

# **УПРАВЛЕНИЕ ОРОШЕНИЕМ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПРОЦЕССАМИ ОПУСТЫНИВАНИЯ В БАССЕЙНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ**

## **ОЦЕНКА И ИНСТРУМЕНТЫ**

**Под редакцией**

**проф. Л. С. Перейра**

Центр агротехнических исследований,  
Институт сельского хозяйства,  
Технический университет Лиссабона,  
Лиссабон, Португалия

**проф. В. А. Духовного**

Научно-информационный центр  
Межгосударственной координационной комиссии  
Центральной Азии,  
Ташкент, Узбекистан

**инж. М. Г. Хорста**

Среднеазиатский научно-исследовательский  
институт ирригации им. В.Д. Журина,  
Ташкент, Узбекистан

**Vita Color**

Ташкент 2005

УДК 681.5: 631.67+631.617

ББК 20.18

У 67

Под общей редакцией проф. Л. С. Перейра, проф. В. А. Духовного,  
инж. М. Г. Хорста

Данные совместного исследовательского проекта  
EU CIRMAN-ARAL ICA2-CT-2000-10039

Издано при финансовой поддержке программы  
INCO-Copernicus Европейского Союза

У 67     **Управление** орошением для борьбы с процессами опустынивания  
в бассейне Аральского моря. Оценка и инструменты / Общ. ред.  
Л. С. Перейра, В. А. Духовного, М. Г. Хорста. – Ташкент: Vita Color,  
2005. – 422 с.: ил.

ISBN 9965-25-744-2

Книга представляет собой сборник научно-технических статей, представляющих основные результаты совместного научно-исследовательского проекта «Управление орошением сельскохозяйственных культур с целью борьбы с антропогенным опустыниванием в бассейне Аральского моря».

УДК 681.5: 631.67+631.617

ББК 20.18

У  $\frac{1502010400}{00(05) - 05}$

© Agricultural Engineering Research Center,  
Institute of Agronomy,  
Technical University of Lisbon, 2005  
© Научно-информационный центр МКВК, 2005  
© Vita Color, 2005

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Представляемая вниманию читателя книга представляет собой сборник научно-технических статей, представляющих основные результаты совместного научно-исследовательского проекта «Управление орошением сельскохозяйственных культур с целью борьбы с антропогенным опустыниванием в бассейне Аральского моря». Проект финансируется Европейским Союзом в рамках программы INCO-Copernicus (контракт No. ICA2-ST-2000-10039).

Идея подготовки этой книги возникла в результате успешного сотрудничества ученых и специалистов Португалии, Франции, Узбекистана, Кыргызстана в этом проекте. В ходе выполнения проекта было достигнуто прекрасное взаимопонимание и взаимодействие всех участников. Различия в базовых школах партнеров были сглажены заинтересованностью в получении дополнительных знаний, совершенствовании методологии оценок, инструментария научных исследований и управления и практической деятельности. Сотрудничество было обусловлено общими интересами:

- Способствовать решению проблемы антропогенного опустынивания
- Повысить устойчивость орошаемого земледелия в Центральной Азии
- Получить новые знания и развить научные подходы, которые были бы полезны для всех организаций-участников проекта и представляемых ими стран.

Результаты имеют разнообразный характер: с одной стороны, разработка информационных технологий в области орошаемого земледелия и природных ресурсов, с другой стороны, подготовка современной основы для внедрения новых методов, технологий и моделей. Данное исследование прежде всего было ориентировано на перспективы применения, воспроизводимость полученных результатов и полезность для конечных пользователей. Представляемая читателям книга является также средством ознакомления с сутью результатов проекта всех заинтересованных в решении проблем бассейна Аральского моря, а также других регионов, сталкивающихся с проблемами дефицита воды и опустынивания. Нынешний вклад является небольшим и ограниченным по масштабам, но, несомненно, полезным для многих.

Выражаем благодарность Луису Корейра и Ванде Родригес за редактирование и подготовку заключительных форматов английской версии статей, Ойгуль Усмановой и Виктории Дашиной за перевод русских текстов на английский язык, Искандеру Беглову и Баходыру Турдыбаеву за подготовку заключительных форматов русской версии статей, Пауле Паредес и Раи-

се Кадыровой за содействие в управлении проектом в течение всех этих лет. Особая благодарность за большую поддержку и преданность делу референтам по проекту, Мишелю Дженовезе, а затем сменившему его д-ру Энрике Пляяну (ЕС, DG XII).

Редакторы

Л.С. Перейра, В.А. Духовный и М.Г. Хорст

## FOREWORD

This book is a compilation of scientific and technical texts purposefully prepared to present the main results of the cooperative research project “Crop irrigation management for combating irrigation induced desertification in the Aral Sea Basin”, funded by the European Union, INCO-Copernicus Program (Contract number: ICA2 – CT-2000 – 10039).

The idea of preparing this book results from the successful collaboration among the scientists and professionals from Portugal, France, Uzbekistan, and Kyrgyzstan throughout the project. Excellent understanding and cooperation were developed throughout the duration of the project. Differences in background schools of partners were attenuated by the interest in going further in upgrading knowledge, assessment methods, and research and management tools and practices. Collaboration was dictated by common grounds:

- contribute to solve the irrigation-induced desertification
- make irrigated agriculture in the Central Asia effectively sustainable
- develop new knowledge and scientific tools that would be useful to all participant institutions and the respective countries.

Achievements are of diverse nature: on one hand, the development of information technologies for irrigated agriculture and natural resources, on the other hand, preparation of new grounds for implementing new methods, techniques and models. The application perspective, the implementation conditions and the usefulness for the end users were always present in this research. The book is also a mean to make available the essential of project findings to all interested in the solution of the problems of the Aral Sea basin, as well as of other regions facing water scarcity and desertification problems. This contribution is small and limited in scope but is for sure useful for many.

Thanks are due to Mr. Luis Correia and Mrs. Vanda Rodrigues for revising and preparing the final formats of the English versions of the papers, to Ms. Oy-gul Usmanova and Mrs. Victoria Dashina for translating into English the Russian texts, to Dr. Iskander Beglov and Mr. Bakhodyr Turdybayev for preparing the final formats of the Russian versions of the papers and to Ms. Paula Paredes and Ms. Raisa Kadyrova for facilitating the project management through all these years. The great support and dedication by the technical officers in charge of the project, first Mr. Michele Genovese and later Dr. Enrique Playan (EU, DG XII) are greatly acknowledged.

The Editors

L. S. Pereira, V. A. Dukhovny and M. G. Horst

## СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ .....	3
Часть 1 ВВЕДЕНИЕ.....	9
Глава 1. ВВЕДЕНИЕ В ИННОВАЦИОННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ Л. С. Перейра .....	9
Глава 2. БАССЕЙН АРАЛЬСКОГО МОРЯ – ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ В.А. Духовный, Л.С. Перейра.....	22
Часть 2 ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА И ДИСТАНЦИОННЫЙ СБОР ДАННЫХ.....	42
Глава 3. БАЗА ЗНАНИЙ ПРОЕКТА «УПРАВЛЕНИЕ ОРОШЕНИЕМ ДЛЯ БОРЬБЫ С ПРОЦЕССАМИ ОПУСТЫНИВАНИЯ В БАССЕЙНЕ АРАЛЬСКОГО МОРЯ» Б.К. Турдыбаев, И.Ф. Беглов, А.Г. Пулатов, Н.Д. Ананьева .....	42
Глава 4. ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ОРОШЕНИЕМ С ЦЕЛЬЮ БОРЬБЫ С ПРОЦЕССАМИ АНТРОПОГЕННОГО ОПУСТЫНИВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ) В.И. Соколов, А.И. Тучин .....	56
Глава 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОРОШЕНИЯ А.Е. Платонов, Б. Винсент .....	68
Часть 3 ВНУТРИХОЗЯЙСТВЕННОЕ ОРОШЕНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ВОДОЙ.....	86
Глава 6. СРЕДСТВА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ГРАФИКА ПОЛИВОВ: WINISAREG И GISAREG П.С.Фортес, П.Р. Теодоро, А.А. Кампос, П.М. Матеус, Л.С. Перейра.....	86

Глава 7. ТЕСТИРОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ ОРОШЕНИЯ ISAREG ДЛЯ ХЛОПЧАТНИКА И ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ Э.Д. Чолпанкулов, О.П. Инченкова, Л.С. Перейра, П. Парадес .....	104
Глава 8. СТРАТЕГИИ ОРОШЕНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ДЕФИЦИТА ВОДЫ Э.Д. Чолпанкулов, О.П. Инченкова, П. Парадес, Л.С. Перейра .....	137
Глава 9. ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЕРОЗЕМНЫХ ПОЧВ И РАЗВИТИЯ КУЛЬТУР С ЦЕЛЬЮ КАЛИБРОВКИ МОДЕЛИ «RZWQM» ДЛЯ ЕЁ ПРИМЕНЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ Г.В. Стулина, М.Р. Камейра .....	163
Глава 10. КАЛИБРОВКА МОДЕЛИ RZWQM И ПОИСК АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ ОРОШЕНИЯ И ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР Г.В.Стулина, М.Р. Камейра, Л.С. Перейра .....	181
Глава 11. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОЛИВА ПО БОРОЗДАМ НА ЗЕМЛЯХ С БОЛЬШИМИ УКЛОНАМИ К.М. Кулов, А.Ж. Атаканов, П.М. Жоошов, Н.Ж. Шаршекеев.....	195
Глава 12. АНАЛИЗ ПРОДУКТИВНОСТИ ЗЕМЛИ И ВОДЫ С. Нерозин.....	209
Глава 13. ОЦЕНКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА И ВОДОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ОРОШЕНИИ ХЛОПЧАТНИКА М.Г.Хорст, Ш.Ш.Шамуталов, Д.М. Гонсалвес, Л.С.Перейра .....	224
Глава 14. ДИСКРЕТНЫЙ ПОЛИВ В КАЧЕСТВЕ ПРИЕМА ВОДОСБЕРЕЖЕНИЯ М.Г. Хорст, Ш.Ш. Шамуталов, Д.М. Гонсалвес, Л.С. Перейра .....	249
Часть 4 ДРЕНАЖ И КОНТРОЛЬ ЗАСОЛЕНИЯ .....	275
Глава 15. ДРЕНАЖ И КОНТРОЛЬ ЗАСОЛЕНИЯ: ОБЗОР ПРОБЛЕМ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В.А. Духовный, Х. Якубов, П.Д. Умаров.....	275

Глава 16. ВЗАИМОСВЯЗЬ МЕЖДУ ОРОШЕНИЕМ И ДРЕНАЖЕМ В.А. Духовный, Х.И. Якубов, П.Д. Умаров.....	299
Часть 5 ИНСТРУМЕНТЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ .....	316
Глава 17. РАБОТА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛОВ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ В.А. Духовный, А.И. Тучин .....	316
Глава 18. SADREG – СППР (СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ) ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ ОРОШЕНИИ Дж.М. Гонсалвес, М.Г. Хорст, Дж. Ролим, А.Муга.....	337
Глава 19. МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ НА ОРОШЕНИЕ И ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ: МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ РЕШЕНИЙ (DSS) SEDAM Дж.М. Гонсалвес, А. Муга, П. Матеус, А.А. Кампос .....	373
Часть 6 БУДУЩЕЕ РАЗВИТИЕ.....	401
Глава 20. БУДУЩИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ВОДОЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ В.А. Духовный, Л. С. Перейра .....	401

---

## Часть 1

# ВВЕДЕНИЕ

---

### Глава 1.

## ВВЕДЕНИЕ В ИННОВАЦИОННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ДОСТИЖЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ОРОШАЕМОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Л. С. Перейра<sup>1</sup>

**Реферат:** После более чем четырех лет совместных исследований в рамках проекта EU-INCO CIRMAN-ARAL мы добились ряда достижений, представленных инструментами и методами управления по совершенствованию орошения в бассейне Аральского моря и странах Центральной Азии. В данной главе представлены основные инструменты и методы управления, разработанные для орошения и дренажа в регионе в свете угрозы дефицита воды, опустынивания, засоления, ограниченных экономических ресурсов, роста населения, обусловивших затруднения при переходе от централизованной к рыночной экономике. Инструменты и методы адресованы информационным технологиям, таким как системы баз знаний, системы баз данных с применением дистанционного зондирования, математические имитационные модели и системы поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** бассейн Аральского моря, Ферганская долина, информационные системы, модели, СППР (системы поддержки принятия решений), Орошение и дренаж, опустынивание, влияние на окружающую среду.

---

<sup>1</sup> Координатор проекта, Agricultural Engineering Research Center, Institute of Agronomy, Technical University of Lisbon, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisbon, Portugal. Email: lspereira@isa.utl.pt

## **Введение**

Проект «Управление орошением с целью борьбы с опустыниванием в бассейне Аральского моря», финансируемый программой INCO Copernicus в рамках Пятой Рамочной программы Европейского Союза, был инициирован в 2001 году и завершен в 2005 году. В результате сотрудничества четырех центральноазиатских и двух европейских институтов был выполнен большой объем исследовательских работ. Это привело к ряду достижений, внесших свой вклад в устойчивость орошаемого земледелия в регионе и борьбу с опустыниванием, вызванным чрезмерным водопотреблением, накоплением солей в возвратных стоках, засолением земель и другими негативными факторами нецелесообразного использования воды.

В ходе проекта было подтверждено, что существуют такие инструменты и методы управления, которые могут остановить и обратить текущие негативные процессы, и, несомненно, содействовать новым приемам земледелия и управления водой, ведущим к устойчивым урожаям, которые, будем надеяться, повысят продуктивность земли и воды и доходы фермеров, а также помогут разработать передовые методы управления водой на уровне канала и на верхнем уровне водной иерархии.

Проект показал, что сочетая существующие знания соответствующим образом с новыми передовыми знаниями, возможно создание новых инструментов, вводя в практику информационные технологии эпохи информации и коммуникации на основе совместимых и логически связанных научных и технологических знаний, как это продемонстрировано на примере центральноазиатских научно-исследовательских организаций. Хотя и политические и экономические изменения существенно повлияли на их научно-исследовательский потенциал, но потенциал знаний продолжает оставаться прочной базой для будущего развития и, в частности, для претворения в жизнь результатов исследований и инструментов, созданных в рамках данного проекта. Это наглядно показано в данном сборнике, где в части 2 продемонстрирован особый подход к решению задач будущего развития.

## **Цели исследования**

Орошение в бассейне Аральского моря имело довольно противоречивые эффекты. С одной стороны, оно обеспечило условия для выращивания продовольственных сельхозкультур и хлопкового волокна, тем самым обеспечив занятость и доходы сельского населения, а также городского населения, занятого в агропромышленности и в текстильной промышленности. С другой стороны, орошение привело к значительному сокращению стока в реках, впадающих в Аральское море, накоплению солей на некоторых возделываемых землях, где не был осуществлен эффективный дренаж, и повышению минерализации воды в реках, выполняющих роль собирателей дренажных вод. Другими словами, ирригация преуспела в обеспечении условий для развития в полуаридных зонах Центральной Азии, но ее отри-

цательное воздействие на окружающую среду ведет к физическому опустыниванию, т. е. в перспективе к постоянной диспропорции в водообеспеченности вследствие отбора воды и ухудшения ее качества в сочетании с деградацией почв, в основном вследствие засоления, с уменьшением емкости экосистем и деградации Аральского моря (рис. 1), прежде большого пресноводного озера, а сейчас засоленного и усыхающего.

Национальными и международными организациями было предпринято множество действий, направленных на борьбу с данным антропогенным опустыниванием и улучшение экономических, социальных и экологических условий в этом регионе. Основные действия в сельском хозяйстве фокусировались на дренаже и контроле засоления, а также на эксплуатации и управлении крупными оросительными системами. Данный проект был сосредоточен на совершенствовании орошения на уровне хозяйств, поскольку эффективность полевого дренажа, объем дренажного стока и количество солей, поступающих в воду низовьев зависят от того, как управляют оросительной водой на уровне хозяйств, а совершенствование управлением водой в системах транспортировки и распределения воды и сокращение изъятия водных ресурсов для целей орошения, весьма зависят от спроса хозяйств на воду. Одновременно, проект также включал исследования по дренажу и контролю засоления и вопросам графиков и способов водоподачи с целью увязки спроса хозяйств и режимов орошения.

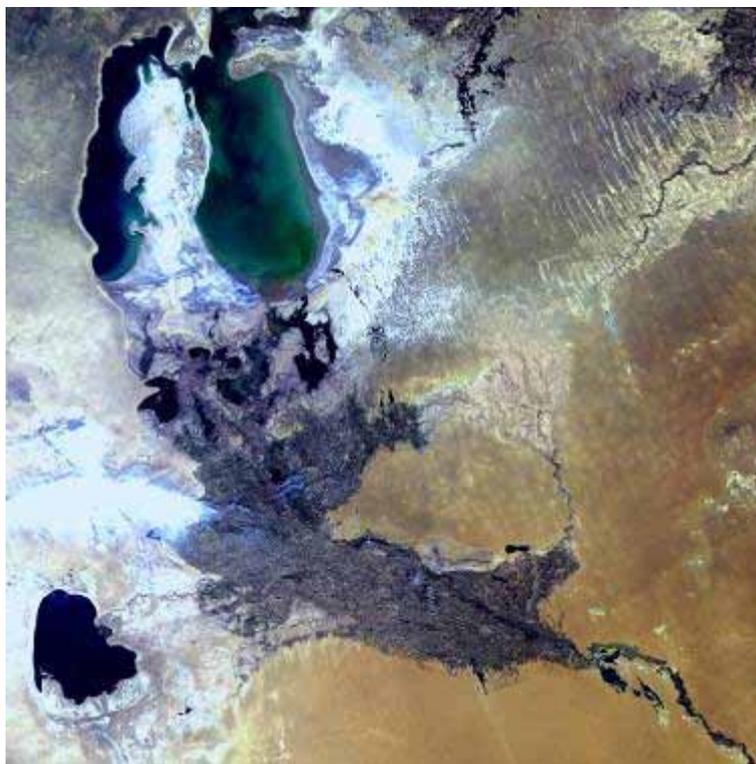


Рис. 1. Аральское море к началу 2003 г.

Совершенствование управления орошением сельскохозяйственных культур представляет возможность снизить требования на орошение, уменьшить долю воды, пополняющую минерализованные грунтовые воды, повысить эффективность регулирования солей в корнеобитаемой зоне и повысить урожайность на единицу затраченной воды. Таким образом, усовершенствованное управление орошением сельхозкультур будет способствовать борьбе с опустыниванием и достижению устойчивости орошаемого земледелия в этом, испытывающем дефицит воды регионе. В частности, оно обеспечивает инструменты и методы, необходимые для внедрения в практику орошаемого земледелия новых элементов Интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР), особенно на уровне Ассоциаций водопользователей (АВП), являющихся в данный момент основной тенденцией в регионе (см. главы 2 и 20).

В данном проекте основной упор сделан на Ферганскую долину, расположенную в верхней части бассейна реки Сырдарья, и входящие в сферу интересов различные районы Узбекистана, Кыргызстана и Таджикистана (рис. 2).



Рис. 2. Бассейн Аральского моря и Ферганская долина в верхнем течении р. Сырдарья

Конкретными научно-техническими целями проекта были следующие:

- Разработать надлежащие инструменты для выбора наиболее подходящих стратегий уменьшения требований на орошение основных сельскохозяйственных культур региона, а именно применение, после их проверки в полевых условиях, имитационных моделей «сельхозкультура-вода»
- Оценить технические, экологические и экономические характеристики методов орошения полей и разработать управленческие и технические

решения, ведущие к минимизации непродуктивных потерь оросительной воды на фильтрацию и поверхностный сброс

- Оценить работу дренажа, как средства контроля засоления в орошаемом земледелии, включая разработку методологии комплексной оценки дренажа и орошения и методов повышения качества почв и воды
- Определить основные механизмы взаимодействия между хозяйством и системами водоподачи, которые могут привести к сокращению как системных, так и внутривоздейственных требований на воду, а также затрат и потерь воды
- Разработать базу знаний, базу данных и географические информационные системы, поддерживающие инструменты исследований и дальнейшее внедрение результатов проекта
- Разработать комплексные средства поддержки принятия решений, включающие проверенные имитационные и аналитические модели, которые могут помочь управляющим системы, специалистам, консультирующим фермеров и лицам, принимающим решения непосредственно в хозяйствах, в выборе наиболее подходящих для борьбы с опустыниванием стратегий орошения, т.е. тех, которые ведут к экономии воды, контролю засоления и увеличению доходов фермеров
- Внести вклад в виде научной базы в другие региональные проекты по охране окружающей среды и развитию, включая распространение знаний по рациональному водопользованию, водосбережению и контролю засоления.

## **Информационные системы**

Большое количество информации фактически по всем вопросам, относящимся к управлению водой и водопользованию, орошаемому земледелию и опустыниванию уже собрано в центральноазиатских странах. Таким образом, создание базы знаний, отражающей исследования, выполненные в Центральной Азии по тематике данного проекта в прошлом, а именно по орошению, дренажу, засолению, опустыниванию и последствиям, вызванному орошением, должно стать весьма полезной для ученых, экспертов, экологов, лиц, разрабатывающих политику, и общества в целом. База знаний, доступ к которой обеспечивается через специальный раздел на веб-сайте НИЦ МКВК, подробно описывается в главе 3.

Главным направлением деятельности было принятие информационных технологий (ИТ) для подготовки и развития баз данных, необходимых при выполнении проекта и для целей моделирования. Основное внимание уделялось развитию инструментов ГИС для использования пространственных, географически привязанных данных в моделировании и изучения возможностей методов дистанционного зондирования (ДЗ) как для обеспечения дальнейшей поддержки управления, так и для создания и обновления соответствующих пространственно распределенных данных, используемых

в моделях, оперирующих инструментами ГИС. Таким образом, чтобы обеспечить поддержку внедрения ИУВР в Ферганской долине в рамках проекта была разработана информационная система/база данных, включающая ГИС. Она представляет важнейшее достижение для дальнейшего внедрения результатов проекта и описана в главе 4.

Соответствующие базы данных могут обновляться с помощью данных дистанционного зондирования (см. главу 5) и предусматривают использование в дальнейшем моделей, апробированных в ходе проекта.

### Дистанционное зондирование

Были выполнены следующие разработки в развитие методов дистанционного зондирования (глава 5):

- Классификация землепользования с использованием мульти-временных (декадных) NDVI\* профилей спутниковой съемки SPOT Vegetation
- Анализ декадных значений NDVI, по данным SPOT Vegetation для различных площадных единиц (орошаемые зоны, административные районы, коллективные хозяйства) с 1999 по 2002 гг.
- Классификация основных сельскохозяйственных культур (хлопчатник, озимая пшеница, кукуруза) на основе средних значений NDVI для каждого участка, рассматриваемой площади из двух снимков Landsat-7 ETM + космической съемки 2001 г.
- Выявление засоления почв через анализ неоднородности значений NDVI с помощью специально разработанного индекса неоднородности
- Оценка на основе значений NDVI по декадным периодам коэффициентов сельхозкультуры ( $K_c$ ) для озимой пшеницы.

Два аспекта, требующие особого внимания: выявление площадей, подвергшихся засолению и получение коэффициентов сельскохозяйственных культур. По сути, известные на данный момент методы определения засоления с помощью ДЗ не совсем подходят для Ферганской долины, поскольку в данном регионе нет обширных засоленных площадей. Поэтому была разработана новая методология, которая дала многообещающие результаты, но, чтобы она стала работоспособной, необходимы дальнейшие исследования. Что касается получения коэффициентов сельхозкультур ( $K_c$ ) из ДЗ, совместное использование спутниковых снимков SPOT Vegetation и Landsat-7 ETM позволило адаптировать существующую методологию выведения коэффициентов культур из линейной регрессии NDVI при принятии методологии ФАО-56. Стало возможным оценить декадные значения  $K_c$  хлопчатника и озимой пшеницы, результаты этой оценки согласуются со значениями из литературных источников и с экспериментами (глава 7). Данные  $K_c$ , полученные с помощью ДЗ, могут быть реализованы в базе данных ГИС, используемой в GISAREG.

---

\* Индекс нормализованного различия растительности

Результаты ДЗ легко объединяются с ранее упомянутой базой данной с привязкой к географическим координатам Ферганского региона, что говорит о больших возможностях применения ДЗ в управлении орошением.

### **Требования на орошение и режим орошения. Имитационные модели «сельхозкультура-вода»**

Работы относятся к некоторым аспектам внедрения усовершенствованных технологий по: а) требованиям культур на воду и требованиям на орошение, подтвержденным и соотнесенным с методиками, принятыми в регионе; б) тестированию и параметризации моделей расчета режимов орошения и управления водой; в) установке имитационных моделей.

Первый подход заключался в адаптации современного руководства ФАО-56 (1998) по расчету эталонной эвапотранспирации  $ET_0$  с использованием метода Пенмана-Монтейта и подхода к расчету коэффициентов сельхозкультур. В связи с этим, для нескольких метеостанций выполнено сопоставление данных  $ET_0$  и  $E_{пан}^{**}$  (глава 7).

Модель WINISAREG была успешно принята для целей расчета требований культур на воду и полив и расчета режимов орошения. Модель описана в главе 6. Она дает хорошие возможности для обоснований режимов орошения и, главным образом, для моделирования разнообразных вариантов при выборе норм и сроков полива, моделирования дефицитного орошения, учета ограничений на водообеспеченность и оценки подпитки со стороны грунтовых вод и фильтрации. Полевые эксперименты по режимам орошения и проверке адекватности объектам имитационных моделей режимов орошения были организованы в хозяйствах Ферганской (Узбекистан), Ошской (Кыргызстан) и Согдийской (Таджикистан) областей, как описано в главе 7. Помимо упомянутых экспериментов в Ферганской долине, калибровка и обоснование модели выполнялись с использованием материалов полевых исследований периода 1982-1987 гг. на хлопковых полях Голодной степи, включавших данные по почвенной влаге и  $ET$ , причем последние были получены с помощью метода теплового баланса (глава 7). Тестирование модели было успешным и таким образом можно считать, что модель установлена и готова к постепенному ее внедрению в практику орошаемого земледелия. Результаты позволили назначить в исследуемых регионах коэффициенты сельхозкультур ( $K_c$ ) и дострессовые доли истощения почвенной влаги ( $p$ ) для хлопчатника и озимой пшеницы, а также разработать альтернативные режимы орошения хлопчатника и озимой пшеницы в Ферганской долине при полном и дефицитном орошении в условиях максимального использования осадков и ограничения глубинной фильтрации за пределы корнеобитаемой зоны (глава 7).

Модель исследовалась на разнообразных стратегиях орошения, нацеленных на экономию воды и ограничение глубинной фильтрации, а также,

---

\*\*  $E_{пан}$  - испарение из эвапориметра класса ГГИ-3000 [мм/сут]

как подробно проанализировано в главе 8, на ограничение влияния засоления на орошаемые почвы, включая применение режима дефицитного орошения с оценкой соответствующего влияния его на урожайность. Работа модели WINISAREG при практическом планировании была протестирована в нескольких хозяйствах (глава 8). Модель запускается до посадки сельхозкультур и спроектированный график поливов предлагается фермеру; затем для совершенствования оценок в течение вегетационного периода модель запускается с интервалами примерно в один месяц с обновленными данными по климатическим факторам и по поливам. Однако, фермеры имеют склонность к недоподаче, превышающей предлагаемые «нормы», и зачастую проводят больше поливов, чем запланировано. Поэтому необходимо обучение фермеров и распространение практических знаний.

Параллельно разработке версии WINISAREG модели ISAREG, была создана модель GISAREG, которая объединяет ISAREG с ГИС ArcView 3.2, как это описано в главе 6. Большим преимуществом GISAREG является использование пространственно распределенных данных из созданных баз данных ГИС (глава 4), включая использование полученных с помощью методов дистанционного зондирования коэффициентов сельхозкультур (глава 5), соответственно обновляемых, после полной апробации и подтверждения работоспособности соответствующей методологии, в режиме реального времени.

Модель свойств воды в корнеобитаемой зоне (RZWQM) была откалибрована и использовалась в качестве средства управления развитием сельхозкультур. Калибровка выполнялась на засеянном кукурузой экспериментальном поле, расположенном в хозяйстве «Азизбек-1» (Ферганская область Узбекистана), на сероземных почвах. Гидравлические характеристики почвы были определены на основе натурального эксперимента с монолитом и параллельно лабораторными методами, тем самым, были усовершенствованы соответствующие методологии. Для получения химических характеристик почвы и параметризации химических компонентов модели RZWQM были выполнены пространственная съемка и лабораторный анализ. Наблюдения велись за почвенной влажностью, потенциалом почвенной влаги и развитием растений (глава 9). К сожалению, химические характеристики почвы не позволили опробовать модель на предмет засоления, но поскольку модель работоспособна, эту возможность можно исследовать в будущем.

После калибровки модель RZWQM использовалась как инструмент управления при прогнозировании влияния разных методов полива и внесения удобрений на урожайность культур (глава 10). В отношении внесения азота результаты показывают, что кукуруза не реагирует на внесение N более 200 кг/га, что можно рассматривать как верхний предел усваивания удобрений. В отношении полива результаты показывают, что фактические режимы орошения приводят к 10 % снижению урожайности. RZWQM может быть использована для моделирования различных сценариев ведения сельского хозяйства, для дальнейшего агро-экономического анализа и оценок с пози-

ций продуктивности воды и экономической прибыли. Параллельно моделированию, в разных пространственно-временных масштабах региона выполнялись исследования продуктивности земли и воды (глава 12).

### **Внутрихозяйственные системы орошения: усовершенствованные методы и моделирование**

Деятельность осуществлялась в следующих направлениях: (а) усовершенствование системы полива по бороздам; (б) установка имитационной модели SIRMOD на основе набора соответствующих полевых данных и анализа для ее параметризации и последующего применения; (в) создание базы данных, необходимой для СППР (система поддержки принятия решений) модели SADREG.

Основные полевые исследования проводились в хозяйстве «Азизбек-1» в центральной части Ферганской долины. На первом этапе оценивалось несколько вариантов полива по бороздам, с сопоставлением поливов через борозду с поливами в каждую борозду, длин борозд, расходов водоподачи, условий инфильтрации, зависящих от степени уплотнения борозд, и уклонов, как это описано в главе 13. Остальные исследования описаны в главе 11. Была усовершенствована методология, используемая для оценки полива по бороздам, а измерения условий спланированности земель, расходов в борозды, поперечных сечений борозд, продолжительности добега и спада поливных струй, гидравлической шероховатости и инфильтрации позволили сделать точную параметризацию имитационной модели SIRMOD. Были рассмотрены выборки показателей эксплуатационных характеристик полива.

Наилучшие эксплуатационные характеристики полива по длинным бороздам наблюдались при поливе через борозду, который обладает хорошими возможностями экономии воды по сравнению с поливом в каждую борозду. Эффективность полива может существенно повыситься, когда время отключения соответствующих расходов водоподачи устанавливается по дефициту почвенной влажности к моменту полива, с избеганием тем самым переполива, который практикуется в настоящее время (глава 13).

На втором этапе, сравнивалась техника дискретной и непрерывной водоподачи в каждую борозду и через борозду. Позднее, полевые исследования позволили сравнить поливы хлопчатника по продуктивности использования воды (WP) и эксплуатационным характеристикам использования воды (глава 14). При применении дискретной водоподачи через борозду в пределах поливного периода хлопчатника была достигнута значительная от 200 до 390 мм экономия воды (глава 14). Дискретный полив продемонстрировал возможность сокращения, как глубинной фильтрации за пределы корнеобитаемой зоны, так и конечного поверхностного сброса. Преимущества дискретного полива особенно очевидны на поливах в начале оросительного сезона.

Дискретная водоподача через борозду показала себя наилучшей техникой водосбережения и повышения продуктивности использования воды. При сопоставлении с традиционной непрерывной водоподачей в каждую борозду, затраты воды были уменьшены на 3890 м<sup>3</sup>/га (44%) при снижении урожайности на 380 кг/га (11%), в тоже время как продуктивность воды составила 0,61 кг/м<sup>3</sup> против 0,38 кг/м<sup>3</sup> при традиционном поливе. Кроме того, доля полезно потребленной воды, от использованной на уровне поля - 0,85, была достаточно высокой (глава 14).

### **Дренаж и контроль засоления**

В главе 15 приведен хороший обзор дренажа и контроля засоления в Центральной Азии. Полевые испытания были организованы в хозяйстве «Азизбек-1» в сочетании с упомянутыми экспериментальными поливами. Особое внимание было уделено напорным водам, являющимся характерными для региона и составляющими немаловажный элемент водно-солевого баланса.

Для определения эффекта закрытого дренажа в водном балансе, замерялись весь объем отводимой закрытым дренажом воды, а также концентрация солей в ней. Было установлено, что водно-солевые процессы в хозяйстве относительно «прихода»-«расхода» солей стабилизировались с почти «нулевым» балансом (главы 15 и 16). Тем не менее, от участка к участку водно-солевые балансы разнятся. Собранные данные показывают, что на засоленных землях даже в хорошо дренируемых зонах с постоянно работающим дренажом во избежание повторного засоления необходимо обеспечивать промывной режим орошения.

Среднегодовой дренажный модуль был по наблюдениям в 2-2,5 раза ниже, чем при строительстве дренажа, т. е. в период 1962-1964 гг. Расход дрен изменяется в широком диапазоне, с максимумом в вегетационный период в результате поливов и минимумом в осенне-зимний период. Вклад напорных вод составляет около 100 мм/год.

Минерализация грунтовых вод по сравнению с первоначальной 5,8-10 г/л стабилизировалась на уровне 3,0-3,8 г/л по токсичным солям и на уровне 0,06-0,1 г/л по содержанию хлора. Общая минерализация незначительно изменяется в течение года. Благодаря промывке и невысокой минерализации оросительных и грунтовых вод, процессы повторного засоления в корневой зоне не наблюдаются (глава 16).

### **Инструменты поддержки принятия решений**

Основным итогом данного проекта являлась разработка инструментов поддержки принятия решений в помощь лицам, принимающим решения, и другим специалистам при выборе способа управления орошением и приемов, повышающих экономию воды и улучшающих экологические и социально-экономические последствия орошения.

Один из инструментов поддержки принятия решений моделирует функционирование систем транспортировки и распределения воды с применением алгоритма оптимизации для совершенствования обеспечения требований на воду хозяйства или поля. Он был протестирован на оросительной сети второго порядка системы Ферганского канала и сопоставлен с текущей ситуацией (глава 17). Эта модель водоподачи и водораспределения удовлетворительно реагирует на ситуации путем сокращения объема подаваемой воды, улучшения графика водоподачи, ограничения эксплуатационных потерь воды и повышения стабильности и равномерности водоподачи.

Программное обеспечение по СППП SADREG представляет собой средство проектирования поверхностного полива, связанное с базой данных ГИС. Оно объединяет в себе наборы данных, расчетные и имитационные модели, многофакторный анализ и знания пользователя. Оно позволяет в соответствии с критериями, устанавливаемыми пользователем создавать и ранжировать альтернативные сценарии внутрихозяйственного совершенствования. База данных содержит информацию о размерах и топографии полей, интенсивности впитывания и влагоемкости почвы, сельхозкультурах, управлении орошением (посредством интерактивного моделирования с помощью модели WINISAREG) и экономические данные. Модели поверхностного полива включают модуль планировки поверхности земли и имитационную модель SIRMOD, которая может применяться при расчетах полива по бороздам, чекам и полосам. Внутрихозяйственные системы орошения по бороздам адресованы к непрерывной и дискретно регулируемой водоподаче, с использованием облицованных оросителей или земляных русел, жестких или гибких поливных трубопроводов с регулируемым водвыпусками и управляемых вручную или автоматически клапанов-переключателей потока. Применяя разработанный много лет назад в Ферганской долине прием многоярусного полива и повторного использования поверхностного стока, пользователь может рассмотреть вариант разбивки поля по его длине на ярусы. Оценочный анализ включает расчеты затрат и прибылей и определение характеристик, относящихся к экологическим и экономическим воздействиям. Приоритеты, используемые при ранжировании сценариев, определяются пользователем. Модель описана в главе 18, где анализируются основные результаты ее использования.

SADREG позволяет рационально создавать, оценивать и ранжировать проектные альтернативы. При этом проектные альтернативы легко увязываются с характеристиками технического, экономического и экологического характера, что обеспечивает соответствующий диалог между проектировщиком и пользователем, и для ранжирования с помощью многофакторного анализа и оценки весомости критериев, задаваемых проектировщиком и пользователями, и, в конечном итоге, обеспечивает лучшее соответствие целям, поставленным лицами, принимающими решения.

Модель СППП SEDAM имеет два основных компонента: внутрихозяйственное орошение и систему каналов-распределителей. Она моделирует спрос на воду и водоподачу на уровне сектора (площадь, обслуживаемая отводом из магистрального канала и связанными с ним каналами-

распределителями) и агрегирует результаты на уровне района. Она работает с базой данных ГИС в сочетании с моделью расчета режимов орошения GISAREG и моделью СППР хозяйства SADREG. На основе действий по управлению системой, относящихся к водоподаче и внутривозделной ирригационной системе, модель продуцирует сценарии. Каждый сценарий представляет комплекс мероприятий, соответствующих стратегии совершенствования, запланированной на уровне сектора, и относится к внутривозделному уровню – режим орошения, планировка земель, водораспределение в хозяйстве, регулирование расхода водоподачи – и к уровню системы водоподачи, например, расход водоподачи выше по течению, правила и сроки водоподачи. В модели водоподачи из сети каналов-распределителей используется упрощенный объемный баланс, а расчеты включают оценку фильтрации и сброса из каналов, а также определение времени, требуемого для достижения потоком установившегося режима течения. Поля группируются пользователем и в соответствии со структурой посевов сельхозкультур принимается схема водооборота. Модель SEDAM включает модуль многофакторного анализа для формулирования и оценки альтернатив в свете выбранных пользователем эксплуатационных, экономических и экологических критериев (глава 19).

Результаты применения SEDAM показывают, что имеется большой потенциал решения существующих проблем чрезмерного использования воды, когда улучшения в управлении системой водораспределения увязываются с усовершенствованиями орошения на уровне хозяйств для ограничений сбросов и потерь на фильтрацию и для приведения водоподачи в соответствие с режимами поливов в хозяйствах. Модель SEDAM предполагает возможность стать ценным инструментом для поддержки принятия решений, как по внутривозделным, так и по распределительным оросительным системам. Однако для этого требуется соответствующая база данных и параметризация используемых моделей. Интеграция с ГИС расширяет возможности модели в смысле доступа к входным пространственно распределенным данным и создает удобный для пользователя интерфейс, как для запуска модели, так и для просмотра результатов. Дальнейшее усовершенствование модели включают ее увязку с моделью гидравлического моделирования и планирования водоподачи, упомянутой в главе 17.

## **Внедрение технологий**

Внедрение результатов CIRMAN-ARAL, включая испытания на полях усовершенствованных режимов орошения, методов полива и дренирования, нововведение в практическую деятельность инструментов поддержки принятия решений и обучение менеджеров/специалистов консультационных служб и фермеров, предусматриваемые НИЦ МКВК, планируется организовать соответственно таблице 1.

Основная цель заключается в претворении в жизнь новых совершенных технологий, а именно – инструментов поддержки принятия решений в

Ассоциациях водопользователей (АВП) и Водохозяйственных организациях (ВХО), а также в других проектах, выполняемых в регионе, например в выполняющийся ныне совместно с IWMI проект в Ферганской долине и тех или иных проектах, поддерживаемых различными донорами. Предусматриваемая деятельность, как обрисовано в главе 20, может оказать существенное влияние на дальнейшее развитие интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР).

Таблица 1. План внедрения технологий и основные мероприятия, предусматриваемые НИЦ МКВК

Мероприятия	Заказчики	Пользователи	Стоимость (1000 €)	Сроки выполнения
Разработка на основе WINISAREG и SADREG серии динамичных оросительных норм для центральноазиатских государств	Министерства водного хозяйства (водного и сельского хозяйства) пяти государств	ВХО, АВП, фермеры	130	2005 - 2007
Передача моделей для АВП и консультационных служб				
а) для пилотного проекта ИУВР Фергана	Областные сельхоз-ные организации	АВП, фермеры	120	2005 - 2007
б) для других зон			1420	2006 - 2010
Достижение стабильной вододачи и сведение к минимуму эксплуатационных потерь воды путем совершенствования и внедрения моделей Gams / SEDAM				
а) совершенствование и стыковка моделей	Министерства водного хозяйства пяти государств	ВХО, АВП	460	2005 - 2006
б) система применения				2006 - 2007
в) тренинг пользователей				2006 - 2007
Усовершенствование метода расчета дренажа с учетом орошения разнородных земель		ВХО, АВП и другие	130	2005 - 2007

Некоторые из ожидаемых результатов данных совместных технических нововведений и сведение в единое целое технических и управленческих аспектов ИУВР могут привести к:

- передаче в АВП и соответствующим консультантам по ирригации моделей и инструментов (WINISAREG, SIRMOD, DSS SADREG и других) по использованию воды на уровне поля и орошению с ориентацией на изменение принятых оросительных норм при их адаптации к климатиче-

ским колебаниям, местным почвенным условиям и практике возделывания сельскохозяйственных культур

- сведению к минимуму эксплуатационных потерь воды в системах водоподдачи и водораспределения в результате принятия подхода «снизу-вверх» и использования усовершенствованного инструментария. Совместное использование моделей Gams (глава 17) и DSS SEDAM (глава 19) должно развиваться в операционный пакет, однако для этого потребуются дальнейшее совершенствование этих моделей
- повышению продуктивности земли и воды через надлежащую агротехнику, уточненные режимы орошения, своевременную подачу воды на поля и высокие равномерность и эксплуатационные качества оросительных систем.

## Глава 2.

### БАССЕЙН АРАЛЬСКОГО МОРЯ – ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ

В.А. Духовный<sup>2</sup>, Л.С. Перейра<sup>3</sup>

**Реферат:** Бассейн Аральского моря на протяжении всей своей истории был пионером развития водного хозяйства и продолжает быть предметом дискуссий и многочисленных исследований. Ныне на переломном этапе своего развития орошаемое земледелие здесь претерпевает бурную динамику, резко отличающуюся в различных странах и зонах в зависимости от политических и природных условий. Анализ нынешней ситуации подводит к выработке путей выживания при нарастании водного дефицита, концентрирующихся в виде интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР), которое должно получить научное обоснование, что и планировалось в рамках данного проекта, финансируемого Европейским Союзом (ЕС).

**Ключевые слова:** Устойчивое развитие; гидроэкология; водосбережение; экономия воды; водное хозяйство; орошение.

---

<sup>2</sup> Научно-информационный центр МКВК, Узбекистан, г. Ташкент, 700187, м-в Карасу-4, дом 11. Факс (998 71) 166 50 97; dukh@icwc-aral.uz

<sup>3</sup> Center for Agricultural Engineering Research, Institute of Agronomy, Technical University of Lisbon, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisbon, Portugal, Fax: (351 21) 362 15 75; lspereira@isa.utl.pt

## **Введение**

Водное хозяйство и орошаемое земледелие Аральского бассейна претерпевает достаточно сложный период политического возрождения и экономической трансформации в условиях независимости, перехода к рыночной экономике, усиленного воздействиями интернационализации и глобализации и выработки новых форм развития государств. В аридной зоне эти две отрасли имеют огромное социально-экономическое и экологическое значение с учетом демографической ситуации, решающей роли водного фактора и трансграничных отношений. Хотя в регионе всегда велось множество научных и исследовательских работ, однако комплексные исследования, которые обосновали бы научные пути рационального использования водных ресурсов в орошении, являющегося основным (80 %) потребителем воды в регионе, только разворачиваются.

Работы данного совместного научно-исследовательского проекта ЕС должны стать одним из первых шагов в этом направлении, ибо дают возможность должным образом учесть на основе современных методов моделирования процессов водопотребления, водоподачи, водораспределения, а также формирования продуктивности воды и земли. Данные методы включают применение географической информационной системы (ГИС) вместе с технологиями дистанционных измерений (ДИ) и системы поддержки принятия решений (СППР). Они позволяют рассмотреть как природные и технические ресурсы и системы определяют потребность в воде и использование воды с учетом распределения во времени и пространстве.

Данная книга представляет результаты проекта «INCO Copernicus ISA 2 СТ 2000» и обобщает результаты работ в этом направлении, тем самым формируя основу будущего плана сочетания водопользования в интересах природы и общества с развитием водного и сельского хозяйства. Цель статьи – показать те рамки возможных ресурсов воды, в которых регион развивался и будет развиваться в ближайшие 25-50 лет и каковы прогнозы в этой области. Данная статья основана на различных работах, упомянутых в библиографии к статье, а также на многочисленных научно-технических материалах, полученных и собранных в Научно-информационном центре Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии (НИЦ МКВК), особо в рамках проектов WARMIS и CAREWIB.

## **Прошлое водного хозяйства и орошаемого земледелия Аральского бассейна**

Один из семи центров древней цивилизации находился и развивался в Центральной Азии (рис. 1), по времени своего зарождения совпадая с аналогичными в Египте, Месопотамии, Индии, Китае (III-II тысячелетия до нашей эры).

Пройдя этапы ручьевого, кяризного\*, бесплотинного, оазисного орошения к XIX веку, водное хозяйство и ирригация получили новый толчок инженерного процесса благодаря приходу русской инженерной мысли, а именно Костякову А.Н., Массальскому В.В., Ризенкампу Г.К., работавшим в регионе в то время. Именно этому периоду принадлежат первые крупномасштабные проекты в регионе – Голодностепский, схема будущего Каракумского канала, Чу-Таласа, низовьев Амударьи и т.д. В советский период к этому добавились схемы комплекса гидроэнергетического развития, постепенно получившие своё воплощение в 1925-1990 гг.



Рис. 1. Страны Центральной Азии и бассейн Аральского моря  
(источник: GRID-Arendal)

В результате в регионе появился огромный технико-экономический водохозяйственный комплекс орошения, гидроэнергетики, водоснабжения, но в то же время Аральское море, ранее являющееся четвертым по объему в мире бессточным водоемом, по сути, исчезло как единое водное тело с поверхности земли (рис. 2).

Это заставляет пересмотреть прошлые варианты развития и найти новые подходы, увязывающие водохозяйственное развитие с окружающей средой и поддержанием важнейших экосистем. Цифры, отражающие динамику водного хозяйства (таблица 1), говорят о нарастании крупных социально-экономических проблем, которые усиливают имеющиеся природоохранные и экологические проблемы. Поэтому требуются новые и имею-

\* кяриз – водоприемная фильтрационная галерея

щие менее технический характер подходы для устойчивого использования водных и природных ресурсов в регионе.

Июль-сентябрь 1989



Август 2003



Рис. 2. Аральское море, уже не представляющее единое водное тело

В целом к 1990 г. сложившееся в регионе водное хозяйство и орошение представляло из себя сочетание совершенных современных сооружений, уникальных насосных станций и каналов (Каршинский, Каракумский каналы, Джизакский каскад насосных станций), плотин, оросительных систем с передовой техникой дренирования и орошения, комплексной системой управления (Голодная, Каршинская, Кызылкумская степи) (рис. 3) и отсталых, требующих реконструкции систем на площади почти половины орошаемых земель с крайне неупорядоченной системой водоподачи и водораспределения.

Это противоречащее сочетание хороших и плохих, современных и старых, усовершенствованных и устаревших систем определяло ирригационную и водохозяйственную ситуацию, когда страны бассейна Аральского моря стали новыми независимыми государствами. «Плюсы» и «минусы» этого огромного сектора экономики и природопользования, дававшего до 40 % всего ВВП региона, мы можем увидеть в порожденных ими силе и слабости последовавшего этапа развития (таблица 2).

Таблица 1. Динамика воды с 1960 года

Показатель	Ед. изм.	1940	1960	1970	1980	1990	2000	2004
Население	млн. чел.	10,6	14,6	20,3	26,8	33,6	41,8	43,8
Орошаемая площадь	тыс. га	3,8	4510	5150	6920	7600	7896	8120
Суммарный водозабор	км <sup>3</sup> /год	52,3	60,61	94,56	120,69	116,27	105,0	102,0
в т.ч. на орошение	км <sup>3</sup> /год	48,6	56,15	86,84	106,79	106,4	94,6	93,0
Удельный водозабор на 1 га орошения	м <sup>3</sup> /га	12800	12450	16860	15430	14000	11850	11450
Удельный водозабор на душу населения	м <sup>3</sup> на чел. в год	5000	4270	4730	4500	3460	2530	2120
ВВП	млрд. долл. США	12,2	16,1	32,4	48,1	74,0	27,5	34,4



Рис. 3. Оросительный канал в Голодной степи

Таблица 2. Наследие Советской эпохи

Позитивные аспекты	Негативные аспекты
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Огромная водохозяйственная инфраструктура</li> <li>• Жесткое управление и планирование водного хозяйства</li> <li>• Высокий уровень технических знаний</li> <li>• Тесное сотрудничество водников разных республик</li> <li>• Создание Бассейновых водохозяйственных объединений (БВО)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Пренебрежение общественным мнением и участием</li> <li>• Недостаточное внимание экологическим требованиям</li> <li>• Административно-командная система</li> <li>• Неспособность принять рыночный механизм</li> <li>• Отсутствие платного водопользования</li> </ul>

Мощная инфраструктура, управлявшаяся командным методом на всех уровнях иерархии сверху вниз, с определенным ущемлением одних водопользователей и приоритетами других, но соответствующей компенсацией на межреспубликанском уровне, с огромными затратами на эксплуатацию, поддержание и развитие оказалась совершенно неприспособленной к децентрализованному управлению, требуемому в условиях рынка, где межсекторная конкуренция, многоуровневые отношения и эгоистичные устремления различных водопользователей и водохозяйственных органов порождают совершенно отличную эксплуатационную и управленческую среду. С учетом слабой экономической базы в переходный период и в настоящее время, прежняя система водного хозяйства оказалась в положении «колосса на глиняных ногах», который долгое время не может прийти в себя. Появление в регионе международной экспертизы и концентрация внимания на экологических и экономических промахах прошлой системы, наряду с этим незначительные объемы реальной донорской помощи и противоречивость рекомендаций по переходным процессам не способствовали формированию нового стабильного управления водой в условиях независимости. Кажущееся снижение водозаборов и водопотребления в переходный период связано с соответствующим уменьшением суммарного валового продукта в целом по региону и с этих позиций не может свидетельствовать о повышении эффективности общего использования водных ресурсов в бассейне.

Определенное значение в снижении продуктивности сельского хозяйства в последние 5 лет имело снижение цен на сельхозпродукцию, в то же время по отдельным странам региона складывается совершенно различно. Согласно показателям, прослеживается явно положительная тенденция в водном хозяйстве Казахстана и Кыргызстана. Все экономические показатели Туркменистана явно выделяются, так же как и Казахстана.

Особенно хотелось отметить влияние введения платы за воду в Казахстане и Кыргызстане, поскольку эти меры уже оказали заметное влияние на использование оросительной воды: объемы водозабора и водопотребления

в этих странах значительно сократилось (рис. 4). Теперь Ассоциации водопользователей (АВП) должны взять на свои плечи все работы по подаче и распределению воды, а также содержанию оросительной сети в пределах границ бывших колхозов и совхозов.

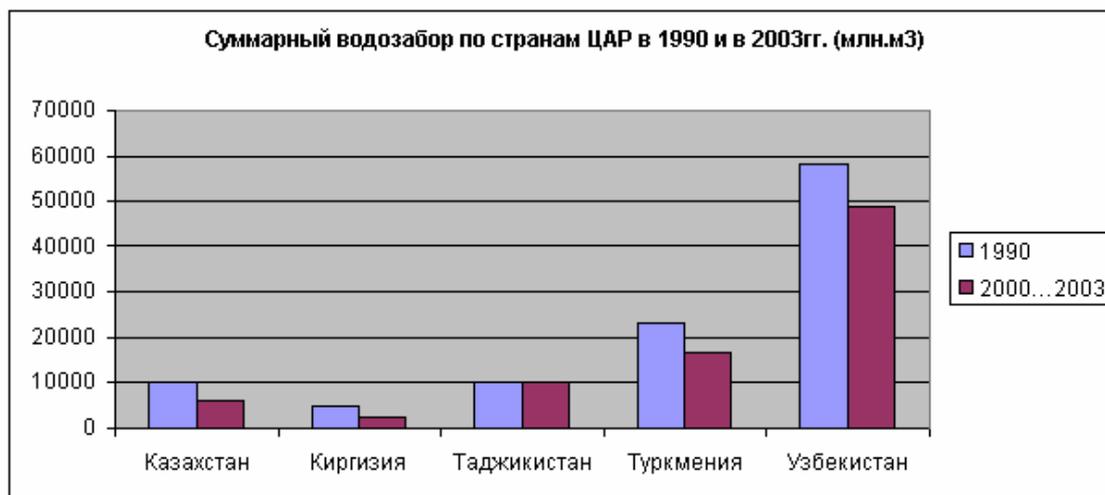


Рис. 4. Суммарный водозабор по странам ЦА в 1990 и в 2003 г.

Дифференциация тенденций развития в переходный период в странах Центральной Азии вызвала различие в современном состоянии водного хозяйства и орошаемого земледелия в различных странах региона.

Одновременно, имеются и многие общие характеристики:

- Приватизация и реструктуризация водного хозяйства охватила все страны региона в различных формах с размером орошаемых хозяйств от 0,2–1 га в Киргизии до 5–100 га и даже более в Казахстане
- Сохранение в ряде стран кооперативных и общественных хозяйств (Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан)
- Повсеместно (кроме Туркменистана) создание АВП
- Признание ИУВР как общего инструмента и средства повышения эффективности водопользования
- Недостаточное внимание к дренажу и отсюда ухудшение его состояния, выход из строя, увеличение степени засоления земель, падение урожайности и продуктивности земель
- Очень незначительные капвложения в совершенствование техники полива и восстановление и поддержание оросительных систем.

Основные отличия в водохозяйственной политике центральноазиатских стран состоят в следующем:

- Разные подходы в соотношении «руководство – управление», проявляющиеся в различных аспектах, но больше всего в распределении дохо-

дов от сельского хозяйства между фермерами и бюджетом, что в сочетании с дотациями в сельское хозяйство, определяет эффективность и заинтересованность фермеров, платежеспособность их и АВП, возможность вкладывать деньги в улучшение земли (наилучшая ситуация в Казахстане и Кыргызстане)

- Степень участия государства в реконструкции и развитии оросительных и дренажных систем, в поддержании АВП (уровни этой поддержки отличаются в Кыргызстане, Казахстане, Туркменистане)
- Изменение отношения к технологиям водосбережения и экономии воды и их стимулирование
- Вовлечение общественности, развитие потенциала и организация обучения фермеров и работников АВП и водохозяйственных организаций (ВХО).

Очень важно стремление самих водохозяйственных организаций проявить внимание к анализу водопользования. Если ранее на протяжении 50-60 лет советской эпохи жесткая система управления водой отвечала перед крупными хозяйствами (совхозами и колхозами) за четкость и гарантированность водоподачи, то ныне размельченные тысячи ферм оказались в конце огромной лестницы иерархии, по которой спускаются водохозяйственные решения, проходя все ступени «бассейн – суббассейн (национальный) – система – канал – АВП – фермер» (рис. 5).

Действительно это длинный путь, где конечный пользователь помещен в конце цепи многоступенчатых интересов, капризов, и эгоизма. А ведь урожай зависит от точности водоподачи (в нужное время и в нужном количестве), от метода и качества подачи. Поэтому водохозяйственные и местные органы должны понимать потребности фермера в перспективе, который оказался ныне крайним, зависящим от отдельных ограничивающих факторов.

Принято считать, что водопользователи удовлетворены водоподачей, если обеспечена ее стабильность и своевременность, а также равномерность распределения воды между поливами. С другой стороны, водохозяйственная организация работает удовлетворительно, если количество воды, забранное из источника, не превышает суммарное испарение всех сельхозкультур более, чем на 20 %.

Оценка существующего положения в водообеспеченности и водоподачи была выполнена с использованием данных, собранных НИЦ МКВК. В таблице 3 приведены коэффициенты водообеспеченности (КВО) по разным иерархическим ступеням вододеления, а на рис. 6 показаны примеры данных по водообеспеченности вдоль нескольких основных каналов в период вегетации.

В особенности имеют место ситуации, когда водоподача во многом превышает эвапотранспирацию, тем самым демонстрируя низкую степень управляемости водой, которая допускает как перебор, так и дефицит воды, что и в первом и во втором случае приводит к потере урожая.

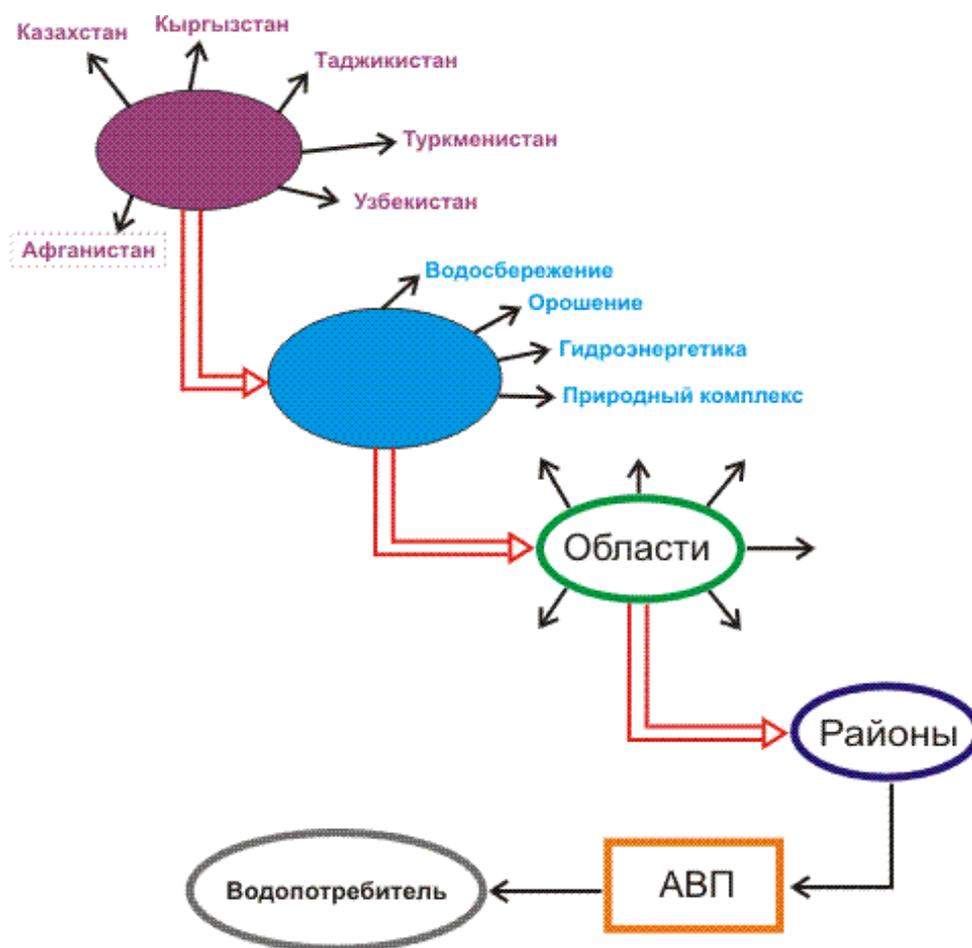
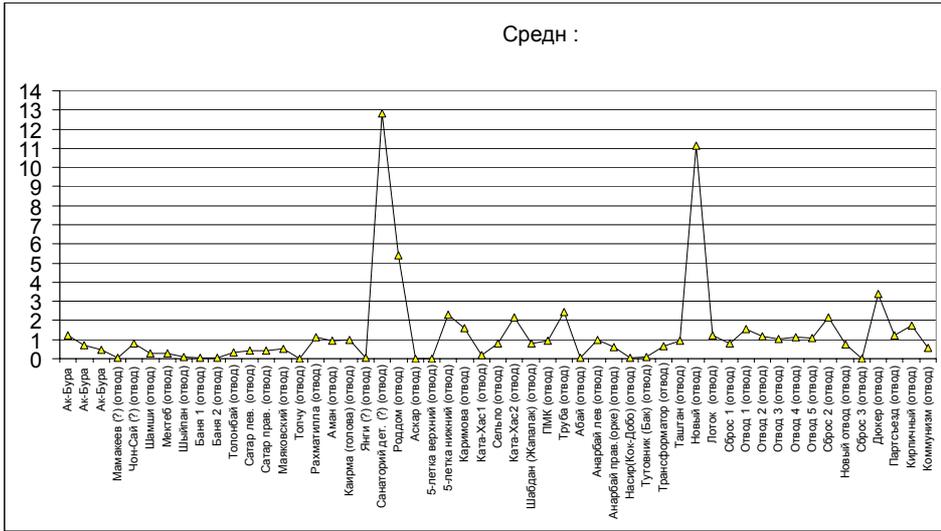


Рис. 5. От национальной политики до решений водопользователей

Таблица 3. Динамика коэффициента водообеспеченности по ступеням иерархии водораспределения по данным 2000 г.

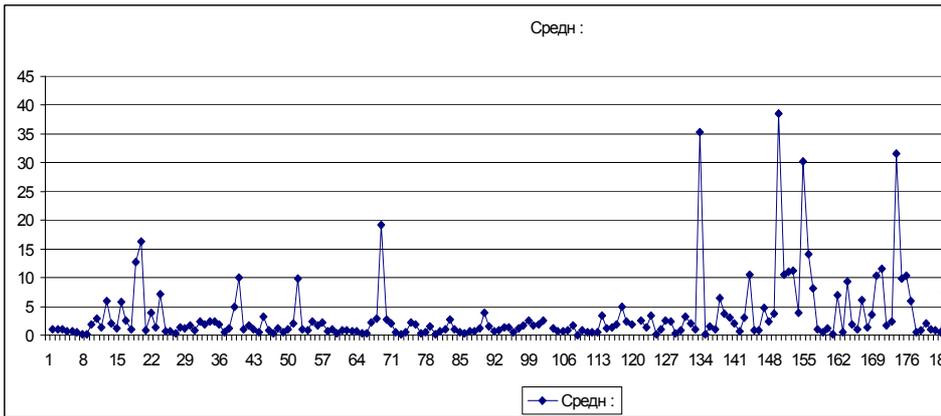
Республика	Область	Коэфф. на уровне водозабора области	То же на уровне выдела в хозяйства	Район	По водозабору в район	На уровне выдела в хозяйства	Хозяйства	На уровне хозяйства	На уровне поля
Кыргызстан	Баткентская	2,00	1,62	Кадамджайский	1,79	1,39	Ак-Суу-Халмитон	1,19	0,92
	Жалалабадская	1,46	1,17	Базар-Коргонский	1,67	1,3	Текдик	2,26	1,76
				Ноокенский	1,44	1,25	Таймонку	1,27	1,1
							Арал-сай	1,35	1,17
Ошская	1,28	1,02	Аравансайский	1,08	0,84	АВП "Ак-Буура"	0,96	0,75	
Таджикистан	Согдийская	2,75	2,28	Дж.Расуловский	1,76	1,43	Б.Хамдамова	0,95	0,77
					2,65	2,2	Саматова	1,1	0,89
				Б.Гофуровский			Бахростан	2,09	1,69
Узбекистан	Андижанская	1,43	1,06	Баликчинский	1,34	0,98	Узбекистан	0,89	0,65
					1,11	0,86	"Сиза"	1,20	0,88
				Избаскентский			Узбекистан	1,33	1,03
	Наманганская	1,18	1,01	Папский	1,51	1,30	Пап	0,77	0,66
				Мингбулакский			Гигант	1,13	0,96
					1,28	1,09	Навои	0,88	0,75
	Ферганская	1,24	1,03	Ташлакский	1,61	1,30	Навои	1,56	1,26
				Ахунбабаевский	1,75	1,40	Ниязов	1,10	0,88
				Кувинский	1,37	1,15	Навои	1,06	0,89
Среднее	по Кыргызстану	1,58	1,27		1,56	1,25		1,42	1,115
	по Таджикистану	2,75	2,28		1,705	1,315		1,38	1,117
	по Узбекистану	1,29	1,03		1,423	1,01		1,01	0,896



а)



б)



в)

Рис. 6. Средние значения и динамика водообеспеченности за период вегетации (2003) по каналам:  
 а) «Араван-Акбура»; б) «Ходжа-Бакирган» в) ЮФК

Основные причины такого состояния:

- Устаревшие нормы водопотребления, рассчитанные на определенные показатели среднего года, средних для данного гидромодульного района почвенных и гидрогеологических условий, не отражающие реальную потребность растений в воде
- Проблемы управления водой относительно реальных требований на воду
- Отсутствие динамичных планов водопользования, ориентированных на конкретные условия того или иного года, учитывая, что существующие планы рассчитаны на средний год, средний состав культур и средние условия почв; это характерно и для верхних и для нижних уровней управленческой иерархии. Водопотребление маловодного года отличается от среднегодовалого, так же как и среднегодовалого от многоводного на 1200-2000 м<sup>3</sup>/га
- Завышенные потребности в воде и завышенные лимиты, особо в верхних и средних течениях, приводят к недодаче воды в нижних течениях и особо к недоучету экологических требований природы (дельты, самих рек и т. д.)
- Отсутствие системы распределения воды в АВП и единых критериев на водопользование среди водопользователей
- Неспособность ВХО контролировать распределение воды между водовыделами и обеспечивать справедливую урезку воды в условиях дефицита
- Неучет дифференцированных условий водоподачи в масштабах планирования водопользования
- Неумение сотрудников водного хозяйства использовать механизмы эффективного участия в водоподаче и водопотреблении на уровне фермер – группа пользователей – АВП и далее АВП – канал
- Невнимание работников ВХО к базовым правилам водоподачи по распределителям второго порядка
- Отсутствие материальной заинтересованности, которая может заставить фермеров экономить и рационально использовать воду
- Недостаточное внимание к механизму поддержания систем и их реконструкции
- Недоучет возможности использования воды из других источников (возвратных, подземных и т.д.).

Большая часть этих недостатков может быть решена путем повсеместного внедрения принципов интегрированного управления водными ресурсами (ИУВР) в регионе.

### **Что же ждет регион в будущем и каковы перспективы?**

Еще в период до независимости центральноазиатские страны осознали, что Аральский бассейн подошел к исчерпанию водных ресурсов и к не-

обходимости планов по коренной перестройке водного хозяйства региона и к поиску дополнительных источников воды.

Спад экономики в результате распада Советского Союза и переход новых независимых государств к рынку дал определенную «поблажку» государствам и водохозяйственным органам в остроте решения этого вопроса, однако постепенное восстановление промышленных и сельскохозяйственных мощностей, а также создание и развитие новых отраслей начинают создавать условия, которые в ближайшем будущем приведут к постепенному решению данных проблем. К этому нужно добавить, что само общество изменилось – в целом общественность постепенно требует усиления восприятия природных ресурсов и спроса и потребления воды с позиций охраны природы. Да и ряд выполняемых проектов, особо в Казахстане (восстановление Северного моря, проект дельты Сырдарьи) и Узбекистане (проекты Глобального Экологического Фонда (ГЭФ) – Судочье, НАТО - Система водоемов в Южном Приаралье) предъявляет жесткие требования к экологическим попускам в довольно значительных размерах – дельта Амударьи – 8,5-10 км<sup>3</sup> в год; дельта Сырдарьи – 4,5-5,5 км<sup>3</sup> в год (В.А. Духовный и др., 2003 г.).

Перспектива использования водных ресурсов нашла отражение в нескольких документах и работах: ЮНЕСКО (1999-2000), ГЭФ (1998-2001), НИЦ МКВК (2002 а, б). Последняя оценка перспективы была сделана в рамках исследования процессов глобального потепления, выполненного НИЦ МКВК (2002-2003). Ниже приводятся последние результаты прогнозов, полученные из анализа трех сценариев развития до 2020г.: «продолжение существующих тенденций» (бизнес как обычно), «средний» или «нейтральный» сценарий и «оптимистический» сценарий. Краткое описание сценариев приводится далее.

#### ***а) «Оптимистический» сценарий***

- До 2020 года регион будет развиваться на основе улучшения тех интеграционных процессов, которые сегодня намечаются правительствами всех центральноазиатских стран
- Взаимовыгодное совместное использование всех трансграничных водных ресурсов на основе водосбережения и единых природоохранных подходов
- Взаимовыгодное развитие аграрного сектора с максимальным акцентом на региональное разделение производства особо по наиболее выгодной специализации культур
- Согласованная переработка в аграрном секторе и его инфраструктуре
- Достижение потенциальной продуктивности воды и земли
- Темпы роста населения уменьшаются и снизятся к 2020 г. до 0,98 % в год
- Среднегодовой рост ВВП в период от 2000-2010 гг. будет – 8-10 % в год, с 2010 до 2015 г. около 10-12 % в год, с 2015 до 2020 г. не менее 7 % в год

- Энергетика будет развиваться преобладающим образом на базе гидро-станций и их совместного строительства с упором на обеспечении устойчивого производства экологически чистой энергии;
- Предполагается, что вследствие проводимой политики водосбережения на уровне государств водопотребление на орошение будет снижено до 9400 м<sup>3</sup>/га, а водопотребление для населения также будет ограничено
- Производство продовольствия составит в среднем 3500 ккал/чел/день при превалировании в рационе овощей и фруктов
- Значительный рост ВВП будет обеспечен за счет опережающих темпов роста промышленности.

***б) «Нейтральный» сценарий***

- Интеграционные процессы в области управления трансграничными водными ресурсами будут развиваться более медленными темпами, чем в «оптимистическом» сценарии
- Отсутствие региональной специализации сельскохозяйственных культур и согласованной переработки в аграрном секторе
- Темпы роста населения снизятся незначительно, достигая к 2010 г. – 1,44 % в год и к 2020 г. – 1,23 % в год;
- Темп роста ВВП будет составлять 2-4 % в год;
- Освоение новых земель ограничивается не только наличием водных ресурсов и их качеством, но и отсутствием необходимых инвестиций;
- Учитывая, что в данном сценарии предполагается незначительное развитие экономики и ограниченные финансовые ресурсы для внедрения водосбережения во всех отраслях экономики, водопотребление на орошение составит 11000 м<sup>3</sup>/га, а водопотребление для населения будет выше, чем в «оптимистичном» сценарии.

***в) Сценарий сохранения существующих тенденций***

- Развитие региона будет осуществляться при сохранении существующих тенденций в использовании трансграничных водных ресурсов, а также в области развития региональной интеграции аграрного сектора, как по производству сельскохозяйственной продукции, так и по ее переработке. Основные усилия государств будут направлены на водосбережение местных водных источников
- При сохранении национальных трендов развития проявляется рост диспаритета в доходах и в организационных элементах государств региона и как следствие в различном экономическом развитии среди упомянутых государств
- Темпы роста населения – 1,9 % в год
- Темп среднегодового роста ВВП по бассейну - 6-8 % в год

- В соответствии со сложившимися тенденциями водопотребление на орошение составит 12000 м<sup>3</sup>/га, а водопотребление для населения останется относительно высоким
- Площадь орошаемых земель до 2020 г. практически остается неизменной.

На основании этих трех вариантов развития, в двух подвариантах с учетом возможного изменения климата, можно сделать вывод, что к 2020 г., регион сможет обеспечить себя собственными продуктами питания и будет обладать определенным потенциалом экспорта сельскохозяйственной продукции и в некоторых вариантах развития образуется определенный резерв водных ресурсов.

Тогда как, если мы ничего не будем предпринимать, и развитие будет в рамках существующих тенденций, то не может быть и речи о предоставлении на нужды природы дополнительных объемов воды.

По «оптимистическому» сценарию к 2015 году *обеспечение* продуктами питания населения в регионе превысит *спрос* на 7 %, а резерв водных ресурсов составит 13,2 км<sup>3</sup> в год, к 2020 году эти показатели соответственно будут составлять 18 % и 18,4 км<sup>3</sup>. Но и по «среднему» сценарию мы получаем резерв 6,4 км<sup>3</sup>, хотя с меньшей продуктивностью воды и земли.

Результаты данного моделирования (рис. 7 и таблица 4) показывают, что регион сможет выжить на существующих ресурсах воды лишь в условиях перехода на стратегию оптимального развития, которая базируется на следующих допущениях:

- равноправное и справедливое использование совместных трансграничных водных ресурсов всеми странами
- приближение всех водопользователей к потенциальной продуктивности по воде и земле (Нерозин, 2005)
- всесторонний переход к принципам ИУВР.

Таблица 4. Динамика водопотребления и водообеспеченности (км<sup>3</sup>) по сценариям развития

Сценарии	1960	1970	1980	1990	2000	2005	2010	2015	2020
Общий объем водных ресурсов	136,6	136,7	125,0	130,3	117,0	124,8	122,3	125,5	130,2
«Сохранение тенденций»	64,7	83,5	120,7	116,1	104,6	106,2	106,7	107,4	108,4
«Нейтральный»	64,7	83,5	120,7	116,1	104,6	104,6	104,6	104,6	104,6
«Оптимистичный»	64,7	83,5	120,7	116,1	104,6	103,2	101,4	96,1	91,1

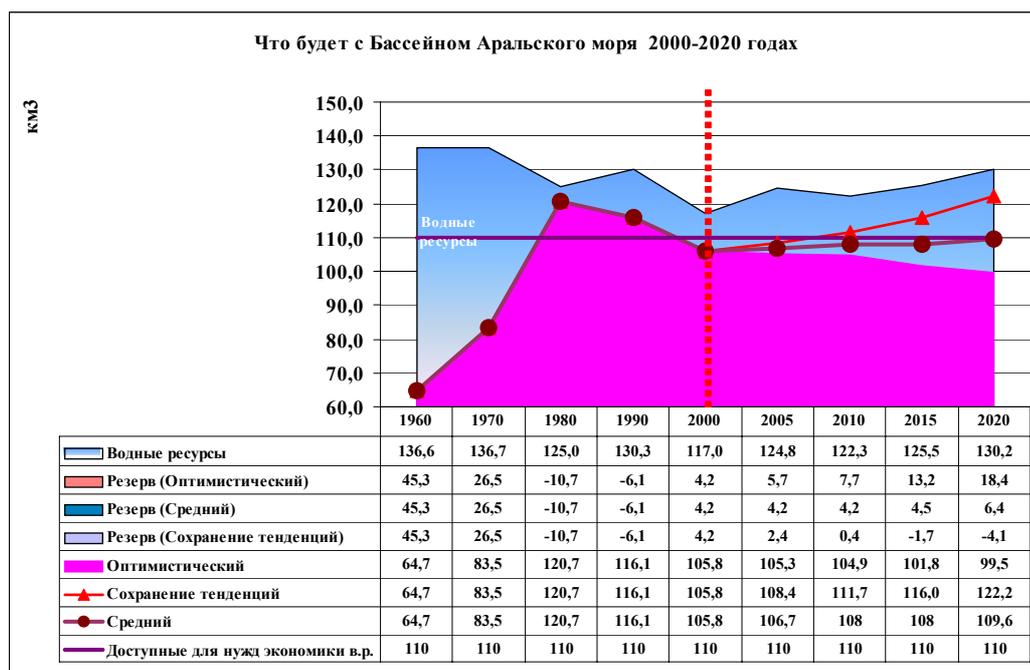


Рис. 7. Что будет с бассейном Аральского моря в 2000-2020 гг.

## Интегрированное управление водными ресурсами

ИУВР представляет систему управления (в отличие от предложения Глобального Водного Партнерства (ГВП) считать его процессом), которая базируется на взаимодействии всех возможных ресурсов вод (осадки, поверхностный сток, подземные и возвратные воды) и связанных с ними земельных и других ресурсов в пределах гидрографических границ. Данная система предназначена для увязки различных секторов водо- и природопользования, иерархических уровней водоподдачи и водопотребления, а также для вовлечения всех водопользователей в процессы решения, планирования, финансовой поддержки для обеспечения реальных требований общества и природы на устойчивой основе.

Система ИУВР обеспечивает стабильную основу для совместной организации, которая объединяет всех заинтересованных субъектов и объекты, нацеленных на выполнение определенных задач, включающих формирование и развитие упреждающих механизмов, учитывающих динамические изменения в потреблении и развитии водных ресурсов процессов влияния, особо процессы организационного самосовершенствования и развития. В то время как процессы самосовершенствования и саморазвития сами адаптируются к изменению окружающих природных условий, первоначальные цели и принципы, определенные с самого начала формирования организационной основы останутся неизменными.

ИУВР призвано интегрировать:

- планирование и управление всеми водными ресурсами и требованиями на них, независимо от секторов водопользования и источников ресурсов
- количество и качество воды

- распределение воды в верховьях и низовьях
- все заинтересованные субъекты, включая водопользователей, АВП, ВХО, природопользователей, местных органов, НПО и других лиц, принимающих решения и разрабатывающих политику; их потенциальные трудовые и организационные ресурсы и интересы<sup>\*</sup>
- все уровни водной иерархии, регулирующей спрос и подачу воды «снизу доверху»
- управление водой и землей, особо в области орошения и дренажа
- интересы общества (экономики) и природы (окружающая среда)
- расходы, затраты и выгоды как на уровне пользователей и управляющих водой, так и на уровне государства и общества в целом.

На основе этих положений рассматривается следующий критерий ИУВР: достижение оптимальной продуктивности водопользования в зависимости от социально-экономических и природных ограничений и с учетом воздействия деятельности человека в пределах гидрографических границ (и вне их). Это определение включает прямые и косвенные затраты, доходы и последствия.

Данный подход позволяет разработать схему взаимодействия уровней иерархии управления, исходя из организационной основы (рис. 8), которая четко выдерживает вертикали и горизонталы иерархии по направлениям управления:

- общественное руководство с участием всех заинтересованных субъектов (например, общественный Совет бассейна, ВХО, АВП);
- исполнительные органы (например, управление системой, каналом, дирекция АВП и ВХО).

---

<sup>\*</sup> Для трансграничных водных источников очень важна интеграция интересов бассейна и стран.

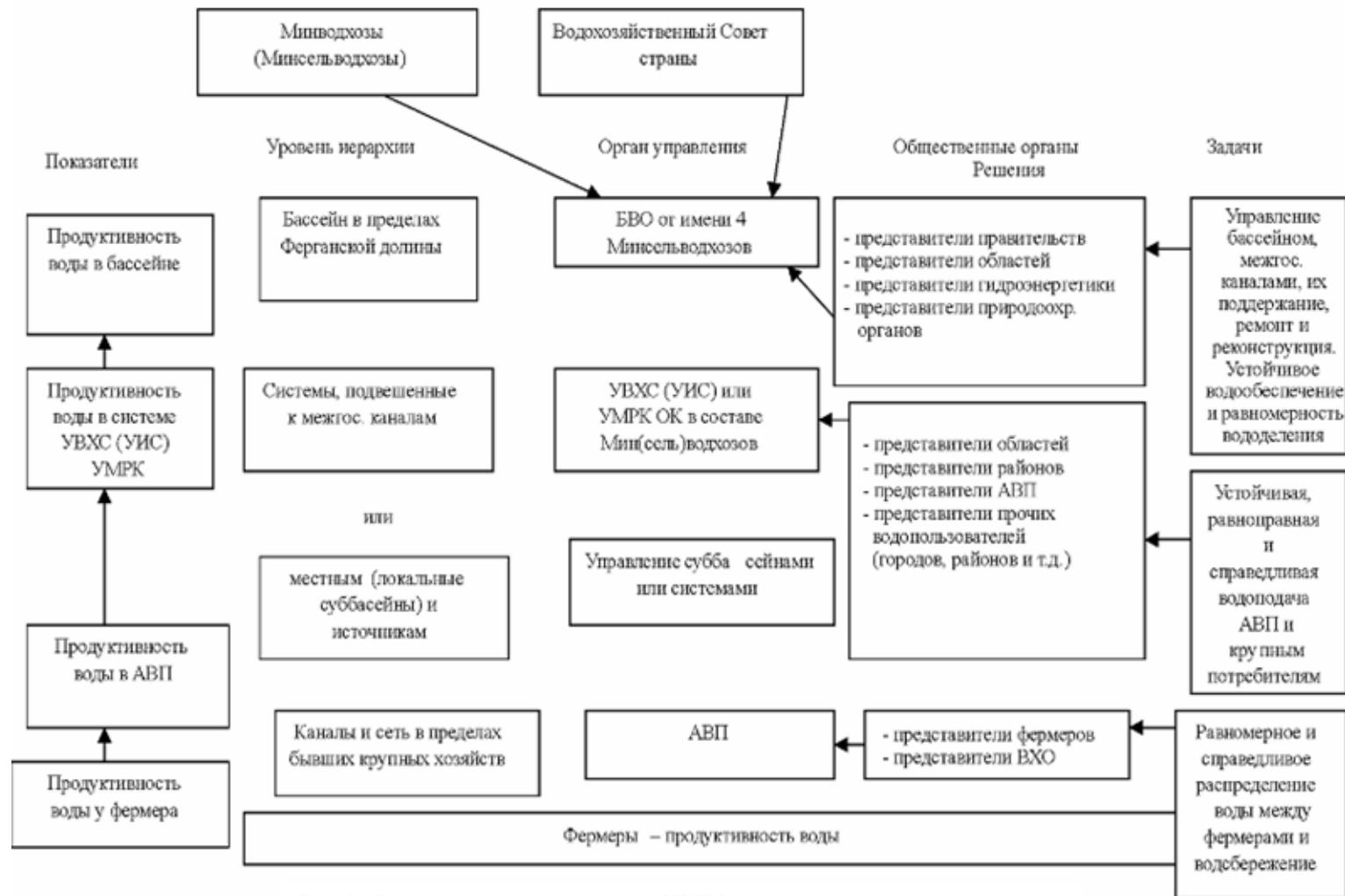


Рис.8. Связь уровней иерархии в ИУВР и их взаимодействие

Увязка по вертикали идет через:

- Коллективное членство представителей нижнего уровня иерархии в руководящих общественных органах более высокого уровня
- Поток вкладов и платежей за водопользование и услуги водоснабжения и за воду как ресурс, а также за мелиоративное обслуживание, в технической увязке по линии базы данных, информационной системы и системы моделей, касающихся воды и земли, орошения и дренажа.

С целью обеспечения необходимой научной поддержки для внедрения принципов ИУВР, НИЦ МКВК разрабатывает средства для применения данного комплекса инструментов управления, в частности на основе технологий ГИС и ДИ, как описано в данной книге, что позволяет численно увязать различные технико-экономические параметры водо- и землепользования и сопутствующие оцениваемые ресурсы. Модели, описанные в других главах книги, позволяют уточнить обеспеченность и потребности в ресурсах и выявить наилучшие пути обеспечения общих требований водопользователей – стабильности и равномерности водоснабжения.

Наряду с вышеупомянутым, для улучшения управления водой необходимы некоторые ключевые инструменты для продвижения принципов регулирования, основанных на новых технологиях, организационном развитии и нацеленных на обеспечение материальной и финансовой поддержки всем участникам. Эти вопросы пока не доработаны окончательно. Модели, рассмотренные в данном проекте, составляют только часть общей научной и модельной базы знаний ИУВР, которая, будем надеяться, получит дальнейшее развитие и поддержку.

## **Выводы**

Перспектива предвидимого будущего развития бассейна Аральского моря дает основание допустить, что регион сможет выжить, с позиции водообеспеченности, до конца третьей декады нынешнего тысячелетия - даже при существующей устаревшей конструкции оросительной и дренажной сети – но при условии, что непродуктивные потери воды будут сведены к минимуму при достижении стабильности и устойчивости водообеспечения. Это требует привлечения современной системы ИУВР, основанной на четком понимании взаимоотношения всех элементов иерархии управления водой. Предложенные в проекте инструменты и модели, описанные в нескольких работах данной книги, являются лишь началом научного обоснования этой системы.

## Благодарность

Авторы выражают признательность Р.И. Кадыровой, И.Р. Журавлевой, И.Ф. Беглову, В.Г. Приходько и Д.А. Сорокину за помощь в подборе материалов к статье и ее оформлении. Глубокая признательность г-ну М. Женовезе за постоянную поддержку и внимание.

## Библиография

- Духовный В.А., Ирригационные комплексы на новых землях Средней Азии, Ташкент, 1983. - 184 стр.
- Духовный В.А., Мелиорация и водное хозяйство засушливой зоны, Ташкент: Мехнат, 1993.
- Духовный В.А., де Шуттер Ю., Сорокин А.Г., Рузиев И., Приходько В., Модель бассейна Аральского моря, отчет, НИЦ МКВК, Ташкент, 2002, 212 стр.
- Духовный В.А., Сорокин А.Г., Тучин А.И., 2003, Экологическое состояние низовьев рек Амударьи и Сырдарьи и необходимость попусков по ним, НИЦ МКВК, Ташкент, 56 стр.
- Нерозин С.А., 2005. Анализ продуктивности воды и земли (в настоящем сборнике).
- НИЦ МКВК, 2002б. Проект «Интегрированное управление водными ресурсами Ферганской долины», Вступительный отчет IWMI, НИЦ МКВК, Ташкент, 66 стр.
- НИЦ МКВК, 2002а. Диалог о воде и климате: исследование. Ташкент, 166 с.
- Clausen T.J., 2002, IWRM, Toolbox. Manuscript rep., Global Water Partnership, 56 p.
- UNESCO, 1999–2000, Water Vision Environment Management Project, Aral Sea Basin, Haskoning, Scientific report, Vol. 5, Paris.