



Executive Committee  
International Fund for saving the Aral Sea

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ АРАЛЬСКОГО БАСЕЙНА  
BASIN ECONOMIC ALLOCATION MODEL (BEAM)**

**Руководство программисту**



Ноябрь 2012



## СОДЕРЖАНИЕ

|       |                                                                  |     |
|-------|------------------------------------------------------------------|-----|
| 1     | ВВЕДЕНИЕ И ЦЕЛЬ .....                                            | 1   |
| 2     | СТРУКТУРА МОДЕЛИ .....                                           | 2   |
| 2.1   | Структура и вопросы, на которые надо ответить .....              | 2   |
| 2.1.1 | Вопросы эффективности .....                                      | 2   |
| 2.1.2 | Вопросы экономичности .....                                      | 3   |
| 2.1.3 | Вопросы равноправия .....                                        | 4   |
| 2.2   | Горизонты времени и сезоны .....                                 | 4   |
| 2.3   | Базовая концепция экономической модели .....                     | 5   |
| 2.3.1 | Критерии оптимизации .....                                       | 6   |
| 2.4   | Моделирование экономической стоимости воды и земли .....         | 8   |
| 3     | GAMS ПРОГРАММИРОВАНИЕ И СТРУКТУРА МОДЕЛИ .....                   | 10  |
| 3.1   | Принятые понятия в данном документе .....                        | 10  |
| 3.2   | Введение в GAMS .....                                            | 10  |
| 3.3   | Структура модели .....                                           | 10  |
| 4     | ОПЕРАЦИОННЫЕ БЛОКИ В МОДЕЛИ .....                                | 122 |
| 4.1   | Типы узлов, описывающих водные объекты и зоны планирования ..... | 122 |
| 4.2   | Дуги, соединяющие узлы .....                                     | 133 |
| 4.3   | Сельскохозяйственные культуры и производственные ресурсы .....   | 13  |
| 4.4   | Множества, относящиеся ко времени .....                          | 13  |
| 5     | ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СТОИМОСТЬ ВОДЫ И ЗЕМЛИ .....                       | 14  |
| 5.1   | Природа .....                                                    | 14  |
| 5.2   | Питьевая вода .....                                              | 14  |
| 5.3   | Промышленный спрос .....                                         | 15  |
| 5.4   | Сельское хозяйство .....                                         | 15  |
| 5.5   | Гидроэнергетика и управление водохранилищами .....               | 17  |
| 5.6   | Общая функция критерия .....                                     | 18  |
| 6     | ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ .....                                | 19  |
| 6.1   | Водный баланс .....                                              | 19  |
| 6.2   | Водоохранилища .....                                             | 19  |
| 7     | ОБЗОР ДАННЫХ .....                                               | 21  |
| 7.1   | Состав ВВП .....                                                 | 21  |
| 7.2   | Сельское хозяйство .....                                         | 21  |
| 7.3   | Диверсификация сельского хозяйства .....                         | 26  |
| 7.4   | Водоохранилища .....                                             | 27  |
| 7.5   | Инвестиции в эффективность орошения .....                        | 27  |
| 7.6   | Источники воды .....                                             | 28  |
| 7.7   | Возвратные воды .....                                            | 28  |
| 8     | ДАЛЬНЕЙШИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ .....                              | 30  |
| 8.1   | Многоводный год .....                                            | 30  |

|     |                                                     |    |
|-----|-----------------------------------------------------|----|
| 8.2 | Дефицит воды и его воздействие на урожайность ..... | 30 |
| 8.3 | Качество воды .....                                 | 30 |
| 8.4 | Управление рисками маловодья и засухи .....         | 30 |
| 8.5 | Вторичные воздействия .....                         | 31 |
| 8.6 | Рынок электричества .....                           | 31 |
| 8.7 | Оценка значимости гидроэнергии .....                | 32 |

|              |                                  |
|--------------|----------------------------------|
| Приложение А | Обозначения множеств модели      |
| Приложение Б | Водная сеть и речная топография  |
| Приложение В | Данные                           |
| Приложение Г | Список использованной литературы |

## **1 ВВЕДЕНИЕ И ЦЕЛЬ**

Данный документ представляет собой "Руководство программисту" в рамках проекта "Всесторонний анализ экономической оценки комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна Аральского моря", который был инициирован ИК МФСА при финансовой поддержке USAID. Проект осуществляется DHI (Ведущая компания) совместно с COWI и Глобальным водным партнерством Центральной Азии и Кавказа.

Руководство описывает функционирование Модели Экономического Распределения Аральского бассейна (BEAM) с точки зрения программного обеспечения модели, то есть технических деталей, необходимых для полного понимания и изменения модели. В другом документе, "Руководство пользователю", описаны процедуры использования модели для прогона сценариев.

Программисты, намеренные изменять данные или уравнения BEAM, должны иметь, по крайней мере, некоторое представление о GAMS и Excel программировании, экономике и гидрологии. Этот документ направлен на обеспечение понимания экономических и гидрологических частей модели. Если читатели заинтересованы в улучшении их GAMS навыков, они должны обратиться к другим более сложным источникам.

Данный документ состоит из восьми разделов. Раздел 2 описывает структуру модели, т. е. цели и задачи этой модели. Раздел 3 дает некоторые технические основы модели. Разделы 4-5 представляют обзор экономической и гидрологической логики модели, описывая ограничивающие условия и тождества модели. Раздел 6 содержит обзор собранных данных, а в разделе 7 представлены ограничения и возможности для расширения в ее нынешнем состоянии. К документу прилагаются четыре приложения.

## 2 СТРУКТУРА МОДЕЛИ

В этой главе содержится несколько первоначальных предположений относительно проекта модели.

В качестве вступления следует подчеркнуть, что предлагается разработать одну модель, которая охватывает как водные стоки, так и экономику. Она относится к 5 странам: Казахстан, Узбекистан, Таджикистан, Кыргызстан и Туркменистан, а также Афганистан. В модели каждая страна Центральной Азии моделируется как число суб-регионов, охватывающих две реки: Амударья и Сырдарья. Аральское море должно быть выделено. В модели должны быть указаны 5 секторов, использующих воду: природа, питьевая вода, промышленность, сельское хозяйство и гидроэлектростанции.

### 2.1 Структура и вопросы, на которые надо ответить

Данный проект сосредотачивается на трех важных концепциях, рассматриваемых в процессе распределения воды:

- **Эффективность/рациональность**: как распределять воду для разных экономических и экологических целей таким образом, чтобы максимизировать общее благосостояние от использования воды
- **Экономичность**: как улучшить услуги в области водоснабжения для того, чтобы использовать меньше воды
- **Справедливость/равноправие**: как повышение эффективности и экономичности влияет на благосостояние различных групп людей в обществе

Эти понятия очень зависимы друг от друга, поэтому изменения в категории эффективности влияют на выбор типов водораспределения в отношении экономичности, что, в свою очередь, влияет на соображения о равноправии/справедливости. Для того чтобы правильно проанализировать три понятия, использованная методология должна включать в себя все три категории.

#### 2.1.1 Вопросы эффективности/рациональности

Вопросы, касающиеся эффективности, направлены на оптимизацию распределения воды, таким образом, чтобы улучшилось общее благосостояние стран. В этом случае важным является применение экономической концепции оптимальности Парето. Распределение водных ресурсов оптимально по Парето, если не может быть изменено таким образом, чтобы улучшилась ситуация одних, не делая при этом положение других хуже.

В этом отношении экономические компенсации за изменения в водопользовании могут способствовать тому, что выгоды, приобретенные одной группой, частично могут быть использованы для компенсации потерь другой группы. Если выгоды больше, чем потери, то экономические компенсации могут гарантировать опти-

мальность нового распределения по Парето. Поэтому изменения в распределении воды могут служить в интересах обеих групп.

Ключевые вопросы, относящиеся к понятию эффективности, сконцентрированы на сегодняшней ситуации и изменениях, которые могут быть выполнены для того, чтобы повысить общую экономическую эффективность водопользования:

- Какова экономическая ценность использования воды в настоящее время, учитывая тот факт, что вода есть составная часть производства в 5 секторах?
- Какова экономическая ценность в результате **изменения использования воды** в бассейне между 5 секторами? Каким образом полученные изменения в экономическом значении распределяются по 5 странам?
- Каким образом использование элементов водной системы (например, водохранилища, каналы) может быть улучшено в целях повышения эффективности в различных секторах экономики?
- Каким образом требования охраны окружающей среды (например, улучшение стока в Аральское море) изменяют характер водораспределения, по какой цене, и при помощи каких мер (например, изменения характера возделываемых культур)?
- Можно ли рассчитать "справедливые цены" на воду, и в какой степени это может быть использовано в качестве руководства по принятию решений в области сельского хозяйства, гидроэнергетики и промышленности?

Таким образом, вопросы эффективности направлены на изучение следующего: какие виды водопользования являются наиболее подходящими в плане улучшения общего благосостояния, в том числе для решения экологических проблем.

### **2.1.2 Вопросы экономичности**

Вопросы экономичности относятся к техническому уровню управления водными ресурсами, когда улучшения технологии или практик приводят к снижению использования воды для получения той же самой продукции. Вопросы экономичности включают следующие:

- Какова экономическая значимость повышения экономичности использования водных ресурсов (например, в управлении водохранилищами) в различных секторах, и как это значение соотносится с необходимостью инвестирования в экономику?
- Каким образом повышение экономичности реализует более продуктивное распределение использования воды?

Вопросы экономичности тесно связаны с вопросами эффективности, поскольку повышение экономичности может иметь важные последствия для тех видов распределения воды, которые наиболее полезны обществу.

### **2.1.3 Вопросы справедливости/равноправия**

Вопросы справедливости/равноправия касаются того, каким группам людей изменения в распределении воды и повышении эффективности водной системы приносят пользу, а каким – убытки.

- Каким образом изменения в водораспределении влияют на разные страны в денежном выражении? Имеются ли очевидные возможности для компенсации, которые бы привели к улучшению ситуации согласно принципу Парето?
- В этой связи, каким образом различные сектора и регионы затронуты в отношении трудовой занятости, производства и экспорта?
- Существуют ли группы водопотребителей, которые особенно "болезненно" реагируют на определенное изменение в распределении воды?

Вопросы справедливости/равноправия относятся к **социально-экономическим последствиям** изменения в распределении приоритетов водного стока, то есть того, как эти изменения могут повлиять на людей, проживающих в регионе.

## **2.2 Временные рамки и сезоны**

Выбор временных рамок и сезонов зависит от вопросов, которые модель должна будет анализировать. В то же время, практические соображения, такие как вычислительные затраты и сложности, устанавливают ограничения на то, каким образом многолетние периоды и сезоны могут быть смоделированы. Гидро-экономические модели могут анализировать вопросы в двух основных и противоположных категориях:

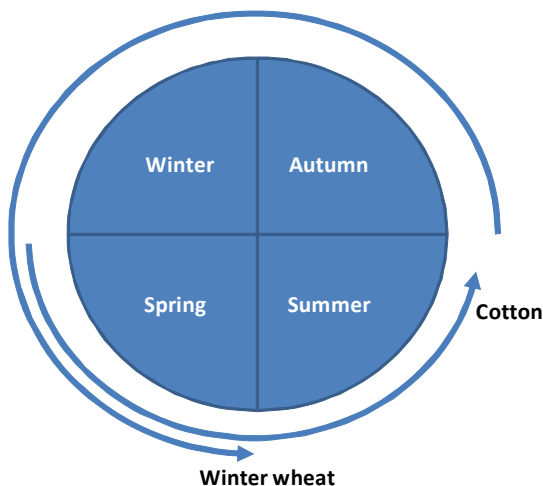
- **Долгосрочные вопросы**: относятся к рассмотрению вопросов многолетнего управления – водохранилищами в маловодные и многоводные годы в целях того, чтобы сбалансировать водоснабжение. Кроме того, к этой категории относятся вопросы изменения климата, поскольку климатические изменения влияют на решения, относящиеся к многолетнему управлению.
- **Краткосрочные вопросы**: касаются распределения водных ресурсов в течение каждого года, и, таким образом, применимы при выборе культур и планирования графика поставок гидроэнергии в отношении благоприятных цен на электроэнергию в зависимости от месяца года.

Конкретно, краткосрочные вопросы сосредоточены на вопросах сезонности обсуждаемых сельскохозяйственных культур. В то время как вегетационный период хлопка – с марта по сентябрь, озимая пшеница имеет вегетационный период с октября по июнь. Следовательно, спрос на воду этих двух культур сильно различается, и эта разница может быть важна, когда дело доходит до распределения водных



ресурсов и сроков планирования работы ГЭС. Вегетационный период примерно представлен на Рис. 1.

Рис. 1 Вегетационный период хлопка и пшеницы



Кроме того, цены на электроэнергию тоже изменяются в течение месяцев (как и в течение недель, дней и, в некоторых случаях, часов), таким образом, сильно влияя на оптимальные сроки выработки ГЭС. Для анализа влияния изменений цен на электроэнергию по сравнению с изменением потребностей в воде разных культур, представляется уместной ежемесячная модельная сезонность. Краткосрочность данной проблемы предполагает, что многолетнее моделирование не добавляет значительных преимуществ для анализа моделирования по времени больше одного года.

С другой стороны, вполне вероятно, что численная сложность долгосрочной модели охватывающей все месяцы, начиная с 2010 по 2050 год, вырастет до такой степени вычислительной сложности, что станет очень непрактично для рабочих целей.

Можно сделать вывод, что бисезонная модель, охватывающая более 40 лет, является приемлемой для анализа долгосрочных вопросов, в то время как ежемесячная модель, охватывающая один год (с моделированием одного года, например 2010, 2020, 2030, 2040 и 2050) целесообразна для анализа краткосрочных вопросов.

Разработанная модель может анализировать как долгосрочные, так и краткосрочные вопросы, как это указано выше. Тем не менее, на данном этапе было решено обеспечить выполнение только краткосрочной модели.

Наличие долгосрочной модели потребует дальнейшего сбора данных и обработки.

### 2.3 Базовая концепция экономической модели

Основной вопрос, поставленный в рамках данного проекта, является описание экономической стоимости воды как сегодня, так как в будущем. Критерием для будущего распределения воды является то, что должна быть улучшена общая экономическая эффективность использования водных ресурсов.

### 2.3.1 Критерии оптимизации

Стандартной базовой концепцией измерения экономического улучшения является валовой внутренний продукт (ВВП), то есть стоимость произведенной продукции в бассейне Аральского моря. Другими словами, *модель должна стремиться к максимизации объемов производства за счет улучшения распределения дефицитных водных ресурсов во времени и в пространстве.*

Хотя водное хозяйство представляет собой очень значимую экономическую деятельность в регионе Аральского моря, его первичные эффекты оказывают особенное влияние на некоторые экономические ресурсы, в то время как на другие ресурсы это влияние косвенно. Обзор возможных экономических последствий позволяет нам выбирать, какое влияние будет применимо к модели, и какое можно будет не принимать во внимание. В данном обзоре показана тождественность ВВП по отношению к фактору дохода от производственных факторов<sup>1</sup>:

$$P \text{ GDP} = K \text{ PK} + L \text{ PL} + A \text{ PA} + W \text{ PW} + E \text{ PE}$$

Мы упрощаем нашу экономическую модель с использованием следующих допущений:

- Цена **капитала** определяется международным рынком капитала, в то время как предложение определяется уровнем долгосрочных внутренних сбережений и притоков иностранного капитала.<sup>2</sup> Мы предполагаем, что эффекты распределения воды на внутренние сбережения малы, и поэтому изменения во внутреннем доходе от капитала (т.е.  $K \text{ PK}$ ) не нужно моделировать.
- В отношении **энергетических и минеральных ресурсов**, предполагается, что нет никакого эффекта от изменения водопользования. Тем не менее, гидроэнергетика считается энергетическим ресурсом.
- Что касается рынка **труда**, вполне вероятно, что изменения в распределении воды *будут* влиять как на заработную плату, так и на распределение рабочей силы между различными секторами экономики, в частности сельскохозяйственного сектора с интенсивным водопотреблением и значительными трудозатратами. Моделирование рынка труда выходит за рамки проекта. Таким образом, экономические эффекты основного перераспределения воды, которое воздействует на трудовые доходы (например, снижение сельскохозяйственного водопотребления и использования рабочей силы) не будут адекватно смоделированы. Однако если перераспределение произойдет постепенно, уже существующая миграция (из деревни в город), может облегчить меньшую потребность в сельскохозяйственном труде, что позволит сохранить трудовой доход достаточно стабильным. Таким образом, при достаточно небольших изменениях,  $\Delta (L \text{ PL}) = 0$ .

<sup>1</sup> К - капитал, L – трудовые ресурсы, А - земля, W for water - вода и Е - энергия/минералы. Р означает цены соответствующих факторов, таких как, например, общий фактор дохода по труду, описаны L PL. Р описывает общую инфляцию.

<sup>2</sup> Мы не принимаем во внимание доход от иностранных инвестиций, так как это не включается в расчет ВНП.

- Перераспределение воды не имеет инфляционный эффект (на  $P$ ), так как предполагается, что изменение распределения воды приводит к тому, что некоторые товары становятся дороже, а другие становятся дешевле, и поэтому примерный баланс будет обеспечен<sup>3</sup>.

С помощью данных допущений мы можем выделить фактор дохода от факторов капитала, труда и энергетических ресурсов из модели, и сосредоточить внимание на изменениях в структуре ВВП, относящихся к фактору дохода от использования земельных и водных ресурсов. Поскольку общее обеспечение земельными и водными ресурсами фиксировано, соответствующие изменения могут быть описаны следующим образом:

$$\Delta GDP = A \Delta PA + W \Delta PW + E \Delta PE$$

Это означает, что любое изменение в ВВП вызвано изменением в распределении факторов производства энергии, земли и воды на виды использования, что генерирует более высокий коэффициент дохода. Таким образом, задача оптимизации развивается вокруг распределения воды и земли в сторону экономической деятельности (ГЭС, сельское хозяйство и т.д.), которая предлагает более существенный доход от факторов производства, но не деятельности, предлагающей меньший коэффициент дохода.

Формирование доходов можно также рассматривать со стороны производства, то есть за счет продажи продукции и стоимости ресурсов.

$$GDP = O PO - I PI$$

где  $O$  является количеством выпущенной продукции,  $PO$  - его цена,  $I$  - ресурсы и  $PI$  - цена ресурсов. Так как цена ресурса (кроме воды и земли) и количество выпущенной продукции в сельскохозяйственном производстве является модельным предположением, добавленная стоимость земли и воды можно рассчитать как остаток вышеуказанного сельскохозяйственного показателя ВВП, т.е.

$$VA^{water} + VA^{land} = O PO - K PK - L PL - G PG$$

где  $G$  и  $PG$  являются количеством и ценой других товаров, используемых в сельскохозяйственном производстве. В этом уравнении, все цены известны, при расчете добавленной стоимости в сельском хозяйстве является задачей выделения земли, воды, капитала, рабочей силы и других товаров эффективным способом.

Важно отметить, что ГЭС не "используют" воду, они просто удерживают воду в водохранилищах (без учета испарения). ГЭС, имеющие крупные водохранилища, вынуждены менять напор воды на ГЭС, исходя из стратегии регулирования стока водохранилищами. ГЭС должны стараться максимизировать производство, когда цены на электроэнергию ( $PE$ ) очень высоки.

Сроки производства ГЭС должны с другой стороны сопоставляться с сезонными потребностями в воде сельскохозяйственного производства. Таким образом, модель также включает ограничения так, чтобы сроки производства ГЭС и использование воды должны быть согласованы.

<sup>3</sup> Для тщательного моделирования данных эффектов, требуется полноразмерная вычислимая модель общего равновесия.

Учитывая приведенные выше соображения, целевая функция для задачи оптимизации может быть определена как сумма факторных доходов с течением времени  $t$  и регионов  $r$ :

$$\max GDP(W, A) = \sum VA_{r,t}^{water} + VA_{r,t}^{land} + E_{r,t} PE_{r,t}$$

с учетом ряда ограничений:

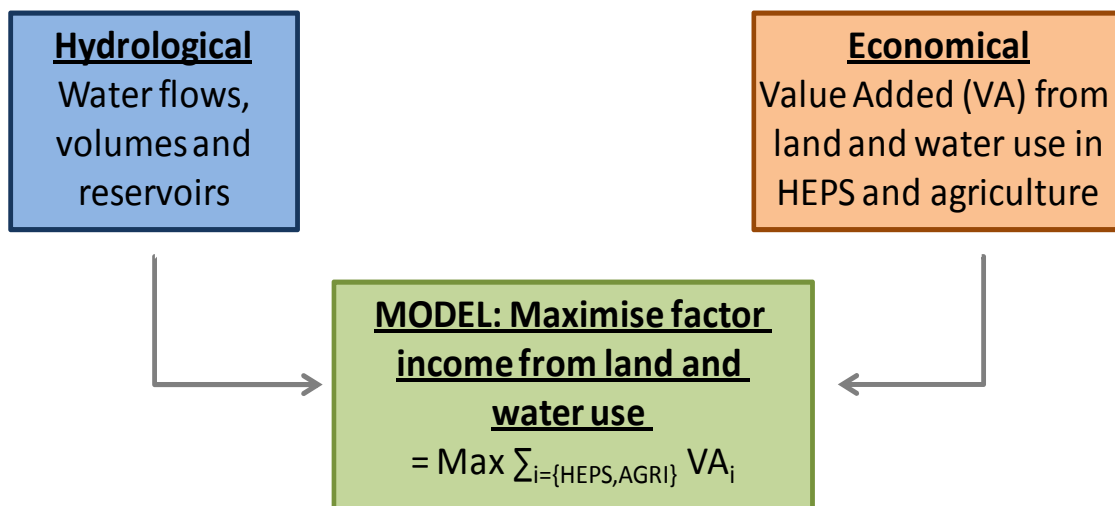
- гидрологические факторы, потери и спрос на воду
- ограничения, описывающие отношение между сельскохозяйственными производственными ресурсами и произведенной продукцией (входами и выходами)
- производство энергии ГЭС, учитывая, что почти полное водохранилище производит больше электроэнергии на кубический метр воды, чем наполовину пустое, в связи с большим напором (разницей между водной поверхностью резервуара и высотой выпускного отверстия)

Вышеуказанные ограничения представлены здесь очень обобщенно и абстрактно. В разделе 3, можно найти гораздо более подробное описание гидрологических ограничений, а в разделе 4 подробнее описываются экономические ограничения и тождества модели.

## 2.4 Моделирование экономической стоимости воды и земли

Есть два ключевых элемента моделирования экономической стоимости воды и земли. Один элемент заключается в вычислении стока и объемов воды, вызванных как природным, так и рукотворным распределением. Другой элемент заключается в оценке экономической стоимости использования воды для различных целей. Из стоимости и использования воды в сельском хозяйстве, может быть выведена стоимость земли.

Рис 2 Общая модельная концепция стока и объемов в сочетании с оценкой воды



Добавочная стоимость воды и земли, оптимизированная в данной модели, происходит из двух источников: гидроэнергетика и сельское хозяйство.

Увеличение добавленной стоимости гидроэнергетики зависит от двух факторов: (а) сброс воды с водохранилищ, наполненных по мере возможности, в целях максимизации производства электроэнергии на кубический метр и (б) сброс, когда цены на электроэнергию высоки.

Увеличение добавленной стоимости в сельском хозяйстве зависит от выращивания культур, которые являются наиболее экономически рентабельными и в то же время которые целесообразно выращивать в отношении использования земельных и водных ресурсов. Добавленная стоимость при производстве культуры от земли и воды, таким образом, рассчитывается как стоимость продаж минус расходы на капитал, рабочую силу и др. (удобрение/дизель), но явно не на землю и воду.

### 3 **GAMS ПРОГРАММИРОВАНИЕ И СТРУКТУРА МОДЕЛИ**

Этот раздел дает некоторую полезную информацию по программированию в системе GAMS и как файлы структурированы в модели.

#### 3.1 **Принятые понятия в данном документе**

Уравнения в настоящем документе указывают отношения, которые могут быть вставлены в модель. В общем, эндогенные переменные (то есть определенные моделью) пишутся прописными буквами, в то время как данные, определяемые экзогенными переменными (так называемые "параметры" в терминах GAMS) пишутся строчными буквами.

Индексы обозначаются в скобках, при этом  $r$  является индексом суб-региона и  $m$  – индексом сезона (может быть месяц, квартал или би-сезон или то, что считается наиболее подходящим). Индексом года является  $y$ . Сектора обозначаются  $j$ , а культура –  $c$ .

Название параметра, оканчивающееся на ноль, означает, что это данные за базисный год, например, цена или количество. В данной записке мы работаем с переменными DEM (спрос) и PRICE (цена на воду). Эти переменные индексируются по культурам, секторам, регионам, сезонам и годам.

#### 3.2 **Введение в GAMS**

Данный документ не предназначен в качестве учебного пособия по GAMS. Вместо этого читатель может обратиться к онлайн-документации по GAMS, которая доступна по адресу:

<http://gams.com/docs/document.htm>

и

<http://support.gams.com/doku.php>

Читателю также предлагается подписаться на список рассылки GAMS, где могут быть размещены общие и конкретные вопросы по GAMS. Обратите внимание, что права интеллектуальной собственности на модель BEAM не позволяют постить код модели в эту рассылку.

#### 3.3 **Структура модели**

Модель состоит из нескольких различных файлов:

**BEAM.xls** - таблица Excel, содержащая все необходимые данные для работы модели. В этой таблице Excel макрос может создать так называемые **.inc** файлы (см. ниже),

**BEAM.gms** - GAMS файл, содержащий дальнейшие определения данных, уравнения и таблицы отчетности

**sets.inc** - GAMS файл, содержащий все определения множеств (см. раздел 4 данного документа)

**maps.inc** - GAMS файл, содержащий все определения карт (см. раздел 4 данного документа)

**data.inc** - GAMS файл, содержащий все определения данных (см. раздел 5 данного документа)

**assumptions.inc** - файл GAMS, содержащий все сценарные допущения (см. раздел 5 данного документа)

**BEAMflowOut.csv** – файл, отделенный запятой, содержащий выходные данные по сельскохозяйственным результатам модели

**BEAMflowOut.csv** – файл, отделенный запятой, содержащий выходные данные по результатам водного стока

**BEAMoutput.xls** – рабочий лист с данными из **BEAMflowOut.csv** и **BEAMagriOut.csv**, представляющий обзор этих данных

Модель запускается при помощи ввода директории, в которой хранятся файлы BEAM

```
c:\BEAM\> gams.exe beam.gms
```

Макрос создания .inc файлов можно активировать, нажав на кнопку под названием "Write sets and data" ("Запись множеств и данных") в главной странице листа **BEAM.xls**. Если используются очень старые версии GAMS, возможно необходимо разместить **.gms** и **.inc** файлы в корневой директории установки GAMS.

## 4 ОПЕРАЦИОННЫЕ БЛОКИ В МОДЕЛИ

GAMS модели работают путем применения уравнений и неравенств к операционным блокам. Каждый операционный блок представлен элементом из множества. В этой главе описаны наиболее важные множества.

- Множество  $B$  описывает все узлы в модели. Это может быть частью реки, водохранилищами, зонами планирования или морями. Подмножества  $B$  описывают тела, которые принадлежат к этим категориям.
- Количество двумерных множеств (комбинации двух тел) описывают дуги
- Множество  $J$  описывает типы культур
- Множество  $K$  описывает ресурсы сельскохозяйственного производства
- Два множества  $Y$  и  $M$  описывают год и месяцы

Ниже эти множества описаны более подробно.

### 4.1 Типы узлов, описывающих водные объекты и зоны планирования

Модель различает несколько типов узлов

- **Узлы источника воды:** это исток речной воды. Вся вода, текущая в узел источника, должна продолжать свое течение вниз к узлу нижнего течения. Узлы источника воды обозначаются множеством  $bS \cap B$ .
- **Узлы реки:** узлы реки (участки) снабжаются водными источниками, водоемами и возвратными водами. Вся вода, текущая в узел источника, должна продолжать свое течение вниз к узлу нижнего течения. Узлы реки обозначаются множеством  $bI \cap B$ .
- **Узлы водохранилища:** узлы водохранилища имеют возможность хранить воду в объеме между минимальной и максимальной вместимостью водохранилища. Узлы водохранилища могут работать в фиксированном режиме, что означает, что возможность хранения воды не используется, и все притоки немедленно сбрасываются.
- **Узлы моря:** узлы моря являются конечными узлами, без дуг к нижним узлам. Технически они имеют возможность для накопления воды, что приводит к повышению уровня моря.
- **Узлы зон планирования:** Эти узлы являются конечным пунктом назначения всех видов человеческого водопользования для целей сельского хозяйства, промышленного и бытового использования.



## 4.2 Дуги, соединяющие узлы

Модель различает несколько типов дуг.

- **Дуги сброса** (в модели эти потоки описывает переменная  $DIS$ ), соединяющая водохранилища с узлами нижнего течения. Ежемесячный объем протекающей через дуги сброса оптимизирован в соответствии с потребностями в воде в нижнем течении и производством гидроэнергии из воды, протекающей через дугу сброса.
- **Дуга притока** (в модели переменная  $ITK$ ), соединяющая узлы реки с узлами зоны планирования. Приток равен потребностям в воде зон планирования.
- **Дуга течения** (в модели переменная  $FLW$ ), соединяющая узлы реки с другими узлами реки, моря и водохранилища.

Дуги течения изображены вместе со всеми узлами в приложении А.

## 4.3 Сельскохозяйственные культуры и производственные ресурсы

В сельском хозяйстве есть семь культур: хлопок, пшеница, рис, овощи, фрукты, люцерна и прочие культуры. Эти культуры содержатся в множестве  $J = \{cot, wht, ric, veg, fru, alf, oth\}$ .

Сельскохозяйственные расходы делятся на землю, воду, труд, капитал и другие расходы (например, охватывающие дизельное топливо, удобрения, семена). Эти материалы содержатся в множестве  $K = \{land, watr, labr, cptl, othr\}$ .

## 4.4 Множества, относящиеся ко времени

Множества для лет обозначаются  $y \in Y$ . В настоящее время данные модели подготовлены только на один полный год (по выбору пользователя), состоящий из 12 месяцев  $\in M = \{m01, \dots, m12\}$ . Обычно, год начинается в октябре ( $m10$ ) и заканчивается в сентябре ( $m09$ ) следующего года.

## 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ СТОИМОСТЬ ВОДЫ И ЗЕМЛИ

Эта глава определяет функции спроса по секторам, таким образом, предоставляя информацию о ключевых переменных и необходимых данных (см. также приложение В).

### 5.1 Природа

Для природного спроса на воду предлагается использовать фиксированный, неэластичный спрос. Это означает, что природный сектор будет требовать того же количества воды, независимо от цен на воду. Это свидетельствует о том, что природный спрос на воду является следствием решений относительно планирования водопользования, принимаемых людьми.

Технически, потребность в воде природы является фиксированным параметром GAMS называемым  $minFlow(bd, bo)$  (где  $bo$  определяет узел верхнего течения, а  $bd$  узел нижнего течения), описывающим потребности природы на воду каждого субрегиона. Субрегиональная потребность природы на воду будет определяться на основе данных о фактическом использовании воды для природных целей, как, например,

$$FLW(bd, bo, m, y) \geq minFlow(bd, bo, m) \forall bo, bd \in B, m \in M, y \in Y$$

Кроме того, можно указать ежегодный приток, в случае если точное распределение в течение месяца является менее важным для окружающей среды по сравнению с общим годовым притоком.

$$\sum_y FLW(bd, bo, m, y) \geq minFlowA(bd, bo) \forall bo, bd \in B, m \in M, y \in Y$$

Стоимость охраны природы в бассейне Аральского моря можно оценить по изменению спроса на воду для этой цели. Количественная оценка преимуществ выполнения этого выходит за рамки анализа модели.

Качество воды (например, содержание солей и т.д.) в настоящее время находится за пределами охвата модели, хотя были проделаны некоторые подготовительные работы для последующего включения.

### 5.2 Питьева вода

Спрос на питьевую воду вызван использованием воды для питья, гигиены и т.д. Эти цели являются обязательными (неотъемлемыми) и, вероятно, не будут реагировать сильно на изменение цен на воду. Таким образом, предполагается, что спрос населения на питьевую воду является заданным ежемесячным параметром на основе данных наблюдений. Спрос на питьевую воду описывается параметром  $qHwater_{b,m}$ , где  $b \in bPlz$  и  $m \in M$ .

### 5.3 Промышленный спрос

Спрос промышленности на воду зависит от промышленного производства. Доля воды в стоимости ресурсов промышленного производства довольно мала, так что спрос вряд ли будет сильно реагировать на ценовые сигналы или другие стимулы планирования. Таким образом, предполагается, что промышленный спрос на воду является заданным ежемесячным параметром на основе данных наблюдений. Спрос промышленности на воду описывается параметром  $qIwater_{b,m}$ , где  $b \in bPlz$  и  $m \in M$ .

### 5.4 Сельское хозяйство

Сельскохозяйственное производство культур описано в виде производственной функции Леонтьева. Это означает, что 1% изменение объемов производства связано с 1% изменением ресурсов  $K = \{земля, вода, труд, капитал, прочее\}$  и других ресурсов, таких как дизельное топливо, удобрения и т.д.

Модель показывает сельскохозяйственную деятельность в так называемой индексной форме, это означает, что переменные, описывающие производственные ресурсы (входы) ( $iINPUT$ ) и продукцию (выходы) ( $iOUTPUT$ ) в базисной линии равны 1. Таким образом, если конечная переменная продукции составляет в итоге 1,15, то производство выросло на 15%. Физические объемы посевов, воды, земли и т.д. могут быть найдены путем умножения переменной индекса на значение физического производства или использования в базовый год.

Позволяя индексу  $k \in K$  обозначить эти производственные ресурсы, тождество Леонтьева может быть записано в виде

$$iOUTPUT(b, j, y) = iINPUT(b, j, k, y) \forall j \in J, k \in K, y \in Y, b \in bPlz$$

где  $J \subset J = \{хлопок, пшеница, рис, люцерна, фрукты, овощи, прочее\}$ . Это тождество применяется для всех  $j$  культур в зонах планирования  $b \in bZ$ , где присутствует положительное использование ресурса  $k$  в базовый год.

Общий ежемесячный объем водопользования в сельском хозяйстве, таким образом, составляет

$$iINPUT(b, j, k, y) * qWater0(b, j, m) \forall j \in J, k \in K, y \in Y, b \in bPlz$$

где  $qWater0$  год является ежемесячно использования воды в базовый год для культуры  $j$  в зоне планирования  $b$ . Это водопользование входит в водный баланс зоны планирования.

Для некоторых культур, предполагается, что землепользование этой культуры фиксировано, например, для фруктов с плантации. Фиксированные культуры представлены множеством  $jAX$ . Для них ограничением модели является

$$iOUTPUT(b, j, y) = 1 \forall j \in jAX, y \in Y, b \in bPlz$$

Остальные культуры (так называемые гибкие культуры, обозначаются в множестве  $jAF$ ) не ограничены конкретным землепользованием. Однако предполагается,

что распределение землепользования базового года отражает различные ограничения гибкости культур. Например, комбайны могут оказаться в недостаточном количестве, чтобы вместить намного больше пшеницы, или качество почвы может препятствовать более широкому использованию определенных культур. Кроме того, знания фермеров об отдельных культурах могут быть сдерживающим фактором изменения структуры посевных площадей.

Для отображения этих ограничений предполагается, что гибкие культуры зависят от так называемой границы преобразования<sup>4</sup>. Это означает, что переход от структуры сельхозкультур, например, 60% хлопок и 40% пшеницы к структуре 50/50% приводит к снижению урожайности обеих культур определенной величины. Функциональная форма границы преобразования представляется типом CET (постоянной эластичности трансформации) и представлена соотношением:

$$\sum_{j \in JAZ} (oShare0(b, j) * IOUTPUT(b, j, y)^{rL})^{1/rL} = 1 \forall y \in Y, b \in bPlz$$

Параметр  $rL < 0$  описывает насколько "вялыми" являются гибкие культуры. Значение близкое к нулю, указывает на очень вялую трансформацию, в то время как численно большее значение указывает на большую гибкость. Параметр  $oShare0$  описывает процентное распределение продаж урожая (только гибкие культуры) в денежном выражении для данной зоны.

Величина  $rL$  непосредственно не наблюдается, а скорее полагается на догадке специалиста по моделированию путем надлежащего анализа. Значение  $rL$  было выбрано так, что переход от доли пшеницы и хлопка 50/50% к доле 60/40% сопровождается потерей урожая в 5%. Это дает  $rL = -1.5$ . Изменения в доле 70/30 будет означать падение урожая на 19%.

Добавленная стоимость в сельском хозяйстве от использования воды и земли относится к значению продаж за вычетом значения расходов, и определяется для всех лет и зон планирования  $y \in Y, b \in bPlz$ :

$$aVADDED(h, y) = aSALES(h, y) - aCOSTS(h, y) \forall y \in Y, h \in hPlz$$

$$aSALES(b, y) = \sum_j IOUTPUT(b, j, y) * qOutput0(b, j, y) * pOutput(j)$$

$$aCOSTS(b, y) = \sum_{j, kT} IINPUT(b, j, kT, y) * qInput0(b, j, kT, y) * pInput(j, kT)$$

Выход сельского хозяйства (измеряемый в тоннах за год)  $qOutput$ , цены на урожай  $pOutput$ , производственные расходы базового года  $qInput0$  и цены на производственные ресурсы  $pInput$ .

<sup>4</sup> See Mas-Collell, Whinston and Green (1995)

## 5.5 Гидроэнергетика и управление водохранилищами

Важным аспектом производства гидроэнергии и управления водохранилищами является то, что производство электроэнергии на кубический метр воды зависит от перепада высот между уровнем воды в водохранилище и уровнем нижнего бьефа. Эта высота известна как "голова". Большой напор приводит к большей выработке электроэнергии. В свою очередь, "голова" зависит от уровня водохранилища, так что водохранилище с уровнем, близким к максимальному, производит больше энергии на кубический метр воды, чем с уровнем, близким к минимуму.

Отношение между "головой" и уровнем водохранилища зависит от конкретной топографии водохранилища, но в целом, график, описывающий "голову" в качестве функции объема водохранилища, является выпуклым и наклоненным вверх (т.е. 10% снижение в объеме почти заполненного водохранилища имеет незначительное влияние на напор, в то время как 10%-ное снижение объемов почти пустого водохранилища влияет сильно).

Функциональная форма была рассчитана многочленной регрессией по 6-8 предполагаемым баллам за каждый объем водохранилища, относящей объем к "голове". Функциональная форма отношения голова/объем в модели, таким образом, для всех водохранилищ, месяцев и лет:  $y \in Y, b \in bRes, m \in M$

$$HEAD(b, y, m) = a(b) + b(b) * VOL(b, y, m) + c(b) * VOL(b, y, m)^2$$

где  $VOL$  – объем водохранилища в кубических метрах, а  $HEAD$  – "голова" в метрах. Тогда производство электричества  $ELY$  является

$$ELY(b, y, m) = \sum_b g * \rho * \eta(b) * HEAD(b, y, m) * DIS(b, y, m)$$

где  $g$  - постоянная свободного падения ( $9,82 \text{ м/с}^2$ ),  $\rho$  – плотность воды (1 кг/литр), и  $\eta(b)$  электрическая производительность генераторов.

Рынок электричества разделен на базовую нагрузку, 16 часов/день ( $ELYBASE$ ) и пиковую нагрузку, 8 часов/день ( $ELYPEAK$ ). Это сдерживает модель от того, чтобы не пытаться сбрасывать максимальное количество воды в течение месяца с самой высокой ценой на электричество. Таким образом, общее производство электричества в течение месяца распределяется согласно базовой и пиковой нагрузке, при этом ГЭС стремятся производить как можно больше электричества в пиковый период.

$$ELY(b, m, y) = ELYBASE(b, m, y) + ELYPEAK(b, m, y)$$

Производство в пиковые и базовые часы ограничено электрическим эффектом турбин и месячным количеством часов пиковой и базовой нагрузки. Параметр  $reservoirs^{effect}$  представляет максимальный эффект водохранилища.

$$ELYBASE(b, m, y) < 30 \times 16 \times reservoirs_b^{effect}$$

$$ELYPEAK(b, m, y) < 30 \times 8 \times reservoirs_b^{max}$$

Доход ГЭС от продаж электричества  $eSALES$ , таким образом, представляет сумму продаж электричества, произведенного в пиковый и базовый периоды при ценах  $pElyBase$  и  $pElyPeak$ .

$$eSALES(b, y) = \sum_m ELYBASE(b, m, y) * pElyBase(m, y) + \sum_m ELYPEAK(b, m, y) * pElyPeak(m, y)$$

## 5.6 Общая функция критерия

Общая функция критерия модели заключается в максимизации прибыли от использования земельных и водных ресурсов в форме добавленной стоимости сельского хозяйства и продаж электричества, обеспечиваемого гидроэнергетикой:

$$\sum_{b, y} aSALES(b, y) - aCOSTS(b, y) + eSALES(b, y)$$

## 6 ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧЕНИЯ

Гидрологические ограничения состоят из уравнений и неравенств, описывающих водные объекты в бассейне (технически описаны как узлы) и связей между ними (технически описаны как дуги).

### 6.1 Водный баланс

Все узлы в модели, зоны планирования, участки реки, водоемы или источники ограничиваются общим уравнением водного баланса. Это гарантирует, что вся вода будет продолжать течь вниз по течению. Левая сторона формулы представляет спрос, тогда как правая сторона представляет предложение.

$$\begin{aligned} & \sum_{bd} [ITK_{bd,b,m} + FLW_{bd,b,m}] + STO_{b,m} + \sum_{jA} DEM_{b,jA,m} + qHwater_{b,m} + qIwater_{b,m} \\ & = \\ & (\sum_{bo} [ITK_{b,bo,m} + DIS_{b,bo,m} + FLW_{b,bo,m}] + sup0_{b,m} + rtn0_{b,m} + GRW_{b,m})(1-lossSh_{b,m}) \end{aligned}$$

Для всех месяцев  $m$  в  $M$ , узлы назначения  $bd$  в  $B$  и узлы отправки  $bo$  в  $B$ .

Переменные и параметры, используемые для описания водного баланса здесь:

$sup0$  – вода (осадки и сток) в водоем

$rtn0$  – возвратный сток

$ITK$  – приток из части реки или канала в зону планирования

$FLW$  – поток между узлами реки, проходящий по дуге

$DIS$  – сброс из водохранилища в конкретный узел

$STO$  – наполнение емкостей (накопление)

$GRW$  – водозабор из подземных вод в зоне планирования

$DEM$  – сельскохозяйственное водопользование

$lossSh$  – потери в узле

$qHWater$ ,  $qIWater$  – спрос на воду несельскохозяйственных секторов

$qIWater$  – использование воды в орошаемом земледелии (для базового года)

### 6.2 Водохранилища

Водохранилища накапливают и сбрасывают воду в разное время, поэтому межвременной баланс также должен быть соблюден. Водохранилище рассчитывается как конечный объект и в конце сезона.

$$VOL_{b,m} = STO_{b,m} - \sum_{bd} [DIS_{bd,b,m}] + \sum_{mL} [VOL_{b,mL}] \quad \forall m \in M, b \in BR$$

где  $mL \in M$  обозначает месяц предыдущий  $m$ . Для первого месяца симуляции предполагается, что объем будет равен объему последнего месяца, к примеру, октябрь 2008 является предыдущим для сентября 2009. Данное допущение предпо-

лагает, что водопользование по сценарию равняется общему количеству осадков и стоку. Имеется возможность пользователю указывать наполнение или сброс от общего объема водохранилища.

Хранимые объемы должны быть в интервале минимального и максимального объема водохранилища. При использовании водохранилища в фиксированном режиме его минимальный объем будет равен максимальному.

$$VOL_{b,m} < \text{reservoirs}_b^{\text{max}};$$

$$VOL_{b,m} > \text{reservoirs}_b^{\text{min}}.$$



## 7 ОБЗОР ДАННЫХ

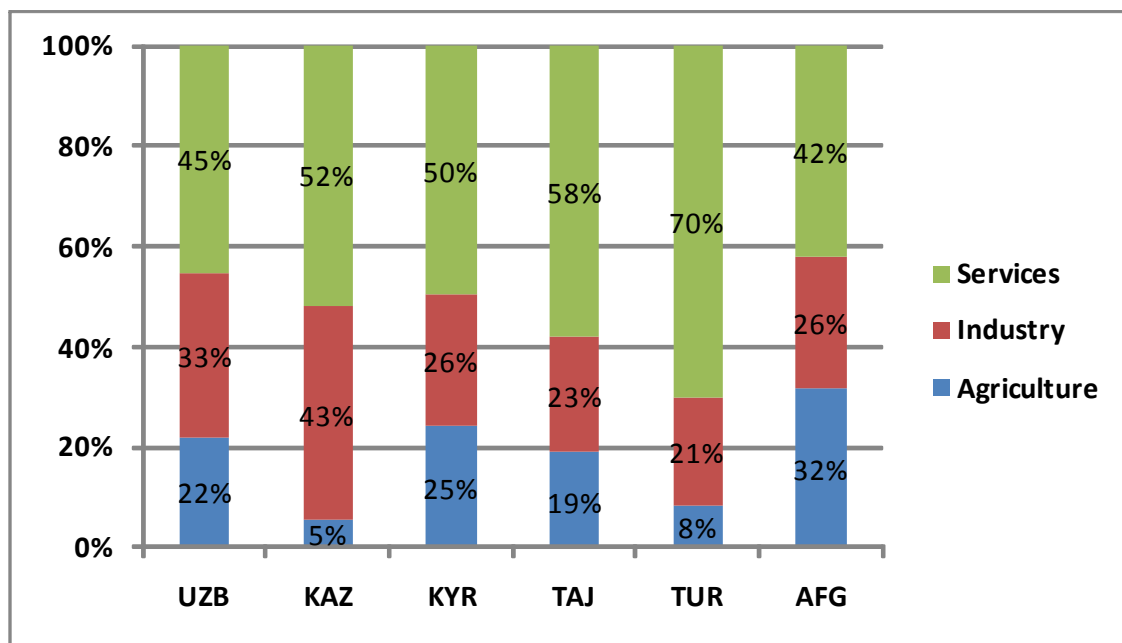
Данная глава представляет обзор собранных и обработанных данных в рамках данного исследования (также см. Приложение В).

### 7.1 Состав ВВП

Экономическая модель основана на механизме перехода, который сильно зависит от относительной доли стоимости производственных ресурсов в секторах водопользования. Представление таких данных даст непосредственную картину об ожидаемых последствиях изменения цен на воду.

В первую очередь представлены общие данные о структуре ВВП по сельскому хозяйству, промышленности и сфере услуг в шести странах. Рис. 3.

Рис. 3 ВВП по секторам и странам, 2010



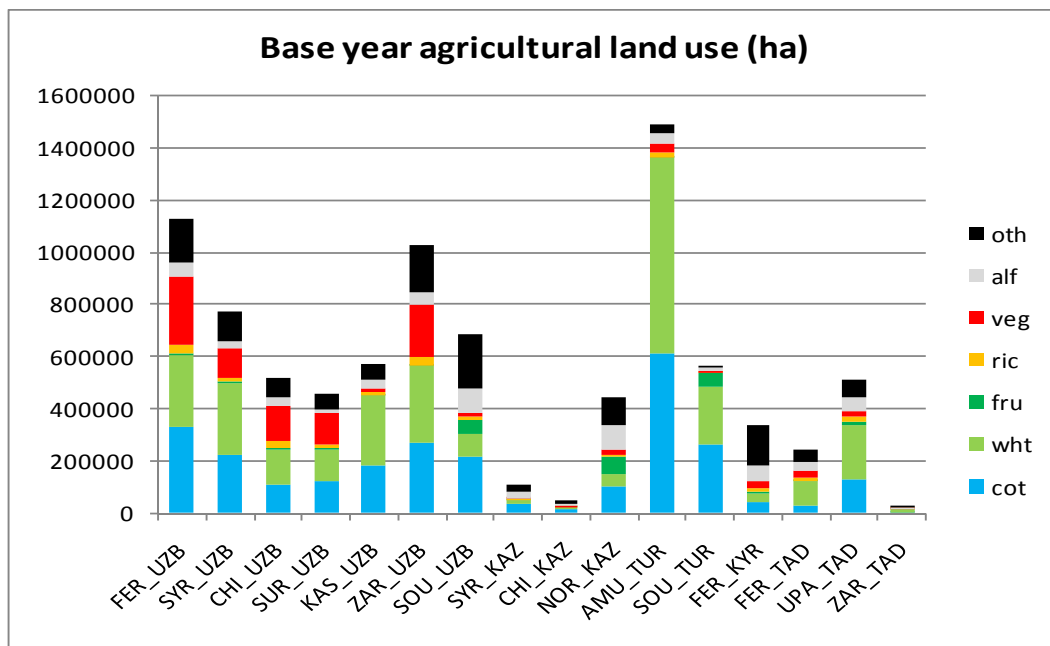
Источник данных: Факты ЦПУ, представленные <http://www.indexmundi.com>

Преобладание различных отраслей в отдельных странах региона также представляет интерес. Такие данные создают непосредственную картину влияния изменения распределения воды на отдельные страны.

### 7.2 Сельское хозяйство

На Рис. 4 показано сельскохозяйственное землепользование по культурам. Видно, что хлопок и зерно являются доминирующими культурами в большинстве стран, и, что Узбекистан и Туркменистан являются основными производителями зерна и хлопка в регионе. Третьей по значению культурой являются овощи.

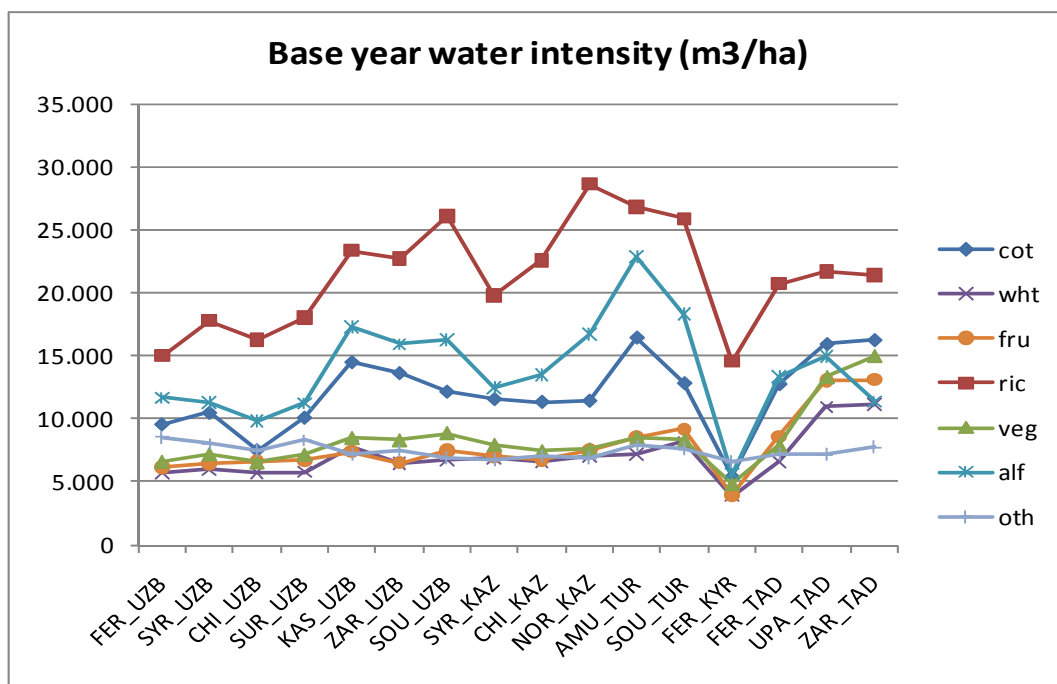
Рис. 4 Сельскохозяйственное землепользование по культурам, 2009



Источник данных: Собственный сбор данных

Различные культуры имеют различные потребности в воде. Рис, хлопок и пшеница являются относительно влагоемкими культурами с интенсивностью потребления более 10.000 м<sup>3</sup>/га. Культуры как пшеница, овощи и прочие обычно потребляют менее 10.000 м<sup>3</sup>/га, см. Рис. 5.

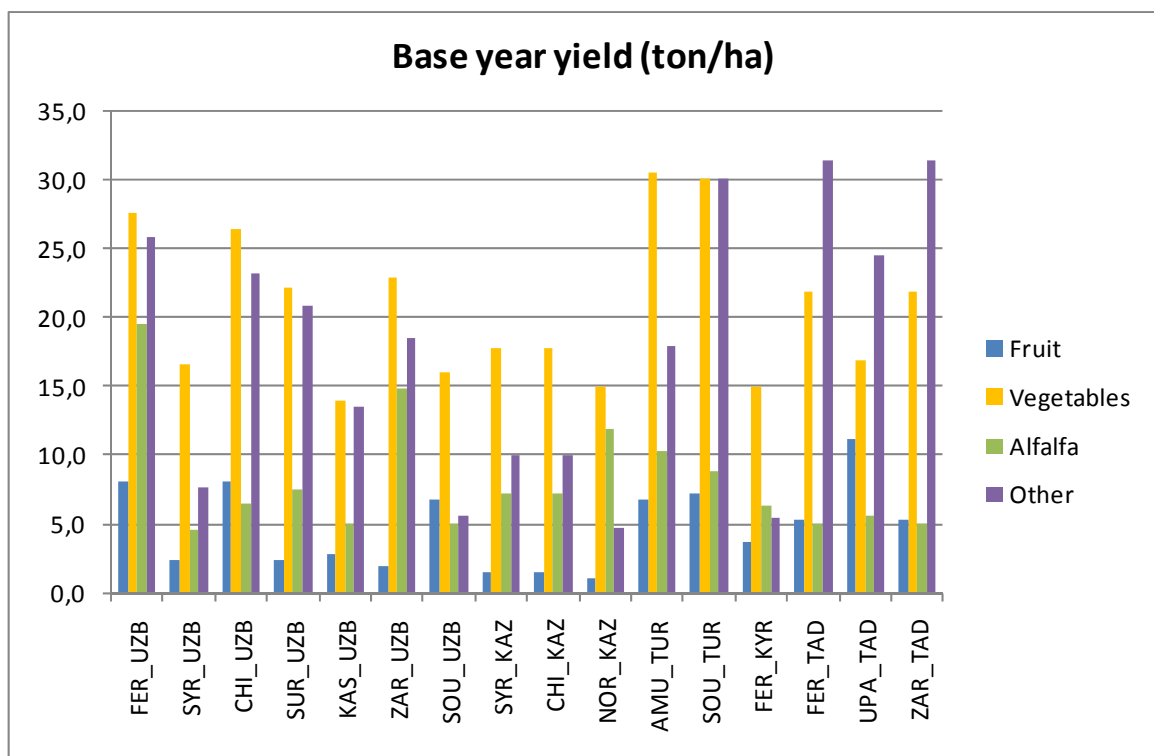
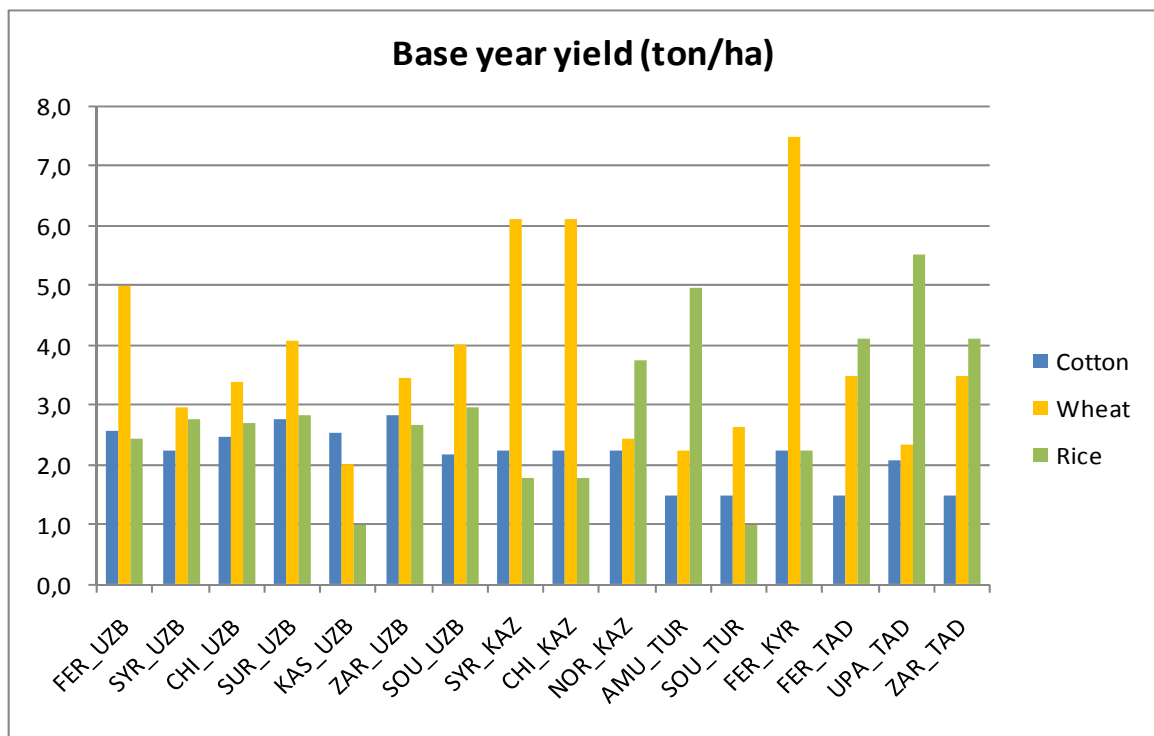
Рис. 5 Интенсивность сельскохозяйственного водопотребления



Источник данных: Собственный сбор данных

Урожайность показана на Рис. 6. Были внесены поправки в данные по урожаю так, что нулевым урожаем считается показатель для пшеницы при урожае 1,5 тонн/га, для хлопка 2,0 тонн/га и риса 1,0 тонн/га.

Рис. 6 Урожайность базового года, 2009.



Источник данных: Собственный сбор данных

Выбор фермерами культур также зависит от цен и издержек культуры. Это показано в Таблице 1:

Таблица 1 Издержки производства и цены на культуру

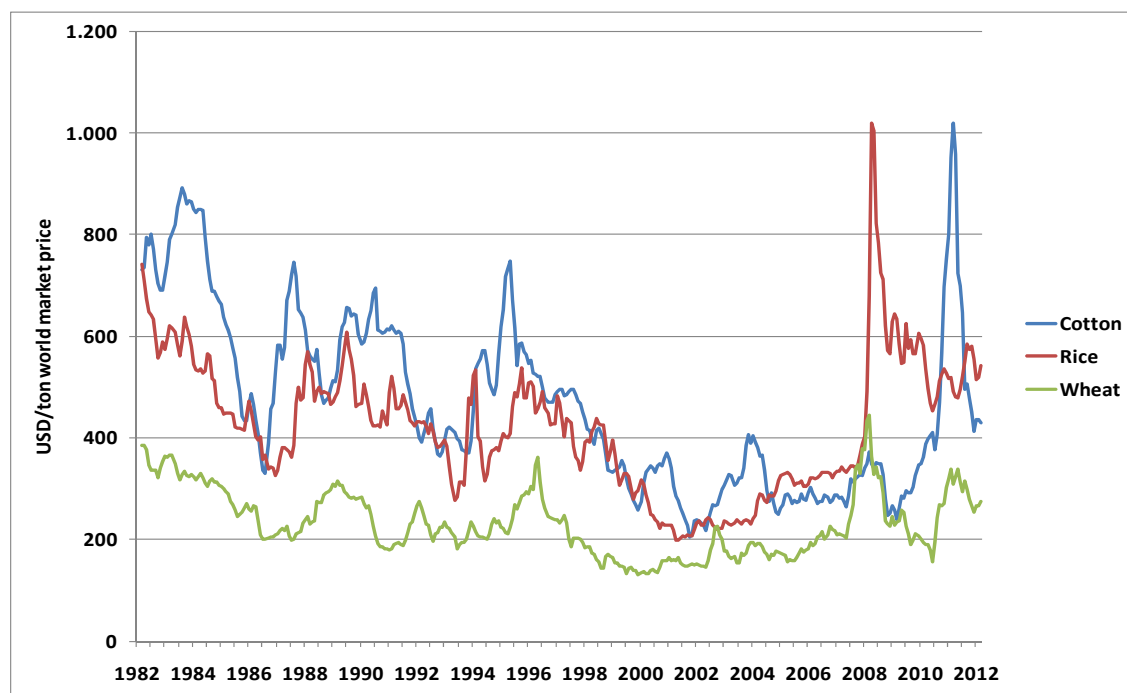
|                                  |             | Хлопок | Пшеница | Фрукты | Рис | Овощи | Люцер-<br>на | Про-<br>чее |
|----------------------------------|-------------|--------|---------|--------|-----|-------|--------------|-------------|
| Труд                             | Дол. США/га | 240    | 160     | 80     | 240 | 160   | 80           | 120         |
| Капитал                          | Дол. США/га | 18     | 18      | 14     | 14  | 14    | 12           | 12          |
| Прочие ресурсы                   | Дол. США/га | 360    | 240     | 120    | 360 | 240   | 120          | 180         |
| Цена культуры                    | Дол. США/т  | 467    | 232     | 450    | 422 | 50    | 100          | 75          |
| Урожайность ну-<br>левой прибыли | т/га        | 1,3    | 1,8     | 0,5    | 1,5 | 8,3   | 2,1          | 4,2         |

Источник данных: Собственный сбор данных

Цены на пшеницу, хлопок и рис приняты средними с 1982 года в реальном выражении, см. ниже. Цены на другие культуры взяты исходя из предположения по сопоставимым прибылям.

Хлопок, пшеница и рис являются продуктами, которые продаются на мировом рынке. Цены на эти культуры легко доступны. Временные ряды этих культур показывают, что цена довольно неустойчива (в частности, риса и хлопка), колеблется от -50% до +100% ниже и выше среднего. Эти цены приведены на рисунке 7.

Figure 7 Исторические реальные (уровня 2009 года) цены на пшеницу, хлопок и рис, 1982-2012, USD/тонна

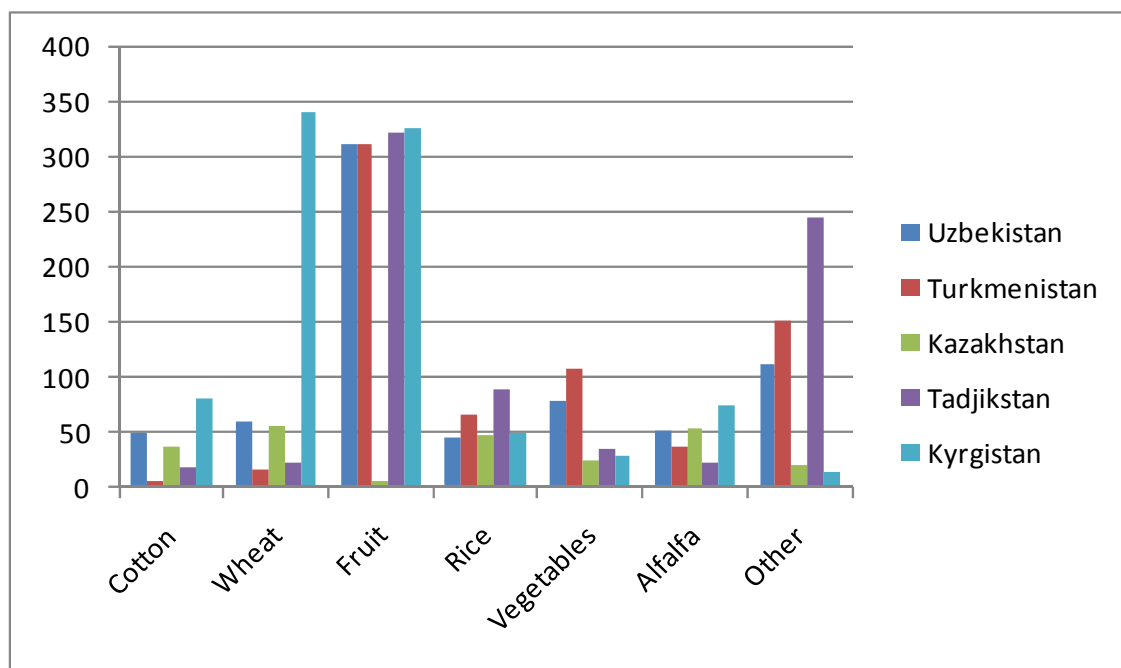


Источник данных: [www.indexmundi.com](http://www.indexmundi.com)

Цены на остальные культуры в гораздо большей степени зависят от местных условий рынка, так как они не так легко транспортируются по всему миру.

Грубая оценка экономической ценности воды может быть проиллюстрирована на примере учета сельскохозяйственной добавленной стоимости (объем продаж минус затраты капитала, рабочей силы и других ресурсов) водопользования, см. Рисунок 8.

Рис. 8 Экономическая эффективность культур, 2009, USD/1000м<sup>3</sup>.



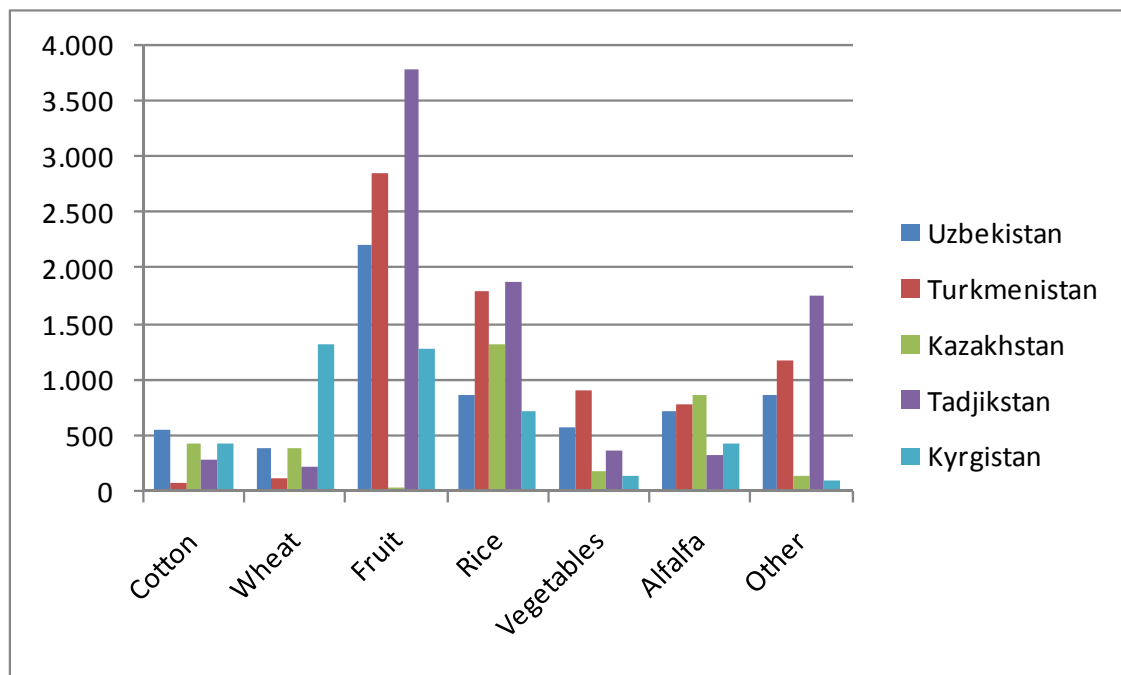
Источник данных: Собственные расчеты

Большинство из этих значений колеблется в пределах 25-75 USD/1000м<sup>3</sup>, хотя по фруктам и другим культурам видны выбросы. Большое значение для фруктов можно объяснить крупными инвестициями в насаждения, которые должны быть отнесены к земле, а не к воде (в данном расчете добавленную стоимость можно отнести либо к земле, либо к воде). Фрукты в Казахстане стоят особняком, потому что урожай плодов составляет всего лишь около 1-1,5 т /га по сравнению с 5-10 т /га и для других стран.

То же самое может иметь место с "прочими" культурами, где экономическая добавленная стоимость по отношению к воде высока в Узбекистане, Туркменистане и Таджикистане (что определено урожайностью свыше 10 т/га) и низка в Казахстане и Кыргызстане (что определено урожайностью ниже 10 т/га).

Добавленная стоимость также может быть связана с землепользованием. Общая картина здесь такая же, как и в увязке с водопользованием.

Рисунок 9. Добавленная стоимость от землепользования, USD/га.



Источник данных: Собственные расчеты

Неудивительно, что культуры с высокой урожайностью определяют более высокую добавленную стоимость, чем с низкой урожайностью. Это подчеркивает важность достоверности данных по урожайности.

### 7.3 Диверсификация сельского хозяйства

Хотя на первый взгляд может показаться более эффективным диверсифицировать нужды орошения и землепользования по сезонам, наблюдается<sup>55</sup>, что более широкое использование системы орошения и дренажа (I&D) для сочетания двух культур может привести к снижению прежнего уровня, так как в этом случае отсутствует межсезонный ремонт и очистка, по крайней мере, при нынешней практике обслуживания.

Также было отмечено, что диверсификация в большее число видов сельскохозяйственной продукции приведет к снижению экономических рисков. Это, конечно, может быть справедливо и в отношении технических / сельскохозяйственных рисков (вредители, засуха). Однако исторические данные показывают, что цены на сельскохозяйственную продукцию изменчивы соответственно – см. рисунок 7. Поэтому диверсификация рисков в этом отношении имеет также свои пределы (заметим, что эта цифра не учитывает инфляцию и отражает только цены в США).

<sup>55</sup> И. Абдуллаев и др. (2009)

## 7.4 Водохранилища

Данные по водохранилищам описаны в Приложении А.

В модель включены следующие водохранилищные гидроузлы:

- Гидроузлы с крупными водохранилищами и ГЭС межгосударственного влияния, расположенные на реках Сырдарья, Амударья и их основных притоков, как правило, многолетнего регулирования, комплексного использования (гидроэнергетика, орошаемое земледелие) существующие сегодня и возможно в будущем
- Гидроузлы с ГЭС с небольшими водохранилищами суточного регулирования, которые используются исключительно в энергетических целях
- Внутрисистемные емкости, регулирующие водные ресурсы в интересах орошаемого земледелия (они привязаны к отдельным зонам планирования и учтены как суммарные емкости малых и средних водохранилищ)

Собрана следующая информация:

- Данные, необходимые для описания функционирования водохранилищных гидроузлов и ГЭС в расчетной схеме (справочная информация), включая функции производства электроэнергии
- Данные по режимам работы водохранилищных гидроузлов, ГЭС, необходимые для настройки модели, а также анализа результатов моделирования – сравнения расчетных режимов с фактическими, которые возникали в различных водохозяйственных ситуациях, характеризующихся дефицитами энергии и воды, холостыми сбросами и потерями, а также скоординированными, рациональными решениями.

## 7.5 Инвестиции в эффективность орошения

Инвестиции в эффективность ирригации моделируются в качестве выбора пользователем в пользовательском интерфейсе. Выбирая из нескольких вариантов, пользователь может добавить повышение эффективности орошения в расчетные сценарии моделирования, за счет средств, связанных с га, или количеством воды покрываемыми инвестициями. Повышение эффективности и его стоимость приведены в таблице:

|           | Повышение<br>эффективности<br>% | Стоимость<br>площади<br>Дол.США/га | Стоимость<br>объема<br>Дол.США /м3 |
|-----------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Вариант 0 |                                 | 0                                  | 0,000                              |
| Вариант 1 | 0                               | 30                                 | 0,001                              |
| Вариант 2 | 0                               | 70                                 | 0                                  |
| Вариант 3 | 0                               | 200                                | 0,004                              |

## 7.6 Источники воды

Данные по источникам подземных и поверхностных вод указаны в Приложении А.

## 7.7 Возвратные воды

Возвратные воды (коллекторно-дренажный сток с орошаемых земель, бытовые и промышленные сточные воды), которые формируются в зонах планирования  $W_{ret}$ , должны быть разделены на три компонента:

- возвратные воды, которые возвращаются в речную сеть  $W_{ret\_river}$  - приводятся в сводном файле данных,
- возвратные воды, повторно используемые для орошения  $W_{ret\_ir}$  (в качестве дополнительного источника); первоначально этот компонент присутствует в списке входных данных рекомендованных региональным экспертом, однако в модели их нет, поэтому они должны быть включены в качестве функции водозабора в зоны планирования
- возвратные воды, сбрасываемые в озера (водные экосистемы) и в естественные понижения (испарители)  $W_{ret\_lake}$  - в модели, например, они рассматриваются как коллекторные стоки, входящие в Золотое озеро Туркменистана.

Возвратные воды могут быть представлены следующим образом:

$$W_{ret}(m, b) = b \cdot W_{int}(b) / 6.0$$

$$W_{ret\_river}(m, b) = c \cdot W_{int}(b) / 6.0$$

$$W_{ret\_ir}(m, b) = d \cdot W_{int}(b) / 6.0$$

Где:  $W_{ret}(m, b)$  – объем возвратных вод [млн.куб.м],  $W_{ret\_river}(m, b)$  – объем возвратных вод, сбрасываемых в речную сеть [млн.куб.м],  $W_{ret\_ir}(m, b)$  – объем возвратных вод повторно используемых для орошения [млн.куб.м],  $W_{int}(pz)$  – забор воды в зоны планирования – общий годовой запас воды с рек и подземных вод [млн.куб.м], – месяц (только вегетационного периода, т.е. за период апрель - сентябрь),  $pz$  – зоны планирования,  $b, c, d$  – коэффициенты

Коэффициенты возвратного стока (одинаковы в течение сезона).

| Зона планирования | Коэффициент <b>b</b> для расчета $W_{ret}(i, pz)$ |                 | Коэффициент <b>c</b> для расчета $W_{ret\_river}(i, pz)$ |                 | Коэффициент <b>d</b> для расчета $W_{ret\_ir}(i, pz)$ |                 |
|-------------------|---------------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------|-----------------|
|                   | Октябрь-Март                                      | Апрель-Сентябрь | Октябрь-Март                                             | Апрель-Сентябрь | Октябрь-Март                                          | Апрель-Сентябрь |
| FER_KYR           | 0.044                                             | 0.140           | 0.044                                                    | 0.130           | 0.00                                                  | 0.010           |



|         |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| FER_TAD | 0.080 | 0.160 | 0.080 | 0.100 | 0.00  | 0.060 |
| UPA_TAD | 0.007 | 0.080 | 0.007 | 0.070 | 0.00  | 0.010 |
| ZAR_TAD | 0.009 | 0.080 | 0.009 | 0.030 | 0.00  | 0.050 |
| AMU_TUR | 0.072 | 0.130 | 0.013 | 0.020 | 0.00  | 0.000 |
| SOU_TUR | 0.077 | 0.230 | 0.00  | 0.000 | 0.00  | 0.010 |
| FER_UZB | 0.360 | 0.330 | 0.358 | 0.250 | 0.00  | 0.070 |
| SYR_UZB | 0.193 | 0.290 | 0.055 | 0.080 | 0.00  | 0.010 |
| CHI_UZB | 0.315 | 0.340 | 0.260 | 0.160 | 0.00  | 0.120 |
| SUR_UZB | 0.168 | 0.230 | 0.168 | 0.140 | 0.00  | 0.090 |
| KAS_UZB | 0.130 | 0.200 | 0.072 | 0.110 | 0.00  | 0.040 |
| ZAR_UZB | 0.207 | 0.250 | 0.145 | 0.180 | 0.00  | 0.030 |
| SOU_UZB | 0.149 | 0.230 | 0.025 | 0.040 | 0.00  | 0.010 |
| SYR_KAZ | 0.117 | 0.120 | 0.000 | 0.000 | 0.00  | 0.060 |
| CHI_KAZ | 0.117 | 0.100 | 0.117 | 0.040 | 0.00  | 0.060 |
| NOR_KAZ | 0.045 | 0.130 | 0.045 | 0.130 | 0.000 | 0.000 |

## **8 ДАЛЬНЕЙШИЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ**

Данный раздел рассматривает список вопросов, которые могут быть рассмотрены для дальнейшего развития.

### **8.1 Многоводный год**

Предпочтительнее ввести многоводный год в качестве опции для пользователя с возможностью выбора между засушливым, многоводным и нормальным годом. Это позволит сделать модель более подходящей для анализа изменения климата.

В этой связи влияние климатических условий на управление водой для культур также должно быть включено в модель (т.е. требования культуры в воде не должны быть одинаковыми для засушливого года и многоводного года).

### **8.2 Дефицит воды и его воздействие на урожайность**

Водный дефицит может снижать урожайность. В некоторых случаях, стратегия дефицита орошения, при которой сниженная урожайность принимается как следствие дефицита воды, может быть экономически рациональной стратегией. Настоящая модель предполагает, что земля и вода распределены таким образом, что потребности культур в воде полностью удовлетворены. В будущем полезно включение модели воздействия водного стресса на урожай так, чтобы смоделировать дефицит орошения в качестве ответа на дефицит воды.

### **8.3 Качество воды**

Минерализация воды является важной проблемой в бассейне Аральского моря. Мало того, что засоление имеет вредное воздействие на окружающую среду, но оно также влияет на урожайность. Учитывая важность проблемы засоления в бассейне, полезно включить модель переноса солей, для того чтобы рассматривать воздействия засоления на окружающую среду и урожайность.

### **8.4 Многолетнее управление рисками маловодья и засухи**

В бассейне Аральского моря наблюдаются многолетние засухи. Настоящая версия модели не очень хорошо подходит для разработки стратегий многолетнего управления рисками при маловодных периодах. Оптимальное управление водохранилищами многолетнего регулирования, такими как Токтогульское водохранилище, может быть проанализировано с помощью модели стохастического программирования. Для вычислительных целей, вероятно, стохастическая модель потребует упрощенного представления.

## **8.5 Вторичные воздействия**

Модель не включает в себя вторичные виды экономической деятельности, зависящие от первичного производства культуры, связанные с переработкой культуры, например, текстильную промышленность. По мере того, как такие отрасли, получают сопряженные дополнительные прибыли, вызванные переработкой производимых в стране сельскохозяйственных культур, модель может недооценивать степень расходов, связанных с изменениями в производстве культур. Это может происходить в случае, если экспорт, рабочая сила и /или рынок капитала менее чем мобильны.

В долгосрочной перспективе это стандартный подход, который предполагает, что факторы перемещения и конкуренции могут более точно определить полные прибыли. После таких аргументов учет сопряженных отраслей “нижнего течения” может повысить достоверность результатов.

Тем не менее, интересные результаты, касающиеся трудовой миграции могут быть получены, при включении различных отраслей промышленности. Это, однако, требуют создать модель общего равновесия (CGE) как базу для использования производства и факторов в соответствующих странах.

## **8.6 Рынок электричества**

Влияние производства электроэнергии и распределение воды на рынок электроэнергии не смоделирован. Следовательно, не смоделировано и влияние рынков электроэнергии на распределение воды. Одним из наиболее интересных эффектов воздействия рынка электроэнергии может быть расширение масштабов комбинированной выработки тепла/электроэнергии (ТЭЦ поколения). В электроэнергетических системах со значительным количеством ТЭЦ, цены на электроэнергию, как правило, ниже в зимнее время, так как большая потребность в тепле, как правило, вызывает большее производство электроэнергии на станциях ТЭЦ.

Тогда как имеется некоторая польза интегрированной модели производства воды и энергии, также можно проанализировать структуру ежемесячных цен на электроэнергию при помощи модели рынка электроэнергии и вставить полученные в результате цены на электроэнергию в BEAM. Тем не менее, единого энергетического рынка в бассейне Аральского моря не существует и некоторые трансграничные страны с значительными гидроэнергетическими активами рассматривают организацию экспорта на двусторонней основе с странами, находящимися вне бассейна, такими как Китай и Иран. Таким образом, может быть полезно использовать различные цены на энергию в различных частях бассейна в будущих версиях модели.

## **8.7 Оценка значимости гидроэнергетики**

Гидроэнергетика предоставляет уникальные функции, что определяет ее ценность. Поскольку ГЭС могут легко отключаться и включаться, они часто используются для повышения мощностей системы в пиковые периоды дня, когда по-

требность “пиковая”. По тем же причинам гидроэнергетика также используется для стабилизации нагрузки, когда другие источники энергии недоступны. Данные услуги, предоставляемые гидроэнергетическим сектором, определяют ее значимость, и может быть полезно включить данную значимую особенность в будущую модель. Так же пользователю может быть полезно иметь возможность указывать оба вида цен – “пиковых” и “непиковых” цен на энергию при разработке сценариев через пользовательский интерфейс.

## ***ПРИЛОЖЕНИЯ***

## ***П Р И Л О Ж Е Н И Е А***

*Обозначения множеств в модели*

## Зоны планирования

|         |                                                                                                                                                             |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| FER_UZB | Зона планирования Ферганской долины (в том числе областей Узбекистана - Ферганской, Андижанской и Наманганской)'                                            |
| SYR_UZB | 'Зона планирования среднего течения Сырдарьи (в том числе области Узбекистана – Сырдарьинская и Джизакская)'                                                |
| CHI_UZB | 'Зона планирования бассейна реки Чирчик (в том числе Ташкентская область Узбекистана)'                                                                      |
| SUR_UZB | 'Зона планирования Сурхандарьинского бассейна (в том числе Сурхандарьинская область Узбекистана)'                                                           |
| KAS_UZB | 'Зона планирования Кашкадарьинского бассейна (в том числе Кашкадарьинская область Узбекистана)'                                                             |
| ZAR_UZB | 'Зона планирования Зеравшанского бассейна (в том числе области Узбекистана – Бухарская, Навоийская и Самаркандская)'                                        |
| SOU_UZB | 'Зона планирования нижнего течения Амударьи (в том числе области Узбекистана – Хорезм и Каракалпакстан)'                                                    |
| SYR_KAZ | 'Зона планирования среднего течения Сырдарьи (включает Голодностепскую зону Южно-Казахстанской области Казахстана)'                                         |
| CHI_KAZ | 'Зона планирования Чирчикского бассейна (включает в себя Чакирскую зону Южно-Казахстанской области Казахстана)'                                             |
| NOR_KAZ | 'Зона планирования нижнего течения Сырдарьи (включает в себя Артурскую и Кызылкумскую зоны Южно-Казахстанской области и Кызылординскую область Казахстана)' |
| AMU_TUR | 'Зона планирования среднего течения Амударьи (включает Лебапскую, Марийскую, Кхалскую и Балканскую области Туркменистана)'                                  |
| SOU_TUR | 'Зона планирования нижнего течения Амударьи (включает Дашховузскую область Туркменистана)'                                                                  |
| FER_KYR | 'Зона планирования Ферганской долины (в том числе Ошская, Джалалабадская и Нарынская области Кыргызстана)'                                                  |
| FER_TAD | 'Зона планирования Ферганской области (включает Согдийскую область Таджикистана без Зеравшанской части)'                                                    |
| UPA_TAD | 'Зона планирования верхнего течения Амударьи (включает Хатлонскую и Горно-Бадахшанскую области и районы республиканского подчинения Таджикистана)'          |
| ZAR_TAD | 'Зона планирования Зеравшанского бассейна (включает Зеравшанскую часть Согдийской области Таджикистана)'                                                    |
| UPA_AFG | 'Зона планирования верхнего течения Амударьи (включает Афганистан)'                                                                                         |

## Водохранилища

|         |                                                                  |
|---------|------------------------------------------------------------------|
| Res_KAM | 'Kambarata-1 (ky) (новое)'                                       |
| Res_TOK | 'Toktogul (ky)'                                                  |
| Res_AND | 'Andijan (uz)'                                                   |
| Res_KAR | 'Kairakkum (tj)'                                                 |
| Res_CHA | 'Charvak (uz), followed by (but not including) Chirchic cascade' |
| Res_SHA | 'Shardara (kz)'                                                  |
| Res_ROG | 'Rogun (tj) (новое)'                                             |
| Res_NUR | 'Nurek (tj)'                                                     |
| Res_TMP | 'Tuyamyun with HEPS (uz)'                                        |
| Res_DAS | 'Dashtijum (tj) (новое)'                                         |
| Res_ZAR | 'Yavan (tj)'                                                     |
| Res_FER | 'reservoirs in Fergana valley (ky, uz)'                          |
| Res_TMR | 'Tuyamyun, big reservoir w.o. HEPS (uz)'                         |
| Res_AHA | 'reservoirs in Akhangaran basin (uz)'                            |
| Res_ARN | 'Arnasay (uz)'                                                   |
| Res_KOK | 'Koksarek (kz)'                                                  |
| Res_ARY | 'reservoirs in Arys basin (kz)'                                  |
| Res_KAF | 'reservoirs in Kafirnigan basin (tj)'                            |
| Res_ZD  | 'Zeid in Karakum canal (tu)'                                     |

|         |                                                                                      |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Res_TUR | 'reservoirs in rivers of Turkmenistan (tu)'                                          |
| Res_SUR | 'reservoirs in Surkhandarya basin (uz)'                                              |
| Res_KAS | 'reservoirs in Kashkadarya basin (uz)'                                               |
| Res_TAL | 'Talimardjan in Karshi canal (uz)'                                                   |
| Res_BUK | 'reservoirs in Bukhara province (uz)'                                                |
| Res_NAR | 'Naryn cascade of HEPS: Kurpsay, Tashkumyr, Shamaldysay, Uchkurgan, Kambarata2 (ky)' |
| Res_FAR | 'Farkhad (uz)'                                                                       |
| Res_VAH | 'Vakhsh cascade of HEPS: Baipaza, Perepadnaya, Central, Golovnaya, Sangtuda2 (tj)'   |
| Res_CHI | 'Chirchik cascade of HEPS: Khodjикent, Gazalkent (uz), below Charvak'                |

### Источники воды

|         |                                                                        |
|---------|------------------------------------------------------------------------|
| Src_TOK | 'River flow of the Naryn river - inflow to Toktogul reservoir'         |
| Src_NAR | 'River flow of tributaries to Naryn river below Toktogul reservoir'    |
| Src_AND | 'River flow of Karadarya river - inflow to Andijan reservoir'          |
| Src_KAR | 'River flow of tributaries to Karadarya river below Andijan reservoir' |
| Src_FER | 'River flow of small rivers in the Fergana Valley '                    |
| Src_SYR | 'River flow of small rivers in Middle reach of Syrdarya'               |
| Src_AHA | 'River flow of the Akhangaran river'                                   |
| Src_CHI | 'River flow of the Chirchik river'                                     |
| Src_KEL | 'River flow of the Keles river'                                        |
| Src_ARY | 'River flow of the Arys river'                                         |
| Src_ROG | 'River flow of the Vakhsh river at the Rogun HEPS '                    |
| Src_VAH | 'River flow of tributaries to Vakhsh below Rogun HEPS'                 |
| Src_PYD | 'River flow of the Pyandj river'                                       |
| Src_KAF | 'River flow of the Kafirnigan river '                                  |
| Src_ZAR | 'River flow of the Zaravshan river'                                    |
| Src_SUR | 'River flow of the Surkhandarys river '                                |
| Src_KAS | 'River flow of the Kashkadarya river'                                  |
| Src_AFG | 'River flow of tributaries from Afghanistan to Pyandj and Amudarya '   |
| Src_TUR | 'River flow of rivers in Turkmenistan'                                 |

### Узлы рек и моря

|         |                              |
|---------|------------------------------|
| NARYN   | 'Naryn River'                |
| KRDYRA  | 'Karadarya River'            |
| SYRFER  | 'Syrdaria in Fergana Valley' |
| SYRMID  | 'Syrdaria below Kairakum '   |
| KELES   | 'Keles River'                |
| SYRDW1  | 'Syrdaria below Shardara'    |
| SYRDW2  | 'Syrdaria below Koksarek'    |
| VAKHSH  | 'Vakhsh River'               |
| PYANDJ  | 'Pyandj River'               |
| KUNDUZ  | 'Kunduz River'               |
| KARFIR  | 'Karfirnigan River'          |
| AMUUPS  | 'Amudarya below Vakhsh '     |
| AMUMID  | 'Amudarya below Karfirnigan' |
| AMUDWN  | 'Amudarya below Tuyamun'     |
| Lak_AYD | 'Aidarkul lake'              |
| Lak_SYR | 'Lakes in Syrdarya delta'    |
| Lak_GOL | 'Golden age Lake'            |
| Lak_AMU | 'Lakes in Amudarya delta'    |
| Lak_ARS | 'Southern Aral Sea'          |
| Lak_ARN | 'Northern Aral Sea'          |



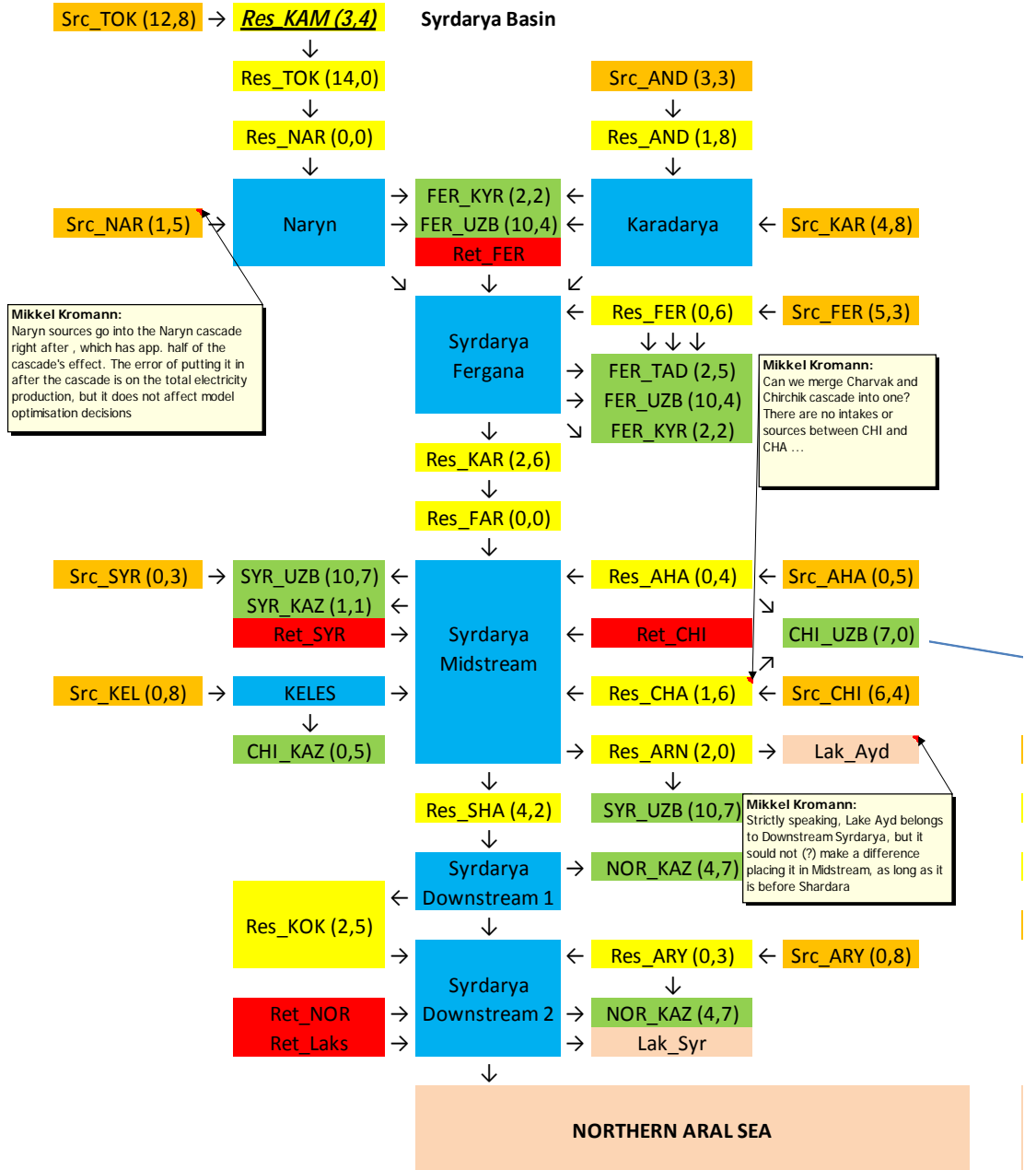
## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

*Водная сеть и речная топография*

# Топография Сырдарьи

Различия между правой и левой сторонами рек не показаны  
 Цифры в скобках описывают объемы воды и водохранилищ

Differences between left and right side of rivers are not shown.  
 Numbers in parentheses describe water and reservoir volumes.



# Топография Амударьи



## **ПРИЛОЖЕНИЕ В**

*Отобранные данные*

Если источник не указан, источником данных подразумеваются данные, собранные в рамках проектного исследования, проведенного национальными экспертами в Центральной Азии.

### Данные по сельскохозяйственному производству и водопользованию

Построение функций потребности в воде сельского хозяйства зависит как от физических данных, так и экономических.

| Урожайность за базовый год (т/га) |        |         |        |     |      |         |       |
|-----------------------------------|--------|---------|--------|-----|------|---------|-------|
|                                   | хлопок | пшеница | фрукты | рис | овощ | люцерна | Проч. |
| FER_UZB                           | 2,6    | 5,0     | 8,1    | 2,4 | 27,5 | 19,5    | 25,9  |
| SYR_UZB                           | 2,3    | 3,0     | 2,4    | 2,8 | 16,6 | 4,6     | 7,7   |
| CHI_UZB                           | 2,5    | 3,4     | 8,1    | 2,7 | 26,5 | 6,5     | 23,2  |
| SUR_UZB                           | 2,8    | 4,1     | 2,4    | 2,8 | 22,2 | 7,5     | 20,9  |
| KAS_UZB                           | 2,5    | 2,0     | 2,9    | 1,0 | 13,9 | 5,0     | 13,5  |
| ZAR_UZB                           | 2,8    | 3,4     | 2,0    | 2,7 | 22,8 | 14,8    | 18,5  |
| SOU_UZB                           | 2,2    | 4,0     | 6,8    | 3,0 | 16,0 | 5,0     | 5,6   |
| SYR_KAZ                           | 2,2    | 6,1     | 1,5    | 1,8 | 17,8 | 7,2     | 10,0  |
| CHI_KAZ                           | 2,2    | 6,1     | 1,5    | 1,8 | 17,8 | 7,2     | 10,0  |
| NOR_KAZ                           | 2,2    | 2,4     | 1,0    | 3,8 | 15,0 | 11,8    | 4,7   |
| AMU_TUR                           | 1,5    | 2,3     | 6,8    | 5,0 | 30,4 | 10,4    | 17,9  |
| SOU_TUR                           | 1,5    | 2,6     | 7,3    | 1,0 | 30,0 | 8,8     | 30,0  |
| FER_KYR                           | 2,3    | 7,5     | 3,8    | 2,2 | 15,0 | 6,3     | 5,4   |
| FER_TAD                           | 1,5    | 3,5     | 5,3    | 4,1 | 21,8 | 5,0     | 31,4  |
| UPA_TAD                           | 2,1    | 2,4     | 11,1   | 5,5 | 16,8 | 5,5     | 24,6  |
| ZAR_TAD                           | 1,5    | 3,5     | 5,3    | 4,1 | 21,8 | 5,0     | 31,4  |
| UPA_AFG                           | 0,0    | 0,0     | 0,0    | 0,0 | 0,0  | 0,0     | 0,0   |

| Посевные площади базового года (га) |        |         |        |       |        |         |        |
|-------------------------------------|--------|---------|--------|-------|--------|---------|--------|
|                                     | хлопок | пшеница | фрукты | рис   | овощ   | люцерна | Проч.  |
| FER_UZB                             | 331200 | 274800  | 3200   | 37500 | 257500 | 56500   | 165610 |
| SYR_UZB                             | 225000 | 273000  | 8300   | 12200 | 110600 | 32000   | 113610 |
| CHI_UZB                             | 111000 | 133000  | 7000   | 28000 | 133000 | 33000   | 73200  |
| SUR_UZB                             | 125000 | 117000  | 11000  | 10000 | 121000 | 15000   | 62000  |
| KAS_UZB                             | 182000 | 269000  | 800    | 12000 | 17000  | 33000   | 56140  |
| ZAR_UZB                             | 272000 | 291000  | 820    | 33700 | 202100 | 46000   | 181030 |
| SOU_UZB                             | 217000 | 90200   | 49000  | 14600 | 12600  | 92000   | 211200 |
| SYR_KAZ                             | 39215  | 12658   | 1241   | 447   | 5957   | 22089   | 25440  |
| CHI_KAZ                             | 17636  | 5693    | 558    | 201   | 2679   | 9934    | 11441  |
| NOR_KAZ                             | 101148 | 46649   | 71201  | 8152  | 16664  | 95976   | 104518 |
| AMU_TUR                             | 612000 | 749000  | 2020   | 18600 | 36000  | 40000   | 31490  |
| SOU_TUR                             | 263000 | 219000  | 58000  | 1000  | 4200   | 13000   | 6330   |
| FER_KYR                             | 40500  | 37400   | 5500   | 13300 | 26361  | 57700   | 154968 |
| FER_TAD                             | 29797  | 92099   | 4515   | 11738 | 26185  | 35214   | 43503  |
| UPA_TAD                             | 133000 | 208000  | 11010  | 19800 | 21710  | 53000   | 64310  |
| ZAR_TAD                             | 3203   | 9901    | 485    | 1262  | 2815   | 3786    | 4677   |
| UPA_AFG                             | 0      | 0       | 0      | 0     | 0      | 0       | 0      |

### Удельные нормы орошения (м3/га)

|         | хлопок | пшеница | фрукты | рис    | овощ   | люцерна | Проч. |
|---------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|-------|
| FER_UZB | 9.561  | 5.757   | 6.117  | 15.010 | 6.580  | 11.658  | 8.500 |
| SYR_UZB | 10.476 | 5.956   | 6.474  | 17.774 | 7.180  | 11.300  | 8.000 |
| CHI_UZB | 7.511  | 5.715   | 6.641  | 16.220 | 6.532  | 9.852   | 7.429 |
| SUR_UZB | 10.089 | 5.781   | 6.688  | 18.024 | 7.142  | 11.223  | 8.286 |
| KAS_UZB | 14.474 | 7.783   | 7.373  | 23.349 | 8.466  | 17.273  | 7.143 |
| ZAR_UZB | 13.609 | 6.443   | 6.509  | 22.748 | 8.284  | 15.911  | 7.429 |
| SOU_UZB | 12.143 | 6.714   | 7.429  | 26.043 | 8.857  | 16.214  | 6.857 |
| SYR_KAZ | 11.558 | 6.883   | 7.013  | 19.739 | 7.922  | 12.467  | 6.714 |
| CHI_KAZ | 11.338 | 6.631   | 6.763  | 22.544 | 7.426  | 13.460  | 7.000 |
| NOR_KAZ | 11.429 | 7.000   | 7.429  | 28.629 | 7.571  | 16.714  | 6.857 |
| AMU_TUR | 16.418 | 7.183   | 8.502  | 26.826 | 8.502  | 22.857  | 7.857 |
| SOU_TUR | 12.817 | 8.138   | 9.155  | 25.867 | 8.283  | 18.310  | 7.571 |
| FER_KYR | 5.429  | 3.878   | 3.930  | 14.565 | 4.826  | 5.619   | 6.571 |
| FER_TAD | 12.743 | 6.543   | 8.571  | 20.714 | 7.857  | 13.286  | 7.143 |
| UPA_TAD | 15.902 | 10.918  | 13.054 | 21.714 | 13.292 | 14.953  | 7.143 |
| ZAR_TAD | 16.218 | 11.115  | 13.092 | 21.429 | 14.962 | 11.371  | 7.714 |
| UPA_AFG | 0      | 0       | 0      | 0      | 0      | 0       | 0     |

Источник данных: Чолпанкулов Э.Д. Отчет «Эвапотранспирация, оросительные и промывные нормы сельскохозяйственных культур на основе программы CROPWAT» проект WARMAP Евросоюза, Ташкент, 1999. В 2012 году нормы уточнены экспертом САНИИРИ Нерозиным С.А.

### Агрегированное распределение оросительной нормы по культурам, по месяцам

|         | Янв | Фев | Мар | Апр | Май | Июн | Июл | Авг | Сен | Окт | Нояб | Дек |
|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
| Хлопок  | 12% | 15% | 0%  | 0%  | 7%  | 25% | 19% | 19% | 2%  | 0%  | 0%   | 0%  |
| Пшеница | 0%  | 0%  | 0%  | 24% | 30% | 25% | 0%  | 0%  | 0%  | 3%  | 18%  | 0%  |
| Овощи   | 0%  | 22% | 0%  | 10% | 14% | 16% | 20% | 14% | 5%  | 0%  | 0%   | 0%  |
| Фрукты  | 0%  | 0%  | 5%  | 0%  | 15% | 25% | 23% | 20% | 12% | 0%  | 0%   | 0%  |
| Рис     | 6%  | 9%  | 0%  | 11% | 17% | 19% | 20% | 17% | 0%  | 0%  | 0%   | 0%  |
| Люцерна | 9%  | 12% | 0%  | 2%  | 10% | 13% | 17% | 17% | 12% | 7%  | 0%   | 0%  |
| Прочее  | 0%  | 0%  | 0%  | 0%  | 15% | 19% | 21% | 22% | 23% | 0%  | 0%   | 0%  |

**Данные по потребностям в воде природы, бытового и промышленного использования**

**Годовая потребность зон планирования, мм3/год**

|         | Промышленность |         |         | Бытовые нужды |         |         |
|---------|----------------|---------|---------|---------------|---------|---------|
|         | Потребность    | Окт-Мар | Апр-Сен | Потребность   | Окт-Мар | Апр-Сен |
| FER_UZB | 1.058          | 550     | 508     | 870           | 333     | 537     |
| SYR_UZB | 2.807          | 1.520   | 1.287   | 3.247         | 933     | 2.314   |
| CHI_UZB | 5.237          | 2.711   | 2.526   | 1.036         | 476     | 560     |
| SUR_UZB | 38             | 20      | 18      | 147           | 67      | 80      |
| KAS_UZB | 1.258          | 671     | 587     | 123           | 63      | 60      |
| ZAR_UZB | 2.427          | 1.251   | 1.176   | 440           | 216     | 224     |
| SOU_UZB | 832            | 438     | 394     | 134           | 63      | 72      |
| SYR_KAZ | 10             | 5       | 5       | 4             | 2       | 2       |
| CHI_KAZ | 11             | 6       | 5       | 5             | 2       | 2       |
| NOR_KAZ | 74             | 39      | 35      | 18            | 9       | 9       |
| AMU_TUR | 3.447          | 1.783   | 1.664   | 236           | 118     | 118     |
| SOU_TUR | 15             | 8       | 7       | 6             | 3       | 3       |
| FER_KYR | 99             | 51      | 48      | 147           | 74      | 74      |
| FER_TAD | 281            | 146     | 135     | 182           | 90      | 92      |
| UPA_TAD | 686            | 356     | 331     | 469           | 230     | 239     |
| ZAR_TAD | 28             | 14      | 13      | 18            | 9       | 9       |
| UPA_AFG | 0              | 0       | 0       | 0             | 0       | 0       |

**Потребности природы, км3/сезон**

| Регион   | Страна | 2000-2001(маловод) |      | 2008-2009 (норм.) |      |
|----------|--------|--------------------|------|-------------------|------|
|          |        | Невегет            | Вег. | Невег.            | Вег. |
| lak_Ayd  | Syr    | 0,0                | 0,0  | 1,1               | 0,1  |
| lak_Syr  | Syr    | 0,0                | 0,5  | 0,5               | 1,5  |
| Lak_gol  | Amu    | 1,1                | 1,8  | 1,5               | 2,8  |
| lak_Amu  | Amu    | 1,0                | 1,5  | 1,5               | 2,5  |
| Aral_sou | Amu    | 1,0                | 1,0  | 2,0               | 6,0  |
| Aral_nor | Syr    | 1,0                | 0,5  | 1,5               | 2,5  |

## Данные по гидроэлектростанциям и водохранилищам

|         | Макс.  | Мин.  | Удельная<br>выработка | Установ- | Пропускная  | Напор | КПД<br>ГЭС<br>η % | Coefficients cf. explanation |          |           |
|---------|--------|-------|-----------------------|----------|-------------|-------|-------------------|------------------------------|----------|-----------|
|         | объем  | объем |                       | ленная   | способность |       |                   | а                            | b        | c         |
|         | Мм3    | Мм3   | MWh/мм3               | мощность | турбин      | метр  |                   |                              |          |           |
|         |        |       |                       | MW       | м3/с        |       |                   |                              |          |           |
| Res_KAM | 4.650  | 1.220 | 516                   | 1.900    | 960         | 210   | 90%               | 85,28                        | 2,68E-02 |           |
| Res_TOK | 19.500 | 5.500 | 422                   | 1.200    | 960         | 182   | 85%               | 86,62                        | 6,50E-03 | -8,00E-08 |
| Res_AND | 1.900  | 150   | 230                   | 100      | 140         | 99    | 85%               | 31,09                        | 7,67E-02 | -2,00E-05 |
| Res_KAR | 3.350  | 750   | 46                    | 126      | 720         | 21    | 80%               | 10,51                        | 4,50E-03 | -4,00E-07 |
| Res_CHA | 2.010  | 430   | 323                   | 600      | 550         | 148   | 80%               | 72,44                        | 5,48E-02 | -9,00E-06 |
| Res_SHA | 5.200  | 970   | 53                    | 100      | 780         | 23    | 85%               | 10,69                        | 3,50E-03 | -3,00E-07 |
| Res_ROG | 13.300 | 3.040 | 822                   | 3.600    | 1.550       | 335   | 90%               | 85,72                        | 2,05E-02 | -6,00E-07 |
| Res_NUR | 7.130  | 4.000 | 491                   | 3.000    | 1.500       | 225   | 80%               | -32,65                       | 9,50E-02 | -9,00E-06 |
| Res_TMP | 1.290  | 40    | 33                    | 150      | 1.500       | 15    | 80%               | 5,54                         | 1,62E-02 | -7,00E-06 |
| Res_DAS | 17.600 | 7.400 | 737                   | 4.000    | 1.700       | 300   | 90%               | 54,71                        | 8,80E-03 |           |
| Res_ZAR | 50     | 20    | 209                   | 120      | 190         | 85    | 90%               |                              |          |           |
| Res_FER | 595    | 45    | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_TMR | 6.510  | 2.268 | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_AHA | 450    | 31    | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_ARN | 3.000  | 1.000 | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_KOK | 3.000  | 500   | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_ARY | 350    | 10    | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_KAF | 940    | 320   | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_ZD  | 2.200  | 400   | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_TUR | 2.000  | 400   | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_SUR | 883    | 116   | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_KAS | 803    | 70    | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_TAL | 1.525  | 125   | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_BUK | 1.879  | 664   | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_NAR | 0      | 0     | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_FAR | 0      | 0     | 72                    | 126      | 0           | 31    | 85%               |                              |          |           |
| Res_VAH | 0      | 0     | 0                     | 0        | 0           | 0     |                   |                              |          |           |
| Res_CHI | 0      | 0     | 153                   | 305      | 0           | 66    | 85%               |                              |          |           |



## Данные по источникам воды

Водные ресурсы, миллион м3/мес

|         | м01 | м 02 | м 03 | м 04 | м 05 | м 06 | м 07 | м 08 | м 09 | м 10 | м 11 | м 12 |
|---------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Src_TOK | 459 | 384  | 563  | 849  | 2107 | 2323 | 1661 | 1461 | 979  | 795  | 660  | 558  |
| Src_NAR | 70  | 58   | 91   | 207  | 279  | 238  | 174  | 94   | 78   | 75   | 83   | 83   |
| Src_AND | 173 | 160  | 146  | 228  | 550  | 634  | 230  | 178  | 141  | 273  | 335  | 216  |
| Src_KAR | 379 | 385  | 485  | 390  | 307  | 348  | 138  | 315  | 334  | 555  | 633  | 546  |
| Src_FER | 184 | 161  | 189  | 250  | 564  | 909  | 1088 | 782  | 440  | 316  | 242  | 223  |
| Src_SYR | 12  | 16   | 21   | 46   | 57   | 46   | 46   | 37   | 17   | 14   | 13   | 13   |
| Src_AHA | 13  | 12   | 46   | 122  | 170  | 60   | 19   | 18   | 15   | 33   | 21   | 18   |
| Src_CHI | 214 | 165  | 293  | 665  | 1287 | 1402 | 736  | 487  | 362  | 329  | 276  | 234  |
| Src_KEL | 97  | 68   | 85   | 89   | 25   | 22   | 23   | 68   | 52   | 75   | 97   | 111  |
| Src_ARY | 51  | 172  | 258  | 138  | 37   | 27   | 28   | 24   | 20   | 6    | 11   | 8    |
| Src_ROG | 429 | 332  | 555  | 1101 | 2086 | 3442 | 3727 | 2776 | 1439 | 812  | 610  | 548  |
| Src_VAH | 15  | 17   | 32   | 65   | 57   | 53   | 46   | 30   | 23   | 14   | 14   | 13   |
| Src_PYD | 546 | 451  | 480  | 706  | 1271 | 3805 | 4996 | 3607 | 1706 | 1010 | 740  | 557  |
| Src_KAF | 76  | 73   | 398  | 719  | 1250 | 1126 | 908  | 557  | 199  | 143  | 103  | 92   |
| Src_ZAR | 107 | 98   | 106  | 107  | 381  | 727  | 686  | 483  | 265  | 164  | 131  | 134  |
| Src_SUR | 118 | 91   | 79   | 70   | 195  | 152  | 41   | 47   | 48   | 81   | 93   | 107  |
| Src_KAS | 26  | 35   | 17   | 7    | 1    | 6    | 4    | 1    | 3    | 9    | 6    | 22   |
| Src_AFG | 235 | 372  | 263  | 372  | 664  | 964  | 627  | 303  | 245  | 275  | 280  | 286  |

### Использование подземных вод (мм3/полугодие)

|         | Окт-март | Апр-сен |
|---------|----------|---------|
| FER_UZB | 500      | 600     |
| SYR_UZB | 100      | 200     |
| CHI_UZB | 300      | 400     |
| SUR_UZB | 100      | 150     |
| KAS_UZB | 200      | 250     |
| ZAR_UZB | 300      | 400     |
| SOU_UZB | 0        | 0       |
| SYR_KAZ | 0        | 0       |
| CHI_KAZ | 0        | 0       |
| NOR_KAZ | 50       | 50      |
| AMU_TUR | 0        | 0       |
| SOU_TUR | 0        | 0       |
| FER_KYR | 100      | 150     |
| FER_TAD | 100      | 150     |
| UPA_TAD | 300      | 350     |
| ZAR_TAD | 0        | 0       |

## **П Р И Л О Ж Е Н И Е Г**

*Список использованной литературы*

И. Абдуллаев и др. (2009): "Сельскохозяйственное водопользование и торговля в Узбекистане: состояние и политические последствия либерализации рынка", Развитие водных ресурсов, вып. 25, № 1 (март) стр. 47-63.

Феррис, М.С. и Мунсон, Т.С (2003) «PATH 4.6» в «GAMS - The Solver Manual», GAMS Development Corporation, Вашингтон (Ferris, M.C. and Munson, T.S. (2003), "PATH 4.6" in "GAMS - The Solver Manual") <http://gams.com/dd/docs/solvers/path.pdf>

Хертел, (1997): "Глобальный анализ торговли", Cambridge University Press, 1997, Кембридж (Hertel, T.W. ed. (1997): "Global Trade Analysis").

Мак-Колелл А., Уинстон, М., Грин, Ж. (1995): "Микроэкономическая теория", Oxford University Press, Нью-Йорк. (Mas-Colell, A., Whinston, M., Green, J. (1995): "*Microeconomic Theory*").

Рузерфорд, Т. (2002): "Лекционные заметки по постоянными функциями теории эластичности", Университет Колорадо. (Rutherford, T. (2002): "*Lecture Notes on Constant Elasticity Functions*", University of Colorado). <http://www.gamsworld.org/mpsge/debreu/ces.pdf>

Шовен, Дж.Б. и Уолли, Дж. (1992): «Применение общего равновесия», Cambridge University Press, Кембридж (Shoven, J.B. and Whalley, J. (1992): "*Applying General Equilibrium*", Cambridge University Press).

Тироль, Дж. (1988): "Теория промышленной организации", MIT Press, Кембридж, Массачусетс (Tirole, J. (1988): "*The Theory of Industrial Organization*").