

6 – СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ГРАФИКА ПОЛИВОВ: WINISAREG И GISAREG

П. С. Фортес¹, П.Р. Теодоро¹, А.А. Кампос¹, П.М. Матеус¹,
Л.С. Перейра¹

Реферат: ISAREG – это концептуальная нераспределенная водно-балансовая модель для расчета графиков полива сельхозкультур на уровне поля и расчета требований на орошение при оптимальных условиях и/или в условиях водного стресса. WINISAREG – это версия этой модели для Windows, которая содержит две программы поддержки, одну для создания соответствующих входных данных по сельхозкультуре KCISA, другую для расчета эталонной эвапотранспирации EVAP56. GISAREG – это Географическая Информационная Система (ГИС), основанная на объединении ISAREG и KCISA, разработанная для применения в бассейне Аральского моря в качестве поддержки внедрения усовершенствованного управления орошением на уровне хозяйства. Интеграция касается создания пространственных и климатических баз данных, функционирования моделей для различных сценариев управления водой и создания карт полива сельхозкультур и поливных норм в зависимости от времени при выбранных режимах агрегации. Результирующая информация по альтернативным графикам поливов является, следовательно, пространственно распределенной и используется для идентификации приемов, ведущих к водосбережению и обеспечению контроля засоления. Статья содержит краткое описание WINISAREG и GISAREG, а также интеграции баз данных и моделей и их использование.

Ключевые слова: Баланс почвенной влаги, требования на орошение сельхозкультур, график поливов, водосбережение, ГИС.

Введение

Модель ISAREG для расчета графика поливов уже долгое время применяется в нескольких частях света для оценки текущих графиков полива, выбора наиболее соответствующих графиков полива для нескольких сельхозкультур и для расчета, с использованием серии климатических данных, требований сельхозкультур на орошение (Teixeira

¹ Agricultural Engineering Research Center, Institute of Agronomy, Technical University of Lisbon, Portugal, E-mail: lspereira@isa.utl.pt

П.С. Фортес, П.Р. Теодоро, А.А. Кампос, П.М. Матеус, Л.С. Перейра

& Pereira, 1992, Liu *et al.*, 1998). Позднее, с использованием последней методологии ФАО по эвапотранспирации сельхозкультур (Allen *et al.*, 1998), была разработана KCISA (Rodrigues *et al.*, 2000) и присоединена к модели ISAREG для создания соответствующих входных данных по сельхозкультуре. Эталонная эвапотранспирация рассчитывается при помощи программы EVAP56 по методу ФАО Penman-Monteith (Allen *et al.*, 1998). WINISAREG является версией этой модели для Windows, объединяющей ISAREG с KCISA и EVAP56 (Pereira *et al.*, 2003) и совсем недавно была значительно усовершенствована применительно к условиям Центральной Азии.

Главной особенностью модели является ее способность рассчитывать альтернативные графики поливов, относящихся к различным допустимым уровням водного стресса растений, а также к различным ограничениям на доступность воды. Альтернативные графики поливов оцениваются по относительным потерям урожая, при эвапотранспирации сельхозкультур ниже ее потенциального уровня. Примеры успешного применения модели для поверхностного полива в Средиземноморском регионе представлены у Oweis *et al.* (2003) и Zairi *et al.* (2003). Кроме того, WINISAREG содержит опцию расчета подпитки из грунтовых вод при помощи параметрической функции (Liu *et al.*, 2001), успешно тестируемую в Центральной Азии (Чолпанкулов и др., 2005). Этими авторами описано применение WINISAREG.

Когда процедура расчетов применяется в масштабе региона, она становится тяжеловесной и медленной из-за рассмотрения большого числа комбинаций характеристик полей и сельхозкультур, агрегированных в масштабе Сектора или Проекта. Несмотря на это, пространственно распределенные характеристики входных данных, требуемых ISAREG и KCISA, делает их интеграцию с Географической Информационной Системой (ГИС) особенно заманчивой и полезной. В результате, предполагая, что каждое поле однородно, возможно автоматически вызвать модель для каждого возделываемого поля, представленного в ГИС в разделе полей, а затем, используя разновидности отличительных свойств расширить масштабы применения полученных результатов (Fortes *et al.*, 2005). Это основной прием, принятый в GISAREG, являющейся версией ГИС для модели ISAREG.

В рамках данного проекта было разработано применение GISAREG. К специфическим целям относятся расчет пространственно распределенных требований сельхозкультур на орошение, информация поддержки для фермеров и менеджеров, связанная с альтернативными приемами расчета графика водосберегающих поливов и моделирование требований, агрегированных на основных узловых точках распределителей оросительных систем (Fortes *et al.*, 2005).

Описание модели

Модель ISAREG является моделью расчета графика поливов, рассчитывающей баланс почвенной влаги на уровне поля, как это описано Teixeira & Pereira (1992) и Liu *et al.* (1998). Водный баланс рассчитывается для многослойной почвы и следует классическому подходу Doorenbos & Pruitt (1977). В зависимости от наличия климатических данных, приняты различные шаги по времени, от суточных до месячных,. Входными данными являются осадки, потенциальная подпитка из грунтовых вод, эталонная эвапотранспирация (ET_0), суммарная и легкодоступная почвенная влага, влажность почвы к моменту сева и факторы сельхозкультуры, связанные с фазами развития растений, коэффициенты сельхозкультур, глубина корнеобитаемой зоны и фактор отзывчивости «вода-урожай» (Рис.1). Входные данные модели можно либо ввести с клавиатуры в процессе работы или загрузить предварительно созданные ASCII файлы.

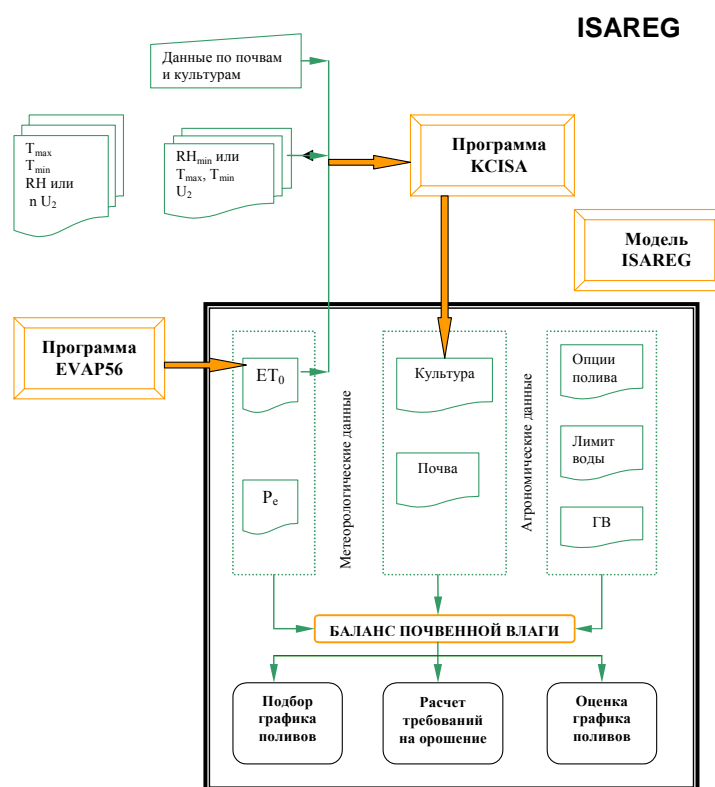


Рис.1. Схема модели ISAREG и ее связь с программами KCISA и EVAP56

П.С. Фортес, П.Р. Теодоро, А.А. Кампос, П.М. Матеус, Л.С. Перейра

Модель ISAREG рассчитывает графики поливов соответственно вариантам, определенным пользователем, таким как:

- определить график поливов на уровень максимальной урожайности, т.е. без водного стресса растений
- определить график поливов, используя выбранные критические уровни орошения, включая допустимый водный стресс и соответствующие ограничения на воду, налагаемые в заданные периоды времени
- оценить влияние данного графика поливов на урожайность и водопотребление
- проверить характеристики модели на данных наблюдений за почвенной влагой и при использовании фактических дат полива и поливных норм
- рассчитать водный баланс без орошения
- рассчитать требования на орошение нетто, включая использование частотного анализа требований на орошение, когда рассматриваются серии климатических данных.

WINISAREG

WINISAREG – последняя версия модели для Windows (Pereira *et al.*, 2003). Модель имеет две дополнительных программы EVAP56 и KCISA для расчета факторов сельхозкультуры. В зависимости от наличия климатических данных, EVAP56 выполняет расчет ET_0 любыми альтернативными методами, предлагаемыми в Руководстве ФАО 56 (Allen *et al.*, 1998). EVAP56 требуется информация о температуре, относительной влажности воздуха, скорости ветра и солнечной радиации (Рис.2). Таким образом, кроме этого, потребуются некоторые характеристики метеостанции – широта, высота над уровнем моря и высота расположения анемометра. На Рис.3 приведены примеры выходных данных EVAP56.

KCISA использует методологию ФАО (Allen *et al.*, 1998) при расчете осредненных во времени коэффициентов сельхозкультуры для начала, середины и конца сезона ($K_{c_{ini}}$, $K_{c_{mid}}$ и $K_{c_{end}}$), истощение почвенной влаги без стресса растений (p) и эффективную глубину корнеобитаемой зоны (Z_r) для каждой фазы развития растений (Rodrigues *et al.*, 2000). Рассматриваются четыре периода развития: начальный, развитие сельхозкультуры, середина и конец сезона. KCISA требуются данные по сельхозкультуре, почве и метеорологическим параметрам. В модель может быть введена дополнительная информация об орошении культуры (Рис.4 и 5).

Средства моделирования для расчета графика поливов

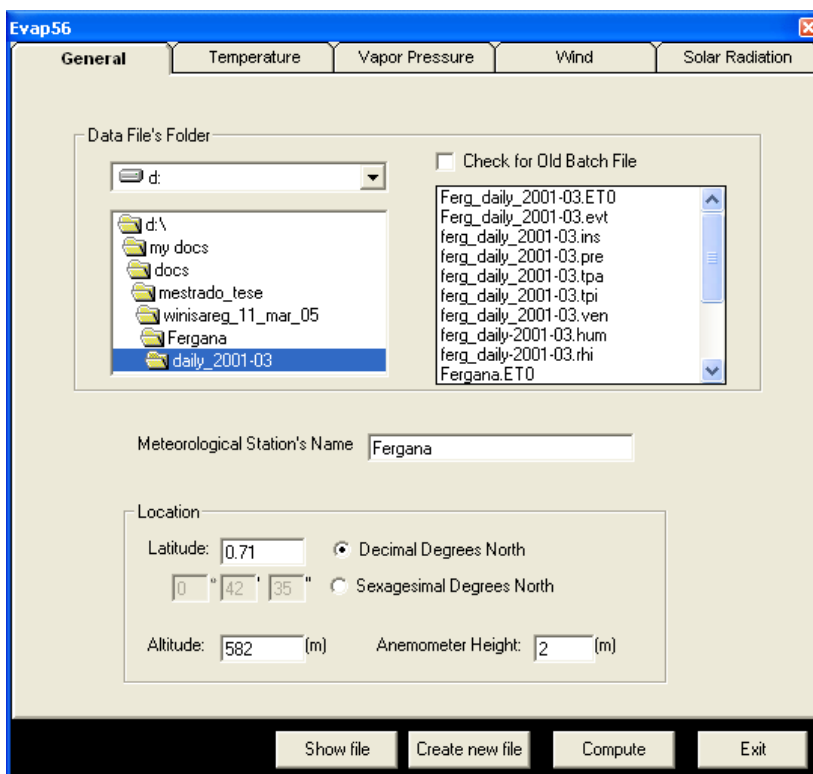


Рис.2. Главное меню расчета ET_0

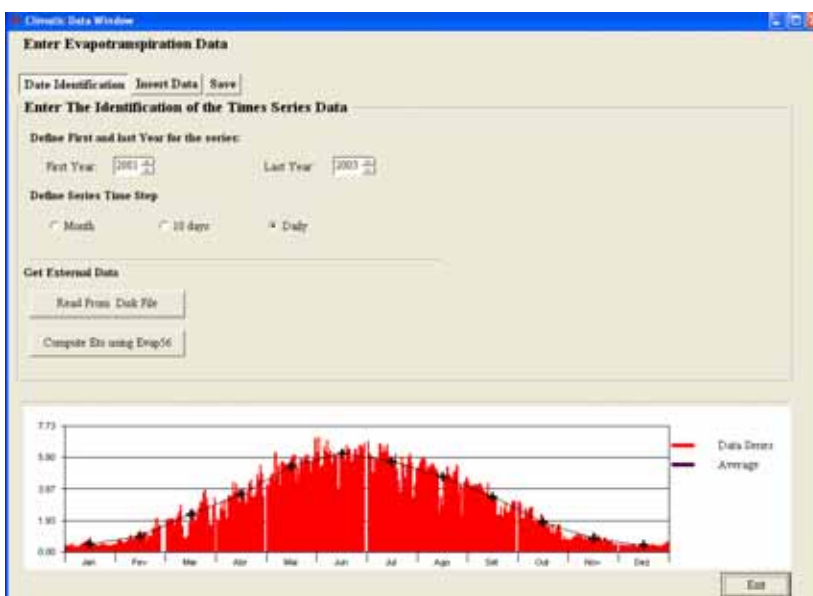


Рис.3. Окно для ввода исходных данных и ознакомления с вычисленными ET_0

П.С. Фортес, П.Р. Теодоро, А.А. Кампос, П.М. Матеус, Л.С. Перейра

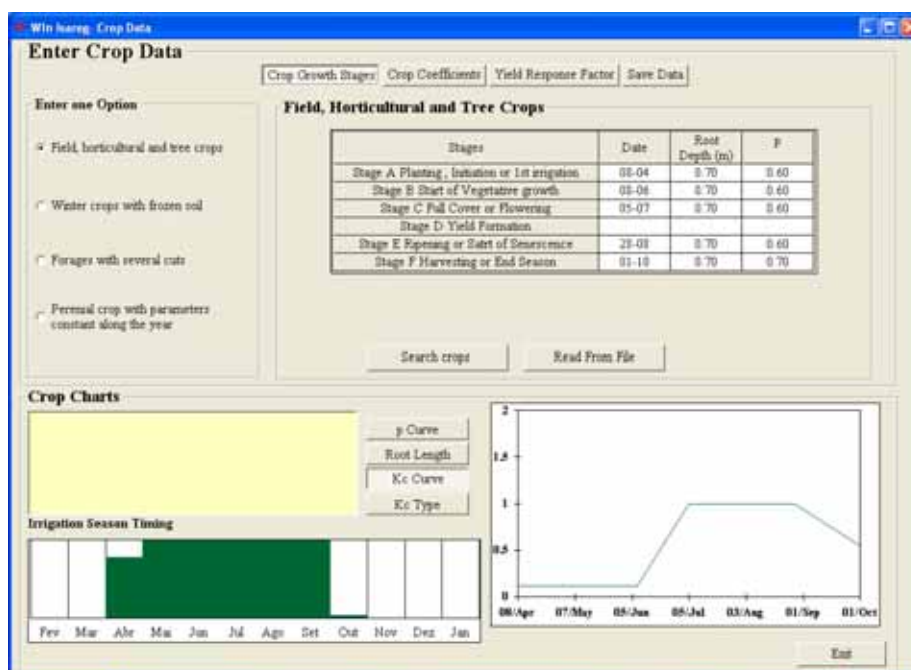


Рис.4. Интерфейс WINISAREG для данных по сельхозкультуре

В WINISAREG содержится алгоритм для учета воздействия засоления на ET_c и урожайность (Campos *et al.*, 2003). Модель начинает расчеты почвенной влаги с исходной влажности почвы, задаваемой пользователем, или рассчитывает из предшествующего периода нахождения почвы под паром в конце лета, когда большая часть почвенной влаги истрачена, или зимой, когда можно предположить подпитку почвенной влаги. Последняя версия этих процедур представлена Campos *et al.* (2003).

В WINISAREG содержится алгоритм усовершенствованного расчета подпитки из грунтовых вод и фильтрации (Рис.6). Подпитка из грунтовых вод является функцией уровня залегания грунтовых вод, запаса почвенной влаги, почвенных характеристик, зависящих от капиллярности и ET_c (Liu *et al.*, 2001). Примеры тестирования этого алгоритма даны у Чолпанкулова и др. (2005).

Средства моделирования для расчета графика поливов

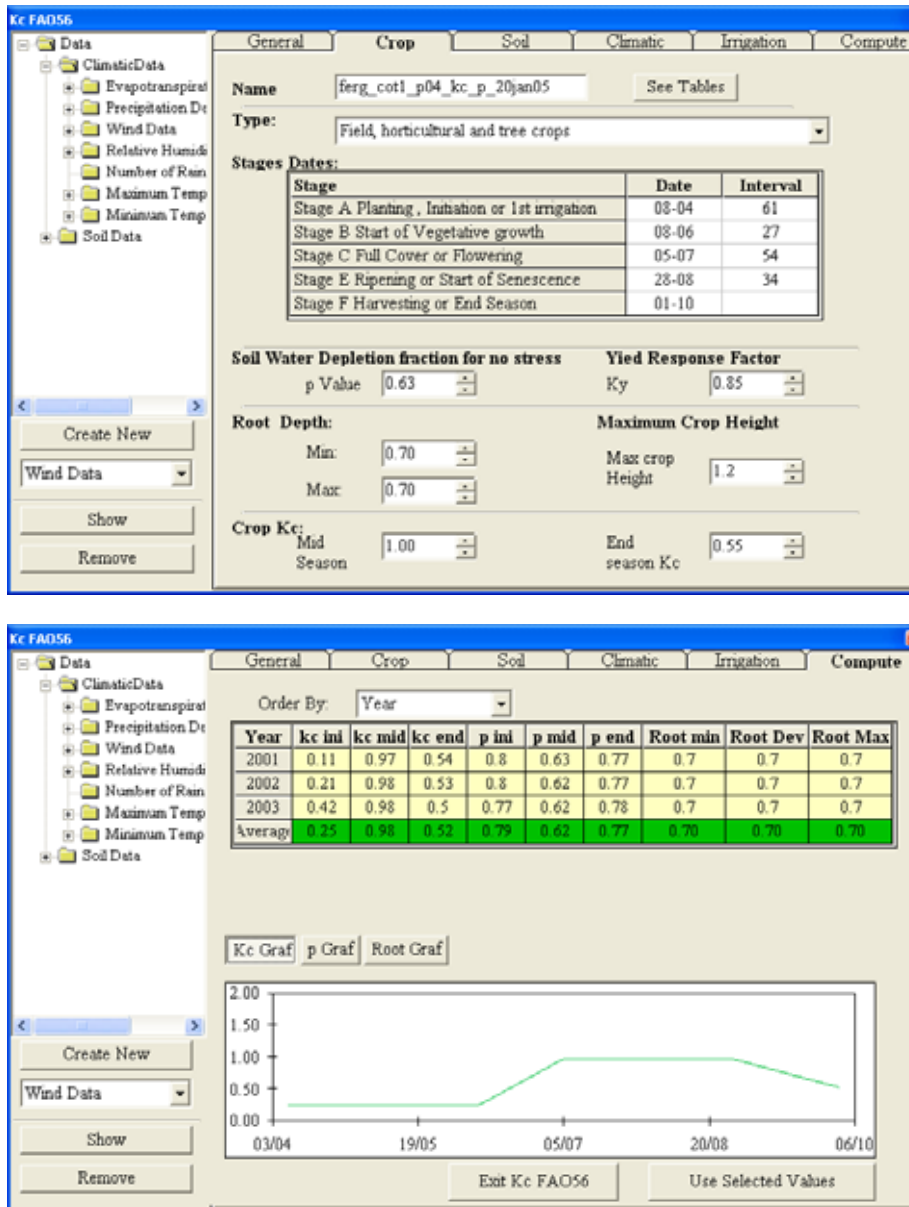


Рис.5. Интерфейс Windows для: (а) ввода данных по сельхозкультуре и (б) показа данных расчета

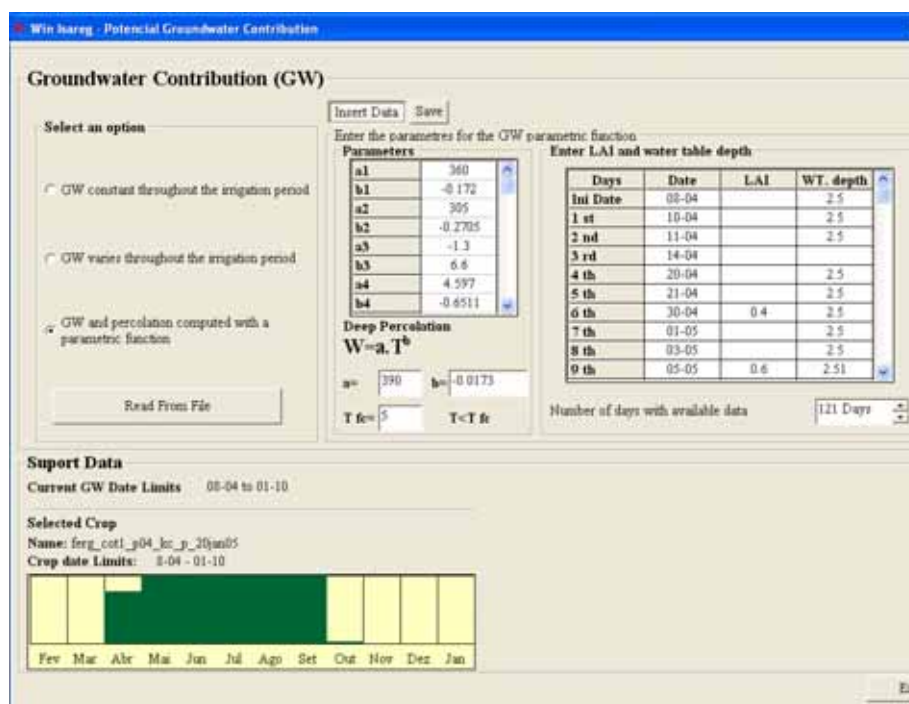


Рис.6. Интерфейс WINISAREG для расчета подпитки из грунтовых вод, используя параметрическое уравнение

Водно-балансовая модель ISAREG подтверждена многочисленными применениями, например, Liu *et al.* (1998), Oweis *et al.* (2003) и Zairi *et al.* (2003). Для бассейна Сырдарьи она была подтверждена при помощи соответствующих наборов данных по почвенной влаге и метеоданных, относящихся к ранее выполненным наблюдениям на хлопчатнике в Голодной степи и полевым исследованиям на хлопчатнике и пшенице в Ферганской долине (Чолпанкулов и др., 2005).

GISAREG

Особенности GISAREG

Объединение программ ISAREG и KCISA с ГИС следует стратегии тесной взаимосвязи, разработанной в коммерческой ГИС (ArcView 3.2) на языке программирования Avenue script. KCISA и ISAREG были конвертированы в динамически связанные библиотеки (DLL). DLL является набором компилированных процедур или функций, которые можно вызвать из другого приложения и связаться с ним во время работы программы. Это дает возможность сгладить интеграцию между ГИС и имитационными моделями. В отличие от WINISAREG, где программы KCISA и EVAP56 объединены с моделью, в GISAREG приняты

Средства моделирования для расчета графика поливов

индивидуальные связи с ГИС, поэтому расчеты при помощи EVAP56 выполняются из ГИС и данные ET_0 вводятся в GISAREG.

GISAREG не выполняет все опции ISAREG, а только те, которые требуются для удовлетворения рассматриваемых целей: составить график поливов с целью максимизировать урожай; смоделировать график поливов при допустимом уровне водного стресса в зависимости от выбранных пользователем критических уровнях орошения и ограничениях водоподачи; рассчитать водный баланс без орошения; и рассчитать требования на орошение нетто. При наличии набора метеоданных за многолетний период можно выполнить частотный анализ требований на орошение.

Компонент применения ГИС дает возможность моделирования различных выбранных пользователем *Имитационных Сценариев* и использования специфических средств для их создания и управления. Имитационный сценарий имеет дело с данным пространственным распределением сельхозкультуры, способов полива, вариантов графика полива и ограничений водоподачи.

Расчеты GISAREG выполняются в следующем порядке:

- Загрузка пространственной и непространственной баз данных
- Совмещение ГИС программы для идентификации основных характеристик каждого возделываемого поля, относительно почвы и климата для создания таблицы расчетов по умолчанию
- Создание входных файлов ISAREG и KCISA, как указывалось выше
- Вызов KCISA и ISAREG для каждого поля, составляющего единицу расчета, расчет требований на орошение этой сельхозкультуры и графика поливов по выбранному пользователем сценарию
- Считывание ГИСом выходных данных ISAREG для картирования и объединения результатов.

Важной особенностью GISAREG является то, что поле характеризуется сочетанием сельхозкультур, характеристик почвы и климата; затем KCISA рассчитывает входные файлы по соответствующим сельхозкультуре и почвам для ISAREG; эти файлы вместе с файлами данных по ET и осадкам используются для расчета ISAREG, следуя сценарию; и результаты наносятся на карту ГИС для выбранной области в соответствии с заданными данными или суммируются для выбранного периода времени.

База данных

База данных ГИС состоит из точечных данных и полигонов, первые относятся к метеоданным, а вторые – к почвам, сельхозкультурам и полевым данным. Метеоданные могут быть за один или более лет. В

П.С. Фортес, П.Р. Теодоро, А.А. Кампос, П.М. Матеус, Л.С. Перейра

последнем случае возможно осуществить многократное моделирование для определения частоты требований сельхозкультуры на орошение или осуществления анализа планирования поливов в соответствии с выбранными годами, такими как сухой, влажный или год средней влажности.

Метеорологические станции идентифицируются, а соответствующие метеоданные сохраняются в различных ASCII-файлах, отформатированных в соответствии с требованиями ISAREG и KCISA: слой осадков (мм), эталонная эвапотранспирация (мм/сутки), скорость ветра (м/с или км/час), минимальная относительная влажность RHmin (%) или при отсутствии этих данных, максимальная и минимальная температура (°C) для расчета RHmin, и количество дней с осадками за месяц.

Для сохранения непространственных данных, которые будут объединяться с соответствующим тематическим полигоном ГИС, используется база данных MS Access, имеющая следующую структуру:

- *Таблица последовательности сельхозкультур*, которая определяет последовательность однолетних культур и связывает их с данными по этим культурам и данными по способу орошения. Она содержит: код сельхозкультуры, название, код озимой сельхозкультуры, код способа орошения озимой культуры, код летней культуры и код способа орошения летней культуры
- *Таблица сельхозкультур*, содержащая код идентификации культуры и ее название, код разновидности сельхозкультуры (1 = «голая почва», 2 = «однолетняя культура» и 3 = «однолетняя культура с морозным периодом»), дата сева, продолжительность (в сутках) каждой фазы развития, Kс для периодов развития сельхозкультуры, максимальная высота растений (м), максимальная и минимальная эффективные глубины корнеобитаемой зоны (м), доля истощения почвенной влаги без стресса растений и фактор отзывчивости «вода-урожай». Код разновидности сельхозкультуры используется при идентификации периода, предшествующего возделываемой культуре, для оценки начальной влажности почвы (1), самой сельхозкультуры (2), и сельхозкультуры с периодом, когда производятся расчеты для замершей почвы (3)
- *Таблица способов орошения*: код идентификации способа орошения, название, доля поверхности почвы, увлажняемой при поливе, число поливов и соответствующие поливные нормы (мм)
- *Таблица почвогрунтов*: код идентификации почвы, название, процентное содержание глины, пыли и песка, влажность почвы при полевой влагоемкости, влажность завядания и глубина испаряющего слоя почвы (мм)

Средства моделирования для расчета графика поливов

Основные характеристики каждого поля идентифицируются ГИСом через пространственные данные, относящиеся к сельхозкультурам, почвам и метеостанциям. Они должны быть обеспечены следующими входными тематическими данными:

- Полигоном с границами возделываемых полей с присоединенной таблицей полевых атрибутов, включая код идентификации каждого поля, идентификацию последовательности однолетних культур и другую уместную информацию по желанию пользователя
- Полигоном с границами типа почв, имеющего присоединенную таблицу с атрибутами почвы, и идентификацией почвы соответствующим кодом
- Точечные данные, привязанные к месторасположению метеорологических станций, также связанных с таблицей атрибутов, в которой метеорологические станции идентифицированы соответствующим кодом.

Операции с пространственными данными

Работа GISAREG начинается с загрузки базы пространственных и непространственных данных, контролируемой ГИСом при помощи процедуры перекрытия, которая дает возможность идентификации характеристик почвы, климата и выращиваемой сельхозкультуры на каждом возделываемом поле, далее создается *Расчетная Таблица*.

ГИС генерирует полигон Thiessen, который определяет географическую зону влияния каждой метеорологической станции (Рис.7). Путем перекрытия метеорологических точек, а затем соответствующих полигонов Thiessen с полигонами полей определяются, как показано на Рис.1, метеоданные для каждого поля. В этом исследовании рассматривались три метеорологические станции. Кроме того, также осуществлялся выбор полей для расчетов по модели. Невозделываемые поля, в основном, исключались. Еще одна операция заключалась в выполнении пересечения (наложения) между почвенными данными и возделываемыми полями при помощи идентификации преобладающего типа почв в каждом полевом полигоне, определяя таким образом характеристики только одного типа почвы для каждого поля (Рис.7).

Метеоданные, используемые в этом примере применения программы, относятся к периоду 1970-1999 и состоят из декадных значений осадков, максимальной и минимальной температуры, средней относительной влажности, продолжительности солнечного сияния и скорости ветра. Полигоны возделываемых полей были получены путем оцифровывания и интерпретации спутниковых снимков. Сельхозкультуры, определенные на каждом поле, были получены из сравнения NDVI двух снимков, снятых в разные даты (апрель и август), с использованием автоматизированной на

П.С. Фортес, П.Р. Теодоро, А.А. Кампос, П.М. Матеус, Л.С. Перейра

компьютере классификации. Почвенные карты были получены из базы данных НИЦ МКВК.

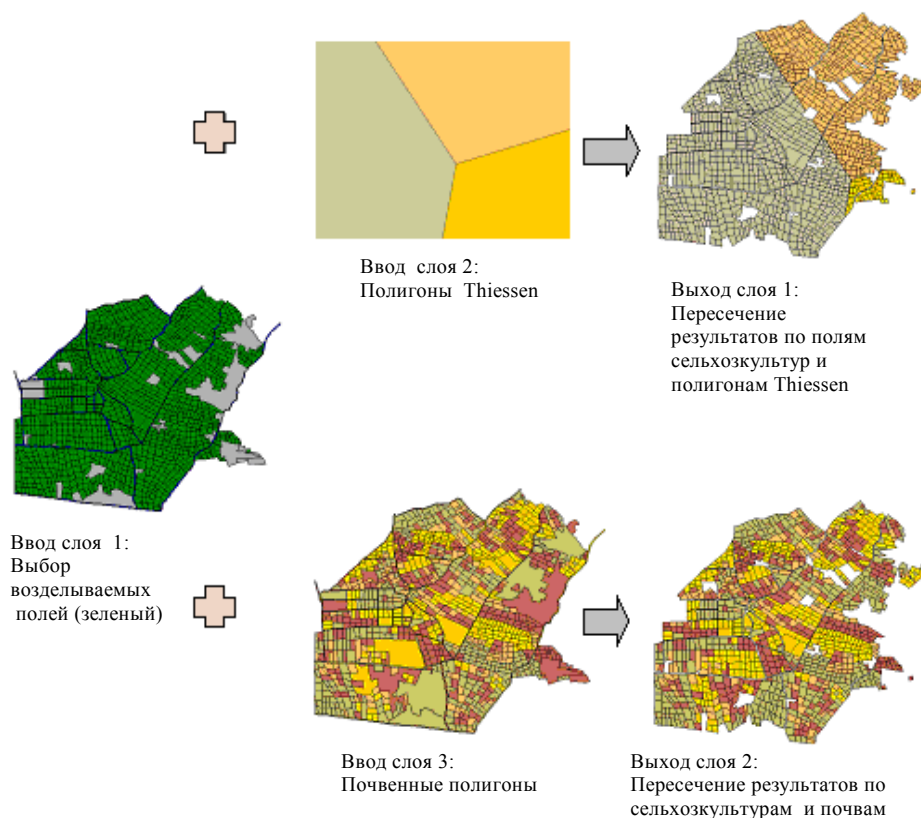


Рис.7. Вверху: выбранные возделываемые поля, пересекающиеся с полигоном Thiessen, связанным с метеоданными; внизу: почвы, пересекающиеся с возделываемыми полями. Для обеих операций также включена идентификация полей для расчетов.

Как только установлены сельскохозяйственные, климатические и почвенные характеристики для каждого возделываемого поля, *Расчетная Таблица* (ST) построена. ST – это таблица *.dbf, связанная с каждым “*Расчетным сценарием*”, и в которой хранятся характеристики всех возделываемых полей на исследуемой площади, относящихся к этому расчетному сценарию. Каждое возделываемое поле представлено в ST строкой, а поля, имеющие последовательность сельскохозяйственных (озимую и летнюю культуры), представлены двумя строками. ST содержит информацию о сельскохозяйственных культурах (дату сева, дату уборки урожая и продолжительность каждой фазы развития), почвах, влажности почвы, способах полива,

Средства моделирования для расчета графика поливов

вариантах полива, метеоданные и периоды ограничения водоподдачи. В столбцах ST хранятся по умолчанию значения непространственной базы данных, как указывалось выше, а столбцы, относящиеся к доминантным почвам и метеорологическим станциям, заполняются через ранее описанную процедуру перекрытия ГИС.

Применение ГИС было усовершенствовано инструментарием Assign Proximity, который анализирует совместно полигоны и точки и приписывает каждому полигону атрибуты, связанные с ближайшей точкой, т.е. возможность знать для каждого участка местоположение ближайшего водовыпуска. На Рис.8 представлены результаты применения Assign Proximity, при котором использовались тематические слои с возделываемыми полями и водовыпусками (проектными). Разные цвета могут представлять в реальности ирригационные Сектора.

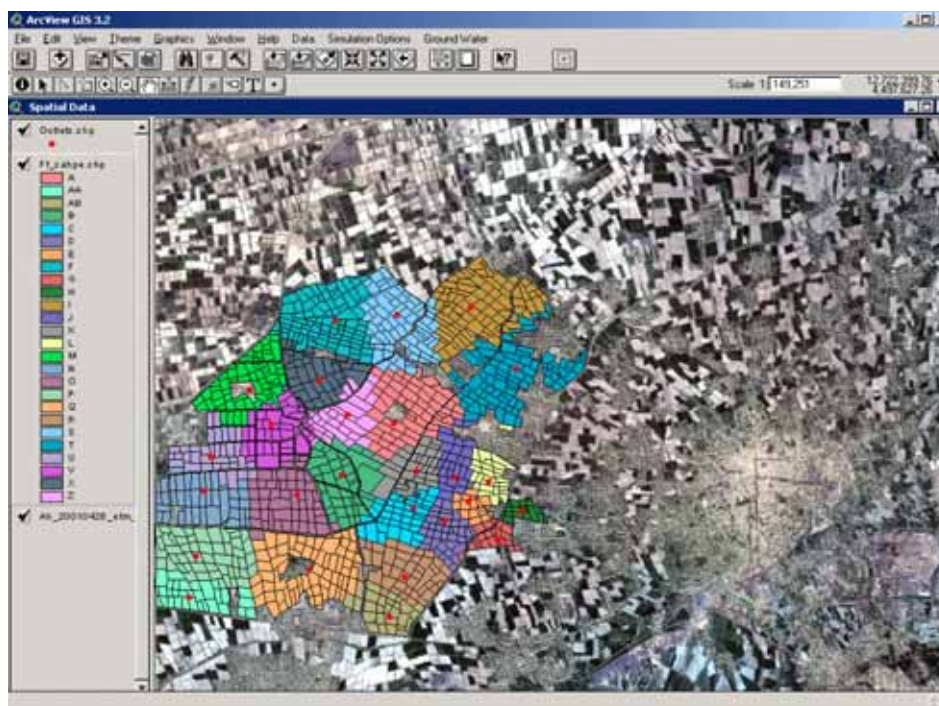


Рис.8. Результаты применения средств Assign Proximity для идентификации ближайшего водовыпуска

Интерфейс применения

Главное окно GISAREG состоит из трех областей (Рис.6): одна для картирования, включая легенду; другая – для расчетной таблицы, описанной выше или для представления результатов в табличном формате; и еще одна – для управления сценариями (внизу справа). В дополнение к командам ArcView имеется по умолчанию несколько

контекстных меню, кнопок и инструментариев, которые облегчают ввод данных, построение сценариев и командование операциями расчета и выводом карт. Например, на Рис.9 пользователь создал сценарий “Default” [по умолчанию] и выполнил расчеты, относящиеся к годам 1971-1973. Тот же самый рисунок содержит вверху слева контекстное меню “Simulations options” [варианты моделирования], а вверху справа кнопки и инструментарии для редактирования сценариев и представления карт.

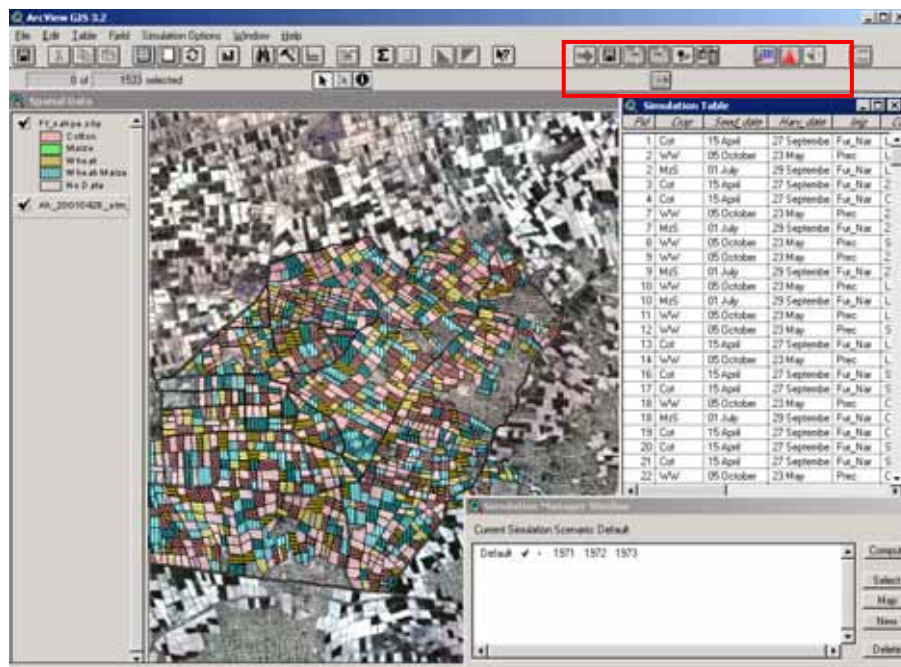


Рис.9. Основной вид применения GISAREG, включая карту сельхозкультур и соответствующую легенду, расчетную таблицу (ST) и окно управления сценариями (внизу справа). Вверху слева меню опций моделирования и вверху справа – кнопки и инструментарии для редактирования сценариев вывода карт

Определение вариантов орошения и ограничений на доступность воды, учитываемых для целей моделирования, достигается через дополнительные окна. Опция расчета графика поливов отсылает к определению порогов влажности почвы, равных или ниже оптимального, найденного при доле истощения почвенной влаги p без водного стресса растений (Allen *et al.*, 1998), и выбору поливных норм. Поливные нормы могут определяться, как объем воды, требуемый для подпитки корнеобитаемой зоны до значения общей доступной почвенной влаги (TAW) или в процентах от TAW, а также выбором фиксированных поливных норм (D) в зависимости от применяемого способа полива. Например, на Рис.10а пользователь создал вариант орошения под кодом “Esq1”, относящийся к фиксированной поливной норме $D = 40$ мм и

Средства моделирования для расчета графика поливов

сроках полива, назначаемых при пороге содержания почвенной влаги в течение четырех фаз развития культуры на 50 % ниже оптимального.

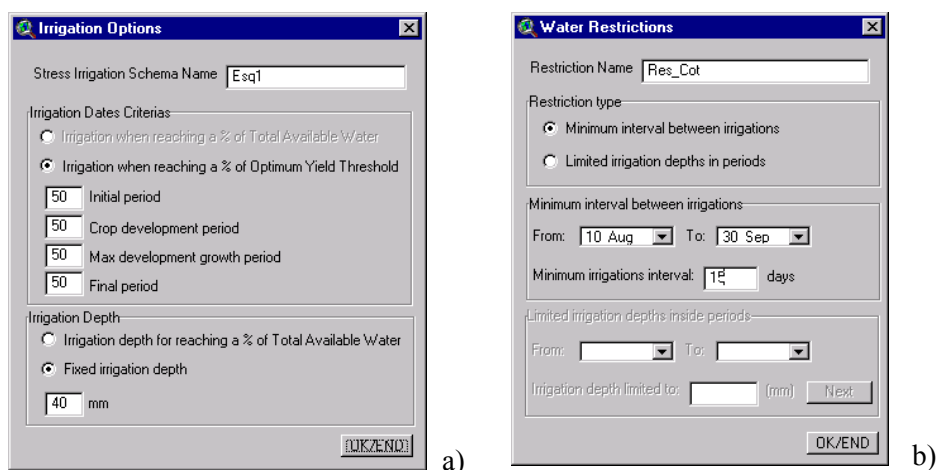
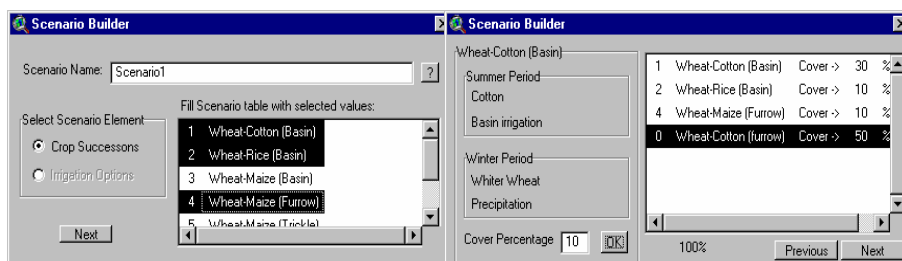


Рис.10. Формы GISAREG для определения вариантов орошения (а) и ограничений водоподачи (б)

Ограничения водоподачи применяют к выбранным периодам времени и адресованы минимальному интервалу между двумя последовательными поливами или сумме поливных норм, которые могут быть использованы на поливе в течение данного временного промежутка. В примере на Рис.10б ограничение водоподачи под кодом “Res_Cot” предписывает в период от 10 августа до 30 сентября минимальный интервал между поливами 15 суток. Через расчетную таблицу можно назначить разные ограничения водоподачи и графики поливов выбранным полям, системам или возделываемым площадям.

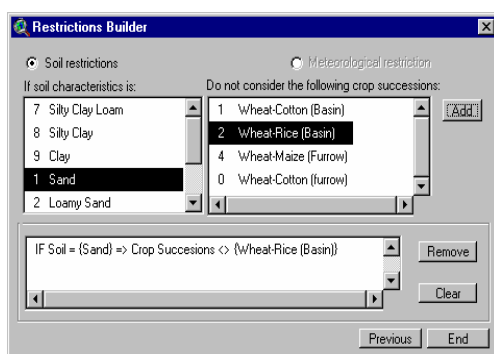
Пользователь может рассчитать сценарий, использующий структуру распределения сельхозкультур, отличную от наблюдаемой, путем редактирования столбца «сгор» ST или через особое окно, как показано на рис.11. Последнее помогает пользователю произвольно назначать системы сельхозкультур в границах проекта соответственно определенному пользователем проценту покрытия.

П.С. Фортес, П.Р. Теодоро, А.А. Кампос, П.М. Матеус, Л.С. Перейра



1-Выбор сельхозкультур

2 -Определение площади
покрытия сельхозкультурой



3-Ограничения на почвы
под сельхозкультурой

Рис.11. Окна для создания расчетных сценариев, относящихся к выбору сельхозкультур, проценту почв, покрытых данной сельхозкультурой, и ограничениям, налагаемым на тип почвы относительно данной системы культур

Пространственное распределение систем сельхозкультур может быть подчинено ограничениям на использование некоторого типа почв для данной системы сельхозкультур. Затем создается карта, показывающая пространственное распределение систем сельхозкультур, удовлетворяющая определенному пользователем критерию, который может быть позже введен в ST и будет использован для расчетного сценария. Моделирование многочисленных сценариев позволяет сделать наглядным воздействие назначенных характеристик управления поливами на водопотребление и продуктивность использования воды, способствуя таким образом выбору лучших альтернатив для дальнейшей реализации.

Выходные данные

Выходные данные GISAREG могут быть представлены в табличном, графическом форматах или в виде карт (Рис.12) и могут рассматривать

Средства моделирования для расчета графика поливов

одно поле, поля в выбранной области или общей площади исследований. Кроме того, результаты могут относиться к одной единственной дате, т.е. дефицит почвенной влаги для сельхозкультуры в выбранный день, или ко всему периоду моделирования, т.е. устанавливая требования сельхозкультур на орошение относительно определенного сценария.

Годичные результаты сохраняются в таблице *.dbf, которая имеет то же самое имя, что и расчетный сценарий, следующий за годом расчетов. Для любого расчетного сценария будет столько таблиц результатов (RT), сколько лет моделируется пользователем. Таблицы результатов содержат информацию о: сельхозкультурах, требованиях на орошение, доступной почвенной влаге в начале и в конце оросительного периода, фильтрации, эффективных и неэффективных осадках, подпитке из грунтовых вод, потенциальной и фактической эвапотранспирации, относительных потерях урожая, гидромодуле вододачи и ежемесячных требованиях на орошение.

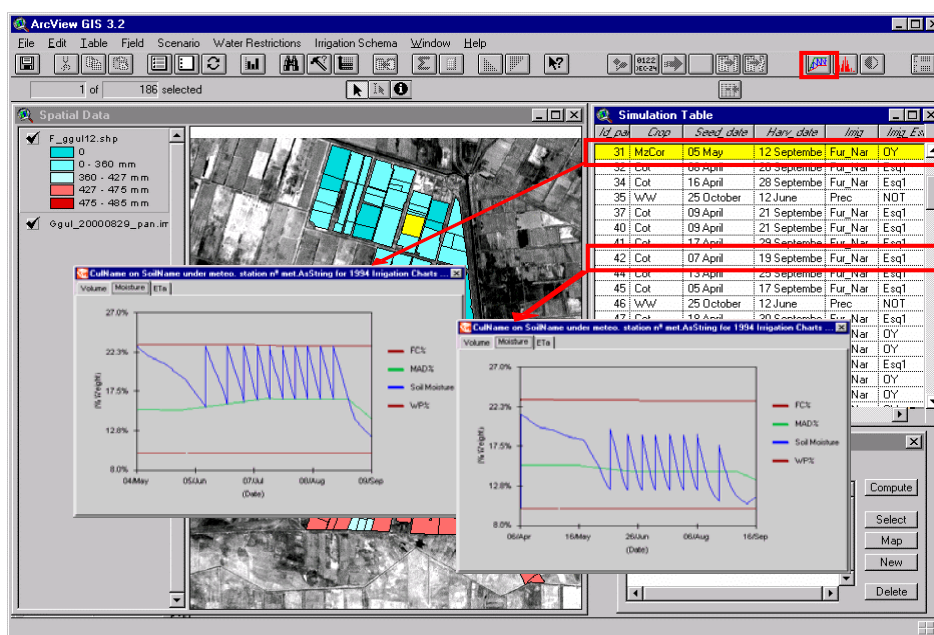


Рис. 12. Результаты расчетов, представленные в виде карты требований на орошение и водно-балансовых диаграмм для двух полей с различными вариантами графика поливов, одним без стресса, другим с водосбережением при контролируемом водном стрессе

Выбирая соответствующую площадь на карте или соответствующие возделываемым полям записи в расчетной таблице, можно рассчитать и показать агрегированные результаты. Приведенный на рис.13 пример

П.С. Фортес, П.Р. Теодоро, А.А. Кампос, П.М. Матеус, Л.С. Перейра

иллюстрирует результаты расчета гидрографа требований на орошение относительно главного узла распределительной системы.

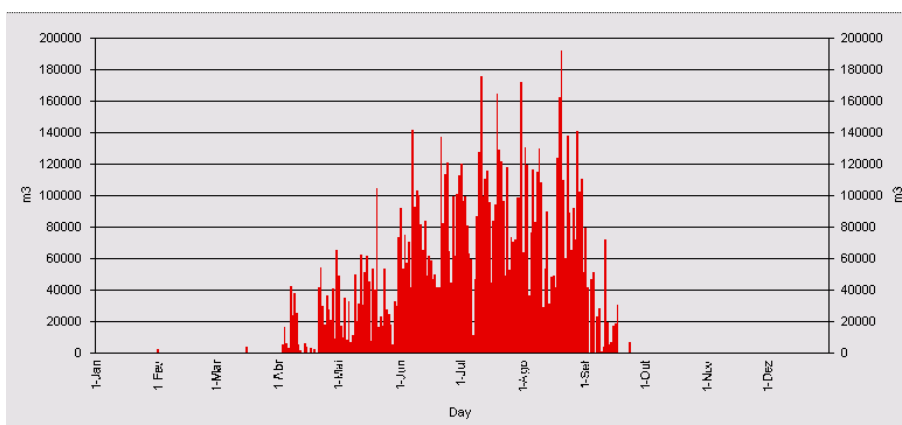


Рис.13. Гидрограф требований на орошение в течение вегетационного периода для выбранного узла распределительной системы

Библиография

- Чолпанкулов, Э.Дж., Инченкова, О.П., Перейра, Л.С., Паредес П., 2005. Тестирование имитационной модели режима орошения ISAREG для хлопчатника и озимой пшеницы в Центральной Азии (в этом сборнике)
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrig. Drain. Pap. 56, FAO, Rome, 300 pp.
- Campos, A.A., Pereira, L.S., Gonçalves, J.M., Fabião, M.S., Liu, Y., Li, Y.N., Mao, Z., Dong, B., 2003. Water saving in the Yellow River Basin, China. 1. Irrigation demand scheduling. *Agric. Engng Intern Vol. V* (www.cigr-ejournal.tamu.edu).
- Doorenbos, J., Pruitt, W.G., 1977. *Crop Water Requirements*. Irrig. Drain. Paper 24, FAO, Rome, 193 pp.
- Fortes, P.S., Platonov, A.E., Pereira, L.S., 2005. GISAREG - A GIS based irrigation scheduling simulation model to support improved water use. *Agric. Water Manage.* 77: 159-179.
- Liu, Y., Teixeira, J.L., Zhang, H.J., Pereira, L.S., 1998. Model validation and crop coefficients for irrigation scheduling in the North China Plain. *Agric. Water Manage.* 36: 233-246.
- Liu, Y., Fernando, R.M., Pereira, L.S., 2001. Water balance simulation with ISAREG considering water table interactions. In: Zazueta, F.S., Xin, J.N. (Eds.) *World Congress on Computers in Agriculture and Natural Resources* (Foz do Iguaçu, Brasil), ASAE, St. Joseph, MI, pp. 857-863.
- Oweis, T., Rodrigues, P.N., Pereira, L.S., 2003. Simulation of supplemental irrigation strategies for wheat in Near East to cope with water scarcity. In: Rossi, G.,

Средства моделирования для расчета графика поливов

- Cancelliere, A., Pereira, L.S., Oweis, T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.) *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht, pp. 259-272.
- Pereira, L.S., Teodoro, P.R., Rodrigues, P.N., Teixeira, J.L., 2003. Irrigation scheduling simulation: the model ISAREG. In: Rossi, G., Cancelliere, A., Pereira, L.S., Oweis, T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.) *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht, pp. 161-180.
- Rodrigues, P.N., Pereira, L.S., Machado, T.G., 2000. KCISA, a program to compute averaged crop coefficients. Application to field grown horticultural crops. In: Ferreira, M.I., Jones, H.G. (Eds.) *Irrigation of Horticultural Crops* (Proc. Int. Conf., Estoril, Jun-Jul 1999), Acta Horticulturae N° 537, ISHS, Leuven, pp. 535-542.
- Stewart, J.L., Hanks, R.J., Danielson, R.E., Jackson, E.B., Pruitt, W.O., Franklin, W.T., Riley, J.P., Hagan, R.M., 1977. Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil. Utah Water Res. Lab. Rep. PRWG151-1, Utah St. Univ., Logan.
- Teixeira, J.L., Pereira, L.S., 1992. ISAREG, an irrigation scheduling model. *ICID Bulletin*, 41(2): 29-48.
- Zairi, A., El Amami, H., Slatni, A., Pereira, L.S., Rodrigues, P.N., Machado, T.G., 2003. Coping with drought: deficit irrigation strategies for cereals and field horticultural crops in Central Tunisia. Rossi, G. Cancelliere, A., Pereira, L.S., Oweis, T., Shatanawi, M., Zairi, A. (Eds.) *Tools for Drought Mitigation in Mediterranean Regions*. Kluwer, Dordrecht, pp. 181-201.