
Часть 2

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА И ДИСТАНЦИОННЫЙ СБОР ДАННЫХ

Глава 3.

БАЗА ЗНАНИЙ ПРОЕКТА «УПРАВЛЕНИЕ ОРОШЕНИЕМ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПРОЦЕССАМИ ОПУСТЫНИВАНИЯ В БАССЕЙНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ»

Б.К. Турдыбаев,⁴ И.Ф. Беглов⁴, А.Г. Пулатов⁴, Н.Д. Ананьева⁵

Реферат: В результате сбора и обработки материалов по 281 исследовательским проектам, осуществленным в странах центральноазиатского региона, создана база знаний проекта CIRMAN-ARAL. Эта база предназначена для эффективного использования имеющейся информации, тем самым обеспечивая достижение рационального водопользования, нацеленного на устойчивое развитие производства продовольствия в регионе без нанесения ущерба природе. База знаний также включает информационные материалы по современным методам повышения эффективности водопользования в сельском хозяйстве – как на уровне поля, так и ирригационной системы и включает модели и соответствующие руководства, разработанные для настоящего проекта.

Ключевые слова: база знаний, рубрикатор ГРНТИ, орошение и дренаж, опустынивание, влияние на окружающую среду.

Введение

В настоящее время в странах Центральной Азии накоплено большое количество информации практически по любым вопросам, касающимся

⁴ Научно-информационный центр МКВК, Узбекистан, 700187, г. Ташкент, м-в Карасу 4, дом 11, bakh@icwc-aral.uz.

⁵ Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации (САНИИРИ), Узбекистан, 700187, г. Ташкент, массив Карасу 4, дом 11.

водного хозяйства и использования вод, в частности, в орошаемом земледелии. Однако использование этих материалов в достаточной степени затруднено из-за их бессистемности, разбросанности, сложности использования и неприспособленности к использованию компьютерной техникой. При этом нужно иметь в виду, что практики, а также лица принимающие решения, не имеют такой возможности как исследователи подробно и детально изучать накопленные наукой и практикой результаты и им нужно преподнести информацию в таком виде, чтобы ее использование было удобно и понятно для всех. Основная идея создания базы знаний состоит в том, чтобы взять опыт человека-эксперта в области мелиорации и водного хозяйства и, по возможности, с минимальными добавлениями, перенести его на более формальный язык программирования (или специальный язык представления знаний).

Одной из таких попыток является деятельность программы International Programme for Technology and Research in Irrigation and Drainage (IPTRID), направленная на разработку информационного ресурса в интернете (WCA-InfoNET), который даст прямой доступ к широкому диапазону знаний в области мелиорации и водного хозяйства. Созданная база знаний проекта CIRMAN-ARAL «Управление орошением сельскохозяйственных культур с целью борьбы с антропогенным опустыниванием в бассейне Аральского моря», отражающая многолетний опыт специалистов Центральной Азии, тематически во многом совпадает с WCA-InfoNET.

Выполненные в рамках проекта CIRMAN-ARAL сбор, обработка и распространение информации о выполненных в центральноазиатском регионе исследованиях, являются информационной поддержкой основной цели проекта – созданию практических рекомендаций, направленных на борьбу с опустыниванием, а также способствующих смягчению влияния засухи и устойчивому развитию сельского хозяйства за счет эффективного водопользования в орошаемом земледелии.

Цели

Целью рабочего пакета 1 (РП-1) проекта CIRMAN-ARAL являлось создание базы знаний о прошлых исследованиях выполненных в центральноазиатском регионе по основным темам проекта: опустынивание и влияние орошения.

Созданная база знаний состоит из следующих компонентов:

- **тематического дерева базы знаний** созданного на основе разработанного нами рубрикатора по использованию земельных и водных ресурсов;
- **набора систематизированных факторов и следствий**, связанных с основными понятиями по темам «Опустынивание и его мониторинг», «Влияние орошения на различные виды вод», «Способы орошения»;
- **толкового (терминологического) словаря**, в качестве вспомогательной информационной структуры, в которой даются определения для используемых понятий;

- **библиографического указателя** книг и статей, а также рефератов, касающихся каждого из указанных определений и явлений;
- **перечня проектов**, выполненных в данной области знаний и их описание.

Методы

Нами использовался следующий метод поэтапного построения базы знаний.

1. Идентификация проблемы (знакомство и обучение коллектива разработчиков, а также создание неформальной формулировки проблемы). Уточнение задачи, планирование хода разработки прототипа базы знаний, с определением необходимых ресурсов (время, люди, компьютеры и т. д.); источники знаний (книги, дополнительные эксперты, методики); имеющиеся аналогичные информационные системы, классификаторы; цели (распространение опыта, автоматизация рутинных действий и др.).

2. Извлечение знаний (получение наиболее полного представления о предметной области и способах принятия решения в ней). Происходит перенос компетентности экспертов на инженеров по знаниям с использованием различных методов: анализ текстов; диалоги; экспертные игры; лекции; дискуссии; интервью; наблюдение и другие.

Основным методом являлся анализ текстов с целью извлечения и структурирования знаний, который включал:

- составление «базового» списка литературы для ознакомления с предметной областью и чтения по списку;
- выбора текста для извлечения знаний;
- первое знакомство с текстом (беглое прочтение) и формирование первой гипотезы о структуре текста;
- внимательное прочтение текста с выделением ключевых слов и выражений, т.е. выделение «смысловых вех» (компрессия текста);
- определение связей между ключевыми словами, разработка макро-структуры текста в форме графа или «сжатого» текста (реферата);
- формирование поля знаний на основании структуры текста.

3. Структурирование или концептуализация знаний (разработка неформального описания знаний о предметной области в виде графа, таблицы, схемы, диаграммы или текста, которое отражает основные концепции и взаимосвязи между понятиями предметной области).

Сделана детальная разработка нескольких наиболее актуальных ветвей дерева знаний по темам «Опустынивание и его мониторинг», «Влияние орошения на различные виды вод», «Способы орошения».

Уточнена сопутствующая этим темам терминология. Материал представлен в виде толкового (терминологического) словаря с библиографическими ссылками. Понятийные определения вводятся в базу знаний, как общепринятые термины и объяснения, которые могут служить универсальными для всех частей света.

Построение дерева базы знаний учитывает иерархическую структуру взаимосвязанных элементов областей знаний и явлений, а также существующие системы кодировок и классификаций в странах, где проводятся исследования, и в странах, где будут использоваться эти знания.

Классификация (рубрицирование) информации для базы знаний на основе ГРНТИ⁶

Значительное место в структуре информационных систем занимают иерархические классификации. На государственном уровне регламентация использования иерархических классификаций осуществлялась введением ГОСТ 7.44-84 «Систематизация документов. Общие требования», а затем ГОСТ 7.59-90 «Индексирование документов. Общие требования к систематизации и предметизации». В соответствии с этим ГОСТом библиотеки, органы научно-технической информации и другие организации обязаны применять одну или несколько универсальных систем классификации из числа следующих: Государственный рубрикатор (ГР); Универсальную десятичную классификацию (УДК); Библиотечно-библиографическую классификацию (ББК); Международную классификацию изобретений; Классификатор «Стандарты и технические условия». Каждая из иерархических классификаций учитывает специфические особенности «своих» объектов систематизации и имеет определенную сферу применения.

Для классификации материалов в базе знаний по земельным и водным ресурсам бассейна Аральского моря был выбран Государственный рубрикатор научно-технической информации (ГРНТИ).

Рубрикатор представляет собой сложную иерархическую систему классификации областей науки, которая применяется для систематизации документов и представления их в базах данных и информационных изданиях. По существу это информационно-поисковый язык классификационного типа с иерархической структурой, политематический по содержанию. На каждом уровне (исключая первый) предусмотрено наличие резервных позиций, что позволяет в процессе ведения (совершенствования и развития) рубрикатора вводить новые рубрики, не изменяя коды существующих. Система индексов представлена группами двузначных чисел, разделенных точками, используются арабские цифры.

Полученные результаты

Система кодировки (рубрикатор) НИЦ МКВК представлена в табл. 1. Также для классификации информационных материалов были использованы следующие разделы рубрикатора ГРНТИ: 68.00 Сельское и лесное хозяйство; 70.00 Водное хозяйство. Для завершенных и текущих проектов на-

⁶ Выбор рубрикатора ГРНТИ обусловлен тем, что когда на месте бывшего СССР образовалось содружество независимых государств, между ними были заключены соглашения в области стандартизации и научно-технической информации, предусматривающие, что прежние ГОСТы сохраняют силу для всех стран СНГ, а новые стандарты разрабатываются совместно как межгосударственные стандарты.

ряду с вышеуказанными рубриками использовалась серийно-порядковая система кодирования с использованием ключевых слов и библиографических ссылок (пример описания завершённого проекта в табл. 2).

Таблица 1. Рубрикатор НИЦ МКВК для орошаемого земледелия

Код НИЦ	Рубрика	Кодификация ГРНТИ
01.00	Орошаемое земледелие	68.31.21
01.10	Водные ресурсы	70.21.09
01.10.01.	поверхностные воды	70.27.07
01.10.02	подземные воды	70.27.07
01.10.03	Возвратные воды	70.27.07
01.10.04	Сточные воды	70.25
01.15	Качество воды	70.27
01.20	Орошаемые земли	70.21.41
01.20.01	Почвы	68.05
01.20.01.10	Регулирование водного режима почв. Баланс влаги в почве	70.03.15
01.20.01.13	Фильтрация и инфильтрация в почвогрунтах	70.03.17
01.20.01.15	Динамика водного режима. Водно-солевой режим почв	70.03.21
01.20.02	Плодородие	68.05.23
01.20.03	Сельхозкультуры	68.35
01.20.05.10	Водопотребление	70.03.11
01.20.05.13	Режим орошения	
01.20.05.15	Севооборот	68.29.07
01.20.05.20	Урожай	68.29.23
01.30	Орошение	70.21
01.30.01	Инфраструктура	70.21.15
01.30.02	Ирригационные системы и управление	70.21.15
01.30.03	Способы орошения	70.21.31
01.30.09	Влияние орошения на различные виды вод	70.01.94
01.40	Засоление	68.05.41
01.40.01	Типы засоления	
01.45	Способы борьбы с засолением	70.21.39
01.45.01	Дренаж	70.23
01.45.01.10	Виды дренажа	70.23.39
02.00	Опустынивание и его мониторинг	
02.01	Причины опустынивания	
02.01.10	Естественные (аридизация климата, эоловый перенос, соленакопление)	
02.01.15	Антропогенные (вырубка лесов, перепас скота, техногенные нарушения)	
02.02	Индикаторы опустынивания	
02.03	Критерии	
02.04	Методы мониторинга	
02.04.10	Наземный (отбор почвенных проб и солемеры)	
02.04.15	Дистанционный (аэро и спутник)	

Таблица 2. Завершенные проекты (формат описания)

Идентификатор НИЦ МКВК	ПП100061
Название проекта	Изучение эффективности использования минерализованных дренажных вод в местах их формирования
Местоположение	Республика Узбекистан, Ферганская обл., Бувайдинский р-н, колхоз им. XX партсъезда
Рубрика (по ГАСНТИ)	70.03.21; 70.27.07
Код НИЦ МКВК	01.10.03
Продолжительность проекта	1976-1986 гг.
Руководитель проекта	Якубов Мурат, Институт водных проблем АН РУз Республика Узбекистан, 700143, г. Ташкент, ул. Ф. Ходжаева, 25а
Реферат (основное содержание) проекта:	<p>Исследования направлены на установление возможности и эффективности использования минерализованных дренажных вод в местах их формирования, в целях снижения объема отвода возвратного стока. Проведены эксперименты по управлению водно-солевыми режимами почв при использовании минерализованных вод на орошение и промывку земель, а также качеством дренажного стока.</p> <p>Климат - резко континентальный. Площадь ОПУ нетто – 94 га. Оросительная сеть - бетонные лотки. Дренажная сеть - открытая горизонтальная. Удельная протяженность – 45 м/га. Глубина заложения дрен - 2,5-3,0 м, коллекторов - 4,0 м.</p> <p>За период проведения опытов при поддержании промывного режима орошения в годовом и многолетнем цикле достигнуто медленное рассоление почв. Минерализация грунтовых вод снизилась с 15 до 5 г/л. Минерализация дренажных вод снизилась с 8-10 до 4-4,5 г/л. При установленных режимах орошения наряду с улучшением культуры земледелия и мелиоративного состояния земель произошел рост урожайности хлопчатника с 7-8 ц/га (1977) до 28-30 ц/га (1986).</p> <p>Разработаны научно-обоснованные предложения по оптимизации мелиоративных режимов и повышению продуктивности орошаемых земель при использовании минерализованных вод на орошение.</p>
Ключевые слова	Режим орошения; водно-солевой баланс; дренажный сток; минерализованные воды
Библиография	<p>Усманов А.У., Бекмуратов Т.У. Использование вод, откачиваемых скважинами вертикального дренажа, на орошение староорошаемых земель Ферганской долины // Труды САНИИРИ. - 1980. - Вып. 160. - С. 43-49.</p> <p>Якубов М.А. Динамика водно-солевого режима почвогрунтов при длительном использовании минерализованных вод на орошение в условиях Центральной Ферганы // Труды САНИИРИ. - 1985. - Вып. 173. - С.123-136.</p>

Созданный на основе рубрикатора подраздел «Орошаемое земледелие» дерева знаний «Земельное и водные ресурсы бассейна Аральского моря» приведен на рис. 1.

Разработанный систематический набор факторов и следствий, связанный с основными определениями (предметом, явлением, фактором и т. д.) развития по темам «Опустынивание и его мониторинг», «Влияние орошения на различные виды вод», «Способы орошения» показан на следующих схемах (рис. 2-4).

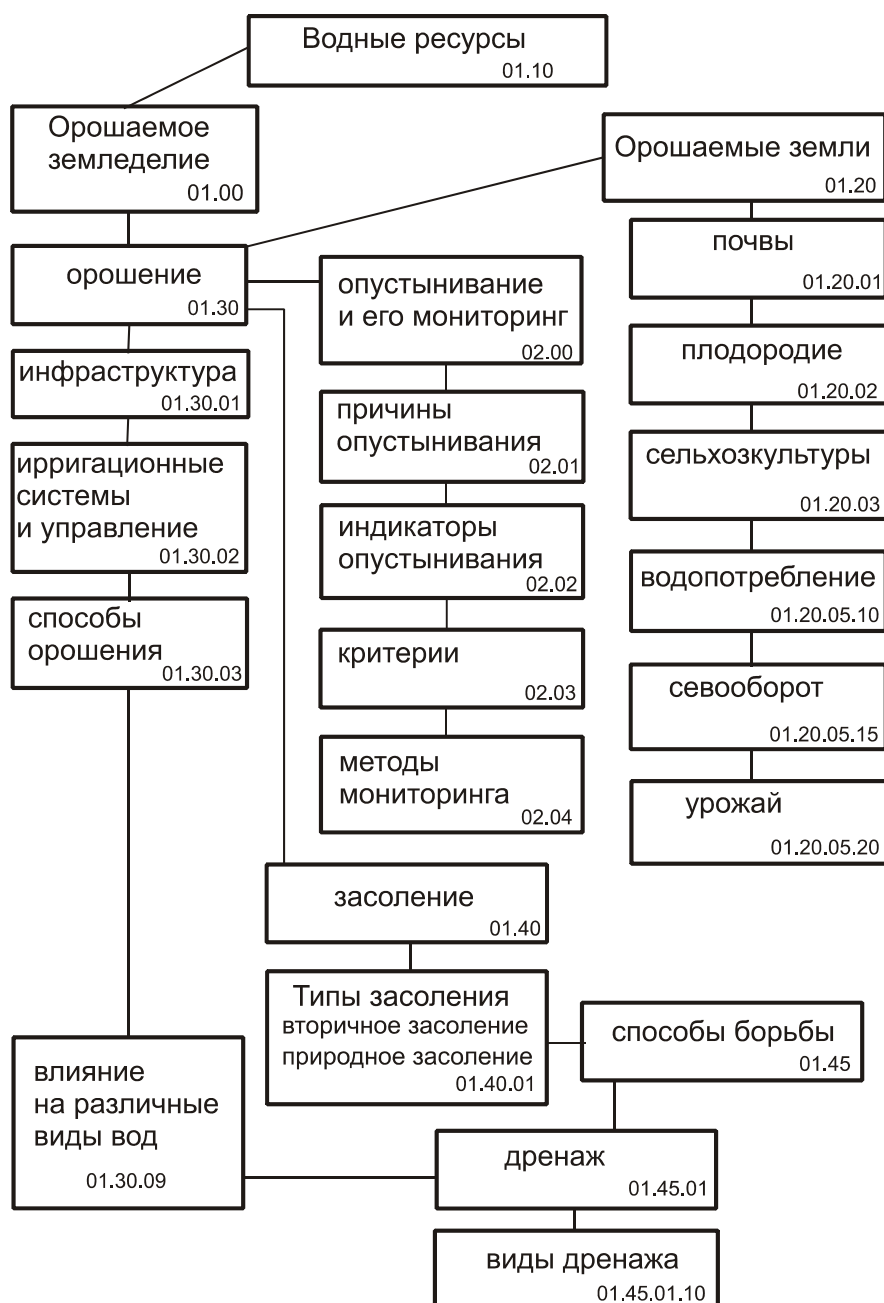


Рис.1. База знаний «Земельные и водные ресурсы бассейна Аральского моря» подраздел ОРОШАЕМОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ

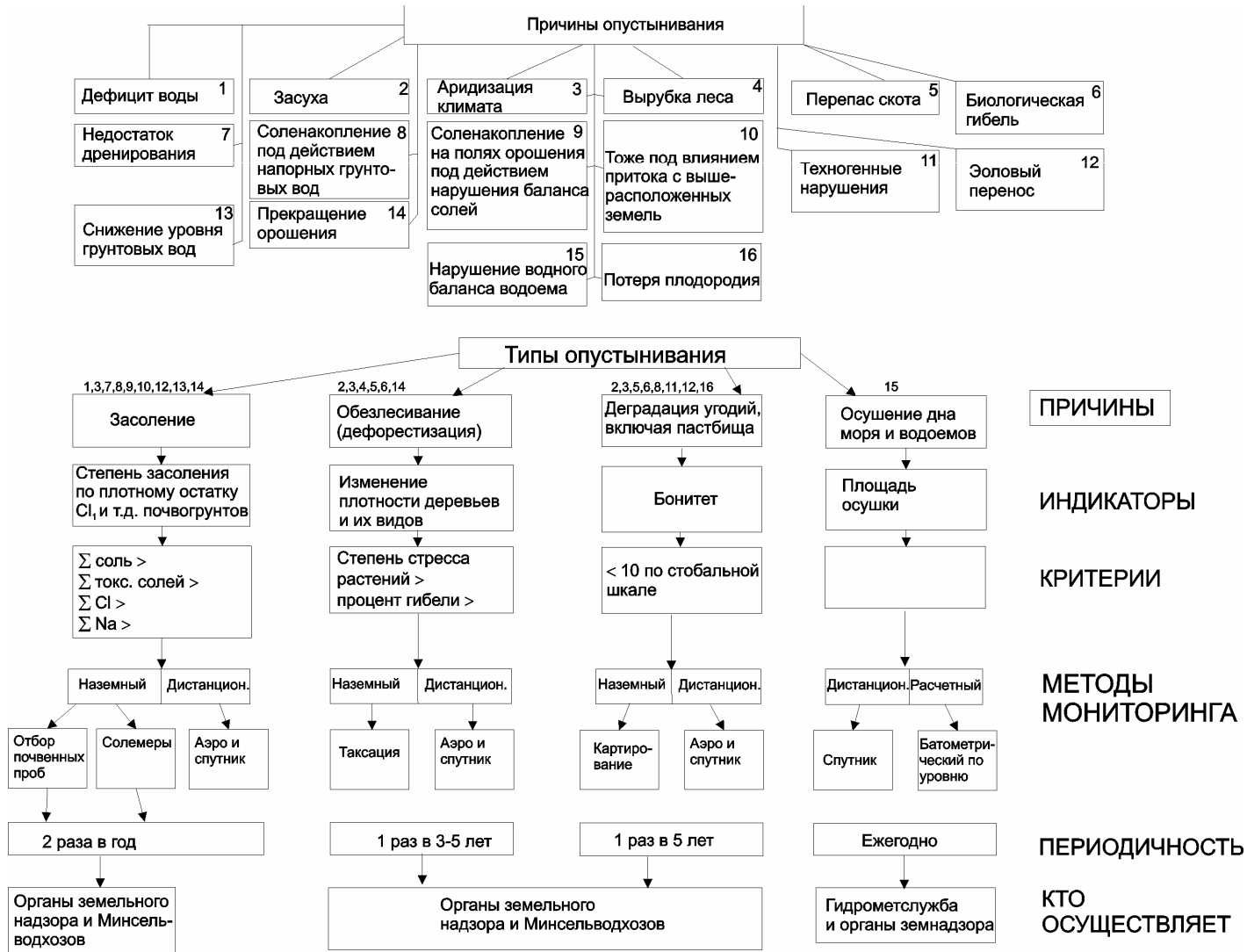


Рис. 2. Опустынивание и его мониторинг



Рис. 3. Влияние орошения на различные виды вод

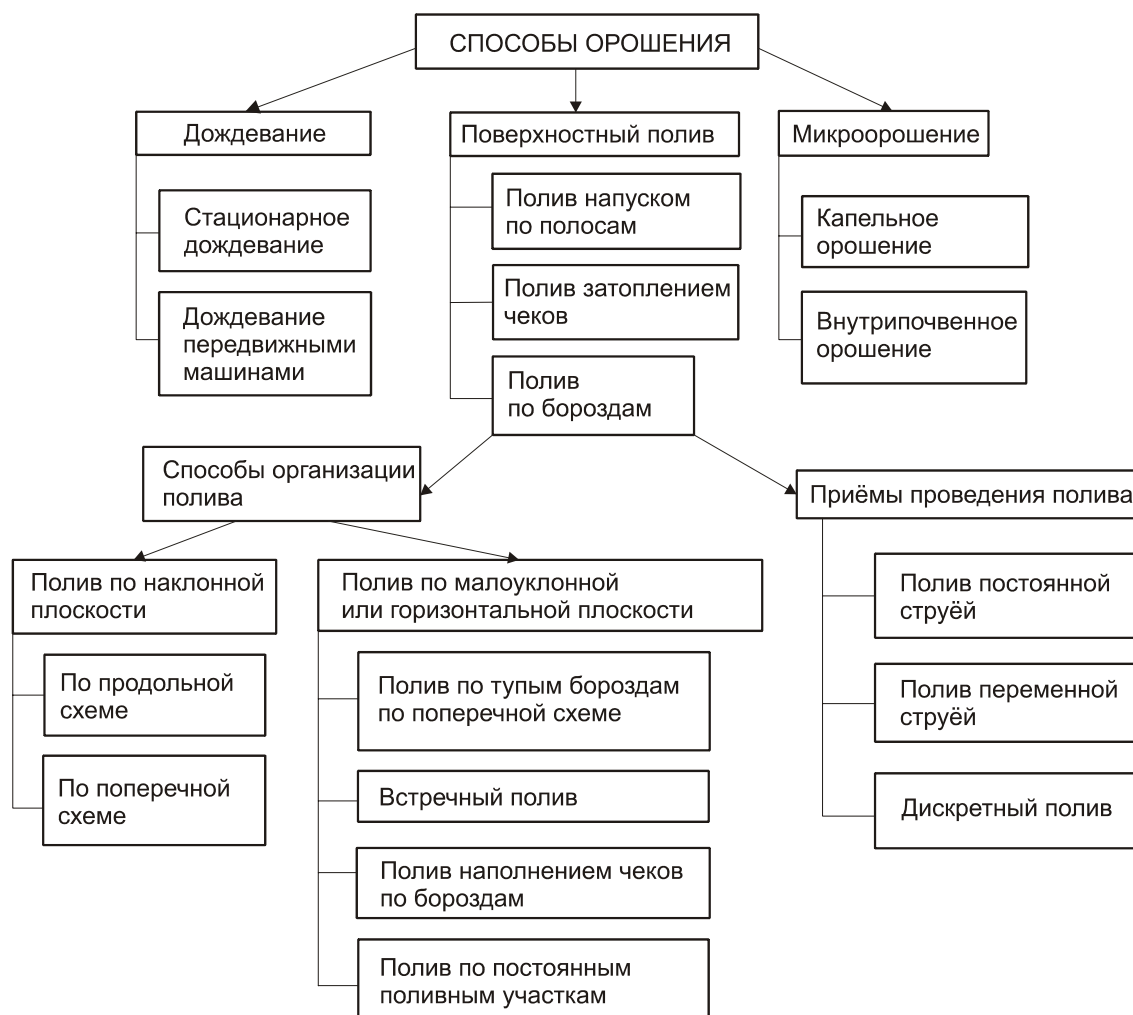


Рис. 4. Способы орошения

Создан толковый (терминологического) словарь, в котором даются определения для 110 используемых понятий (терминов) по основным темам проекта. В библиографический указатель вошли ссылки на 138 изданий (книги, статьи, рефераты). Собран и обработан материал по 65 текущим (незавершенным) с участием доноров проектам и по 216 пилотным (завершенным) проектам в странах центральноазиатского региона.

Таблица 3. Общее количество документов, уже включенных в разделы базы знаний согласно принятому формату описания

Рубрика	Количество документов (пилотные проекты)
Орошаемое земледелие	1
Подземные воды	2
Качество воды	8
Орошаемые земли	1
Регулирование водного режима почв. Баланс влаги в почве.	18
Фильтрация и инфильтрация в почвогрунтах.	1
Динамика водного режима. Водно-солевой режим почв	51
Плодородие	2
Водопотребление	6
Режим орошения	36
Ирригационные системы и управление	8
Способы орошения	42
Способы борьбы с засолением	27
Дренаж	2
Виды дренажа	14

Распространение информации

На следующем этапе работы по РП-1, для того чтобы сделать информацию доступной для всех участников проекта и их партнеров, создается раздел на веб-сайте НИЦ МКВК (www.sic.icwc-aral.uz/projects/coperm/), где размещается информационный пакет материалов полученных на первом этапе (рис. 5).



Рис. 5. Главная страница веб-сайта проекта CIRMAN-ARAL

При создании информационного ресурса в интернете для БЗ проделана следующая работа.

1. Разработана структура и дизайн страниц на основе подготовленных материалов. Это делалось с учетом того, что просмотр страниц веб-сайта должен быть возможен при любых разрешениях без каких-либо искажений. Проведена оптимизация кода веб-сайта для возможности просмотра страниц во всех основных интернет браузерах и их версиях.

2. Осуществлено конвертирование и форматирование страниц. Проведена оптимизация графического материала веб-сайта (как структурного, так и информационного) для минимизации времени загрузки с сервера пользователем веб-сайта.

3. Были разработаны две панели навигации с кнопками, глобальная для всего раздела (расположена вверху всех страниц, включает в себя ссылки на все подразделы по рабочим пакетам, указывая в этом ряду место текущей страницы-подраздела) и локальная для подраздела «Base of knowledge». При создании навигации преследовалась одна общая цель – наглядно представить текущее положение пользователя и возможные варианты его перемещения по структуре информационного пространства. Строка зеленых кнопок в верхней части всех страниц позволяет легко идентифицировать текущее положение на сайте, а также дает возможность простого доступа к первой странице и всем подразделам (рис. 6).



Рис.6. Главная навигационная панель, нажатая синяя кнопка указывает на текущий подраздел по Рабочему пакету - 2 (WP-2)

В дополнение к перемещению по всему пространству сайта пользователям необходима возможность передвижения внутри локальной области (подраздела) рис. 7.

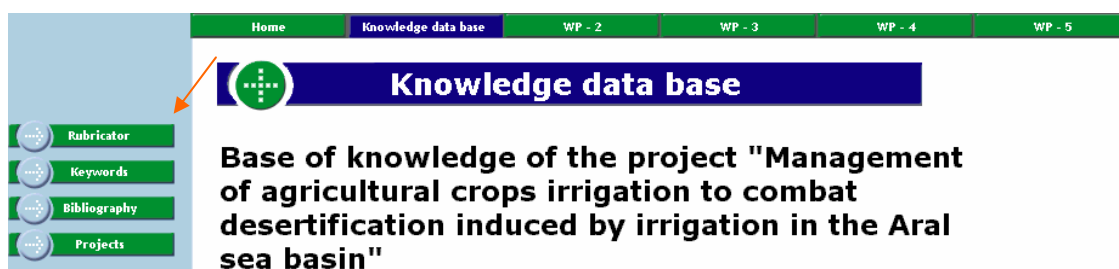


Рис.7. Локальная навигационная панель раздела «Base of Knowledge»

В панель навигации раздела базы знаний входят ссылки на «Рубриктор», «Ключевые слова», «Библиография» и «Проекты». Перекрестные ссылки связывают информацию по прошлым исследовательским проектам в соответствии с классификационной системой (рубрикатором), разработанным НИЦ МКВК, семантическая связь отражается также в систематиче-

ском наборе факторов и следствий, связанных с основными понятиями в разделе «Ключевые слова», которые в свою очередь связаны с разделом «Библиография». Понятийные определения вводятся в базу знаний, как общепринятые термины и объяснения, которые могут служить универсальными для всех частей света.

На заключительном этапе база знаний проекта CIRMAN-ARAL была дополнена следующими методическими материалами:

1. Методы определения продуктивности земель.
2. Методы повышения продуктивности земель.
2. Методы определения водопотребления
3. Методы определения водного и солевого баланса.
4. RZWQM (модель физико-химико-биологических процессов для моделирования роста растений и переноса воды, питательных веществ и пестицидов в корневой зоне на репрезентативной площади системы сельхозпроизводства).
5. Методы определения параметров дренажа, методы оценки эффективности существующего дренажа, рекомендации по использованию минерализованных вод.

Для пользователей, использующих программные продукты CROPWAT, WIN ISAREG, GISAREG подготовлены электронные версии изданий на русском языке:

1. Учебное пособие по CROPWAT, разработано отделением земельных и водных ресурсов Комиссии по сельскому хозяйству и продовольствию ООН и предназначено для вычисления водопотребления сельхозкультур на основе климатических данных, почвенных характеристик и параметров сельхозкультур.
2. Руководство пользователя по WIN ISAREG. Программа ISAREG создана в Техническом университете Лиссабона (Португалия) под руководством проф. Л.С. Перейры. Она позволяет вести расчеты, как за многолетний период наблюдений, так и работать с данными одного года по желанию пользователя, можно получить поливные и оросительные нормы для определенной культуры, графики влажности почвы за вегетацию, сравнения наблюдаемой и расчетной влажности почв.
3. Руководство по использованию модели GISAREG, которая предназначена для составления графиков поливов на базе ГИС для улучшения водопользования и экологического контроля.

Заключение

Создание базы знаний проекта CIRMAN-ARAL на основе использования современных информационных технологий позволяет максимально эффективно использовать уже накопленную информационную базу по материалам завершенных исследовательских проектов и научным изданиям. В

БЗ собрана информация, актуальная не только для центральноазиатских стран, но и для других регионов, по проблемам, связанным с процессом опустынивания, включая его мониторинг; воздействием орошения на поверхностные, подземные воды и Аральское море.

База знаний предоставит пользователям (ученым, практикам, экологам, политикам, да и всему обществу) необходимую и легкодоступную информацию для рационального использования водно-земельных ресурсов. Еще раз отметим, что основной целью базы знаний должно быть распространение передового опыта, достижений, методологии в области водного хозяйства (конкретные примеры решения проблем, описания пилотных проектов и т. п.), распределенных по ветвям дерева знаний (по подрубрикам): ирригация, дренаж, гидросооружения и т. д.

Мы считаем, что дальнейшее развитие базы знаний по использованию земельных и водных ресурсов бассейна Аральского моря в рамках других проектов Шестой Рамочной программы по используемой нами методике имеет очень хорошую перспективу, так как совпадает с курсом ЕС на создание общества, построенного на знаниях.

Библиография

- Гендина Н.И. Иерархические классификации в структуре лингвистического обеспечения современной информационно-библиотечной технологии: проблемы комплексного использования, актуализации и развития / Препринт. – М.: ГПНТБ России, 1998. – 15 с.
- ГОСТ 7.44-84 Систематизация документов. Общие требования // Стандарты по библиотечному делу и библиографии. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – С. 201-204.
- Государственный рубрикатор научно-технической информации / ВИНТИ. – М., 2000.
- Универсальная десятичная классификация (в 7 вып.). – 3-е изд. – М.: Изд-во стандартов, 1979.

Глава 4.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ С ЦЕЛЬЮ БОРЬБЫ С ПРОЦЕССАМИ АНТРОПОГЕННОГО ОПУСТЫНИВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ)

В.И. Соколов⁷, А.И. Тучин⁷

Реферат: В статье приведены ключевые данные о Ферганской долине – где размещен пилотный объект проекта CIRMAN-ARAL, а также дано краткое описание созданной информационной системы, содержащей данные, необходимые для развития проекта и моделирования процессов, связанных с орошением сельхозкультур. Показана структура системы и процесс ее построения в три этапа: 1) создание топологии изучаемой территории; 2) мониторинг, требуемый для регулярного пополнения информации; 3) построение ГИС и базы данных для моделей и системы принятия решений.

Ключевые слова: Интегрированное управление водными ресурсами, антропогенное опустынивание, база данных, математические модели, интерфейс.

Введение

Информационная система для управления орошением строится по уровням иерархии управления водными и земельными ресурсами и связанными с ними объектами водопользования, а также уровнями формирования и использования водных ресурсов (на примере Ферганской долины, рис. 1). Система унифицированная, т. е. обеспечивает единство (либо совместимость) технических средств, технологий и методик сбора, обработки и анализа информации, сроков и параметров оценки расходных и качественных характеристик наличных и используемых земельных и водных ресурсов, а также идентичность программных и табличных продуктов, форм сбора и передачи различного вида информации по иерархическим уровням. Система позволяет осуществлять контроль соответствующих показателей основных четырех уровней иерархии существующего водохозяйственного управления:

⁷ Научно-информационный центр МКВК. Узбекистан, 700187, г. Ташкент, м-в Карасу-4, дом 11; vadim@icwc-aral.uz

Уровень 1 - Фермерские хозяйства, включая отдельные поля;
 Уровень 2 - Ассоциация водопользователей (АВП) и коллективные хозяйства;

Уровень 3 - Оросительная система;

Уровень 4 - Бассейн (Ферганская долина – бассейн Сырдарьи).

Следует отметить, что третий уровень является связующим для различных существующих баз данных - региональной базы данных "WARMIS" и базы данных IWRM-Fergana. Здесь же происходит стыковка и с базой данных БВО.

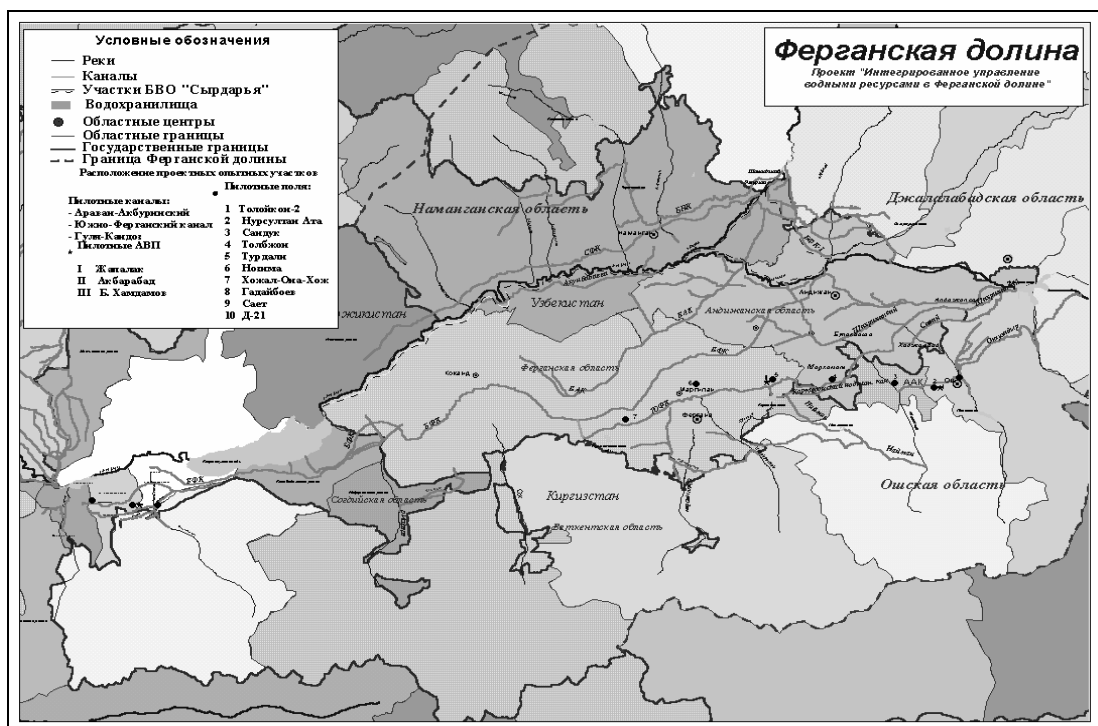


Рис. 1. Ферганская долина
 (источник: проект «ИУВР-Фергана»)

Каждый уровень содержит соответствующую базу данных, предназначенную для централизованного хранения и управления совокупностью взаимосвязанных данных, адекватно отображающих состояние объектов данного уровня и отношения между ними.

Уровень 1 - база данных включает все основные параметры водопользования и сельскохозяйственного производства. В качестве основных используются показатели, характеризующие состояние отдельных полей, водохозяйственную деятельность и мелиоративное состояние орошаемых земель в разрезе хозяйствующих субъектов, водозабор из оросительных систем и использование водных и земельных ресурсов на уровне хозяйств, показатели, отражающие структуру посевных площадей, показатели сельхозпроизводства на орошаемых землях, показатели технического уровня внут-

рихозяйственной оросительной сети. Также база данных содержит информацию наземных наблюдений для оценки уровня продуктивности земель с использованием ГИС и дистанционных методов. Основное назначение базы данных – способствовать выработке оценок по эффективному использованию водных и земельных ресурсов на уровне хозяйства в сопоставлении с потенциальным уровнем продуктивности воды и земли.

Уровень 2 – база данных включает все основные параметры функционирования существующих ассоциаций водопользователей. В качестве основных используются показатели финансового обеспечения эксплуатационных затрат оросительной и коллекторно-дренажной сети, показатели равномерности подачи воды по группе хозяйств (вегетационный, межвегетационный периоды), показатели по орошаемой и дренируемой площадям, показатели, отражающие состояние и динамику мелиоративного состояния орошаемых земель и технических средств в типичных хозяйствах и т. п. Основное назначение базы данных – способствовать выработке оценок эффективности функционирования существующих АВП (групп хозяйств) и обоснованию эффективности вновь создаваемых АВП.

Уровень 3 – база данных включает все основные параметры функционирования водохозяйственных организаций (систем). В качестве основных используются показатели, отражающие объемы водозаборов из источников орошения в разрезе административных единиц и основных каналов, показатели, характеризующие объемы водоподдачи на орошение (потребные объемы водоподдачи, выделенные лимиты, фактические объемы) в разрезе административных единиц и источников водных ресурсов, технические КПД оросительных систем и размеры организационных потерь, показатели, характеризующие финансово-экономическую деятельность водохозяйственных систем в разрезе основных структурных подразделений. Основное назначение базы данных – способствовать выработке оценок эффективности функционирования водохозяйственных организаций (систем).

Уровень 4 – база данных включает все основные параметры, характеризующие регион (Ферганскую долину и бассейн реки Сырдарья) в целом.

Ферганская долина – территория пилотного исследования

Ферганская долина – один из древнейших оазисов мира, где возраст орошения и развития цивилизации, такой же, как и в Индии, Египте, Китае, Ближнем Востоке – исчисляется несколькими тысячелетиями. Ферганская долина расположена в юго-западной части обширной горной системы Тянь-Шань, ледники и снега которой питают воду реки Нарын и Карадарью. Обе реки выходят на долину на востоке и, сливаясь, образуют реку Сырдарью, которая течет в направлении на юго-запад и разделяет Фергану на две несимметричные части. Протяженность долины около 250 км, если считать в направлении от Учкурганской ГЭС на Нарыне до г. Ходжента, и около 300 км, если считать от Кампырраватской плотины на Карадарье. Ширина долины в створе Кассан – Наманган – Фергана – Вуадиль достигает 130 км и сужается на западе до 5–10 км. С востока долина окаймлена Ферганским,

с юга – Алайским и Туркестанским, с севера – Чаткальским и Кураминским хребтами.



Рис. 2. Головное сооружение канала Ходжабакирган

Значительная часть притоков реки Сырдарья в пределах долины – более тридцати – в настоящее время не доходят до Сырдарьи, так как их вода разбирается на орошение. К наиболее крупным боковым рекам относятся: Падшаата, Гавасай, Касансай, Караунгур, Кугарт, Ак-Бура, Аравансай, Исфайрамсай, Шахимарданский, Сох, Исфара, Ходжабакирган и др., стекающие главным образом с Ферганского и Туркестанского хребтов. Река Сырдарья формирует около 70 % всего стока поверхностных вод Ферганской долины, остальные реки формируют около 30 % (табл. 1).

Таблица 1. Поверхностный сток из зоны формирования в бассейне реки Сырдарья и его доля в Ферганской долине (км³/год)

Река по гидрометрическому посту	Приток из зоны формирования стока		
	Максим. (P=5%)	Средне-многолетний	Миним. (P=90%)
Бассейн Сырдарьи, всего	58,91	37,20	23,97
Сырдарья до Чардары	54,46	35,42	23,44
Нарын - Учкурган	20,68	14,54	10,68
Карадарья – приток в Андиганское вдхр.	6,49	3,92	1,83
Реки междуречья (Нарын-Карадарья)	3,69	2,07	1,10
Правый берег Ферганской долины	2,16	1,18	0,73
Левый берег Ферганской долины	5,79	4,54	3,49
Итого Ферганская долина	38,81	26,25	17,83
Доля Ферганской долины в:			
- стоке Сырдарьи, всего %	65,9	70,6	74,4
- в стоке до Чардары, %		74,1	76,0

С древних времен привлекательные жизненные условия этого оазиса способствовали земледельческому развитию. Ниже приведена ирригационная характеристика земель Ферганской долины в разрезе стран (таблица 2). В результате Ферганская долина превратилась в один из самых густонаселенных регионов Центральной Азии. Характерными являются высокая плотность населения, высокие темпы развития и большая демографическая нагрузка вследствие низкой миграционной способности сельского населения (таблица 3).

Таблица 2. Ирригационная характеристика земель Ферганской долины, тысяч гектаров

Регион, государство	Территория	Пригодно для орошения	Орошение			Свободных земель
			1930	1970	2000	
Ферганская долина	9053	1539	675	1066	1376	163
Кыргызстан	6408	341	162	214	331	10
Таджикистан	699	197	39	97	134	63
Узбекистан	1946	1001	474	755	911	90

Таблица 3. Демографические показатели Ферганской долины (2000 год)

Показатели	Области						
	Андижанская	Ферганская	Наманганская	Согдийская	Ошская	Джалал-абадская	Баткентская
Количество населения, тыс. чел.	2216,5	2697,5	1953,2	1904	1211,7	893,9	384
В т.ч. сельского, тыс. чел.	1550,9	1916,7	1221,4	1245	926,3	685,6	310,3
Рост населения, % в год	2,4	2,4	2,7	1,4	1,83	1,61	1,5
Плотность населения, чел./км ²	527,7	402,6	263,9	75,2	41,5	26,5	23,3
Орошаемая земля, га на 1 чел.	0,171	0,186	0,222	0,145	0,159	0,192	0,184

Как видно из таблицы 3, сельское население составляет от 62,5 % в Наманганской до 77 % в Ошской областях. Если учесть, что на 1 человека в сельской местности приходится в среднем от 0,16 до 0,222 га, а резервы земли, возможные к орошению (таблица 2) почти что исчерпаны, то становится ясно, что решение проблем социального благополучия в долине лежит лишь в подъеме производства орошаемого земледелия, усилении вторичной переработки и развитии малого и среднего предпринимательства, как в сфере аграрного, так и других отраслей.

В то же время показатели последних лет, особо в Узбекистане, свидетельствуют о нарастании социальной напряженности – население увеличивается на 2,4-2,7 % в год (таблица 4), трудовые ресурсы в сельской местности используются непосредственно в аграрном секторе менее, чем наполовину, темп роста ВВП от 2,9 % до 7 % при среднем уровне ВВП на душу населения 377–572 \$/чел. в год – значительно ниже среднего по стране.

Таблица 4. Социально-экономические показатели областей Ферганской долины за 2000 г.

Показатели	Андижанская	Наманганская	Ферганская
ВВП млрд. сум	260,55	167,92	326,783
ВВП в млн. долл. США	1267	746	1562
ВВП на душу населения	566	377	572
Темпы роста ВВП, %	7	5,8	2,9
Темпы роста населения, %	2,4	2,7	2,4
Трудовые ресурсы, тыс. чел.	1104	939	134
в т.ч. в сельской местности	761	586	951
Занятость в сельском х-ве	339	245	420
% сельского населения	69,0	62,5	71
Среднемесячная з/п в сумах	8573	8053	9039

Уже в настоящее время число неработающего населения в долине превысило несколько сотен тысяч человек. Ясно, что снижение производства орошаемого земледелия и спад удельных показателей доходности из-за деградации земель превратили обеспеченность водой и другими условиями производства в исключительно важные и приоритетные задачи.

Ирригационный комплекс Ферганской долины обслуживает в настоящее время более 40 тысяч самостоятельных водопользователей, из которых 38,5 тыс. фермеров, 1,5 тыс. коллективных хозяйств, 119 Ассоциаций фермеров и 306 неирригационных потребителей. Водоподача осуществляется по 12,4 тыс. км межхозяйственных каналов и более 9,5 тыс. км межхозяйственных коллекторов. Ирригационные системы и сооружения, функционирующие в настоящее время в долине, построены еще в советское время и срок их службы исчисляется десятилетиями. Некогда технически совершенные каналы и сооружения требуют коренной реабилитации или проведения восстановительных работ. Это практически касается значительной части магистральной и всей межхозяйственной ирригационной сети и, не в меньшей степени внутривозвращенной, которая еще в советское время отставала от межхозяйственной.

Фактическое наличие и распределение объемов водозабора и водоподачи из источников водных ресурсов по Ферганской долине в целом и в разрезе государств, характеризуются в таблице 5.

Таблица 5. Общий объем водозабора, водоподачи и водоотведения по Ферганской долине на уровне 2000 года

Государство	Общий объем воды забираемой из источников		Общий объем водоподачи на границах хозяйств		Общий объем водоотведения	
	млн. м ³	%	млн. м ³	%	млн. м ³	% от водозабора
Республика Узбекистан	10161,1	69,7	7931,1	69,1	3790	37,3
Кыргызская Республика	2675,8	18,4	2155,1	18,8	764,2	28,56
Республика Таджикистан	1728,9	11,8	1391,0	12,1	672,5	38,9
Всего	14565,9	100,0	11477,2	100,0	5226,7	35,88

База данных и модельный комплекс состоят из следующих блоков:

- Справочная информация и паспорта полей. В этом блоке определены справочники, описывающие постоянную или мало меняющуюся информацию: республики, области, районы, фермерские хозяйства, приток, поля, каналы, водовыпуски, отток, транзит, гидросты, створы, скважины, тип дренажного стока, вид полива, тип водослива, сельхозкультуры. А также: структура хозяйства (план-схема оросительной сети, харак-

теристики ГП, характеристики участков, характеристики каналов, паспорт поля)

- Регистрация фактических данных: ведомости расходов воды на ГП, рапорта
- Ввод и корректировка норм полива
- Работа с грунтовыми водами и засоление почв: УГВ по створам, УГВ по полям, УГВ (GIS), Засоление почв и типы почвенных разностей
- Дренажный сток - ввод и корректировка данных дренажного стока
- Климатические данные: средне-многолетние, декадные, суточные
- Математическая модель, рассчитывающая план водоподачи на поля
- Методы и рекомендации: Методы повышения продуктивности земель, Рекомендации по использованию минерализованных вод, Методы определения продуктивности земель, Методы определения параметров и оценка эффективности дренажа, Методы определения водно-солевого баланса, Методы определения водопотребления, Модель RZWQM.

По каждому блоку имеются отчеты, данные могут представляться в табличном или графическом виде.

Программа создана на базе СУБД ACCESS и представляет собой набор файлов:

- «CopernicusEng и CopernicusRus», в которых собрано все программное обеспечение, рабочие временные таблицы, запросы, формы ввода и корректировки информации и отчеты
- «Copern_Data» – место хранения всех данных за один сезон или год.

Файлов типа «Copern_data» может быть несколько, в зависимости от необходимости хранения данных за предыдущий период. В Меню «Переключение на другой год» пункт «Выбор» позволяет выбрать необходимый из них, а пункт «Новый» создает новый файл типа «Channel_data» с копией Справочников из текущего файла и пустыми таблицами (форматами) документов.

При загрузке программы на экране появляется главное окно (рис. 3), а также меню, из которого можно запустить остальные блоки. В Главной Форме определяется фермерское хозяйство (ирригационная система), для которого производится расчет параметров водораспределения. Опции меню показаны в табл. 6.

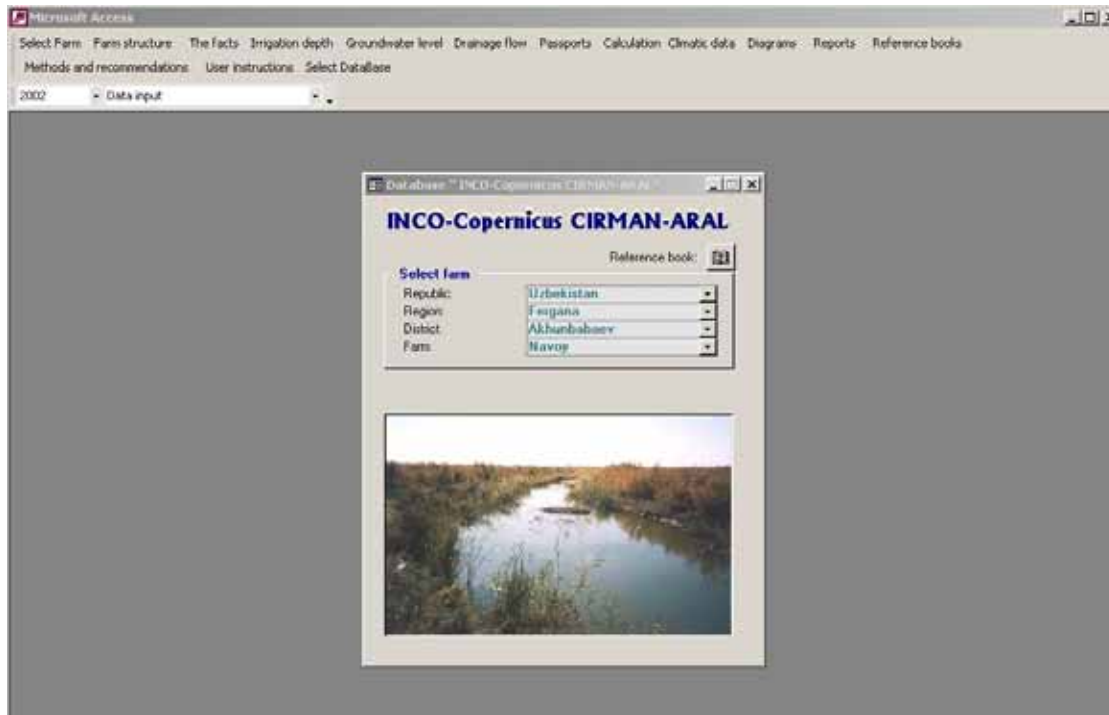


Рис. 3. Главная форма информационной системы «CIRMAN-ARAL»

Работа ведется в двух режимах: «Ввод» и «Просмотр и корректировка данных». Для расчета модели водораспределения необходимо выполнить следующие шаги:

- 1) Определить структуру ирригационной системы
- 2) Задать нормы полива
- 3) Запустить расчет.

Для сравнения значений «План», «Факт» и «Норма» имеются соответствующие диаграммы в подменю «Графики». На формах в правом верхнем углу находится кнопка «Справочник». При нажатии на эту кнопку появляется тот или иной справочник в зависимости от того, на какой опции установлен курсор. Например, если пользователь выбирает «Хозяйство», то при вызове справочника появится соответственно справочник хозяйств. В левом нижнем углу формы расположена кнопка «Отчет», при нажатии на которую появляется отчетная форма. Пользователь может просмотреть и вывести на печать необходимую информацию.

В программе имеются следующие справочники: потребителей, водоотводов, привязки водоотводов к потребителям, измерительных устройств, тарифовочных кривых, ответственных исполнителей, исполнителей, гидромодульных районов, ординат гидромодулей, районов, ирригационных сетей.

Таблица 6. Опции меню базы данных

Суб-меню	Опции
Выбор хозяйства	
Фактические данные	
Нормы полива	
Уровень грунтовых вод	
Дренажный сток	
Паспорта	
Расчет модели	
Климатические данные	
Графики	График расходов на ГП Графики полива полей Приток в контур Расходы на каналах Сравнительные графики "Норма/План" Сравнительные графики "Факт/Норма/План"
Отчеты	Ведомости расходов воды ГП Рапорта Дренажный сток по дренам
Справочники	
Методы и рекомендации	
Инструкции для пользователя по системам	CROPWAT ISAREG GISAREG
Выбор базы данных (по году)	

«Справочник потребителей» представлен в виде простого списка, в который можно добавлять записи, изменять или удалять их. Однако удаление – операция опасная тем, что пользователь может потерять всю информацию об удаляемом потребителе. «Справочник водоотводов» также представляет собой простой список, но разделенный по типам отводов – магистральный канал, обычный канал, отвод, сброс и подпитка (рис. 4). Пользователь должен выбрать тип водовода в разворачивающемся списке, расположенном в верхней части формы, после чего будут представлены все типы. В «Справочнике привязки водоотводов к потребителям» каждому водоотводу назначается потребитель. При этом несколько водоотводов могут приходиться на одного водопотребителя. В «Справочнике измерительных устройств» определяются тип и наименование измерительных устройств. Из этого справочника имеется выход в «Справочник тарифовочных кривых», в котором для каждого измерительного устройства вводятся отметки и соответствующие им расходы. В «Справочнике ординат гидромодулей» выбирается гидромодульный район, задаются соответствующие культуры и вводятся по ним ординаты. «Справочники ответственных исполнителей, исполнителей, районов, ирригационных сетей» представляют собой наборы записей, которые пользователь может добавлять, изменять или удалять. В таблице 7 дан перечень отчетов программы.



Рис.4. Отвод из ЮФК для деривационной ГЭС

Таблица 7. Перечень отчетов программного комплекса

Отчеты	Тип
Плановый	Годовой Декадный
Установленный лимит	Годовой Декадный Расчетный
Заявка	Годовой Декадный

Отчеты могут выводиться как для одного потребителя, так и для всех в зависимости. Пользователем задается период (для годового отчета) или декада (для декадного). В таблице указываются имеющиеся документы. Если они отсутствуют, то и в отчете нет данных. В нижней части формы имеются две кнопки: для просмотра и для печати отчета.

Экспериментальный участок (рис. 5) располагался в хозяйстве «Азизбек-1» Ахунбабаевского района, Ферганской области. На этот участок вода подается по каналу, который разветвляется на несколько более мелких. Каждый канал занесен в базу данных со своими параметрами. Определено 16 водовыпусков на поля. Водовыпуск подает воду на соответствующее поле (поливной участок). Для каждого поливного участка определен набор параметров. Информация, определенная для опытного участка передается в математическую модель, для расчета плана. На выходе модели рассчитанный план передается в базу данных и представляется пользователю.

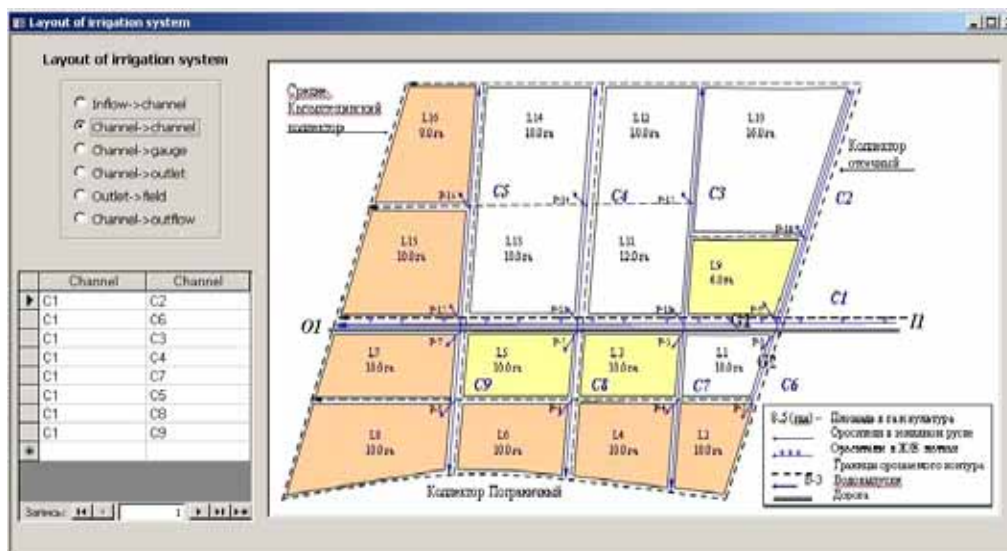


Рис.5. План-схема опытного хозяйства

Немаловажное место в системе занимает ГИС при обработке данных (рис. 6). ГИС позволяет наглядно представить информацию о полях. Представляя карту пользователю и различные слои, можно дать ему мощный инструмент для анализа. При расчетах ГИС позволяет довольно просто работать с площадными объектами, а также решать некоторые задачи, например задачу нахождения пути и др. ГИС позволяет работать с космическими снимками и с их помощью значительно уточнять информацию по структуре хозяйств.

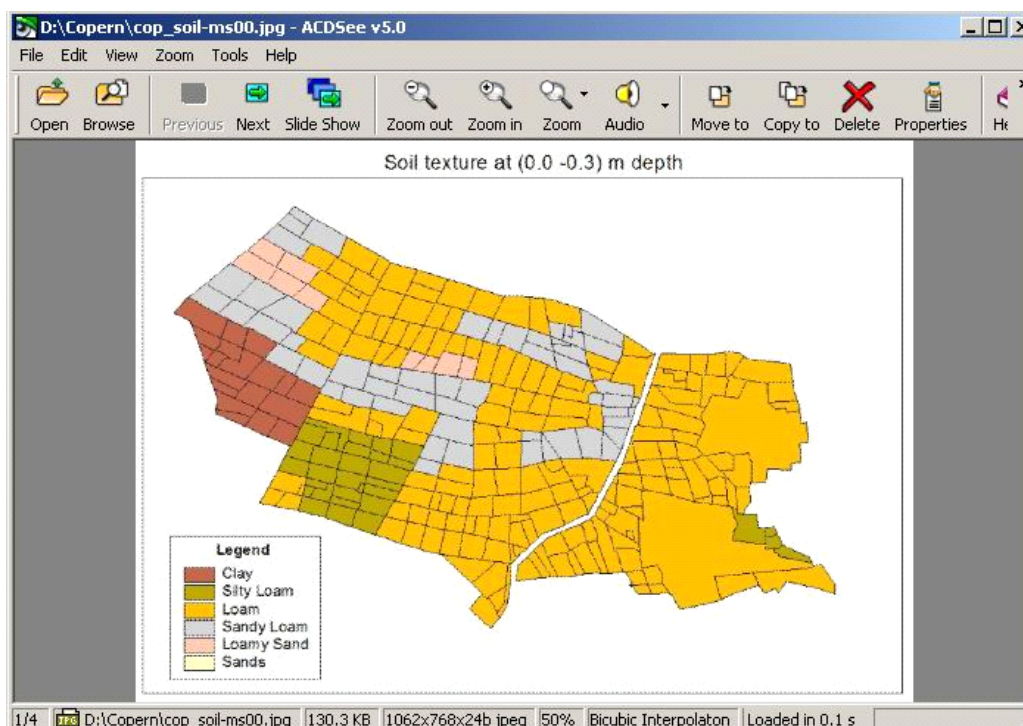


Рис. 6. Пример использования ГИС для создания карты почвенных разностей в пилотном хозяйстве

Библиография:

- Dukhovny V., Sokolov V. Land and Water Information System for the Aral Sea Basin. Proceedings of the 5th International Congress on Management, Services and Technologies of Water (HYDROTOP-99). 15-17 June 1999, Marseilles - France. pp. 155-161.
- Dukhovny V., Tuchin A., Sokolov V., Umarov P. Experience with Modeling for Water Resources Development in the Aral Sea Basin. The 7th International Conference of the Israel Society for Ecology and Environmental Quality Sciences on "Environmental Challenges for the Next Millennium", Jerusalem, Israel, June 13-18, 1999.
- Sokolov V. Information System for Water Resources Management in the Aral Sea Basin. Proceedings of the 19th European Regional Conference of ICID "Sustainable Use of Land and Water" 4-8 June 2001, Brno and Prague, Czech Republic. p. 87

Глава 5.**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ
ДЛЯ ОЦЕНКИ ОРОШЕНИЯ****А.Е. Платонов⁸, Б. Винсент⁹**

Реферат: Серии декадных (10-дневных) растровых слоев NDVI спутниковых снимков SPOT Vegetation за 1999 – 2002 г.г. использованы для: классификации землепользования, в основном для уточнения границ орошаемых площадей; анализа декадных изменений средних значений NDVI для различных единиц агрегирования (зон орошения Ферганской Долины, административных районов Ферганской области, и коллективных хозяйств Кувинского района). Дополнительно использовались два спутниковых снимка Landsat-7 ETM+ на 28/04/2001 и 02/08/2001 для: классификации основных сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы и хлопка), на основе анализа значений NDVI; распознавания засоления почв путем расчета индекса неравномерности значений NDVI (коэффициента вариации) в пределах каждого орошаемого поля двух выбранных участков. Совместное использование снимков с обоих спутников (SPOT Vegetation и Landsat-7), вместе со слоем полигонов ГИС орошаемых полей, применено для модели-

⁸ Научно-информационный центр МКБК, Узбекистан, г. Ташкент, 700187, м-в Карасу-4, дом 11, E-mail: a.platonov@mail.ru.

⁹ CEMAGREF, Antony, France, E-mail: bernard.vincent@cemagref.fr.

рования декадных значений коэффициентов сельскохозяйственных культур (Kс) из значений NDVI. Результаты моделирования могут использоваться для корректировки с учетом местных условий значений Kс, рекомендованных в руководстве по расчету потребности сельскохозяйственных культур в воде (FAO-56), как альтернатива другим методикам, использованным в этом проекте.

Ключевые слова: спутниковое зондирование Земли, продукты SPOT Vegetation, Спутниковые снимки Landsat-7 ETM+, индекс нормализованного различия растительности NDVI, классификация сельскохозяйственных культур, распознавание засоления почв, моделирование коэффициентов сельхозкультур.

Введение

Использование спутниковых снимков для управления земельными и водными ресурсами стало технически возможным, начиная с конца семидесятых годов прошлого века. Мультиспектральные снимки низкого пространственного разрешения (1100 м) со спутников NOAA AVHRR использовались для классификации землепользования/покрытия земли и при мониторинге процессов орошения и дренажа как на больших (Bastiaanssen, 1998), так и маленьких площадях (Chemin *et al.*, 2004).

Недавно (в 2000 г.) запущенный спутник TERRA с сенсором MODIS имеет улучшенное спектральное (36 каналов) и пространственное (250 м – 1000 м) разрешение, и дает новые возможности для дальнейших исследований (Gitelson and Kaufman, 1998; Milne и Cohen, 1999; Zhan *et al.*, 2002). 4-х канальные снимки спутника SPOT Vegetation (с 1998 г.) и результаты их обработки (NDVI, DMP) покрывают большие территории и имеют пространственное и временное разрешение 1000 м и 10 дней, соответственно. Эти снимки используются для наблюдения за сельхозкультурами и прогноза урожайности (Eerens *et al.*, 2001). Основным достоинством снимков низкого пространственного разрешения является их высокое временное разрешение, то есть возможность получения снимков исследуемой территории с помощью Internet даже дважды за день (для MODIS) и бесплатно.

Снимки, полученные серией спутников Landsat с различными сенсорами (MSS, TM, ETM+) используются очень широко. Пространственное разрешение этих мультиспектральных снимков варьируется от (56 м*89 м) для MSS до 28,5 м для сенсоров TM и ETM+. Временное разрешение - 16 дней, но учитывая присутствие облачности, обычно доступны 3-4 безоблачных спутниковых снимка за год. Снимки Landsat являются основным источником для исследований на уровнях от регионального и до поля и для различных задач (Bastiaanssen, 1998; Vincent *et al.*, 1996; Metternicht and Zinck, 2003).

Кроме Landsat, есть и другие источники спутниковых снимков: из Франции (SPOT HRV), Индии (IRS LISS), России (РЕСУРС), но их стоимость значительно выше, чем Landsat. Более приемлемы по цене снимки сенсора ASTER, расположенного на том же спутнике (TERRA), на котором расположен сенсор MODIS. Мультиспектральные (15 каналов) снимки ASTER имеют пространственное разрешение от 15 до 60 м. Снимки сенсора ALI спутника EO-1 является следующим поколением данных спутников типа Landsat, с улучшенным спектральным разрешением (9 каналов).

Мультиспектральные снимки высокого пространственного разрешения (0.6 м – 4 м) доступны со спутников IKONOS (4 канала) и Quickbird (4 канала), и их цены также очень высоки. Эти снимки могут эффективно использоваться для тщательного ведения сельхозпроизводства (Staenz and Williams, 1997; Pacheco *et al.*, 2001).

Снимки сенсора Hyperion со спутника EO-1 являются первыми гиперспектральными (220 каналов) данными из космоса. Снимки имеют пространственное разрешение 30 м и являются отличным источником данных для распознавания засоления почв (Metternicht and Zinck, 2003) и других задач (McNairn *et al.*, 2001).

Данные радаров (JERS SAR и Radarsat) являются семейством активных спутниковых сенсоров. Благодаря своей способности проникать сквозь облачность, радарные снимки обычно используются в тропиках или в других ситуациях, связанных с наличием облачности. Снимки также используются для анализа пространственного распределения влажности почвы на небольшой глубине.

Исходные данные

Для целей исследования использовались декадные (10 дней) продукты снимков SPOT Vegetation – растровые слои индекса состояния растительности (NDVI) за 1999, 2000, 2001 и 2002 годы; а также два мультиспектральных снимка Landsat-7 ETM+ на 28/04/2001 и 02/08/2001.

Для пространственного анализа использовались следующие слои ГИС:

- Основные зоны орошения узбекской части Ферганской долины;
- Административные районы Ферганской области Узбекистана;
- Коллективные хозяйства Кувинского района Ферганской области;
- Поля орошения одного коллективного хозяйства Кувинского района Ферганской области;
- Поля орошения трех коллективных хозяйств Ахунбабаевского района Ферганской области.

Имеющиеся в наличии спутниковые снимки использовались для исследований в следующих направлениях:

1. Классификации землепользования на основе декадных (10 дней) профилей SPOT Vegetation NDVI.

2. Анализа декадных значений SPOT Vegetation NDVI, средних по различным единицам агрегирования (зонам орошения, административным районам, коллективным хозяйствам) для интервала лет с 1999 по 2002.
3. Классификации основных культур (хлопчатника, озимой пшеницы) на основе средних значений NDVI для каждого орошаемого поля по двум снимкам Landsat-7 ETM+ за 2001 год.
4. Распознавание засоления почв путем анализа индекса неравномерности значения NDVI для каждого орошаемого поля.
5. Моделирование декадных значений коэффициентов (K_c) основных культур из значений NDVI по каждому орошаемому полю.

Классификация землепользования

Из каждого декадного снимка SPOT Vegetation NDVI для интервала лет с 1999 по 2002, был вырезана территория Ферганской долины, и декадные растровые слои для каждого года были объединены в один снимок. В результате получены четыре (для каждого года) 36-канальных снимка (каждый канал содержит значения NDVI на одну декаду).

Затем по каждому 36-канальному снимку декадных NDVI была выполнена неконтролируемая классификация (с назначением 12 классов). Результаты классификации для 2002 года показаны на рис. 1.

Профили декадных значений NDVI для типичных пикселей в пределах темно-зеленых областей (имеющих хорошее состояние растительности), и пикселя с голой почвы в период вегетации, показаны на рис. 2. Два пика на временном профиле NDVI для орошаемых площадей соответствуют двум основным культурам (озимой пшенице и хлопчатнику), культивируемым на исследуемой площади. В марте, основном сезоне дождей, пик NDVI для неорошаемой территории связан с наличием богарных пастбищ.

Так как для проведения полной классификации землепользования не было доступных наземных данных, полученные результаты были в основном использованы для уточнения слоя ГИС границ зон орошения Ферганской долины.

Анализ декадных значений SPOT Vegetation NDVI

Пространственным наложением полигонов слоев ГИС зон орошения Ферганской долины, административных районов Ферганской области и коллективных хозяйств Кувинского района на растровые слои SPOT Vegetation NDVI вычислены средние значения NDVI по различным единицам агрегирования для каждой декады 1999-2002 годов. Для анализа использовались оригинальные значения пикселей SPOT Vegetation NDVI, находящиеся в интервале (0-255). Временные профили средних значений NDVI для основных зон орошения Ферганской долины (для 1999-2002 годов) показаны на рис. 3.

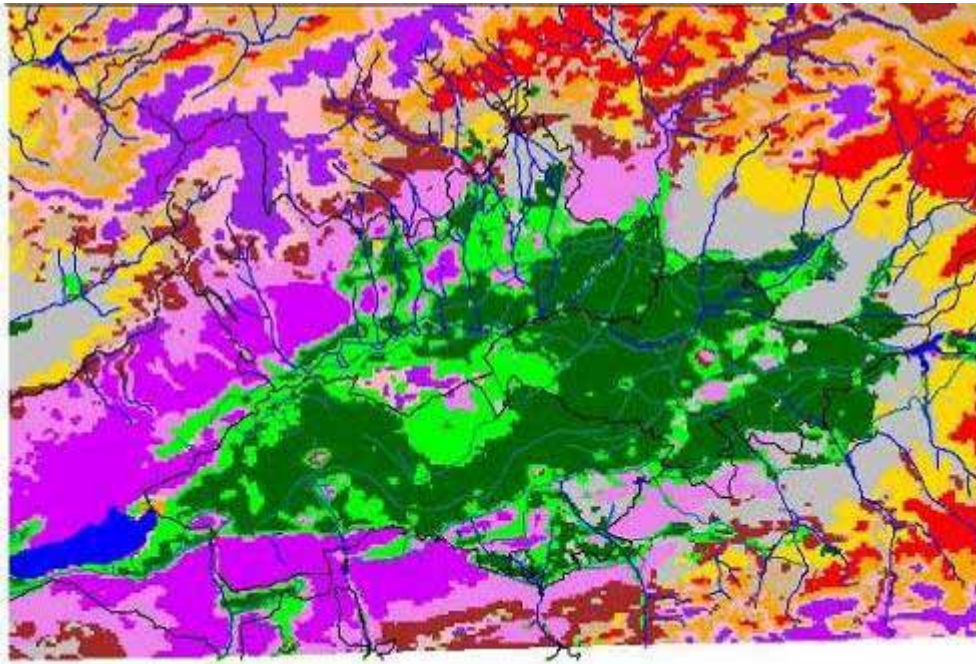


Рис. 1. Результат классификации землепользования для Ферганской долины на 2002 г.

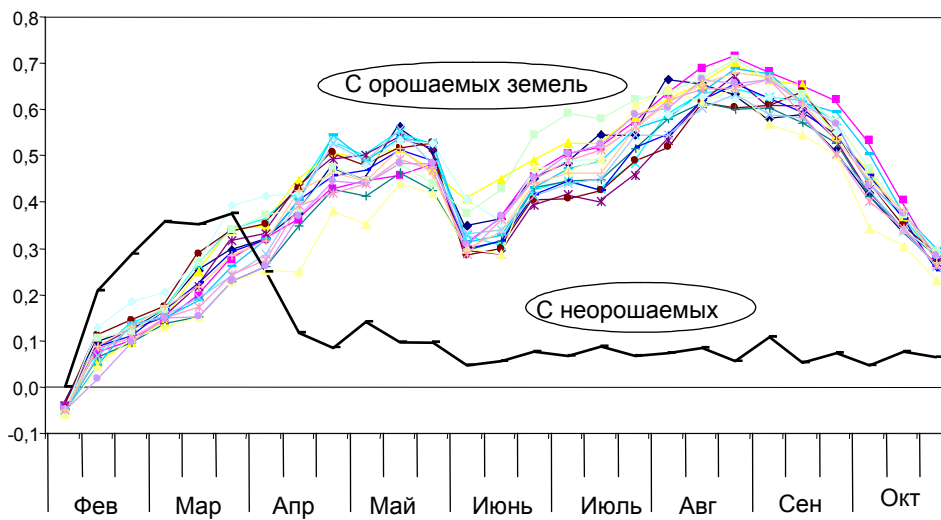
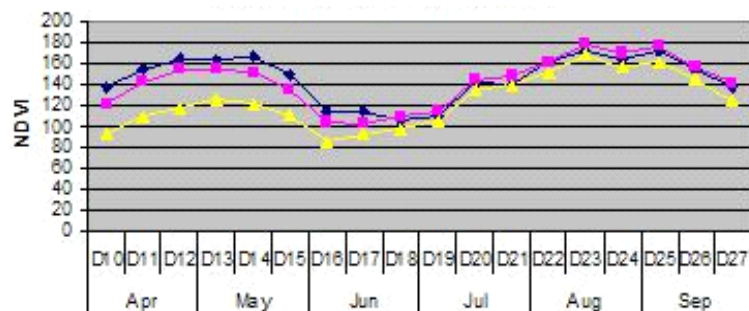
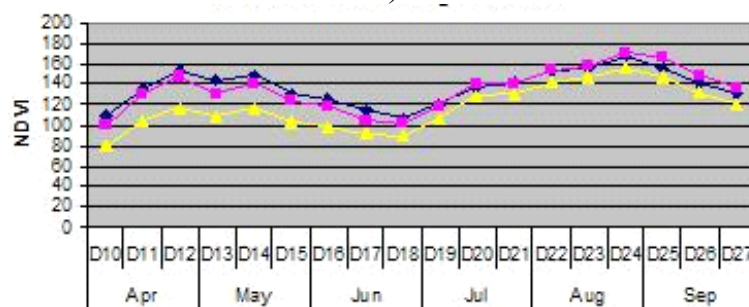


Рис. 2. Декадные значения NDVI для пикселей из орошаемых и неорошаемых земель Ферганской долины

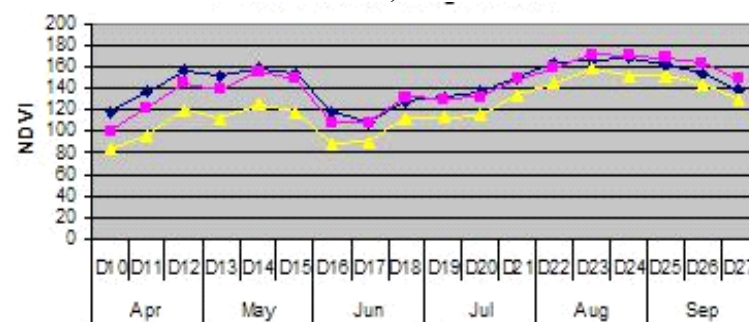
Временные профили средних значений NDVI для административных районов Ферганской области на 2002 год показаны на рис. 4. Такие же профили для некоторых коллективных хозяйств Кувинского района Ферганской области на 2002 год представлены на рис. 5.



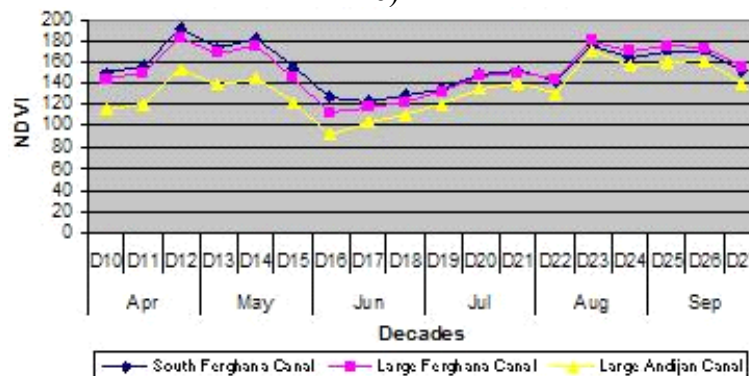
a)



b)



c)



d)

Рис. 3. Декадные значения NDVI для основных зон орошения Ферганской долины: а) 1999, б) 2000, в) 2001 д) 2002

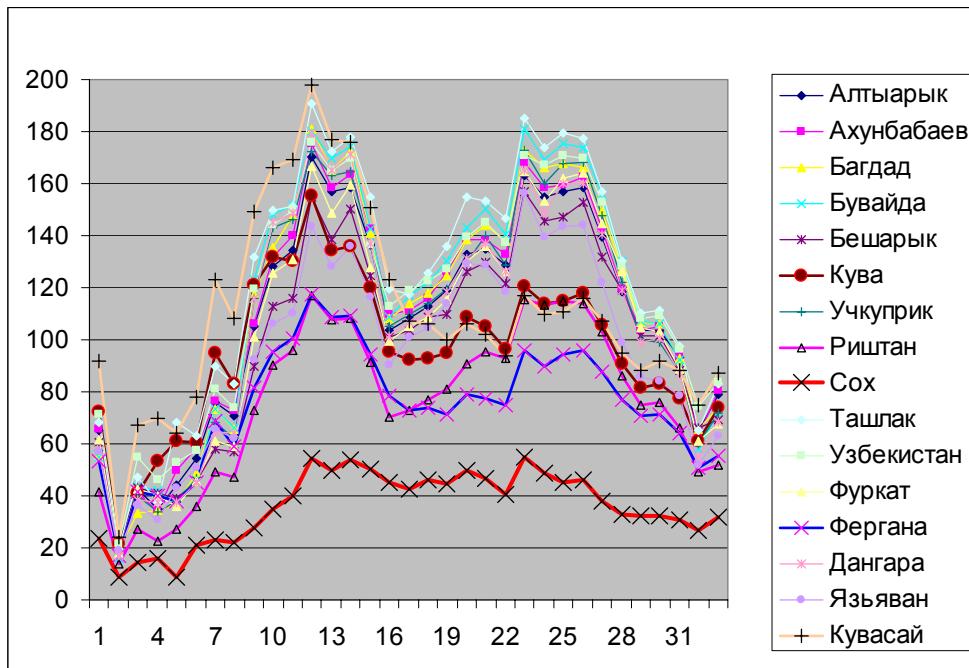


Рис. 4. Декадные значения NDVI на 2002 год для административных районов Ферганской области

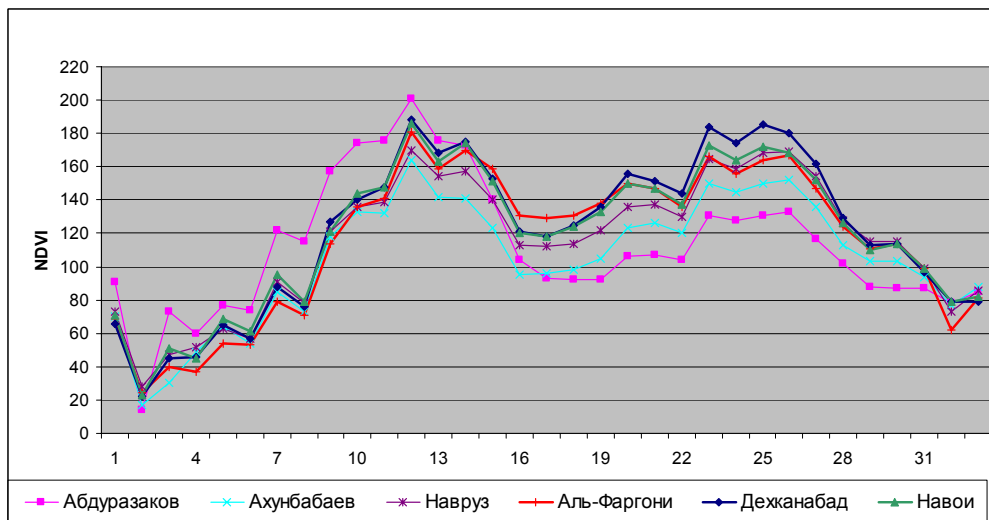


Рис. 5. Декадные значения NDVI на 2002 год для коллективных хозяйств Кувинского района

Результаты обработки снимков SPOT Vegetation NDVI показывают, что для разных единиц площади (пикселей, зон орошения основных оросительных каналов, административных районов и коллективных хозяйств) декадный профиль NDVI различен, причина этого в разной продуктивности земли, пространственной и временной неоднородности доступности воды

на орошение и пр. Для анализа причин, влияющих на декадное состояние растительности необходимо продолжить дальнейшие исследования.

Полученные результаты могут использоваться лицами, принимающими решения на региональном уровне для локализации мест, с градацией состояния растительности (регулярно высокие, средние и низкие значения NDVI) с целью более эффективного управления водными и земельными ресурсами, особенно в условиях дефицита воды на орошение.

Классификация основных культур

Известно, что значения индекса нормализованного различия растительности (NDVI) являются количественной мерой состояния растительности. Для снимков Landsat значения NDVI вычисляются по следующей формуле:

$$NDVI = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3) \quad [1]$$

где: Band4 и Band3 – номера разрядов (значения пикселей) в инфра-красном (Band4) и красном (Band3) каналах снимка.

Пространственным наложением слоя ГИС полигонов орошаемых полей на созданные растровые слои NDVI на основе двух снимков Landsat-7 ETM рассчитаны средние значения NDVI на две даты для каждого орошаемого поля территории проекта. Вычисленные значения NDVI занесены в два поля (NDVI_0428 and NDVI_0802) таблицы отличительных черт слоя ГИС полигонов орошаемых полей.

Для всех записей таблицы отличительных черт были последовательно применены четыре пространственных фильтра с использованием правил принятия решения, показанных на рис. 6. Для выбранных записей по каждому фильтру были занесены значения в созданное поле отличительных черт (C2001) – код основной сельхозкультуры (“В”- голая почва в течение года; “С” – хлопчатник; “WM” – кукуруза после озимой пшеницы; “W” – озимая пшеница).

Важным этапом является выбор порогового значения NDVI при наличии растительности, после нескольких итераций было выбрано значение NDVI, около 0,2.

Все полигоны населенных пунктов были классифицированы как “WM”, для их выделения в отдельный класс требуется визуальный анализ пикселей снимков Landsat-7 в пределах полигонов слоя ГИС. Населенные пункты очень четко выделяются при визуальной интерпретации, и для каждого полигона населенного пункта было назначено значение в новом атрибутном поле (LUC) – код землепользования.

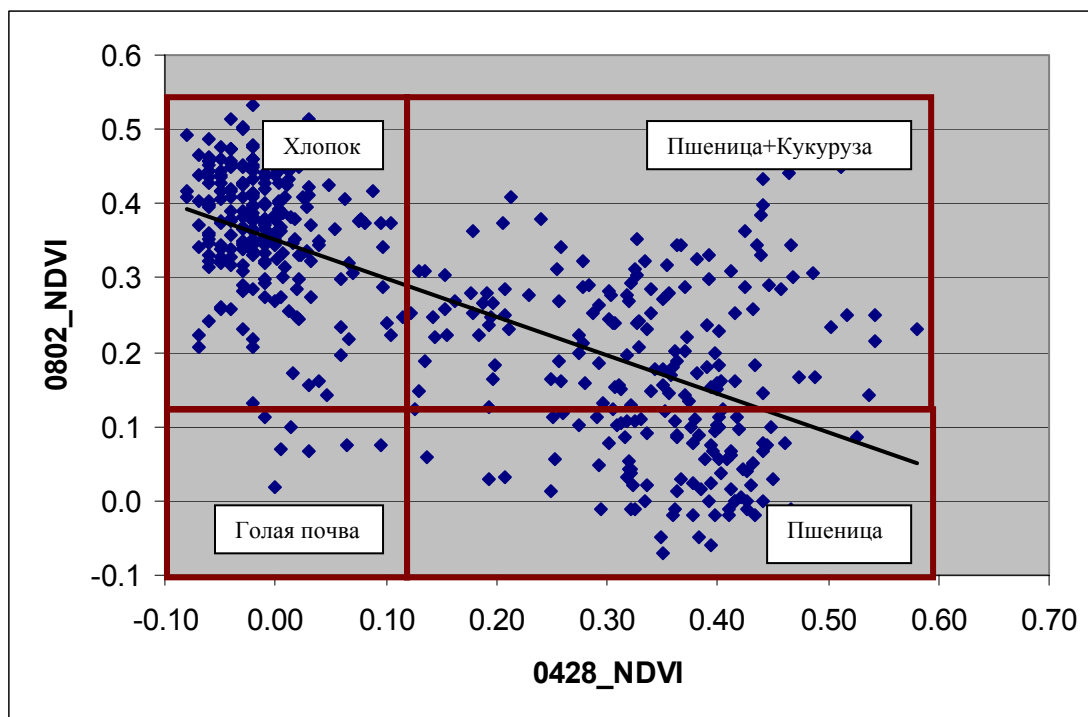


Рис. 6. Правила принятия решений для классификации основных сельхозкультур

На рис. 7 показан результат классификации основных сельхозкультур для каждого орошаемого поля территории проекта. К сожалению, надежные наземные данные для оценки точности проведенной классификации основных сельхозкультур отсутствовали. Были доступны только данные о структуре посевов для 16 орошаемых полей фермерского хозяйства «Азизбек-1» и они полностью соответствуют результатам классификации основных культур по спутниковым снимкам (100 %-точность).

Распознавание засоления почв

Существуют различные методы распознавания засоления почв по спутниковым снимкам. Типичный метод основан на анализе значений пикселей в различных спектральных каналах снимка. Но точность распознавания очень зависит от размера пятен засоления почв, находящихся в пределах каждого орошаемого поля. Учитывая пространственное разрешение мультиспектральных снимков Landsat-7 (30 м*30 м или 0,09 га), при размере пятен засоления почв, меньше, чем размер пикселя, распознать засоление невозможно. Единственный путь решения этой проблемы – использование снимков с высоким пространственным разрешением, выполненных с таких спутников, как: IRS, IKONOS или QuickBird.

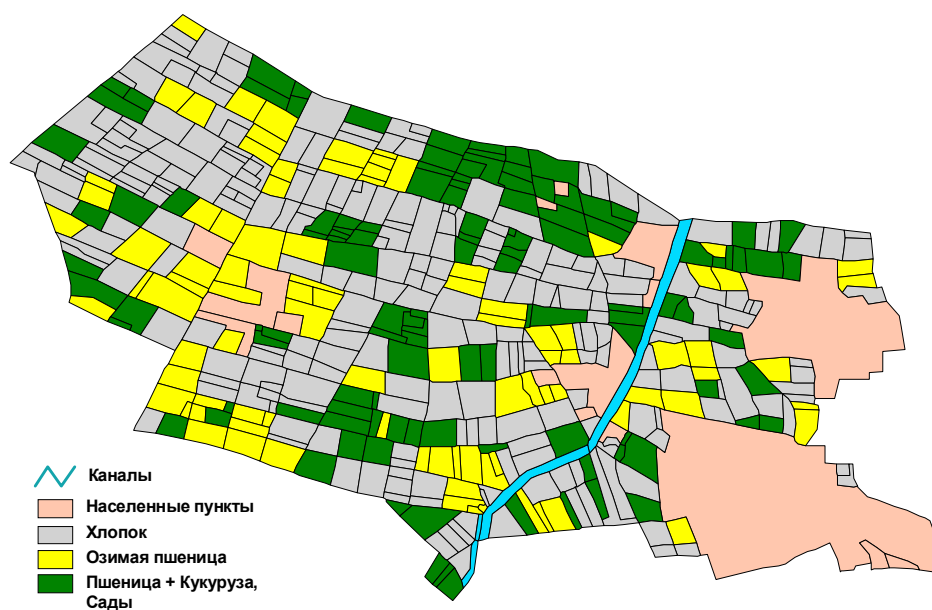


Рис. 7. Результаты классификации основных сельхозкультур по территории проекта

Ферганская долина не лучшая территория для распознавания засоления, так как не содержит больших площадей, подверженных засолению, особенно с солевой коркой на поверхности почвы, это подтвердилось в течении рекогносцировочного наземного обследования. Были обнаружены только несколько мест в Кувинском районе, имеющие проблемы с засолением почв. Вот почему было принято решение использовать две территории для сравнительного исследования по засолению почв: зону проекта в Ахунбабаевском районе и тестовую зону в Кувинском районе.

Распознавание засоления почв, использованное при исследовании, основано на анализе пространственной неравномерности покрытия растительностью каждого орошаемого поля. При этом было сделано предположение, что основной причиной пространственной неоднородности NDVI на орошаемых полях является засоления почв. Очевидно, что возможны и другие причины неоднородности состояния растительности, такие как: нехватка оросительной воды, плохая планировка полей, отсутствие удобрений, и прочие причины. Фактически, обработкой спутниковых снимков лишь для одного года невозможно распознать причины пространственной неоднородности NDVI. Это достижимо только при анализе сезонных спутниковых снимков за ряд лет (2-3 года), путем создания пространственного фильтра для выделения орошаемых полей, с регулярно высокой неоднородностью состояния растительности (NDVI).

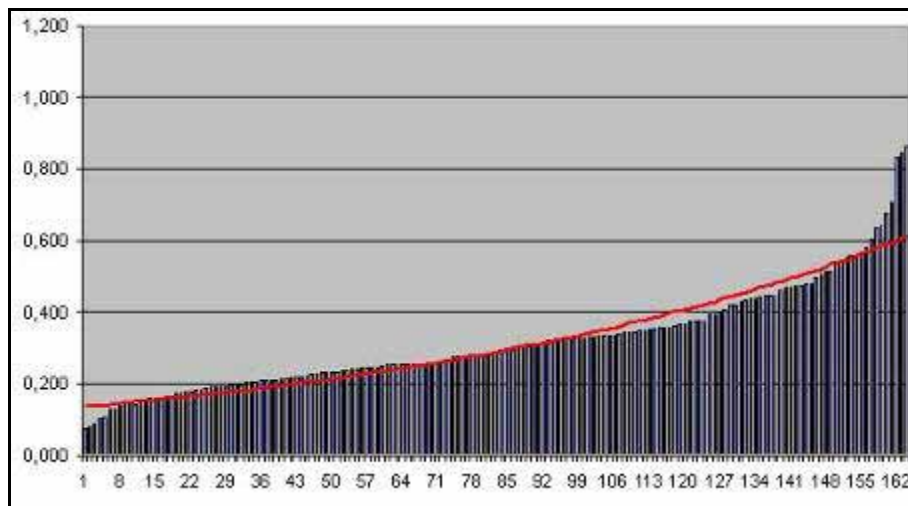
На рис. 8 показаны результаты частотного анализа индекса неоднородности NDVI на 28/04/2001 для зоны проекта в Ахунбабаевском районе и

тестовой зоны в Кувинском районе. Полученные уравнения зависимости, соответственно:

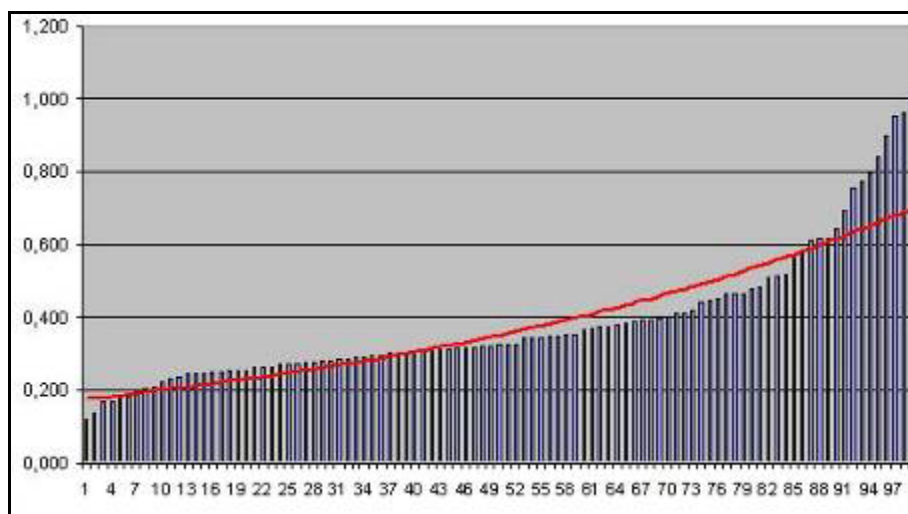
$$y = 0,1352 e^{0,0092 x} \quad \text{с } R^2 = 0,9398,$$

$$y = 0,1748 e^{0,014 x} \quad \text{с } R^2 = 0,908,$$

указывают на хорошее совпадение данных.



а)



б)

Рис. 8. Частотный анализ индексов неоднородности NDVI для:
а) зоны Ахунбабаевского района и б) тестовой зоны Кувинского района

В сравнении с зоной проекта в Ахунбабаевском районе, тестовая зона в Кувинском районе содержит большее количество орошаемых полей с высокими значениями индекса неоднородности (НИ) растительности (между 0,6 и 1,0), это может быть связано со свойствами почв, в частности, с засолением.

Однако, для проверки пространственной стабильности вычисленных индексов неоднородности состояния растительности для различных лет и сезонов, необходимо использование спутниковых снимков Landsat-7 для исследуемых зон за ряд лет. Орошаемые поля с регулярно высокими значениями HI и низкими NDVI являются первоочередными кандидатами на сбор детальных наземных данных с измерениями и оценками степени засоления почв.

Корреляция между значениями индекса равномерности растительности (HI) и состояния растительности (NDVI), средних по каждому орошаемому полю, может использоваться как показатель продуктивности использования орошаемых земель (рис. 9). В правой стороне графика расположены орошаемые поля с высокими значениями NDVI и низкой неоднородностью растительности (сельхозкультуры в хорошем состоянии), а в левой части можно видеть поля с низкими значениями NDVI и высокой неоднородностью растительности (т. е. необходимы меры по улучшению ситуации).

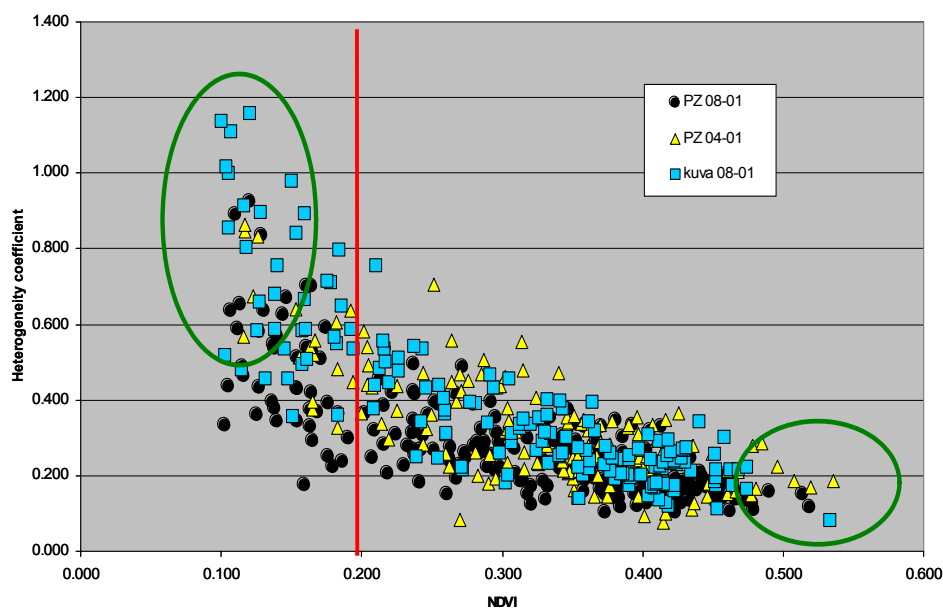


Рис. 9. Значения индекса неравномерности (HI) и состояния растительности (NDVI) для орошаемых полей

Моделирование декадных значений коэффициентов (K_c) основных сельхозкультур

Так как пиксели снимков SPOT Vegetation покрывают «на земле» площадь в 100 га, а обычный размер орошаемого поля от 4 до 10 га, в пределах орошаемых площадей Ферганской Долины невозможно найти «чистый» пиксель, представленный только одной сельхозкультурой. Таким образом, при использовании снимков SPOT Vegetation всегда приходится

иметь дело со «смешанными» пикселями, содержащими информацию как о растительности, так и о голой почве.

Для моделирования декадных значений коэффициентов (K_c) основных сельхозкультур, необходимо использование данных из трех источников:

1. Декадные снимки SPOT Vegetation NDVI;
2. Снимки Landsat-7 ETM+, на даты максимума развития растительности основных сельхозкультур (в нашем случае: озимой пшеницы и хлопчатника); и
3. Слой ГИС полигонов орошаемых полей.

На первом этапе был выполнен анализ соответствия спутниковых данных из этих источников, так как планировалось одновременно использовать данные разных сенсоров с различным пространственным разрешением. Для этого был проведен анализ корреляции между деградированными (до 600 м) значениями NDVI исходных снимков Landsat-7 (30 м) и вычисленными средневзвешенными значениями NDVI для каждого орошаемого поля, находящегося в пределах деградированного пикселя.

Границы деградированных пикселей Landsat-7 (красные линии) и тематический растровый слой градаций NDVI, полученный на основе снимка Landsat-7 показан на рис. 10.

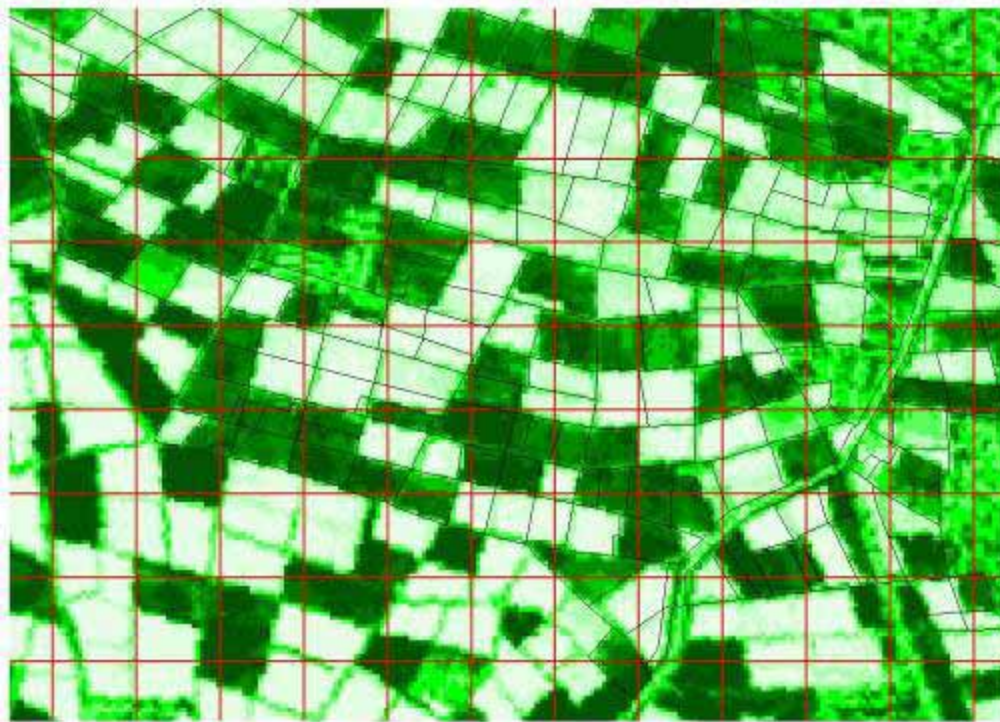


Рис. 10. Тематический слой градаций NDVI по снимку Landsat с границами пикселей, деградированных до 600 м

Хорошая корреляционная связь между значениями деградированных пикселей (600 м) и вычисленными средневзвешенными значениями NDVI для орошаемых полей, в пределах каждого деградированного пикселя была

получена на обе даты спутниковых снимков Landsat-7: 28/04/2001 (рис. 11a) и 02/08/2001 (рис. 11b). Соответствующие уравнения регрессии:

$$y = 0,7788 x + 0,0516 \quad \text{с } R^2 = 0,9413,$$

$$y = 0,8697 x + 0,0345 \quad \text{с } R^2 = 0,9454.$$

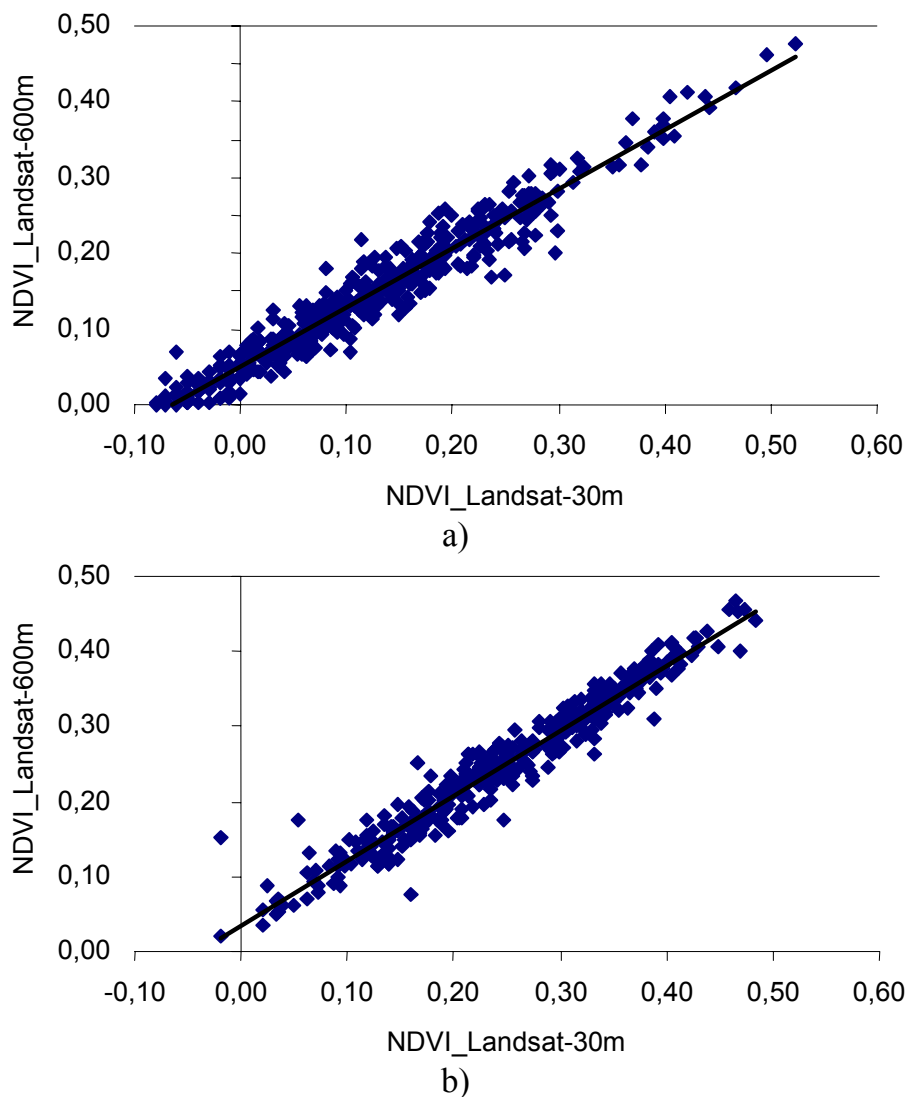


Рис. 11. Корреляция между значениями деградированных пикселей (600 м) и вычисленными средневзвешенными значениями NDVI по снимкам Landsat (30 м) на а) 28/04/2001 и б) 02/08/2001

Подобный корреляционный анализ был выполнен между средневзвешенными значениями NDVI по снимкам Landsat-7 (на 28/04/2001 и 02/08/2001), для частей орошаемых полей, находящимся в пределах каждого пикселя SPOT Vegetation и значениями NDVI по снимкам SPOT Vegetation на 12-ю и 22-ю декады 2001 г., соответственно. Наилучшая ко-

релляция выявлена для орошаемых полей, классифицированные как “Пшеница+Кукуруза” на Август, 2001 (рис. 12), с уравнением:

$$y = 0,8801 x + 0,0397 \quad \text{с } R^2 = 0,8568.$$

Кроме этого, при анализе отдельных пикселей с плохим состоянием растительности, было выявлено, что сенсор SPOT Vegetation более чувствителен к присутствию растительности, чем сенсор Landsat-7 ETM.

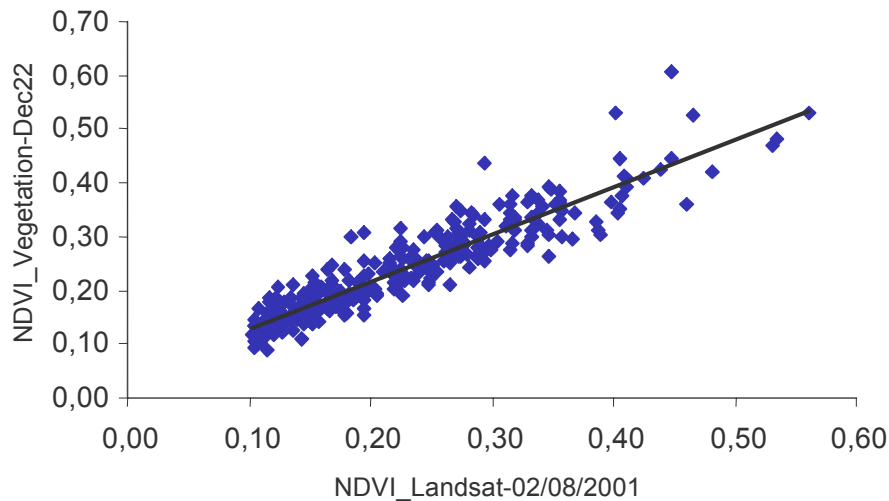


Рис. 12. Корреляция между значениями пикселей SPOT Vegetation (1000 м) на 22-ю декаду 2001 г. и вычисленными средневзвешенными значениями NDVI по снимкам Landsat (30 м) на 02/08/2001

На основе растровых слоев SPOT Vegetation NDVI был создан векторный слой ГИС, каждый полигон которого соответствовал пикселю NDVI и в созданные поля отличительных черт занесены декадные значения NDVI для каждого полигона. Пространственным наложением этого слоя ГИС на слой ГИС орошаемых полей создан новый слой ГИС, в котором полигоны орошаемых полей были поделены на части при пересечении с полигонами границ пикселей SPOT Vegetation NDVI.

Для моделирования декадных значений NDVI по каждому орошаемому полю использовано допущение, что пропорция полей с растительностью и голой почвой в пределах каждого пикселя SPOT Vegetation NDVI по состоянию на 28/04/2001 является репрезентативной для декад с номерами от 7 до 16, и эта пропорция по состоянию на 02/08/2001 репрезентативна для декад с 17 по 30. Таким образом, на основе пропорции площадей частей орошаемых полей, находящихся в пределах каждого полигона пикселей SPOT Vegetation и их значений NDVI, вычисленных из обоих снимков Landsat-7 ETM, были рассчитаны декадные значения NDVI для каждой части орошаемых полей. После этого, средневзвешенные значения NDVI рассчитаны для каждого орошаемого поля, на основе значений NDVI его частей по всем декадам. Статистические результаты моделирования декадных значений NDVI для 206 орошаемых полей, классифицированных как

«Пшеница» показаны на рис. 13, то же для 670 полей «Хлопчатник» показаны на рис. 14.

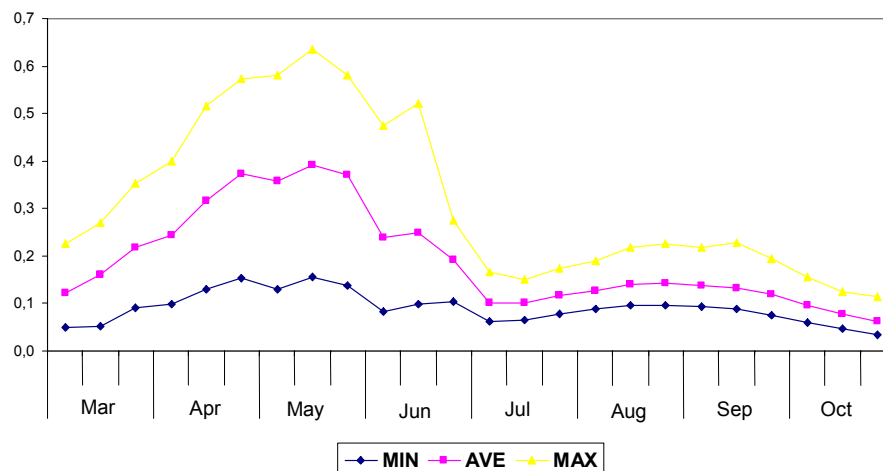


Рис. 13. Статистика моделированных декадных значений NDVI для полей «Пшеница»

Известно, что существует сильная корреляционная связь между значениями NDVI из снимков Landsat-7 ETM и значениями коэффициентов сельскохозяйственных культур (K_c). В публикации FAO-56 (Allen *et al.*, 1998) рекомендовано использование максимального значения K_c , равного 1,2, для озимой пшеницы и хлопчатника. На основе этого, в первом приближении, декадные значения коэффициентов основных культур были рассчитаны из моделированных значений NDVI с использованием простой формулы:

$$K_c = 2 * NDVI \quad [2]$$

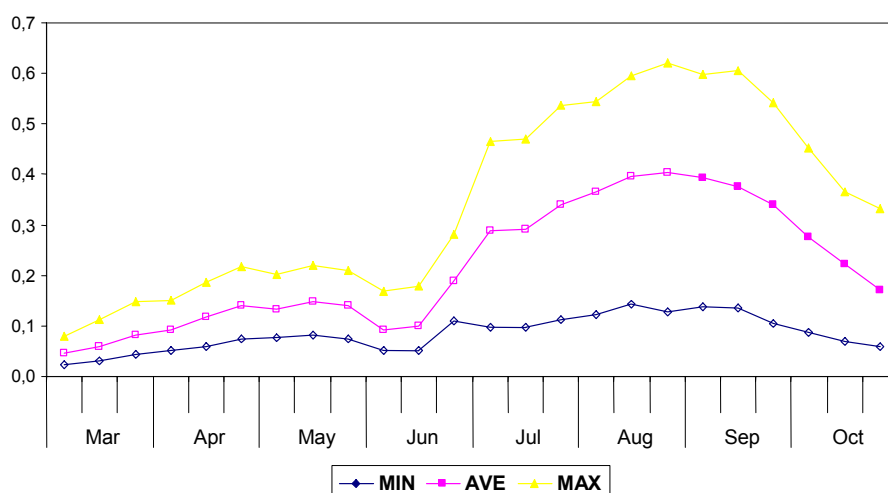


Рис. 14. Статистика моделированных декадных значений NDVI для полей «Хлопчатник»

Моделированные на основе данных спутникового зондирования Земли декадные коэффициенты (K_c) основных сельхозкультур могут использоваться для корректировки рекомендованных ФАО значений K_c , при уточнении применительно к местным условиям (рис. 15). В дальнейшем результаты моделирования декадных значений K_c по спутниковым снимкам необходимо проверить для различных лет и других местоположений объектов.

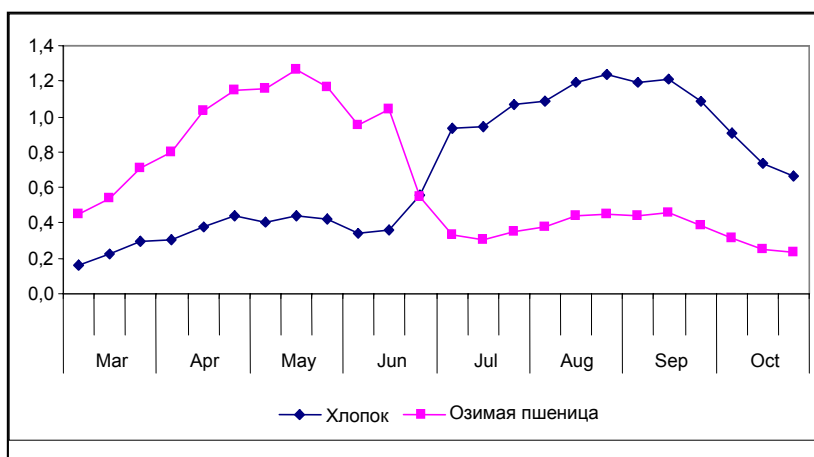


Рис. 15. Максимальные декадные значения K_c для основных сельхозкультур, моделированные с использованием спутниковых снимков

Выводы

Метод классификации основных сельхозкультур на основе анализа значений NDVI, вычисленных с использованием мультиспектральных спутниковых снимков Landsat-7 ETM, показал довольно хорошие результаты.

Предварительные результаты распознавания засоления почв путем анализа индекса равномерности растительности по каждому орошаемому полю могут быть улучшены при использовании сезонных снимков Landsat за ряд лет. Гипер-спектральные, а также улучшенного пространственного разрешения мульти-спектральные спутниковые снимки позволят значительно повысить точность распознавания засоления почв.

Совместное использование снимков низкого пространственного, но высокого временного разрешения (SPOT Vegetation NDVI), и снимков высокого пространственного, но низкого временного разрешения (Landsat-7 ETM), вместе со слоем ГИС полигонов орошаемых полей, дает возможность моделировать декадные значения коэффициентов основных сельхозкультур (K_c) на основе значений NDVI. Проверенные значения K_c могут использоваться для моделирования в среде ГИС фактической потребности сельскохозяйственных культур в воде, как для отдельных полей орошения, так и для любой исследуемой площади.

Библиография

- Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes and M. Smith, 1998. Crop evapotranspiration, guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage, Paper 56, Rome, 300 pp.
- Bastiaanssen, W.G.M., 1998. Remote Sensing in Water Resources Management: The state of the art. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Chemin, Y., Platonov, A., Abdullaev, I., Ul-Hassan, M., 2004. Supplementing farm level water productivity assessment by Remote Sensing in transition economies. *Agricultural Water Management* (in press).
- Eerens, H., Kempeneers, P., Piccard, I., Verheijen, Y., 2001. Crop monitoring and yield forecasting with NOAA-AVHRR or SPOT-Vegetation. *Remote Sensing of Environment* 75: 15 – 20.
- Gitelson, A., Kaufman, J., 1998. MODIS NDVI optimization to fit the AVHRR data series—spectral consideration. *Remote Sensing of Environment* 66: 343–350.
- McNairn, H., Deguise, J.C., Pacheco, A., Shang, J., Rabe, N., 2001. Estimation of crop cover and chlorophyll from hyper-spectral Remote Sensing. 23rd Canadian Remote Sensing Symposium, Sainte-Foy, Québec, Canada.
- Metternicht, G.I., Zinck J.A., 2003. Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment* 85: 1 – 20.
- Milne, B.T., Cohen, W.B., 1999. Multi-scale assessment of binary and continuous landcover variables for MODIS validation, mapping, and modeling applications. *Remote Sensing of Environment* 70: 82 – 98.
- Pacheco, A., Bannari, A., Deguise, J., McNairn, H., Staenz K., 2001. Application of Hyperspectral Remote Sensing for LAI Estimation in Precision Farming. 23rd Canadian Remote Sensing Symposium, Sainte-Foy, Québec, Canada.
- Staenz, K., Williams, D.J., 1997. Retrieval of surface reflectance from hyper-spectral data using a look-up table approach, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 23 (4): 354-368.
- Vincent, B., Vidal, A., Tabbet, D., Baqri, A., Kuper, M., 1996. Use of satellite remote sensing for the assessment of waterlogging and salinization as an indication of the performance of drained systems, 16th Congress ICID, Egypt, 15-22 September 1996, New Delhi, India.
- Zhan, X., Sohlberg, R.A., Townshend, J.R.G., DiMiceli, C., Carroll, M.L., Eastman, J.C., Hansen, M.C., DeFries, R.S., 2002. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. *Remote Sensing of Environment*: 83: 336 – 350.