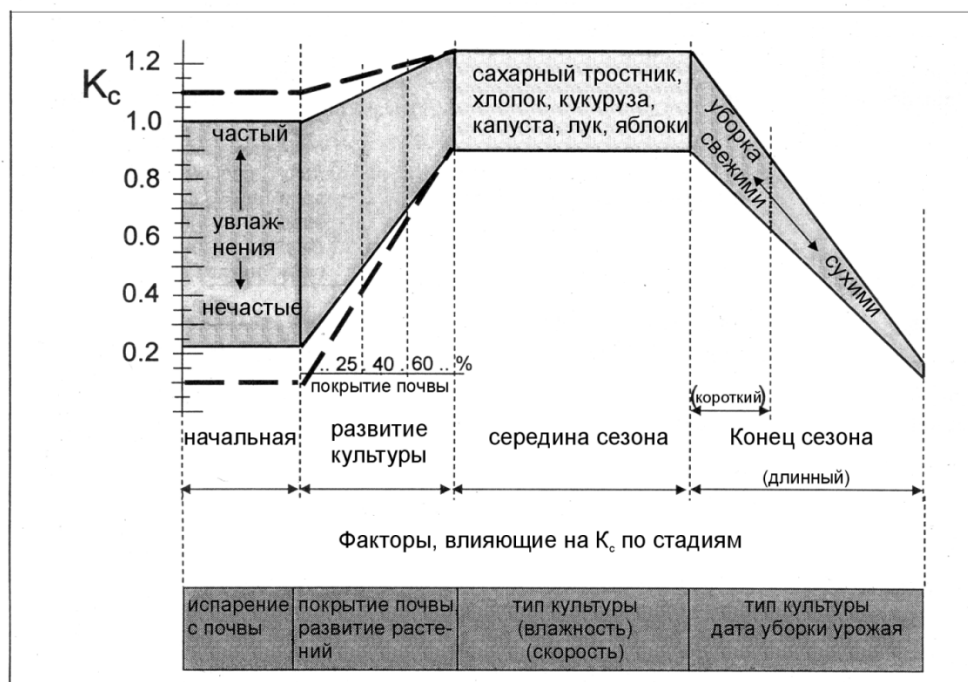


Рис. 3. Типовые значения K_c для четырех стадий роста растений
(источник: ФАО 56)

K_c к концу завершения сезона ($K_{c\text{ end}}$) отражает практику управления культурами и водой. $K_{c\text{ end}}$ имеет большую величину, если культура часто увлажняется до уборки в свежем виде. Если культуре позволяют высохнуть в поле до уборки, $K_{c\text{ end}}$ будет небольшим.

Рис. 3 иллюстрирует изменения K_c для различных культур, под влиянием погодных факторов и развития растений (приложение 1).

1.2. Программа CROPWAT

CROPWAT – это инструмент поддержки принятия решений, разработанный Отделом развития земельных и водных ресурсов ФАО.

CROPWAT для Windows – это компьютерная программа для расчета потребностей в воде для сельскохозяйственных культур и требований к орошению на основе данных о почве, климате и культурах. Кроме того, программа позволяет разрабатывать графики полива для различных условий управления и рассчитывать схему водоснабжения для разных моделей посева.

Все процедуры расчета, используемые в программе CROPWAT, основаны на трех публикациях ФАО серии «Ирригация и дренаж», а именно № 24, 33 и 56 «Водопотребление культур», «Реакция урожайности на воду», «Эвапотранспирация сельскохозяйственных культур» [1–4].

Разработка такой программы, на строгой методической основе ФАО явилось значительным прогрессом в водной практике. Это - возможность решения водного баланса через оценку эвапотранспирации, как затратной статьи водного баланса. Необходимое растениям водоснабжение решается восстановлением запасов воды в корнеобитаемом слое с учетом объема водного дефицита и объема почвенной емкости, как характеристики ее порового пространства и водоудерживающей способности грунтов.

Недостатком программы CROPWAT является то, что она не предназначена для пакетной обработки данных для расчета потребностей в воде. В связи с тем, что ввод данных в программу осуществляется через визуальный интерфейс, при обработке большого объема данных процедура становится трудозатратной. Кроме того, 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 температура), а минимальная температура ночью. Ночная температура в 15 °С обычно используется, как критический порог, в особенности для хлопчатника. Кроме того, почвы Центральной Азии имеют свои особенности, в их гранулометрическом составе в результате выветривания доминируют фракции пыли, что определяет их фильтрационные свойства. Принятые в программе CROPWAT по умолчанию величины доступной влаги в почве и скорость инфильтрации, должны быть скорректированы соответственно этому.

2. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ CROPWAT

2.1. Пример реализации усовершенствованной программы CROPWAT в проекте WUFMAS

Применение программы CROPWAT было осуществлено НИЦ МКБК в Центральной Азии в проекте WUFMAS (Water Use and Farm Management Survey, суб-проект проекта WARMAP, 1995-2009) [5] на базе выбранных репрезентативных 11 хозяйств (рис. 4), расположенных в наиболее типичных условиях в областях республик. Была разработана и использована усовершенствованная программа CROPWAT, заключающаяся в следующем:

В проекте WUFMAS программа CROPWAT применялась для определения потребностей в оросительной воде для опытных полей проекта. Таких полей было 130. Поскольку ввод данных в программе осуществлялся через графический интерфейс, этот процесс для 130 полей вызвал определенные затруднения. Кроме того, почвенные данные, используемые программой CROPWAT, представляли только три типа почв с фиксированными значениями полной полевой влагоемкости и скорости инфильтрации. В тоже время эти параметры определялись на опытных полях индивидуально.

Таким образом, возникла необходимость в пакетном варианте программы CROPWAT. Это такой вариант программы, который позволяет включать программу в качестве вычислительного блока в другие программы, обеспечивающие её всеми необходимыми настроечными и исходными данными. Для этой цели был разработан вариант программы-оболочки для CROPWAT. На уровне этой программы-оболочки к CROPWAT была подключена база данных MS Access, в таблицах которой содержалась вся входная информация и результаты работы так же заносились в БД.

Весомый вклад в программу CROPWAT составили:

1. Разработан подход, имитирующий пакетную работу программы.
2. Разработан макро-интерфейс в MS Access, что упростило корректировку исходных параметров.
3. Откорректированы коэффициенты основных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в условиях ЦА с учетом климатических, физиологических, сортовых, особенностей.

Скорректированные параметры культур и почв для программы CROPWAT, основаны на обобщении и анализе среднесуточных климатических данных с 11-ти репрезентативных метеостанций, расположенных в представительных точках региона.

В качестве входных параметров в программе использованы:

- климатические параметры;
- параметры культур;
- почвенные параметры.

2.1.1. Параметры, вводимые в программу CROPWAT

Климатические данные

Среднемесячные значения суточных температур, относительная влажность воздуха, продолжительность солнечного сияния в часах, скорость ветра и осадки непосредственно используются для ввода в программу CROPWAT для ЕТо по методу Пенмана-Монтейна. Средняя скорость ветра – по стандартам ФАО анемометр должен устанавливаться на высоте 2 метра над поверхностью земли, если высота анемометра отличается должна быть сделана поправка.

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. Даты, с которых ночная температура (рис. 4) перестает падать ниже 15°C – это примерно та температура, которая является критической для начала быстрого вегетативного роста тропических культур. День, когда минимальная температура достигает 0, 5, 10 и 15 градусов весной и осенью, был рассчитан с помощью эмпирического полиномиального уравнения.

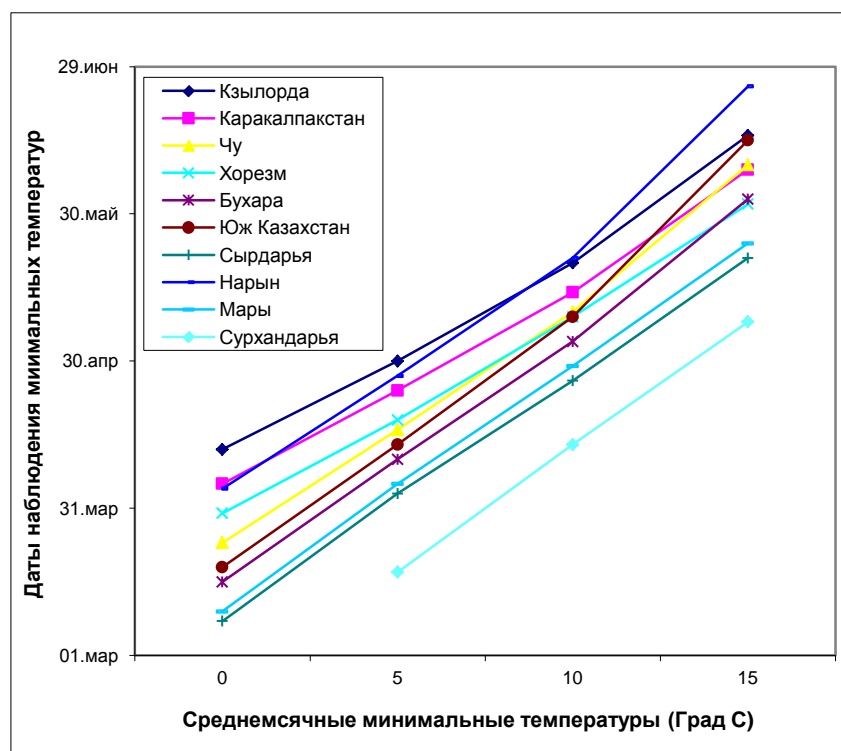


Рис. 4. Изменение темпов увеличения минимальных температур весной по областям региона

Осадки. 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.

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.

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. ETo в программе CROPWAT оценивается с помощью метода Пенмана-Монтейта. 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.

Дата посадки. Самая ранняя рекомендуемая дата посадки это та дата, когда устойчивая температура воздуха весной поднимается выше 0-15 °C в зависимости от культуры (приложения 2, 3). 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 сентябре-октябре.

Продолжительность вегетационного периода. В приложении 4 показаны скорректированные данные по продолжительности четырех стадий развития культур за весь вегетационный период для основных культур (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. Высокие температуры в середине лета также сокращают продолжительность стадий **цветения**, образования плодоземента и **созревания плода** по сравнению со значениями, заложенными в программу по умолчанию.

Коэффициенты культур. В основном можно использовать коэффициенты культур, заложенные по умолчанию в программу CROPWAT (приложение 1), а в таблице 1 приводятся коэффициенты культур с учетом климатических и сортовых особенностей местных сортов, так например, 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 (120 000 растений хлопчатника на гектар по сравнению с нормой в 40 000). 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.

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 по программе CROPWAT (табл. 1). 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

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

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 1

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	-	-

Почвенные параметры в программе CROPWAT

Доступная почвенная влага (AWC). Общее количество доступной влаги в почве (ТАМ) является абсолютной величиной, определяющей, сколько влаги потенциально культура может абсорбировать из почвы при 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 условиями 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 x 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 2.

Таблица 2

Величины доступной почвенной влаги и скорости инфильтрации по почвам различного мех. состава в Центральной Азии

Класс почвы по мехсоставу (USDA)		AWC (1) мм/м	Скорость инфильтрации (2) мм/сутки
Z	Пыль	160	144
ZL	Пылеватый суглинок	160	192
ZC	Пылеватые глины	170	48
ZCL	Пылевато-иловатые 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
SCL	Опесчаненный иловатый суглинок	190	240
CL	Иловатый суглинок	180	192
C	Глина	210	12

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

Общее количество доступной влаги в почве (ТАМ) зависит от величины полезной влагоёмкости (АВС) и глубины корней растений: например, если $АВС=150\text{мм/м}$ и корни имеют глубину до 0.6м, то общее количество доступной влаги в почве $ТАМ=150 \times 0,6=90\text{мм}$. 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%.

Коэффициенты истощения и легкодоступная 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 бороздковом 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 [5]).

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

2.1.2. 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 программистом Г.Ф. 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 ними.

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 устье пор, идущих из мезофиловой 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 ET_c запрограммировано в программе CROPWAT.

2.1.3. Входные и выходные таблицы программы CROPWAT

Следующие таблицы являются примером выходных данных программы CROPWAT.

Таблица 3 – 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.

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 «.pem».

Таблица 3

**Ежемесячная эвапотранспирации эталонной культуры
по Пенману-Монтейту**

Метеостанция: Душанбе				Страна: Таджикистан			
Высота над ур. моря: 803 м.				Координаты: 38.70 сев шир 68.50 вост долг			
Месяц	MinTemp	MaxTemp	Влажн. %	Ветер м/сек	Солн. сиян. Часы	Радиация MJ/м2/сут	ЕТо-ПенМонт 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:\CROPWAT 7.1\CLI\ DUSHANBE/PEM 09/03/01							

Таблица 4 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 4

Ежемесячные данные по осадкам

Метеостанция: Душанбе	Метод эффект осадков: Осадки (мм/месяц)	Метод USDA S.C. Эффективные осадки (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		

Таблица 5 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 6. 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 5

Данные по культурам

Название культуры: Хлопчатник-ЦА					
Стадия развития	Первонач.	Вегет.	Серед.	Конец	Всего
Продолж. (дней)	53	38	47	30	1.68
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

Таблица 6

Эвапотранспирация культуры и потребности на орошение

Дождь/Метеостанция: Душанбе				Культура: Хлопчатник-ЦА				
ЕТо /Метеостанция: Душанбе				Дата посадки: 1 апреля				
Месяц	Дек	Стад	Коэфф Кс	ЕТгор мм/сут	ЕТгор мм/дек	Эфф осад мм/дек	Потр полив мм/сут	Потт пол мм/дек
Апр	1	Перв	0.35	0.99	9.9	27.2	0.0	0.0
Апр	2	Перв	0.35	1.13	11.3	34.8	0.0	0.0
Апр	3	Перв	0.35	1.27	12.7	30.5	0.0	0.0
Май	1	Перв	0.35	1.41	14.1	25.7	0.0	0.0
Май	2	Перв	0.35	1.54	15.4	23.0	0.0	0.0
Май	3	Пер/ Вег	0.43	2.06	22.7	17.2	0.50	5.5
Июнь	1	Вегет	0.61	3.20	32.0	10.0	2.21	22.1
Июнь	2	Вегет	0.80	4.60	46.0	4.0	4.20	42.0
Июнь	3	Вегет	1.00	5.73	57.3	2.6	5.46	54.6
Июль	1	Серед	1.10	6.33	63.3	0.1	6.31	63.1
Июль	2	Серед	1.10	6.40	64.0	0.0	6.40	64.0
Июль	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		517.4

Таблица 7 является примером требуемых параметров для пылеватых суглинков – тип почв, который очень распространён в Центральной Азии.

Таблица 7

Почвенные данные

Тип почвы: пылеватый суглинок
Общее кол-во доступной почвенной влаги (TAM): 160.0 мм/метр
Максимальная скорость инфильтрации дождя: 200 мм/сут
Максимальная глубина корней: 900 сантиметров
Первонач истощение почвенной влаги (% TAM): 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 144 мм/м слоя почвы, при этом предполагалось, что на момент посадки 10 % почвенной влаги уже было истощено (на испарение).

Таблица 8 –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 8

Расчёт графика орошения – идеальный график

Дождь/Метеостанция: Душанбе ЕТо /Метеостанция: Душанбе Дата посадки: 1 апреля						Культура: Хлопчатник-ЦА Почвы: пылеватый суглинок Общее кол-во почвенной влаги: 160 мм/м Первоначальное содержание почвенной влаги: 144 мм/					
Сроки поливов: При истощении (100% RAM) Норма полива: Восполнять до предельной полевой влагоёмкости КПД полива поля: 40%											
№ Полив	Инт дней	Дата	Стад	Истоц %	ТХ %	ЕТа %	Нетто мм	Дефицит мм	Потери мм	Брутто мм	Расх 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	18авг	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 Всего оросит норма нетто 512.0 мм Всего потери оросит воды 0.0 мм Дефицит влаги при сборе урожая 9.6 м						Сумма осадков 205.1 мм Эффективные осадки 104.3 мм Всего потери осадков 100.7 мм					
Фактич водопотребление культуры 614.8мм Потенциальное водопотребление культуры 614.8мм						Фактич потребности на орош 510.5мм					
КПД графика поливов 100.0 % Дефицит влаги при поливах 0.0 %						КПД осадков 50.9 %					
СНИЖЕНИЕ УРОЖАЯ - нет											
CROPWAT 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 воды для оценки потерь потенциального урожая культуры из-за водного стресса, который может иметь место в каждой из

стадий развития культуры. В таблице 9 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 9

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/												
Сроки поливов: с фиксированными интервалами (50, 40, 30, 50 дней)												
Норма полива: Восполнять до предельной полевой влагоёмкости												
КПД полива поля: 40%												
№ Полив	Инт дней	Дата	Стад	Истоц %	ТХ %	ЕТа %	Нетто мм	Дефицит мм	Потери мм	Брутто мм	Расх 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 411.6 мм						Фактич потребности на орош 516.6мм						
Потенциальное водопотребление культуры 614.8 мм												
КПД графика поливов 100.0 %						КПД осадков 47.9 %						
Deficiency Irr. Schedule 33.0 %												
СНИЖЕНИЕ УРОЖАЯ			Стадии разв			A	И	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			
CROPWAT 7.0										09/03/01		

Выводы: Проведенная работа по проекту WUFMAS имела огромное значение, как первая практика использования GROPWAT в Центральной Азии.

Она носила скорей демонстрационный и обучающий характер. Хотя создала основную базу К_c, почвенных параметров и биологических характеристик культур ЦА, используемых в дальнейшем в развитии работ по водопотреблению.

Развитие данного направления имело бы смысл в случае практической реализации результатов расчета и рекомендаций режима орошения основных сельскохозяйственных культур.

Такая работа была выполнена в проекте «ИУВР Фергана».

2.2. Реализация усовершенствованной программы CROPWAT в проекте «ИУВР-Фергана». «Корректировка гидромодульных районов и расчет водопотребления основных сельскохозяйственных культур»

В данной работе было продолжено усовершенствование программы CROPWAT на базе CROPWAT 4, Г.Ф Солодкий создал программу, позволяющую реализовывать расчеты и представлять результаты в среде ГИС и учитывать в водном балансе подпитку из грунтовых вод.

Для перевода картографических данных в электронный формат использовались системы ArcINFO и MapINFO. Использование ArcINFO обусловлено наличием ГИС ArcInfo и подготовленных специалистов ArcINFO по вводу картографической информации и представлению ее в инвариантном формате Shape-файлов. Система MapINFO применялась из-за входящей в нее развитой системы программирования MapBSIC, необходимой для решения задач наложения Shape-файлов.

С целью совершенствования программы, кроме:

- автоматической корректировки, пакетной обработки данных по потребностям в воде различных культур;
- создания макро-интерфейса в MS Access, в программу введен учет подпитки из грунтовых вод в расчете балансы корнеобитаемого слоя, для этого написана программа (Солодкий Г.Ф) учёт подпитки рассчитан на основе уравнения Харченко, с модификацией М.Г. Хорста [6].

Выбор именно версии CROPWAT 4, как базы для создания REQWAT, объясняется некоторыми соображениями:

Положительные стороны программы – дружественный интерфейс, гибкость в расчете поливных норм, возможность смены информации в сопутствующих текстовых файлах для настройки программы на обработку территорий/ культур/ климата на нестандартные условия, оценка потерь урожая от водных стрессов. Кроме перечисленных текстовых файлов в версии CROPWAT 4 предусматривалась возможность ввода в уравнение баланса файла с расширением *.adj. С помощью этого файла удалось включить в расчеты подпитку из грунтовых вод.

2.2.1. Методология

Для Центральной Азии с дефицитом водных ресурсов, обостренными процессами аридизации, единственным путем выживания является экономия водных ресурсов, основанная на совершенствовании и оптимизации водопотребления. В качестве базиса этого направления в проекте «ИУВР-Фергана» используется ряд технических мер, среди которых ведущим является планирование водопользования и водораспределения.

В соответствии с принятым набором средств проект разработал Управляющую ирригационную систему, которая с помощью компьютерных моделей позволяет определить потребности и осуществить распределение водных ресурсов между водопользователями.

Определение требований на воду для планирования и распределения воды из ирригационной системы производится на основе гидромодульного районирования орошаемых земель. Гидромодульное районирование – это районирование территории на таксонометрические единицы (ГМР) по климатическим данным, почвенным характеристикам в сочетании с гидрогеологическими и другими природными и ирригационно-хозяйственными особенностями территории. Существующее гидромодульное районирование 1986 года не учитывает значительных изменений природно-климатических и особо почвенных условий, произошедших за двадцатилетний период, трансформации почвенных разностей в связи с изменением уровня грунтовых вод, мелиоративного состояния земель. Применяя современные методы расчета водопотребления, оросительных и поливных норм, сроков и норм поливов на основе компьютерных моделей в среде ГИС была разработана методика, по которой осуществляется корректировка границ гидромодульных районов и режимов орошения в зоне командования ЮФК (Южного Ферганского канала), Узбекистан.

Работа позволила предложить пользователям-практикам карту гидромодульных районов и таблицы рекомендованных сроков полива, поливных и оросительных норм по средним показателям (климата, сроков сева и др.), а также адаптированную программу расчета водопотребления, позволяющую корректировать режим орошения на сложившуюся ситуацию. Указанная методика и программный комплекс по оценке и – что очень важно - корректирующее водопотребление может быть адаптировано для других районов орошаемых земель Центральной Азии.

2.2.1.1. Принципы гидромодульного районирования

Гидромодульное районирование как целевая методика определения норм и режимов орошения было разработано А.Н. Костяковым в работах Гидромодульной части Департамента земельных угодий России (1913-1915 гг.) и развито последующими работами В.М. Легостаева, В.Е. Еременко, С.Р. Рыжова, В.Р. Шредера, Б.С. Конькова и Н.Ф. Беспалова [7–12].

Районирование заключается в выделении природных поясно-высотных зон.

При этом в пределах Средней Азии выделяются три широтные зоны: северная (С), центральная (Ц) и южная (Ю), каждая из которых в свою очередь подразделяется на две подзоны: северную (I) и южную (II): С-I до 44° , С-II от $42^{\circ}30'$ до 44° , Ц-I от 41° до $42^{\circ}30'$; Ц-II от $39^{\circ}30'$ до 41° и Ю-I от 38° до $39^{\circ}30'$ северной широты. Кроме того, выделяются поясно-высотные зоны (табл. 10).

Таблица 10

Поясно-высотные зоны

Наименование зон	Обозначение	Тип почвы
Пустыни	А	Переходные типы почвообразования
	А ₁	Переходные к сероземам
Эфемеровые степи	Б	Светлые сероземы
	В	Типичные сероземы
Разнотравные степи	Г	Темные сероземы

Гидромодульное районирование – это деление территории на таксонометрические единицы с целью высокоэффективного использования земельно-водных ресурсов и установления научно-обоснованных, дифференцированных режимов орошения, обеспечивающих получение стабильно высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

При гидромодульном районировании выделены четыре таксонометрических единицы: почвенно-климатический округ или оазис, почвенно-климатическая зона, почвенно-мелиоративная область и гидромодульный район [13].

Почвенно-климатический округ – часть территории республики со свойственными ей геоморфологическими, климатическими, гидрогеологическими почвенными условиями и растительностью.

Почвенно-климатическая зона – часть почвенно-климатического округа с однородными метеорологическими условиями и одним типом почвообразования.

Почвенно-мелиоративная область – часть почвенно-климатической зоны с однородными гидрогеолого-мелиоративными условиями и генетической близостью почвообразовательного процесса.

Гидромодульный район или иначе кластер – часть почвенно-мелиоративной области, характеризующаяся близкими показателями мощности почвенного покрова, механического состава, строения и сложения почвогрунта в зоне аэрации, водно-физических свойств, уровня грунтовых вод, определяющими в целом размер и режим орошения сельскохозяйственных культур, и ординату гидромодуля. Гидромодулем орошения названо количество воды, подаваемое в одну секунду на единицу орошаемой площади.

В пределах почвенно-климатической зоны выделяются следующие почвенно-мелиоративные области:

- почвы автоморфного ряда с уровнем грунтовых вод (УГВ) 3м и более;
- почвы переходного (полугидроморфного) ряда, УГВ – 2-3 м;
- почвы гидроморфного ряда с УГВ – 1-2 м.

В зависимости от мощности механического состава, строения и сложения почвогрунтов в зоне аэрации и глубины грунтовых вод рекомендована (Н.Ф. Беспалов) [7] шкала из 9 гидромодульных районов (табл. 11). Это районирование учитывает различное использование растениями грунтовых вод в зависимости от глубины их залегания и интенсивности увлажнения корнеобитаемого слоя почвы, что определяет долю участия их в формировании урожая.

Таблица 11

Характеристика гидромодульных районов*

Характеристика почвы	Гидромодульный район
Автоморфные почвы (УГВ > 3 м)	I
Маломощные (0,2–0,5 м) среднекаменистые различного гранулометрического состава на песчано–галечниковых отложениях и на гипсах, а также песчаные	
Среднемощные слабокаменистые различного гранулометрического состава на песчано–галечниковых отложениях и на гипсах мощные супесчаные и легкосуглинистые	
Мощные средне- и тяжелосуглинистые и глинистые	II
Полугидроморфные почвы (УГВ 2–3 м)	III
Мощные песчаные и супесчаные, а также мало- и среднемощные различного гранулометрического состава	
Мощные легко- и среднесуглинистые однородные; тяжелосуглинистые, облегчающиеся книзу	IV
Мощные тяжелосуглинистые и глинистые плотные, однородные, разные по гранулометрическому составу, слоистые по строению	V
Гидроморфные почвы (УГВ 1–2 м)	VI
Мощные песчаные и супесчаные, а также и среднемощные различного гранулометрического состава	
Мощные легко- и среднесуглинистые однородные; тяжелосуглинистые, облегчающиеся книзу	VII
Мощные тяжелосуглинистые и глинистые плотные, однородные, разные по гранулометрическому составу	VIII
	IX

* Гидромодульное районирование разработано в НПО «Союзхлопок» под руководством Н.Ф. Беспалова, 1986 (2).

Почвы автоморфного ряда (с уровнем грунтовых вод более 3 м) разделены на 3 гидромодульных района с учетом мощности почвенного покрова и механического состава. При этом суглинистые и глинистые мощные почвы объединены в один район с учетом незначительных различий в водопотреблении. Мощные песчаные и супесчаные

почвы резко отличаются от них по вводно-физическим свойствам, водоудерживающей способности и запасом продуктивной влаги. Как показали многолетние исследования па песчаных, а также маломощных почвах, оптимальный предел предполивной влажности здесь выше, чем на мощных суглинистых и глинистых. В этих условиях необходимо проведение более частых поливов уменьшенными поливными нормами при более высоком расходе оросительной воды.

Почвы переходного (глубина грунтовых вод 2-3 м) и гидроморфного ряда (глубина грунтовых вод 1-2 м) разделены на 3 гидромодульных района каждый. При этом учитывались факторы, определяющие высоту капиллярного поднятия от грунтовых вод и её скорость. Песчаные, супесчаные, маломощные и средне-мощные почвы отличаются небольшой высотой капиллярного поднятия – не более I м. Однородное или облегчающееся книзу строение почвогрунтов повышает высоту капиллярного поднятия. На тяжелых резкослоистых почвогрунтах, а также суглинках, утяжеляющихся книзу по механическому составу, высота и скорость передвижения влаги от грунтовых вод значительно меньше, чем на однородных при прочих равных условиях.

2.2.1.2 Основные факторы изменения границ гидромодульных районов

Учитывая, что особенности природно-хозяйственных условий, определяющие гидрографическое районирование, являются динамичными, гидромодульные зоны не могут рассматриваться как неизменные, и периодически должен проводиться их пересмотр. В качестве базиса такого пересмотра используется анализ степени изменчивости отдельных факторов.

Изменение климата. На высокую естественную климатическую изменчивость в бассейне Аральского моря накладываются различные антропогенные воздействия на климат, как глобальные (повышение концентрации парниковых газов в атмосфере), так и локальные (урбанизация, увеличение орошаемых массивов, создание водохранилищ и ирригационно-сбросовых озер, усыхание Аральского моря) [14, 15].

Анализ изменений максимальных температур также показал наличие в большинстве месяцев тенденций к повышению. Летом и осенью более значимо проявляется тенденция к повышению минимальных температур. Для средних значений минимальных температур можно сделать однозначный вывод об их увеличении. Наиболее значимое потепление по территории отмечено в апреле, июне, ноябре и декабре.

Данные наблюдений 1991-2000 годов показывают, что среднегодовая температура воздуха по территории региона продолжает повышаться. В последнее десятилетие наибольший вклад в потепление вносили уже зимние месяцы. Например, средняя за 10 лет температура воздуха за зимний сезон оказалась выше базовой нормы практически по всей территории, а в отдельных районах – на 1,2-1,5 °С.

Данные наблюдений за годовыми суммами осадков показывают некоторое увеличение их по равнинной территории в период с 1961 по 1990 год. Для предгорной и горной территории характерно наличие отдельных очагов увеличения и уменьшения осадков. Тенденции изменения сумм осадков за холодное полугодие практически совпадают с тенденциями изменения годовых сумм, поскольку основной вклад в

годовую сумму осадков по территории вносят осадки холодного полугодия. В период с 1991 по 2000 год средние годовые суммы осадков оказались выше базовых норм уже в предгорной и горной частях региона.

Для осеннего и летнего сезонов отмечено увеличение потенциально возможного испарения. На рис. 5 показан тренд увеличения температуры воздуха за последние 30 лет по метеостанции «Фергана», являющейся репрезентативной для значительной части Ферганской области.



Рис. 5. Изменение среднегодовых температур, метеостанция «Фергана»

На основании анализа климатических показателей можно сделать следующие выводы: на территории региона отмечается усиление засушливости климата; более четкие тенденции к росту засушливости климата прослеживаются летом и несколько ниже осенью при сохранении высокой изменчивости во времени; выявленные изменения оказывают влияние на интенсификацию происходящих в регионе процессов деградации земель.

Изменение мелиоративного состояния земель, уровня грунтовых вод.

Изучение уровня грунтовых вод, их минерализации на основе данных гидрогеолого-мелиоративных экспедиций показывает, что изменения этих параметров произошли во всех районах Узбекистана. Аналогичные изменения произошли и на других территориях Центральной Азии. Нельзя однозначно сказать, что по всей территории наблюдается подъем грунтовых вод или, наоборот, их заглубление. Но везде, так или иначе, происходят изменения. С одной стороны, выход из строя дренажных систем привел к подъему уровня грунтовых вод, с другой – лимитированная подача оросительной воды способствовала снижению уровня

грунтовых вод. Значительные изменения в региональном масштабе вызвали построенные водохранилища, являющиеся источником подпитки грунтовых вод.

Рассмотрим для примера изменение мелиоративного состояния земель Ферганской области. Проведенный анализ уровня грунтовых вод показал их изменение, увеличение площадей с уровнем грунтовых вод 1-2 м, 3-5 м и снижение площадей с уровнем 2-3 м и более 5 м (рис. 6).

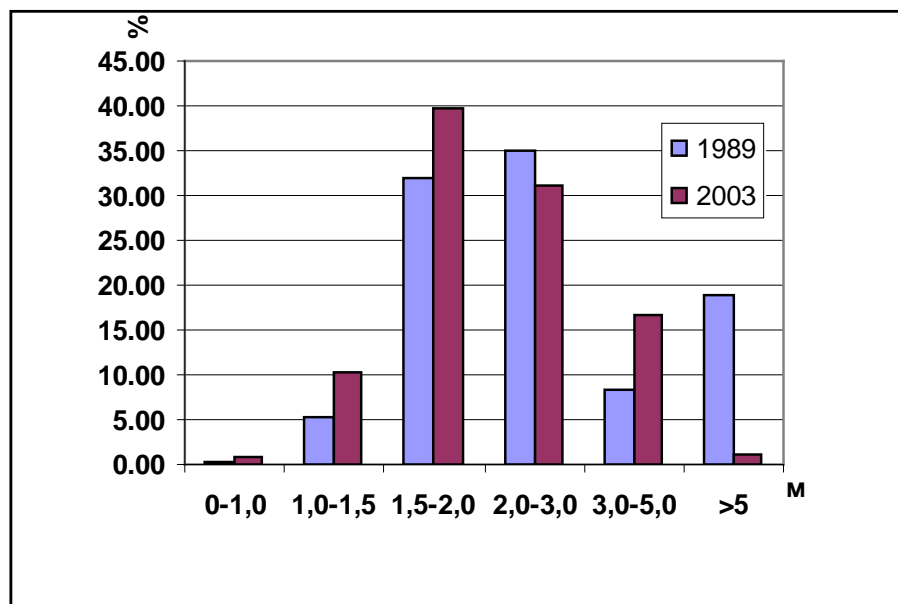


Рис. 6. Изменение уровня грунтовых вод, (Ферганская область, Узбекистан)

Уровень грунтовых вод определяет объем дополнительной воды, поступающей в корнеобитаемый слой помимо водопдачи на орошение, но одновременно он влияет на увеличение или уменьшение соленакопления в зоне аэрации. Недочет этой составляющей может вызвать переполив, излишние затраты воды и - самое негативное последствие - вторичное засоление почв.

2.2.2. Объект исследования

Территория. Ферганская долина расположена на тектонической впадине Тянь-Шаня в среднем течении реки Сырдарьи на высоте 300-1000 м. Это наиболее плотно населенная область Узбекистана, на которой проживает почти одна треть населения страны. Древний оазис окружен горными хребтами: Курамин - на северо-западе, Чаткал - на севере, Ферганский горный хребет - на Востоке, Алай и Туркестанский горный хребет - на юге.

Геоморфология. Почвы. В зависимости от литолого-геоморфологических, гидрогеологических и почвенных условий на территории Ферганской долины выделяют несколько почвенно-мелиоративных районов [16].

1. Подгорные покатости, сложенные мелкоземисто-галечниковым пролювием и занятые грубоскелетными серо-бурыми почвами. Частично освоены при машинной подаче воды.

2. Подгорные покатости, сложенные галечником, прикрытым мелкоземом, и занятые орошаемыми серо-бурыми почвами с галечником глубже 1-2 м и ближе 1 м с пятнами галечника.

3. Субэральные дельты Исфары, Соха и Алтыарыка сложены пролювием, по верху конусов – галечником, ниже – суглинками и супесями, а по Алтыарыксаю – глинами. Подразделяются на три подрайона: а) верхние галечниковые части конусов, местами заcolmатированные; б) средние части конуса в зоне выклинивания, занятые орошаемыми болотно-луговыми и луговыми почвами, местами слабозасоленными; в) периферийные части конусов (зона рассеивания), занятые сазовыми луговыми почвами слабо и среднезасоленными.

Почвы Исфаринского и Сохского конусов выноса подвержены ветровой эрозии.

4. Солончаки периферии Исфаринского и Сохского конусов выноса на слоистых пролюво-аллювиальных наносах.

5. Солончаки аллювиальной равнины (второй террасы) на слоистом аллювии.

6. Солончаки межконусных низин на тяжелых грунтах.

7. Аллювиально-луговые орошаемые почвы надпойменной террасы, засоленные, с пятнами солончаков.

8. Орошаемые аллювиально-луговые почвы надпойменной террасы.

9. Светлые и типичные сероземы межадырных и заадырных конусов выноса и покатостей, сложены галечником, прикрытым мелкоземом разной мощности.

10. Орошаемые светлые и типичные сероземы межадырных и заадырных конусов выноса с различной мощностью мелкоземистого слоя (до 1 м и более), подстилаемого галечником.

11. Орошаемые светлые и типичные сероземы на лессах.

12. Орошаемые луговые и болотно-луговые почвы Маргиланского, Кувасайского, Шахимарданского конусов выноса подразделяются на три подрайона: верхние, средние и нижние части конусов. Почвы средних частей конусов заболочены, нижних – засолены.

13. Орошаемые сазовые луговые и болотно-луговые почвы конусов выноса Восточной Ферганы, не засоленные, местами нуждаются в осушении.

14. Орошаемые аллювиальные луговые и болотно – луговые почвы нижних террас, не заселены, реже слабо засолены. Местами нуждаются в осушении.

16. Пески, непригодные для земледелия.

Гидрогеологические и гидрологические условия Ферганской долины определяются ее горным обрамлением. Реки и грунтовые воды питаются выпадающими в горах осадками и талыми снеговыми и ледниковыми водами. Верхние части подгорных покатостей и конусов выноса, вследствие больших уклонов и хорошей естественной дренированности, характеризуются благоприятными условиями подземного стока. Периферии покатостей и конусов отличаются затрудненным оттоком

грунтовых вод и напорно-восходящим их режимом. Центральная часть впадины дренируется Сырдарьей.

Верхние части конусов относятся к гидрогеологической зоне погружения. Грунтовые воды здесь глубокие, 3-5 метров, более 5 метров, и при больших уклонах зеркала и хорошей водоотдаче пород отличаются интенсивным оттоком. В средней части конусов, где грубоскелетные наносы сменяются песчано-гравелистыми и мелкоземистыми, уклоны зеркала грунтовых вод уменьшаются, скорость стока резко снижается и создается значительный подпор. В этих условиях формируется зона напорно-восходящих вод, приближающихся к поверхности на 1-2 м и часто выклинивающихся по понижениям в виде родников. Периферические части конусов, сложенные мелкоземистыми грунтами со слабой водоотдачей и напорно-восходящими грунтовыми водами, которые при неглубоком залегании (1-2-3 м) расходуются по мере подтока на испарение и транспирацию, относятся к зоне рассеивания грунтовых вод.

Громадные расходы влаги на испарение вызывают резкое нарастание минерализации. Наиболее отчетливо выражена гидрогеологическая зональность на конусах выноса Соха, Алтыарыкская и Маргиланская.

Центральная часть Ферганской впадины сложена тяжелыми грунтами озерного генезиса, так как в прошлом этот массив служил приемником стока рек Соха, Алтыарыкская и Маргиланская. В Центральной части расположена заболоченная, поросшая тростником и древесным тугаем низина с УГВ 0-1 метр, с большим количеством временных и постоянных озер.

2.2.3. Результаты исследований

2.2.3.1. Построение карты гидромодульных районов

Гидромодульное районирование было откорректировано на новые условия, с использованием картографической основы: областной и районной (масштаб 1:200 000; 1:100 000; 1:50 000).

Работа с такой основой позволяет уточнить территориальное расположение гидромодульных районов и откорректировать таблицу рекомендованных режимов орошения. Гидромодульное районирование или построение карты гидромодульных районов проводилось путем наложения в системе ГИС двух картографических слоев: почва и уровень грунтовых вод.

В качестве почвенных данных были взяты карты почвенных разностей для Алтыарыкского, Ахунбабаевского и Кувинского районов. На момент построения почвенных карт конфигурация районов отличалась от конфигурации на настоящий момент, но покрывала подвешенную к ЮФК территорию, что вполне отвечало поставленной задаче.

Экспликация к почвенным картам содержит не только название типов почв, но и результаты анализов гранулометрического состава, содержание почвенных гранулометрических фракций. Такой детальный исходный материал был необходим для обеспечения программы информацией по гранулометрическому составу почв для перехода от классификации Качинского, принятой в нашей практике, к классификации

ФАО. Пересчет фракций проводился по специально написанной для этой цели программе.

Новая почвенная карта была построена в масштабе 1: 200000, достаточном для описания территории в 100 тыс. га (рис. 7).

Следующим шагом является детализация гидромодульного районирования в связи с реструктуризацией хозяйств, формированием фермерских хозяйств и организацией АВП. Так как заявки на воду поступают от фермеров, они совместно с гидротехником АВП составляют таблицу, в которой по каждому отводу в АВП указывается подвешенная к нему площадь с делением её на ГМР. Затем, каждый гидромодульный район, в свою очередь, делится на площади под каждой конкретной культурой. Эти таблицы должны явиться исходными для обобщения и суммирования площадей ГМР по каналу в привязке к структуре посева.

План водопользования формируется первоначально фермерами на уровне АВП на основе распределения площадей по гидромодульным районам. Такая детализация требует работы на основе картографического материала в масштабе 1:10 000, 1:25 000.

Классификация территории по УГВ проводилась на основании состояния УГВ на 1 апреля. Для большей статистической достоверности были использованы результаты наблюдений гидромелиоративной службы по Ферганской и Андижанской областям Узбекистана за последние 5 лет. Средствами ГИС были составлены карты расположения наблюдательных скважин и собран материал по наблюдениям УГВ в этих скважинах. Затем данные УГВ на 1 апреля каждого года за последние 5 лет были осреднены. По осредненным данным была построена карта изолиний УГВ для следующих градаций:

0,0 – 1,0 м ;

1,0 – 1,5 м;

1,5 – 2,0 м;

2,0 – 3,0 м;

3,0 – 5,0 м

> 5 м

Затем карта была переведена в электронный формат в виде Shape-файла (рис. 8).

Для анализа изменения гидромодульных районов в Ферганской области использованы данные 1986 года по распределению ГМР, приведенные в рекомендациях «Гидромодульное районирование и режимы орошения сельскохозяйственных культур по Ферганской области» [7] и использовавшиеся до настоящего времени. На рис. 9 представлено изменение распределения площадей гидромодульных районов для Ферганской области.

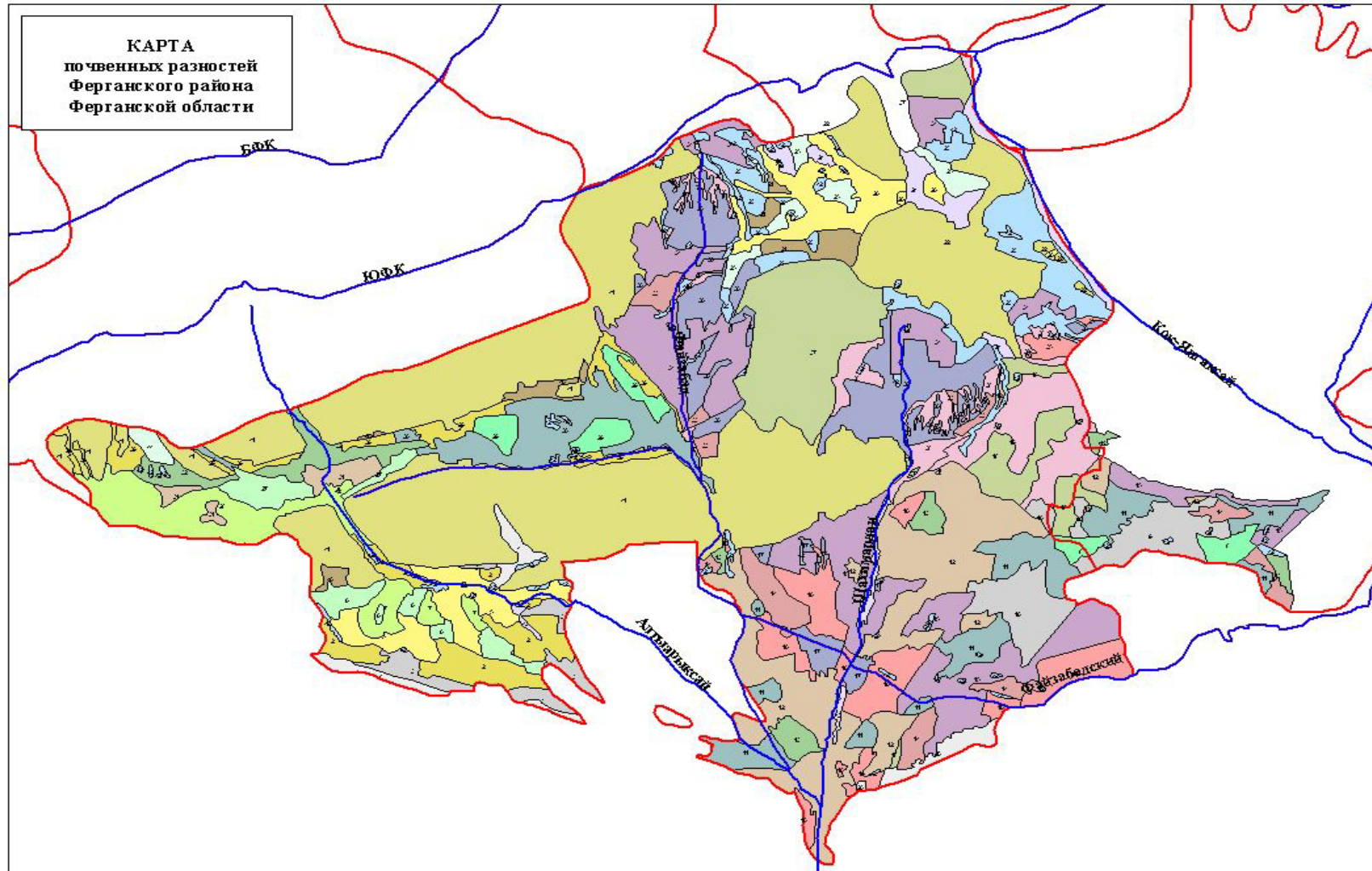


Рис. 7. Карта почвенных разностей Ферганского района Ферганской области

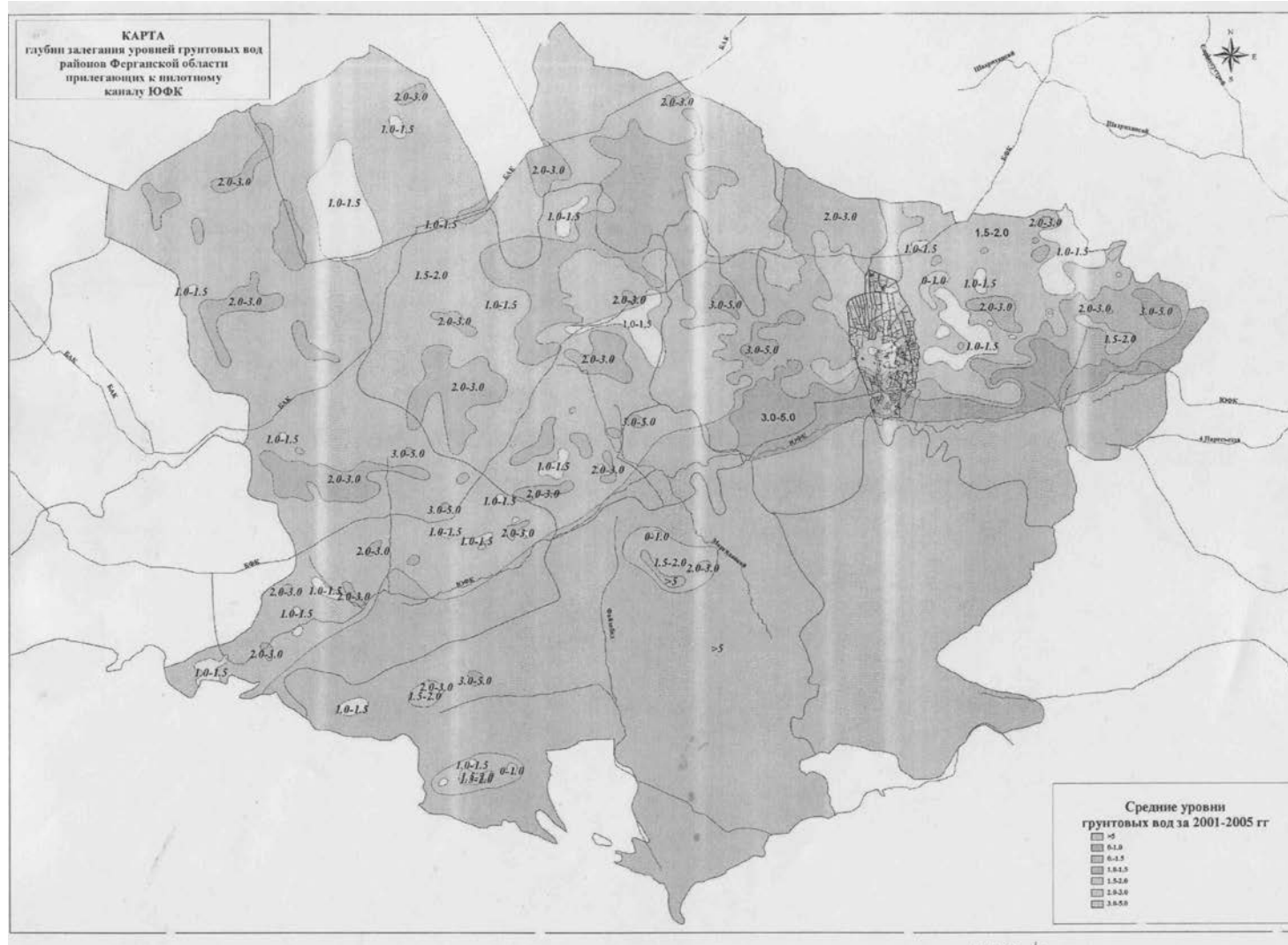


Рис. 8. Карта глубин залегания УГВ районов Ферганской области, прилегающих к пилотному каналу ЮФК

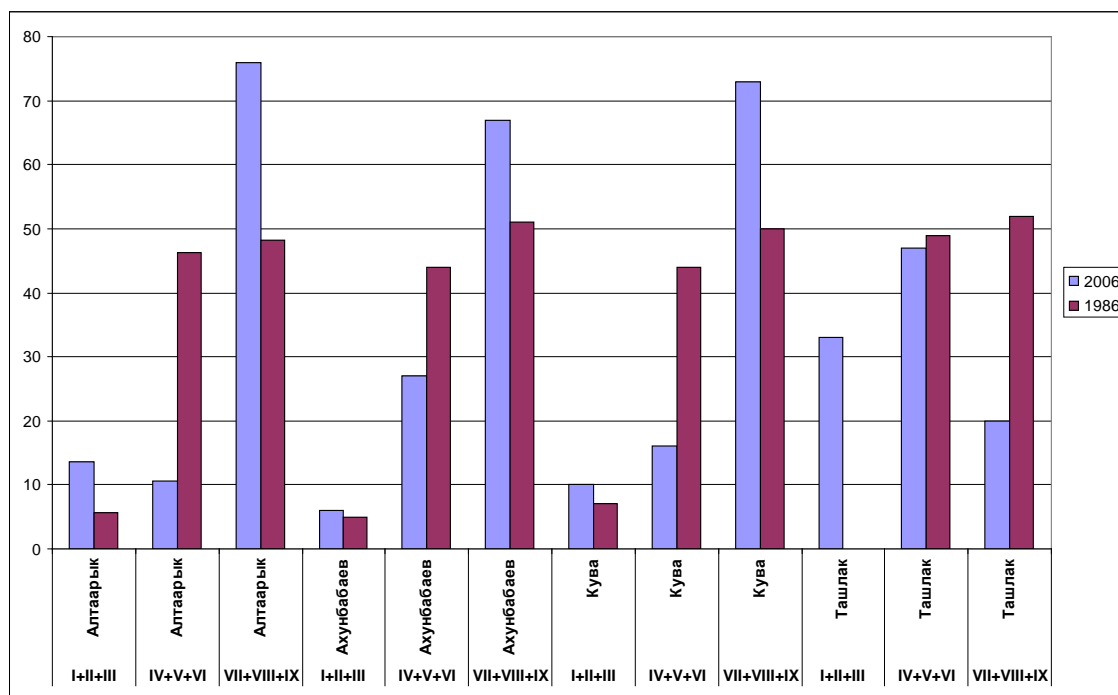


Рис. 9. Изменение распределения площадей гидромодульных районов для Ферганской области

Выполненное сопоставление, которое демонстрирует практически для всех районов более всего увеличение площадей VII+VIII+IX гидромодульных районов (табл. 12) за счет увеличения площадей с гидроморфными почвами.

Сопоставление с данными, используемыми для расчета гидромодуля в настоящее время и откорректированными на современное состояние территории, показывает, что между ними существуют различия.

Таблица 12

Изменение гидромодульных районов, Ферганская часть ЮФК

Уровень грунтовых вод, м	>3		2-3		1-2
Гидромодульный район	Площадь, га	Гидромодульный район	Площадь, га	Гидромодульный район	Площадь, га
I	-691.82	IV	+2283.01	VII	+2894.49
II	-18192.29	V	+8490.92	VIII	+14224.46
III	-14095.58	VI	+2071.08	IX	+3015.73
Итого	-32979.69		+12845.01		+20134.68

Произошло уменьшение суммарной площади гидромодульных районов I, II и III на 33 тыс. га и увеличение суммарной площади IV, V, VI районов на 13 тыс. га, VII, VIII, IX - на 20 тыс. га.

На рис. 10 показана аналогичная закономерность для отдельных АВП. Основная причина данных изменений заключается в подъеме грунтовых вод и переходе земель из одной группы ГМР в другие.

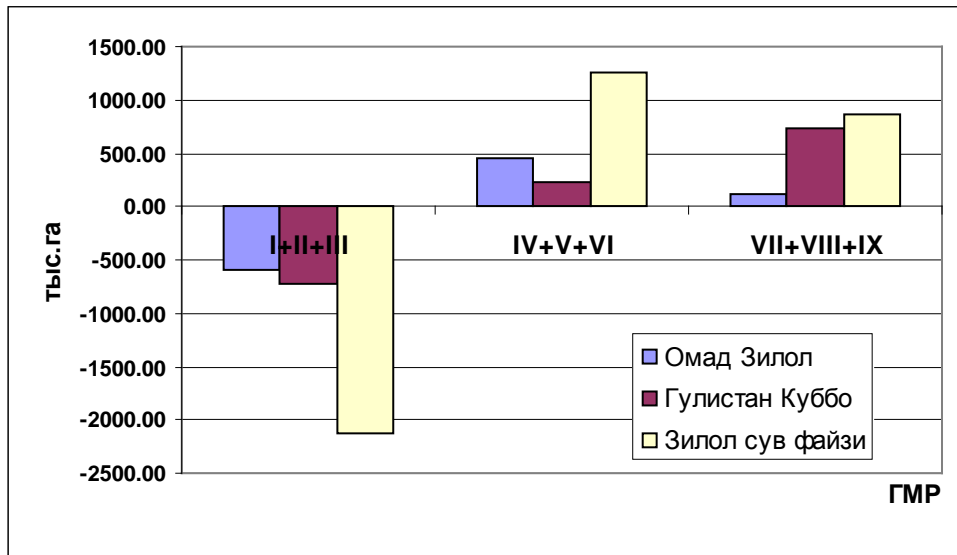


Рис. 10. Изменение площадей гидромодульных районов в АВП, га

2.2.3.2 Расчет режима орошения

Алгоритм модели расчета

Ниже приводится алгоритм расчета водопотребления культур:

Расчет водопотребления производится по следующей формуле:

$$RW = ETc - EfRain - GWC \quad (3)$$

где:

RW - Водопотребление культуры за некоторый период времени

ETc – Эвапотранспирация культуры

EfRain - Эффективная часть осадков

GWC - Подпитка из грунтовых вод

ETc рассчитывается по формуле :

$$ETc = \sum_{i=1:n} ETo_i * Kc_i \quad (4)$$

где:

ETo_i - Эталонная эвапотранспирация в *i*-тый день периода расчета

Kc_i - Коэффициент культуры в *i*-тый день периода расчета

n - Количество дней в периоде расчета

i - Номер дня в периоде расчета

ETo рассчитывается по формулам Пенмана-Монтейта [2] и по методу Блейни-Криддла [1].

***GWC* (мм)** - подпитка из грунтовых вод рассчитывается по эмпирической формуле Харченко , с модификацией Хорста [6]

$$GWC = a * ETo / \exp(b * (\text{abs}(H - h))) \quad (5)$$

Где:

GWC – подпитка из ГВ в мм

a –почвенный параметр

ETo – эталонная эвапотранспирация

b почвенный параметр

H - При $(H - h) < 0.6$ – глубина корневой системы в м, иначе $H = 0$

h - УГВ (м)

Параметризация модели

База данных. Большой объем исходных и промежуточных данных, а также результатов расчета с помощью программ определил целесообразность использования возможностей баз данных. В данном случае применялась БД ACCESS-2000. В среде ACCESS с помощью VBA (Visual Basic for Application) был разработан программный блок оценки параметров гидромодулей.

Ниже приведен справочник почв по ФАО (табл. 13).

Таблица 13

Справочник почвенных параметров (FAO)

Индекс	Гранулометрический состав	Параметры					
		TASM	Rain Filt	Max Root	Start Dep	a*	b*
C	Глина	210	12	900	30	0.8	1.16
CL	Глинистый суглинок	180	192	900	30	0.94	1.15
L	Суглинок	155	240	900	30	1.03	1.17
LS	Суглинок песчаный	100	300	900	30	1.03	1.17
S	Песок	80	300	900	30	1.42	1.5
SCL	Опесчаненный глинистый суглинок	190	240	900	30	1.03	1.17
SL	Опесчаненный суглинок	145	300	900	30	1.19	1.23
Z	Пыль	160	144	900	30	0.9	1.15
ZC	Пылеватая глина	170	48	900	30	0.8	1.06
ZCL	Пылеватый глинистый суглинок	160	120	900	30	0.94	1.15
ZL	Пылеватый суглинок	160	192	900	30	1.03	1.17

*Коэффициенты a , b получены Харченко с модификацией Хорста

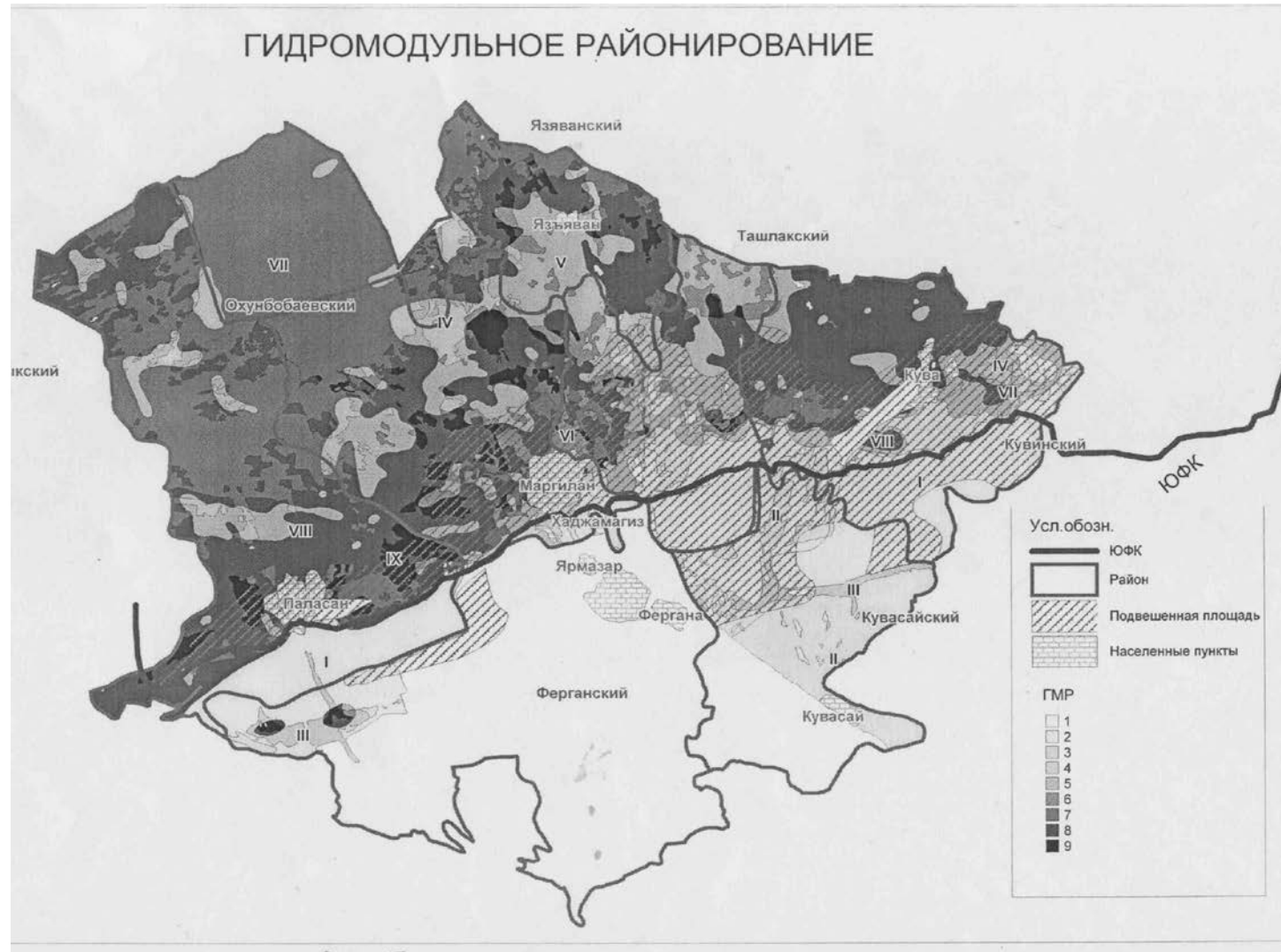


Рис. 11. Гидро модульное районирование

Здесь **TASM** (Total Available Soil Moisture) –полная доступная влага (мм/м); **Rain Filt** –интенсивность инфильтрации осадков (мм/сут); **MaxRoot** –максимальная глубина корневой зоны (см) – для программы CROPWAT; **StartDep** –начальное истощение доступной влаги (%) – (TASM); **a** и **b** – безразмерные коэффициенты в модифицированной формуле подпитки из грунтовых вод.

При объединении элементарных (с идентичными почвенными условиями и уровнем грунтовых вод) модулей в стандартные гидромодульные районы, соответственно классификации, рассчитываются средневзвешенные значения **TASM**, **Rain Filt**, **a** и **b**. В качестве веса используется площадь под ГМР. Следует иметь в виду, что зональность районирования в данной работе выполнена лишь частично, т.к. были использованы данные только одной метеостанции как для Ферганского участка (метеостанция «Фергана»), так и для Андижанского участка (метеостанция «Андижан»).

Программа проводит расчет для выделенных единиц территорий с идентичными почвенными условиями и одинаковым уровнем грунтовых вод, которые затем агрегировались в стандартные или общепринятые гидромодульные районы соответственно классификации (табл. 13, рис. 11).

Порядок выделения гидромодульных районов в среде ГИС следующий.

При наложении 2-х карт в ГИС выделены контуры с одинаковыми почвенными разностями и УГВ.

Чтобы объединить их в гидромодульные районы потребовалось:

1. Составить таблицу, включающую перечень всех почвенных разностей, расположенных в зоне одинаковых глубин уровня грунтовых вод 0-1 м, 1-1.5 м, 1.5-2 м, 2-3 м, 3-5 м, более 5 м. Выделение по 0,5 метров связано с желанием более точно рассчитать подпитку из грунтовых вод.

2. Составить таблицу гидромодульных районов и почвенных контуров с указанием механического (гранулометрического) состава по методике ФАО.

3. Переход от расчета гранулометрического состава по классификации Качинского к классификации ФАО осуществлялся двумя способами. При наличии типичного разреза с данными по генетическим горизонтам проводился пересчет по специально созданной программе. При отсутствии типичного разреза оценка проводилась экспертным путем.

На основании данной предварительной работы выполнено окончательное построение карты гидромодульных районов.

Для расчета оросительных норм по методике ФАО использовался ряд климатических данных, в частности, минимальная и максимальная температуры воздуха, относительная влажность воздуха, скорость ветра на высоте 2 м над поверхностью земли, среднесуточная длительность солнечного сияния и осадки по метеостанциям «Фергана» и «Андижан».

Биологические коэффициенты. В справочнике программы 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 ввиду очень быстрого увеличения дневных температур в

летний период. Критическим фактором для тропических культур является не дневная температура (максимальная суточная температура), а минимальная температура ночью. Ночная температура в 15⁰С обычно используется как критический порог, в особенности для хлопчатника. В Центральной Азии складываются специфические условия.

В связи с этим, параметры, определяющие рост и развитие сельхозкультур, и, следовательно, коэффициенты культур изменяются.

Проанализировав экспериментальные данные, нами были откалиброваны биологические коэффициенты культур для программы CROPWAT (табл. 14).

Таблица 14

Биологические коэффициенты хлопчатника

Природно-климатическая зона, гидромодульный район	Глубина корней, м			Коэффициент культуры			Продолжительность периодов			
				K inie	K mid	K end	1	2	3	4
Ц-2А										
I	0,6	0,6	0,6	0,6	1.15	0.65	30	50	55	45
II	0,6	0,6	0,6	0.55	1.15	0.65	30	50	55	45
III	0,3	0,9	0,9	0.55	1.0	0.65	30	50	55	45
IV	0,3	0,6	0,6	0.55	1.1	0.65	30	50	55	45
V	0,3	0,9	0,9	0.55	0.95	0.65	30	50	55	45
VI	0,3	0,9	0,9	0.55	1	0.65	30	50	55	45
VII	0,3	0,6	0,6	0.35	1.15	0.65	30	50	55	45
VIII	0,3	0,6	0,6	0.35	1.15	0.65	30	50	55	45
IX	0,3	0,9	0,9	0.35	1.15	0.65	30	50	55	45
Ц-2Б										
I	0,6	0,6	0,6	0.5	1.1	0.65	30	50	55	45
II	0,6	0,6	0,6	0.5	1.1	0.65	30	50	55	45
III	0,3	0,9	0,9	0.5	1	0.65	30	50	55	45
IV	0,3	0,6	0,6	0.5	1.1	0.65	30	50	55	45
V	0,3	0,9	0,9	0.5	0.95	0.65	30	50	55	45
VI	0,3	0,9	0,9	0.55	0.95	0.65	30	50	55	45
VII	0,3	0,6	0,6	0.35	1.15	0.65	30	50	55	45
VIII	0,3	0,6	0,6	0.35	1.15	0.65	30	50	55	45
IX										

Расчет водопотребления в привязке к отводам канала ЮФК

Первоначально для Ферганской и Андижанской зон был выполнен расчет водопотребления в целом на территории, подвешенной на ЮФК. Для этого использовались следующие данные: площади откорректированных гидромодульных районов для зон, откорректированные нормы орошения и существующая структура посевов, целиком на подвешенную зону.

Расчет выполнен следующим образом:

1. Определены площади каждого гидромодульного района в ГИС.

2. Из базы данных получены площади под каждой сельхозкультурой.
3. Поскольку карты структуры посевов не имеется, определено процентное соотношение всех культур к общей площади посевов.
4. Площади под культурами в каждом гидромодульном районе рассчитаны пропорционально этому процентному соотношению.
5. Объем водопотребления рассчитан, как площадь под культурой, умноженная на оросительную норму.
6. Водопотребление рассчитано для периода с 1 апреля по 1 октября.
7. Оросительные нормы получены программой GROPWAT и откалиброваны для хлопчатника, новых сортов озимой пшеницы, кукурузы на зерно, люцерны. Для остальных культур используются нормы по рекомендациям «Гидромодульное районирование и режимы орошения сельскохозяйственных культур по Ферганской области» [7] (приложение 1).

Водопотребление культур в 2007 году, рассчитанное на всю площадь гидромодульных районов ЮФК (Фергана и Андижан), составило 522 млн м³ (397 млн м³ - Ферганская часть, 125 млн м³ - Андижанская часть) на вегетацию без учета КПД системы, 695 млн м³ с учетом КПД системы (529 млн м³ - Ферганская часть, 166 млн м³ - Андижанская часть).

По плану водопользования расход воды по ЮФК составил 924,8 млн м³. Следовательно, корректировка гидромодульных районов позволила сэкономить 25 % оросительной воды.

В 2008 году план водопользования составлялся по старому и новому гидромодульному районированию. На уровне канала план водопользования составлялся специалистами отдела водопользования БУИС и специалистами АВП и утверждался Союзом водопользователей канала.

За счет снижения площадей I, II и III гидромодульных районов и, наоборот, увеличения площади VII, VIII и IX гидромодульных районов, изменилась и структура посевов по гидромодульным районам. Площади под хлопчатником, например, уменьшились по I, II, III ГМР на 13 тыс. га и увеличились по VII, VIII, IX - на 10,4 тыс. га.

На рис. 8 показано сопоставление планового водозабора, рассчитанного по старому и новому гидромодульному районированию. Водозабор составил, соответственно, 894 млн м³ и 973 млн м³. Плановый объем водозабора на орошение по старому ГМР составил 750 млн м³, по новому - 677 млн м³. Разница между лимитом и планом, рассчитанным по старому ГМР, составила 13 %, а между лимитом и планом, рассчитанным по новому ГМР, соответственно, - 2 %.

Фактическая водоподача в 2008 году составила 635,2 млн м³, то есть она достаточно близка к рассчитанной по новому гидромодульному районированию. Тот факт, что средняя урожайность сельхозкультур в 2008 г. не упала, продуктивность использования воды была высокая, говорит о том, что плановый водозабор, рассчитанный в соответствии с новым ГМР, не был лимитирующим фактором.

Сравнение между нормами по бассейновым участкам канала показано на рис. 13.

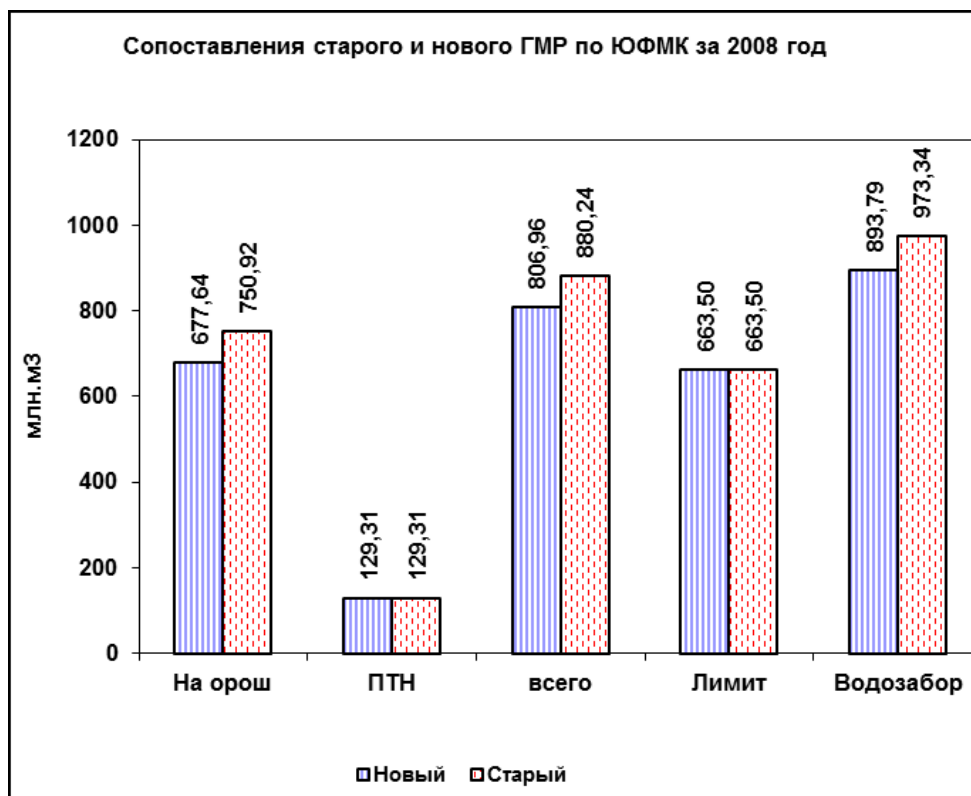


Рис. 12. Сопоставление величины водоподачи, рассчитанной по старому и новому ГМР по ЮФМК за 2008 год

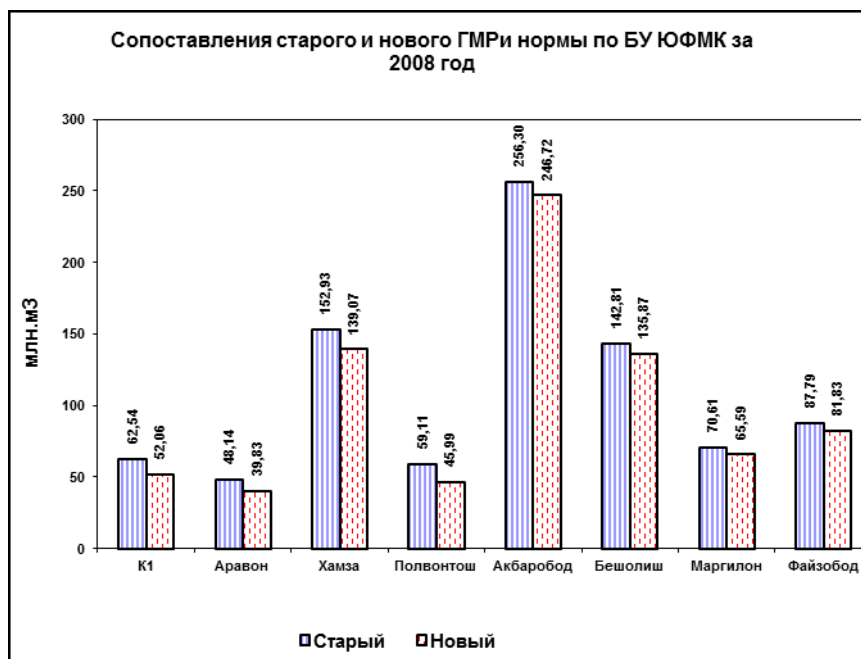


Рис. 13. Сопоставление величины водоподачи, рассчитанной по старому и новому ГМР по участкам ЮФМК за 2008 год

Наибольшая разница между старым и новым ГМР получена для участков «Полвонтош», К-1 и Аравон. Наименьшая – для участков Бешолиш и Акбарабад.

Таким образом, объем фактической водоподачи нетто отличался от планового при новом ГМР, соответственно, на 20 %, при старом - на 35 %.

Выводы

Выполненная работа позволила уточнить границы гидромодульных районов по территории, подвешенной к каналу ЮФК и составить карту гидромодульных районов для практического применения.

Приведенная методика использования созданного программного продукта REQWAT позволила уточнить резервы всей будущей водоподачи, выработать соответствующие нормы поливов, в результате чего достигнуто значительное снижение объема расчетного водопотребления. Более того, продемонстрирована возможность и необходимость ежегодно уточнять режимы орошения на основе представленной методики с учетом того, что отличие реальных лет от среднемноголетних показателей составляет до 20 % по величине водоподачи.

2.3 Реализация усовершенствованной программы CROPWAT для прогнозирования режима орошения в условиях изменения климата в проекте «ИУВР-Фергана». Адаптация планирования водного хозяйства к изменению климатических и гидрогеологических условий

Задачи исследования

Главным определителем расходования воды на испарение и транспирацию являются климатические параметры температур, влажность воздуха, осадки, которые характеризуются не только пространственной, но и временной изменчивостью. Их величины являются основополагающим для определения суммарного испарения, которое в существующей практике ориентируется на среднемноголетние показатели

Между тем абсолютное значение суммарного испарения для конкретной климатической станции колеблется от маловодного к среднему и от среднего к многоводному году $\pm 120 \dots 200$ мм в год.

Была поставлена задача – создать методику и компьютерную программу, которая позволяет рядовым водопользователям проводить корректировку потребности в воде в зависимости от прогноза климатических условий.

Детальный учет климатических параметров текущего года даст возможность использовать в данном году именно те режимы орошения и оросительные нормы, которые соответствуют условиям данного года по климату и изменению условия районирования на основе долговременных изменений.

Идея этой работы состоит в том, что учет данных изменчивости даст возможность подавать из водохранилищ меньше воды в многоводные годы и сохранить ее для использования в нужном объеме в маловодные годы.

Разработка модельного механизма

С целью осуществления предлагаемой идентификации водопотребления в планах водохозяйственных организаций был разработан набор моделей, краткое описание которых дается ниже:

- расчеты среднесезонных норм и режимов орошения основывались на CROPWAT с учетом новых границ гидромодульного районирования; (результаты приведены в предыдущей работе)
- прогноз климатических параметров данного года;
- уточнение параметров водопотребления на основе уточненного прогноза;
- корректировка водопользования по ходу изменения климатических параметров.

Эти технологические приемы в управлении водными ресурсами, поиски резервов водосбережения, разработки сценариев водообеспеченности являются профилактическими методами адаптации к изменению климата. Исследования проводились в проекте ИУВР Фергана на подкомандной канале ЮФК площади в 108 тыс.га (Ферганская и Андижанская области) в 2004-2009 годах [17].

Рассматриваются возможные механизмы оптимизации.

Модуль прогнозирования текущего климата на основе подбора года - аналога по климатическим параметрам.

2.3.1. Разработка механизмов климатической идентификации ряда лет. Расчет режимов орошения с/х культур для подвешенной площади ЮФК по влажному, сухому и среднему годам

Определяющим фактором режима орошения является дефицит влажности.

В силу целевого прогнозирования метеорологических параметров на водообеспеченность с/х культур и необходимости иметь некоторую интегральную функцию для сравнения климатических характеристик годов, в качестве климатического параметра в данной работе принята разность между эвапотранспирацией эталонной культуры и осадками.

В качестве критерия, представляющего водность года был взят суммарный условный дефицит влажности за гидрологический год. Ниже приведен график (рис.14), показывающий распределение годов по условному дефициту влажности.

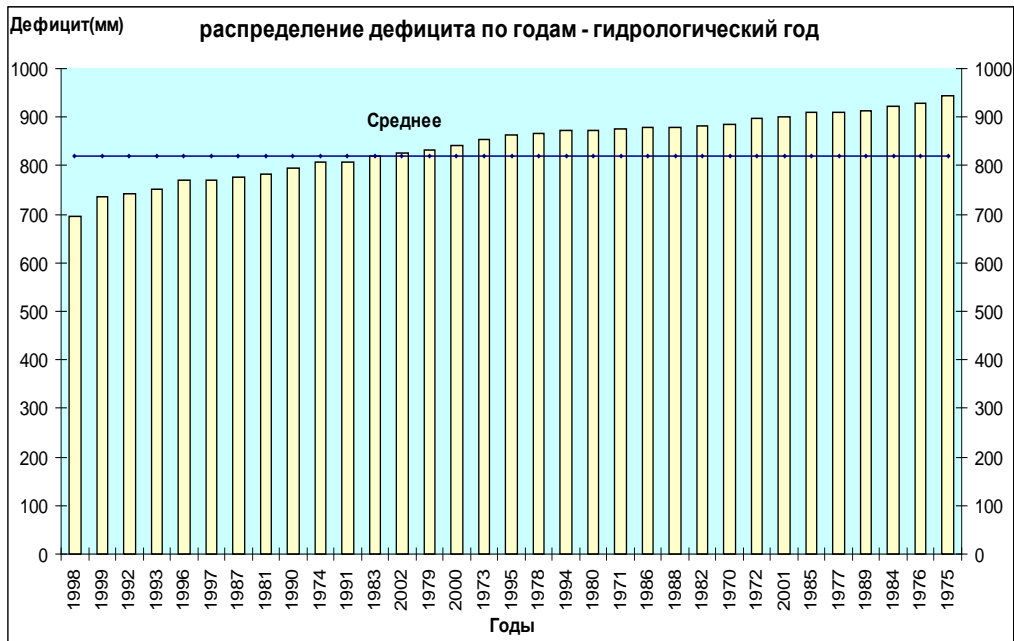


Рис. 14. Распределение по водности лет

Из графика видно, что в данном ряду годов наблюдений многоводным годом является год 1998, средневодным годом является год 1983, а маловодным годом является год 1975. Для этих годов по культурам (капуста, картофель, хлопчатник, кукуруза на зерно, озимая пшеница) были рассчитаны оросительные нормы поливов.

Результаты сведены в графики (рис. 15), показывающие зависимость оросительных норм от водности года. Они показывают, что ориентация на среднеегодулетний средневодный год всегда приводит к занижению водоподачи в засушливый год и избытку в многоводный.

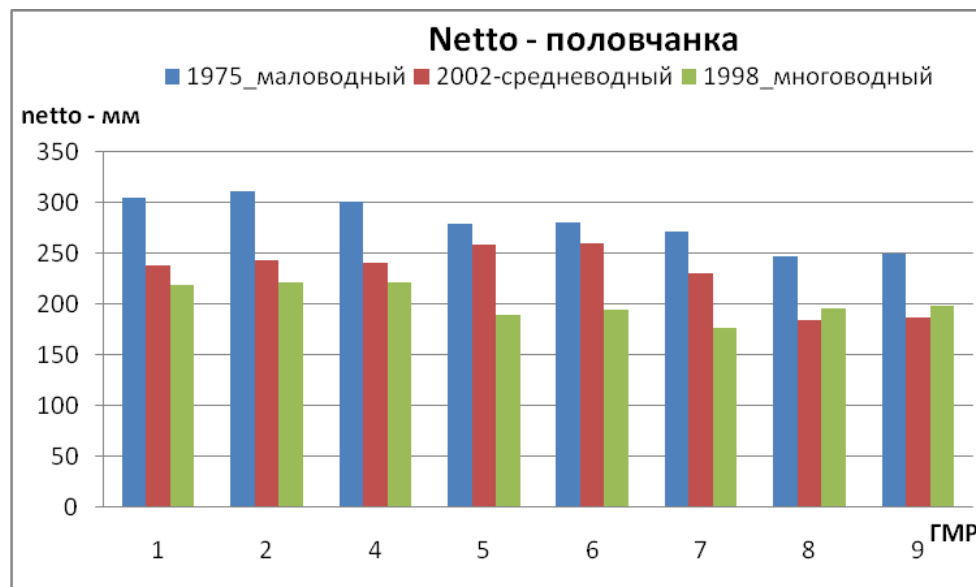


Рис. 15. Водопотребление озимой пшеницы в зависимости от водности года

Регулирование водохранилища в многолетнем режиме должно учитывать изменение потребности в воде в годы разной водности, что позволяет сглаживать эти отклонения.

Средняя временная протяженность стандартных синоптических ситуаций (Буркова М.В.) (определяется как средний размер атмосферного образования (циклон, антициклон), деленный на среднюю скорость перемещения образования) составляет 5 – 12 дней, что позволяет выбрать масштаб осреднения климатических данных как декадный.

Разработанная программа (Солодкий Г.Ф.) рассчитывает режим орошения в начале вегетации на весь поливной сезон, затем режим орошения корректируется пошагово подекадно с учетом фактических метеопараметров прошедших декад демонстрирует принцип расчета.

Рассмотрим ход температурных показателей внутри одного конкретного года, в сравнении с ходом этих же показателей в среднемноголетний год. В качестве демонстрационного года выбран 2009 год. В первую декаду марта проводится расчет режима на вегетацию по среднемноголетним климатическим данным (Таблица 15). Во второй декаде режим орошения корректируется с учетом прошедшей первой декады марта, в третьей с учетом второй декады и т.д. При этом нормы полива и сроки полива изменяются.

Таблица 15

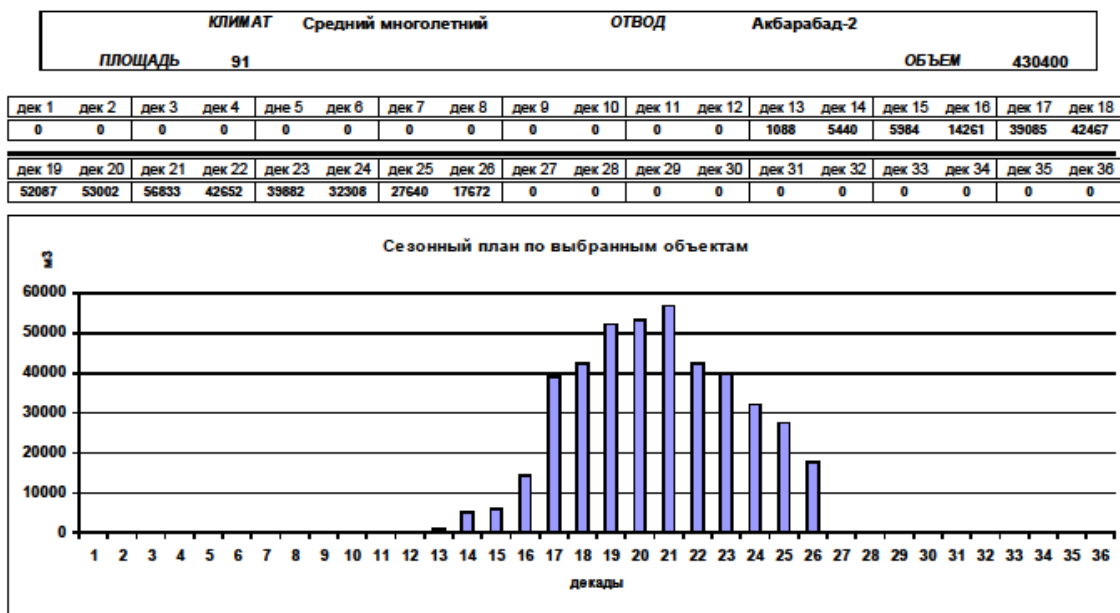
Среднемноголетняя и фактическая (2009 год) температура

месяц	Средняя температура воздуха по декадам (курсивом показаны фактические данные)						
	3	4	5	6	7	8	9
1	-0,62	-0,62	-0,62	-0,62	-0,62	-0,62	-0,62
2	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
3	11,91	11,91	11,91	11,91	11,91	11,91	11,91
4	16,20	14,93	14,93	14,93	14,93	14,93	14,93
5	20,93	20,93	19,96	19,96	19,96	19,96	19,96
6	25,57	25,57	25,57	23,57	23,57	23,57	23,57
7	27,30	27,30	27,30	27,30	26,56	26,56	26,56
8	25,41	25,41	25,41	25,41	25,41	24,89	24,89
9	20,31	20,31	20,31	20,31	20,31	20,31	20,20
10	13,58	13,58	13,58	13,58	13,58	13,58	13,58
11	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05
12	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65	1,65

Прежде всего изменение климата приводит к необходимости изменить срок сева. Известно, что потери в урожае при отклонении в сроках сева от оптимума снижает урожай на 20 %. Многолетняя практика выращивания в регионе определенных культур, научные исследования в этом направлении вывели оптимальные сроки сева и допустимые отклонения от них. Программа имеет 2 версии расчета, в которых изменяются сроки сева и вторая, с изменением сроков сева и расчета длительности фенологических фаз.

На рисунке 16 приводятся результаты расчета водного режима: расчет водоподачи из отвода Акбарабад, определение дат полива на среднемноголетние условия.

СУММАРНЫЙ СЕЗОННЫЙ ПЛАН ВОДОПОДАЧИ НА ХОЗЯЙСТВА.



СУММАРНЫЙ СЕЗОННЫЙ ПЛАН ВОДОПОДАЧИ НА ХОЗЯЙСТВА.

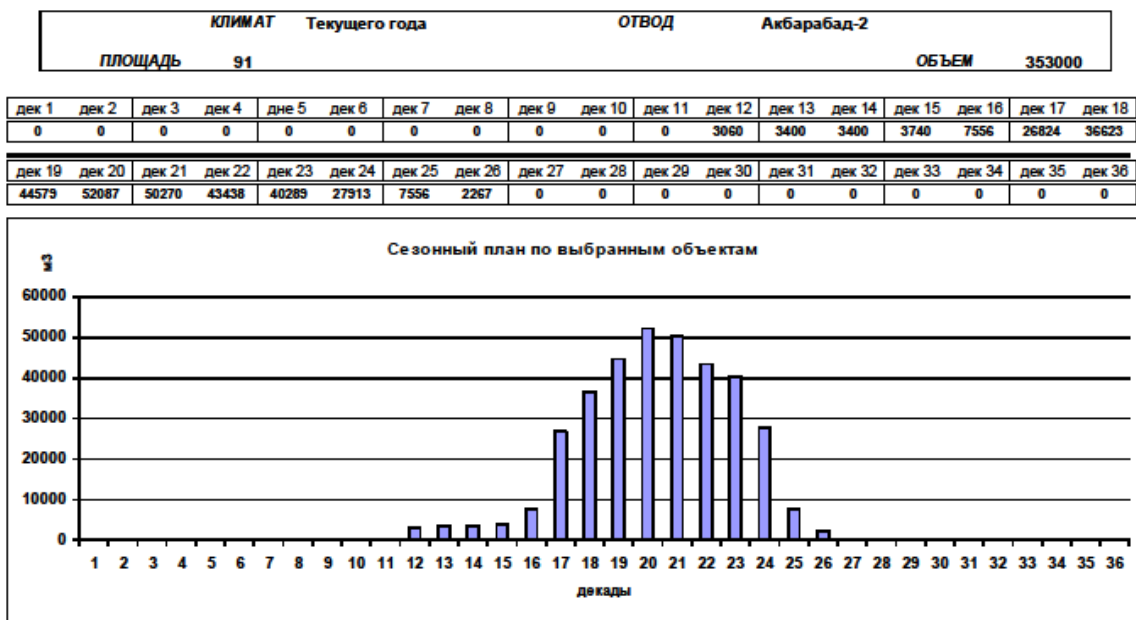


Рис. 16. Расчет водоподачи из отвода Акбарабад
 а) расчет водопотребления на среднемноголетние условия.
 б) расчет водопотребления с корректировкой на климат года.

Расчет водоподачи после прохождения 10 декад с корректировкой на условия года.

По данным расчета водопотребление на площади отвода Акбарабад² в среднеобеспеченном году составило 430 тыс. м³, а в реальном 2009 году -353 тыс м³.

Сопоставление показывает, что в 2009 году достаточно обеспеченном влагой водоподача могла быть снижена на 21 %.

2.3.2. Разработка механизмов климатической идентификации года и пересчета режима орошения на конкретный год, подекадный прогноз

Модуль прогнозирования текущего климата разработан на идее подбора года-аналога по климатическому параметру.

Понятие года-аналога определяется в зависимости от решаемой задачи. Например, можно искать год, аналогичный настоящему по бальности облачности, если решается задача прогноза альбедо, или по интенсивности грозовой деятельности, если решается задача борьбы с градобитиями, и т. д. В нашем случае определяющим фактором является дефицит влажности.

Целью прогноза является коррекция плана водопользования на ближайшие 1-2 декады. По этой причине были использованы среднедекадные климатические данные по метеостанции Фергана за ряд лет с 1960 по 2002 гг. (проект CIRMAN-ARAL¹) [18].

По имеющимся метеоданным для всех декад всех годов наблюдений был рассчитан климатический параметр, названный базовым или историческим климатом.

Для наблюдения текущего климата в объекте исследования – АВП Акбарабад – была установлена портативная метеостанция (рис.17).

Идея подбора года-аналога основана на следующем. По ряду наблюденных декадных метеоданных рассчитывается вектор метеорологического параметра. Вектор представляет собой массив рассчитанных для каждой декады значений климатического параметра по метеостанции «Акбарабад». Длину вектора – число вошедшего в него декад – регулирует оператор. Затем данный вектор сравнивается с аналогичными (в смысле совпадения декад) для всех годов базового климата. В качестве года-аналога выбирается тот год, для которого расхождение с исходным вектором минимально.

Проблема переходного периода – периода времени, в течение которого не набрано достаточного количества материалов для построения вектора климатического параметра – в программе решена за счет привлечения средних климатических данных по недостающим декадам с метеостанции «Фергана».

¹ Проект «Управление орошением для борьбы с процессами опустынивания в бассейне Аральского моря. Оценка и инструменты» (CIRMAN-ARAL)



Рис. 17. Портативная метеостанция

За меру совпадения взята сумма отклонений по каждой декаде, умноженному на весовой множитель, уменьшающийся в зависимости от давности i -той декады относительно текущей.

$$\delta = \sum_{i=k}^{i=0} \text{abs}(\Phi_{bi} - \Phi_{mi}) \times \rho_i \quad (6)$$

Здесь:

δ - сумма отклонений;

Φ_{bi} - климатический параметр i -той декады базового климата;

Φ_{mi} - климатический параметр i -той декады текущего климата;

ρ_i - вес i -той декады.

Весовой множитель ρ_i определяется следующим образом. Пусть длина вектора метеорологического параметра равна 18 декадам (половина года). Пронумеруем декады следующим образом. Самой последней декаде присвоим номер 1. Предпоследней декаде присвоим номер 2. Пред-предпоследней декаде присвоим номер 3. И т.д. до декады полугодичной давности – номер 18. ρ_i определяется следующим образом:

$$\rho_i = \frac{1}{N^\alpha} \quad (7)$$

Где ρ_i - весовой множитель;

N - номер декады, полученный ей в процессе нумерации;

α - показатель степени, регулирующий влияние прошедших декад на величину отклонения.

В связи с этим интересно отметить следующий факт: при расчете климатического параметра по осредненным метеорологическим данным происходит существенное занижение эвапотранспирации растений, что, в свою очередь, приводит к уменьшению расчетных поливных норм. Этот факт, свидетельствует в пользу применения алгоритма года-аналога.

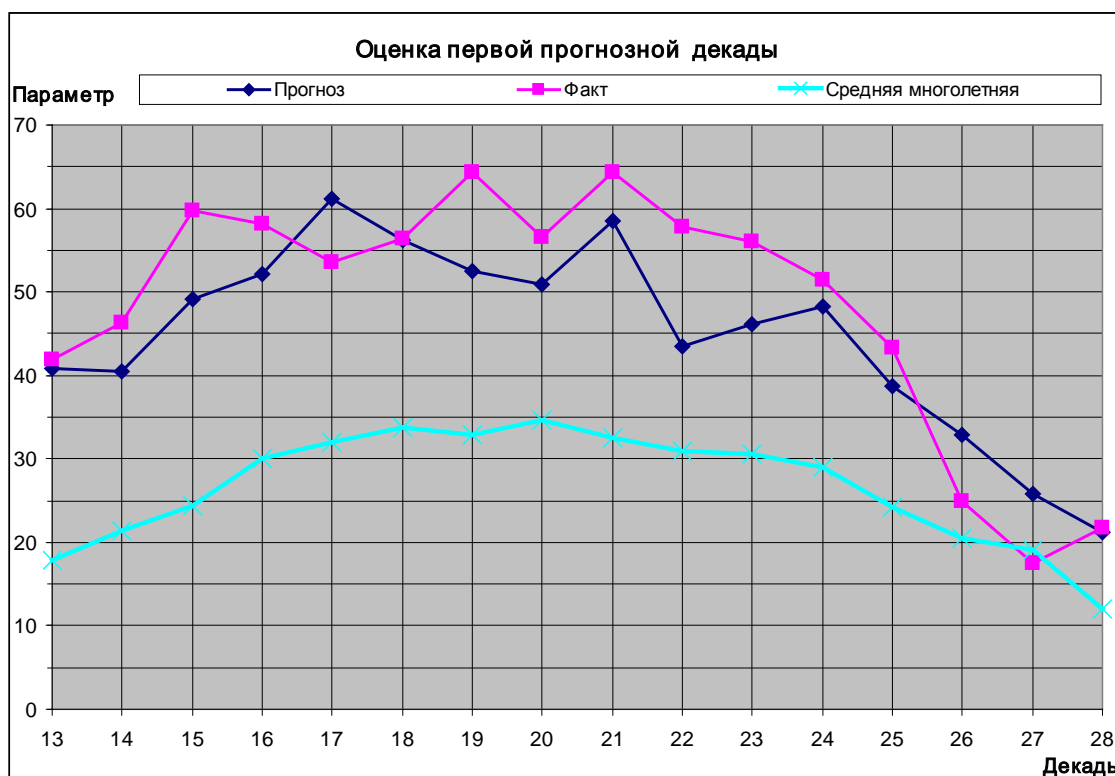


Рис. 18. Прогноз климатических условий

Недостатком метода является необходимость в длинных рядах базовых данных – метеорологических параметров декадного уровня.

Показано сопоставление стандартного, то есть рекомендованного режима орошения, и рассчитанного с учетом фактического климата, когда проводился расчет на прогнозный декадный климат по году аналогу. Сопоставление показывает, что, поскольку год был достаточно влажный, то межполивные периоды в расчетном варианте на всех гидромодульных районах и для всех культур увеличились и, как результат, уменьшилось число поливов, а так же уменьшилась норма последнего рекомендованного полива. За счет этого снижается оросительная норма и рассчитанный объем требуемой водоподачи составляет 14 млн.м³, т.е на 3 млн.м³ меньше, в сравнении со среднемноголетними расчетами.

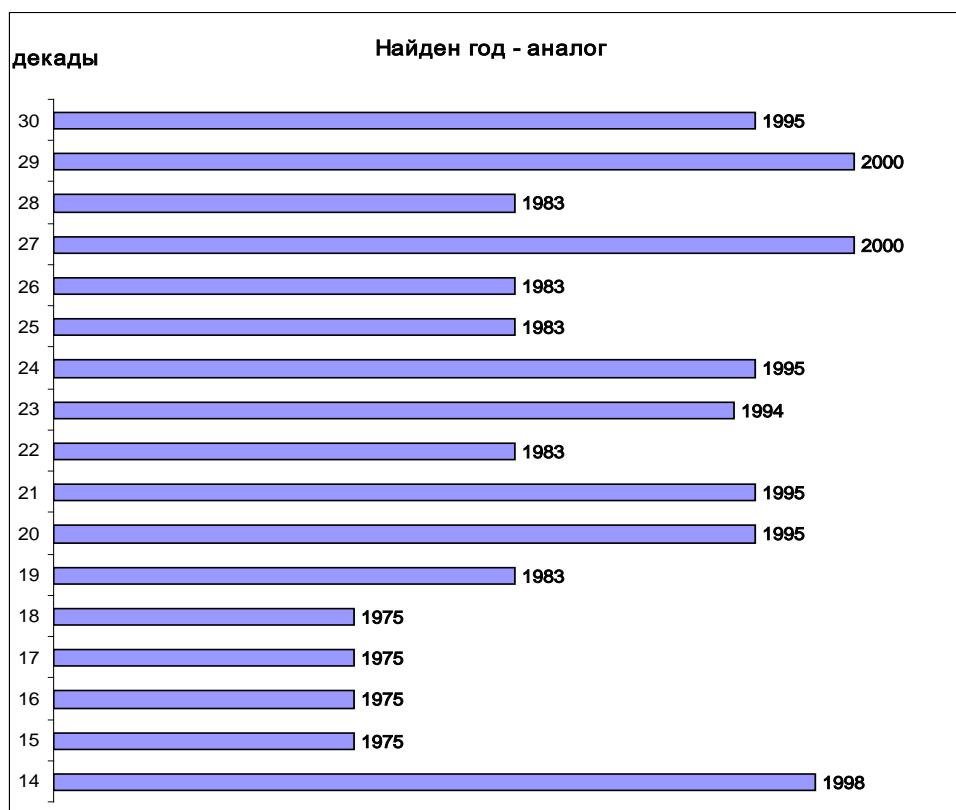


Рис. 19. Результаты выбора года аналога

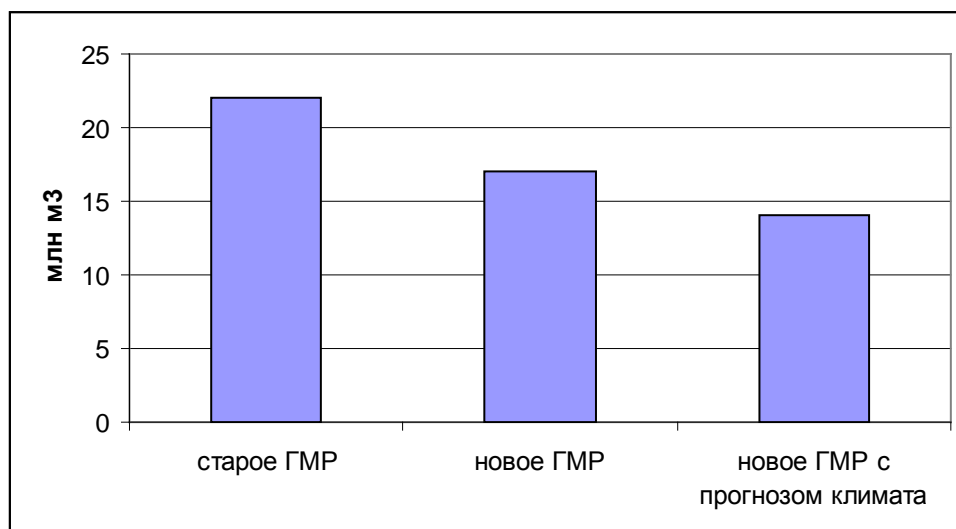


Рис. 20. Расчет водопотребления по сценариям

На рис. 20 приводится расчет оросительных норм для АВП «Акбарабад» по различным сценариям. Оросительная норма, рассчитанная на старое, неоткорректированное гидромодульное районирование, составляет 22 млн.м³ на территорию АВП. Изменение гидромодульного состава меняет величину водопотребления и объем необходимой водоподачи становится 17 млн.м³, т.е. на

5 млн.м³ меньше. Учет текущего климата и подбор года-аналога снижает водопотребление еще на 3 млн.м³.

Выводы

1. Изменение климата, а именно повышение температуры, приведет к увеличению водопотребления при нарастающем дефиците водных ресурсов.
2. Изменение климата диктует необходимость разработки путей адаптации
3. Учет водности года, прогнозирование климатических условий года с учетом вариации климата позволяет оптимизировать режим орошения сельскохозяйственных культур.

2.4. Реализация усовершенствованной программы CROPWAT (REQWAT). «Влияние изменения климата на землепользование и водопользование», проект CAWA

Программа REQWAT, разработанная Г.В. Солодким [19] рассчитана на работу с крупными территориальными объектами – районами, областями, зонами планирования. Программа рассчитывает суточные, декадные, месячные и сезонные потребности с/х культур на воду.

Описание программной части задачи приводится в разделе 2.5.5.

Потепление климата признано во всём мире в качестве объективной реальности с её рядом характерных признаков. Повышение температуры поверхности земли и воздуха, увеличение частоты и величины экстремальных погодных условий (засухи, наводнения, бури), особо проявившиеся в последнее десятилетие, наконец, смещение распределения осадков. Для аридных земель, к которым относится и бассейн Аральского моря, являющийся объектом данных исследований, наиболее критическим является учащение засушливых лет с их уменьшением водности рек и осадков, а также повышением сухости воздуха. При средних суммарных водных ресурсах в 116 км³ в год в маловодном 2008 году их объём сократился до 96 км³ [20]. Это пагубно воздействует на сельскохозяйственный сектор стран бассейна, который является источником благосостояния почти половины их населения, и формирует 27 % валового регионального продукта региона. Большинство исследователей при изучении последствий изменения климата отмечают, что повышение температуры приводит к увеличению испарения и, отсюда, к росту потребности воды для орошения тех или иных культур. Отчёт рабочей группы 4^й Межгосударственной панели по изменению климата [21], 2007 год, предупреждает, что хотя подъём температур за 100 лет произошёл устойчиво на 1–2 градуса, имеет место отсутствие тренда в осадках за период 1900 – 1996 год. При этом некоторое увеличение осадков в Центральной Азии зимой, сопровождается ростом частоты засух, включая весну, лето и осень. Повышение потребности в увлажнении как основное адаптационное мероприятие приводится в работах [22–25]. При этом указывается, что сохранение прежней ситуации может привести к уменьшению урожая зерна в регионе на 30%. В многочисленных других работах приводятся предположения об увеличении потребности в воде в связи с

увеличением температуры. Нами сделана попытка на основе некоторых новых подходов оценить достоверность этого предположения.

2.4.1. Объекты и методы исследований

Настоящие исследования проведены в рамках проекта CAWA, «Вода в Центральной Азии», финансируемого Германским Федеральным Министерством иностранных дел. В научном плане данная работа является продолжением многолетних исследований Г.В. Стулиной по изменению климата и адаптации к этим изменениям [26–28].

В данной работе исследователи поставили перед собой задачи:

- проанализировать динамику основных агроклиматических параметров в связи с изменением климата;
- оценить изменение водопотребления в сценариях будущего.

Исследования проводились, в основном, на территории Узбекистана, хотя в определённой степени затрагивали часть площадей Киргизстана и Таджикистана в пределах Ферганской долины.

Бассейн Аральского моря (рис. 21) расположен в сильно аридной зоне на территории пяти бывших республик Советского Союза - Узбекистана, Таджикистана, Южного Кыргызстана, Южного Казахстана, большей части Туркменистана - и частично Афганистана.



Рис. 21. Карта Узбекистана

Бассейн имеет три отдельные морфологические зоны: горы, пустыни и само Аральское море и его дельты. Пики Тянь-Шаня и Памира достигают более 7000 м, а среднегодовое количество осадков составляет от 800 до 1600 мм. В низовьях - пустыни Каракум и Кызылкум – охватывающих большую часть площади бассейна – количество

выпадающих составляет всего 100 мм. Природный дефицит воды как разница между осадками и испарением варьирует от 600–800 мм на территории древнего оазиса и предгорного плато до 1400–1600 мм в пустынной и степной зоне.

Подобные условия и аграрная направленность местной экономики создали сильную зависимость населения и его благосостояния от изменений климата и водообеспеченности, учитывая, что большая часть населения проживает в сельской местности (более 60%) и занято в сельском хозяйстве и смежных отраслях. С древних времен орошение было основой экономики и системы государственного руководства. Исследование динамики климата в бассейне Аральского моря указывает на изменения в различных элементах климатической системы, на наличие положительных трендов в температурных рядах для холодного и теплого полугодия, на увеличение концентрации CO₂ в атмосфере и наличие парникового эффекта. Все эти факторы влияют на устойчивость развития региона и, прежде всего на орошаемое земледелие, которое в настоящее время служит источником существования 70-90 % населения.

Орошаемая площадь бассейна составляет в целом 8,3 млн.га, а бассейны двух главных рек бассейна Аральского моря, Амударьи и Сырдарьи, простираются более, чем на 4,5 млн. км².

Прежде, чем перейти к непосредственному представлению результатов полевых и модельных исследований, связанных с изменением агроклиматических показателей и водопотребления, рассмотрены основные тенденции в непосредственных показателях климатических изменений, имеющих место в республике за последние годы.

Для объективной оценки климатических изменений были использованы данные 50 станций, имеющих ряды наблюдений с 1931 года и находящихся в различных физико-географических условиях и при различном антропогенном воздействии. Положительные тренды в температурных рядах преобладают как в холодном, так и в тёплых полугодиях. Анализ сравнения показывает, что наибольшее значимое потепление по территории отмечается в апреле, в июне, в ноябре и декабре. В эти месяцы на большинстве (от 50,2 % до 92 %) станций производства отмечено значительное повышение норм среднемесячной температуры воздуха. Значимые понижению температур отмечены в значительно меньшей степени в средних температурах (7,7 % и 19,8 %), в основном, в осенние времена года. Интересно отметить, что летом и осенью более существенно проявляется повышение минимальных температур, чем максимальных. Отчётливо выделяются области понижения максимальных температур в местах интенсивного орошения (Голодная и Каршинская степи, Фергана и Сурхандарья), где средние максимальные температуры понизились более, чем на 1 градус °С, что сравнимо с естественной изменчивостью максимальных температур в рассматриваемых районах. Данные наблюдений 1991 - 2013 годов показывают продолжающееся повышение среднегодовой температуры воздуха с повышенным вкладом зимних месяцев. Например, средняя за 10 лет температура воздуха за зимний сезон оказалась выше базовой нормы по всей территории, а по отдельным зонам на 1,2 – 1,5 градуса °С.

Многолетние наблюдения за температурой воздуха указывают на ее постоянный рост (рис. 22). В целом, наблюдения за период 1991-2013 гг. показывают, что данный тренд температуры сохраняется в регионе. В последнее десятилетие зимние месяцы внесли большой вклад в процесс потепления. К примеру, среднедекадная температура зимой была выше нормы по всей территории, с повышением температуры на 1,2 - 1,5 °С в некоторых районах.

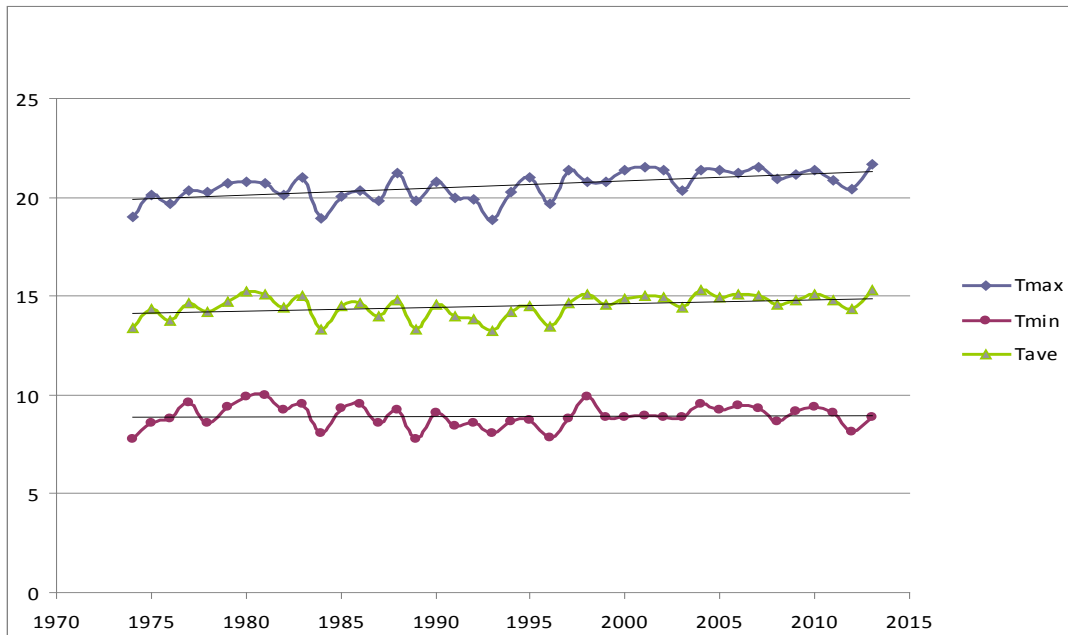


Рис. 22. Динамика среднегодовых температур, метеостанция «Фергана»

Максимальный рост атмосферных осадков ожидается в середине лета и составит до 80-110 % на севере (на 10-15 % зимой) и 40-80 % в центральной части. На севере увеличение осадков ожидается летом на один месяц раньше. Зимой осадки увеличатся на 10-20 %, а осенью на 15-30 %. Абсолютные величины прогнозируемых осадков увеличатся на 5-10 мм в период с января по апрель и с августа по декабрь.

Потепление климата и увеличение осадков приведут к изменениям в высотах и широтах климатических зон. Границы между засушливым тропическим и умеренным климатом сдвинутся к северу на 150-200 м, а между богарной зоной и землями с дополнительным орошением на 50-100 м.

В качестве гипотезы работы были приняты находки прежних исследований адаптации к изменению климата, проводимых совместно с Канадским Университетом МакГилл. [26]. Этими исследованиями было обнаружено, что в результате суммарного увеличения температурного потенциала выращивания сельскохозяйственных культур, сроки вегетации конкретных культур должны сократиться. Такие результаты были опубликованы нами совместно с В. Усмановым [27] ранее. Однако они касались только изменения сроков перехода через пороговые значения роста и развития растений соответственно 5, 10, 15 градусов °C для различных культур. Ныне было решено рассмотреть, насколько это изменение продолжительности различных фаз вегетации наряду с ускорением процесса развития растений, повлияет на водопотребление культуры, имея ввиду сокращение потребных дней полива. Однако, в данной работе решено было учесть наличие высоких температур, в процессе которых растение притормаживает своё развитие вплоть до полного прекращения роста клеток. Такой пороговой температурой для хлопчатника, например, является температура 35 °C.

В качестве прогноза изменения климата была принята модель REMO Университета Вюрцбург. За основу используемой климатической модели взята модель ЕСНАМ 5, созданная в институте Макса Планка (Германия). Это модель общей циркуляции атмосферы. Используется для расчета глобальных и региональных моделей изменения климата. В качестве сценария в модель ввели вариант А1В – сценарий

среднего потепления из-за эмиссии парниковых газов. Данная модель представила возможность долговременного построения искусственного ряда температур и осадков до 2100 года. Результаты моделирования были откалиброваны. Калибровка заключалась в нахождении коэффициентов, привязывающих смоделированные климатические данные (REMO) к реально наблюдаемым. Коэффициенты определялись по периоду времени, когда имелись в наличии наблюдаемые данные. Калибровка проводимая по рассчитанным эвапотранспирации и отдельный по температуре и осадкам.

Данные моделирование по REMO представлены нам для территории Ферганской долины. Моделирование же водопотребления проводилось на основе модели REQWAT, разработанной на основе методологии, изложенной в FAO-56 – «Эвапотранспирация растений» [28], используется для расчета водопотребления на некоторой площади. Для расчета используются карта зоны планирования, карта орошаемой территории, данные съемки DEM поверхности, почвенная карта, карта расположения скважин УГВ, данные по наблюдениям УГВ за ряд лет, карта засоления исследуемой территории или статистические данные по распределению степеней засоления по территории, климатические данные в привязке к узлам регулярной сетки, параметры с/х культур. Результаты представляются в виде декадных и месячных требований на воду для различных с/х культур, осредненные по всей исследуемой территории, или в виде карт годовых требований на воду для различных с/х культур.

Модель имеет кардинальное отличие от CROPWAT тем, что содержит компонент подпитки из грунтовых вод.

2.4.2. Результаты исследований

Повышение парниковых газов с одной стороны вроде бы должно увеличить продуктивность сельскохозяйственных культур, с другой, по оценкам МОЦАО приведет к возникновению большого количества засух.

Изменение температуры, осадков окажет влияние на рост, развитие урожая сельскохозяйственных культур, что учитывается при расчете и прогнозе водопотребления.

2.4.2.1. Изменение даты устойчивых переходов температуры

Дата устойчивой температуры весной, определяет основные параметры: начало вегетации и срок сева.

На территории Ферганской долины устойчивый переход температуры воздуха через 0 °С, соответствующий началу вегетации ранних плодовых (абрикоса, миндаля), устанавливается во 2-ой декаде февраля. Осенний переход через 0 °С отмечается во 2-3-й декадах декабря. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 0° составляет 280-310 дней.

Возобновление вегетации люцерны, зерновых и большинства плодовых культур, весеннее отрастание пастбищных трав начинается с переходом температуры воздуха через 5°. Этот переход на равнинной территории Ферганской долины осуществляется 1-й

декаде марта. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 5° изменяется от 235 дней до 265 дней

Начало периода активной вегетации большинства сельскохозяйственных культур совпадает с устойчивым переходом температуры воздуха через 10°. В это же время создаются условия, благоприятные для посева теплолюбивых культур: хлопчатника, кукурузы.

Весенний переход температуры воздуха через 10 °С по равнинной территории Ферганской долины, осуществляется в 3-й декаде марта, осенний – в 3-й декаде октября. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10 °С в среднем составляет 200-220 дней.

На рисунке представлен ход изменения даты устойчивого перехода температуры воздуха через 10 °С, рекомендованной для проведения сева многих сельскохозяйственных культур (табл. 16) в том числе хлопчатник, кукуруза, рис.

Таблица 16

Минимальные (1), оптимальные (2) и максимальные (3) температуры воздуха по периодам развития культур

культура	посев		
	1	2	3
Хлопок	10	12-14	-
Рис	10-12	20-25	30-32
Кукуруза	7-8	10-12	30-32
Озимая пшеница	10-12	15-18	18-20

Даты устойчивой температуры определялись по фактическим климатическим данным базового периода и по результатам моделирования REMO

Прослеживается абсолютно ясный тренд более раннего наступления рекомендованной даты сева. Ожидаемые отклонения от базового сценария по температуре устойчивого перехода через 5 °С составляют по сценариям REMO 3 дня сдвига в сторону зимнего периода 6 дней в последние дни вегетации к 2030 году, более значимы 17 дней и 3 дня к 2050 году, к 2080 году смещение дат в весенний период составит 9 дней и 4 дня.

По температуре устойчивого перехода через 10 °С к 2080 году смещение составит 17 дней в весенний период и 19 в конце вегетации, перехода через 15 °С -20 дней и 12 дней

По метеостанции Фергана по данным Узгидромета, изменение продолжительности периодов между устойчивыми датами перехода температуры воздуха через 10 °С составит по сценарию А2 к 2030 году 9 дней, к 2050 году 20 дней и к 2080 году 38 дней, по сценарию В₂ соответственно 12 дней, 21 день и 29 дней.

Хотя различия между результатами, полученными по различным сценариям, наблюдаются, но тенденция во всех вариантах однозначная.

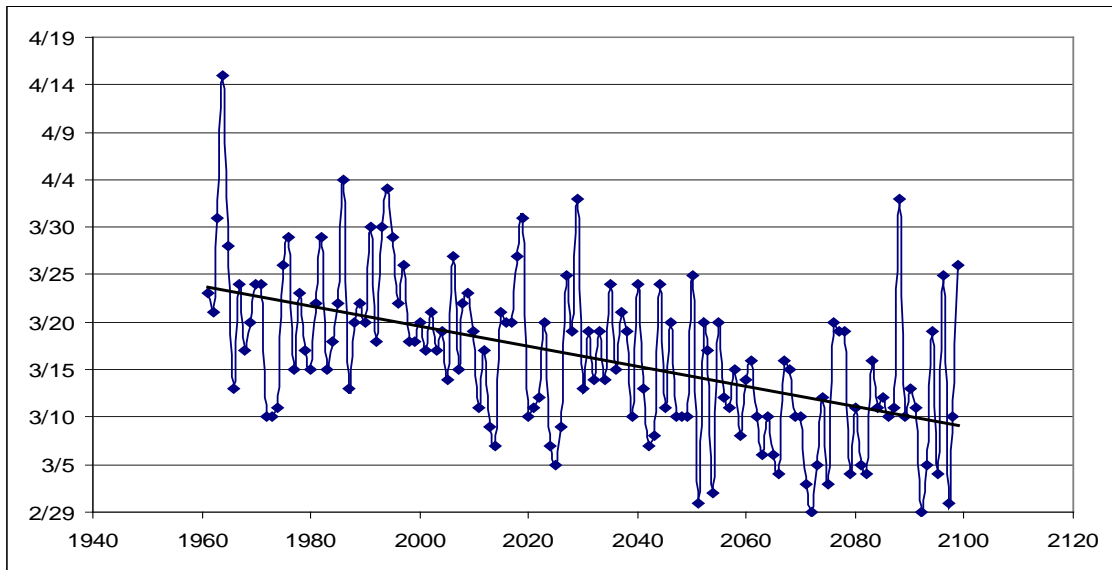


Рис. 23. Изменение дат устойчивых переходов через 10 °С

На рисунках 24, 25, 26 показаны результаты анализа изменения дат методом скользящего среднего, позволившего получить ожидаемые тренды.

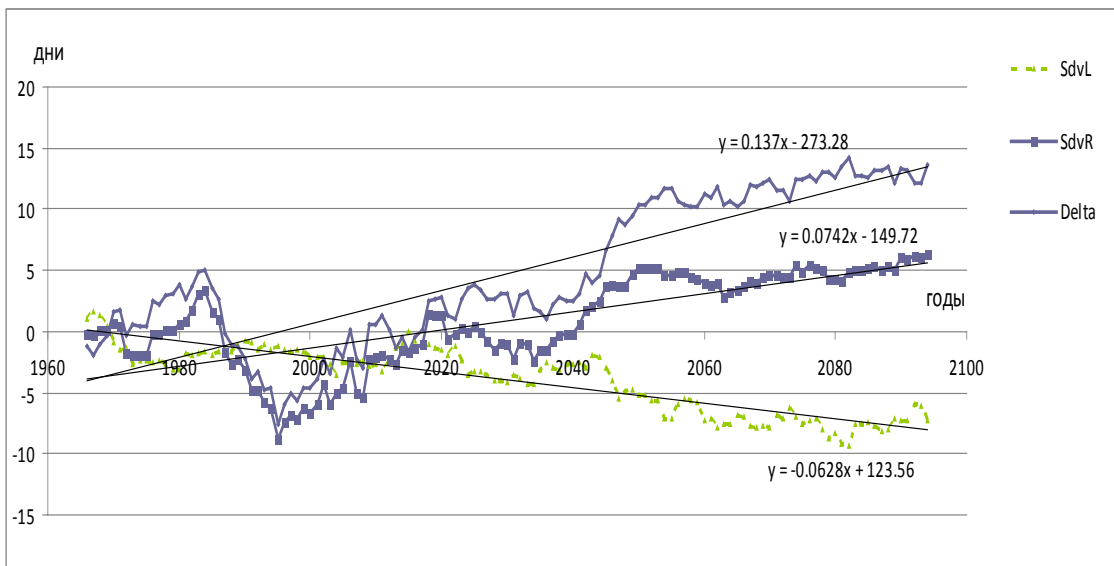


Рис. 24. Ожидаемые изменения дат устойчивого перехода через 5 °С

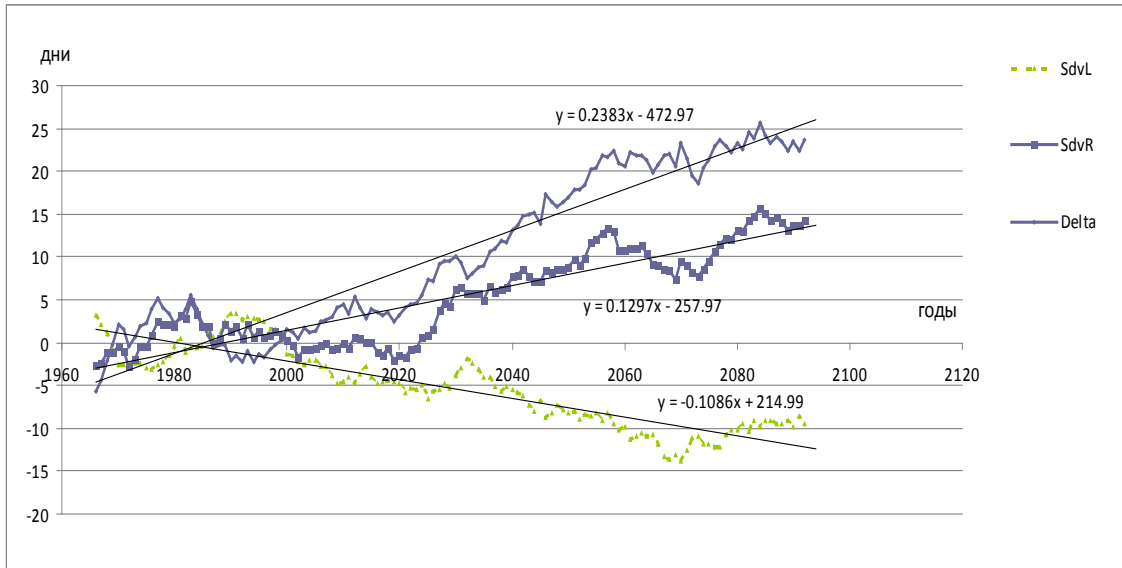


Рис. 25. Ожидаемые изменения дат устойчивого перехода через 10 °С

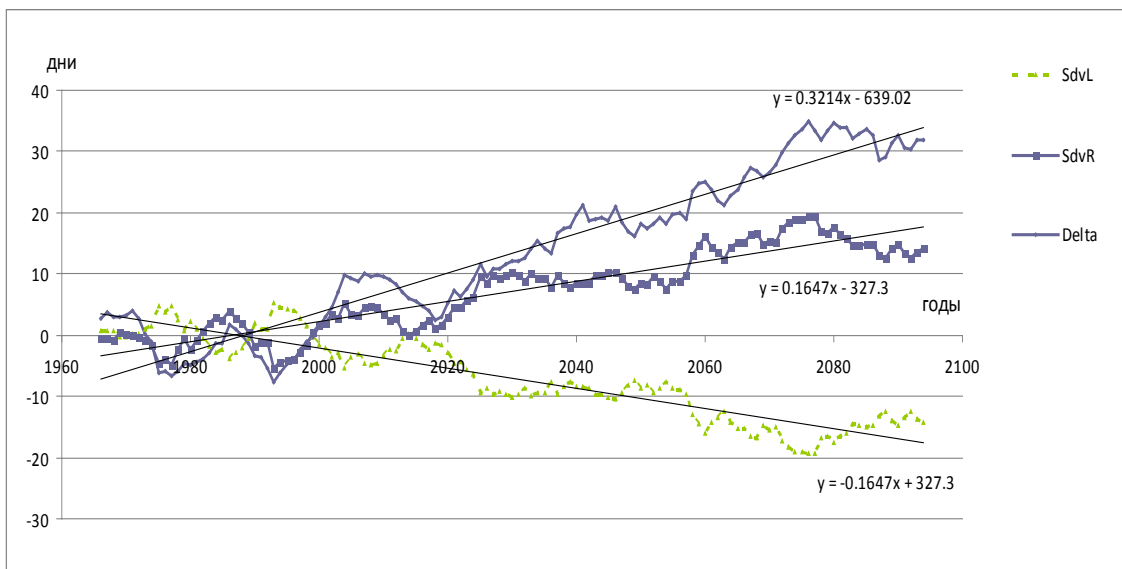


Рис. 26. Ожидаемые изменения дат устойчивого перехода через 15 °С

**Sdvl-смещение начала вегетации; Sdvr- смещение конца вегетации;
Delta-изменение продолжительности вегетации**

Применение скользящего среднего использовано для того, чтобы исключить вес конкретного года в тенденциях изменения и более объективно достоверно описать тренд температурного хода за длительный период. При применении этой операции происходит сглаживание наблюдаемых данных, когда сначала выбираются отсчеты по всей длине базы данных, а затем база выборки для последующего расчета смещается на одно значение.

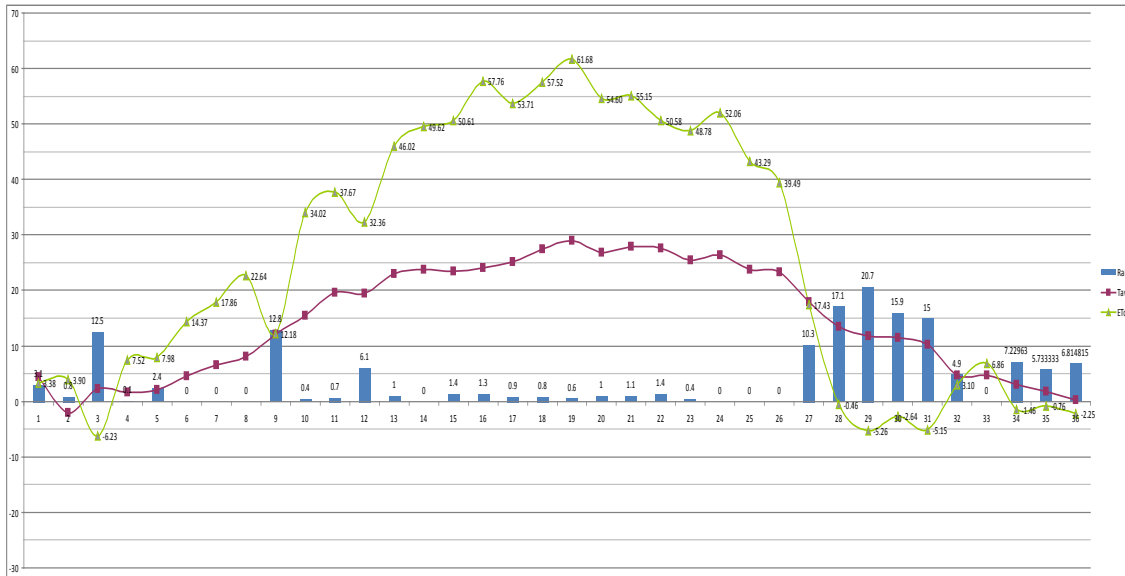


Рис. 27. Соотношение между температурой и осадками, 2000 год

Возможности более раннего сева сельскохозяйственных культур должно быть реализовано в условиях достаточной влажности почвы, это либо осадки, либо запланированный влагозарядковый или вызывной полив.

Рис. 27 демонстрирует ход температуры воздуха и выпадения осадков, сложившихся в засушливом 2000 году. Следует иметь в виду, что в засушливый год в момент наступления устойчивой температуры более 10 °С осадков не было. К сожалению, моделирование осадков на будущее пока не дает их точного распределения в течении вегетации.

2.4.2.2. Оценка термических ресурсов и их прогнозы

Скорость развития сельскохозяйственных культур тесно связана с эффективной температурой. Эффективной температурой принято считать разность между средней суточной температурой и температурой, с которой начинается развитие той или иной культуры – нижний предел эффективных температур. Суммы превышения средней суточной температуры над нижним пределом температур за тот или иной период (от посева до всходов, от всходов до появления 1-го листа, за вегетационный период) называют суммами эффективных температур. Нижний предел эффективных температур у различных культур неодинаков. Для зерновых и большинства плодовых он принимается равным 5 °С, для хлопчатника 10 °С.

При одной и той же суточной температуре воздуха эффективные температуры для растений, имеющих неодинаковые нижние температурные пределы для начала развития, будут различными.

Как следует из графика (рис.28), где показано изменение суммы эффективных температур при различных температурных пределах: 5 °С, 10 °С, 15 °С, тепловые ресурсы неуклонно увеличиваются по сравнению к 2050 и более к 2100 году соответственно на 1133°С, 1041 °С, 878 °С или на 30 %, 41 % и 58 %.

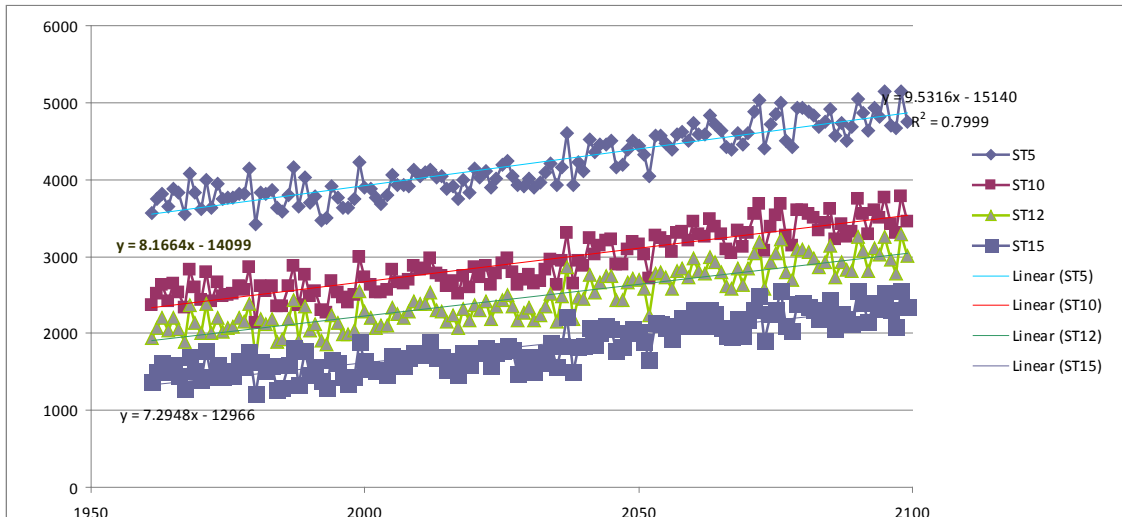


Рис. 28. Сумма эффективных температур за год, метеостанция Фергана (Ферганская зона планирования) по REMO

Вегетационный период по прогнозу REMO характеризуется увеличением тепловых ресурсов на 28 %, 38 % и 56 %.

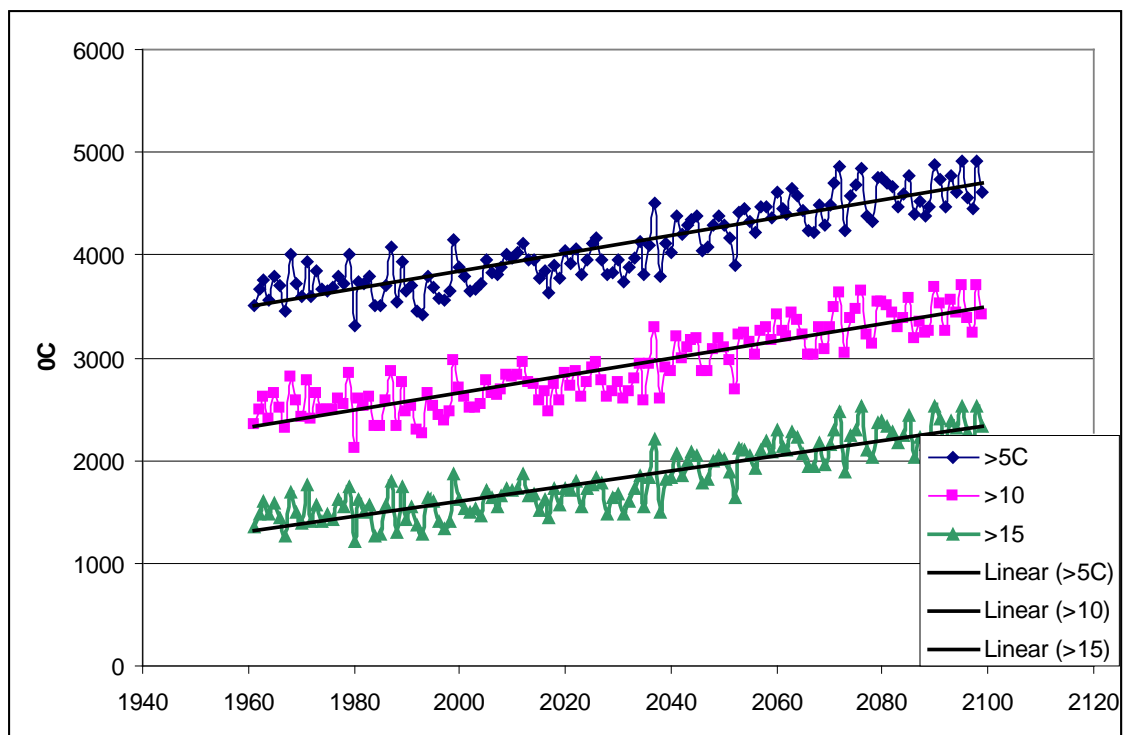


Рис. 29. Сумма эффективных температур за вегетационный период, метеостанция Фергана (Ферганская зона планирования) по REMO

То есть тепловые ресурсы возрастают и создают ситуацию снижения риска выращивания теплолюбивых культур, таких как хлопчатник при достаточной водообеспеченности.

Аналогичный анализ выполнил институт «Узгидромет» для 50 станций Узбекистана как для базового климатического периода и для условий 2030, 2050 и 2080 годов по сценариям эмиссии A₂ и B₂ с использованием кривой годового хода температур, построенной по месячным данным [29].

В таблице 17 представлено изменение во времени суммы эффективных температур для станции Фергана по различным сценариям относительно базового 1961-1990 годам.

Таблица 17

Сумма эффективных температур по различным сценариям относительно базового 1961-1990 годам

Год	Больше 5 °С			Больше 10 °С			Больше 15 °С		
	A2	B2	REMO	A2	B2	REMO	A2	B2	REMO
2030	7-10%	10-15%	6%	7-13%	7-13%	8%	10-15%	10-15%	11%
2050	14-19%	14-19%	17%	15-20%	15-20%	23%	20-30%	20-30%	33%
2080	24-30%	21-27%	30%	24-29%	30-35%	40%	30-50%	30-50%	58%

По данным сценариев A₂ и B₂ для всего Узбекистана также ожидается увеличение суммы эффективных температур выше 5 °С, 10 °С и 15 °С. К 2030 году сумма температур выше 5 °С по сценарию A₂ увеличится на 10 %, B₂ – 10-15 %, к 2050 году 14-19 % по всем сценариям эмиссии, к 2080 году 24-30 %. Сумма температур выше 10 °С согласно сценариев составит 20-30 % в 2030 году, к 2080 году 24-35 %.

По данным «Узгидромет» A₂ и B₂ для всего Узбекистана и по данным REMO относительное увеличение суммы температур выше 15°С превышает относительное увеличение сумм температур выше 10 °С. По данным института «Узгидромет» наибольшее увеличение показателя наблюдается на горных станциях. На равнинной территории диапазон увеличения суммы эффективных температур выше 15 °С составляет 20-30 % к 2050 годам и от 30 до 50 % к 2080 году, то есть результаты всех сценариев A₂, B₂ и REMO показывают близкие тренды.

2.4.2.3. Продолжительность вегетационных периодов культур

Термические ресурсы должны обеспечить ежегодное вызревание районированных сортов различных сельскохозяйственных культур, выращиваемых в регионе.

Изменение климатических условий, увеличение температуры приведет к изменению срока накопления необходимой для вызревания культуры суммы эффективной температуры.

В табл. 18 приводятся суммы эффективных температур необходимых для прохождения фенологических фаз развития растений и полного его созревания до уборки урожая.

Таблица 18

Суммы эффективных температур выше 10° для прохождения фаз вегетации при достаточной влагообеспеченности

Хлопчатник

Сорта	Посев - прораствание	Прораствание - почкование	Почкование - цветение	Цветение - открытие первых коробочек хлопка	Посев - открытие первых коробочек хлопка
Скороспелые	95	400	480	760	1735
Среднеспелые	100	425	500	850	1875
Позднеспелые	100	480	530	1050	2160

Кукуруза

Сорт	Посев-всходы	Всходы - выметывание метелки	Молочная спелость	Восковая спелость
Среднеспелый	80	890	1300	1560
Позднеспелый	80	1210	1670	1880

Сопоставление данных прошлых лет и рассчитанных по модели REMO показывает, что в будущем следует ожидать изменения в процессе роста и развития растений, а это потребует изменения всего агротехнического цикла.

Выделяются 4 фазы развития растений, описание которых приводится ниже (табл.19).

Соответственно этому делению, используя расчет суммы эффективных температур, необходимых для прохождения каждой фазы, были рассчитаны длительность фаз роста для основных сельскохозяйственных культур в различные годы и их прогноз на будущее.

Для демонстрации результатов приводится анализ, выполненный для хлопчатника и кукурузы. На рис. 30, табл. 20 показано изменение продолжительности фаз развития среднеспелого хлопчатника.

Описание фаз развития растений

I-стадия	P-1	(начиная с посева, появления всходов до образования семядольных листочков и возможно до первых двух-четырех полноценных листочков; поверхность почвы не покрыта или слегка покрыта растениями развивающейся сельхозкультуры («затенненность» почвы растениями < 10 %)
II-стадия	P-2	«вегетативная» стадия или стадия «развития сельхозкультуры» (от начала быстрого роста до появления цветков, когда скорость развития замедляется, к концу этой стадии «затенненность» почвы растениями достигает 70 - 80 %),
III-стадия	P-3	стадия «цветения» или стадия «середины вегетации» (включает основной период цветения, а также раннюю стадию образования семян или плодов; от достижения эффективного полного покрова земли растениями («затенненность» 70-80 %) до начала обесвечивания и опадания)
IV-стадия	P-4	стадия «созревания» (когда большинство плодов и семян развивается, созревает и идет сбор урожая)

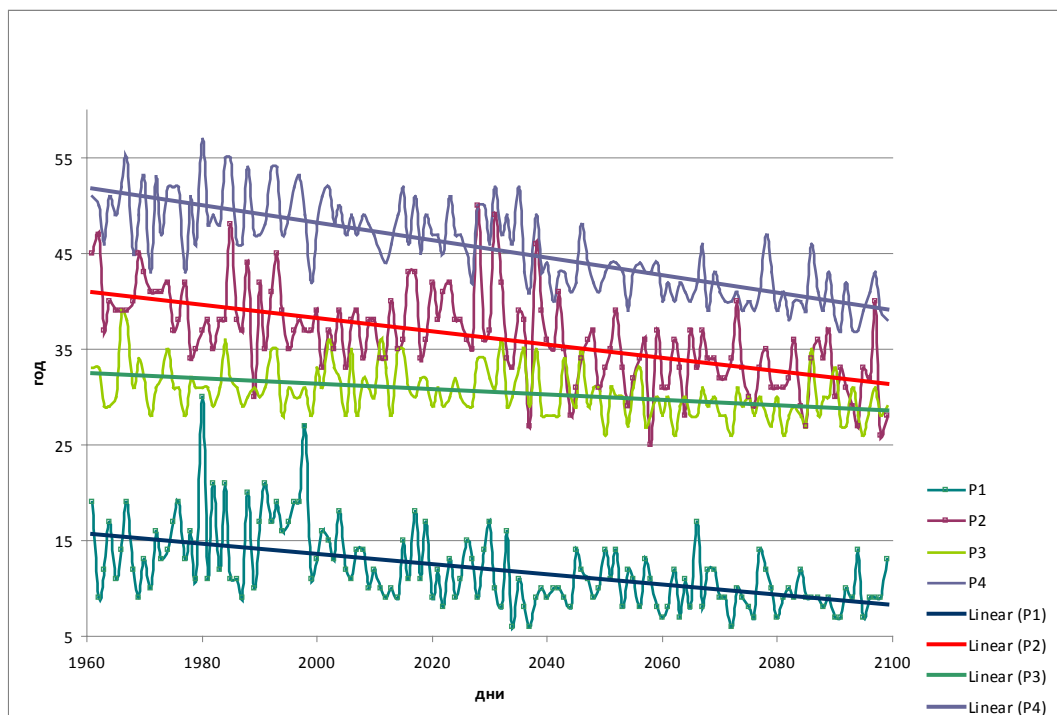


Рис. 30. Изменение продолжительности фаз развития хлопчатника по годам

Таблица 20

Изменение продолжительности фаз развития среднеспелого хлопчатника по периодам

		года	P1	P2	P3	P4	сумма	
Продолжительность фаз	Базовые года	1961-1990	15	40	32	50	136	
		периоды	2000-2030	13	38	32	48	130
			2030-2050	10	36	31	45	122
Изменение продолжительности		2000-2030	-2	-2	0	-2	-6	
Фаз		2030-2050	-5	-3	-1	-5	-14	

Полученные зависимости демонстрируют тренд уменьшения вегетационного периода хлопчатника в целом и отдельно периодов прохождения каждой фазы.

За анализируемые и прогнозные годы в зависимости от климата продолжительность фаз значительно изменяется. В 2050 году продолжительность вегетационного периода уменьшится по сравнению с 1961 годом на 32 дня для хлопчатника. В сравнении с базовым периодом 1961-1990 гг. продолжительность вегетации хлопчатника среднеспелого уменьшится в период 2000-2030 на 6 дней и в период 2030-2050 на 14 дней.

Таблица 21

Изменение продолжительности фаз развития раннеспелого хлопчатника

		года	P1	P2	P3	P4	сумма	
Продолжительность фаз	Базовые года	1961-1990	14	38	31	44	124	
		периоды	2000-2030	12	36	31	43	119
			2030-2050	9	35	30	40	112
Изменение продолжительности		2000-2030	-2	-2	0	-1	-5	
Фаз		2030-2050	-5	-3	-1	-4	-13	

Аналогично сокращается вегетационный период для раннеспелого хлопчатника.

Для кукурузы период развития к 2050 году уменьшится на 18 дней, соответственно по фазам развития: 2, 9, 5, 7 дней.

Как показал вышеприведенный анализ, увеличение температуры имеет положительный эффект, убыстряя физиологические процессы и тем самым, сокращая период роста и развития сельскохозяйственных культур. Однако, одновременно с повышением температуры растет риск проявления экстремальных условий, оказывающих отрицательное воздействие на сельхозпроизводство. Повышение температуры выше критической вызовет стрессовый эффект для растений. Анализ хода

температур за периоды 2000-2030 и 2030-2050 показал, что количество дней с температурой, превышающей 35 °С, составило соответственно по периодам в среднем 57 дней и 72 дня, тогда как в базовый период 1961-1990 года их количество составляло 48 дней. Естественно, учет этой температуры, исключение периода >35 °С из общего вегетационного периода, увеличит его продолжительность и снизит положительный эффект от изменения климата.

На рис. 31, 32 показано изменение вегетационных периодов, рассчитанных в двух вариантах, с учетом влияния критической температуры >35 °С и без учета.

В будущем в практике сельхозпроизводства в условиях изменения климата должны быть использованы приемы агротехники, снижающие риск ожогов растений. Такими приемами могут быть распыление воды, закрытие растений сеткой и др., особенно в наиболее чувствительные к стрессам периоды развития растений, что позволит наиболее эффективно использовать термические ресурсы.

Степень использования термических ресурсов, кроме общей обеспеченности, может быть выражена коэффициентом использования термических ресурсов, представляющим собой процентное отношение имеющейся средней суммы эффективных температур за вегетационный период к средней сумме эффективных температур, потребной для осуществления начала созревания. Данные показывают, на сколько процентов суммы температур за вегетационный период превышают потребности в них той или иной культуры (100 %) и какая доля их может быть использована дополнительно либо той же культурой, либо другой – повторной культурой.

Коэффициент использования термических ресурсов по территории для средневолокнистого хлопчатника велик и равен в среднем 1,3 в 1961-1990 годах, к 2050 году он увеличится до 1,8.

Наступление восковой спелости у кукурузы весенних сроков сева обеспечено на 100 % для среднеспелых, позднеспелых и очень позднеспелых сортов. Коэффициент использования термических ресурсов для среднеспелых сортов кукурузы по территории увеличится с 1,6 до 2,03.

Богатство термических ресурсов Ферганской долины позволяет получать не менее 5, а в благоприятные годы и 6 укосов люцерны за сезон, обеспечивает созревание всех сортов риса, независимо от их скороспелости, бахчевых, огородных, плодовых культур, шелковицы, кишмишных и винных сортов винограда, даёт возможность выращивать пожизненные культуры после уборки зерновых и ранних овощных культур.

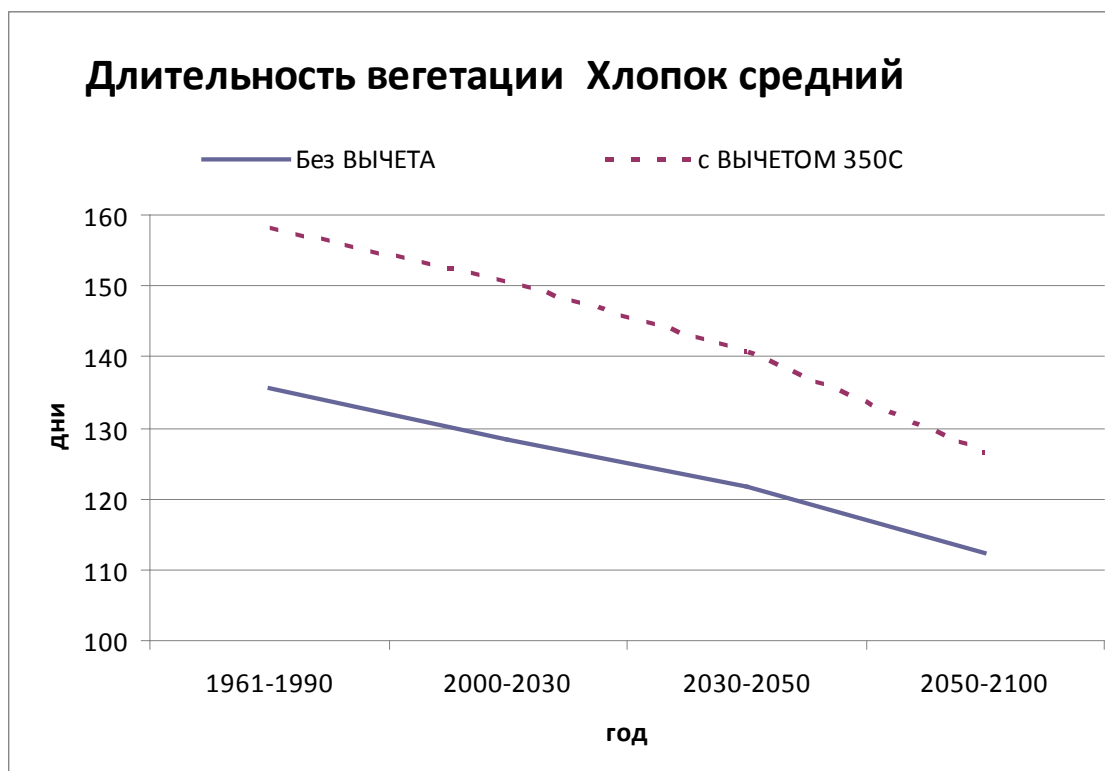


Рис. 31. Продолжительность вегетации среднеспелого хлопчатника

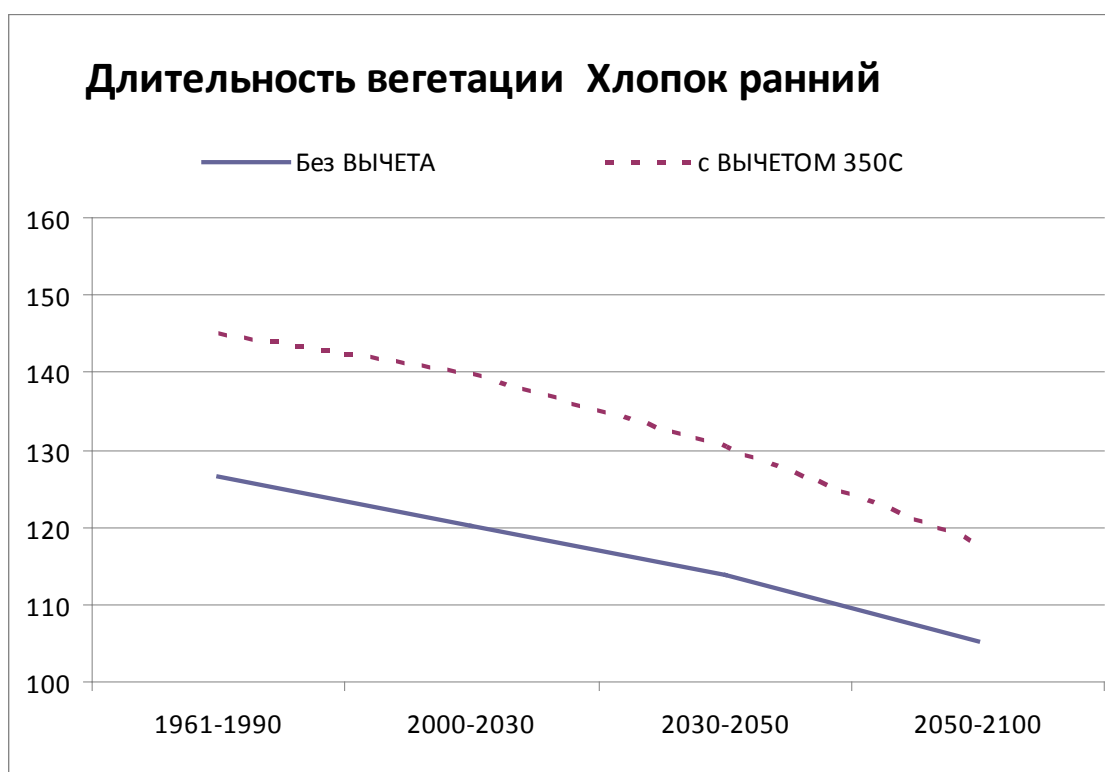


Рис. 32. Продолжительность вегетации раннеспелого хлопчатника

2.4.3. Оценка водопотребления в сценариях будущего

2.4.3.1 Оценка водного дефицита

В целом в соответствии с прогнозом изменения климата дефицит будет неуклонно расти, особенно в вегетационный период.

Нами был проведен расчет потенциального водопотребления для исследуемой нами территории в регионе полного использования вегетационного периода возможно. Были использованы фактические климатические данные за период 1990-2000 года и полученные REMO для 2020-2030. Годы для сравнения выбраны так, чтобы исключить возможную неточность прогноза (обеспечить валидность) осадков на длительный период и в тоже время показать скорость нарастания дефицита влажности значительную. Результаты показывают (рис. 33), что дефицит влажности, выраженный через ETd (ETo- Rain) в летние месяцы возрастает до 8 мм в день.

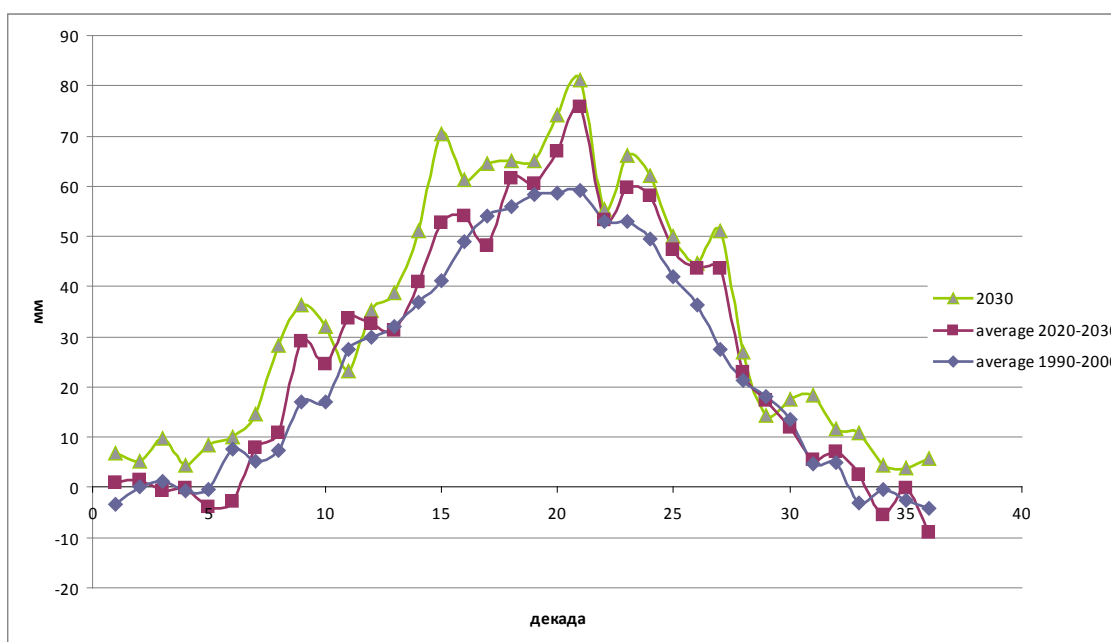


Рис. 33. Изменение дефицита влажности

2.4.3.2 Изменение водопотребления

На общем фоне роста водного дефицита необходимо проанализировать влияние изменения климата на потребности в воде различных культур.

Снижение урожайности результат многих факторов, но обеспечение водными ресурсами в ЦА регионе является решающим. Как показали ранее проведенные исследования (Regional Model of Integrated Water Resources Management in Twinned River Basins – RIVERTWIN // Edited by V.A.Dukhovny – Tashkent: SIC ICWC) в наших

условиях вода является более значимым фактором в агротехническом процессе, нежели, к примеру, удобрение.

Поэтому изменение климата и адаптация к изменениям нами рассматривается с позиции корректировки водопотребления с учетом всех изменившихся факторов в развитии растения.

При анализе водопотребления отдельных культур учитывалось возможное изменение в агроклиматических параметрах, включая откорректированные сроки сева, сроки прохождения фаз, привязанные к ним коэффициенты культуры, суммарные продолжительности вегетационных периодов.

На рисунках 34, 35 показаны результаты расчета водопотребления по программе REGWAT на основе прогнозируемых климатических данных моделью REMO для различных сортов хлопчатника. Тренды изменения водопотребления показывают снижение потребности орошаемой воды для хлопчатника. Однако, это происходит только за счет снижения вегетационного периода хлопчатника, как было показано ранее (табл.20, 21, рис.31, 32).

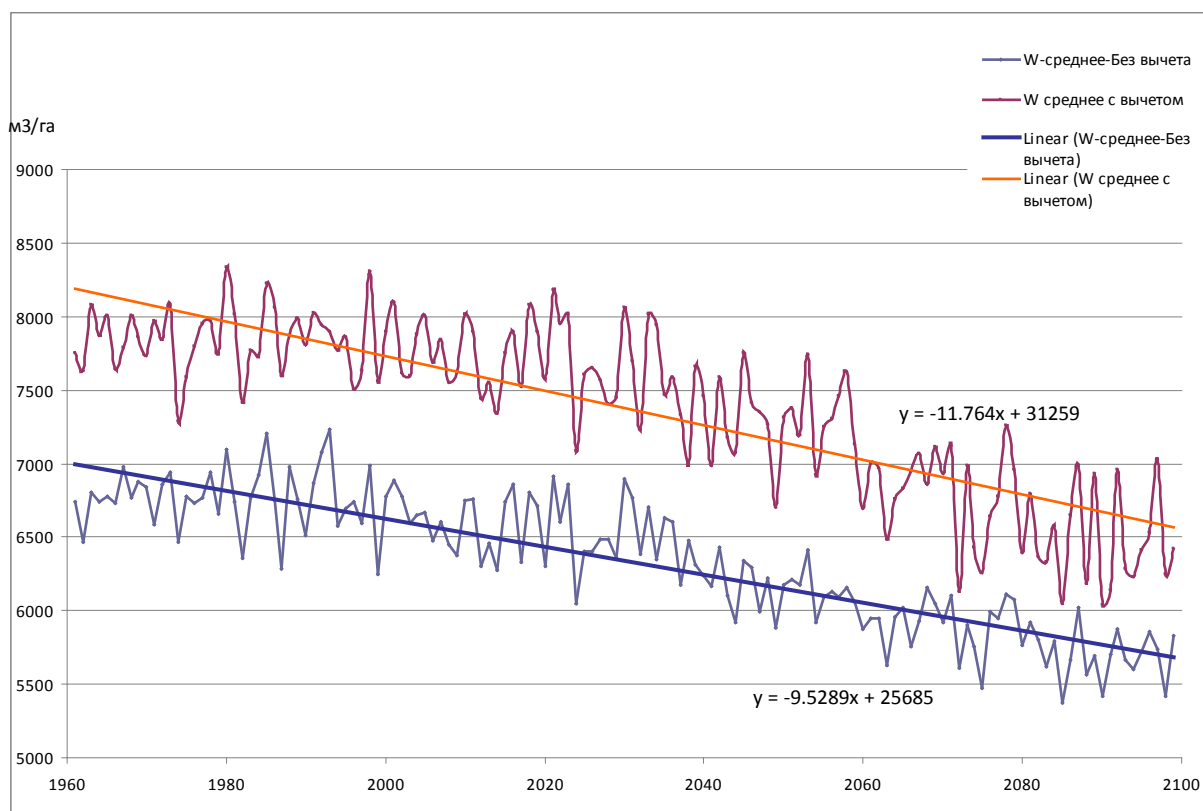


Рис. 34. Сценарий изменения водопотребления для среднеспелого сорта хлопчатника при изменении климата

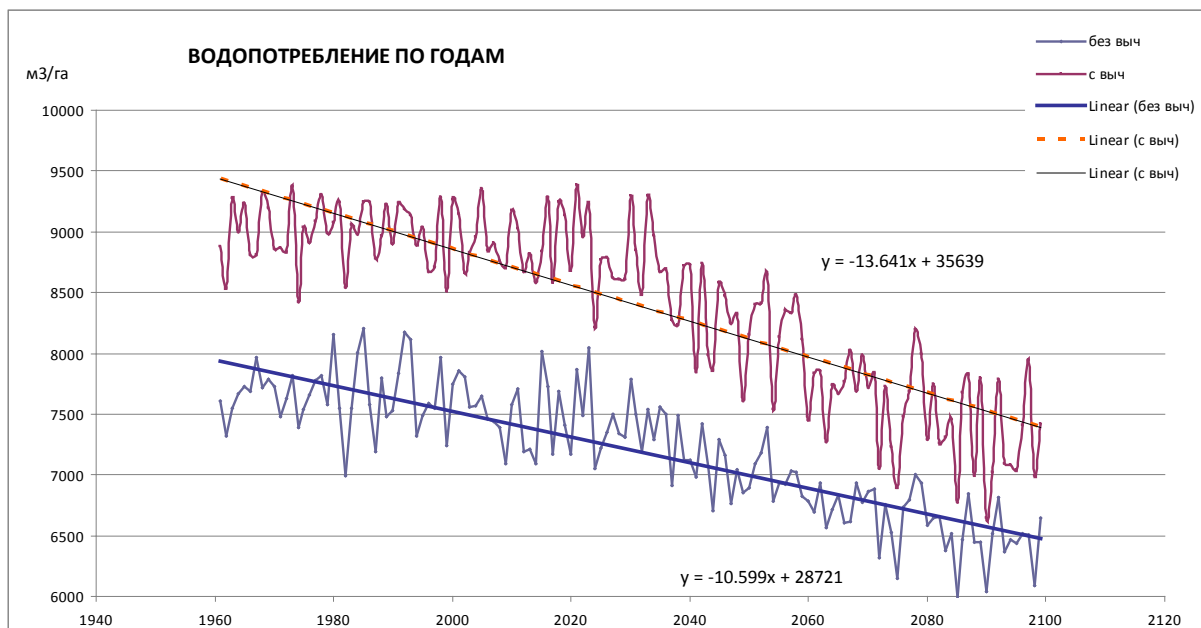


Рис. 35. Сценарий изменения водопотребления для раннеспелого сорта хлопчатника при изменении климата

Для хлопчатника, продолжительность вегетации сократится к 2100 году на 30 дней, водопотребление на 100 мм. Распределение термических ресурсов надо рассматривать как основу составления севооборота и соответственно плана водопользования.

Заключение

Выполненный анализ для Ферганской долины путем расчета величины потенциальной эвапотранспирации подтверждает увеличение дефицита влажности за вегетационный период за счет увеличения температуры воздуха. Соответственно моделированию климатических сценариев до 2100 года программой REMO, эвапотраспирация в летние месяцы значительно возрастет на 4- 8 мм в день.

Однако показано, что одновременно происходит процесс изменения термического потенциала территории. Наблюдаемый рост термического потенциала обеспечивает накопление суммы эффективных температур в более сжатые сроки, более ранние сроки сева сельхозкультуры. Это, во-первых, сократит продолжительность фаз роста развития культуры и в целом вегетационный период конкретной сельхозкультуры и, во-вторых, за счёт этого снизит водопотребление более чем на 100 мм для основной культуры – хлопчатника. Распределение термических ресурсов надо рассматривать как основу составления севооборота и соответственно плана водопользования.

2.5. Учет возможного позитивного влияния изменения климата на процессы развития культур. Реализации программы REQWAT, проект PEER, USAID

Моделирование водопотребления с/х культур с учетом влияния изменения климата для бассейна Амударьи (2000-2050)

Цель данной работы: Анализ и оценка положительного воздействия изменения климата за счет изменения биоклиматического потенциала территории и агрометеорологических параметров культур на величину водопотребления с/х культур.

Регион Центральной Азии в существенной степени подвержен угрозе изменения климата. По данным Узгидромета [30] прогнозируется, что дальнейшее изменение климата приведет к более высоким температурам, изменениям в режимах осадков и более суровым и продолжительным засухам с соответствующим снижением доступности воды. Наиболее вероятные сценарии в целом для Центральной Азии предполагают повышение среднегодовых температур воздуха к 2080 году более чем на 4°C.

Бассейн Амударьи является одним из основных источников водных ресурсов ЦА.

Прогнозы свидетельствуют [31], что расход воды в бассейне Амударьи может снизиться на 10-15%. Это диктует проведение значительной работы по обеспечению адаптации к изменению климата и снижению рисков.

2.5.1. Задачи исследований

Полученные в исследованиях результаты для Ферганской долины по проекту CAWA показали [28, 29], что наблюдаемый рост термического потенциала обеспечивает накопление суммы эффективных температур в более сжатые сроки, более ранние сроки сева сельхозкультуры. Это, во-первых, сократит продолжительность фаз роста развития культуры и в целом вегетационный период конкретной сельхозкультуры и, во-вторых, за счёт этого снизит водопотребление более чем на 100 мм для основной культуры – хлопчатника. Распределение термических ресурсов надо рассматривать как основу составления севооборота и соответственно плана водопользования. В связи с ранее полученными позитивными результатами данный опыт решено распространить на анализ биоклиматического потенциала и его изменения в бассейне реки Амударья.

2.5.2. Методика исследований и последовательность работ

1. Анализ изменения биоклиматического потенциала для всех зон планирования в разрезах года. За базовый принят 2000 год.
2. Расчет суммы эффективных температур $> 5^{\circ}\text{C}$, $> 10^{\circ}\text{C}$, $> 15^{\circ}\text{C}$ за год.
3. Построение графиков суммы эффективных температур 2000-2050 года.

4. Подготовка материала по изменению климата: прохождение порога температур $> 5^{\circ}\text{C}$, $> 10^{\circ}\text{C}$, $> 15^{\circ}\text{C}$, что являются исходными данными для определения дат сева различных сельхозкультур и построение этих графиков.

5. Анализ требуемых сумм эффективных температур для каждого периода роста и развития сельхозкультур, выращиваемых в бассейне и на основе этого расчёт фактических сумм эффективных температур t° по фазам развития и изменение продолжительности фаз развития сельхозкультур.

6. Подготовлены данные для ввода в БД для расчёта водопотребления, их расчёты и анализ величин водопотребления.

2.5.3. Результаты исследований

2.5.3.1. Оценка термических ресурсов и их прогнозы

Для территории Средней Азии были выделены следующие термические зоны [28].

I. Жаркая – с суммами температур выше 10°C больше 4000°C (зона, в которой термические ресурсы достаточны для произрастания и нормального созревания хлопчатника).

II. Тёплая - с суммами температур выше 10°C от 2800°C до 4000°C (где не хватает тепла для нормального плодоношения хлопчатника, но им, как и в предыдущей зоне, обеспечивается созревание винограда, начиная от очень ранних его сортов).

III. Прохладная - с суммами температур от 1000°C до 2800°C (зона, в которой термическими ресурсами не обеспечивается созревание винограда, но их вполне достаточно для произрастания зерновых колосовых культур).

IV. Холодная - с суммами температур меньше 1000°C (неземледельческая зона).

Скорость развития сельскохозяйственных культур тесно связана с эффективной температурой. Эффективной температурой принято считать разность между средней суточной температурой и температурой, с которой начинается развитие той или иной культуры – нижний предел эффективных температур. Суммы превышения средней суточной температуры над нижним пределом температур за тот или иной период (от посева до всходов, от всходов до появления 1-го листа, за вегетационный период) называют суммами эффективных температур. Нижний предел эффективных температур у различных культур неодинаков. Для зерновых и большинства плодовых он принимается равным 5°C , для хлопчатника 10°C , для теплолюбивых растений 15°C .

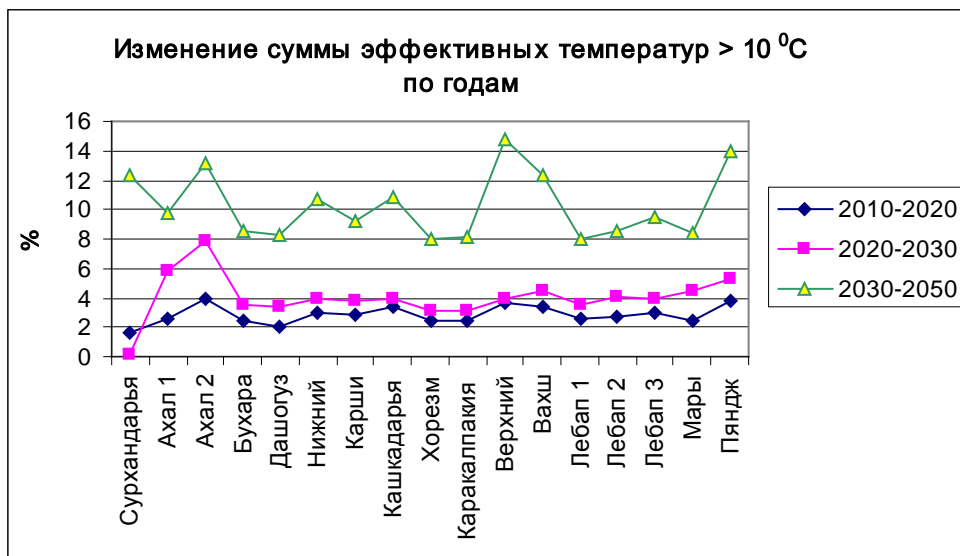
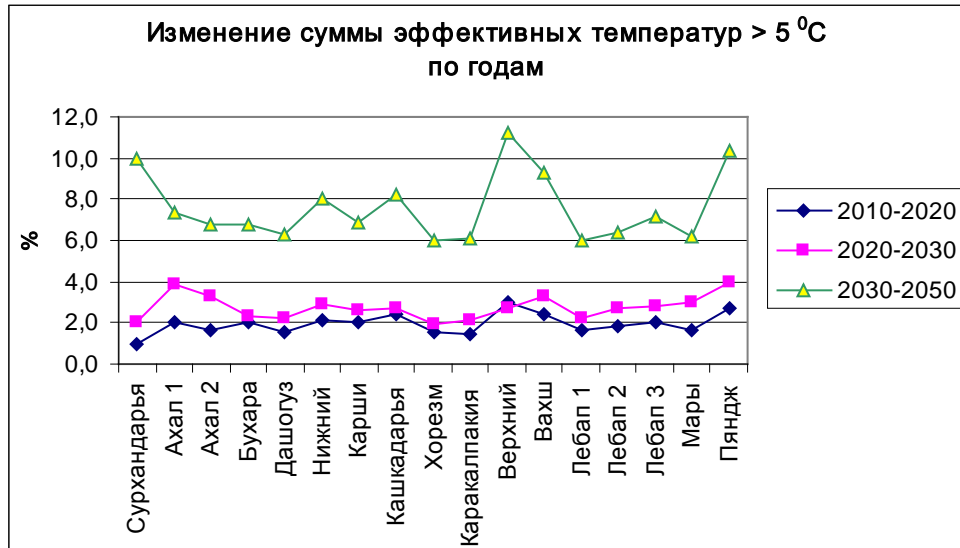
При одной и той же суточной температуре воздуха эффективные температуры для растений, имеющих неодинаковые нижние температурные пределы для начала развития, будут различными.

Для анализа выбраны наиболее показательные и общепринятые для оценки биоклиматического потенциала пределы температур $> 5^{\circ}\text{C}$, $> 10^{\circ}\text{C}$ и $> 15^{\circ}\text{C}$.

Сумма эффективных температур $> 5^{\circ}\text{C}$ изменяется в бассейне Амударьи в пределах $4300\text{-}2600^{\circ}\text{C}$; $> 10^{\circ}\text{C}$ в пределах $3100\text{-}1600^{\circ}\text{C}$; $> 15^{\circ}\text{C}$ в пределах $2000\text{-}900$

$^{\circ}\text{C}$. Соответственно классификации [33] территория относится к теплой зоне и к северной границе выращивания хлопчатника.

Если сравнивать по периодам 2010-2020 гг., 2020-2030 гг. и 2030-2050 гг., четко прослеживается (рис.36) увеличение по всем зонам планирования годовых значений суммы эффективных температур к 2030-2050 годам. В качестве базовых использовались 2000-2010 годы.



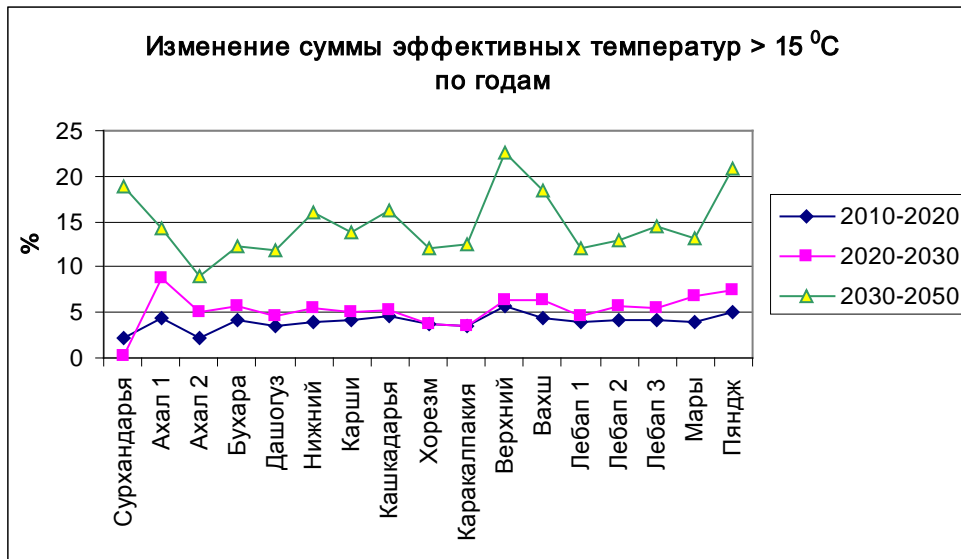


Рис. 36. Изменение термического потенциала в бассейне р. Амударья

Использование биоклиматического ресурса в будущем может быть более оптимальным с точки зрения формирования структуры посева, подбора сельскохозяйственных культур, подбора сортов, корректировки агротехнического процесса. В конечном счёте, это должно изменить организацию водопользования.

2.5.3.2. Изменение даты устойчивых переходов температуры

Дата устойчивой температуры весной, определяет основные параметры: начало вегетации и срок сева.

На территории бассейна Амударьи устойчивый переход температуры воздуха через 0°C , соответствующий началу вегетации ранних плодовых (абрикоса, миндаля), устанавливается в различное время для Бухарской зоны планирования с начала года во 2-ой декаде февраля. Осенний переход через 0°C отмечается во 2-3-й декадах декабря. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 0°C составляет 280-310 дней. Возобновление вегетации люцерны, зерновых и большинства плодовых культур, весеннее отрастание пастбищных трав начинается с переходом температуры воздуха через 5°C . Этот переход на равнинной территории бассейна осуществляется ранее всего в Бухарской зоне планирования в конце февраля. В Ахалской зоне планирования в первой декаде марта, на остальной части в течение всего марта, в горных районах в первой декаде апреля. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 5°C изменяется по годам и по зонам планирования от 200 дней до 270 дней, выше 15°C от 145 до 180 дней.

Начало периода активной вегетации большинства сельскохозяйственных культур совпадает с устойчивым переходом температуры воздуха через 10°C . В это же время создаются условия, благоприятные для посева теплолюбивых культур: хлопчатника, кукурузы.

Весенний переход температуры воздуха через 10°C по равнинной территории бассейна осуществляется также ранее в Бухарской зоне и Ахалской зоне планирования,

в 3-й декаде марта, на остальной территории в первой декаде апреля. Продолжительность периода с температурой воздуха выше 10°C в среднем составляет 170 - 200 дней, выше 15°C от 145 до 180 дней.

Наблюдается увеличение количества дней с температурами $> 5^{\circ}\text{C}$, $> 10^{\circ}\text{C}$ и $> 15^{\circ}\text{C}$ (рис.37).

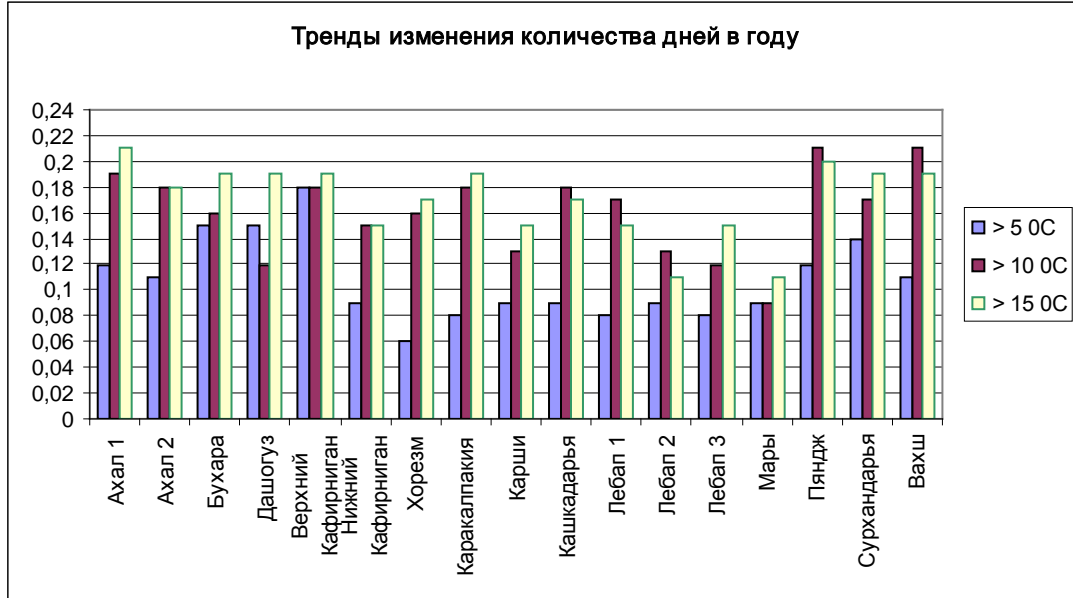


Рис. 37. Тренды изменения количества дней в году к 2050 году с температурой $> 5^{\circ}\text{C}$, $> 10^{\circ}\text{C}$, $> 15^{\circ}\text{C}$

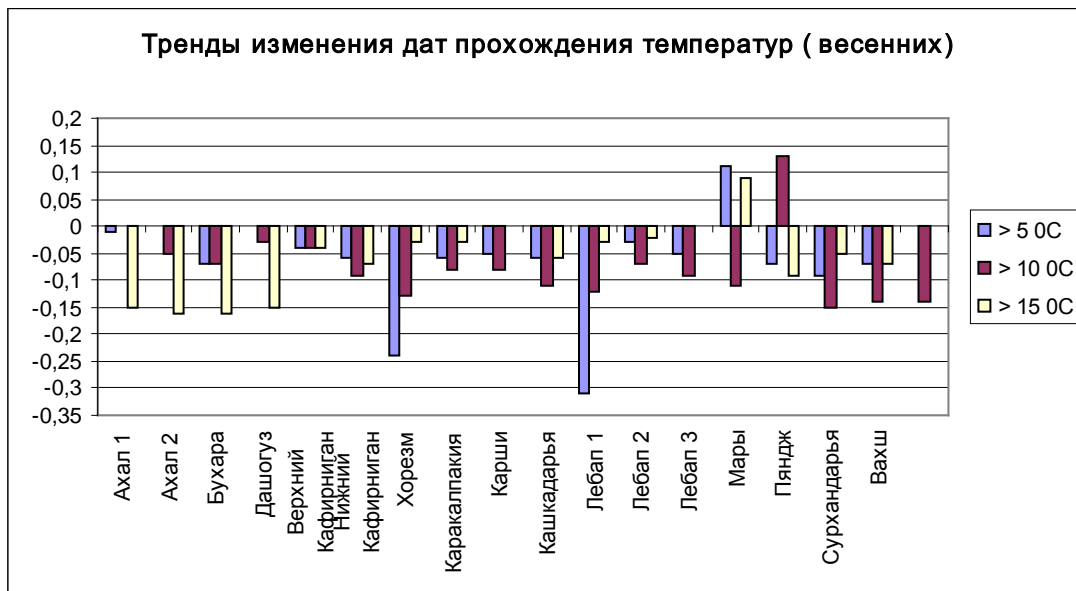


Рис. 38. Тренды изменения дат прохождения критических температур

Таблица 22

Оптимальные температуры воздуха для сева сельхоз. культур

№ п п	Культура	t° сева	№ п п	Культура	t° сева	№ п п	Культура	t° сева
1	Арахис	12.00	13	Сладкая дыня	15.00	25	Ранний Рис	10.00
2	Бобовые	12.00	14	Сладкий перец	10.00	26	Поздний Рис	10.00
3	Виноград столовый	8.00	15	Сорго	10.00	27	Сады	5.00
4	Капуста	5.00	16	Соя	10.00	28	Кустарник	5.00
5	Картофель	10.00	17	Тыква большая	13.00	29	Бобовые-повторная	10.00
6	Кукуруза на зерно	10.00	18	Томаты	12.00	30	Картофель-повторная	10.00
7	Люцерна Осредненная	5.00	19	Арбуз	15.00	31	Свекла-повторная	10.00
8	Мелкие овощи	9.00	20	Хлопок ранний	10.00	32	Бахча-повторная	10.00
9	Морковь	8.00	21	Хлопок средний	10.00	33	Овощи-повторная	10.00
10	Подсолнечник	8.00	22	Хлопок поздний	10.00	34	Кукуруза-силос-повторная	10.00
11	Пшеница озимая	5.00	23	Кукуруза на силос	10.00	35	Рис-повторная	10.00
12	Сахарная свекла	10.00	24	Рис	10.00			

На рисунке 38 представлен тренд изменения даты устойчивого перехода температуры воздуха через 5 °С, 10 °С и 15 °С рекомендованной для проведения сева многих сельскохозяйственных культур (табл.22) в том числе хлопчатник, кукуруза, рис, многие овощи и т.д.

Даты устойчивой температуры определялись по фактическим климатическим данным базового периода и по результатам моделирования REMO.

Прослеживается абсолютно ясный тренд более раннего наступления рекомендованной даты сева (табл.22). Ожидаемые отклонения от базового сценария по температуре устойчивого перехода через 5 °С (срок сева пшеницы, люцерны, капусты и др.) составляют (табл.23) по сценариям REMO составляют от 1 до 8 дней по зонам планирования в сторону зимнего периода.

По температуре устойчивого перехода через 15 °С к 2030-2050 году смещение составит 0-6 дней в весенний период, смещение перехода через 10 °С составит 1-6 дней.

Для всех зон планирования прогнозируется более раннее прохождение критических температур, кроме ЗП Мары и Пяндж.

Использование в анализе трендов изменения параметров (рис.38) позволяет исключить вес конкретного года в тенденциях изменения и более объективно

достоверно описать тренд температурного хода за длительный период. При применении этой операции происходит сглаживание наблюдаемых данных. Тренды изменения параметров демонстрируют скорость их изменения.

Раннее наступление прогревания воздуха, прогнозируемое позволяет сдвинуть начало вегетации к зиме.

2.5.3.3. Продолжительность вегетационных периодов культур

Для прохождения каждой фазы развития растения, от всходов до цветения, плодообразования, созревания, растению необходимо нужное количество сумм эффективной температуры, от чего зависит продолжительность фаз, продолжительность вегетации в целом и возможность корректировки водопотребления.

Для расчета продолжительности фаз собран исходный материал для базового периода по основным культурам, выращиваемым в бассейне, включающий критические величины температур, суммы эффективных температур [34–39].

Известно, что рост и развитие растений проходит в непосредственной зависимости от температурных данных. Каждое из сельскохозяйственных растений высевается или высаживается при определенной температуре воздуха (почвы) устойчивой в течение 3-4 дней и от сева до созревания проходит несколько фаз развития. Анализ полученных данных показывает, что в связи с изменением климата сроки сева изменяются. Для всех культур и по всем зонам планирования сроки сева сдвигаются по направлению к зимнему периоду (табл. 23). Сев согласно прогнозу модели REMO наступит раньше. Так для хлопчатника срок сева хлопчатника в 2050 году наступит по зонам планирования на 1-17 дней раньше по сравнению с 2000 годом, риса на 1-12 дней, бобовых культур на 2-13 дней, овощных (картофель) 1-17 дней. Весенняя вегетация озимой пшеницы наступит на 1-15 дней раньше (табл. 23).

Созревание растения наступает в случае набора определенной суммы эффективных температур, выше порога критической температуры

На основе исходных данных распределения суммы эффективных температур по фазам развития растений были определены продолжительности фаз, то есть время, необходимое для набора нужной температуры. Изменение климата повлияет на длительности времени набора температуры, то есть сформирует длительность всего вегетационного периода и каждой вегетативной фазы растения.

Полученные зависимости демонстрируют тренд уменьшения вегетационного периода к 2050 году по REMO практически для всех выращиваемых в бассейне культур (табл. 24).

Самые значительные изменения продолжительности вегетационного периода прогнозируются для среднеспелого хлопчатника 11-29 дней, для раннего и позднего хлопчатника 9-21 день и 2-21 день соответственно, для риса – 4-27 дней. Для других культур прогноз менее значим: для пшеницы озимой 5-9 дней, кукуруза 7-11 дней, кукуруза на силос 3-9 дней, бобовые 2-10 дней, овощи (картофель) 8-17 дней (табл.24, рис.39-43). Изменения рассчитаны по формулам построенных трендов.

Таблица 23

Сроки даты сева по культурам

	бобо- вые	карто- фель	кукуру- за на зерно	люцерна осреднен- ная	пшени- ца озимая	слад- кая дыня	хло- пок ран- ний	хлопок сред- ний	хлопок позд- ний	кукуру- за на силос	рис	са- ды	кукуру- за на силос- повтор- ная	рис- пов- тор- ная
Ахал 1	-3,3	-4,5	-4,5	0,2	-0,5	-9,3	-4,5	-4,5	-4,5	-4,5	-9,3	-0,5	-0,1	-0,1
Ахал 2	-7,5	-2,6	-2,6	0,2	-0,8	-6,7	-2,6	-2,6	-2,6	-2,6	-6,7	-0,8	-0,1	-0,1
Бухара	-2,0	-0,6	-0,6	-1,4	-1,9	-10,9	-0,6	-0,6	-0,6	-0,6	-10,9	-1,9	-0,1	-0,1
Дашогуз	-6,3	-2,3	-2,3	-1,7	-0,8	-6,0	-2,3	-2,3	-2,3	-2,3	-6,0	-0,8	-0,1	-0,1
Верхний Кафирниган	-6,9	-4,1	-4,1	-9,1	-4,9	-3,9	-4,1	-4,1	-4,1	-4,1	-3,9	-4,9	-0,1	-0,1
Нижний Кафирниган	-6,1	-7,9	-7,9	-7,0	-1,9	-3,2	-7,9	-7,9	-7,9	-7,9	-3,2	-1,9	-0,1	-0,1
Хорезм	-13,3	-15,0	-15,0	-11,2	-6,3	-12,1	-15,0	-15,0	-15,0	-15,0	-12,1	-6,3	-0,1	-0,1
Каракалпакия	-0,7	-9,5	-9,5	-9,9	-3,1	-0,2	-9,5	-9,5	-9,5	-9,5	-0,2	-3,1	-0,1	-0,1
Карши	-2,9	-4,9	-4,9	-6,6	-1,1	-6,1	-4,9	-4,9	-4,9	-4,9	-6,1	-1,1	-0,1	-0,1
Кашкадарья	-6,9	-6,9	-6,9	-5,0	-3,2	-5,5	-6,9	-6,9	-6,9	-6,9	-5,5	-3,2	-0,1	-0,1
Лебап 1	-10,8	-17,4	-17,4	-16,2	-15,1	-0,6	-17,4	-17,4	-17,4	-17,4	-0,6	-15,1	-0,1	-0,1
Лебап 2	-3,6	-6,2	-6,2	-4,1	-0,9	-2,9	-6,2	-6,2	-6,2	-6,2	-2,9	-0,9	-0,1	-0,1
Лебап 3	-6,3	-4,6	-4,6	-6,3	-1,3	-3,4	-4,6	-4,6	-4,6	-4,6	-3,4	-1,3	-0,1	-0,1
Мары	-3,9	-5,0	-5,0	-2,3	-1,0	-1,8	-5,0	-5,0	-5,0	-5,0	-1,8	-1,0	-0,1	-0,1
Пяндж	-7,8	-10,8	-10,8	-7,0	-2,6	-7,5	-10,8	-10,8	-10,8	-10,8	-7,5	-2,6	-0,1	-0,1
Сурхандарья	-5,2	-5,5	-5,5	-8,4	-3,8	-4,6	-5,5	-5,5	-5,5	-5,5	-4,6	-3,8	-0,1	-0,1
Вахш	-7,5	-10,5	-10,5	-7,2	-2,5	-5,7	-10,5	-10,5	-10,5	-10,5	-5,7	-2,5	-0,1	-0,1

Таблица 24

Сокращение периодов вегетации по культурам

	бобовые	картофель	кукуруза на зерно	люцерна осредненная	пшеница озимая	сладкая дыня	хлопок ранний	хлопок средний	хлопок поздний	кукуруза на силос	рис	сады	кукуруза на силос-повторная	рис-повторная
Ахал 1	-5,6	-8,1	-7,2	-10,1	-7,4	-15,4	-9,3	-13,5	-21,3	-4,8	-8,5	9,9	-6,8	6,8
Ахал 2	-3,7	-8,1	-7,2	-9,6	-8,1	-16,0	-9,4	-13,1	-18,5	-4,7	-8,1	9,3	-6,4	6,4
Бухара	-6,5	-7,6	-7,5	-7,6	-5,6	-8,2	-9,3	-11,3	-15,4	-5,9	-3,9	8,3	-5,4	7,7
Дашогуз	-2,2	-8,4	-7,4	-9,6	-6,9	-13,4	-9,3	-12,0	-20,9	-4,6	-7,5	6,2	-6,0	4,1
Верхний Кафирниган	-10,5	-17,8	-15,1	-12,1	-4,9	-30,2	-21,5	-35,4	-18,2	-8,9	-26,7	9,1	-12,7	5,4
Нижний Кафирниган	-7,2	-8,9	-7,5	-8,3	-5,8	-21,5	-11,8	-25,4	-7,4	-2,7	-20,5	7,7	-8,7	1,5
Хорезм	-6,7	-8,7	-7,2	-6,0	-5,1	-10,7	-11,1	-25,4	2,8	-3,5	-14,0	8,1	-6,8	3,1
Каракалпакия	-8,2	-8,1	-6,4	-6,1	-5,3	-11,9	-10,4	-24,7	5,2	-3,1	-19,8	9,1	-6,7	4,2
Карши	-7,8	-9,5	-8,1	-7,1	-5,5	-14,2	-12,2	-26,4	-2,6	-3,7	-17,4	6,7	-8,1	2,1
Кашкадарья	-7,2	-10,3	-8,6	-9,5	-4,9	-20,2	-12,3	-27,0	-7,6	-3,9	-19,2	9,1	-9,2	3,1
Лебап 1	-6,2	-7,7	-6,1	-6,2	-3,8	-14,1	-10,5	-25,7	2,5	-2,6	-18,1	8,2	-7,3	3,0
Лебап 2	-7,1	-8,5	-7,2	-7,5	-5,2	-13,9	-11,1	-26,3	2,6	-3,0	-18,8	6,2	-7,9	2,6
Лебап 3	-6,7	-10,3	-9,3	-7,4	-5,4	-16,2	-12,6	-27,9	-2,8	-4,5	-20,4	6,3	-8,1	2,0
Мары	-6,8	-9,6	-8,5	-8,7	-4,3	-14,7	-12,7	-28,0	0,6	-3,8	-20,2	5,1	-8,0	2,0
Пяндж	-8,1	-11,2	-9,0	-10,9	-6,9	-25,1	-14,0	-28,8	-12,4	-3,2	-21,9	10,5	-11,4	3,1
Сурхандарья	-9,8	-12,5	-10,9	-9,1	-5,1	-24,9	-15,9	-29,1	-12,3	-5,5	-22,0	8,7	-10,5	2,9
Вахш	-7,7	-8,8	-7,2	-9,6	-6,3	-23,5	-12,4	-25,4	-8,6	-1,9	-22,4	10,8	-10,4	2,7



Рис. 40. Сокращение периодов вегетации (хлопок средний)



Рис. 41. Сокращение периодов вегетации (хлопок поздний)



Рис. 42. Сокращение периодов вегетации (пшеница озимая)

2.5.4 Расчет водопотребления и анализ результатов

Расчет водопотребления растений является основой определения объема водоподачи при составлении плана водопользования в практике.

Данные моделирование по REMO представлены нам Университетом Вюрцбург для всей территории бассейна Амударьи. Моделирование водопотребления проводилось на основе модели REQWAT, созданной в НИЦ МКВК на основе ФАО, выпуск 24, 56 [1, 2] с добавлением влияния подпитки из грунтовых вод. REQWAT используется для расчета водопотребления на некоторой площади. Для расчета используются карта зоны планирования, карта орошаемой территории, данные радарной съемки поверхности, почвенная карта, карта расположения скважин УГВ, данные по наблюдениям УГВ за ряд лет, Результаты представляются в виде декадных и месячных требований на воду для различных с/х культур, осредненные по всей исследуемой территории, или в виде карт годовых требований на воду для различных с/х культур.

Для расчета водопотребления в проекте выбраны следующие культуры:

1. Хлопчатник
2. Пшеница озимая
3. Рис
4. Кукуруза на зерно
5. Овощные: картофель, томаты, корнеплоды, бобовые, бахчевые
6. Садовые: фруктовые сады и виноградники
7. Кормовые: кукуруза на силос, люцерна
8. Прочие: масличные, сахарная свекла
9. Приусадебные участки
10. Бобовые - повторные
11. Овощи повторные
12. Кукуруза на силос
13. Рис - повторные
14. Свекла - повторные
15. Картофель - повторные
16. Бахча – повторные

Расчет водопотребления проводился для каждой культуры, после чего ряд культур был объединен в группы овощные, садовые, кормовые, прочие и повторные.

Расчет водопотребления производится по формуле (3).

ETc рассчитывается по формуле (4).

ETo рассчитывается по формулам Пенмана-Монтейта и по методу Блейни-Кридла (1), (2).

Kc - Коэффициент культуры, определяемый на каждый день расчетного периода, возможно определять по таблицам выпуска FAO 56 или использовать откорректированные на местные условия коэффициенты .

В результате повышения термического потенциала, смещения дат сева культур к началу весны и сокращению общего времени вегетации, как было показано выше, происходит уменьшение водопотребления культур. Кроме того, определенный эффект в снижении водопотребления оказывает то, что согласно региональным климатическим сценариям, некоторые периоды вегетации, и что важно, начало вегетации, попадают в периоды с повышенной влажностью и интенсивными осадками.

Практически по всем областям (зонам планирования) бассейна Амударьи (табл.25) наблюдается тенденция снижения водопотребления по основным культурам.

Таблица 25

Изменение водопотребления культур за период 2000-2050 гг.

	Каракал-пакстан		Хорезм		Бухара		Карши		Кашкадарья		Сурхандарья	
	Сред-нее	При-рост	Сред-нее	При-рост	Сред-нее	При-рост	Сред-нее	При-рост	Сред-нее	При-рост	Сред-нее	При-рост
Кукуруза/зерно	6898	-313	6854	-279	7099	-323	6763	-305	6723	-555	6681	-638
Пшеница озимая	1745	-141	1500	-243	2068	184	1809	275	1789	169	1800	202
Хлопок	6898	-313	10267	-702	10083	-379	10014	-675	10123	-1013	10002	-1244
Рис												
Овощи	7743	-161	7681	-220	7843	-343	7595	-251	7585	409	7530	-633
Сад/виноград	6158	131	5939	-479	6506	-281	6069	-120	6055	-204	6038	-232
Корма	6561	-202	6422	-473	6856	-293	6407	-135	6428	-301	6375	-436
Прочие	5970	36	5915	-27	6273	-286	5870	108	5861	-39	5817	-241
Повторные	5816	-287	5763	-324	5922	-305	5687	-350	5655	-378	5647	-571
Усадьбы	9710	107	9772	28	9849	-571	9685	-171	9662	-437	9580	-740

Значительней всего возможно ожидать снижение водопотребления по хлопчатнику (среднеспелому, ранне и позднеспелому) по кукурузе на зерно и кормам.

Рис не рассматривается, так как он априори выращивается методом затопления чеков. Суходольный рис в нашей практике земледелия не рассмотрен.

Расчет водопотребления озимой пшеницы имеет тренд как снижения водопотребления, так и повышения. По-видимому, методика расчета для пшеницы требует доработки, прежде всего, требует уточнение суммы эффективных температур по фазам развития. Однако, проведенные исследования подтверждают, что учёт агрометеорологических параметров при оценке водопотребления позволяют уточнить возможные изменения водопотребления. Они показывают, что изменение климата имеет и положительный потенциал, за счет которых возможно снижение водопотребление конкретной культуры.

В качестве примера (рис. 44) приведены результаты расчета водопотребления по основным сельскохозяйственным культурам Каракалпакстана, самой северной сельскохозяйственной зоны Бассейна Амударьи.

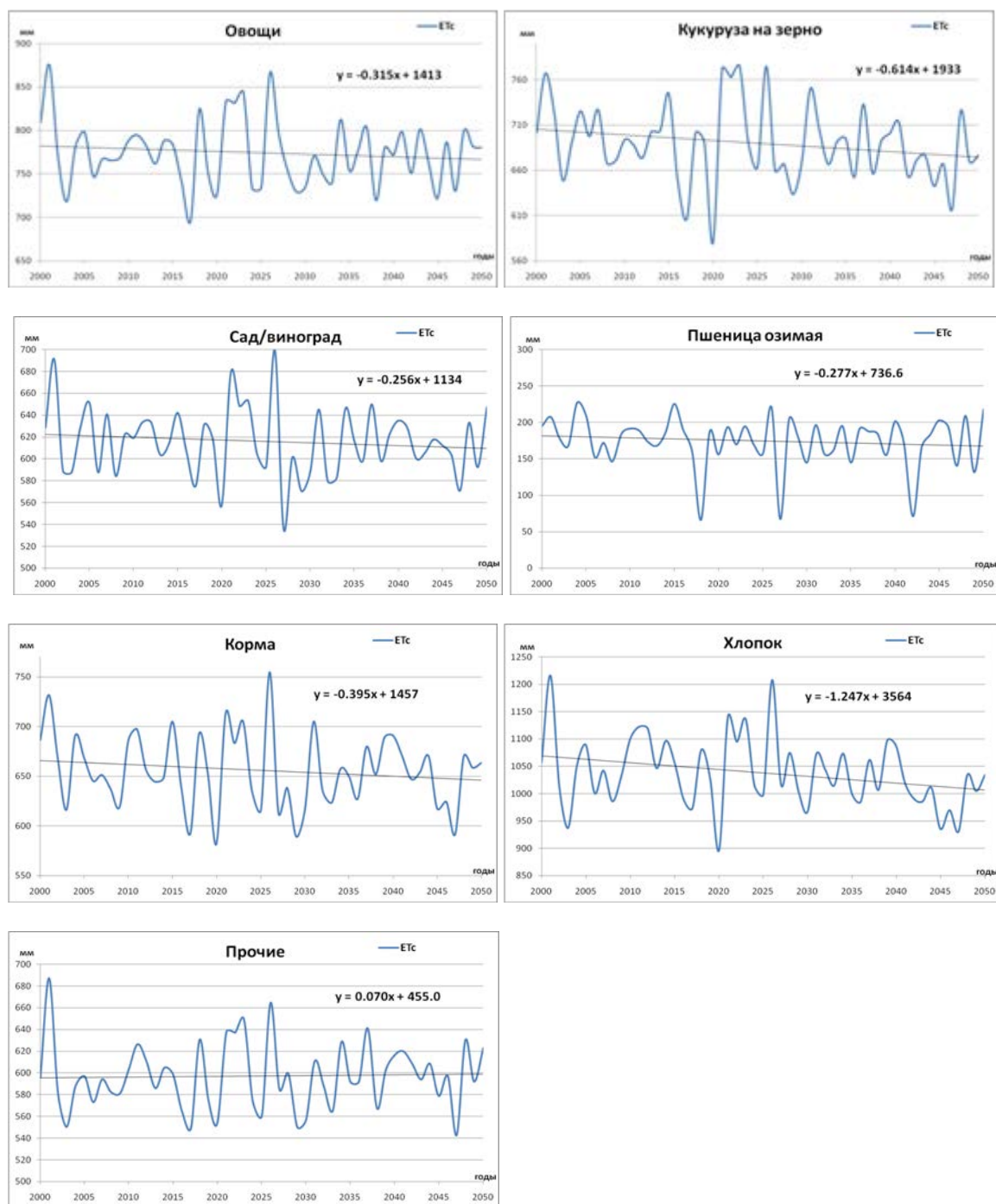


Рис. 44. Водопотребление сельхозкультур, Каракалпакция

Выводы

Данные исследования выполнены по проекту PEER, выполняемого НИЦ МКВК и РЕЦ, при финансовой поддержке ЮСАИД.

Полученные в исследованиях результаты показали, что наблюдаемый рост термического потенциала обеспечивает более ранние сроки сева сельхозкультуры, накопление суммы эффективных температур в более сжатые сроки. Это, во-первых, сократит продолжительность фаз роста развития культуры и в целом вегетационный период конкретной сельхозкультуры и, во-вторых, за счёт этого снизит водопотребление.

В качестве прогноза изменения климата была принята модель REMO Университета Вюрцбург. Данная модель представила возможность долговременного построения искусственного ряда температур и осадков до 2050 года. Результаты моделирования были откалиброваны.

Данные моделирования водопотребления по REMO представлены для всей территории бассейна Амударьи. Моделирование водопотребления выполнено моделью REQWAT в среде ГИС. Для расчета использованы карта зоны планирования, карта орошаемой территории, данные радарной съемки поверхности, почвенная карта, карта расположения скважин УГВ, данные по наблюдениям УГВ за ряд лет, Результаты представляются в виде декадных и месячных требований на воду для различных с/х культур, осредненные по всей исследуемой территории, или в виде карт годовых требований на воду для различных с/х культур.

Заключение

Информация о программе

CROPWAT - это инструмент, разработанный отделом земельных и водных ресурсов ФАО, для поддержки принятия решений.

Последняя версия компьютерной программы CROPWAT 8.0 для Windows предназначена для расчета потребностей в воде и требований на орошение сельскохозяйственных культур на основе данных о почве, климате и урожайности. Кроме того, программа позволяет разрабатывать графики орошения для различных условий управления и рассчитывать схемы подачи воды для различных моделей посевов. CROPWAT 8.0 также может использоваться для оценки фактического полива фермерских хозяйств и урожайности сельскохозяйственных культур как в богарных, так и в орошаемых условиях.

Программа CROPWAT-8 имеет, по сравнению с четвертой версией, преимущество в том, что работает как со среднемесячными, так и с декадными и суточными климатическими данными. Кроме того, в CROPWAT-8 реализован, наконец, алгоритм расчета водопотребления риса. Эвапотранспирация риса считается по двум периодам – рассадному и вегетационному. Вода, требующаяся для заполнения чеков, и проточность не считаются потерями.

Внесены также некоторые изменения в формуле Пенмана-Монтейна, по которой и рассчитывается эвапотранспирация с/х культур. Поставляемая совместно с CROPWAT климатическая БД ClimWAT хорошо интегрирована с программой. Однако, ClimWAT содержит только средние многолетние данные по всем включенным в БД метеостанциям.

Ограничения к применению

К недостаткам восьмой версии следует отнести отсутствие возможности работать с *.ADJ файлами, дающими возможность внести в уравнение баланса, используемое программой для расчета сроков и норм поливов, любые поправки, вычисленные за пределами CROPWAT. К таким поправкам можно отнести учет грунтовых вод, учет длительности полива и, вообще, любые не реализованные в рамках CROPWAT вертикальные потоки влаги в почве.

Практическое использование в Узбекистане

На данный момент существует несколько реализаций программы CROPWAT. Наиболее интенсивно НИЦ МКБК работал с 4-й версией программы – рассчитанной на ОС WINDOWS ранних версий.

В частности,

- переведены сборники ФАО 4, 33, 56;
- переведена документация к программа CROPWAT;
- проведены для стейкхолдеров семинары по работе с программой;
- в рамках проекта «ИУВР-Фергана» с использованием программы² выполнен расчет водопотребления с/х культур. Проведена корректировка режимов орошения в Ферганской, Андижанской областях и их внедрение: откорректированные карты гидромодульных районов (ГМР) и режимы орошения утверждены МВХ РУз, переданы в БУИСы и используются при составлении планов водопользования. Использование новых ГМР позволило сократить водоподачу на 20 %.

Наши рекомендации – выполнить гидромодульное районирование для всей орошаемой территории.

Программа CROPWAT-4 была наиболее удачной версией, поскольку допускала включение в уравнение баланса дополнительных членов, вычисленных за пределами программы. Это реализовывалось через файлы с расширением *.ADJ. В частности, это позволило включить в программу подпитку из грунтовых вод. К сожалению, программа не работает на современных ПК.

На той же теоретической основе, которая использовалась в CROPWAT, была разработана модель расчета водопотребления REQWAT.

Модель REQWAT предназначена для определения водопотребления с/х культур больших территорий – районов, зон планирования, областей, стран и регионов в зависимости от состава выращиваемых с/х культур, почвенно-мелиоративных и климатических данных.

Технология модели REQWAT включает в себя:

- ручную подготовку ГИС-объектов (карт зоны планирования, орошаемой территории, радарной съемки поверхности, почвенная карта, карта расположения скважин УГВ.), - использование растровых представлений климатических данных (модель REMO),
- программные блоки, непосредственно рассчитывающие водопотребление.

Допущения и предположения, принятые в модели REQWAT:

- единицами обработки являются объекты – районы, зоны планирования, области, республики. При этом, входными данными являются осредненные данные по объектам.

² Были использованы средства ГИС MapInfo, СУБД ACCESS и программа CROPWAT. Обработка картографической информации осуществлялась программами на MapBasic в среде MapINFO. Расчет режима орошения производился по программе CROPWAT.

- ввиду отсутствия карт размещения с/х культур, предполагается проецирование процентного состава площадей под с/х культурами объекта на каждый гектар орошаемой территории объектов.

- размеры объектов определяются пользователем – а именно заданием объектов в виде полигонов SHAPE – файлов. Так что размеры объектов роли не играют. Главное, чтобы каждому объекту был присвоен уникальный номер.

Модель REQWAT использовалась в проектах CAWA и PEER. В настоящее время отдельные алгоритмы модели используются для оценки эффективности использования воды районами республики Узбекистан.

Модель расчета водопотребления REQWAT, созданная на основе тех же алгоритмов, что и программа CROPWAT, к настоящему моменту приобрела ряд недостатков, а именно:

1. Модель морально устарела и не поддерживается современными операционными системами – WINDOWS 7 и WINDOWS 10, сейчас невозможно даже установить CROPWAT 4.
2. Современная СУБД MS ACCESS существенно отличается от MS ACCESS 2000.
3. Современные аппаратные средства не позволяют синхронизировать программу – оболочку CROPWAT-4, разработанную под WINDOWS 3, с продуктами, разработанными в MS ACCESS 2000.

Кроме того, появилась возможность работать со спутниковыми снимками.

В настоящее время в НИЦ МКВК ведутся работы по использованию в модели REQWAT спутниковых снимков и их продуктов. В частности, по растрам ETa будут строиться карты реально орошаемой территории. Так же предполагается по данным MODIS расчет растров NDVI и, далее, расчет растров ETa.

На дальнюю перспективу можно было бы разработать программу, аналогичную CROPWAT, с возможностью учета подпитки из ГВ и работы программы как расчетного блока в других программах (что привяжет программу к базе данных и даст возможность за сеанс просчитать режим орошения большого числа полей).

Перспективы использования идей, заложенных в REQWAT, видятся в реализации ее на основе современных языков программирования (PYTHON 3) и растровых и векторных библиотек (GDAL и OGR) для работы непосредственно с ГИС, и базой данных PostgreSQL, полученной нами в рамках проекта CAWA, и инструмента WUEMoCa. Программа могла бы стать моделью, позволяющей в условиях изменения климата оперативно оценивать экономическую целесообразность возделывания с/х культур с учетом посевных площадей и ограничений на оросительную воду.

Для серьезной работы также необходимо иметь доступные источники текущих климатических данных и результатов моделирования климата на 10 – 20 лет вперед. Для чего привлечь гидрометслужбы стран ЦАР.

Необходимо также создать республиканские базы данных по уровням грунтовых вод. Или, если такие существуют, получить к ним доступ.

И, в заключение, нужны данные по почвам – карты и описания шурфов.

Литература

1. Руководство ФАО № 24 Водопотребление культур, Рим, 1977
2. Руководство ФАО №56 Почвы и почвенная влага, Рим, 2000
3. Руководство ФАО № 33 Реакция урожайности на воду, Рим
4. CROPWAT: A Computer Program for Irrigation Planning and Management, Martin Smith, Food and Agriculture Organization of the United Nations 1992 *FAO irrigation and drainage paper (Выпуск 46)*
5. Программа WUFMAS (Проект WARMAP2), Отчёт , 1997 год
6. Отчет по ИУВР в Ферганской долине по позиции А.5.5., 2008
7. Гидромодульное районирование и режимы орошения сельскохозяйственных культур по Ферганской области / Под рук. Беспалова Н.Ф.; НПО «Союзхлопок». - Ташкент, 1986.
8. Еременко В.Е. Режим орошения и техника полива хлопчатника. – Ташкент: Изд-во АН УзССР, 1957.
9. Легостаев В.М., Коньков Б.С. Мелиоративное районирование. - Ташкент, 1950
10. Меднис М.П., Пирманов М. О поливных нормах на засоленных землях Каракалпакской АССР // Хлопководство. - 1969. - № 1.
11. Рыжов С.Р. Орошение хлопчатника в Ферганской долине. - Ташкент, 1948.
12. Шредер В.Р. О поливной норме // Хлопководство. - 1963. - № 2.
13. Режимы орошения и гидромодульное районирование по Узбекской ССР / Под ред. Легостаева В.М., Медниса М.П. - Ташкент, 1971
14. Агальцева Н.А. Оценка влияния климатических изменений на располагаемые водные ресурсы в бассейне Аральского моря // Диалог о воде и климате: исследование случая бассейна Аральского моря. – Ташкент, 2002.
15. Чуб В.Е. Изменение климата и его влияние на природно-ресурсный потенциал Республики Узбекистан: Диссертация доктора географ. наук. - Ташкент, 2003
16. Панков М.А. Мелиоративное почвоведение. Засоленные и заболоченные почвы Средней Азии и их мелиорация. - Ташкент: Укитувчи, 1974.
17. Материалы проекта «Интегрированное управление водными ресурсами в Ферганской долине» (ИУВР-Фергана)
18. Материалы проекта «Вода в Центральной Азии» (CAWA)
19. Отчет по проекту CAWA
20. Dukhovny, V.A., Sokolov, V.I. et al. (2012) Dynamics of the present water balance in the Fergana Valley. *Collection of SIC ICWC scientific papers*, Issue 13, 5-27.
21. Parry, M.L., Consiam, O., Palutikof, G.P, Linden, P.J.van der and Hansen, E.C. “Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability”. Contribution WG2 to the Fourth Assessment report to Intergovernmental panel of climate changes, Edition Cambridge University press, Cambridge, UK, 469 -506.
22. Mannig, B., Müller, M., Starke, E., Merckenschlager, C., Mao c, W., Zhi, X., Podzun, R.,

- Jacob, D., Paeth, H. (2013) Dynamical downscaling of climate change in Central Asia. *Global and Planetary Change*, 110, 26–39.
23. Parry, M.L., Rozenzweig, C., Iglesias, F., Fisher, G., Livermore, G. (1999) Climate changes and world food security. *Global environment*, 9, 51-67.
 24. Rozenzweig, C., Iglesias, A., Yang V.B., Epshtein, P.Z., Chevia, E. (2001) Climate change and extreme weather events: implication for food production, plant diseases and pest. *Global change and human health*, 2, 90-104.
 25. Vleck, P.L.G., Rodrigez, K.G., Sommer, R. (2004) Energy use and CO₂ production in tropical agriculture and means and strategies for reduction or mitigation. *Environment, development and sustainability*, 6, 213-233
 26. Stulina, G., Madramootoo, C. (2005) Adaptation Water Resources Management to climate change condition in Aral Sea Basin, Alberta.
 27. Stulina, G., Usmanov, V. (2002) What is to expect in agriculture in view of climate change. Dialogue on water and climate: Aral Sea Basin case study, Project N 12.130.021, Tashkent.
 28. Stulina, G.V., Solodkiy, G.F. (2011) Adaptation of water planning to climatic and hydrogeological changes: the use of water and land resources and environmental problems in the EECCA region in context of climate change, *Collection of scientific papers, SIC ICWC*, Tashkent, 46-59.
 29. Stulina, G. and Solodkiy, G.. “The Effect of Climate Change on Land and Water Use”. *Agricultural Sciences*, 6, 2015, 834-847. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.68081>
 30. Chub, V.Ye. Climate change and its impact on hydrometeorological and agroclimatic processes and on water resources in the Republic of Uzbekistan. «Voriz-nashriyot», Tashkent, 2007.
 31. Dukhovny, V.A. (2008) Regional Model of Integrated Water Resources Management in Twinned River Basins – RIVERTWIN. Tashkent, SIC ICWC, 188
 32. Stulina, G. and Solodkiy, G.. “The Effect of Climate Change on Land and Water Use”. *Agricultural Sciences*, 6, 2015, 834-847. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2015.68081>
 33. Babushkin, L.N. (1974) Climatic characterization of aridity and hot dry winds in summer in the cotton area of Uzbekistan: Origin of hot dry winds and their control. Tashkent, 59-64.
 34. Биоклиматология бобовых и злаковых трав: клевер, тимофеевка, люцерна, вика, люпин, овсяница, соя, чина. /Под ред. И.Г.Грингоф, рецензенты к.б.н. И.Г.Грингоф (Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственной метеорологии); к.с.-х.н. М.С.Рогов (Всесоюзный научно-исследовательский институт кормов им. В.Р.Вильямса). –Л.: Гидрометеиздат, 1981.- 129 С
 35. Вопросы агрометеорологии /Труды Среднеазиатского регионального научно-исследовательского института им. В.А.Бугаева. Выпуск 88 (169) / Под ред. канд.геогр.наук. В.В.Карнауховой. - М.: Гидрометеиздат, 1983. – 144 С
 36. Вопросы агрометеорологии /Труды Среднеазиатского регионального научно-исследовательского института им.В.А.Бугаева. Выпуск 67 (148) / Под ред. к.геогр.н. П.А.Ана и Х.М.Абдуллаева - М.: Гидрометеиздат, 1979. – 124 С.

37. О.П.Кульков Агроклиматические ресурсы субтропического плодового хозяйства Узбекистана./ Отв. ред. д.с.-х.н. И.М.Мирзаев. - Ташкент, Изд-во «Фан» УзССР, 1976. – 52 С.
38. Управление гидрометеорологической службы Узбекской ССР. / Справочник средних многолетних климатических и агрометеорологических данных по Узбекской ССР. – Ташкент, 1975. – 41 С.
39. И.В.Свисюк, Г.Г.Васенина Погода и урожай овощных культур.- Л.: Гидрометеоздат, 1989. – 112 С.

Приложение 1

Единые (усредненные по времени) коэффициенты культур K_c и средняя максимальная высота растений для не подверженных стрессу, хорошо увлажняемых культур в суб-влажном климате ($RH_{\min} \approx 45\%$, $u_2 \approx 2$ м/с) с использованием уравнения Пенмана-Монтейта ET_0

Культура	$K_{c\ ini}^1$	$K_{C\ mid}$	$K_{C\ end}$	Максим. высота растений (h) (м)
а. Мелкие овощи	0,7	1,05	0,95	
Брокколи		1,05	0,95	0,3
Брюссельская капуста		1,05	0,95	0,4
Капуста кочанная		1,05	0,95	0,4
Морковь		1,05	0,95	0,3
Цветная капуста		1,05	0,95	0,4
Сельдерей салатный		1,05	1,00	0,6
Чеснок		1,00	0,70	0,3
Салат-Латук		1,00	0,95	0,3
Лук - сухой		1,05	0,75	0,4
- зеленый		1,00	1,00	0,3
- семена		1,05	0,80	0,5
Шпинат		1,00	0,95	0,3
Редис		0,90	0,85	0,3
б. Овощи –Семейство пасленовых	0,6	1,15	0,80	
Баклажан		1,05	0,90	0,8
Сладкий перец		1,05 ²	0,90	0,7
Томаты		1,05 ²	0,70-0,90	0,6
с. Овощи –Семейство Тыквенных	0,5	1,00	0,80	
Канталупа (мускусная дыня)	0,5	0,85	0,60	0,3
Огурцы - овощной рынок	0,6	1,00 ²	0,75	0,3
- машинный сбор	0,5	1,00	0,90	0,3
Тыква, Зимняя большая столовая тыква		1,00	0,80	0,4
Большая столовая тыква, Цуккини		0,95	0,75	0,3
Сладкие дыни		1,05	0,75	0,4
Арбуз	0,4	1,00	0,75	0,4
д. Корни и клубни	0,5	1,10	0,95	
Столовая свекла		1,05	0,95	0,4
Маниок 1 год	0,3	0,80 ³	0,30	1,0
2 года	0,3	1,10	0,50	1,5
Пастернак	0,5	1,05	0,95	0,4
Картофель		1,15	0,75 ⁴	0,6
Батат		1,15	0,65	0,4
Репа (и брюква)		1,10	0,95	0,6
Сахарная свекла	0,35	1,20	0,70 ⁵	0,5

Культура	$K_{c\ ini}^1$	$K_{C\ mid}$	$K_{C\ end}$	Максим. высота растений (h) (м)
е. Бобовые	0,4	1,15	0,55	
Фасоль, зеленая	0,5	1,05 ²	0,90	0,4
Фасоль, сухая и бобы	0,4	1,15 ²	0,35	0,4
Нут		1,00	0,35	0,4
Боб конский - свежий	0,5	1,15 ²	1,10	0,8
- сухой/семена	0,5	1,15 ²	0,30	0,8
Грабанцо	0,4	1,15	0,35	0,8
Зеленый кофейный горох и коровий горох		1,05	0,60-0,35 ⁶	0,4
Земляной орех (арахис)		1,15	0,60	0,4
Чечевица		1,10	0,30	0,5
Горох - свежий		1,15 ²	1,10	0,5
- сухой/семена	0,5	1,15	0,30	0,5
Соевые бобы		1,15	0,50	0,5-1,0
ф. Многолетние овощи (с зимним состоянием покоя и первоначально лишенные растительности или покрытые мульчей почвы)	0,5	1,00	0,80	
Артишоки	0,5	1,00	0,95	0,7
Спаржа	0,5	0,95 ⁷	0,30	0,2-0,8
Мята	0,60	1,15	1,10	0,6-0,8
Клубника	0,40	0,85	0,75	0,2
г. Волокнистые культуры	0,35			
Хлопок		1,15-1,20	0,70-0,50	1,2-1,5
Лен		1,10	0,25	1,2
Сизаль		0,4-0,7	0,4-0,7	1,5
н. Масличные культуры	0,35	1,15	0,35	
Боб касторовый		1,15	0,55	0,3
Семя рапса, канола		1,0 – 1,15 ⁹	0,35	0,6
Сафлор		1,0 – 1,15 ⁹	0,25	0,8
Кунжут		1,10	0,25	1,0
Подсолнечник		1,0 – 1,15 ⁹	0,35	2,0
і. Зерновые культуры	0,3	1,15	0,4	
Ячмень		1,15	0,25	1
Овес		1,15	0,25	1
Яровая пшеница		1,15	0,25-0,4 ¹⁰	1
Озимая пшеница:				
- с мерзлой почвой	0,4	1,15	0,25-0,4 ¹⁰	1
- с не мерзлыми почвами	0,7	1,15	0,25-0,4 ¹⁰	
Кукуруза, полевая (зеленая)		1,20	0,60-0,35 ¹¹	2
Кукуруза, сладкая (сладкое зерно)		1,15	1,05 ¹²	1,5
Просо		1,00	0,30	1,5
Сорго - зеленое		1,00-1,10	0,55	1 – 2
- сладкое		1,20	1,05	2 – 4

Культура	$K_{c\ ini}^1$	$K_{C\ mid}$	$K_{C\ end}$	Максим. высота растений (h) (м)
Рис	1,05	1,20	0,90-0,60	1
j. Фуражная				
Люцерна фуражная				
- осредненный эффект косьбы	0,40	0,95 ¹³	0,90	0,7
- периоды индивидуальной косьбы	0,40 ¹⁴	1,20 ¹⁴	1,15 ¹⁴	0,7
- на семена	0,40	0,50	0,50	0,7
Бермудская трава				
- осредненное влияние косьбы	0,55	1,00 ¹³	0,85	0,35
- весенние культуры на семена	0,35	0,90	0,65	0,4
Клеверное сено, Берсим				
- осредненное влияние косьбы	0,40	0,90 ¹³	0,85	0,6
- периоды индивидуальной косьбы	0,40 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	0,6
Райграсс фуражный - осредненное влияние косьбы	0,95	1,05	1,00	0,3
Суданская трава (ежегод)				
- осредненное влияние косьбы	0,50	0,90 ¹⁴	0,85	1,2
- периоды индивидуальной косьбы	0,50 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	1,2
- чередующаяся пастьба	0,40	0,85-1,05	0,85	0,15-0,30
- экстенсивная пастьба	0,30	0,75	0,75	0,10
Торфяная трава				
- холодный сезон	0,90	0,95	0,95	0,10
- теплый сезон	0,80	0,85	0,85	0,10
к. Сахарный тростник	0,40	1,25	0,75	3
l. Тропические фрукты и деревья				
Бананы - 1-й год	0,50	1,10	1,00	3
- 2-й год	1,00	1,20	1,10	4
Какао	1,00	1,05	1,05	3
Кофе				
- земля, лишенная растительности	0,90	0,95	0,95	2-3
- с сорняками	1,05	1,10	1,10	2-3
Финиковая пальма	0,90	0,95	0,95	8
Пальмовые деревья	0,95	1,00	1,00	8
Ананас ¹⁶				
- голая земля	0,50	0,30	0,30	0,6-1,2
- с растительным покровом	0,50	0,50	0,50	0,6-1,2
Каучуковые деревья	0,95	1,00	1,00	10
Чай - не затененный	0,95	1,00	1,00	1,5
- затененный	1,10	1,15	1,15	2
m. Виноград и ягоды				

Культура	$K_{c\ ini}^1$	$K_{C\ mid}$	$K_{C\ end}$	Максим. высота растений (h) (м)
Ягоды (кустарники)	0,30	1,05	0,50	1,5
Виноград				
- столовый или изюм	0,30	0,85	0,45	2
- винный	0,30	0,70	0,45	1,5 - 2
Хмель	0,3	1,05	0,85	5
п. Фруктовые деревья				
Миндаль, не закрывает землю	0,40	0,90	0,65 ¹⁸	5
Яблоки, вишня, груши ¹⁹				
- не закрывает землю, убийств.холод	0,45	0,95	0,70 ¹⁸	4
- не закрывает землю, без морозов	0,60	0,95	0,75 ¹⁸	4
- активный покров земли, уб.холод	0,50	1,20	0,95 ¹⁸	4
- актив. покров земли, без морозов	0,80	1,20	0,85 ¹⁸	4
Абрикосы, персики, косточковые ^{19,20}				
- не закрывает землю, убийств.холод	0,45	0,90	0,65 ¹⁸	3
- не закрывает землю, без морозов	0,55	0,90	0,65 ¹⁸	3
- активный покров земли, уб.холод	0,50	1,15	0,90 ¹⁸	3
- актив. покров земли, без морозов	0,80	1,15	0,85 ¹⁸	3
Авокадо, не закрывает землю	0,60	0,85	0,75	3
Цитрусовые, не закрывает землю ²¹				
70 % кроны	0,70	0,65	0,70	4
50 % кроны	0,65	0,60	0,65	3
20 % кроны	0,50	0,45	0,55	2
Цитрусовые, с активным покрытием земли или сорняками ²²				
70 % кроны	0,75	0,70	0,75	4
50 % кроны	0,80	0,80	0,80	3
20 % кроны	0,85	0,85	0,85	2
Хвойные деревья ²³	1,00	1,00	1,00	10
Киви	0,40	1,05	1,05	3
Оливы (40 –60 % земли, закрытой кроной) ²⁴	0,65	0,70	0,70	3-5
Фисташки, не закрывает землю	0,40	1,10	0,45	3-5
Сад грецких орехов ¹⁹	0,50	1,10	0,65 ¹⁸	4-5
о. Ветланды-умеренный климат				
Рогоз широколистый, Камыши, гибельный холод	0,30	1,20	0,30	2
Рогоз широколистый, камыш, безморозный климат	0,60	1,20	0,60	2
Низкие овощи, безморозный	1,05	1,10	1,10	0,3
Болотный камыш, стоячая вода	1,00	1,20	1,00	1-3
Болотный камыш, влажная почва	0,90	1,20	0,70	1-3

Культура	$K_{c\ ini}^1$	$K_{C\ mid}$	$K_{C\ end}$	Максим. высота растений (h) (м)
р. Специальные культуры				
Открытая водная поверхность < 2 м глубиной Или полувлажный климат или тропики		1,05	1,05	
Открытая водная поверхность > 5 м. глубиной, чистая или мутная, умеренный климат		0,65 ²⁵	1,25 ²⁵	

Приложение 2

Многолетние среднемесячные климатические данные

№ мет-станций	Хоз-во/Обл-ть/зона (1)	Координаты сш/вд	Высо-ты м	Месяц	Суто-ч Т °С	Мах средн Т °С	Абсо-л Мах Т °С	Min средн Т °С	Аб-сол Min Т °С	Осад-всего мм	Отн-влаж-ность %	Скор-ветра м/сек	Солн-сиян час	Сол-нечн ради-ация MJ/м2/су	ЕТо Пен-ман мм
1	1,2 Кзыл-орда NL	44:53 64:30	117	Январь	-10	-5	15	-13	-38	14	78	4.5	5.5	6.7	11
				Феврал	-8	-2	24	-12	-34	14	77	4.8	6.2	9.7	16
				Март	1	7	30	-4	-30	17	71	4.9	7	14	43
				Апрель	12	19	36	5	-11	17	51	5.3	8.9	19.7	114
				Май	20	27	41	12	-2	12	39	4.7	11.3	25	192
				Июнь	24	32	44	16	3	6	36	4	12.5	27.5	217
				Июль	26	34	46	18	8	5	37	3.7	13	27.6	228
				Август	24	32	44	16	4	3	37	3.9	12.1	24.3	199
				Сентяб	17	26	42	9	-6	4	42	3.8	10.9	19.2	127
				Октяб	9	16	35	2	-15	9	54	3.7	8.1	12.2	63
				Ноябрь	0	6	26	-5	-28	13	70	3.9	5.8	7.4	24
				Декаб	-6	-2	17	-10	-33	15	78	4.2	5.3	5.9	12
16	27, 28 Кара-калпак стан NL	42:40 59:40	80	Январь	-5	-1	18	-10	-34	8	79	3.8	4.2	6.4	14
				Феврал	-3	2	25	-8	-31	10	75	4	5.5	9.7	22
				Март	4	11	32	-1	-25	15	67	4.4	6.1	13.5	53
				Апрель	13	21	37	7	-7	17	54	4.6	7.7	18.6	112
				Май	21	29	41	13	1	12	44	4.4	10.6	24.4	187
				Июнь	26	33	44	17	6	5	42	4.1	12.1	27.1	219
				Июль	28	35	45	19	9	4	45	3.9	12.4	27.1	229
				Август	25	33	43	17	7	2	48	3.8	12	24.6	192
				Сентяб	19	27	39	11	-3	3	52	3.4	10.5	19.4	122
				Октяб	11	19	34	4	-9	8	58	3.2	8.2	13	65
				Ноябрь	3	9	26	-2	24	7	68	3.3	5.5	7.8	28
				Декаб	-3	2	20	-7	-28	11	80	3.5	3.4	5.2	14
5	7,8 Чу NH	42:50 74:30	800	Январь	-3	2	14	-8	-29	35	78	1.6	4.8	7.4	14
				Феврал	-1	5	19	-5	-27	40	79	1.7	4.7	9.5	22
				Март	6	11	28	2	-16	60	76	2	5.5	13.3	48
				Апрель	14	20	32	8	-6	45	63	2.4	6.9	17.9	92
				Май	19	25	39	13	2	40	55	2.6	8.5	21.8	138
				Июнь	24	31	40	16	6	17	44	2.7	11.1	26.1	181
				Июль	25	33	40	18	8	8	45	2.2	11.3	25.9	184
				Август	23	31	40	16	7	4	52	2.1	11	23.8	152
				Сентяб	18	26	33	11	0	5	54	2.1	9.9	19.3	105
				Октяб	12	19	32	6	-6	31	62	2	7.5	13	57
				Ноябрь	4	11	23	0	-29	39	74	1.7	5.1	8.1	23
				Декаб	0	5	18	0	-25	29	79	1.5	4	6.2	13
15	25,26 Хорезм CL	41:20 60:20	90	Январь	-4	1	22	-8	-27	7	77	3.6	4.2	6.7	17
				Феврал	-3	4	26	-6	-28	10	73	4	5.5	10	24
				Март	5	12	32	0	-20	18	67	4.2	6.1	13.8	56
				Апрель	14	21	38	8	-6	16	54	4.1	7.7	18.8	114
				Май	22	29	41	14	3	9	41	3.8	10.6	24.6	188
				Июнь	26	33	44	18	8	4	37	3.6	12.1	27.4	220
				Июль	28	35	45	21	12	2	41	3.2	12.4	27.3	223
				Август	26	33	42	18	10	1	45	3	12	24.4	187
Сентяб	19	27	39	12	-3	2	49	2.7	10.5	19.8	120				

№ мет-станций	Хоз-во/Обл-ть/зона (1)	Координаты сш/вд	Высо-ты м	Месяц	Суто	Мах	Абсо	Min	Аб-сол	Осад	Отн	Скор	Солн.	Сол-нечн	ЕТо		
					ч Т °С	средн Т °С	л Мах Т °С	средн Т °С	сол Min Т °С	всего мм	влаж-ность %	ветра м/сек	сиян час	радиа-ция MJ/м2/су	Пен-ман мм		
				Октяб	11	19	35	5	-8	4	56	2.7	8.2	13.4	66		
				Ноябрь	4	10	28	-1	-20	10	66	3.2	5.5	8.2	32		
				Декаб	-2	3	19	-5	-26	11	78	3.4	3.4	5.5	17		
20	35,36 Бухара СМ	39:40 64:20	230	Январь	0	6	25	-5	-23	18	74	2.9	4.1	7.1	22		
				Феврал	3	9	28	-2	-25	21	70	3.2	4.7	9.7	33		
				Март	8	16	33	3	-18	28	63	3.5	5.2	13.1	67		
				Апрель	16	24	38	10	-6	26	54	3.6	7.3	18.5	118		
				Май	22	30	42	14	2	10	39	3.8	10.1	24.2	193		
				Июнь	26	35	43	17	7	3	31	4	12.3	27.9	237		
				Июль	28	36	45	19	12	1	32	4	12.8	28.1	252		
				Август	25	34	43	17	8	0	34	4.1	12	25.3	219		
				Сентяб	20	29	39	11	-2	0	40	3.3	10.2	19.9	139		
				Октяб	13	23	36	5	-7	5	51	2.6	7.6	13.3	75		
				Ноябрь	6	15	30	0	-17	13	62	2.5	5.6	8.7	36		
				Декаб	2	8	24	-2	-25	18	74	2.5	4	6.4	21		
2	3,4 Юж-ный Казах-стан СМ	40:50 68:31	257	Январь	-3	3	18	-6	-35	40	81	1.8	5.9	8.2	13		
				Феврал	1	6	26	-4	-32	34	79	1.9	7	11.6	24		
				Март	7	14	32	2	-22	54	74	1.9	7.2	15.2	54		
				Апрель	15	22	37	8	-5	47	65	2	8.3	19.7	96		
				Май	21	29	42	13	0	27	62	2.1	10.8	25	146		
				Июнь	25	34	42	16	6	6	44	1.8	12.7	28.3	182		
				Июль	27	36	43	17	8	3	49	1.5	12.4	27.4	181		
				Август	24	34	42	14	4	1	55	1.3	12.9	26.2	152		
				Сентяб	19	29	40	9	-2	1	56	1.3	10.6	20.1	96		
				Октяб	12	22	36	4	-8	23	62	1.4	8.2	13.6	54		
				Ноябрь	5	12	30	0	-28	32	74	1.4	6.4	9.1	22		
				Декаб	0	5	21	-4	-35	43	82	1.5	5.2	7	12		
14	23,24 Сыр-дарья СМ	40:23 68:23	280	Январь	0	4	22	-3	-28	37	68	5.2	3.8	6.7	31		
				Феврал	3	7	22	-1	-24	42	69	4.6	4.5	9.4	36		
				Март	9	14	31	4	-16	63	67	4.1	5.4	13.2	66		
				Апрель	16	22	37	11	-5	59	61	3	7.4	18.6	106		
				Май	22	29	40	16	1	34	48	2.8	10	23.9	166		
				Июнь	27	34	44	20	9	9	33	2.5	12	27.4	206		
				Июль	30	37	47	22	13	3	30	2.1	12.5	27.6	213		
				Август	27	35	44	20	8	1	31	1.8	11.9	25	178		
				Сентяб	22	30	40	15	3	3	35	1.6	10.1	19.6	115		
				Октяб	15	22	37	9	-6	24	48	2.4	7.4	12.9	77		
				Ноябрь	7	13	28	3	-24	32	62	3.6	5.2	8.2	44		
				Декаб	2	6	23	-1	-28	33	69	4.5	3.5	5.9	31		
8	14,37 Лени-абад СМ	40:16 70:20	400	Январь	-2					13	72	5.3	3.9	6.8	26		
				Феврал	1						14	66	5.5	5	9.9	38	
				Март	8							24	59	5.6	4.9	12.7	77
				Апрель	15							24	51	4.8	8.1	19.5	128
				Май	22							19	39	4.2	9.8	23.7	194
				Июнь	27							10	28	4	11.8	27.1	239
				Июль	29							4	23	4.4	12.6	27.7	277
				Август	27							1	24	4.4	11.1	23.9	240
				Сентяб	20							1	27	4	9.8	19.3	164
				Октяб	14							14	46	3.8	8.1	13.6	92
				Ноябрь	6							15	65	4.6	5.1	8.2	44
				Декаб	1							16	75	4.8	3.4	5.8	26
4	5,6 Нарын	41:10 75:15	1800	Январь	-5	1	2	-10	-32	23	69	1.7	5.5	7.7	15		
				Феврал	-3	3	25	-7	-34	27	72	1.8	6	10.5	22		

№ мет-станций	Хоз-во/Обл-ть/зона (1)	Координаты сш/вд	Высо-ты м	Месяц	Суто	Мах	Абсо	Min	Аб-сол	Осад	Отн	Скор	Солн.	Сол-	ЕТо
					ч Т °С	средн Т °С	л Мах Т °С	средн Т °С	сол Min Т °С	всего мм	влаж-ность %	ветра м/сек	сиян час	нечн ради-ация MJ/м2/су	Пен-ман мм
	СН			Март	4	10	31	-1	-24	48	72	2	6.2	13.9	49
				Апрель	12	18	35	6	-12	72	63	2.2	7.7	18.8	89
				Май	17	23	35	11	-3	64	59	2.1	9.1	22.6	129
				Июнь	22	28	39	15	1	39	51	2.2	10.3	24.9	158
				Июль	24	31	43	17	8	20	44	2.1	10.9	25.2	176
				Август	23	30	40	16	5	13	45	1.9	10.3	22.7	147
				Сентяб	18	25	36	11	-3	16	47	2	9.3	18.4	102
				Октяб	11	18	34	5	-13	36	57	1.9	7.6	12.8	55
				Ноябрь	3	9	26	-2	-32	37	69	1.7	5.3	8	22
Декаб	-3	3	23	-8	-38	27	71	1.6	5.3	6.9	13				
11	17,18 Мары SM	37:35 62:11	240	Январь	2	8	28	-3	-26	25	71	2.9	5.7	9	28
				Феврал	5	12	32	-1	-22	22	66	3	6.4	12	41
				Март	10	17	36	4	-17	35	62	3	6.6	15.3	74
				Апрель	17	24	39	10	-4	26	53	2.9	7.9	19.7	119
				Май	24	31	46	15	3	12	39	2.8	10.1	24.4	185
				Июнь	28	36	46	19	8	2	30	2.7	11.9	27.5	219
				Июль	30	38	48	21	12	0	27	3	12.2	27.5	245
				Август	28	36	46	19	7	0	27	2.7	11.6	25.1	211
				Сентяб	22	31	42	13	-2	1	34	2.3	10.4	20.7	140
				Октяб	15	24	39	7	-8	7	44	2.3	8.6	15	87
				Ноябрь	9	16	34	2	-22	12	57	2.5	6.7	10.3	46
Декаб	4	10	29	-1	-23	18	70	2.7	5.6	8.2	28				
13	21,22 Сурхан Дарья SM	37:38 66:58	390	Январь	4	9	23	0	-18	35	68	2.8	4.5	7.9	32
				Феврал	7	12	27	3	-14	34	65	2.9	5.2	10.7	44
				Март	12	17	32	7	-11	44	61	3	5.8	14.3	78
				Апрель	19	25	38	13	0	29	52	3	7.7	19.4	127
				Май	25	32	43	18	6	11	37	2.9	10.6	25.1	196
				Июнь	30	37	47	22	11	1	23	2.8	12.5	28.3	234
				Июль	32	39	47	24	16	0	22	2.6	12.5	27.9	244
				Август	30	37	46	22	12	0	23	2.4	11.6	25.1	207
				Сентяб	25	32	41	17	6	0	25	2.6	10.5	20.8	160
				Октяб	18	24	38	12	-5	3	35	2.8	8.4	14.8	108
				Ноябрь	11	17	32	6	-10	13	50	2.8	6.3	10	57
Декаб	6	11	27	3	-16	24	64	2.7	4.5	7.3	35				

Примечание (1) N = север, С = центральный, S = южный, H = высокий, M = средний, L = низкий

Приложение 3

Идеальные даты посадки и продолжительность стадий развития культур для программы CROPWAT

Минимал.н. температуры	Нарын	Юж-Казахст	Кзыл орда	Чу	Каракалпакия	Бухара	Хорезм	Мары	Сыр-дарья	Сурхан-дарья	Ленин-абад	Стандарты 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-Apr	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 ранние	07-Apr	24-Mar	10-Apr	27-Mar	04-Apr	21-Mar	29-Mar	16-Mar	14-Mar	26-Feb	03-Apr	
Овощи поздние	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 ранние	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

Приложение 4

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

	Нарын	Юж- Казахст	Кзыл орда	Чу	Каракал- пакия	Бухара	Хорезм	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 ранние	115	100	100	100	100	90	90	90	90	75	90	95
Овощи поздние	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	1	30
Подгот земли		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	20
Первонач		55	55	55	50	50	50	50	45	50	50	20
Вегетативная		30	30	30	25	25	25	25	25	25	25	30
Середина		35	35	35	30	30	30	30	30	30	30	40
Окончание		35	35	35	30	30	30	30	25	30	30	30
Вся вегетац		157	157	157	137	137	137	137	127	137	137	170
Дата уборки	урожая	11 октяб	19 октяб	11 октяб	15 сент	21 сент	09 сент	09 сент	12 августа	09 сент		

Приложение 5

Описание программной части задачи. Моделирование водопотребления с/х культур по программе REQWAT с учетом влияния изменения климата

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассчитать водопотребления с/х культур, выращиваемых в ЗП, орошаемых из р. Амударьи. При этом учесть подпитку из грунтовых вод, затраты на промывки и влагозарядку, а также влияние изменения климата на водопотребление с/х культур.

2. ПУНКТЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗАДАНИЯ

Для Зон Планирования:

1	Северный Каракалпакстан
2	Хорезм
3	Бухара
4	Карши
5	Кашкадарья
6	Сурхандарья

рассчитать водопотребление по всем заявленным с/х культурам на период 2000 - 2050 гг.

Зоны Планирования:

7-8	Ахал – 2 объекта
9	Дашогуз
10	Мары
11-13	Лебап – 3 объекта
14	Верхний Кафирниган
15	Нижний Кафирниган
16	Пяндж
17	Вахш

подготовить к расчету водопотребления по мере получения и обработки недостающей информации

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ С/Х КУЛЬТУР С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

По этому пункту выполнено следующее:

- Созданы проекты для каждой из зон планирования бассейна р. Амударьи.
- Заполнение проектов ГИС-представлением:

- - Зоны планирования (ЗП).
- - Орошаемой части территории ЗП.
- - Репрезентативных для ЗП метеостанциями (Сайт gis.ncdc.noaa.gov)
- - Покрывающих ЗП узлов климата REMO.
- - Многолетними данными УГВ по орошаемой части ЗП
- - Расчетной сетки орошаемой части ЗП.
- - Полученными осадками для ЗП с сайта ClimateSERV

Имя	↑ Тип	Размер	Дата
[..]	<Папка>		25.10.2015 21:41
[AHALAK_1]	<Папка>		24.10.2015 23:53
[AHALAK_2]	<Папка>		25.10.2015 12:53
[BUKHARA_2]	<Папка>		25.10.2015 13:04
[DASHAVUZ_1]	<Папка>		25.10.2015 14:02
[DN_KAFIRNIGAN_2]	<Папка>		25.10.2015 15:01
[KARSHY_1]	<Папка>		25.10.2015 14:05
[KASHKADARIYA_2]	<Папка>		25.10.2015 14:12
[KHOREZM_1]	<Папка>		25.10.2015 15:09
[KKALPAK_NORD_1]	<Папка>		25.10.2015 15:06
[LEBAP_1]	<Папка>		25.10.2015 14:23
[LEBAP_2]	<Папка>		25.10.2015 14:24
[LEBAP_3]	<Папка>		25.10.2015 14:26
[MARY_1]	<Папка>		25.10.2015 14:39
[PANDJ_2]	<Папка>		25.10.2015 14:58
[SURHANDARIYA_2]	<Папка>		25.10.2015 15:08
[UP_KAFIRNIGAN_2]	<Папка>		25.10.2015 13:27
[VAKHSK_1]	<Папка>		25.10.2015 13:25

1. Для каждой зоны планирования был создан отдельный проект в виде папки с данными.

Некоторые зоны планирования из-за своих размеров не могли быть обработаны целиком, вследствие чего были разбиты на два участка (Ахалкская зона) или на три участка (Лебапская зона).

2. В результате обработке подлежали 17 отдельных объектов из зон планирования.

3. Каждая папка проекта содержит информацию, аналогичную папке «АХАЛК_1»

Имя	↑ Тип	Размер	Дата
[..]	<Папка>		25.10.2015 21:41
[DEM]	<Папка>		18.10.2015 18:23
[DEM_HGT]	<Папка>		10.11.2015 11:32
[IRRZONE]	<Папка>		14.10.2015 14:44
[IRRZOP]	<Папка>		18.10.2015 12:57
[MST]	<Папка>		27.11.2015 16:23
[NODS]	<Папка>		12.10.2015 16:26
[RAB]	<Папка>		18.10.2015 19:02
[RAIN]	<Папка>		02.02.2016 12:19
[RAY]	<Папка>		23.02.2016 11:42
[SALT]	<Папка>		11.10.2015 20:55
[SETKA]	<Папка>		17.10.2015 21:03
[SOIL]	<Папка>		11.10.2015 20:55
[WRK]	<Папка>		18.10.2015 18:30
[ZOPLA]	<Папка>		14.10.2015 14:45
[RWDB_Prj]	mdb	245 919 744	28.02.2016 19:38

4. Папки **DEM** и **DEM_HGT** содержат ин-формацию о высотах точек зоны планирования

- Папка **ZOPLA** содержит Shape-file зоны планирования,

- Папка **IRRZONE** содержит Shape-file фрагмента орошаемой территории Средней Азии, покрывающей зону планирования.

- Папка **IRRZOP** содержит Shape-file орошаемой части зоны планирования, полученный после отсечения от

орошаемой территории
Средней Азии фрагментов,
не попавших в ЗП.

- Папка **NODS** содержит точечный Shape-file узлов модельного климата REMO, попавших в ЗП или непосредственно к ней примыкающих.
- Папка **RAB** содержит орошаемую часть Зоны Планирования, разбитую рабочей сеткой с шагом в 3 км.
- Папка **RAIN** содержит извлеченные из сайта CLIMATESERV средние значения осадков по зоне планирования с 1981 г. по 2016 г.
- Папка **RAY** содержит Shape-file административных районов зоны планирования.
- Папка **SALT** предназначена для Shape-file засоленности ЗП. Данные отсутствуют.
- Папка **СЕТКА** содержит Shape-file рабочей сетки с шагом в 3 км. Сетка покрывает всю ЗП.
- Папка **SOIL** содержит Shape-file почвенную карту, покрывающую ЗП.
- Папка **WRK** предназначена для хранения промежуточных результатов GIS-обработки.

4. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА РАСЧЕТА

Расчет водопотребления производится по следующей формуле:

$$RW = ETc - EfRain - GWC \quad (1)$$

где:

RW - Водопотребление культуры за некоторый период времени

ETc - Испарение воды с поверхности культуры и с почвы под культурой

EfRain - Эффективная часть осадков

GWC - Подпитка из грунтовых вод

ETc рассчитывается по формуле :

$$ETc = \sum_{i=1:n} ET_{o_i} * Kc_i \quad (2)$$

где:

ET_{o_i} - Эталонная эвапотранспирация в *i*-тый день периода расчета

Kc_i - Коэффициент культуры в *i*-тый день периода расчета

n - Количество дней в периоде расчета

i - Номер дня в периоде расчета

ETo рассчитывается по формулам ПЕНМАНА - МОНТЕЙТА (Вып. FAO 56) и по методу БЛЕЙНИ - КРИДДЛА.

Kc - Коэффициент культуры, определяемый на каждый день расчетного периода. Определяется по таблицам выпуска FAO 56.

EfRain - эффективная часть осадков (мм). Определяется по методике Резервного земельного фонда США.

Если осадки за месяц (**MonPre**) ≤ 50 мм, то

$$EfRain = (MonPre * (125 - 0.3 * MonPre)) / 125$$

Если осадки за месяц (**MonPre**) > 50 мм то

$$EfRain = 125 / 3 + 0.1 * MonPre \quad (3)$$

GWC (мм) - подпитка из грунтовых вод рассчитывается по эмпирической формуле ЛАКТАЕВА – ХАРЧЕНКО

Surf = Dep - Root Расстояние между УГВ и корневой зоной в м

Если **Surf** < 0.6 то

Surf = Dep Расстояние между УГВ и поверхностью в м

Если **Surf** = 0 то

$$\mathbf{GWC} = ETo$$

Иначе

$$ex = \text{Exp}(Rb * (Surf))$$

$$\mathbf{GWC} = Ra * ETo / ex \quad (4)$$

где

Dep - Уровень грунтовых вод (м)

Root - Глубина корневой зоны культуры на момент расчета (м)

Rb - Коэфф., связанный с мехсоставом почв

Ra -- Коэфф., связанный с мехсоставом почв

В каждом из проектов были проведены следующие ОПЕРАЦИИ:

5. ГИС-ПОДГОТОВКА ОБЪЕКТОВ ОБРАБОТКИ

Подготовка предполагала выделение орошаемой части ЗП и разбивка ее рабочей матрицей. Далее все расчеты проводились для каждой ячейки рабочей матрицы, обрезанной орошаемой территорией ЗП. Скрин-шоты результатов приведены в приложении 5.1, приложении 5.2.

6. КАЛИБРОВКА ЕТо

Климатические данные модели REMO были получены путем моделирования эмиссии парниковых газов, приводящих к глобальному потеплению. Однако, модель не учитывала локальных особенностей влияния орографии на метеорологические показатели. Поэтому возникла необходимость калибровки данные REMO по каким-либо наземным данным. Для этой цели были взяты метеоданные с авиационных метеостанций (AMST), размещенных на сайте gis.ncdc.noaa.gov. Калибровка производилась следующим образом.

- Был выбран интервал времени, в течение которого имелись данные как по модели REMO, так и по AMST. Был выбран интервал с 1960 г. по 2014 г. Затем для каждого объекта была рассчитана ЕТо по данным REMO на весь период моделирования - 1960 г. - 2050 г.

- Для каждой AMST по периоду 1960 г. - 2014 г. были рассчитаны ЕТо как по ПЕНМАНУ - МОНТЕЙТУ, так и по БЛЕЙНИ - КРИДДЛУ. AMST не ведут наблюдения за солнечной радиацией, в связи с чем значения солнечной радиации пришлось рассчитывать через координаты метеостанций и величину солнечной постоянной (FAO 56).

$$R_s = k_{RS} \sqrt{(T_{\max} - T_{\min})} * R_a \quad (5)$$

где

R_s - Солнечная радиация (МДж м⁻² сут⁻¹)

k_{RS} - Корректирующий коэффициент (°C^{-0.5})

T_{\max} - Максимальная температура воздуха (°C)

T_{\min} - Минимальная температура воздуха (°C)

R_a - Внеземная радиация (МДж м⁻² сут⁻¹) - взято из Таблицы 26 сборника FAO 56.

Кроме того, условия аэродромов резко отличаются от условий посевов, в связи с чем значения ЕТо были, в соответствие с рекомендациями, уменьшены на 20%. Тем не менее, полученные значения ЕТо получились некорректно контрастными. ЕТо, рассчитанные по методу БЛЕЙНИ – КРИДДЛА, получились слишком сглаженными. За окончательный результат были взяты средние значения этих двух методов.

- Из массива авиационных метеостанций для каждого узла модели REMO были отобраны ближайшие 5 метеостанций.

- В каждый узел REMO были интерполированы значения ЕТо, полученные на соответствующих 5 метеостанциях. Интерполяция осуществлялась методом средневзвешенного среднего, где весами служили обратные расстояния между узлом и метеостанциями.

$$ETo_{INT} = \frac{\sum_{i=1}^5 (ETomst_i / R_i)}{\sum_{i=1}^5 (1 / R_i)} \quad (6)$$

где

ETo_{INT} - Интерполированное значение ETo

$ETomst_i$ - Вычисленное на i -той метеостанции значение ETo

R_i - Расстояние i -той метеостанции от узла REMO

- Таким образом, для каждого узла REMO по каждой декаде и по всему калибровочному периоду (1960 г. - 2014 г.) были получены по два значения ETo : - непосредственно по данным REMO, и интерполированными с метеостанций. Калибровочные коэффициенты определялись по формуле

$$Kk = ETomet / EToREMO \quad (7)$$

где

Kk - Коэффициент калибровки (б/р)

$ETomet$ - ETo с метеостанций (мм сут⁻¹)

$EToREMO$ - ETo , рассчитанное по REMO (мм сут⁻¹)

- Далее Kk были осреднены по годам калибровочного периода, в результате чего для каждого узла REMO были получены 36 (по числу декад) калибровочных коэффициентов, используемых для корректировки ETo для прогнозируемых лет.

- Далее значения ETo с узлов REMO были интерполированы в рабочие ячейки с учетом полученных коэффициентов калибровки методом описанного выше (6) средневзвешенного среднего на весь период до 2050 г.

7. КАЛИБРОВКА ОСАДКОВ

Как упоминалось ранее, по определенным причинам осадки с авиационных метеостанций не подходят для учета их в водопотреблении с/х культур; поэтому значения осадков были взяты из сайта <http://climateserv.nsstc.nasa.gov/>.

Момент возникновения осадков среди наблюдаемых метеорологических параметров является величиной условно предсказуемой. Если в осенне-зимние периоды можно достаточной точностью предсказать место и время возникновения осадков, обусловленных слоистой облачностью, то в весенне-летний период это сделать практически нельзя, поскольку преобладающая в этот период конвективная облачность зависит от многих локальных особенностей района прогноза. Поэтому при анализе и прогнозе осадков используются статистические приемы, в частности - рассматриваются значительные территории, декадные и месячные осадки, скользящее среднее за период.

Калибровка осадков осуществлялась следующим образом:

- Приведение осадков из ClimateServ к декадному виду.
- Сглаживание декадных значений осадков по трем точкам (декадам) методом скользящего среднего.
- Приведение осадков модели REMO к декадному виду
- Расчет скользящего среднего по декадным осадкам REMO.

- Расчет коэффициентов калибровки осадков на основании сглаженных значений осадков.
- Интерполяция осадков с узлов REMO в рабочие ячейки методом средневзвешенного суммирования с использованием полученных коэффициентов калибровки. При этом рассчитывалась эффективная часть осадков.

8. КАЛИБРОВКА СРЕДНЕЙ ТЕМПЕРАТУРЫ

В данном проекте предполагается учесть влияние изменения климата на время сева с/х культур и длительности периодов развития культур. От этих параметров зависит, в конечном счете, водопотребление культур. Основным параметром, используемым в определении дат сева и периодов развития, является температура, т.к. методология строится на суммах эффективных температур, которые должны набрать растения в каждый период своего развития.

Поскольку принятие решения о севе определенных с/х культур осуществляется в рамках ЗП, речь должна идти о средней температуре по ЗП.

- Температура воздуха из REMO (среднесуточная) осредняется по декадам, затем подвергается процедуре сглаживания методом скользящего среднего.
- Аналогичным образом обрабатывается температура воздуха с AMST.
- Значения сглаженной температуры с метеостанций интерполируются в узлы REMO средневзвешенным суммированием, как это было описано выше.
- По средневзвешенным значениям температуры метеостанций и сглаженным значениям температуры в узлах REMO производится расчет коэффициентов калибровки температуры.
- Значения температуры с узлов REMO интерполируются в центры рабочих ячеек методом средневзвешенного среднего. При этом используются рассчитанные ранее калибровочные коэффициенты.
- Полученные таким образом значения температуры осредняются по всем рабочим ячейкам в рамках каждой декады.

9. РАЗНОС ДЕКАДНЫХ ЗНАЧЕНИЙ УГВ ПО ЗП УЗБЕКИСТАНА

Поскольку УГВ зон планирования Узбекистана задан в виде декадных среднерайонных значений, разноска УГВ по ячейкам осуществлялась ГИС-методами (пакет MapWinGis).

10. РАЗБИВКА ЯЧЕЕК РАБОЧЕЙ СЕТКИ ПОЧВЕННОЙ КАРТОЙ УЗБЕКИСТАНА. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ФОРМУЛЫ ХАРЧЕНКО. РАСЧЕТ ПОДПИТКИ ИЗ ГВ

Аналогично производится разбивка ячеек рабочей сетки почвенной картой.

В результате этих двух операций рабочая ячейка разбивается на 1 - 4 части с уникальным значением УГВ и типом почвы (классификация ФАО). По типу почвы и подбираются коэффициенты **a** и **b** формулы Харченко. Для каждой культуры определяется глубина корневой зоны на момент определения подпитки из ГВ. После этого рассчитывается реальная подпитка из ГВ.

11. ДЛЯ ВСЕХ С/Х КУЛЬТУР ПРОЕКТА ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАРТОВЫХ СУММ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР

Учет изменения климата в водопотреблении с/х культур производился на основании потребностей с/х культур в тепле. Конкретно, для прохождения каждой фазы развития растению необходим набор определенной суммы эффективных температур. Эффективная температура определяется как разность между среднесуточной температурой и температурой начала вегетации. Для реализации такого подхода необходимо было определить сумму эффективных температур для 25 с/х культур, выбранных для проекта. Данные по культурам извлекались из справочников и из интернета. Все данные собирались в специальной таблице, фрагмент которой представлен в приложении 5.1.

12. РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ПЕРЕСЧЕТА ДАТ СЕВА И ПЕРИОДОВ РАЗВИТИЯ С/Х КУЛЬТУР, СВЯЗАННЫХ С ИЗМЕНЕНИЕМ КЛИМАТА

Алгоритм строится на определении момента, когда среднесуточная температура воздуха в течение четырех дней подряд \geq температуре сева культуры. Далее подсчитывается сумма эффективных температур первого периода, затем второго, третьего и четвертого периодов. Расчет производился для каждого года из интервала 2000 - 2050 гг. для каждой из культур проекта. Исключение составили лишь пшеница и люцерна. Для люцерны рассматривались суммы эффективных температур на каждый укос. У пшеницы же из рассмотрения исключался период с температурой < 5 градусов. Для повторных культур игнорировался первый период на рисе, поскольку предполагалось высаживать рис рассадой, и последний период кукурузы на силос, поскольку уборка кукурузы производилась по достижению початков молочной спелости.

13. СПИСОК РАССМАТРИВАЕМЫХ С/Х КУЛЬТУР

Для расчета водопотребления в проекте выбраны следующие культуры:

1. Хлопчатник
2. Пшеница озимая
3. Рис
4. Кукуруза на зерно
5. Овощные: картофель, томаты, корнеплоды, бобовые, бахчевые
6. Садовые: фруктовые сады и виноградники
7. Кормовые: кукуруза на силос, люцерна
8. Прочие: масличные, сахарная свекла
9. Приусадебные участки
10. Бобовые - повторные
11. Овощи повторные
12. Кукуруза на силос
13. Рис - повторные
14. Свекла - повторные
15. Картофель - повторные
16. Бахча - повторные

Расчет водопотребления проводился для каждой культуры, после чего ряд культур был объединен в группы овощные, садовые, кормовые, прочие и повторные. Процент площадей под каждой культурой в группе был принят пр данным Хорезмской ЗП.

14. ГРУППИРОВКА С/Х КУЛЬТУР

В статистической отчетности в республике УЗБЕКИСТАН принято выделять основные культуры (хлопчатник, озимая пшеница, кукуруза на зерно и рис), и группы(табл.1):

1. **Овощные** - бобовые, томаты, картофель, дыня, арбуз, тыква.
2. **Плодово-ягодные** - виноград, сады.
3. **Кормовые** - люцерна, кукуруза на силос.
4. **Прочие** - подсолнечник, сахарная свекла, соя.
5. **Повторные** - В повторные культуры входят с/х культуры, успевающие созреть за период от уборки урожая пшеницы до конца вегетации. Для каждого региона набор повторных культур может быть своим. В нашем случае повторными культурами являются бобовые, картофель, сахарная свекла, бахчевые, кукуруза на силос (урожай снимается по достижению початков молочной спелости), рис (посадка ведется с помощью рассады). Поскольку выбор повторных культур и площадей, ими засеянных, может быть произвольным, в данной работе было принято распределение площадей в Хорезмской зоне планирования:

Таблица 1

Состав культур по группам

№№	Культура	Площадь, тыс.га	%
5	Овощи		
	Арахис	0	0.00
	Бобовые	5.956	22.76
	Томаты	8.936	34.14
	Картофель	5.18	19.79
	Сладкая дыня	3.66	13.98
	Арбуз	0.61	2.33
	Тыква большая	1.83	6.99
6	Сады и виноград		
	Виноград столовый	2.32	17.03
	Сады	11.3	82.97
7	Кормовые		
	Люцерна Осредненная	2.84	40.00
	Кукуруза на силос	4.26	60.00
8	Прочие		
	Подсолнечник	5.9	45.00
	Сахарная свекла	2.6	20.00
	Соя	4.59	35.00

Алгоритм построен таким образом, что в случае отсутствия каких либо культур из приведенных здесь групп происходит автоматический пересчет процентного состава оставшихся в группах культур с нормировкой суммы процентов в каждой группе к 100. Например, в группе ПРОЧИЕ не выращивалась соя. Тогда процент площади под подсолнечником увеличится в $k = 100/65 = 1.538$, т.е. будет равен 69.24 %. Соответственно площадь под сахарной свеклой увеличится до 30.76 %.

15. ОБЗОР ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты расчетов водопотребления, полученные на основании применения модели REMO, позволяют утверждать, что в общем случае биологическое водопотребление культур несколько уменьшится. Кроме того, дата сева сместится к началу года.

Поскольку суходольный рис в республиках Средней Азии практически не возделывается, водопотребление риса рассчитывалось с учетом заполнения чеков водой. Это существенно увеличило водопотребление риса.

Описание алгоритма расчета водопотребления риса

Технология возделывания риса предполагает затраты воды на заливку чеков до определенной толщины водного слоя, и поддержание уровня воды в чеках на определенном уровне. Потери воды в чеке определяются испарением воды (что учитывается эвапотранспирацией риса) и фильтрацией воды в почву. В общем, баланс воды в рисовом чеке определяется следующим образом:

$$dW = GL - ETo * Kc - Filt + Rain \quad (8)$$

где

dW - количество воды, которое необходимо подавать в чек для поддержания уровня **GL**

GL - заданный на период уровень воды в чеке, который необходимо поддерживать

ETo - этаонная эвапотранспирация

Kc - средний за период коэффициент культуры (риса)

Filt - фильтрация за период

Rain - осадки за период

Величина **Filt** рассчитывается по закону Дарси:

$$Filt = Kf * (dH / l) \quad (9)$$

где

Filt - фильтрационные потери

Kf - коэффициент фильтрации

dH - уровень воды в чеке

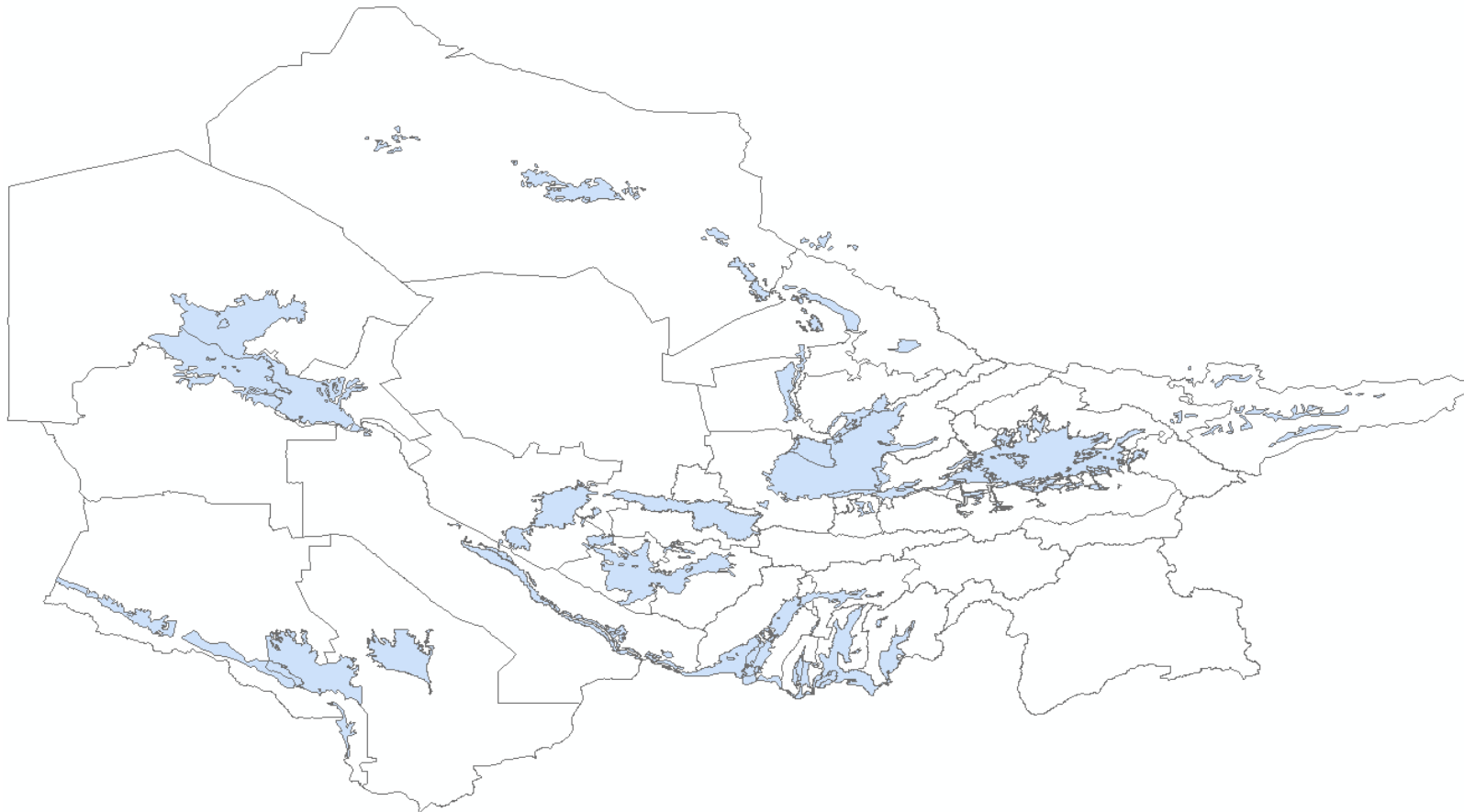
l - уровень залегания грунтовых вод

В почве существуют два противоположных вертикальных потока влаги - фильтрация и капиллярное поднятие. Замеряемый коэффициент фильтрации учитывает оба потока, поэтому величина капиллярного поднятия в формуле баланса воды в чеке не фигурирует.

Суммы эффективных температур по периодам развития с/х культур

СторID	2	Т сева	Т вегетации	СЭТ инициализации	СЭТ развития	СЭТ набора урожая	СЭТ созревания	СЭТ укоса
1	Арахис	12.00	12	81.17	295.99	621.56	389.07	0
4	Бобовые	12.00	12	29.48	199.03	463.92	306.29	0
7	Виноград столовый	10.00	10	134.03	723.47	698.27	916.35	0
9	Капуста	10.00	10	6.01	196.64	268.11	204.29	0
10	Картофель	10.00	10	97.14	279.93	645.36	533.34	0
11	Кукуруза на зерно	10.00	10	64.43	312.65	562.27	527.26	0
13	Люцерна	5.00	8	350.00	350.00	350.00	350.00	350
15	Мелкие овощи	9.00	10	110.49	246.65	414.51	251.05	0
16	Морковь	10.00	10	64.43	370.54	945.89	344.56	0
18	Подсолнечник	10.00	10	37.96	280.83	620.56	441.51	0
20	Пшеница озимая	5.00	5	0.00	0.00	82.95	178.35	0
22	Сахарная свекла	10.00	10	134.03	498.38	1467.89	172.71	0
24	Сладкая дыня	15.00	15	95.30	227.80	595.27	335.47	0
25	Сладкий перец	10.00	10	134.03	428.93	639.44	353.37	0
26	Сорго	10.00	10	64.43	312.65	645.36	533.34	0
28	Соя	10.00	10	64.43	254.36	883.61	439.81	0
30	Тыква большая	13.00	13	97.20	295.89	309.68	222.25	0
31	Томаты	12.00	12	147.59	408.58	755.26	414.38	0
32	Арбуз	15.00	15	71.03	205.55	322.63	381.53	0
36	Хлопок ранний	10.00	10	85.00	420.00	450.00	730.00	0
37	Хлопок средний	10.00	10	100.00	460.00	500.00	880.00	0
38	Хлопок поздний	10.00	10	100.00	500.00	550.00	1060.00	0
39	Кукуруза на силос	10.00	10	97.14	337.83	587.46	17.83	0

СропID	2	Т сева	Т вегетации	СЭТ инициализации	СЭТ развития	СЭТ набора урожая	СЭТ созревания	СЭТ укоса
40	Рис	15.00	10	270.00	620.00	640.00	250.00	0
41	Ранний Рис	10.00	10	210.00	480.00	400.00	210.00	0
42	Поздний Рис	10.00	10	350.00	770.00	920.00	280.00	0
51	Сады	5.00	8	52.14	250.00	800.00	1500.00	0
53	Кустарник	5.00	10	2709.65	743.64	269.45	441.98	0
204	Бобовые-повторная	10.00	10	322.70	199.03	463.92	306.29	0
210	Картофель-повторная	10.00	10	97.14	279.93	645.36	533.34	0
222	Свекла-повторная	10.00	10	134.03	498.38	1467.89	172.71	0
224	Бахча-повторная	10.00	10	95.30	227.80	595.27	335.47	0
231	Овощи-повторная	10.00	10	147.59	408.58	755.26	414.38	0
239	Кукуру-силос-повторная	10.00	10	97.14	337.83	587.46	0.00	0
240	Рис-повторная	10.00	10	1.00	620.00	640.00	250.00	0
1000	Усадьбы	12.00	12	0.35	0.20	0.16	0.23	0

Орошаемые земли Центральной Азии

- Зоны орошаемого земледелия Не закрашенные контуры - Зоны Планирования

Верстка: Беглов И.

Подготовлено к печати
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,
г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11А

sic.icwc-aral.uz