

**Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной
водохозяйственной комиссии (НИЦ МКВК)**

В. А. Духовный, А. Г. Сорокин

**Оценка влияния
Рогунского водохранилища
на водный режим реки Амударьи**

Ташкент 2007 г.

Оглавление

Введение	5
Часть I. Общие положения	7
1.1. Описание бассейна	7
1.1.1. Гидрология	7
1.1.3. Зоны планирования	15
1.1.4. Социально-экономическое значение бассейна	17
1.1.5. Водозаборы из рек и их требования к уровням воды.....	21
1.1.6. Возвратный сток	23
1.1.7. Связь зон планирования с речной сетью	25
1.1.8. Регулирование стока речными и внутрисистемными водохранилищами	28
1.1.9. Потери воды	35
1.1.10. Трансформация стока по длине русла рек	37
1.2. Требования на воду	39
1.2.1. Требования на воду ЗП и потребность в регулировании стока.....	39
1.2.2. Экологические требования и возможность их удовлетворения.....	42
1.3. Инструмент моделирования	45
1.3.1. Описание базового комплекса моделей	45
1.3.2. Модель регулирования и распределения стока (гидрологическая)	53
1.3.3. Аграрный, социально-экономический и экологический блоки	59
1.4. Описание системы информационного обеспечения	61
1.4.1. Структура базы данных	61
1.4.2. Гидрологическая и водохозяйственная информация	63
1.4.3. Социально-экономическая и экологическая информация.....	64
1.5. Описание схемы расчетов.....	65
1.5.1. Сценарии по водным ресурсам	65
1.5.2 Сценарии развития	65
1.5.3. Сценарии ввода новых емкостей регулирования	66
1.5.5. Выбор расчетной схемы.....	66

Часть II. Гидрологические расчеты на перспективу	68
2.1. Методика численных экспериментов	69
2.1.1 Подготовка гидрологических рядов стока рек	69
2.1.2 Подготовка исходных данных по режимам работы водохранилищ	70
2.1.3 Подготовка исходных данных по заилению водохранилищ	71
2.1.4 Подготовка исходных данных по сценариям развития бассейна	72
2.1.5. Прочие ограничения и условия	72
2.2. Оценка водных численных гидрологических расчетов	73
2.2.1 Оценка режимов за период до вывода Рогунского водохранилища на проектные отметки	73
2.2.2. Оценка режимов за период эксплуатации Рогунского водохранилища на проектных отметках	76
2.2.3. Оценка водохозяйственной ситуации	78
2.2.3. Показатели водообеспеченности, частоты перебоев и их величина в различных вариантах работы Рогуна	82
 Часть III Оценка социально-экономических и экологических последствий при вводе в работу Рогунского гидроузла	 85
3.1. Основные положения к расчету социально экономической и экологической эффективности работы Вахшского каскада	86
3.2. Оценка возможного влияния Рогунского водохранилища на социально-экономические показатели региона	99
3.3. Оценка экологических последствий различных вариантов строительства режимов Рогунского водохранилища	105
3.4. Сравнительные показатели влияния Рогунского водохранилища с существующим режимом работы Нурекского гидроузла	109
3.5 Показатели производства электроэнергии Рогунским гидроузлом.	114
 Выводы	123
Заключение	125
Литература	126

Введение

В настоящее время бассейн реки Амударьи стал предметом геополитических интересов различных стран (Россия, США, Иран) и международных финансовых институтов (ВБ, АБР). Это вызвано как недоиспользованием гидроэнергетического потенциала р. Вахш, где в начале 1990-х годов было приостановлено строительство Рогунского гидроузла, так и желанием Правительства Таджикистана как можно более эффективно использовать этот потенциал для нынешнего и будущего увеличения доходов страны.

Такое желание вполне понятно. Оно в первую очередь ориентировано на возобновление и завершение строительства крупнейшей ГЭС Вахшского каскада – Рогунской и базируется на многолетних работах Министерства энергетики СССР и проектах, разработанных САО Гидропроект в советское время, по максимальному использованию энергии Вахшского каскада и всей Амударьи. В основу нынешних планов Таджикистана легла «Генеральная схема комплексного использования водных ресурсов реки Амударьи» (Средазгидропроект, Ташкент, 1971 г.).

В современных условиях осуществление этого плана должно учитывать соблюдение интересов пяти независимых государств, для которых Амударья является источником орошения, сельскохозяйственного производства, водоснабжения и природного благополучия реки и дельты. В техническом проекте 1978 г. роль Рогунского гидроузла была направлена на решение совместных интересов всех стран бассейна. Полезный объем этого водохранилища ($8,6 \text{ км}^3$) рассматривался как дополнение к сезонным регулирующим объемам в Нурекском ($4,5 \text{ км}^3$) и Тюямуяновском ($5,0 \text{ км}^3$) водохранилищах. Их совместная работа в качестве многолетнего и сезонного регулятора стока обеспечила бы степень регулирования 0,85, а позднее с учетом взаимодействия с внутрисистемными водохранилищами, в первую очередь, Зейдским ($2,2 \text{ км}^3$), Талимарджанским ($1,9 \text{ км}^3$) и водохранилищами Амубухарского каскада могла быть доведена до 0,92.

В основу исследований положены проектные разработки немецкой фирмы «Лахмайер» – проектной организации, выигравшей тендер «Русала» на проработку проекта Рогуна в нынешних условиях. «Лахмайер» детально рассмотрел различные аспекты будущей достройки гидроузла, учитывая интересы Таджикистана, «Русала».

Предполагаемая ныне достройка Рогунского гидроузла, ориентированная, в основном, на производство гидроэлектроэнергии в интересах Таджикистана, поскольку предусматривает, в основном, энергетическое использование стока Вахша.

Задача исследований, результаты которых излагаются в настоящей работе, состояла в оценке на перспективу (2006-2025 гг.) возможного влияния строительства Рогунского водохранилища на водный режим реки Амударьи и водообеспеченность водохозяйственных районов и природных комплексов малого бассейна Амударьи*. Предполагается промоделировать последствия, вызываемые стратегиями регулирования стока при различных сценариях естественной водности рек, развития стран бассейна (изменения в водопотреблении и сбросе возвратного стока), вариантами потерь регулирующих емкостей и проектных параметров Рогунского гидроузла.

* Далее везде речь будет идти о бассейне собственно Амударьи без влияния водотоков, ранее имевших связь с Амударьей, а ныне существующих самостоятельно: Заравшана, Кашкадарьи, Мургаба, Теджена, Атрека и рек Северного Афганистана

Следует отметить, что проект очень объективно оценил существующую ситуацию вокруг достройки Рогуна не только с технической точки зрения, но и с учетом интересов других водопользователей и природного комплекса нижерасположенных стран, в основном, Туркменистана и Узбекистана.

Исследования выполнялись в 3 этапа:

1. Разработка схемы и состава численных расчетов, подготовка исходных данных и отладка имитационной модели.
2. Выполнение вариантных расчетов на период 2006–2025 гг. для оценки влияния Рогунского водохранилища на водный режим Вахша и Амударьи, водообеспеченность орошаемого земледелия в Туркменистане и Узбекистане и на природные комплексы малого бассейна Амударьи.
3. Подготовка аналитического отчета по результатам исследований и предложений по смягчению возможных неблагоприятных последствий влияния Рогунского водохранилища в периоды его первоначального наполнения и дальнейшей эксплуатации.

По завершении работы были выполнены дополнительные исследования, включавшие моделирование выбранного 50-летнего ряда применительно к современному состоянию бассейна и управлению и определению расчетных показателей - социально-экономических и экологических - при трех сценариях развития бассейна на основе гидрологического ряда, учитывающего регулирование стока Нурекским водохранилищем, а также уточнены социально-экономические и экологические ущербы.

Работа выполнена в НИЦ МКВК проф. В.А.Духовным и А.Г. Сорокиным при участии Д.А. Сорокина, А.М. Назария, Р.И. Кадыровой и Л.А. Авериной.

Часть I. Общие положения

1.1. Описание бассейна

1.1.1. Гидрология

Река Амударья является крупнейшей рекой в Центральной Азии, проходящей по территории северной части Афганистана, Таджикистана, Туркменистана, значительной части Узбекистана и небольшой площади в верховьях на территории Кыргызстана. Площадь водосбора составляет 309 тыс. км², длина реки от верхних истоков Пянджа превышает 2540 км. Ее главными составляющими являются притоки Вахш и Пяндж, от слияния которых река приобретает свое название. Ниже по течению Амударья принимает притоки Кафирниган, Сурхандарья, Шерабад справа по течению и Кундуз, слева с территории Афганистана. Ниже створа Керки река практически не имеет ни одного притока, за исключением сброса в нее коллекторно-дренажных вод.

Река имеет смешанное снежно-ледниковое питание с естественным гидрографом стока (рис. 1.1), четко совпадающим с потребностью орошения, когда максимум расходов - 77-80% приходится на апрель-сентябрь и минимум на октябрь-февраль. От Керков до дельты, в основном, Амударья теряет сток, хотя взаимодействие ее с грунтовыми водами зависит от водности года.

Амударья является трансграничной рекой - верховья её лежат в основном на территории Таджикистана - 72,8 % водосборной площади: левый берег Пянджа и частично - 300 км по длине Амударьи. Далее от слияния до Мукров она проходит по границе с Афганистаном, зона формирования занимает 14,6 % общего водосбора, сначала между Таджикистаном, затем Узбекистаном и Афганистаном, далее - по территории Туркменистана и, начиная от Тюямюна, переходит на территорию Узбекистана. В пределах водосбора Амударьи 8,5 % водосборной площади лежит на территории Узбекистана и 4,1 % на территории Кыргызстана.

Кроме действующего бассейна Арала имеется ряд водотоков, ранее связанных с Амударьей и ныне тяготеющих к ней или связанных с хозяйственным использованием ее вод. Это реки бассейнов Кашкадарья, Заравшан, Мургаб, Теджен, Атрек и реки северного Афганистана (Хульм, Балх и др.).

Основные водные ресурсы бассейна - учтенный поверхностный сток, - определяются по данным гидрометрических станций, расположенных близ выхода рек из гор. На рисунке 1.2 показано расположение основных гидропостов на реке Амударья и ее основных притоках. К сожалению, часть из них в настоящее время не действуют из-за состояния оборудования и отсутствия персонала.

Ресурсы учтенного поверхностного стока реки Вахш принято оценивать по станции Туткаул, Пянджа - Нижний Пяндж, реки Кундуз - Аскархана. Ресурсы поверхностного стока рек Кафирниган и Сурхандарья - по сети их притоков. Основными постами на Амударье являются: Термез, Келиф, Керки (Атамурат), Чарджоу, Ильчик, Дарганата (Бирата), Тюямюн, Саманбай, Кызылджар.

Среднегодовое значение стока малого бассейна по расчетам НИЦ МКВК составляет 70 км³/год (таблица 1.1). Данная оценка произведена по средней арифметической величине ряда, соответствующего полным циклам колебаний

водности (1934 года по 1992). Такой подход позволяет учесть все характерные годы - маловодные и многоводные, на спаде и подъеме водности.

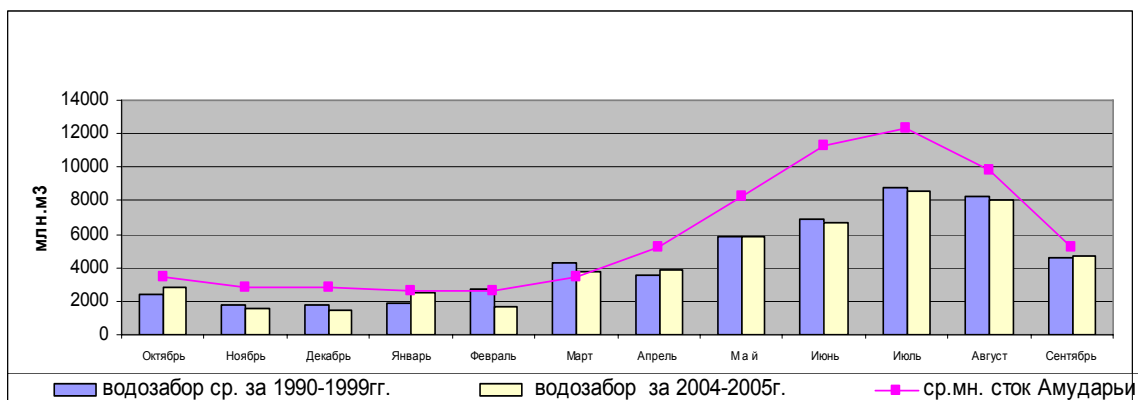


Рис. 1.1. Сравнение естественного стока Амударьи с водозаборами из реки



Рис. 1.2. Гидропосты на реке Амударья и ее основных притоках

Таблица 1.1

**Среднемноголетний сток рек МБА за период трех циклов водности
1934-1992 г.г., км³/год**

Бассейн реки	Речной сток, формирующийся в пределах государства					Всего бассейн Амударьи
	Кыргыз- стан	Таджики- стан	Узбеки- стан	Туркмени - стан	Афганистан	
Пяндж	-	30,089	-	-	3,30	33,381
Вахш	1,604	18,400	-	-	-	20,054
Кафирниган	-	5,575	-	-	-	5,575
Сурхандарья	-	-	4,841	-	-	4,841
Кундуз	-	-	-	-	6,167	6,167
Всего бассейн (км ³)	1,654	54,056	4,841	-	9,467	70,018

В естественном режиме реки Амударьи можно выделить несколько фаз водности (маловодных и многоводных периодов) продолжительностью в несколько лет. На фоне отдельных крупных фаз имеют место более короткие периоды водности в 2..3 года. Характерными являются периоды маловодья в 2...6 лет. Группы из двух маловодных лет имеют наибольшую повторяемость.

В бассейне в последние 15 лет наблюдается нарастание повторяемости экстремальных ситуаций, когда наряду с многоводными периодами (1994, 1995 г., 2003-2004 г.) возникают особо маловодные (2000, 2001 годы). В наибольшей мере от таких колебаний страдают низовья рек.

Годовые показатели естественного (не зарегулированного) стока рек МБА, вследствие колебаний водности, изменяются от 58,0 км³ для маловодного года (90%-ной обеспеченности, аналог - 1947 год) до 92,0 км³ для многоводного (5%-ной обеспеченности, аналог - 1945 год).

Годовой поверхностный сток некоторых рек МБА для маловодного (90% обеспеченности) и среднего по водности года приводится в таблице 1.2.

Таблица 1.2

**Сток реки Амударья и ее основных притоков для лет различной водности,
км³/год**

№	Створ реки	Обеспеченность, %	
		90	50
1	Вахш - Туткаул	16. 8	20.1
2	Вахш - Тигровая балка	14. 7	17. 6
3	Пяндж - Нижний Пяндж	27.2	33.4

№	Створ реки	Обеспеченность, %	
		90	50
4	Кафирниган - приток	4.2	5.6
5	Сурхандарья - приток	2.8	4.8
6	Кундуз - Аскархана	2.5	3.5
7	Амударья - выше водозабора в ККК	48.9	58.7
8	Приток к ТМГУ	21.7	31.0
9	Амударья - Саманбай	3.2	7.4

В НИЦ МКВК на основе имеющейся информации в базе данных CAREWIB (1911...2004 г.г.) выполнен анализ изменчивости водности 10-ти и 20-тилеток стока основных рек бассейна (таблица 1.3). Расчеты указывают на значительную изменчивость водности данных периодов как в целом по бассейнам Амударьи, так и по отдельным рекам. Суммарный сток рек МБА по 20-леткам за 1914...2004 годы (по среднегодовому значению за 20 лет) изменяется от 64.68 до 69.30 куб.км/год, то есть на 4.62 куб.км/год, что составляет около 7 % от среднемноголетнего стока. В то же время между маловодной и многоводной десятилетками разница по среднему году составляет 11,3 км³/год.

Таблица 1.3

Объемы стока реки Амударьи по 20-ти леткам (выборка из ряда 1914...2001 гг.)

Годы	Период	Водность	Обеспеченность, % по методу скользящих рядов	Средний сток за период, км ³ /год
1972-1991	20-ти летка	Маловодная	97	64.68
1952-1971	20-ти летка	Многоводная	5	69.30
Разница				4.62
1974-1983	10-ти летка	Маловодная	95	61.8
1987-1996	10-ти летка	Многоводная	5	73.1
Разница				11.3

Периоды в 10 и 20 лет интересны с точки зрения прогнозирования будущих сценариев водохозяйственного развития, принятых проводить по пятилеткам. Поскольку существует вероятность снижения (или повышения) стока рек МБА при переходе с многоводной на маловодную 20-ти летку или наоборот, при моделировании гидрологической ситуации на будущее необходимо не ограничиваться сценариями, вписывающимися в рамки водохозяйственных сценариев развития - маловодная и многоводная 20-ти летки, а принять более длинный 50-летний ряд, который перекрывает особенности обоих периодов.

Морфологическая структура МБА включает реку Амударью и ее притоки, балансовые участки рек, озера, гидротехнические сооружения - плотины, водохранилища, ГЭС, насосные станции, каналы и сбросы. Она характеризуется показателями естественного стока, закономерностями формирования возвратного стока, потерь в русле и трансформации руслового потока.

В гидрологическом плане принято выделять три зоны: зону стокообразования, зону транзита и рассеивания и дельтовую зону. Современная дельтовая зона Амударьи расположена ниже створа Тахиаташского гидроузла, от которого отходят основные распределительные каналы дельты: Кызкеткен на правый берег, Суенли - на левый. От гидропоста Саманбай располагается конечная дельта площадью около 1 млн. га, состоящая из многочисленных действующих и усыхающих систем озер - Дауткуль, Судочье, Междуреченское, Караджар, Тенгизтау, Казахдарья, Джилтырбас.

Исходя из задач управления бассейном, принимаются два уровня морфологического построения: (1) водохозяйственные районы (ВХР), (2) участки управления.

ВХР, как они задумывались, должны характеризоваться единым состоянием социально-экономического развития, водного питания и административного подчинения. С этих позиций бассейн Амударьи в начале 80-х годов был поделен на восемь ВХР: Верховья, Кашкадарьинский, Каршинский, Бухарский, Туркменский прибрежный, Заравшанский, Низовья Амударьи и Каракумский, каждый из которых, по сути, задумывался как субъект водораспределения и управления в бассейне. Здесь, как видно, неучтены были такие особенности бассейна, что два ВХР (Каршинский и Заравшанский) практически так же, как часть верховьев, не питаются из реки, а только участвуют в общем планировании.

В Верховья были включены Вахшский, Пянджский, Кафирниганский и Сурхандарьинский районы на территории Афганистана, Таджикистана и Узбекистана, имеющие сегодня различные социально-экономические показатели развития. Хотя Афганистан пока не забирает воду из Амударьи непосредственно, а только из нескольких притоков, очевидна необходимость в дальнейшем учитывать и планировать удовлетворение нужд и потребностей его северной зоны.

Согласно общей договоренности государств Центральной Азии в сфере межгосударственного управления и распределения водных ресурсов сегодня вовлечены только стволы рек Пяндж, Вахш, Кафирниган и Амударьи. Это особенность принята, как основа для согласованного межгосударственного управления трансграничными водными ресурсами на региональном уровне.

В 1992 году был осуществлен переход к межгосударственному сотрудничеству в управлении водными ресурсами в Амударьинском бассейне, непосредственно через МКВК и БВО «Амударья» - исполнительного органа МКВК.

Для осуществления возложенных на БВО задач по управлению трансграничными водными ресурсами на столь огромной территории при БВО «Амударья» созданы четыре управления по эксплуатации водозаборных сооружений, гидроузлов, межгосударственных каналов с центрами в городах Курган-Тюбе (Таджикистан), Туркменабад (Туркменистан), Ургенч (Узбекистан), Тахиаташ (Каракалпакстан). Соответственно территория бассейна поделена на четыре участка управления (рисунок 1.3).

В настоящее время Афганистан практически не использует сток Амударьи, а только его притоки, в т.ч. Кокча и Кундуз. Он также не участвует в работе МКВК, несмотря на приглашения на совместные конференции и на проведение двусторонних переговоров.

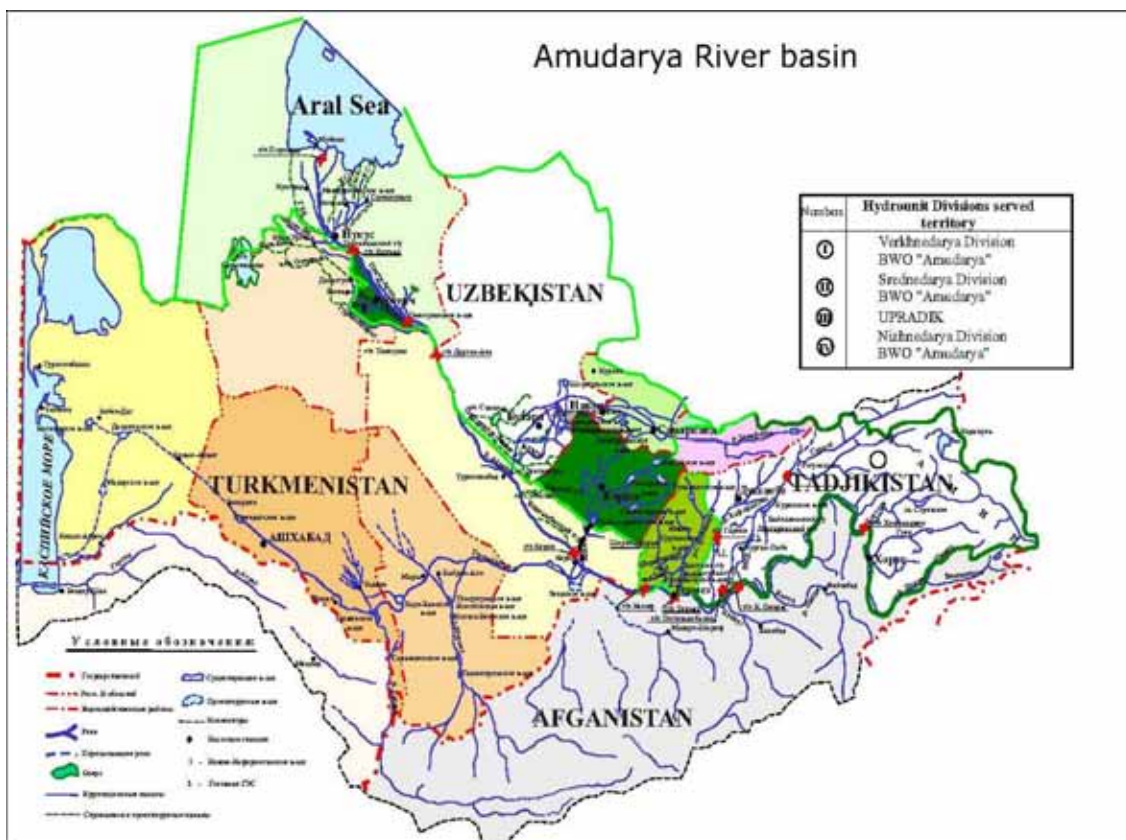


Рис 1.3 . Районирование МБА по принципу межгосударственного управления

Для того чтобы увязать бассейновые (гидрографические) и административные принципы управления НИЦ МКВК было предложено весь бассейн Аральского моря разделить на 44 зоны планирования (ЗП).

Практика использования данного понятия в системе информационного обслуживания региона, планирования и научных исследований показала, что ЗП может стать основным информационным объектом и объектом моделирования на межгосударственном и национальном уровнях управления водно-земельными ресурсами бассейна.

ЗП увязаны с участками управления БВО, а также с балансовыми участками рек, имеющими свои гидрологические и морфологические особенности.

По условиям трансформации руслового потока, формирования и разгрузки подземных вод в среднем и нижнем течении Амударьи выделены 4 участка. Они расположены между гидропостами Керки - Ильчик, Ильчик - Дарганата, Дарганата - Тюямуюн, Тюямуюн - Саманбай.

На участке Керки - Ильчик результирующая руслового баланса по многолетним данным указывает на среднегодовые потери. Фильтрационные потери из русла реки происходят на левый берег. Основная масса фильтрационных потерь в русле из-за затрудненных условий оттока за пределы долины может расходоваться только на суммарное испарение с уровня грунтовых вод и на выклинивание в коллекторно-дренажную сеть. Здесь основной формой фильтрации является ее формирование в виде подруслового потока. Протяженность участка 295 км. Пойма шириной 4-5 км. Уклон 0,00024.

Участок Ильчик-Дарганата представляет собой зону выклинивания подруслового потока в реку, чему способствует заглубленность узкой долины реки, врезанной в малопроницаемые коренные породы. Река является естественной дренажной подземных вод прилегающих территорий. Возможно поступление в русло подземных вод с обоих берегов и выклинивание подруслового потока. Протяженность участка 140 км. Ширина поймы небольшая, местами практически отсутствует. Уклон 0,00022. Коллекторный приток превышает водозабор.

На участке Дарганата-Тюямун расположен Тюямунский гидроузел. Характеризуется потерями на испарение из водохранилища, потерями в русле рек, но в то же время фильтрационными притоками в Русловом водохранилище (при высоких уровнях в водохранилище наблюдается фильтрационный отток в подземные воды, при низких уровнях - разгрузка в водохранилище из подземных горизонтов).

Участок Тюямун - Саманбай характеризуется потерями. Вблизи реки уклоны зеркала грунтовых вод достигают 0.001 и более, по мере удаления от реки они уменьшаются. Одновременно ухудшаются фильтрационные свойства пород. Основными путями разгрузки подземных вод являются испарение с уровня, транспирация растительностью, выклинивание в коллекторно-дренажную сеть. Протяженность участка 235 км.

Дельта реки Амударьи (условно ниже поста Саманбай) охватывает территорию порядка 30 000 км², на которой расположены системы мелководных озер. С левой стороны дельтовые озера упираются в восточный чинк Устюртского плато, вдоль которого существует твердый берег. На остальном протяжении контуры озер обрамлены тростниковыми зарослями, плавно подходя к бывшему архипелагу, а теперь возвышенности Акпетки. Центральная часть системы включает Междуреченское водохранилище, озеро Рыбачье и Муйнакский залив. На востоке находятся озера Думалак и Джилтырбас. Западная часть плотно занята большим количеством средних озер, крайним из которых является система Судочье, выходящая через Аккумскую гряду к заливу Аджибай.

В 60 годах, при отметке Аральского моря ~53.0м БС, основная часть дельтовых озер Амударьи представляла собой приморский участок дельтовой равнины, затопляемый морем.

В многоводные годы р. Амударьи эти озера почти полностью опреснялись и приобретали свойства хорошо проточных водоемов. Речная вода поступала из канала Раушан и через тростниковые заросли со стороны Караджарской ложбины в систему Судочье, а через отводы Междуреченского водохранилища наполнялись Рыбачье, Муйнак, река Акдарья и озера Думалак, Джилтырбас. В периоды сокращения притока пресных вод эти озера затоплялись морем, в результате чего происходило резкое изменение физических и химических свойств воды, и соответственно изменялась их биологическая продуктивность. В морфологическом плане эти озера состоят из нескольких ложбинообразных понижений с глубинами от 0,5 до 4,0 м, разделенных невысокими подводными грядами, плотно заросшими тростником.

С падением уровня Аральского моря и сокращением речного стока, эти озера стали играть роль аккумуляторов и естественных испарителей коллекторно-дренажного стока, с резким уменьшением объемов воды и увеличением минерализации. Помимо основного русла в дельте реки Амударьи действуют шесть коллекторов, подающих воду в различные озерные системы и являющиеся, в настоящее время, наиболее стабильными источниками водных ресурсов.

Осадки, как элемент водного баланса, в дельте реки Амударьи, составляют незначительную часть. Среднегодовое количество осадков находится в пределах 75-110 мм в год. Причем учитываются только осадки, которые поступают непосредственно на

водную поверхность, так как при малых уклонах местности поверхностный сток отсутствует, а поступившие на земную поверхность осадки полностью расходуются на насыщение почвы. Ливневые осадки не наблюдаются. Важнейшей составляющей водного баланса водоемов дельты Амударьи является испарение, слой которого в летние месяцы достигает значений ~ 200 мм/месяц со свободной поверхности воды. Еще большие потери ресурсов происходят с поверхности воды, занятой растительностью. Эвапотранспирация тростника и рогоза увеличивает слой испарения в $1,6 \sim 1,7$ раза, и достигает значений ~ 340 мм/месяц, при среднегодовом слое ~ 1500 мм/год. Поэтому одним из основных параметров, формирующих водохозяйственный и экологический баланс озер, являются площади, занятые тростником и минерализация воды.

Створ Саманбай в настоящее время является самым последним (или самым близким к Аральскому морю) створом реки Амударьи, имеющим постоянно действующий гидрологический пост, информацию которого о водных ресурсах можно рассматривать как замыкающую створ реки Амударьи. Ранее действующий гидрологический пост в створе Темирбай в 25 км от устья в 1982 г. закрыт в связи с постройкой глухой плотины по основному руслу Амударьи.

Остаточный сток через Междуреченское водохранилище направляется на хозяйственные нужды левобережья Междуречья, а его дальнейшее растекание происходит в дельте реки по множеству рукавов, гидравлические параметры которых постоянно меняются как под воздействием природных процессов, деформирующих ландшафт, так и в результате различных инженерно-технических мероприятий, обусловленных хозяйственной деятельностью в Приаралье

Сегодня на территории Южного Приаралья (рис. 1.4) поддерживается девять озерных систем: (1) озерная система Судочье (Большое Судочье, Бегдула-Ойдын, Акушпа, Каратерен), (2) водоем Аджибай, (3) озеро Машанкуль, (4) озеро Илменкуль, (5) озеро Джилтырбас, (6) система озер Думалак, (7) водоем Муйнак, (8) водоем Рыбачье, (9) водохранилище Междуреченское, (10) зона Лиманного орошения.

По режиму питания водоемы Приаралья можно подразделить на: (1) водоёмы, питающиеся коллекторно-дренажной водой; (2) водоемы, питающиеся речной амударьинской водой; (3) водоемы, имеющие смешанное питание.

По характеру водообмена: (1) проточные - водоемы центральной зоны - Междуреченское водохранилище и Макпалколь; (2) слабо (периодически) проточные - большинство водоемов зоны формирования водоемов. В левобережной зоне - Западный Каратерен, Большое Судочье, Бегдула-Ойдын, в центральной зоне - Машанкуль, Рыбачий и Муйнакский заливы, в правобережной зоне - залив Джилтырбас, Дауткульское водохранилище; (3) бессточные - Акушпа, Тайлы, Восточный Каратерен, Ходжакуль и Илменкуль.

При поддержке проекта НАТО подготовлена схема нового устойчивого профиля Южного Приаралья, разработанного НИЦ МКВК совместно с голландской фирмой «Ресурс Анализ», Дельфт. Проект предусматривал строительство комплекса строительных сооружений, водоемов и соединительных каналов, которые смогут восстановить продуктивность дельты по рыбе, ондатре, обеспечить устойчивое место гнездования птиц при их миграции и выращивание тростника. Условная площадь обводнения дельты составит 450 тыс. га при стоимости проекта 91,3 млн. долл. США. Потребность в воде дельтового комплекса колеблется от 8,9 млрд. м³ воды в средний по водности год до 4,9 км³ в маловодный год. При единичном маловодном годе ($\approx 75 - 90$ % обеспеченности) требуется минимальный попуск в 3,0 км³ в год, при двух идущих маловодных годах - 4,9 км³.

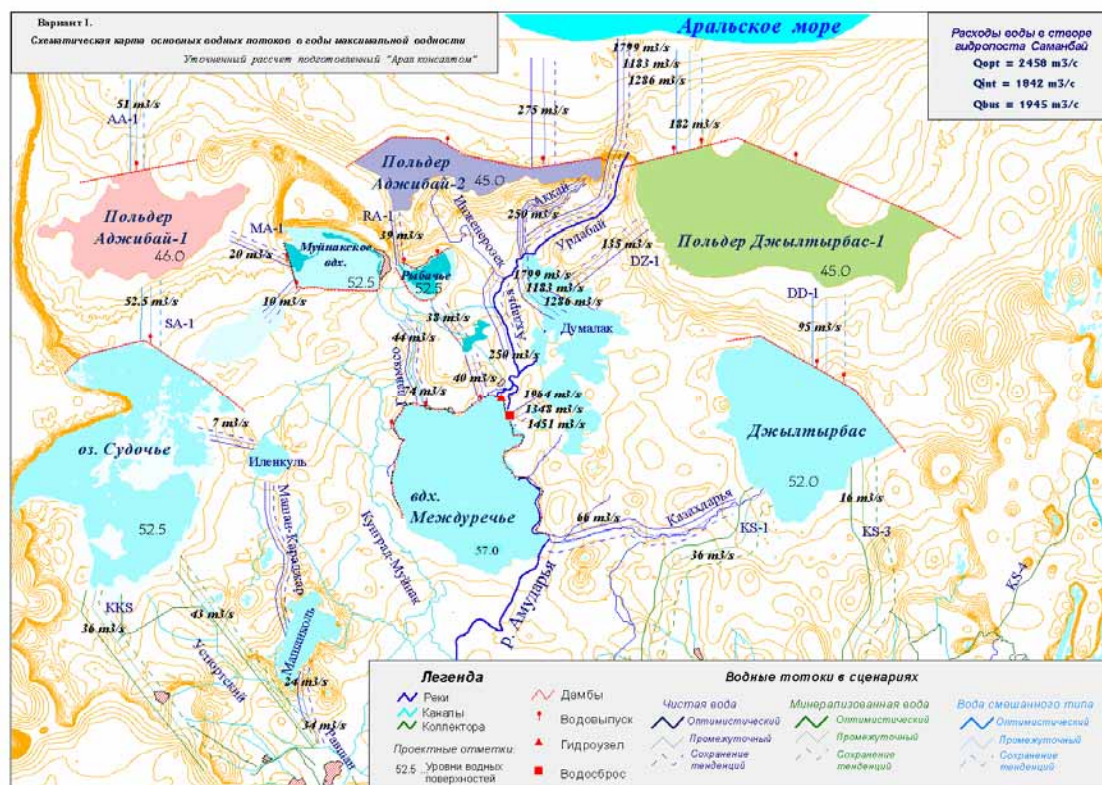


Рис 1.4 Схема развития Южного Приаралья (вариант НИЦ МКВК)

1.1.3. Зоны планирования

Зона планирования (ЗП) является географической единицей для планирования использования водных ресурсов в пределах гидрографического бассейна, с единством системы питания и геоморфологического строения ландшафта, равно как и морфологии оросительных и дренажных систем.

ЗП расположены в пределах административных границ одной области в интересах возможности учета всех статистических элементов или нескольких административных районов. Одна область может быть разделена на несколько ЗП. Вся территория ЗП имеет единые гидрологические условия формирования, питания и отвода водных ресурсов и однообразные экономические показатели для осуществления всех видов деятельности и, в первую очередь, сельскохозяйственной. В пределах МАБ расположено 18 ЗП. Перечень ЗП и степень учета их водопотребления при моделировании приводится в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Зоны планирования БАБ и их учет при моделировании МБА

№	Наименование ЗП	Государство	Наличие в МБА	Учет в модели
1	Гармская	Таджикистан	входит	учитывается
2	Вахшская	Таджикистан	входит	учитывается
3	Пянджская	Таджикистан	входит	учитывается
4	Горно-Бадахшанская	Таджикистан	входит	учитывается
5	Верхне-Кафирниганская	Таджикистан	входит	учитывается
6	Нижне-Кафирниганская	Таджикистан	входит	учитывается
7	Каратаг-Ширкенская	Таджикистан	входит	учитывается
8	Сурхандарьинская	Узбекистан	входит	учитывается
9	Марыйская	Туркменистан	входит	частично
10	Ахалская	Туркменистан	входит	частично
11	Лебапская	Туркменистан	входит	учитывается
12	Кашкадарьинская	Узбекистан	не входит	не учитывается
13	Каршинская	Узбекистан	входит	частично
14	Заравшанская	Таджикистан	не входит	не учитывается
15	Самаркандская	Узбекистан	не входит	не учитывается
16	Навоийская	Узбекистан	входит	частично
17	Бухарская	Узбекистан	входит	частично
18	Хорезмская	Узбекистан	входит	учитывается
19	Южный Каракалпакстан	Узбекистан	входит	учитывается
20	Северный Каракалпакстан	Узбекистан	входит	учитывается
21	Дашоузская	Туркменистан	входит	учитывается

Примечание.

В таблицу не включены районы, относящиеся к Афганистану и Кыргызстану.

ЗП связаны с речной системой путем отбора воды и сброса в реку возвратных вод с определенными показателями загрязнения и качества. При этом за счет этого отбора и возврата вод обеспечивается водоснабжение определенного зонального элемента народнохозяйственного комплекса той или иной страны, которое участвует в формировании народнохозяйственного дохода на территории определенной административной единицы одной или другой страны. При этом различное использование этих вод соответствует определенным экономическим, социальным и экологическим требованиям, формирующимся как на уровне стран, так и может отдельных частей ее.

Каждая ЗП строго принадлежит определенному государству. Государство, как главный менеджер, управляет развитием ЗП через механизмы распределения финансовых и водных ресурсов. Обратное влияние ЗП на государство проявляется через объемы сельскохозяйственной и сопряженной продукции, социальные и экологические условия населения, проживающего в сельской местности, включая занятость, доход обслуживающего населения и т.д.

1.1.4. Социально-экономическое значение бассейна

Бассейн Амударьи по своим природным и хозяйственным характеристикам крайне неоднороден, так же как и по политической среде, в которой осуществляется водопользование, водопотребление и управление бассейном. Он охватывает территорию древнейших оазисов таких, как Гератский, Бухарский, Хорезмский, Сурхандарьинский и Кафирниганский, где развитие цивилизации было связано с развитием водного хозяйства и орошения.

Наряду с этим на территории бассейна развиваются новые промышленные зоны, такие как высокоиндустриальная Навоийская зона, Мубарекский и Кашкадарьинский нефте-газопромышленные комплексы, алюминиевый комплекс в Турсунзаде, все большее развитие получает ниже-амударьинский нефте-газово-конденсатный промышленный район. Огромный толчок всему развитию бассейна дало освоение новых земель в зоне Яван-Обикийской и Дангаринской системы в Таджикистане, Сурхан-Шерабадской, Каршинской степей, а также Амубухарской системы в Узбекистане, зоны рисосеяния в Хорезме и Каракалпакстане.

Особое место во всем этом огромном развитии занимает Каракумский канал - Каракумдарья, который, по сути, вдохнул жизнь в некоторые безводные и пустынные земли Туркменистана. Ныне на всем протяжении этого огромного канала, протяженностью более 1350 км и головным расходом в 600 м³/с, расположены сотни поселков, города, прекрасные дороги, высокоурожайные сельхозпредприятия и предприятия по переработке сельхозпродукции. Особенно за последние годы Туркменистан превратился из поставщика сырья в производителя конечной продукции: пряжи, тканей, одежды, хлопкового масла и др. продуктов сельского хозяйства.

Аналогично этому огромное градообразующее и селитебное значение имело освоение в 1965...1980 гг. Каршинской степи с уникальным каскадом из 7 насосных станций с величиной подъема 180 м и расходом 260 м³/с, зоны Амубухарского канала с тремя машинными подъемами и т.д.

В результате всей этой огромной деятельности по развитию водохозяйственного комплекса орошаемых земель в бассейне Амударьи достигли в Туркменистане и Узбекистане рубежей, намеченных решением Советского правительства в 1972 г. и в последующем переутвержденными в 1987 г. (табл. 1.5) согласно генеральной схеме развития бассейна реки Амударьи.

Таблица 1.5

Площади орошаемых земель в бассейне реки Амударьи (тыс. га)

Страна	Годы				Лимит по генсхеме
	1960	1980	1990	2000	
Киргизстан	5,0	10,0	23,6	22,0	55
Таджикистан	210,0	376,7	415,8	469,0	548
Туркменистан	435,0	1080,0	1523,3	1735,0	1350
Узбекистан	1625,0	1538,4	2036,8	2321,0	2274
Итого	2275,0	3005,1	3999,5	4547,0	4237

Таблица 1.6

**Динамика социально-экономического развития в бассейне реки Амударья
1980...1990 гг.**

Области	Население, тыс. чел		В т.ч. сельское, тыс. чел		ВВП, млрд.долларов		Продукция растение- водства, млрд. долларов		Орошаемые земли, тыс. га брутто	
	1980	1990	1980	1990	1980	1990	1980	1990	1980	1990
Нижне-Кафирниганская	162,8	207,9	105,8	135,1	0.34	0.43	0,06	0,06	41,8	50,7
Вахшская	703,2	902,1	437,9	567,5	1.58	1.97	0,30	0,28	143,2	158,6
Пянджская	453,8	601,7	299,8	382,1	0.94	1.33	0,18	0,19	82,8	90,7
Верхне-Кафирниганская	1369,6	1930,9	853,6	1208,4	1.20	1.51	0,23	0,21	58,4	53,8
Каратаг-Ширкенская	95,4	128,4	59,2	79,8	0.20	0.27	0,04	0,04	16,7	17,1
Гармская	125,5	189,8	75,3	117,6	0.26	0.39	0,05	0,06	15,4	20,3
Горно-Бадахшанская	117,9	147,6	70,3	88,3	0.25	0.32	0,05	0,05	18,4	24,6
Бухарская	815,7	1196,1	544,1	814,4	0.96	1.29	0.44	0,49	283,6	347,3
Кашкадарьинская	1121,0	1795,1	835,9	1330,9	1.27	1.78	0.57	0,28	350,7	489,6
Навоийская	536,9	665,8	306,9	395,4	0.57	1.07	0.19	0,16	97,7	121,2
Сурхандарьинская	895,0	1442,2	754,0	1150,9	1.03	1.39	0.63	0,51	262,7	315,0
Хорезмская	747,0	1104,2	537,4	835,4	0.66	1.07	0.35	0,28	194,8	261,8
Каракалпакстан	902,0	1262,5	495,8	650,8	0.91	0.91	0.40	0,14	348,9	501,9
Дашоузская	563,4	738,0	393	518,0	0.99	1.00	0,31	0,44	238,8	382,8
Марыйская	661,5	855,3	441	570,2	0.84	1.16	0,57	0,34	352,9	438,9
Лебапская	608,1	770,2	319	403,4	0.77	1.05	0,68	0,78	202,4	309,6
Ахалская	742,9	983,0	279	368,6	0.94	1.33	0,18	0,24	285,9	392,0
Итого	106576,7	14920,8	6808	9616,8	13,72	18,27	5, 23	4,55	2995,1	3975,9

Учитывая высокое градообразующее и социальное значение орошаемого земледелия, удалось в значительной степени увеличить валовый доход и соответственно занятость населения, обеспечив соответствующий социальный прогресс, имея в виду, что сельское население в бассейне составляет 64 % (таблица 1.6).

Соответствующий анализ показывает прогресс в социально-экономическом развитии бассейна на этой основе в разрезе зон планирования (данные приводятся с 1980 г., по которому создана аналитическая база в информационной системе CAREWIB). Характерно, что по сравнению с 1980 г. некоторый спад стоимости сельскохозяйственной продукции уже наметился за счет падения цен, но зато выросли объемы продукции агроиндустрии и обслуживания.

За период 1980...1990 гг. особых нарушений в обеспечении плановой водоподачи не было, но в течение 2000...2001 гг. бассейн претерпел значительное маловодье, которое показало насколько разительными могут быть социально-экономические потери от ущемления водоподачи. Первым результатом дефицита воды, составившего в среднем по бассейну 30 % за вегетационный период, явилась потеря урожая сельхозкультур, выразившаяся лишь по Узбекистану в 248 млн. долл. в год и около 130 млн. долл. по зоне Лебапа и Дашховуза. Кроме того, оба государства выплатили пострадавшим областям около 250 млн. долл. США. Таким образом, общие потери от недополучения 11,1 км³ воды составили 578 млн. долл. США или в среднем 5,2 цента на 1 кубометр воды. Другим долговременным последствием была утрата потенциала орошаемых земель, которая до 2007 года не была восстановлена.

В маловодные 2000-2001 гг. в основном из-за резкого снижения водообеспеченности произошло катастрофическое сокращение орошаемых площадей на 327 тыс. га в Каракалпакстане (в 2000 г. на 198 тыс. га и в 2001 г. еще на 129 тыс. га). В последующие два года орошение было восстановлено на 109 тыс. га, на остальных 218 тыс. га орошение не производилось. В несколько меньшей степени сокращение орошаемых площадей в период маловодных лет было в Хорезмской области (на 24 тыс. га). В последующие два года орошение было восстановлено на 20 тыс. га в Хорезмской области, но 9 тыс. га за период 1990 - 2003 гг. выведены из сельхозоборота.

Динамика валового внутреннего продукта (ВВП) по низовьям Амударьи за последние годы показывает разительное влияние снижения водообеспеченности не только на урожайность и валовую продукцию сельского хозяйства, но и в целом на экономику областей, находящуюся в тесной зависимости от объема аграрного производства.

Рис. 1.5 свидетельствует, что хотя до 1999 года регион испытывал определенный подъем по сравнению с 1995 г. - годом максимального спада - маловодье 2000-2001 года снизило суммарный ВВП в Хорезме в 2 раза, в Каракалпакстане - в 3,5 раз, а доход на душу населения снизился в Каракалпакстане в 4 раза. До 2005 г. эти показатели не удалось восстановить.

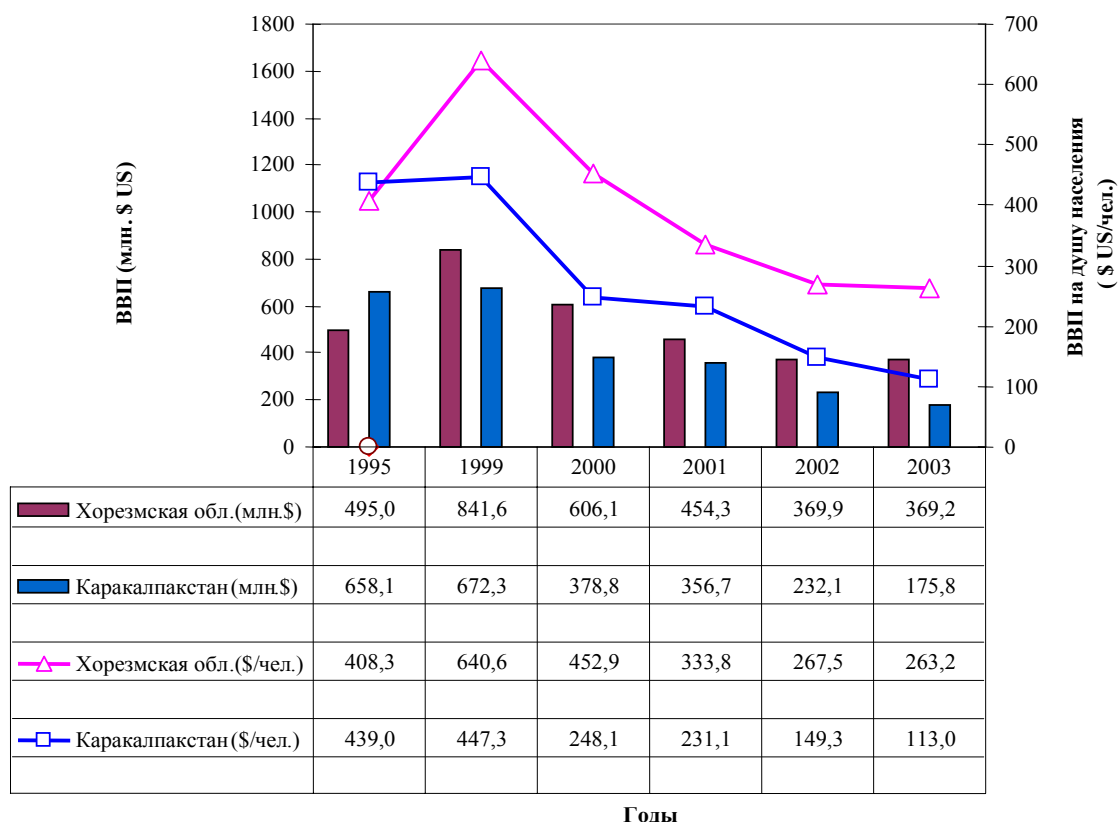


Рис. 1.5

Другие серьезные последствия ущемления водой определенных потребителей видны на примере оценки социально-экономического и экологического ущерба дельте Амударьи, которые приведены в работе «Оценка социально-экономических последствий экологического бедствия - усыхания Аральского моря» (проект ИНТАС - RFBR 1733, август 2001 г.). При ежегодной недодаче воды в 30 млрд. м³ воды в среднем общие прямые и косвенные годовые потери в Приаралье составили 145 млн. долл. США или в среднем 0,05 центов на кубометр. Хотя по абсолютной величине экологические потери соизмеримы с прямыми социально-экономическими потерями в зонах планирования они на порядок меньше на единицу воды.

Данные ущербы складываются из:

- деградации гидроморфных почв, уменьшившихся на 550 тыс. га;
- увеличения солончаков с 85 до 273 тыс. га;
- уменьшения тростниковых зарослей на 530 тыс. га;
- уменьшения вылова рыбы с 40 тыс. тн до 2 тыс. тн;
- потери 80 млн. га тугайных лесов;
- роста числа заболеваний, особо дыхательных путей;
- миграции населения;
- потери работоспособности и т.д.

1.1.5. Водозаборы из рек и их требования к уровням воды

Список водозаборов из рек МАБ, учтенных при моделировании, приводится в Приложении, в таблице 2.

До 1992 года распределение водных ресурсов Амударьи по водозаборах среди четырех республик Центральной Азии осуществлялось на основе Генеральной Схемы развития водных ресурсов в бассейне Амударьи. Деление было утверждено решением Министерства водного хозяйства СССР за № 566 в 1987 г. на основе постановления Госплана СССР № 563р за 1987 г. Доля поверхностных вод, выделенных каждому государству согласно этому решению, составляла (в процентах от прогнозируемого стока по стволу р. Амударьи): Кыргызстан - 0,6, Таджикистан - 15,4, Туркменистан - 35,8, Узбекистан - 48,2.

Сегодня распределение воды в бассейне Амударьи осуществляется по устанавливаемым лимитам на водозаборы. Фактическое распределение за 1993-2004 годы приводится в таблице 1.7.

Таблица 1.7

Фактический водозабор из МБА (1993-2004 гг.), км³

	1993-1994	1994-1995	1995-1996	1996-1997	1997-1998	1998-1999	1999-2000	2000-2001	2001-2002	2002-2003	2003-2004
Кыргызстан	0.15	0.13	0.16	0.17	0.45	0.45	0.45	0.43	0.45	0.50	0.48
Таджикистан	7.32	7.01	7.41	7.51	7.03	7.37	7.87	7.51	7.20	6.74	7.62
Туркменистан	22.76	21.15	21.46	21.02	21.99	21.89	17.23	13.73	19.31	21.47	22.35
Узбекистан	21.32	22.26	24.17	22.36	23.56	25.08	18.40	17.33	20.75	22.86	23.05
Итого	51.55	50.55	53.20	51.06	53.03	54.79	43.95	38.71	47.71	51.57	53.5

До настоящего времени сохраняется принцип квотирования, предусматривающий, что Туркменистан и Узбекистан имеют равные (50/50) доли так называемого приведенного водного стока в створе гидропоста Керки, с учетом водозабора в Каршинский Магистральный и Каракумский (новое название Гарагумдаря) каналы. Это положение было подтверждено двусторонним Соглашением, подписанным в 1996 году главами двух государств в городе Чарджоу (Туркменабаде).

Отличительной особенностью бассейна является то, что орошаемые и пригодные для орошения земли некоторых районов находятся на значительном удалении от источников (головных водозаборов).

Это обстоятельство отразилось на специфике формирования водохозяйственных систем в бассейне и создании на каналах внутрисистемных водохранилищ сезонного цикла, наполнение которых осуществляется, главным образом, в осенне-зимний период.

После создания на основании постановления Совета Министров СССР в 1987 г. бассейнового водохозяйственного объединения БВО «Амударья» был установлен порядок планирования и корректировки объемов попусков из водохранилищ, исходя из текущего состояния водного баланса реки, потребностей ирригации и энергетики, остатков воды в водохранилищах и прогноза стока на межвегетационный и вегетационный период. До распада СССР этот годовой план БВО утверждался Минводхозом СССР. После обретения независимости учитывая, что Соглашением

между странами Аральского бассейна от 18 февраля 1992 г. установлена преимущество принципов и порядка водodelения между странами на основе прошлого водodelения между республиками, право утверждения ежегодных, а также сезонных (вегетация - межвегетация) планов работы БВО перешло к МКВК на коллегиальной основе. Это позволяет также учитывать возможность наполнения и опорожнения водохранилищ в многолетнем разрезе, так как прогноз стока корректируется 3 раза в год 1 октября - ориентировочный, 1 марта уточненный и 1-15 апреля - расчетный. Таким образом, водodelение в МБА осуществляется БВО по заявкам государств в рамках лимитов, утвержденных на заседаниях МКВК, причем, БВО разрешается уменьшать или увеличивать расходы по отдельным водозаборам в пределах 10 % от общего объема лимитов. БВО обеспечивает соблюдение установленных лимитов водозаборов, контролирует выполнение режимов работы водохозяйственных сооружений и на основе уточненных гидрологических прогнозов о водности представляет корректировку лимитов для рассмотрения на очередном заседании МКВК.

За период с 1965 по 1980 год общий водозабор из реки Амударья и ее притоков увеличился с 30 до 66 км³/год, а за период с 1981 по 1993 год составил в среднем 53 км³/год, что соответствует современному значению объемов лимита без учета подачи воды в Южное Приаралье. Наибольший водозабор был отмечен за 1976-1980 годы. С 1993 по 1999 годы водозабор держался на уровне лимита, в 2000-2001 году произошел резкий его спад (с большой неравномерностью по территории), с 2002 года - он снова увеличился до лимита для среднего по водности года.

В бассейне существует территориальное перераспределение речного стока, осуществляемое крупными водозаборными трактами - магистральными каналами. Каракумский канал (ККК) осуществляет подачу стока из Амударьи в бассейны малых рек Туркменистана; Амубухарский магистральный канал (АБМК) - из Амударьи в Бухарский оазис и бассейн реки Заравшан; по Каршинскому Магистральному каналу (КМК) - из Амударьи для орошения Каршинской степи и бассейна реки Кашкадарья. В верхнем течении существует Большой Гиссарский и Амузангские каналы, по которым возможна подача части стока рек Кафирниган и Амударья в бассейн Сурхандарьи. Объемы переброски оцениваются (1992 год): по ККК в 11.7 км³/год, по КМК - 4.1 км³/год, по АБМК - 3.8 км³/год.

Часть таких перебросок осуществляется с помощью машинного водоподъема - каскадов насосных станций (НС), подающих воду по АБМК, КМК, Амузангу. Бесплотинные водозаборы и НС нуждаются в реконструкции с целью улучшения их эксплуатационных характеристик, и ограничены уровнем режимом самой реки.

Русло реки Амударья в районе КМК блуждает по пойме, периодически образует свальные течения, приводящие к размыву берегов (дейгиш), который усиливается в многоводные годы. В маловодные годы возможен отход русла, с понижением уровня воды в реке, что сказывается на пропускной способности водозабора. С ростом водности реки в осенне-зимний период и уменьшением расходов в летний период (по причине энергетической работы Вахшских ГЭС) меняется наносный режим реки и русловые процессы, что требует пересмотра мероприятий по регулированию русла в районах бесплотинных водозаборов.

В результате заиливания Руслового водохранилища Тюямуянского гидроузла меняется режим водозаборов, забирающих воду из самого водохранилища (ограничения при низких отметках), а так же выше и ниже гидроузла.

В верхнем бьефе происходит подъем дна (с угрозой затопления в паводок), а в нижнем - общий размыв и падение уровней воды в реке (и прекращением подачи воды по бесплотинному водозабору в период минимальных расходов).

Учет данных особенностей при моделировании распределения речного стока в МБА посредством ввода ряда ограничений в алгоритм, позволит повысить диапазон и эффективность расчетов.

1.1.6. Возвратный сток

В настоящее время существует четыре направления, по которым происходит водоотведение, распределение и использование коллекторно-дренажного стока (КДС):

- использование части КДС для орошения непосредственно в местах его формирования (ЗП);
- отвод части КДС за пределы орошаемых земель в естественные понижения (испарители) или озера;
- сброс части КДС в реки (такой сброс может осуществляться и из озер);
- подача КДС в дельту и Аральское море.

К возвратному стоку, сбрасываемому в реки, кроме КДС, поступающих с орошаемых массивов, относят сбросы с ирригационной сети (например, с Вахшского канала), коммунально-бытовые и промышленные стоки, а также поступление дренажных вод в виде фильтрации в реку (последняя составляющая учитывается при моделировании в качестве русловых фильтрационных потерь с обратным знаком).

Между объемом сформированного КДС в ЗП и водозабором в ЗП можно проследить некоторую закономерность, характерную для каждой зоны планирования. Для расчета возвратного стока, поступающего в реку Амударью необходимо учесть трансформацию этих величин при прохождении через соленые озера, поступление части КДС с соседних бассейнов, не входящих в МБА и др.

Так большую долю формирования стока Амударьи составляют возвратные воды с орошаемых территорий Сурхан-Шерабадского массива, бассейнов рек Кашкадарья - Южный коллектор и Султандагский сброс, Заравшан - Главный Бухарский коллектор и Парсанкульский сброс (Бухарская ЗП), с Туркменского Прибрежного ирригационного района (Лебапская ЗП), входящих в большой бассейн Амударьи.

На территории Южного Приаралья действуют шесть коллекторов, подающих воду в различные озерные системы: (1) ККС $\Rightarrow$ система Судочье, (2) коллектор Устюрт $\Rightarrow$ система Судочье, (3) КС-1 $\Rightarrow$ система Джилтырбас, (4) КС 2 $\Rightarrow$ Коллектор КС-3, (5) КС-3 $\Rightarrow$ система Джилтырбас, (6) КС-4 $\Rightarrow$ система Акпетки.

Общие оценки возвратного стока по реке Амударья в различных источниках достаточно противоречивы, что совершенно понятно, ибо точного учета возвратного стока и его использования практически нет. Тем не менее, в двух работах НИЦ МКВК, сделанных на основе материалов гидромелиоративных экспедиций и с их участием, приводятся достаточно близкие данные, соответствующие колебаниям водозаборов. Ниже в таблице 1.8 приведено их сопоставление. Снижение объема КДС в маловодном 2000/2001 году на 20 % обусловлено уменьшением поданной воды на массивы орошения.

Таблица 1.8

Объемы возвратных вод в реку Амударью, км³

	Источник Соколов В.И., Сорокин А.Г., Рузиев Т.У, 1999г.*		Источник «Дренаж в бассейне Аральского моря», НИЦ МКВК**	Данные БВО «Амударья»	
	1982	1997		1999-2000	2000-2001
Сброс в Вахш	1.07	0.95	3.33	нет данных	нет данных
Сброс в Пяндж	1.62	1.37			
Сброс Кафирниган	0.63	0.72			
Сброс Сурхандарьи	1.06	1.00	1.11		
Сброс в Амударью из Керков	0.19	0.21			
Всего сброса в реке до Керков	4.57	4.25	4.44		
Керки-Тюямуюн	3.62	3.30			
Тюямуюн-Чатлы	0.31	0.55		2.6	1.6
Ствол ниже Керков	2.93	3.85	3.17	2.9	1.8
Всего ствол	7.50	8.10	7.6		
Внутрисистемное использование	0.20	0.19	2.12		
Водоснабжение и озера	7.34	7.53	} 9.33		
В Судочье и Арал	0.86	2.32			
Всего возвратный	15.88	19.14	19.06		

Таким образом, общий объем возвратных вод в годы нормальной водности составляет 19 км³, снижаясь в маловодные годы до 14-15 км³. Из этого количества в ствол поступает от 7-5 до 8.1 км³, в нижние и озера 7.5-8.00 км³ в год.

* Источники: Соколов В.И., Сорокин А.Г., Рузиев Т.У. «Анализ формирования возвратных вод в бассейне Аральского моря», 1999 г., Труды НИЦ МКВК, Ташкент

** «Дренаж в бассейне Аральского моря», под редакцией Духовного В.А., 2004 г., НИЦ МКВК, Ташкент

1.1.7. Связь зон планирования с речной сетью

Единство водных ресурсов, их взаимосвязь с орошаемыми землями, природными и антропогенными факторами требуют разработки специальных схем, которые устанавливают связи между этими элементами, организуя единую систему. Сложность заключается в увязке балансовых участков, ЗП по притокам и сбросам возвратного стока.

Такая схема разработана для бассейна реки Амударьи (см. рисунок 1.6.) и используется в качестве гидрологической и морфологической основы моделирования.

Для увязки ЗП с речной сетью и выполнения водохозяйственных расчетов по регулированию и распределению стока приняты следующие балансовые участки. В верхнем течении:

- условный участок выше Рогунского гидроузла, где формируются основные ресурсы реки Вахш, и учитывается водозабор в Кыргызстан и в Гармскую ЗП Таджикистана;
- участок расположения Рогунского гидроузла;
- участок от Рогунского до Нурекского гидроузла;
- участок расположения Нурекского гидроузла;
- участок от Нурекского гидроузла до слияния Вахша с Пянджем, где учитывается водозабор в Вахшскую ЗП, возвратный сток, а также регулируется сток нижним каскадом ГЭС реки Вахш;
- участок слияния Вахша и Пянджа, где составляющими баланса являются: сток Вахша по посту Тигровая Балка, ресурсы реки Пяндж, зарегулированные водохранилищами Пянджа, а также водозабор в Пянджскую и Горно-Бадахшанскую ЗП и возвратный сток с этих ЗП;
- участок реки Амударья от слияния Вахша и Пянджа до поста “Условный Керки”, где составляющими баланса являются: суммарный сток рек Вахш и Пяндж в конечных створах, а также ресурсы рек Кафирниган, Сурхандарья, Кундуз и Шерабад, кроме того, водозабор в Каратаг-Ширкенскую, Верхне - и Нижне-Кафирниганскую, Сурхандарьинскую ЗП, водозабор Афганистана, возвратный сток с ЗП.

В среднем течении увязка происходит по следующим участкам:

- участок от поста “Условный Керки” (выше водозабора в Каракумский канал) до створа выше водозабора в Каршинский Магистральный канал, где находится часть водозабора в Лебапскую ЗП по каналам Чаршанга и др. и по Каракумскому каналу в Марыйскую и Ахалскую ЗП Туркменистана, а также сброс Чаршангинский (ЧМК);
- участок от створа выше водозабора в Каршинский Магистральный канал (КМК) до гидропоста Керки (Атамурат), где расположен водозабор по КМК в Каршинскую ЗП и частично в Лебапскую;
- участок от поста Керки до водозабора в Амубухарский Магистральный канал (АБМК), где расположен водозабор по каналам Ходжамбас, Эсенмегли, Карабекаул, Саят-Наухан, Куль-Арык в Лебапскую ЗП, а также сбросы по коллекторам Ходжамбас, Халачский, Меканский, Южный Каршинский, Бурдаликский;

- участок от створа выше водозабора в АБМК до гидропоста Ильчик, где расположены водозаборы по АБМК в Навоийскую и Бухарскую ЗП и по каналам Ших-битых, Берзен в Лебапскую ЗП;
- участок от поста Ильчик до поста Дарганата (Бирата), где расположены основные сбросы по коллекторам Главный Левобережный (ГЛК), Фараб, Парсанкульский (главный Бухарский);
- участок от поста Дарганата до поста Лебап (приток в Русловое водохранилище Тюямуянского гидроузла), где расположены небольшие насосы и Дарганатинский коллектор.
- В нижнем течении:
- участок от поста Лебап до поста Тюямуяун, где расположен Тюямуяунский гидроузел, включая водозаборы по Ташаузской ветке (Туркмен Дарья) в Дашоузскую ЗП, по ЛБК (система Ташсака) в Хорезмскую и Дашоузскую ЗП, по ПБК (система Пахтаарна) в Южно-Каракалпакскую ЗП;
- участок от поста Тюямуяун до поста Кипчак, где расположены водозаборы из реки Амударья в Хорезмскую, Дашоузскую и Южно-Каракалпакскую ЗП по каналам Ташсака, Пахтаарна, Октябрь-Арна, Ургенч-Арна, Клычбай, Кипчак;
- участок от поста Кипчак до поста Саманбай, где расположены водозаборы из реки Амударья в Дашоузскую и Северно-Каракалпакскую ЗП по каналам Хан-Яб (Совет-Яб), Джумабай-Сака (все Туркменистан), Кызкеткен, Базатау (Рисовый), Параллельный, Суенли (Ленина), ГРЭС (все Узбекистан).

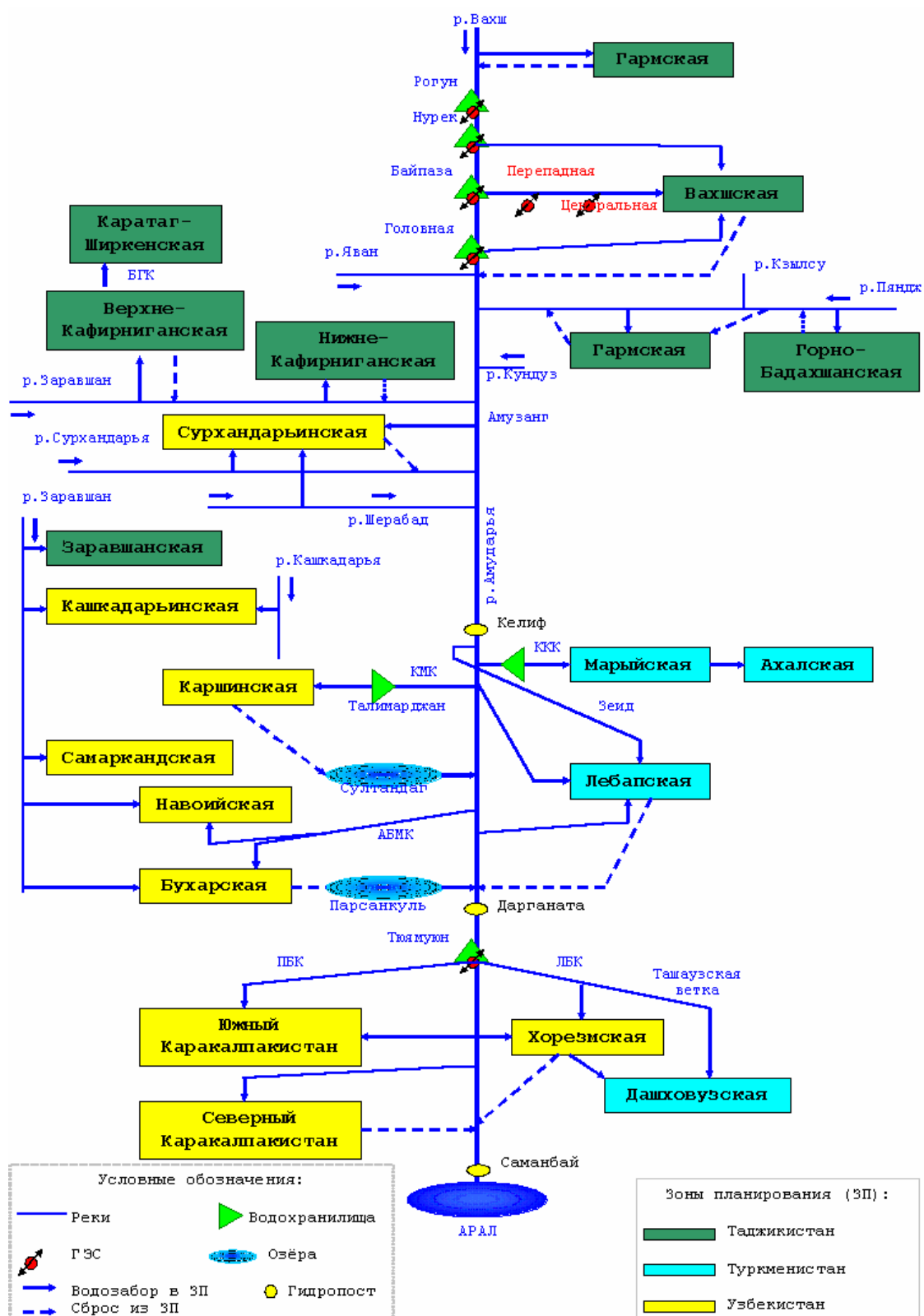


Рис 1.6. Гидрологическая схема бассейна реки Амударья

1.1.8. Регулирование стока речными и внутрисистемными водохранилищами

Особенности естественного гидрографа реки Амударья в том, что благодаря ледниковому питанию, его ход наиболее соответствует потребности орошаемых земель при небольшом увеличении степени регулирования путем работы водохранилищ сезонного регулирования. Другая особенность бассейна состоит в том, что в его режим регулирования включены водохранилища не только русловые (Нурек, Туюмун), но и внутрисистемные общей емкостью 5,8 км³.

Благодаря построенным водохранилищам степень зарегулированности стока составляет по Амударье - 0,78, т.е. имеются резервы дальнейшего регулирования. Реальные технические возможности ирригационного регулирования стока Амударьи в настоящее время определяются объемами водохранилищ Нурекского и Туюмунского гидроузлов. С учетом заиления емкостей Нурекского и Руслового водохранилищ и использования водохранилища Капарас в интересах водоснабжения, суммарная емкость ирригационного регулирования водохранилищ оценивается в 7.5 км³, что достаточно для зарегулирования стока Амударьи в объеме около 52 км³ в год.

Опыт эксплуатации водохранилищных гидроузлов МБА показывает, что величины фактических объемов регулирования в водохранилищах не являются постоянными и зависят от водности и конкретных для каждого года технических ограничений по наполнению и сработке водохранилищ.

Список существующих и перспективных водохранилищных гидроузлов и ГЭС МБА приводится в таблице 1.9.

Таблица 1.9

Водохранилища и ГЭС МБА

Водохранилища и ГЭС	Страна	Река, канал	Полезный объем, км ³	Мощность млн. кВт
Нурекское	Таджикистан	Вахш	4.5	2.7
Байпазинская	Таджикистан	Вахш	0.09	0.6
Головная	Таджикистан	Вахш	0.02	0.21
Перепадная	Таджикистан	Вахшский	-	0.03
Центральная	Таджикистан	Вахшский	-	0.02
Зеидское.	Туркменистан	Гарагум Дарья	2.0	-
Хаузханское	Туркменистан	Гарагум Дарья	0.8	-
Копетдагское	Туркменистан	Гарагум Дарья	0.4	-
Туюмунское	Узбекистан	Амударья	5.3	0.15
в том числе				
- Русловое			2.1	-
- Капарас			0.55	-
- Султансанджар			1.63	-
- Кошбулак			1.02	-
Тахиаташское	Узбекистан	Амударья	0.1	-
Междуреченское	Узбекистан	Амударья	0.2	-
Южносурханское	Узбекистан	Сурхандарья	0.56	-
Туполангское	Узбекистан	Туполанг	0.29	-
Талимарджанское.	Узбекистан	Каршинский	1.4	-
Тудакульское	Узбекистан	Амубухарский	0.9	-
Куюмазарское	Узбекистан	Амубухарский	0.3	-
Учкизилское	Узбекистан	Занг	0.08	-
<u>Перспективные</u>				

Водохранилища и ГЭС	Страна	Река, канал	Полезный объем, км ³	Мощность млн. кВт
Рогунское	Таджикистан	Вахш	8.6	3.6
Сангтудинская	Таджикистан	Вахш	0.1	0.8
Шуробская	Таджикистан	Вахш	0.02	0.8
Сангворская	Таджикистан	Обихингоу	1.5	0.8
Даштиджумское	Таджикистан	Пяндж	10.2	3.0
Рушанское	Таджикистан	Пяндж	4.1	3.0
Верхнеамударьинское	Таджикистан	Амударья	11.4	1.0

Примечание.

Полезные объемы водохранилищ даны без учета заилиenia

Приведем краткую характеристику основных гидроузлов.

Нурекский гидроузел - ирригационно-энергетического назначения; в эксплуатации с 1972 года, расположен на реке Вахш. Плановая мощность была достигнута в 1979 г. Основные расчетные данные: НПУ - 910 м, полный объём водохранилища - 10,5 км³, полезный - 4,5 км³; установленная мощность ГЭС - 2700 тыс.кВт, напор 223 м после реконструкции 1988 г. установлена мощность до 3000 МВт. Допустимая интенсивность сработки и наполнения водохранилища - 0.5 м (900-910 м) и 1.0 (ниже 900м). Максимальный попуск по условиям незатопления земель - 3000 м³/с.

Объем заилиenia Нурекского водохранилища по съемке 1990 г. оценивается в 1,8 км³, в том числе в пределах мёртвого объёма (ниже отметки 857 м) около 700 млн.м³, и полезного объёма - 1,1 км³. По данным Института математики Академии наук Таджикистана объем заилиenia Нурекского водохранилища на конец 2005 года составляет близкую цифру - около 2 куб.км. Недостаточность полезного объема Нурекского водохранилища за счет заилиenia ограничивает его возможности не только как ирригационного, но и энергетического регулятора.

На рисунке 1.7 приводится типичный пример зарегулирования стока реки Вахш Нурекским водохранилищем, работающим в современном энергетическом режиме (октябрь 2003 - сентябрь 2004 года), когда происходит сглаживание естественного стока реки в направлении его уменьшения в вегетацию и увеличения в межвегетационный период.

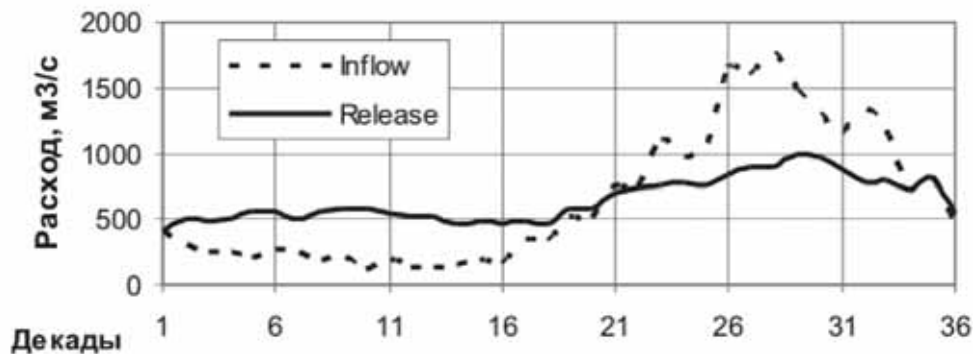


Рис 1.7 Типичный режим работы Нурекского вдхр – приток (inflow) и сброс (release) воды, (октябрь 2003 – сентябрь 2004)

Тюямуюнский гидроузел (ТМГУ) - комплексного назначения (ирригация, хозяйственное водоснабжение, энергетика), расположен на реке Амударья. В его состав входит Русловое и три наливных емкости, ГЭС установленной мощностью 150 тыс.кВт, водозаборы наполнения и сработка Султансанджарского и Капарасского водохранилищ, канал осветленной воды из Султансанджарского водохранилища.

Система водосбросных и водозаборных сооружений ТМГУ позволяют пропускать паводковые расходы $12890 \text{ м}^3/\text{с}$ обеспеченностью 0.01% при НПУ 130 м. Сброс в реку свыше $3500\text{-}4000 \text{ м}^3/\text{с}$ приводит к затоплению нижележащих земель.

Основными функциями ТМГУ являются: (1) внутригодовое (сезонное) трансформирование гидрографа притока к гидроузлу в интересах ирригации по требованиям оросительных систем низовий - Хорезм, Каракалпакстан (Узбекистан), Дашховуз (Туркменистан); (2) аккумулярование слабоминерализованной воды в Капарасе с целью дальнейшего ее использования для нужд питьевого водоснабжения низовий (по водоводам Тюямуюн-Ургенч, Тюямуюн-Нукус); (3) регулирование паводков. Испарение с водной поверхности - 1600 мм/год ; объем испарения при средней площади зеркала 325 км^2 составляет 520 млн. м^3 .

Русловое водохранилище заилено в настоящее время на $1,0\text{--}1,1 \text{ км}^3$, в том числе в пределах мёртвого объема (ниже отметки 120 м) - $0,2 \text{ км}^3$ (рисунок 1.8). Объем заиления меняется из года в год, и в периоды промывки уменьшается, то есть существует некоторая возможность управления процессами заиления и транспортом наносов гидроузла.

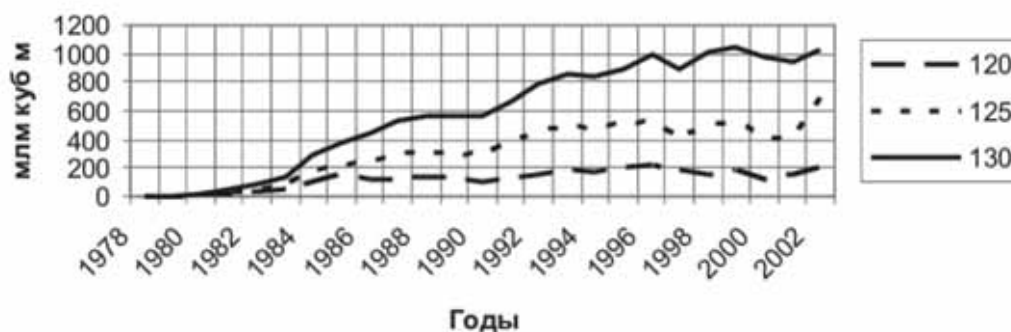


Рис 1.8 Динамика заиления Руслового водохранилища за 1980-2002 при отметках 120, 125 и 130 м (данные НТЦ «Тоза Дарье»)

В схеме распределения регулирующих функций между водохранилищами Вахшско-Амударьинского каскада работу Тюзмунского гидроузла мы предлагаем рассматривать в виде некоторого рационального режима, который рассчитывается на основании ряда правил (принципов) рационального и эффективного регулирования стока. Характеристики притока воды к гидроузлу рассматриваются в качестве тех переменных, с помощью которых осуществляется взаимосвязь режима работы ТМГУ с режимом Нурекского, а в перспективе и Рогунского водохранилищ, корректируются их режимы. Поиск рационального режима заключается в поэтапном построении частных решений, соответствующих определенным режимам регулирования.

Кроме регулирующих емкостей в водохранилищах Нурекского и Тюзмунского гидроузлов нужно учитывать регулирование стока Амударьи во внутрисистемных водохранилищах.

Зейдское водохранилище - внутрисистемное, расположено в головной части Каракумского канала, имеет полезную емкость в 2 км³, площадь зеркала при НПУ 465 км². Водохранилище построено с целью покрытия дефицита стока по зоне Каракумского канала, в основном, в период осенне-зимних промывных поливов. Кроме того, предполагалось, что пропуск стока через водохранилище осветлит воду канала, а это, в свою очередь, обеспечит ежегодную экономию эксплуатационных затрат по очистке наносов. Испаряемость в зоне водохранилища достигает 2155 мм водяного столба в год, а годовая сумма осадков всего 205 мм. Потери на испарение при полном заполнении водохранилища составляют 800 млн.м³.

Талимарджанское водохранилище - внутрисистемное наливное водохранилище сезонного регулирования стока полной емкостью 1,53 км³, полезной 1,4 км³. Оно удобно расположено на стыке головной (машинный канал) и рабочей (самотечный) частей Каршинского магистрального канала (КМК). В эксплуатации с 1985 года. Водохранилище аккумулирует воду, подаваемую от головной части с помощью насосной станции № 7 по подводящему каналу (расход 155 м³/с) и подпитывает рабочую часть КМК через сбросной канал (расход 350 м³/с). По проекту водохранилище должно аккумулировать амударьинскую воду, подаваемую по каскаду насосных станций в осенне-зимний период и подпитывать рабочую часть КМК в период вегетационных поливов. Фактический режим работы водохранилища несколько отличается от проектного. Минимальный объем воды в водохранилище наблюдается в конце августа. Наполнение начинается с сентября и продолжается до начала или

середины марта, когда наблюдается максимальный объем воды в водохранилище. Срабатывается водохранилище в марте - апреле и июне - августе.

Куюмазарское водохранилище - наливное внутрисистемное водохранилище сезонного ирригационного регулирования; полная ёмкость - 350 млн.м³; полезный объем - 300 млн.м³; площадь зеркала при НПУ 237,5 м - 16,3 км². Испарение 1800 мм/год; объем испарения (при средней площади зеркала) составляет 24 млн.м³/год. В эксплуатации с 1958 года. В комплекс водохранилища входит: плотина - 29 м, шахтный водовыпуск, подводящий канал, отводящий канал, насосная станция. Водохранилище наполняется водами Заравшана по подводящему каналу и Амударьи по Амубухарскому каналу (АБМК). Водохранилище наполняется с сентября до мая месяца, а срабатывается с декабря по март и с апреля по сентябрь.

Регулирование стока во внутрисистемных водохранилищах имеет свою специфику в маловодные и многоводные годы (сезоны). В случае наступления маловодных лет работа внутрисистемных водохранилищ направляется в первую очередь на снижение вегетационного дефицита, который покрывается за счет максимально возможного водозабора из реки Амударьи в межвегетационный период и создания запасов воды в водохранилищах к началу вегетации. При этом, как ограничение выступает уровень реки Амударьи в межень, который может ограничивать водозабор в каналы машинного подъема (КМК, АБМК). В особо многоводные годы работа внутрисистемных водохранилищ (и соответствующих каналов) направляется на максимально возможную срезку пиков паводка, проходящего по реке Амударья.

Важным вопросом является поддержание существующих объемов регулирования в связи с заилинием водохранилищ.

Очевидно, что для повышения гарантированности водоотдачи в бассейне необходимо осуществление многолетнего регулирования. Число возможных вариантов управления водохранилищами бассейна Амударьи в будущем может резко увеличиться по сравнению с существующим положением. И здесь важно найти оптимальные варианты, раскрывающие преимущества регионального сотрудничества.

Рогунский гидроузел на реке Вахш - комплексного ирригационно-энергетического значения; был предусмотрен Генеральной схемой именно с целью осуществлять многолетнее регулирование, при этом он должен быть взят на себя основную энергетическую нагрузку. Основные данные: высота плотины - 335 м., полный объем водохранилища при НПУ - 1280 м равен 11,8 км³ (при НПУ - 1290 м соответственно 13,3 км³), полезный объем - 8600 млн.м³, УМО - 1185 м. Площадь зеркала водохранилища - 170 км², длина водохранилища - 70 км, ширина - 2,4 км, максимальная глубина - 310 м. Дамба - каменно-набросная, длиной 1500 м, шириной 20 м. Расчетный напор ГЭС - 245 м, максимальный напор - 245 м, установленная мощность - 3200 тыс.кВт (8 агрегатов мощностью по 400 тыс.кВт каждый). Расчетный объем заилиения за 50 лет - 3500 млн.м³. Рогунская ГЭС является частью Вахшского каскада, основные составляющие которого были запроектированы в советское время и представлены в табл. 1.10. Схема Вахшского каскада приведена на рис. 1.8.

Даштиджумский гидроузел - с водохранилищем многолетнего регулирования (полезная емкость 10,2 км³) и ГЭС - рассматривается как один из возможных объектов будущего Пянджского каскада, работающего в ирригационно-энергетическом режиме, зависящего от принятых схем распределения регулирующих функций между ним, Рогунским и Нурекским водохранилищами. В любом случае, эффективность его работы будет зависеть от будущих потребностей Таджикистана в выработке электроэнергии и планов по ее экспорту. При намеченном проектном сроке строительства в 11 лет, реальный ввод гидроузла следует ожидать после 2020 года.

ВАХШСКИЙ КАСКАД ГЭС
THE VAKHSH CHAIN OF
HYDROELECTRIC PLANTS

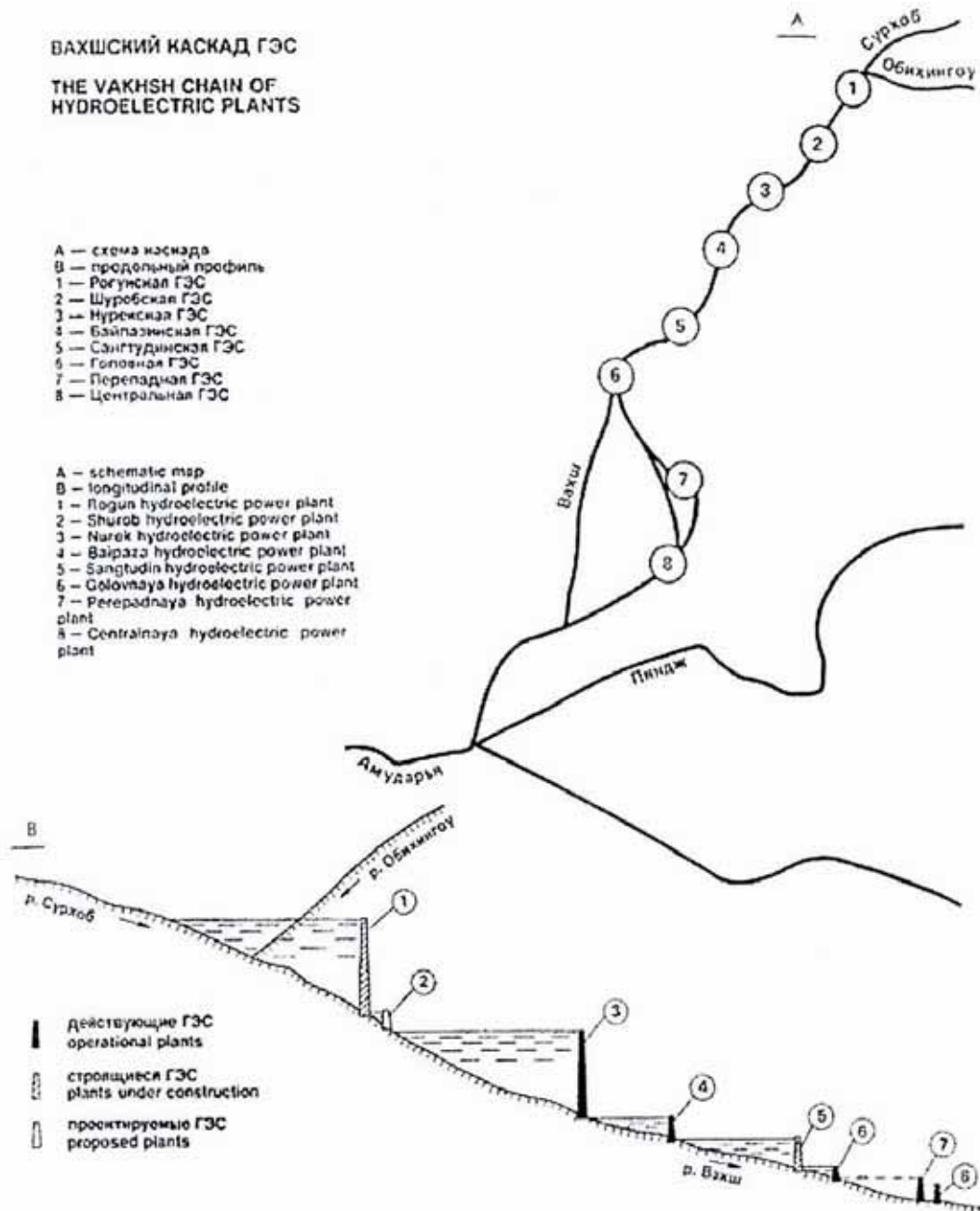


Рис. 1.8. Схема Вахшского каскада

Таблица 1.10

Основные характеристики гидроузлов Вахшского каскада

№	Название гидроузла	Расположение	Ввод в эксплуатацию	Исходный. активный. объем (км ³)	Тип регулирования	Установленная. мощность (МВт)	Среднегодовая. выработка энергии (ГВтч)
1	Рогунская ГЭС*	р. Вахш	строится/планируется	10.3	год.	3.600	13.300
2	Шуробская ГЭС	Р. Вахш	планируется	0.005	ежедневный.	850	2.600
3	Нурекская ГЭС	Р. Вахш	1972	4.5	год.	3.000	11.200
4	Байпазинская ГЭС	Р. Вахш	1984	0.087	ежедневный/еженедельный.	600	2.485
5	Сангутдинская-1 ГЭС	Р. Вахш	строится	0.018	ежедневный.	670	2.730
6	Сангутдинская-2 ГЭС	Р. Вахш	планируется	0.005	ежедневный.	220	930
7	Головная ГЭС	Р. Вахш	1962	0.02/0.004	ежедневный. (заилено)	240	1.050
8	Перепадная ГЭС		1958	-	нет (естественный. режим)	30	247
9	Центральная ГЭС		1964	-	нет (естественный. Режим)	15	114
Всего						9.225	34.656

После завершения строительства Нурекского гидроузла коллектив строителей «Нурекгидростроя» был перебазирован в район Рогуна, где была подготовлена дорога, строительная площадка, построены дома, построен строительный туннель, подведено электроснабжение и целый ряд других работ. В настоящее время проектная фирма «Лахмайер» (Германия) на основе договора с «Русалом» проработала 6 вариантов гидроузла с разными отметками и разными энергомощностями, приведенными в таблице 1.11.

* Данные по Рогунской ГЭС взяты из первоначального проекта 1978г.

Таблица 1.11

Изученные варианты Рогунской ГЭС с учетом НПУ и установленной мощности

НПУ (метров над уровнем моря)	Установленная мощность				
	4 x400 1600	4x500 2000	4x600 2400	6x450 2700	6x500 3000
1180	1				
1210	2 (a)	2 (b)	2 (c)	2 (d)	
1240	3 (a)	3 (b)	3 (c)	3 (d)	
1255				4	
1270				5	
1290					6

x - вариант с изменением установленной мощности

x - вариант с изменением НПУ

Следует отметить заранее, что плотина с отметками 1240 и 1210 практически делает невозможным многолетнее регулирование стока реки Вахш.

1.1.9. Потери воды

В 60-х годах прошлого столетия В.Шульц оценивал потери воды из реки Амударьи в 7.6 км^3 [1]. В проектных проработках Среднеазиатского отделения Гидропроекта (1971 год) в Генеральной схеме комплексного использования водных ресурсов р. Амударьи [2] потери из реки оценивались в 7.8 км^3 в год (для условий среднеегодового года). При этом на участке от слияния Вахша и Пянджа до г. Керки потери воды оценивались в 1.2 км^3 , на участке Керки - Чатлы в 6.6 км^3 (на долю испарения приходилось 4.7 км^3 , на фильтрацию 0.3 км^3 , на неучтенный водозабор 1.4 км^3 и 0.2 км^3 были отнесены к точности учета стока).

В начале 80-х годов при уточнении схемы Амударьи оценка потерь была несколько снижена [3]. Для маловодного года (90% обеспеченности) потери принимались равными 2.9 км^3 , в том числе в низовьях 1.96 км^3 (или 7.2 % от стока в створе Тюямуяун). В связи с вводом в эксплуатацию Тюямуяунского гидроузла (водохранилища были заполнены в середине 80-х) и изменения режима реки в низовьях, встала задача пересмотра руслового баланса реки и уточнения потерь (включая оценку в водохранилищах Тюямуяунского гидроузла).

Такие исследования, имеющие мощную экспедиционную базу, проводились с середины 80-х до середины 90-х годов в САНИИРИ, в отделе Комплексного регулирования стока рек. Исследования включали натурные измерения, их обработку и компьютерное моделирование процессов формирования потерь [4]. По результатам исследований потери из реки, в среднем за период 1981-1988 годов, оценивались в 8.6 км^3 , в том числе ниже створа Тюямуяун - 3.8 км^3 (или 13.2 %). Потери за 1989-1990 годы составили 7.3 км^3 , однако с 1991 года они стали вновь возрастать. Тогда же был сделан вывод о занижении потерь в Уточненной Генсхеме Амударьи, в частности, за счет отсутствия учета фильтрационной составляющей, которая при прохождении осветленного потока (ниже Тюямуяунского гидроузла) может составлять значительную часть потерь.

Была разработана гипотеза [4], согласно которой река от г. Керки до Дарганаты по условиям формирования фильтрационного потока делилась на два участка: Керки -

Ильчик и Ильчик - Дарганата. Первый участок характеризовался фильтрационными потерями, второй - фильтрационным русловым притоком, зависящим от величины фильтрационных потерь на первом участке. Третий участок (Тюямуюн - Саманбай) характеризовался фильтрационными потерями. Были получены зависимости, объединяющие русловую фильтрацию с гидравлическими параметрами и мутностью потока (чем ниже мутность, тем выше потери). Использование в моделях САНИИРИ [4] фильтрационных зависимостей, формул расчета мутности потока, а также морфометрических зависимостей Х. Исмагилова позволили рассчитывать потери из реки, как на фильтрацию, так и на испарение, для любого по водности года, сезона, месяца. Гипотеза о наличии фильтрационных потерь из реки Амударьи, поставленная впервые В. Куниным [5] и А. Проскуряковым [6], подтверждалась не только исследованиями САНИИРИ, но и Гидропроекта, согласно которым на участке Тюямуюн - Чатлы в конце 60-х и начале 70-х годов был установлен подземный отток порядка 1.4 км³ в год [7].

Уточнение русловых потерь реки Амударьи - задача, которая периодически решается в регионе на протяжении нескольких десятилетий, а начиная с середины 80-х годов - с использованием компьютерного моделирования. Оценка потерь исследовалась на русловой динамической модели реки Амударья, разработанной в НИЦ МКВК, рассчитывающей потери по составляющим (испарение, фильтрация и др.) с шагом сутки, декада.

Моделирование водного режима реки Амударья на русловой модели представляет схематизацию процессов движения речного потока с учетом времени "добегания" и использования эмпирических частных закономерностей формирования и трансформации потока, характерных для среднего и нижнего течений реки. Калибровка эмпирических параметров и коэффициентов проводилась по имеющейся информации за период с 1970 по 1995 год по критерию - наименьшее суммарное значение невязок водного баланса.

В таблице 1.12 приводятся данные НИЦ МКВК по относительным потерям из реки Амударьи (в процентах от расхода реки в начале расчетного участка) для различных сезонов и участков реки, в зависимости от проходящих по реке расходов. Данные получены по результатам численных расчетов для лет и сезонов различной водности, носят укрупненный характер и показывают ожидаемый диапазон расчетных величин. Прослеживается некоторое увеличение относительных потерь при минимальных и максимальных расходах.

Таблица 1.12

**Потери воды из реки Амударьи (в процентах от расхода воды в реке)
по участкам и сезонам.**

Расходы воды в реке, м ³ / в реке, куб.м/сек	Потери воды, %			
	Среднее течение		Нижнее течение	
	Вегетация	Межвегетация	Вегетация	Межвегетация
< 500	3...6	2...5	8...19	7...12
500-1000	2...5	1...3	6...12	6...8
1000-2500	2...4	1...3	6...10	6...7
> 2500	3...6	2...4	8...14	7...9

Расчеты показывают, что в периоды особого маловодья, повторяющегося более одного года, относительные потери в низовьях Амударьи могут достигать 19...21 %, что на 15 % больше среднееголетних данных. Так, увеличение относительных потерь в маловодье 2000-2001 годов было связано с некоторым увеличением фильтрационной составляющей, вызванной падением уровня грунтовых вод в предрусловой зоне.

1.1.10. Трансформация стока по длине русла рек

Существующая проблема водodelения между верхним и нижним течением реки Амударьи (особенно в маловодные годы), балансовыми участками и ЗП обусловлена рядом факторов, главные из которых - неопределенность в прогнозах стока реки и ее трансформации по руслу, в частности, неустойчивыми показателями русловых потерь, времени “добегания”, а также наполнения и опорожнения самого русла.

Кроме того, в процессы водопользования существенные сложности вносят режимы работы речных и внутрисистемных водохранилищ, сбросы возвратного стока (по которым часто отсутствуют данные), сами водозаборы, а также ограничения при отборе воды крупными бесплотинными водозаборами при малых уровнях воды в реке (ККК, КМК, АБМК, Хан-Яб, водозабор Тахиаташской ГРЭС и другие). Все это усугубляется неустойчивым состоянием самого русла реки (размывы русла, берегов, отложение наносов и др.).

В балансе речных вод Амударьи существенную роль играет русловое регулирование - накопление воды в русле и на пойме, а также в водохранилищах при подъеме уровня и отдача ее при спаде. С удлинением расчетного периода до года, когда цикл “наполнение - опорожнение” русловой емкости обычно завершается, величины руслового регулирования приближаются к нулю. Только для среднего течения Амударьи она может быть оценена в 2..3 км³ за год.

Для приближенного расчета руслового регулирования в условиях деформируемых и недеформируемых русел рекомендуется формула (м³/с):

$$\Delta S_{\text{русл}} = \Delta \omega_{\text{ср}} L / 86400 T \quad (1.1),$$

где

$\Delta \omega_{\text{ср}}$ - изменение средней по участку площади водного сечения за расчетный период, м²;

T - продолжительность расчетного периода, сутки;

L - длина участка, м.

Точность оценки расходов руслового регулирования зависит от надежности определения морфометрических характеристик участка. Основные факторы, определяющие ширину и глубину потока реки Амударьи, следует признать: расход воды, уклон, диаметр донных наносов. Факторы, формирующие русловые потери и фильтрацию: расход воды (на расчетном участке и выше по течению), ширина потока, испаряемость, мутность потока.

Основными видами водообмена между рекой и водоносными пластами, учитываемыми в уравнениях РВБ, являются приток подземных вод в реку, подземные потери русловых вод и подрусловой сток. Необходимость введения в уравнение РВБ

той или иной составляющей определяется типом взаимосвязи речных и подземных вод на изучаемом участке реки или речной системы.

По взаимодействию реки с водоносными пластами могут быть выделены следующие типы участков рек: (1) с притоком подземных вод; (2) с подземными потерями; (3) с подрусловым стоком; (4) их сочетания.

Для Амударьи характерны все типы участков. Вид водообмена определяется гидрогеологическими условиями, особенностями водного режима и влиянием хозяйственной деятельности.

Взаимодействие речных и подземных вод в периоды половодья или паводка, когда происходит перераспределение речного стока во времени, называют береговым регулированием стока. Для количественной оценки берегового регулирования необходимы систематические наблюдения за уровнями в скважинах, расположенных в различном удалении от уреза воды в пределах кривой депрессии. Однако такие данные на всем протяжении Амударьи отсутствуют.

На участках рек с широкой затопляемой поймой значительная часть естественных потерь стока приходится на испарение с поверхности воды и транспирацию влаги полупогруженной растительностью. Площадь испаряющих поверхностей на участке может быть определена как произведение ширины реки (по урезу) на длину участка. Ширина потока определяется морфометрической зависимостью, включающей параметры потока (расход, уклон) и характеристики русла. Влияние полупогруженной растительности может быть учтено через коэффициенты, увеличивающие испаряемость (слой испарения с единицы площади водной поверхности).

Все отмеченные выше факторы, определяющие сам характер трансформации расходов воды по руслу, требуют учета при моделировании распределения воды в МБА, с той или иной детализацией.

Необходимо помнить, что существующие неувязки руслового баланса обусловлены, главным образом, погрешностями в подсчетах стока на гидрометрических створах Амударьи и оросительной сети и, в известной мере, приближенностью вычисления таких элементов баланса, как потери, русловое регулирование и др.

Интенсивность трансформации стока Амударьи можно проследить на практике по изменению расхода воды, а также по распластыванию паводка (отношению максимальных значений расхода в нижнем и в верхнем створах балансового участка).

Время “добегания” можно определить по моментам наступления экстремальных значений среднесуточных уровней на постах реки, а можно рассчитать на русловой динамической модели, или воспользоваться упрощенной формулой:

$$\tau_{\text{рас}} = L / 1,2 \cdot V \quad (1.2),$$

где:

$\tau_{\text{рас}}$ - расчетное значение времени “добегания”, с;

L - длина расчетного участка, м;

V - скорость потока, м/с.

В среднем течении наибольшая трансформация стока и распластывание происходит на участке Керки-Ильчик. Здесь при изменении средних расходов воды на участках в пределах 500...3500 м³/с расчетное время “добегания” $\tau_{\text{рас}} = 3,5 \dots 1,5$ суток. На втором участке Ильчик-Дарганата вследствие небольшого водозабора и

некоторого фильтрационного притока в русло максимальный расход паводковой волны мало изменяется, что характерно для движения кинематических волн на транзитных участках. На этом участке $\tau_{\text{рас}} = 2,5 \dots 1,0$ суток. Таким образом, от Керки до поста Дарганата паводковая волна проходит за $2,5 \dots 6$ суток. По фактическим данным - от 1 до 7 суток.

1.2. Требования на воду

1.2.1. Требования на воду ЗП и потребность в регулировании стока

Бассейн реки Амударьи уже в 1990 г. практически достиг уровня водозабора из реки и подземных вод, определенного «Схемой комплексного развития бассейна Амударьи». Анализ изменения водопользования брутто в разрезе республик для характерных лет показан в таблице 1.2.1.

Таблица 1.2.1

Утвержденные и фактические водозаборы из реки Амударьи, млн. м³

Республика	Года	Водоснабжение и промышленность	Рыба	Орошение	Другие	Всего
Кыргызстан	Схема КИВР бассейна	40,0	-	380	-	420
	1990	32,0	-	10,0	-	42
	1997	43,0	-	48,0	-	91
	2000	18	-	19	-	37
	2004	10	-	11	-	21
Таджикистан	Схема КИВР бассейна	2,580	-	7650	-	10230
	1990	1,181	-	6880	300	8361
	1997	1450	-	7280	-	8590
	2000	1150	-	6510	-	7660
	2004	1160	-	6550	-	7710
Туркменистан	Схема КИВР бассейна	2430	-	23030	-	25460
	1990	317	35	24416	2	24770
	1997	535	38	22200	-	22773
	2000	490	26	16050	-	16566
	2004	530	30	21755	-	22315
Узбекистан	Схема КИВР бассейна	5210	-	32750	-	37960
	1990	1300	210	31500	-	33010
	1997	1461	175	27350	-	28986
	2000	1090	105	16350	-	17545
	2004	1679	140	25632	-	27451

Таким образом, все страны, кроме Кыргызстана, приблизились к полному исчерпанию своих общих лимитов на орошение, установленных «Схемой», хотя в значительной степени не добирают лимиты на водоснабжение городское, сельское и промышленное. В то же время за годы независимости наблюдается некоторое снижение общего водозабора на орошение в бассейн Амударьи и предполагается, что орошаемое земледелие или уменьшится еще или, по крайней мере, удержится на этом уровне. В то же время предполагается, что к 2025 г. промышленное и коммунально-бытовое водопотребление увеличится в 1,9-2,3 раза. Согласно «Соглашению» от 18 марта 1992 г. доли водозаборов из реки приняты для каждой страны в соответствии со «Схемами КИВР» («Комплексное использование водных ресурсов бассейна»). Предполагается установить современные требования на водозабор из рек в ЗП бассейна в соответствии с ними в размере 53..54 км³/год (таблица 1.2,1а), а с учетом подачи воды в Южное Приаралье около 60 км³/год. В то же время, по требованиям ирригации без проведения мероприятий по регулированию из реки может быть забран сток в 35...40 км³, т.е. около 70% требуемой величины.

Таблица 1.2.1а

Объемы требуемого водозабора МБА для среднего по водности года (млрд. м³)

№	Государства и ЗП	Период	Водозабор
1	Киргизстан	Межвегетация	-
		Вегетация	0.2
		Год	0.2
2	Таджикистан (семь ЗП)	Межвегетация	2.0
		Вегетация	6.1
		Год	8.1
3	Туркменистан (четыре ЗП)	Межвегетация	6.0
		Вегетация	16.0
		Год	22.0
4	Узбекистан (семь ЗП)	Межвегетация	6.7
		Вегетация	16.5
		Год	23.2
	Итого	Межвегетация	14.7
		Вегетация	38.8
		Год	53.5

При полном сезоном регулировании стока р. Амударьи и выполнении в бассейне жестких условий водопотребления, требования на воду ЗП выполняются на 97 % (52 км³). При этом подача воды в Южное Приаралье возможна только для средних и выше по водности лет, в остальные годы должен быть включен механизм многолетнего регулирования.

Анализ показывает, что до маловодья 2000-2001 гг. значительных дефицитов воды по МБА не наблюдалось. Ситуация изменилась в вегетацию 2000 года, когда в бассейне Амударьи был зафиксирован дефицит (превышение установленного лимита над фактическим водозабором) в размере 11.1 км³, что составляет около 30 % от лимита. По странам дефицит был распределен следующим образом: (1) Таджикистан - 0.7 км³ (или 11% от лимита), (2) Туркменистан - 4.6 км³ (или 30% от лимита), (3) Узбекистан - 5.8 км³ (или 37% от лимита). Такое распределение во многом определилось территориальной неравномерностью: (1) верхнее течение - 0.7 км³ дефицита (или 11% от лимита), (2) среднее течение - 2.7 км³ (или 17% от лимита), (3)

нижнее течение - 7.7 км³ (или 52 % от лимита). В самом критическом положении оказались низовья Амударьи: (1) Дашогуз - 2.8 км³ дефицита (или 55% от лимита), (2) Хорезм - 1.1 км³ (или 36 % от лимита), (3) Каракалпакстан - 3.8 км³ (или 59 % от лимита).

Вегетация 2001 года оказалась по всем показателям хуже вегетации 2000 года. Из-за нехватки водных ресурсов опять особенно пострадали низовья реки.

Стало ясно, что работа Нурекского водохранилища в интересах гидроэнергетики приводит к снижению водообеспеченности орошаемых земель ЗП Туркменистана и Узбекистана в маловодные годы. Ситуация усугубляется неравномерным распределением дефицита воды между отдельными ЗП среднего и нижнего течений Амударьи, одной из причин которого является нерациональное регулирование русловыми и внутрисистемными водохранилищами, которые на практике работают локально, без увязки их регулирующих функций в целом по бассейну.

По проектной схеме регулирования стока Вахско-Амударьинским каскадом водохранилищ, ирригационное регулирование Вахша, а также верхнего и среднего течения реки Амударьи должно осуществляться Нуреком в компенсирующем по отношению к Пянджу режиме, а также внутрисистемными водохранилищами. Тюямуонский гидроузел, являясь замыкающим в каскаде, регулирует «остаточный» сток в интересах нижнего течения.

После завершения строительства Рогунского водохранилища на реке Вахш степень ирригационного зарегулирования р. Амударьи может достичь 0.87...0.92. Многолетние запасы водохранилищ смогут покрывать ирригационные дефициты в маловодные годы, но только при ирригационно-энергетических режимах работы Вахшских водохранилищ.

В настоящее время для каскада из трех водохранилищ (Рогунское, Нурекское, Тюямуонское) заслуживают внимания две возможные схемы их совместной работы:

Схема 1. Энергетический режим. Каскад обеспечивает потребности энергетики в результате выработки электроэнергии на ГЭС всех трех гидроузлов, а также обеспечивает потребности ирригации ниже второго и третьего водохранилищ. Требования энергетики (две первых ГЭС) являются приоритетными, а требования ирригации удовлетворяются в той степени, в какой они не противоречат требованиям энергетики.

Последовательность сработки и наполнения первых двух водохранилищ определяется из принципа максимального удовлетворения требований энергетики, при котором потери энергии из-за снижения напора и пропуска непроизводительных расходов, являются минимальными. Сработка начинается с первого (верхнего) водохранилища до расчетного напора; затем до расчетного напора срабатывается второе водохранилище, после чего (если необходимо) срабатываются в таком же порядке, сначала первое а потом и второе водохранилища до допустимого по ограничениям минимума.

Наполнение этих двух водохранилищ осуществляется в обратном порядке. При такой схеме в случае сработки первого водохранилища до минимума мы получаем компенсацию потерь энергии на втором гидроузле, т.е. работа ГЭС второго гидроузла в этом случае не ограничена по напору.

Схема 2. Ирригационно-энергетический режим. Рогунский гидроузел работает в энергетическом режиме, а Нурекский и Тюямуонский - в компенсационных режимах, не допускающих дефициты в ирригации в маловодные годы и снижения экологических попусков в Южное Приаралье ниже установленного минимума. Перерегулирование Вахша осуществляется Нуреком из условий удовлетворения требований ирригации в верхнем и среднем течении (до третьего водохранилища) в

компенсирующем по отношению к Пянджу режиме. Если необходимо, то удовлетворяются требования ирригации и нижнего течения, в этом случае емкость второго водохранилища является и компенсатором третьего. Функционирование его зависит от: характеристик боковой приточности на участке между вторым и третьим водохранилищами (гидрограф Пянджа), компенсирующих попусков из двух первых емкостей, а также объема располагаемых ресурсов и свободной емкости третьего водохранилища. Схема предполагает заинтересованность всех государств бассейна в достижении общего для региона эффекта. Такая заинтересованность возможна только в случае гарантированной выплаты (компенсации) Таджикистану соседними государствами за регулирование стока в маловодные годы на покрытие энергетического дефицита.

Проблема межгосударственного водораспределения в регионе может в перспективе осложниться в связи с увеличением потребности в воде Афганистана. В настоящее время на территории страны имеются достаточные запасы водных ресурсов, обеспечивающие нужды нынешнего внутреннего водопотребления, пока не превышающее из реки и впадающих в нее притоков 2.0 км^3 в год.

В будущем Афганистан, очевидно, потребует увеличения своей доли воды для социально-экономического развития в северной части страны. Это несколько изменит режим стока р. Пяндж и самой Амударьи. В качестве основного на будущее можно рассмотреть вариант предусмотренный “Схемой развития орошения северных районов Афганистана”, с дополнительной подачей из реки $3.6 \text{ км}^3/\text{год}$. Хотя данный вариант не предусматривает строительство гидроузла на реке Амударья, но по нему намечен ряд мероприятий, требующих инвестиций и времени на реализацию (строительство плотинных водозаборов и каналов на реках Кокча и Кундуз, реконструкция канала Шарован на Пяндже, создание оросительных систем с бесплотинным водозабором на реке Амударья).

Для оценочных расчетов по совместному регулированию стока рек водохранилищными гидроузлами и ГЭС Вахшско-Амударьинского и Пянджского каскадов, в рассматриваемых схемах распределения регулирующих функций между ними важно установить гарантированные попуски в осенне-зимний и весенне-летний периоды. Тем самым мы ограничиваем поиск рационального решения, с одной стороны, уменьшая время поиска компромисса между энергетикой и ирригацией, а с другой, - обеспечивая интересы других сторон (экологии и др.).

Поиск рациональных гарантированных попусков должен основываться на предварительных расчетах, при которых перебираются несколько вариантов попусков, назначаемых исходя из выполняемых ранее водохозяйственных расчетов и теоретических исследований.

1.2.2. Экологические требования и возможность их удовлетворения

Согласно рекомендациям НИЦ МКВК в экологические требования к стоку Амударьи следует включить: (1) санитарные попуски вдоль русла реки, (2) санитарно-экологические попуски, подаваемые в ирригационную сеть, главным образом, для хозяйственного водоснабжения, (3) экологические попуски, подаваемые в систему вэтлинов Южного Приаралья (в дельту Амударьи), (4) подача воды в Большой Арал.

Санитарные попуски по руслу реки должны обеспечивать поддержание самой реки в качестве водного объекта, имеющего природную (экологическую) и социальную ценность и служить важным социально-экологическим ориентиром и ограничением при управлении водными ресурсами.

Данные попуски приняты по руслам рек, исходя из 10 % среднемноголетнего расхода естественного стока в соответствующий период времени (подход, применяемый в странах Европейского Союза). Считается, что данный расход в состоянии поддерживать процессы самоочищения (самоочищение вод - это совокупность всех природных процессов в загрязненных водах, ведущих к восстановлению первоначальных свойств и состава воды).

Выдерживать данные ограничения важно и для того, чтобы “сгладить” возможные негативные последствия изменения проектных режимов водохранилищных гидроузлов комплексного (гидроэнергетика, ирригация и др.) назначения.

К экологическим последствиям изменения режимов комплексных гидроузлов следует отнести экологические ущербы природным системам бассейна, вызываемые фактическим переносом летнего паводка на зиму и созданием искусственного маловодья летом (энергетический режим). При этом пересыхание русла реки летом приводит к тому, что река теряет свою естественную функцию водоотводящего тракта (природной дрены), что ведет за собой в жаркое время года к кризисной эпидемиологической обстановке.

По данным НИЦ МКВК санитарные попуски по руслу Амударьи необходимы только в нижнем течении реки в отдельные месяцы средних и малых по водности лет. В тот период времени, когда значение расхода воды по реке составляет ниже санитарной нормы, по реке должен подаваться дополнительно расход (но не за счет лимита на водозабор), составляющий разницу между нормой и фактически наблюдаемым расходом.

Санитарно-экологические попуски, подаваемые в ирригационную сеть, используются для поддержания минимального объема воды в каналах, которые используются для питьевых и хозяйственных нужд населения. Эти попуски сегодня входят в лимиты на водозабор и по рекомендациям НИЦ МКВК должны быть величиной постоянной, которая корректировке в зависимости от водности года не подлежит. Попуски распределены по странам, ЗП и оросительным системам, представлены в таблице 1.2.2.

Экологические попуски, подаваемые в Приаралье для поддержания экосистем (водохранилища, озера и др.) могут быть приняты на основе модельных исследований НИЦ МКВК по дельте Амударьи.

В НИЦ МКВК выполнено имитационное моделирование нескольких вариантов размещения водоемов Южного Приаралья и подачи воды в Большое Аральское море при различных сценариях поступления водных ресурсов и различных параметрах водотоков и водоемов. По результатам исследований проведен анализ и корректировка проектных решений. Первоочередное внимание было уделено водоемам обязательного наполнения, к которым отнесены водохранилища Междуреченское, Рыбачье, Муйнакское, Джилтырбас, озера Судочье, Машанкуль, Иленкуль. Центральным объектом является Междуреченское водохранилище, которое должно выполнять функции распределения воды в дельте, ее регулирования и одновременно борьбу с наносами.

Требования по объемам водных ресурсов в дельте Амударьи (Южное Приаралье) приводятся в таблице 1.2.3.

Необходимо отметить, что два катастрофически маловодных года - 2000 г. и 2001 г. - привели к практической осушке всех водоемов в Южном Приаралье. По данным дистанционных наблюдений в апреле 2000 г. площади обводненных угодий составляли 56,0 тыс. га, увлажненных - 288,4 тыс. га, а к ноябрю 2000 г. площади обводненных угодий уменьшились до 16,4 тыс. га, а увлажненных - до 27,9 тыс. га. Учитывая, что маловодные годы идут парами по Амударье, следует предполагать, что

данное состояние было наихудшим. В дальнейшем естественное состояние дельты улучшилось.

Таблица 1.2.2

**Распределение санитарно-экологических попусков в низовьях
р. Амударьи (млн.м³)**

Республика	ЗП	Оросительная система	Попуски
Туркменистан	Дашогузская	Туркмендарья	80
		Хан-яб	70
		Итого	150
Узбекистан	Хорезмская	Ташсака	120
		Клычниязбай	30
		Итого	150
Каракалпакстан	Северный Каракалпакстан	Кызкеткен	200
		Суэнли	300
		Итого	500
Всего			800

Таблица 1.2.3

Водопотребление в вариантах комплексов сооружений (км³)

I вариант			
на заполнение емкостей	на испарение, фильтрацию и проточность,	в т.ч. на испарение	Всего
1. Система водохранилищ			
1,654	2,06	1,4	3,714
2. Система естественных озер			
0,67	1,021	0,4	1,691
3. Система вэгландов			
1,396	1,901	1,2	3,297
Итого по всем системам			
3,72	4,982	3,0	8,702

В средних и больших по водности условиях потребности комплекса дельты в воде составляют 8 км³, определенных МКВК с учетом полного заполнения и создания необходимого режима проточности водоемов, однако в одиночные маловодные годы необходимо поддерживать лишь баланс испарения, чтобы не допустить полного иссушения водоемов. Эта величина составляет около 3 км³ в год. При парных маловодных годах и годах между 90 и 50 % обеспеченности необходимо стараться

поддерживать около 5 км^3 в год. Именно такие объемы воды необходимы для создания условий нереста рыбы, и поддержания требований минерализации в водоемах весной и летом в пределах 4 - 5 г/л.

Таким образом, установлены три градации требования дельты:

- в годы близкие к 90 % обеспеченности - 3 км^3 в год;
- в годы между 90 % и 50 % обеспеченностью - 5 км^3 в год;
- в годы средней и большей водности - 8 км^3 в год.

1.3. Инструмент моделирования

1.3.1. Описание базового комплекса моделей

В качестве базового инструмента принят комплекс моделей управления бассейном Аральского моря (ASBmm), разработанный в НИЦ МКВК для решения перспективных (на 20 лет) приоритетных задач по управлению водно-энергетическими и земельными ресурсами бассейнов рек Сырдарья и Амударья на региональном и национальных уровнях.

Комплекс рассчитан на специалистов водного, сельского хозяйства, природоохранных и государственных организаций, занимающихся перспективным планированием, подготовкой сценариев стратегии развития. С помощью комплекса моделей могут быть даны оценки предлагаемых вариантов решений, проектов с позиций их увязки с возможностями водных, земельных и других природных ресурсов; получены характеристики последствий этих предложений на социальную, экологическую и экономическую среду стран и их сопоставление с индикаторами устойчивого развития.

Для проектов на трансграничных водах модели дают возможность определить влияние мероприятий в одной стране на водообеспеченность, состояние окружающей среды в соседних странах и, в последующем, служить инструментом в согласовании взаимоприемлемых решений.

Комплекс моделей ASBMM представляет набор моделей (рис. 3.1), направленных на решение задач годового планирования и перспективного развития, состоящий из:

- гидрологическая модель бассейна (ГМ);
- модель национального планирования (НМ);
- социально-экономическая модель региона (СЭМ);
- модели зон планирования (ЗП)

Совместно с этими моделями должны рассматриваться энергетические модели региона и стран.

Принципиальной географической основой этого комплекса является сочетание гидрологической модели бассейнов с взаимоувязанными и, как бы, навешанными на нее моделями зон планирования.

Гидрологическая модель бассейна состоит из:

- **Морфологической структуры бассейна**, включая реку, притоки, расчетные участки реки, существующие сооружения, дренажные зоны и зоны формирования стока, зоны транзита, зоны рассеивания, дельта и приморская часть. Она характеризуется показателями естественного стока, закономерностями формирования возвратного, включая подруслового стока, потерь в русле, экологическими и показателями современного и перспективного водопользования в русле (гидроэнергетика, рыбоводство, судоходство, туризм и т.д.). Отдельной частью модели является блок Арала и Приаралья, характеризующийся определенными требованиями на воду, естественными и социально-экономическими, а также дающий выход на модель социально-экономическую и национальную в виде эффективности использования воды (или потерь-ущербов) в этой зоне. санитарными требованиями, а также набором технико-экономических

- **Гидрологической модели ежегодного планирования**

На основе прогноза стока и возможного использования объемов воды в резервуарах многолетнего регулирования на стороне ресурсов с учетом потребности природных комплексов в воде определяется водный баланс реки на определенный период. Это позволяет сформировать оптимальное или наиболее рациональное решение режима сработки и наполнения воды в водохранилищах, распределение воды между странами, ЗП, которые при соблюдении определенных экологических требований будут удовлетворять потребности стран в целом и конкретных водопользователей.

Задача должна быть увязана с выработкой электроэнергии и определенными компенсационными затратами на получение потребности в электроэнергии. Из модели национального планирования передаются требования на воду, требуемые режимы ГЭС в выработке электроэнергии, ресурсы топлива и других источников электроэнергии, на основе чего уточняется степень удовлетворения требований зон планирования, принадлежащих этой стране и свои приоритеты, после чего модель дает распределение по зонам планирования в разрезе временных этапов.

Модель зоны планирования выдает на основе этого свои значения возвратного стока и социально-экологические показатели эффективности орошаемого земледелия, на основе чего определяется согласие (или нет) национального планирования на данный результат. Одновременно проверяются экологические требования по качеству воды и удовлетворение требований Арала и Приаралья. При необходимости делаются корректировки и интерполяционные расчеты.

Важным элементом этой части является увязка энергетических требований блока «энергетическое планирование» с возможностями стран (блок «национальное планирование»). После чего вырабатываются соглашения на компенсационные мероприятия или на определенные ущербы от недоподачи воды.

- **Гидрологическая модель перспективного планирования** ориентируется на увязку с вышеуказанными моделями (модель «Зона планирования», модель «Национальное планирование», модель «Арала и Приаралье», модель «Гидроэнергетика»). Но на сцену выходят факторы долговременного значения из комплекса «Социально-экономические субмодели», такие как рост населения, изменение водопотребления в промышленности, коммунальном хозяйстве и других отраслях, а также экономический рост и возможные капиталовложения. Блок внутри модели «режим пусков и планового распределения» изменяется на блок «развитие», в котором на основе национальных планов устанавливаются следующие показатели:

- дополнительное регулирование стока (совместное или каждой страной);
- развитие или реконструкция орошаемых земель, а также меры по специализации производства продукции;
- увеличение (или уменьшение) требований на воду, которое будет зависеть от национального плана управления требованиями на воду, водосбережения и т.д.

• **Модель многолетнего регулирования** строится также на морфологической основе гидрологической модели, но с учетом решений или вариантов развития, принятых в модели перспективного развития. На основе оптимизации в многолетнем разрезе в пределах гидрологического цикла проводится поиск режима наполнения и сработки водохранилища многолетнего регулирования, который дает максимальный суммарный эффект по электроэнергии и контролю провалов в водности стока. Предлагаемый комплекс моделей годового стока и перспективного гидрологического моделирования использует сочетание оптимизационных и имитационных процедур, работающих на равных иерархических уровнях в увязке с СЭМ и Зоной Планирования. Это позволяет давать решения на стыках прогноза отраслей водопотребления и природы, имеющих в качестве устойчивых переменных элементы «вода», «соль», «энергия» при определённых ограничениях по различному роду ресурсам. Выходы модели уточняют возможности годового планирования (по объему использования регулирования), а также вход в блок социально-экономического и национального планирования.

• **Модель «Национального планирования»** является как бы соподчиненной модели социально-экономического планирования. Предполагается, что в дальнейшем эта модель будет развита как обобщенная самостоятельная работа, предполагающая включение всего спектра задач национальной экономики, инвестиций, благосостояния, развития, а не только имеющей отношение к водному и сельскохозяйственному секторам. В данной работе национальное планирование осуществляется в рамках и увязке с социально-экономической моделью как это показано на рис.5.

Она должна сформулировать национальные приоритеты, намерения и возможности, как в части отдельных отраслей, так и в части различных зон планирования и сельхозкультур. Но главное - эта модель должна отражать особенности политических стремлений и целей, в частности:

- стремления к сотрудничеству на трансграничных реках или суверенный эгоизм, условия сотрудничества и взаимодействия;
- кооперация или самоудовлетворение потребностей в виде продуктов питания;
- управление требованиями на воду и устремление к водосбережению или сохранению существующих статус-кво, включая финансовые, административные и другие инструменты.

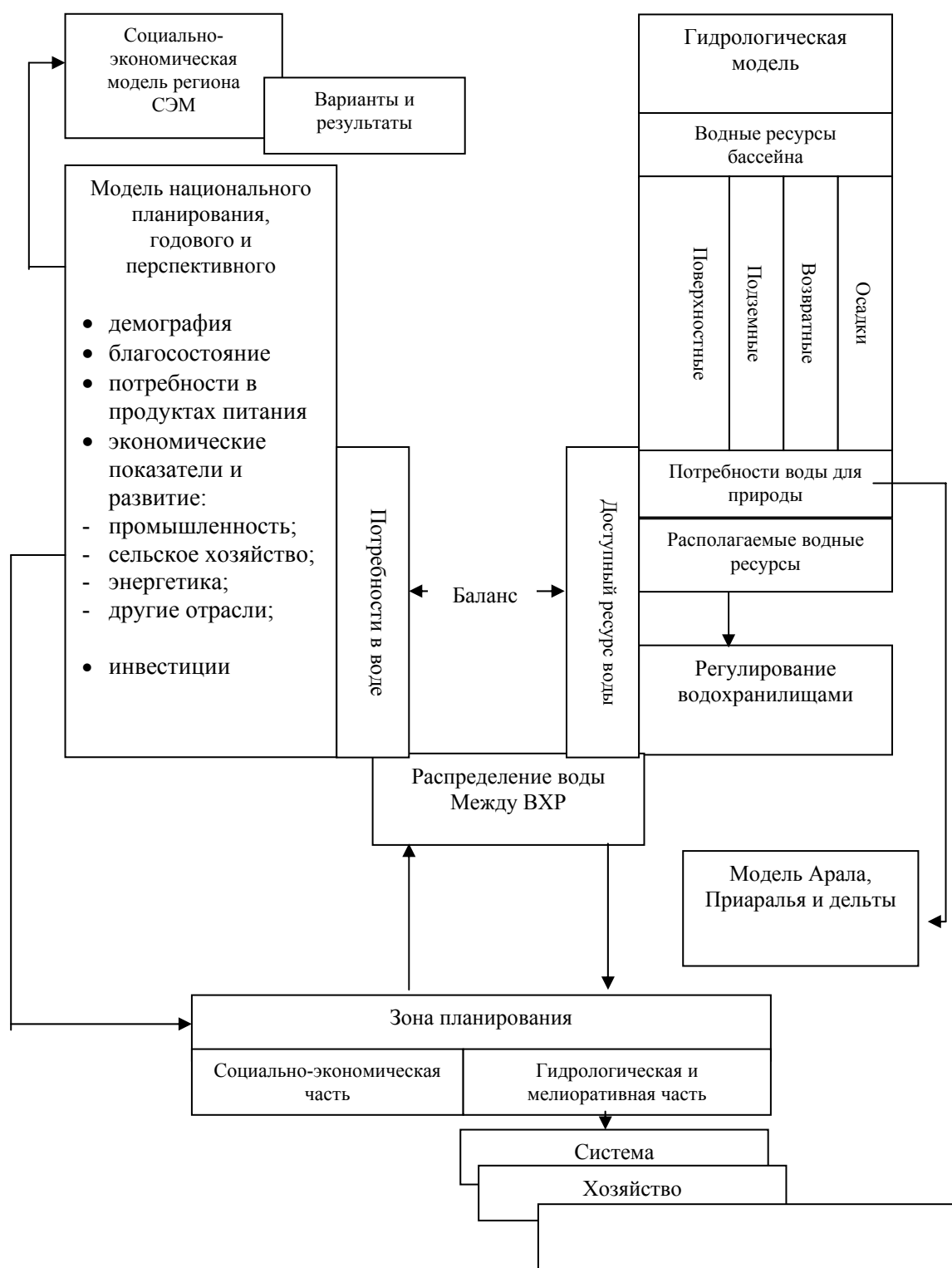


Рис 1.3.1. Два направления субъектов моделирования

Ведущая роль модели «Национальное планирование» позволяет отразить в выборе вариантов развития, установлении закономерностей связи «водопотребление - продуктивность», а также в показателях социально-экологической модели, которая будет варьировать на блоке водопотребления.

Модель национального планирования устанавливает общее увеличение численности населения и потребностей воды в стране по каждому из бассейнов на коммунальные нужды, промышленность, теплоэнергетику и т.д. При возможности эта модель распределяет эти нужды по зонам планирования. Зачастую часть зон планирования не относится к бассейну трансграничных вод, но должна удовлетворяться из него и поэтому должна быть представлена непосредственно в балансе страны. Эта же модель устанавливает задания и лимиты средств на реконструкцию, удельные стоимости или изменение состава культур по зонам планирования, а также возможные капвложения на эти цели.

В последующем эти выходы выйдут в общие показатели *модели социально-экономического развития бассейна*, и в блок «Арал и Приаралье», а также «Качество воды».

При несоответствии каких-либо ограничений, определенных другими блоками и моделями, производятся изменения исходных данных и выполняется последующая итерация.

Хотя в целом регион не представляет единого субъекта социально-экономического планирования, однако агрегирование показателей стран в пределах региона позволяет оценить преимущества согласованного корпоративного развития в удовлетворении потребностей стран в продуктах питания, энергоресурсах, топливе, сырье по сравнению с самоудовлетворением всеми ресурсными потребностями автономно в пределах каждой страны. Поэтому общая социально-экономическая модель региона является не просто арифметической суммой моделей национального планирования, она позволяет преподнести различные варианты развития, сотрудничества и благосостояния в пределах региона, равно как и помочь в выработке совместных мер и практических решений.

Национальная модель позволяет по выбранному сценарию возможного развития бассейна:

- рассчитать численность населения;
- определить объем валового национального продукта;
- установить объем инвестиций в экономику и объем прямых иностранных инвестиций;
- определить потребности в продовольствии по основным видам продуктов питания;
- определить возможности производства основных продовольственных культур;
- определить степень удовлетворения в потребностях продовольствия собственного производства;
- определить возможности развития орошения, исходя из наличия водных ресурсов и инвестиционных возможностей;
- рассчитать требования к водным ресурсам со стороны населения, промышленности и сельского хозяйства;
- определить располагаемые водные ресурсы;

- определить недостающий или избыточный объем производимого продовольствия;
- определить суточное потребление калорий населением и т.д.

- **Модель СЭМ** - социально-экономическая модель представляет набор социальных и экономических показателей развития стран, региона в целом и агрегированных его частей (Зон Планирования), увязанных с гидрологической моделью. Модель дает возможность прогноза целого ряда показателей социально-экономического развития, таких как население, ВНП, ВНП на душу населения, объем ВНП по отрасли, особо по сельскому хозяйству, производство сельскохозяйственных культур и продуктов питания, потребность в продуктах питания, калориях, их удовлетворение, потребность и удовлетворение потребности в электроэнергии. Она учитывает различные варианты развития стран, их приоритеты, инвестиционные возможности, в том числе привлечение иностранных и собственных капиталовложений.

Модель «Зоны планирования» является основной моделью, в которой отражаются все взаимосвязи: вода - технологии - внешняя среда - сельскохозяйственное производство, включая элементы инфраструктуры водохозяйственных систем, таких как водоснабжение, гидроэнергетика, и особенно оросительную и дренажную сети. Эта модель связана с СЭМ и ГМ и является их увязкой на нижнем уровне. В соответствии с существующей классификацией, вся территория бассейна Аральского моря разделена на 45 условных единиц, именуемых зоны планирования (ЗП). ЗП являются географической единицей для планирования использования водных ресурсов в пределах гидрографического бассейна, с единством системы питания и геоморфологического строения ландшафта, равно как и морфологии оросительных и дренажных систем. ЗП желательно должна быть расположена в пределах (административных границах) одной области в интересах возможности учета всех статистических элементов или нескольких административных районов. Одна область может быть разделена на несколько ЗП. Одна ЗП может состоять из одного или нескольких административных районов. Вся территория ЗП имеет единые гидрологические условия формирования, питания и отвода водных ресурсов и желательно однообразные экономические показатели для осуществления всех видов и, в первую очередь, сельскохозяйственной деятельности. Водные ресурсы, формирующиеся внутри ЗП, называются - местными, водные ресурсы, получаемые ЗП из трансграничных источников, - трансграничными. Отработанные ЗП водные ресурсы представлены сбросными водами различной степени загрязнения, часть из которых является коллекторно-дренажным стоком.

ЗП рассматривается как часть ВХБ (или суббассейна), тесно взаимодействующим с рекой путем отбора воды на безвозвратной основе и сброса в реку (или вне ее) обратных сточных вод с определенными показателями загрязнения и качества. При этом за счет этого отбора и возврата вод обеспечивается водоснабжение определенного зонального элемента народнохозяйственного комплекса той или иной страны, которое участвует в формировании народнохозяйственного дохода на территории определенной административной единицы одной или другой страны. При этом различное использование этих вод должно соответствовать определенным экономическим, социальным и экологическим требованиям, формирующимся как на уровне стран, так и может отдельных частей ее. Внутри ЗП происходят эндо- и экзогенные процессы как под влиянием естественных явлений: старения, трансформации, так и под влиянием антропогенных действий.

Эти процессы проявляются в тесной связи с системой экономического взаимодействия внутри ЗП, включая систему эксплуатационных мероприятий или действий, также как и проектов развития, определяемых и выражаемых параметрами объемов инвестиций и затрат в ЗП. Эти мероприятия, действия, проекты могут быть направлены на создание новых мощностей или улучшение производительности существующих, включая природоохранные мероприятия, в целом обеспечивают рост валовой продукции и национального дохода в ЗП. С точки зрения водохозяйственного комплекса ЗП рассматривается, как сосредоточенный объект, потребляющий некоторый объем водных ресурсов, с дальнейшим внутренним их перераспределением в пространстве и во времени, и с изменением их качества. В данной работе управление ЗП на перспективу осуществляется через объемы инвестиций и мероприятий, направляемых на поддержание, реконструкцию и развитие ее элементов, на существующем фоне трансграничных и местных водных ресурсов.

Результат потребления водных ресурсов выражается удовлетворением потребностей проживающего здесь населения в воде и социальных условиях, связанных с водой, а также некоторым объемом различных видов производимой продукции, из которых в аридном климате ведущим сектором зачастую является сельскохозяйственная продукция, определяющая доход в ЗП. Внутренняя структура ЗП состоит из промышленных и селитебных зон, являющихся определителями потребления воды, а в сельскохозяйственном разрезе состоит из зон орошения с соответствующими наборами культур, оросительных систем (системы каналов магистральных, межхозяйственных, внутрихозяйственных и поливных, с вариантами сопряжения) и отводящих систем (коллекторно-дренажная сеть). Кроме технических составляющих ЗП с социально-экономической точки зрения характеризуются определенными показателями:

демографическими:

- количество населения, в том числе сельского и городского;
- темпы их роста в процентах к предыдущему году;
- процент трудоспособного населения и его занятость по видам деятельности;

социальными:

- доход на душу населения в сельской и городской местности;
- темпы роста и дохода в зоне за истекший промежуток времени;
- потенциал промышленного производства и темпы его роста (или снижения);
- то же фактический объем промышленного производства;
- то же объем сельскохозяйственного производства и обеспеченность продуктами питания ккал/чел/год в сутки, в том числе по видам;
- объем сферы обслуживания, в том числе на человека/год;
- объем потребления питьевой воды, л/сут/чел;
- обеспечение систем водоснабжения в процентах;
- обеспечение систем водоотведения в процентах;
- число больных из-за связанных с водой причин;
- энергообеспеченность на 1 человека, квт.часов/год;

Все эти показатели в той или иной мере влияют (и на них влияет) на развитие водного хозяйства в ЗП, равно как и являются факторами дестабилизации развития данной ЗП. Водохозяйственная система в ЗП сама по себе не является статически

стабильной. Она увеличивает или снижает свою работоспособность в зависимости от того, насколько объем и порядок эксплуатации водохозяйственных объектов, включая водоснабженческие, оросительные и дренажные мероприятия, соответствует нормативу их нормального функционирования.

Непременным условием решения задачи ЗП является представление ее в виде слоев ГИСа, отображающих все эти сочетания признаков:

- зона орошения, состоящая из ряда (или объекта) оросительных систем с конкретными точками входа и выхода;
- зона питания местных вод;
- зона питания трансграничных вод;
- зона смешанных вод с указанием распределения их модулей орошения;
- зоны действия с выходом на определение водопотребления и дренажных модулей для них;
- зона сельхозкультур;
- распределение поливных площадей между типичными единичными площадями орошения;
- природные различия (почвы, гидрология, климат и д.).

Особенностью данного подхода является необходимость получения оптимальных систем режима по каждой ЗП на основе указанного процесса расчленения и последующего агрегирования и включения в итеративный процесс взаимодействия с рекой или бассейном грунтовых вод или их сочетанием.

Водоснабженческие (селитебные и промышленные) потребители рассматриваются более упрощенно с учетом их приоритетности, но в качестве менее влияющих в настоящее время направленных действий, ибо не менее 85 % воды затрачивается на орошение сельхозкультур.

Анализ каждой зоны планирования с позиций управления водными ресурсами имеет главную задачу:

- удовлетворять потребности населения и экономики ЗП ныне и на перспективу, исходя из имеющихся местных и привлекаемых в пределах лимита водных ресурсов;
- обеспечить экологические условия ЗП по предотвращению эрозии, роста засоления и заболачивания, а также по сохранению и развитию природного комплекса;
- в случае дефицита водных ресурсов выработать рекомендации по минимизации ущерба от этого дефицита путем соответствующего оптимального распределения воды между зонами орошения или системами, возможно с привлечением таких дополнительных источников как коллекторно-дренажные воды, а также по подбору соответствующего состава сельхозкультур.

Водные ресурсы зоны планирования находятся в тесном взаимодействии между собой внутри ЗП и с водами всего бассейна в пределах гидрографической единицы, исходя из единства вод в этих пределах. Тем не менее, учитывая генезис вод и их местные особенности, в пределах ЗП могут быть выделены следующие источники:

- Осадки на площади как орошаемых, так и неорошаемых земель;
- Местные воды, включающие приток из источников, формирующихся только на территории ЗП и не перетекающих в другие ЗП, полностью расходуемых или

теряющихся на данной территории. Сюда относятся ручьи, речушки, временные стоки, скважины из местных водных линз подземных вод;

- Воды, откачиваемые из скважин вертикального дренажа с минерализацией, допустимой для использования на различные нужды;
- Сбросные и коллекторно-дренажные воды, пригодные для использования после очистки или смешения, или в естественном виде. Кроме того, испарение рассматривается как фактор, уменьшающий располагаемые ресурсы вод в ЗП, т.е. снижающий эффективность осадков;
- Трансграничные водные ресурсы в пределах лимитируемого забора из реки, из трансграничного подземного бассейна, или из другой ЗП.

Оптимизация зоны планирования как в части развития в многолетнем разрезе, так и в части годового удовлетворения потребностей в воде, проводится на основе производственной функции сельхозпроизводства (орошаемого земледелия), в которой учитывается влияние трех основных факторов: продуктивности - водообеспеченность критического периода, степени засоления и суммарные затраты на выращивание сельхозкультур*.

Модели могут работать в имитационном и оптимизационном режимах. Основные оптимизационные блоки моделей разработаны в GAMS. Общая Алгебраическая Система Моделирования (GAMS) - это современная компьютерная технология конструирования сложных систем, создана в США для решения оптимизационных задач линейного и нелинейного программирования, апробирована для водохозяйственных задач на реках Нил, Инд, Желтая и др.

Для данной работы был принят подход, в котором комплекс моделей привязан к конкретной системе бассейна Амударьи, характеризующейся многообразием функциональных связей. С одной стороны это чисто природные, морфологические и экологические ограничения и взаимозависимости. С другой стороны это социально-экономические и политические особенности, ибо бассейн объединяет интересы пяти стран региона с их собственными политическими и экономическими характеристиками, линиями стратегии, поведения, приоритетами.

1.3.2. Модель регулирования и распределения стока (гидрологическая)

Гидрологическая модель описывает речную сеть бассейна от створа выше Рогунского гидроузла до Большого Аральского моря, включая реку Амударью и все ее основные притоки - реки Пяндж, Вахш, Кафирниган, Сурхандарья, Кундуз.

Моделируемая система представляет стволы рек, разбитых на балансовые участки, с расположенными на них, водохранилищами, ГЭС, присоединенными природными комплексами (озера дельты Амударьи и Большой Арал), ЗП, которые имеют взаимосвязь по водозаборам и сбросам возвратных вод с речной сетью.

Модель разработана в системе GAMS и имеет информационную взаимосвязь с другими моделями комплекса ASBMM через интерфейс и базу данных, отражает существующие в бассейне процессы, особенности, и ограничения формирования, регулирования (с помощью водохранилищ, ГЭС) и использования водных ресурсов трансграничных рек. Она позволяет проигрывать в имитационном и оптимизационном

* Учитывая невозможность для агрегированных зон определить необходимые затраты каждого из элементов сельхозпроизводства (удобрение, химикаты, машины), как это сделано, например, в работах К. Ренглер, нами (Тучин А.И. совместно с Нерозиным С.А.) создана модель, учитывающая влияние всех производственных затрат на урожай отдельной культуры.

режимах различные сценарии развития государств региона и ЗП. При этом увязка выполняется на соответствие “требования на воду - располагаемые ресурсы” с учетом различных вариантов управления водно-энергетическими ресурсами по выбранным критериям и ограничениям. Результат выдается в виде расчетов водно-солевых балансов рек, озер, водохранилищ и их режимов попусков, а также вариантов распределения стока между водопотребителями и т.д. Шаг - сезон (межвегетация - октябрь...март, вегетация - апрель...сентябрь), период - 20...50 лет.

Основными объектами, включенными в модель, являются:

- Источники, формирующие поверхностные водные ресурсы рек Вахш, Пяндж, Амударья, Кафирниган, Сурхандарья, Кундуз, Шерабад.;
- Водоохранилища на реках и каналах: Рогунское, Нурекское, Байпазинское, Головное, Тюямунский комплекс (Русловое, Капарас, Султансанджар, Кошбулак), Зеидское (система Каракумского канала), Талимарджанское (система Каршинского канала);
- Озера: Султандаг, Парсанкуль (соленое), Большое Аральское море;
- Магистральные каналы: Яван-Обикийский, Вахшский, Дехканабад, Каракумский, Каршинский, Амубухарский, каналы нижнего течения;
- Сбросы по коллекторам в реки Вахш, Пяндж, в Амударью с орошаемых земель и сбросных сооружений населенных пунктов, городов и промышленных предприятий ;
- ГЭС Вахско-Амударьинского каскада.

Модель использует следующие входные данные:

- гидрологические ряды водных ресурсов (рек) в верхних створах - объем, минерализация (из БД - исторические или искусственные ряды);
- гидрографы требуемого водозабора из рек в ЗП - объем (из БД - расчетное водопотребление и/или лимиты на водозабор);
- боковой приток - речной сток малых рек (саев) и возвратный сток с ЗП - объём, минерализация (из БД - как функция водозабора в ЗП, расчетный и/или фактический);
- продуктивность воды используемой в ЗП (из БД - расчетная информация социально-экономического блока, учитывающая прямые и вторичные эффекты и/или фактические данные статистической отчетности);
- экологические требования к стоку рек - санитарные попуски вдоль русел рек, экологические попуски для поддержания системы вэтиландов Южного Приаралья (дельта Амударьи) и подачи воды в Большой Арал (из БД - расчетные данные экологического блока и/или установленные требования) (рис. 1.3.2);
- объемы и минерализация воды в водохранилищах и озерах на начало периода расчета (начальные условия);
- режимы работы водохранилищ (используются при имитационном эксперименте);
- информация для экономической оценки работы ГЭС - себестоимость электроэнергии вырабатываемой на ГЭЭ, тарифы на электроэнергию.

Основная выходная информация:

- расчетный водозабор (объем, минерализация) из рек в ЗП (информация используется социально-экономическим блоком для оценки последствий регулирования и распределения стока в неэнергетических отраслях);
- расчетные гидрографы притока воды в дельту Амударьи (створ Саманбай) - объем, минерализация (информация используется экологическим блоком для оценки последствий регулирования и распределения стока в Южном Приаралье);
- составляющие водно-солевых балансов и параметры режимов рек, водохранилищ, озер;
- показатели работы ГЭС и производства гидроэлектроэнергии (информация используется социально-экономическим блоком для оценки последствий регулирования и распределения стока в энергетике).

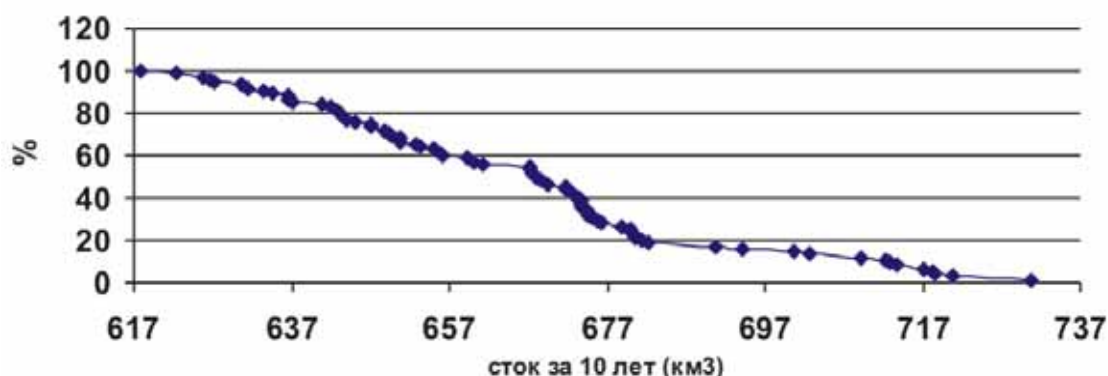


Рис 1.3.2. График обеспеченности стока МБА по 10-ти леткам

Метод представления речной системы - метод графов. Речная система разбивается на расчетные участки и створы, водохранилища, озера, с агрегированными на них водозаборами в каналы и коллекторные сбросы, которые в алгоритме имитируются сетью дуг-узлов. Граф $G(J, I)$ определен как два множества: $J = \{1, \dots, j\}$ - вершин (узлов) и $I = \{1, \dots, i\}$ - дуг. Каждая дуга i характеризуется двумя узлами (j, k) : начальным j и конечным k , где $j \in J$, $k \in J$, $i \in I$.

Модель основывается на уравнениях сохранения количества воды и соли. Соль рассматривается как консервативная примесь. Уравнения решаются для каждого узла.

$$\frac{dW_j}{dt} = \sum_{(k,j) \in I_j^+} Q_{k,j} - \sum_{(j,k) \in I_j^-} Q_{j,k} \quad (3.1)$$

$$\frac{d(S_j * W_j)}{dt} = \sum_{(k,j) \in I_j^+} (S * Q_{k,j}) - \sum_{(j,k) \in I_j^-} (S * Q_{j,k}) \quad (3.2)$$

Задача заключается в поиске управления $W_u(t)^*$, $t \in \{0:T\}$, которое удовлетворяет критерию качества управления и ограничениям.

В качестве критерия могут выступать (по выбору пользователя) различные условия, в частности максимум суммарного годового чистого дохода от использования водных ресурсов в водохозяйственных районах (ЗП)

$$\sum_{z \in I_z^+} \left[P_z * \int_0^T \sum_{(j,z) \in I_z^+} Q_{j,z} dt \right] \rightarrow \max \quad (3.3)$$

Основные ограничения

$$\begin{matrix} \max & & \min \\ Q_{j,k} \geq Q_{j,k} & \geq & Q_{j,k} \\ \max & & \min \end{matrix} \quad (3.4)$$

$$W_u \geq W(t)_u \geq W_u \quad (3.5),$$

где:

W_j - объем воды в j -ой вершине(m^3),

S_j - минерализация ($кг/м^3$);

$Q_{j,k}$ - расход между вершинами j и k ($м^3/сек$);

$Q_{k,j}$ - расход между вершинами k и j ($м^3/сек$);

$Q_{j,z}$ - расход между вершинами j и z ($м^3/сек$);

Q_z - требуемый приток к узлу z ($м^3/сек$);

$z \in J$ - узел потребления (водохозяйственный район), $z \in Z$;

Z - количество водохозяйственных районов;

W_u - объем воды в u -ой вершине(m^3),

$u \in J$ - узел управления (водохранилище), $u \in U$;

U - количество узлов управления,

I_j^+, I_j^- - множества дуг входящих в вершину j и выходящих из нее;

P_z - продуктивность оросительной воды ($$/ m^3),$

t - текущая координата времени;

0 и T - начало и конец расчетного периода времени.

Задача перспективного использования водных ресурсов заключается в определении оптимальных многолетних режимов работы водохранилищ, которые при соблюдении определенных требований природного комплекса (по экологическим попускам) максимально удовлетворяли бы потребности водохозяйственного комплекса, представленного ЗП и гидроэнергетикой.

Целевая функция оценки использования водных ресурсов за ряд лет $t = 1, \dots, T$ представляется следующим образом:

$$F = \sum_{t=0}^T \left\{ \left[ЧП_3^{(t)} + \sum_{j=1}^m ЧП_{op}^{(t,j)} + \sum_{j=1}^m ЧП_c^{(t,j)} - \Delta Э_A^{(t)} \right] \times \frac{1}{(1+\epsilon)^t} \right\} \quad (3.6),$$

где:

j - номер зоны планирования;

m - количество зон планирования;

ϵ - коэффициент дисконтирования;

$ЧП_3^{(t)}$, $ЧП_{op}^{(t,j)}$, $ЧП_c^{(t,j)}$ - чистая продукция в гидроэнергетике, в орошаемом земледелии и в сопряженных отраслях, млн.\$;

$\Delta Э_A^{(t)}$ - ущерб от недоподачи воды Аралу, млн.\$.

В этом случае цель моделирования - максимизация “функции эффективности” на период в 20...50 лет. “Функция эффективности” сформулирована как алгебраическая сумма чистой дисконтированной продукции (дохода), полученной от всех отраслей стран-водопотребителей, как в основных, так и в сопряженных отраслях, минус ущербы, вызванные недоподачей воды в Приаралье и Аральское море.

В рамках данной работы не ставится задача оптимизации всего комплекса МБА (энергетика, ирригация, экология), а только социально-экономическая и экологическая оценка последствий управления, когда заранее задаются правила работы водохранилищ и ГЭС, а на них накладываются различные сценарии водности, развития ЗП и экологические ограничения, то есть, ставится численный имитационный эксперимент.

Для такого случая выбрана целевая функция - минимум отклонения суммарного водозабора в ЗП от тренда плановых величин (план рассчитывается по сценариям развития), а в алгоритм заложено условие пропорционального распределения дефицитов воды по ЗП (в случае их возникновения).

Работа ГЭС в модели описывается зависимостями:

$$N_{(t,iv)} = [K_{г(iv)} \times H_{(t,iv)} \times Q_{(t,iv)}] / 102 \quad (3.7)$$

$$\mathcal{E}_{(t,iv)} = N_{(t,iv)} \times T_{(t,iv)} / 1000 \quad (3.8)$$

$$t = 1,40; \quad iv = 1,m$$

где:

$H_{(t,iv)}$ - средний за сезон напор на ГЭС, как функция от отметки воды в водохранилище (м);

$Q_{(t,iv)}$ - средний за сезон расход воды на ГЭС (м³/с);

$N_{(t,iv)}$ - средний за сезон мощность на ГЭС (тыс.кВт или мВт);

$\mathcal{E}_{(t,iv)}$ - выработка электроэнергии на ГЭС, (млн.кВт*ч/сезон);

$T_{(t,iv)}$ - число часов работы ГЭС за расчетный сезон;

$K_{г(iv)}$ - к.п.д. гидроустановки;

t - номер сезона;

iv - номер водохранилищного гидроузла с ГЭС;

m - количество водохранилищных гидроузлов с ГЭС.

При построении гидрологических трендов на будущее за основу принимается концепция цикличности колебаний природных процессов, для чего используются наблюдаемые ранее ряды естественного стока рек. Цикличность рассматривается как периодическое повторение наблюдаемых явлений. Гидрологическая основа прогнозных рядов - фактические гидрографы рек с шагом 20 лет.

Структура модели позволяет рассчитывать потери воды в водохранилищах и в руслах рек (до границ ЗП и Приаралья). Потери в дельте (Южном Приаралье) учитываются в экологическом блоке, а потери в ЗП - в социально-экономическом блоке. Потери речного стока в модели могут учитываться или в виде временных функций, которые вводятся для балансовых участков рек в зависимости от сезона, или в виде зависимостей потерь от расхода воды в реке. Тот и другой способ предполагает дифференцирование потерь по времени, пространству и водности реки.

Результаты тестирования модели приводятся в таблице 1.3.1 на рисунках 3.3 и 3.4.

Таблица 1.3.1

Результаты тестирования гидрологической модели: невязки годового стока реки и Амударья (факт - расчет) в контрольных створах (Келиф, Дарганата, Саманбай), средние значения за 1990/1991 - 1999/2000 водохозяйственные годы

Створ	Участок реки	Невязка (факт - расчет)		Неучтенные потери	Неучтенный приток
		км3/год	% от стока	км3/год	км3/год
Келиф	Верхнее течение	0.34	0.5	-	0.5
Дарганата	Верхнее и среднее течения	4.3	6.5	-	6.5
Саманбай	Вся река	- 0.68	- 1.0	0.68	-

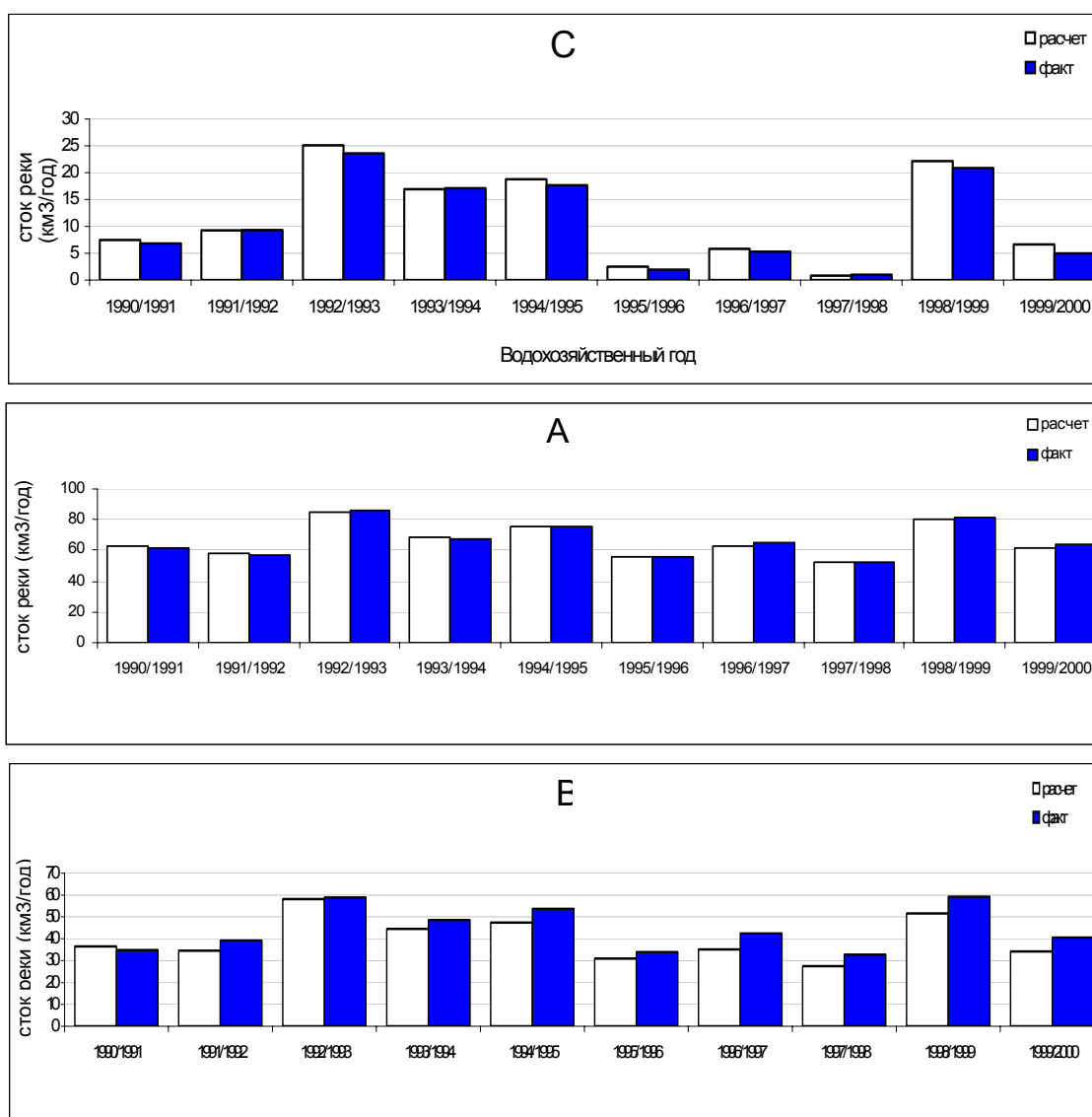


Рис 1.3.3 Результаты тестирования гидрологической модели: сравнение расчетных и измеренных годовых объемов стока реки Амударья в контрольных створах А - Келиф, В- Дарганата, С - Саманбай, за 1990/1991 - 1999/2000 годы

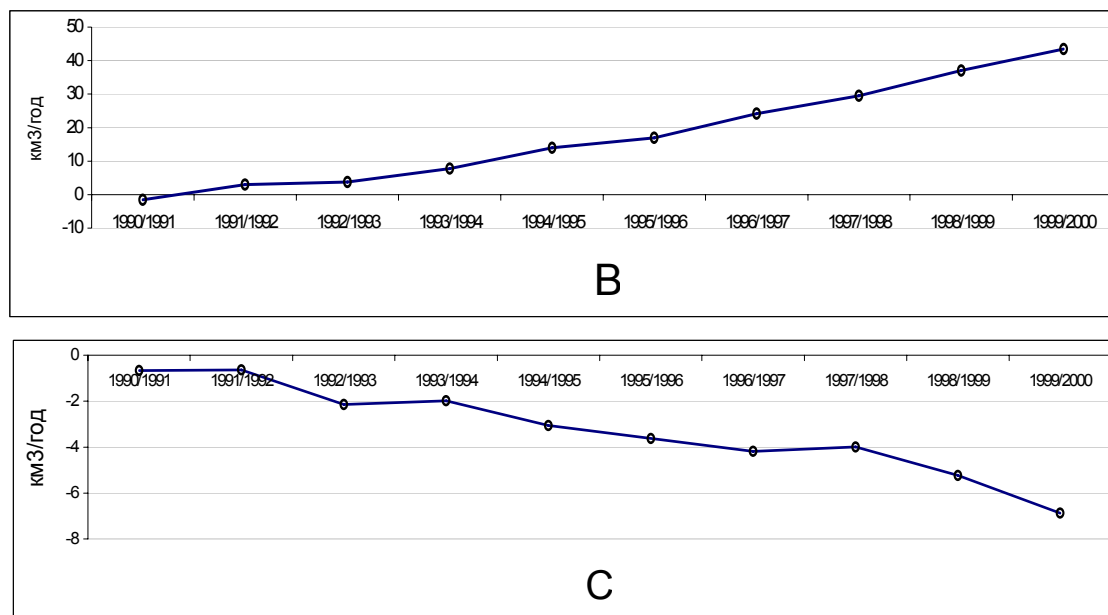


Рис 1.3.4. Результаты тестирования гидрологической модели: интегральные кривые невязок стока реки Амударья (факт - расчет) в контрольных створах А - Келиф, В- Дарганата, С - Саманбай, за 1990/1991 - 1999/2000 годы

1.3.3. Аграрный, социально-экономический и экологический блоки

Поставленная цель работы не требует стыковки полного состава всех элементов СЭМ, модели национального планирования с гидрологической моделью. Учитывая, приоритетность удовлетворения потребностей питьевого и коммунального водоснабжения, а также промышленности, все отклонения от нормальной водообеспеченности под влиянием нового строительства ГЭС и изменения под их влиянием режима реки будут отражаться на водообеспеченности орошаемого земледелия и природного комплекса. Поэтому в данном исследовании из общего комплекса моделей, сопровождающих гидрологическую модель, мы будем использовать сельскохозяйственный блок модели национального планирования и зон планирования, а также отдельно модель Арала и Приаралья.

Аграрный блок рассчитывает урожайность и продукцию сельского хозяйства, получаемую с орошаемых земель ЗП, которая агрегируется на уровне государства. Рассчитывается потеря продукции в случае возникновения дефицита воды (расчетная подача воды в ЗП определяется гидрологической моделью).

Аграрный сектор играет важную роль, как в экономической, так и в социальной сфере, обеспечивая более 60 % занятости населения. Одним из определяющих факторов развития аграрного сектора является политика ценообразования на основные сельскохозяйственные культуры, как рыночные, так и государственные (Узбекистан и Туркменистан сохраняют политику государственного формирования закупочных цен на некоторые сельскохозяйственные культуры).

Социально-экономический блок включает набор показателей, трендов, функций, агрегированных по ЗП. С их помощью обрабатывается информация, поступающая из гидрологической модели, аграрного и экологического блоков, главным образом, по производству продукции, оценивается удовлетворение потребности в электроэнергии.

Блок учитывает различные варианты развития стран, их приоритеты, ценовые политики, инвестиционные возможности.

Основным объектом, с которым “работают” аграрный и социально-экономический блоки является ЗП. Главный экономический показатель ЗП - суммарный годовой доход, получаемый от каждой сельскохозяйственной культуры, с учетом дополнительной стоимости от переработки ее во вторичную продукцию. Чистый доход ЗП определяется как разница между общим доходом от сельскохозяйственного производства и затратами на его получение.

Главным выражением, определяющим влияние водного режима ЗП на продуктивность растениеводства, является формула «ежегодного чистого дохода»

$$N = H \times \left[\sum_{r \in \{R\}} D_r \times \xi_r \times y_r(c_r, s, \Delta w) - c_r - c^\eta - c^d \right] - W^{lc} \times p^{w,lc} - W^{tr} \times p^{w,tr}; \quad (3.1.1)$$

N - чистый годовой доход (\$);

H - площадь зоны планирования (ha);

D_r - доход от “ r ” -ой культуры, включая добавку (часть дохода) от переработки вторичной продукции (\$/tn);

$y_r(c_r, s, \Delta w)$ - фактическая урожайность “ r ” - ой культуры (tn/ha);

$s = s(H)$ - функция распределения засоленности почвы (kg/m³);

Δw - относительный недостаток водных ресурсов;

$W^{w,lc}$, $W^{w,tr}$ - объемы местных и трансграничных водных ресурсов (m³);

$p^{w,lc}$, $p^{w,tr}$ - средневзвешенные цены единицы местных и трансграничных водных ресурсов для ЗП (\$/m³);

c_r - удельные затраты на выращивание сельскохозяйственной культуры (\$/ha);

c^η - удельные затраты на поддержание функционирования систем орошения (\$);

c^d - удельные затраты на поддержание функционирования дренажных систем (\$);

При исследованиях функционирования зоны планирования в многолетнем разрезе, кроме вышеперечисленных статей затрат, возникает составляющая, обусловленная колебаниями общей площади зоны планирования, как в связи с возможным развитием площадей орошения, так и в связи с выводом части площадей из сельскохозяйственного производства.

Согласно рекомендациям [3], процесс развития площадей орошения можно описать функцией, опирающейся на понятие комплексного гектара, который включает весь перечень технологических элементов, необходимых для организации сельскохозяйственного производства и сбалансированных в соответствии с условиями конкретной зоны планирования. Процесс вывода существующих площадей из сельскохозяйственного производства имеет две экономические составляющие, первая связана с выводом из оборота технически оснащенных земель и описывается аналогично оросительным и дренажным системам в условиях старения элементов; вторая, обусловлена социальным эффектом из-за различной стоимости рабочего места в селе и в городе. Полагая, что уменьшение сельскохозяйственных площадей выталкивает часть трудоспособного населения в город получим выражение для затрат, возникающих в связи с необходимой компенсацией.

Кроме того, необходимо будет учитывать потери от омертвления основных фондов орошаемого земледелия и сопряженных отраслей сельского хозяйства, а также

ирригационных систем в случае, если в результате недодачи воды будет возникать выпад орошаемых земель из производства, как это происходило в 2000 2001 гг.

Возникновение экологического ущерба будет определяться:

- по изменению минерализации воды в расчетных створах. В случае превышения допустимых величин (для Амударьи 1,0 г/л) против базового варианта соответствовавшие потери продукции в сельском хозяйстве будут изменены. Кроме того, будет сделана оценка влияния этого фактора на удорожание эксплуатации и производства промышленности, водоснабжении и т.д.;
- из отклонения от экологических требований по объему.

Экологические требования учитываются экологическим блоком в виде ряда ограничений - объемов речного стока, выше или ниже которых возникают отклонения от деятельности. Ограничения включают:

- санитарные (минимальные) расходы по участкам рек,
- расходы, соответствующие пропускной (максимальной) способности рек (выше которых происходит затопление земель),
- экологические попуски в дельту реки Амударья, слагающиеся из подачи воды в систему ветландов Южного Приаралья и подачу воды в Большой Арал (восточная и/или западная часть).

Отдельными частями экологического блока являются модели Южного Приаралья и Большого Аральского моря, определяющиеся требованиями на воду для этих объектов. Социально-экономические и экологические ущербы здесь будут оценены на основе методики, разработанной в проекте ИНТАС-1033, 2001 г.

1.4. Описание системы информационного обеспечения

1.4.1. Структура базы данных

Основное назначение базы данных (БД) бассейна - централизованное хранение, накопление и управление совокупностью взаимосвязанных данных, адекватно отображающих состояние исследуемых объектов на заданной предметной области, а также информационное обслуживание соответствующих моделей и блоков, входящих в состав комплекса.

Основными источниками БД и информационного обеспечения моделей являются БД проектов WARMIS и CAREWIB, входящие в состав Региональной Информационной Системы по Управлению Водными и Земельными Ресурсами бассейна Аральского моря. Дополнительными источниками информации служат БД БВО «Амударья», официальные статистические данные, официальные отчеты различных международных проектов.

БД состоит из ряда функциональных элементов (таблиц, запросов, форм, модулей), отражающих структуру и содержание объектов, исследуемых с помощью моделей и обеспечивающих функционирование комплекса моделей МБА как единого целого. Управление БД осуществляется через интерфейс (см. рис 4.1, 4.2).

Таблицы, представленные в БД условно разбиты на три группы: справочные, основные, временные (рабочие).

Справочные таблицы содержат условно-постоянную (описательную) информацию, то есть перечень объектов, их наименования, единицы измерения и т.п.

Основные таблицы содержат историческую (ретроспективную) информацию и специально подготовленную для прогнозных расчетов, сгруппированную по расчетным сценариям и вариантам в привязке к объектам моделирования (реки, водохранилища, ГЭС, ЗП и др.). Кроме того, основные таблицы служат для накопления выборочной информации, полученной в результате расчетов отдельных моделей и блоков.

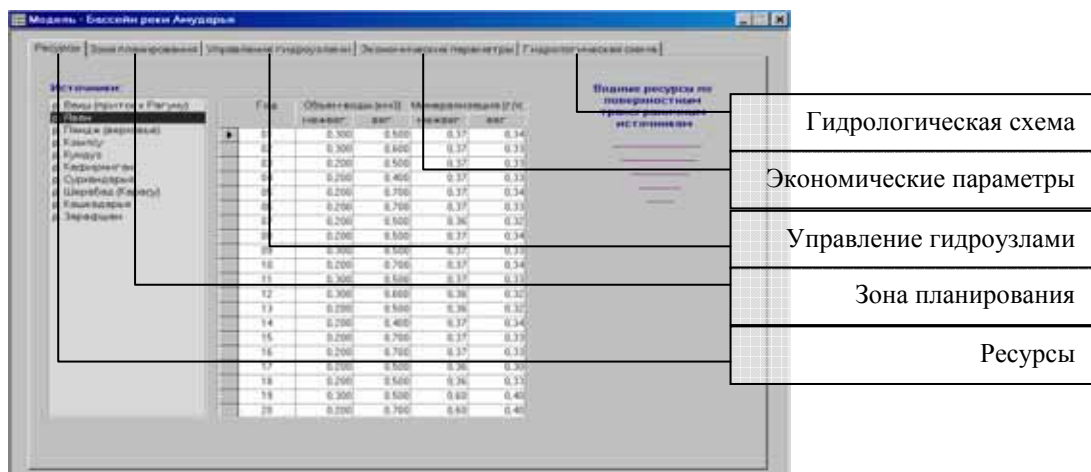


Рис 1.4.1. Главная форма БД МБА

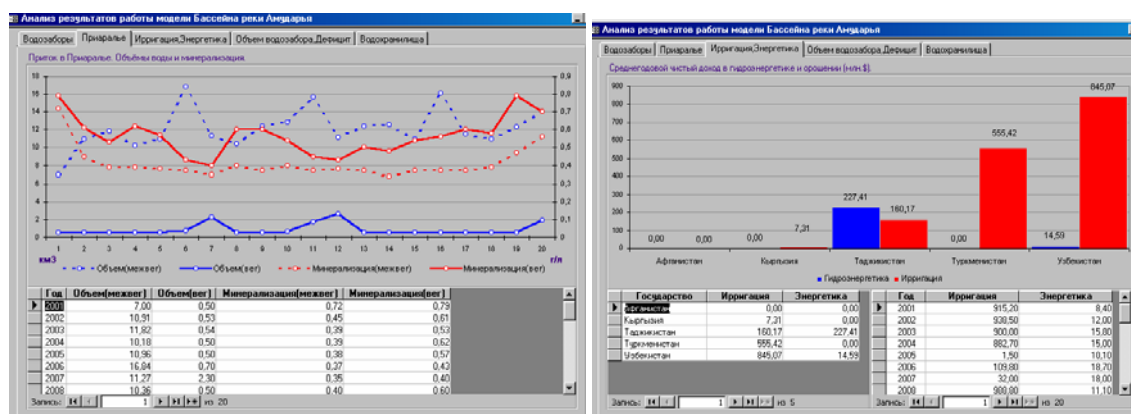
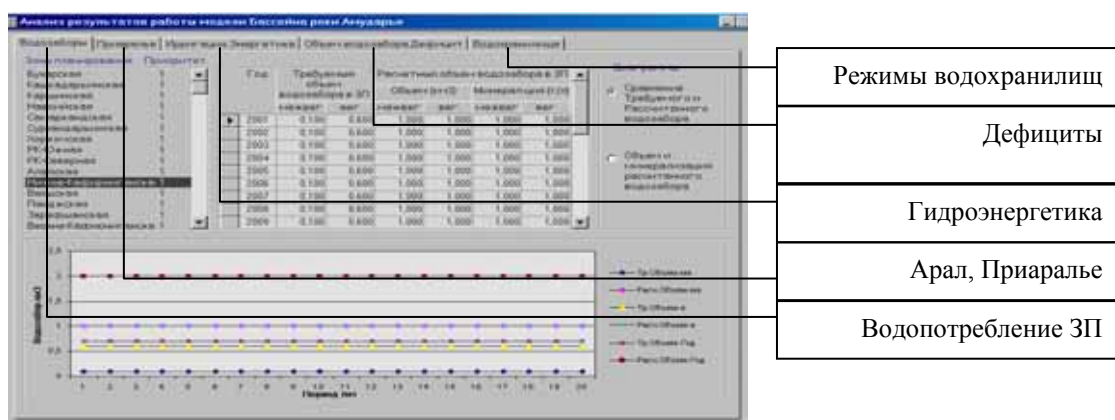


Рис 1.4.2. Вывод расчетной информации через БД

Временные таблицы предназначены для обслуживания процессов расчета моделей и динамической передачи информации между моделями. Они периодически заполняются информацией и очищаются от нее в процессе решения моделей.

В БД собрана гидрологическая, водохозяйственная, социально-экономическая экологическая информация.

1.4.2. Гидрологическая и водохозяйственная информация

Основная гидрологическая и водохозяйственная информация в БД хранится по блокам:

БЛОК ОПИСАНИЯ СТРУКТУРЫ БАССЕЙНА

Источники поверхностных водных ресурсов

Балансовые участки рек

Участки магистральных каналов

Водозаборы в каналы

Насосные станции

Сбросы возвратного стока с каналов

Сбросы КДС в речную сеть

Зоны планирования

Водохранилищные гидроузлы

ГЭС

Озера и ветланды

Гидропосты и расчетные створы

Связи между объектами

АГРАРНЫЙ БЛОК

Орошаемые площади ЗП

Часть орошаемых площадей ЗП, относящихся к МБА

КПД ирригационных систем ЗП

Распределение орошаемых площадей ЗП под с/х культуры

Урожайность с/х культур по ЗП (фактическая)

Урожайность с/х культур по ЗП (потенциальная)

Нормы орошения (удельная подача воды на 1 га земель)

Функции потерь урожайности

ВОДНЫЙ БЛОК

Гидрографы речного стока по гидропостам (факт)

Объемы боковой приточности по саям по балансовым участкам рек (факт)

Объемы водозабора в каналы (факт)

Объемы подачи воды на границах ЗП, в том числе на орошение (факт)

Объемы возвратного стока с ирригационной сети в реки (факт)

Объемы КДС, поступающей в реки (факт)

Режимы работы водохранилищ - приток, попуски, уровни, объемы (факт)

Удельные потери на испарение с водной поверхности водохранилищ

КПД крупных магистральных каналов

Расчетные гидрографы рек в привязке к источникам по сценариям

Требуемое водопотребление ЗП по сценариям (расчет)

Тренды сброса возвратного стока в реки по сценариям (расчет)

Сценарии регулирования стока (варианты работы водохранилищ)

Объемы требуемого водозабора в ЗП бассейна Амударьи и возвратного стока в речную сеть на уровне 80-х годов (выборка из основных таблиц БД) приводятся в Приложении в таблицах 3 и 4.

1.4.3. Социально-экономическая и экологическая информация

Основная социально-экономическая и экологическая информация в БД собрана по блокам:

СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ БЛОК

Численность населения, в т.ч. сельское, в привязке к ЗП и их тренды
Валовая продукция сельского хозяйства по ЗП (факт)
Выработка гидроэлектроэнергии, в привязке к ГЭС (факт)
Требуемая выработка на ГЭС, в привязке к каскадам, по сценариям
Цены реализации аграрной продукции, в привязке к государствам и их тренды
Стоимость затрат на производство аграрной продукции, в привязке к ЗП, по сценариям
Коэффициенты, учитывающие доходы и затраты от вторичной продукции
Себестоимость выработки электроэнергии на ГЭС и их тренды
Цены на электроэнергию, в привязке к государствам и их тренды
Потенциальная продуктивность 1 га орошаемых земель, в привязке к ЗП
Потенциальная продуктивность 1 м³ оросительной воды на границе ЗП
Продуктивность 1 м³ воды, подаваемой не на орошение, в привязке к ЗП
Показатели экономической оценки экологического ущерба (удельная стоимость воды, подаваемой в Приаралье и Арал)

В Приложении, в таблице 5 приводятся экономические показатели использования стока Амударьи в низовьях, в вегетацию 2000 года (выборка из справочных таблиц БД).

БЛОК ПО ЭКОЛОГИЧЕСКИМ ТРЕБОВАНИЯМ И АРАЛЬСКОМУ МОРЮ

Санитарные попуски по расчетным створам рек
Допустимые максимальные расходы ниже гидроузлов
Экологические попуски в систему озер Приаралья (факт)
Минимальные экологические попуски, подаваемые в систему озер Приаралья для их поддержания в качестве экологического объекта (гидрограф)
Подача воды в Аральское море по реке Амударья, КДС (факт)
Лимиты на подачу воды в Аральское море
Уровни, площади водной поверхности и объемы воды озер Приаралья (факт)
Уровни, площади водной поверхности и объемы воды Большого Арала (факт)
Испаряемость с водной поверхности
Испаряемость с водной поверхности занятой растительностью
Осадки

1.5. Описание схемы расчетов

1.5.1. Сценарии по водным ресурсам

Исходя из случайного характера стока, можно предположить (с какой-то долей вероятности) появление в будущем того или иного сочетания маловодных, средних и многоводных лет.

Если предположить, что в будущем возможно появление ранее наблюдаемых гидрологических рядов естественных ресурсов рек МБА, то можно составить экстремальные по водности сценарии - “маловодная N-летка” и “многоводная N-летка”. Водность N-летки можно оценить по обеспеченности (вероятность превышения) за наблюдаемый период.

Результаты такого анализа, выполненного для 20-ти леток, входящих в ряд естественных водных ресурсов рек МБА с 1914 по 2001 год, приведен в таблице 1.2 (раздел 1.1 данного отчета).

В качестве расчетных гидрологических сценариев (MIN, MAX), перенесенных на будущее (2006-2025 гг.), выбраны периоды за 1972-1991 гг. (маловодная 20-ти летка) и 1952-1971 гг. (многоводная 20-ти летка).

1.5.2 Сценарии развития

Для дальнейшего исследования приняты два сценария развития:

- Сценарий сохранения существующих тенденций (As usual),
- Оптимистический сценарий (Optimistic).

Выбранные сценарии имеют следующие характеристики:

As usual - сценарий стабилизации продуктивности и требований на воду из трансграничных рек для ЗП. Предполагает развитие только на основе использования лимита и потенциала местных источников воды. Допускает наличие дефицита в орошаемом земледелии, в среднем за период прогноза до 3...4 % от лимита, с максимальным значением 20...25 % по отдельным ЗП.

Экологические требования в части попусков в Приаралье принимаются директивно для различных по водности лет. Водозабор Афганистана и система сбросов КДС сохраняются на современном уровне. Темпы роста населения остаются на современном уровне.

Optimistic - сценарий ориентируется на достижения 80 % потенциальной продуктивности земель, водосбережение и уменьшение на этой основе водозабора из трансграничных рек в ЗП.

Предполагается, что проводимой политикой водосбережения на уровне государств, будут достигнуты следующие показатели эффективности использования воды: удельное водопотребление на орошение составит 9,4 тыс. м³/га; удельное водопотребление для населения составит 0,08 м³/чел/год.

По сценарию предусматривается прекращение КДС в реку с территории Туркменистана (фактор, снижающий водность реки, но улучшающий ее качество воды

в реке). Водозабор Афганистана, начиная с 2015 года, постепенно растет, в среднем за 5-ти летку на 1.8 км³. Выдерживаются экологические требования к стоку рек в годы любой водности. Темпы роста населения снижаются.

1.5.3. Сценарии ввода новых емкостей регулирования

К исследованию приняты два сценария ввода новых емкостей регулирования в МБА:

- Строительство, ввод в эксплуатацию и работа Рогунского гидроузла в 3 вариантных объемах,
- Строительство, ввод в эксплуатацию и работа Рогунского и Дашт и Джунского гидроузлов.

По первому сценарию все сроки принимаются по варианту заказчика данной работы.

По второму сценарию принят срок окончания строительства гидроузла - 2020 год. Последующий период (2020-2025 годы) - период ввода в эксплуатацию Дашт-и-Джунского гидроузла, когда происходит заполнение 1

Сценарии управления включают:

- варианты максимальных уровней воды в Рогунском водохранилище,
- сценарии работы водохранилищ,
- сценарии заиливания водохранилищ, зависящих от режимов работы водохранилищ.

1.5.5. Выбор расчетной схемы

Таким образом, исходный состав сценариев включает:

- Два сценария по водным ресурсам,
- Два сценария развития,
- Два сценария ввода новых емкостей регулирования,
- Сценарии управления:
 - два варианта максимальных уровней воды в Рогунском водохранилище,
 - два сценария работы водохранилищ,
 - два сценария заиливания водохранилищ, зависящих от режимов работы водохранилищ.

Расчетной схемой определяются расчетные сочетания принятых сценариев, показывающие диапазоны (max, min) ожидаемых величин и условия (i) наилучшего и (ii) наихудшего сочетания сценариев для орошаемого земледелия, экологии, гидроэнергетики. Оцениваются последствия расчетных вариантов по срокам первоначального наполнения Рогунского водохранилища.

Матрица сочетания сценариев приводится в таблице 1.5.1. Предварительный анализ показал, что вариант А представляет сочетание сценариев, при котором

наилучшим образом могут быть удовлетворены требования ЗП (Туркменистан, Узбекистан) и экологии, а вариант **В** - наихудшим. Вариант **С** - наилучшее сочетание для гидроэнергетического комплекса Таджикистана, а вариант **Д** - наихудший.

Семейство точек, найденных в результате численных экспериментов, для вариантов **А, В, С, Д** в координатах (**Уэ, Ун**) или/и (**Дэ, Дн**) за **N** лет, очертят поле, в пределах которого будут находиться все ожидаемые величины возможных ущербов (**У**) и/или доходов (**Д**) в энергетике (**э**) и не энергетических отраслях, включая экологию (**н**). Рациональный вариант определяется численными расчетами на основе консенсуса между энергетикой и неэнергетическими отраслями, предполагаемого поиска суммарного МАХ эффекта и/или MIN ущерба, с возможным подключением компенсационного механизма покрытия ущербов.

Таблица 1.5.1

Матрица сочетания сценариев

Сценарии управления		Сценарии водности и развития			
Проектный НПУ Токтогула	Режим водохранилищ	Многоводный		Маловодный	
		Оптимист	Сохранение	Оптимист	Сохранение
Максимальная отметка	Ирригацион.	Вариант A	х	х	х
	Энергет.	Вариант C	х	х	Вариант B
Минимальная отметка	Ирригацион.	х	х	х	Вариант D
	Энергет.	х	х	х	х

В матрицу не включены сценарии окончания строительства и ввода в эксплуатацию Рогунского гидроузла и водохранилищ на реке Пяндж (Даш и др.), поскольку решение по ним принято однозначное (по предложению заказчика). Также принят один сценарий заиления водохранилищ, соответствующий для Рогуна и Нурека данным заказчика (при допущении, что заиление не зависит от режима водохранилищ, а определяется только их НПУ), а для Руслового водохранилища ТМГУ - данным НИЦ МКВК, полученным при выдерживании промывного режима Руслового водохранилища, при котором объемы заиления и потери воды - минимальные. Ирригационный режим (отмечен в таблице 1.5.1) предполагает работу Рогунского водохранилища в энергетическом режиме и Нурекского как ирригационного компенсатора. Энергетический режим (отмечен в таблице 1.5.1) предполагает работу Рогунского и Нурекского водохранилищ в энергетическом режиме. Допускается, что водохранилища Пянджа во всех случаях будут работать в энергетическом режиме, а водохранилища ТМГУ - в ирригационном. Внутрисистемные водохранилища работают в сезонном компенсационном ирригационном режиме.

Вариантные расчеты регулирования стока каскадами водохранилищ и ГЭС и оценки последствий этого регулирования в гидроэнергетике, орошаемом земледелии и экологии МБА выполняются на моделях комплекса ASBMM, разработанного в НИЦ МКВК. Расчеты выполняются по вариантам, включающим сценарии:

- по располагаемым естественным водным ресурсам - выборка из исторических гидрологических рядов рек МБА (i) маловодных и (ii) многоводных 20-ти леток,

- по развитию региона - по требуемому водопотреблению, возвратному стоку - сценарий (i) сохранения существующих тенденций и (ii) оптимистичный сценарий, ориентированный на водосбережение, межгосударственное сотрудничество, достижение определенного уровня продуктивности, и удовлетворение необходимых санитарных и экологических попусков в дельту Амударьи и Арал,
- по управлению - проектные параметры (max, min) и режимы регулирования стока водохранилищами и ГЭС, их совместной работы в каскаде - (i) энергетический, (ii) ирригационный, когда Рогун работает в энергетическом режиме, Нурек, как ирригационный компенсатор, Тюямуюн - локально в средние по водности годы и в увязке с верхними водохранилищами в маловодные годы и паводковые периоды и др.

В части оценки последствий регулирования стока и влияния Рогуна на водохозяйственные комплексы бассейна схемой расчета учитываются:

- интересы и риски всех водопользователей региона (энергетика, орошаемое земледелие и др.) по вариантам развития стран не только Таджикистана, Туркменистана, Узбекистана, но и Афганистана, с выходом на ущербы и эффекты в отраслях экономики, включая сопутствующие отрасли (переработка с/х производства и др.), и социальную сферу (занятость населения и др.),
- требования по санпопускам вдоль русел рек и экологическим попускам в дельту Амударьи (для поддержания водоемов в Южном Приаралье и сохранения части Аральского моря как устойчивых экосистем, имеющих и хозяйственное значение).

При настройке комплекса ASBMM на численные эксперименты в модель регулирования стока и распределения водных ресурсов новые водохранилища Пянджа (Даш и др.) не включены, тем самым исследование режимов их возможной работы не будет проводиться. В то же время рассмотрен наиболее вероятный сценарий их работы и учтено их влияние упрощенно путем пересчета расходов естественного режима Пянджа в зарегулированный.

Основные исходные данные, поступающие от заказчика:

- многолетние ряды естественных расходов воды Вахша (створ Рогунского гидроузла),
- варианты по проектным параметрам Рогунского гидроузла (НПУ и др.),
- период первоначального наполнения Рогунского водохранилища,
- по принятым вариантам регулирования стока (ирригационный, энергетический) и параметров Рогунского гидроузла - динамика уровней (объемов) этих водохранилищ, гидрографы притока и оттока из водохранилищ, динамика полезных объемов водохранилищ (учитывающих заиливание емкостей).

Часть II. Гидрологические расчеты на перспективу

Вариантные расчеты на период в 50 лет (с 2006 года по 2055 год) выполнены для оценки влияния Рогунского водохранилища на водный режим Вахша и Амударьи и водообеспеченность орошаемого земледелия в Туркменистане и Узбекистане и на природные комплексы малого бассейна Амударьи. На бассейновой модели НИЦ МКВК по 5 вариантам режима работы водохранилищ Вахшского каскада и трем сценариям

развития бассейна рассматривались для каждого варианта режима работы водохранилищ (итого $5 \times 3 = 15$ вариантов).

Выбор вариантов по режимам работы водохранилищ был обусловлен требованием заказчика и представленными исходными данными. Варианты включают следующие условия по проектным отметкам Рогунского водохранилища (НПУ, УМО) и совместной работе Рогунского и Нурекского гидроузлов:

- Вариант 1. НПУ = 1240 м. УМО=1140 м. Энергетический режим.
- Вариант 2. НПУ = 1240 м. УМО=1140 м. Ирригационный режим.
- Вариант 3. НПУ = 1290 м. УМО=1185 м. Энергетический режим
- Вариант 4. НПУ = 1290 м. УМО=1185 м. Ирригационный режим
- Вариант 5. НПУ = 1290 м. УМО=1185 м. Энерго-ирригационный режим

Характеристика всех пяти вариантов по этапам наполнения водохранилищ и их эксплуатации на проектных отметках приведена на основе прогнозных расчетов. Кроме того, по требованию заказчика дополнительно для сравнения был рассчитан современный вариант работы Нурекского водохранилища на перспективу.

Расчеты выполнены по следующим трем сценариям развития бассейна:

- Сценарию сохранения существующих тенденций (As usual)
- Оптимистичному сценарию (Optimistic)
- Национальные стратегии

По сравнению с рабочей программой работ был удлинен период расчета с 25 лет (2006-2025 гг.) до 50 лет (с 2006 - 2055 гг.), поскольку за 25 лет не удалось в полной мере оценить влияние водохранилищ на водообеспеченность орошаемых земель.

2.1. Методика численных экспериментов

2.1.1 Подготовка гидрологических рядов стока рек

К проведению численных экспериментов выполнены следующие работы:

- подготовка гидрологических рядов стока рек,
- подготовка исходных данных по режимам работы водохранилищ,
- подготовка исходных данных по заилению водохранилищ,
- подготовка исходных данных по сценариям развития бассейна,
- подготовка ограничений и прочих условий (ввод в модель экологических требований, настройка модели на расчет потерь стока, ввод ограничений по режиму уровней реки и др.).

Исходя из случайного характера стока, было сделано предположение и изучена возможность появления в будущем ранее наблюдаемых гидрологических рядов, того или иного сочетания маловодных, средних и многоводных лет.

Методом скользящих были проанализирована динамика стока реки Вахш (створ Рогунского гидроузла) по 25-ти леткам (два естественных цикла) за период с

1932/1933 по 2005/2006 годы. Первая 25-ти летка 1932/1933 - 1957/1958 годы, вторая 25-ти летка с 1933/1934 - 1958/1959 и так далее.

Была выявлена закономерность изменения водности этих 25-ти леток (периоды подъема водности, ее спада). Если предположить, что эта закономерность сохранится и в будущем, то после 2006 года должна повториться 25-ти летка, начавшаяся с 1951 года. Та же закономерность наблюдается и в целом по водности малого бассейна Амударьи.

Исходя из этого, в качестве расчетного гидрологического сценария, перенесенного на будущее (2006/2007 - 2055/2056 годы), выбран период за 1951/1952 - 2000/2001 годы.

Для данного периода подготовлены следующие данные по естественному стоку рек малого бассейна Амударьи (исключая бассейны рек Заравшан, Кашкадарья, Туркменистана):

1. Естественный сток реки Вахш в створе Рогунского гидроузла, боковая приточность на участке расположения Вахшского каскада гидроузлов (данные заказчика) и ниже по течению (данные из региональной БД НИЦ МКВК),
2. Естественный сток реки Пяндж - рассчитанный по данным стока реки в створе пос. Нижний Пяндж (данные заказчика) и безвозвратному водопотреблению из реки (данные из региональной БД НИЦ МКВК),
3. Естественный сток рек Кафирниган, Сурхандарья, Шерабад, Кундуз (данные из региональной БД НИЦ МКВК).

2.1.2 Подготовка исходных данных по режимам работы водохранилищ

Исходные данные подготовлены по пяти вариантам, отражающим условия по проектным отметкам Рогунского водохранилища (НПУ, УМО) и совместной работе Рогунского и Нурекского гидроузлов.

Вариант 1. НПУ = 1240 м. УМО=1140 м. Энергетический режим.

Вариант 2. НПУ = 1240 м. УМО=1140 м. Ирригационный режим.

Вариант 3. НПУ = 1290 м. УМО=1185 м. Энергетический режим.

Вариант 4. НПУ = 1290 м. УМО=1185 м. Ирригационный режим.

Вариант 5. НПУ = 1290 м. УМО=1185 м. Энерго-ирригационный режим. Предусматривает работу Рогунского гидроузла в энергетическом режиме и работу Нурека в качестве энергетического компенсатора.

Вариант 6. Современный режим работы Нурекского гидроузла.

Моделируемый ряд в 50 лет (2006/2007 - 2055/2056 год) был разделен на три расчетных периода:

- Период до начала перекрытия реки Вахш и начала наполнения Рогунского водохранилища, принят для всех вариантов с 2006/2007 до 2011/2012 годы (кроме 6 варианта),
- Период наполнения Рогунского водохранилища до проектной отметки (определен расчетом для каждого варианта сочетания НПУ и УМО),

- Период эксплуатации Рогунского гидроузла на проектной мощности (определен расчетом для каждого варианта сочетания НПУ и УМО).

Для разработки правил первоначального наполнения Рогунского водохранилища до проектной отметки была выполнена серия расчетов, предусматривающая различные варианты изъятия стока реки Вахш: наполнение водохранилища в межвегетационный и вегетационные периоды объемами, превышающими (уменьшающими) среднееголетние значения (норму) естественного стока: 110 %, 105 %, 95 %, 90 % от нормы.

Для вариантов 1, 2 и 3 (НПУ = 1240 м, УМО=1140 м) было принято условие изъятия стока сверх нормы, а для 3 и 4 вариантов (НПУ = 1290 м, УМО=1185 м) - изъятия стока сверх 95 % нормы.

Для вариантов 1, 2 и 3 период первоначального наполнения Рогунского водохранилища составил 5 лет, для 3 и 4 вариантов - 9 лет. В случае изъятия стока в объемах сверх нормы в вариантах 3 и 4 период наполнения увеличивается до 14 лет.

Подготовлена следующая информация:

- Расчетные гидрографы пусков воды из Рогунского и Нурекского гидроузлов для периода первоначального наполнения Рогунского гидроузла, согласно выбранным вариантам режима их работы, определены расчетным путем, исходя из принятых правил наполнения Рогунского водохранилища,
- Расчетные гидрографы пусков воды из Рогунского и Нурекского гидроузлов для периода эксплуатации Рогунского гидроузла, согласно выбранным вариантам режима их работы, выборка из данных, представленных заказчиком (расчет на данных 1932/1933 - 2004/2006 годов),
- Расчетные кривые и ограничения по Рогунскому водохранилищу, объемы, уровни, согласно выбранным вариантам режима его работы, (см. также раздел 1.3).

2.1.3 Подготовка исходных данных по заилению водохранилищ

При подготовке данных по заилению Рогунского и Нурекского водохранилищ на 2006/2007 - 2055/2056 годы в качестве базовой информации приняты данные заказчика, а по заилению Туюмунского гидроузла - данные НИЦ МКВК.

Для Рогунского гидроузла приняты следующие расчетные емкости, учитывающие заиление, для выбранных вариантов сочетания НПУ, УМО.

Таблица 2.1.

**Расчетные емкости Рогунского водохранилища
Проектные данные, через 15, 25 и 50 лет эксплуатации**

НПУ м	УМО м	Полный объем, км ³				Полезный объем, км ³			
		Проект	15 лет	25 лет	50 лет	Проект	15 лет	25 лет	50 лет
1240	1140	6.76	5.69	5.07	3.76	5.5	4.74	4.31	3.48
1290	1185	13.3	11.83	11.20	9.8	10.26	9.64	9.25	8.35

Динамика изменения полезного объема Нурекского водохранилища за счет заиления (проектный объем $4,5 \text{ км}^3$) принята по данным заказчика: 2010 год - $3,5 \text{ км}^3$, 2015 год - $3,15 \text{ км}^3$, 2020 год - $2,95 \text{ км}^3$, 2025 год - $2,7 \text{ км}^3$.

Приняты следующие условия:

- Изменение полного и полезного объемов воды в Рогунском водохранилище за счет заиления начинается с 2012 года, то есть с момента возможного перекрытия реки Вахш и начала заполнения водохранилища,
- До 2012 года заиление Нурекского водохранилища осуществляется исходя из существующих тенденций, а после начала заполнения Рогуна - с учетом аккумуляирования части твердого стока Вахша в Рогуне.

2.1.4 Подготовка исходных данных по сценариям развития бассейна

По сценариям развития подготовлена следующая информация:

- Расчетный водозабор в зоны планирования (области) из Амударьи и ее притоков определен расчетным путем на социально-экономической модели комплекса ASBMM [1].
- Расчетный возвратный сток из зоны планирования в реку Амударья и ее притоки определен расчетным путем на социально-экономической модели комплекса ASBMM [1].

Информация подготовлена для трех сценариев развития бассейна:

- Сценария сохранения существующих тенденций (As usual), сценария стабилизации водозабора из трансграничных рек бассейна (Вахш, Пяндж, Амударья) и развития только на основе потенциала местных источников воды.
- Оптимистического сценария (Optimistic), сценария достижения 80 % потенциальной продуктивности земель, водосбережения и уменьшения на этой основе водозабора из трансграничных рек и высвобождения водных ресурсов для Афганистана и экологических нужд.
- Национального сценария развития (National), принятого в соответствии с несвязанными ограничениями предложений национальных стратегий, изложенных в проекте WEAMP, компонент А-1.

2.1.5. Прочие ограничения и условия

К прочим ограничениям и условиям, учтенным в экспериментах, относятся:

- Ввод в модель экологических требований
- Настройка модели на расчет потерь стока
- Ввод регулирующих емкостей реки Пяндж
- Ввод ограничений по уровенному режиму реки

В экологические требования к стоку реки Амударья включены:

- санитарные попуски вдоль русла реки, учтены как ограничения

(минимально допустимые расходы на всем протяжении реки),

- санитарно-экологические попуски, подаваемые в ирригационную сеть, главным образом, для хозяйственного водоснабжения, учтены в требованиях на водозабор,
- экологические попуски, подаваемые в систему вэтиландов Южного Приаралья (в дельту Амударьи), учтены в модели двойко, как ограничения (минимум для маловодного года) и величины для сравнения с расчетным стоком в створе Саманбай (подача воды в Приаралье),
- подача воды в Большой Арал, учтены в модели как величины для сравнения с расчетным стоком воды в Большой Арал.

Для расчета русловых потерь стока в модель введены функции, определяющие значения потерь из реки Амударьи в ее среднем и нижнем течениях по сезонам, в зависимости от расхода воды в реке [1].

Для расчета потерь из водохранилищ Рогунского и Нурекского гидроузлов использовались данные заказчика по испаряемости с водной поверхности. Максимальные значения расчетных потерь на испарение с Рогунского водохранилища (наполнение до НПУ) при НПУ 1290 составило 0.14 км^3 в год, при НПУ 1240 - 0.09 км^3 в год.

Максимальные потери из Нурекского водохранилища оцениваются в 0.12 км^3 в год, а из водохранилищ Тюямуонского гидроузла на порядок больше - $0.8...1.1 \text{ км}^3$ в год (существенную роль в потерях из водохранилищ Тюямуонского гидроузла играет фильтрационная составляющая).

Санитарные попуски по руслу реки обеспечивают поддержание реки в качестве водного объекта, имеющего природную и социальную ценность. Данные попуски приняты по руслам рек исходя из 10 % расхода естественного стока (подход, применяемый в странах Европейского Союза).

Экологические попуски, подаваемые в Приаралье для поддержания экосистем, приняты на основе модельных исследований НИЦ МКВК [1].

Влияние перспективных водохранилищ Пянджа (Даштиджунский гидроузел) на водные режимы рек Пяндж, Амударья и водообеспеченность водохозяйственных районов учтено вводом в модель после 2025 года емкости в 12 км^3 , наполнение которой до проектной отметки осуществляется из реки Пяндж из расчета 2 км^3 воды в годы выше среднего.

Влияние уровня режима реки Амударьи на бесплотинный водозабор в Амубухарский и Каршинский каналы в модели учтено вводом ограничений на урезку максимальных расходов воды, подаваемых в каналы по насосным станциям как функций расходов (а значит и уровней) воды в реке.

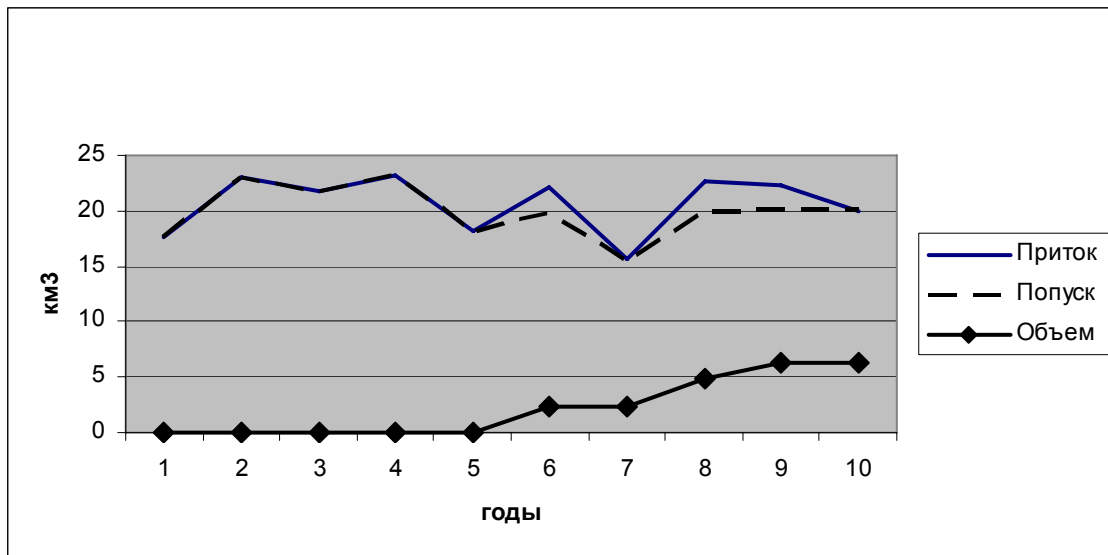
2.2. Оценка водных численных гидрологических расчетов

2.2.1 Оценка режимов за период до вывода Рогунского водохранилища на проектные отметки

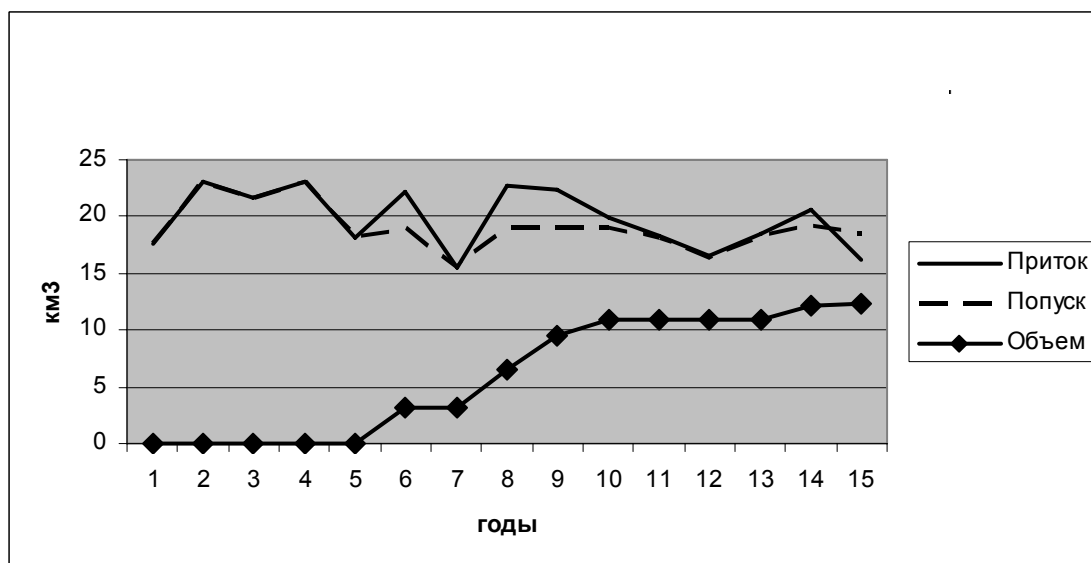
На рисунках 2.1 и 2.2 показаны годовые значения притока, попусков и объемов воды (на начало года) в Рогунском водохранилище, рассчитанные для периода до начала заполнения Рогуна и вывода гидроузла на проектные режим. Для 1 и 2

вариантов этот период включает годы с 2006 по 2015 год, а для 3, 4 и 5 вариантов - с 2006 года до 2020 года. За начало заполнения водохранилищ принят 2012 год.

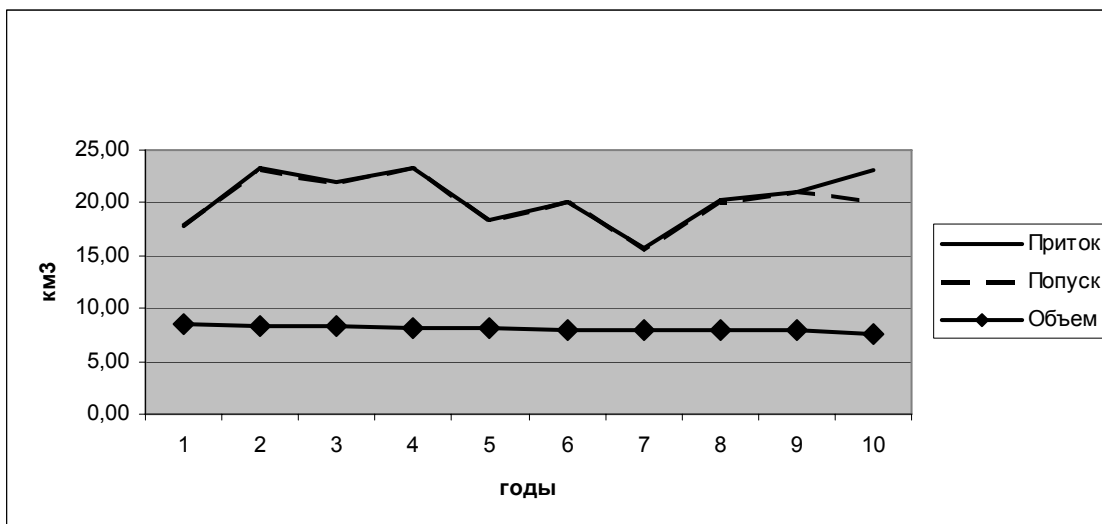
На рисунках 2.3 и 2.4 показаны годовые значения притока, попусков и объемов воды (на начало года) в Нурекском водохранилище для данных периодов и расчетных вариантов.



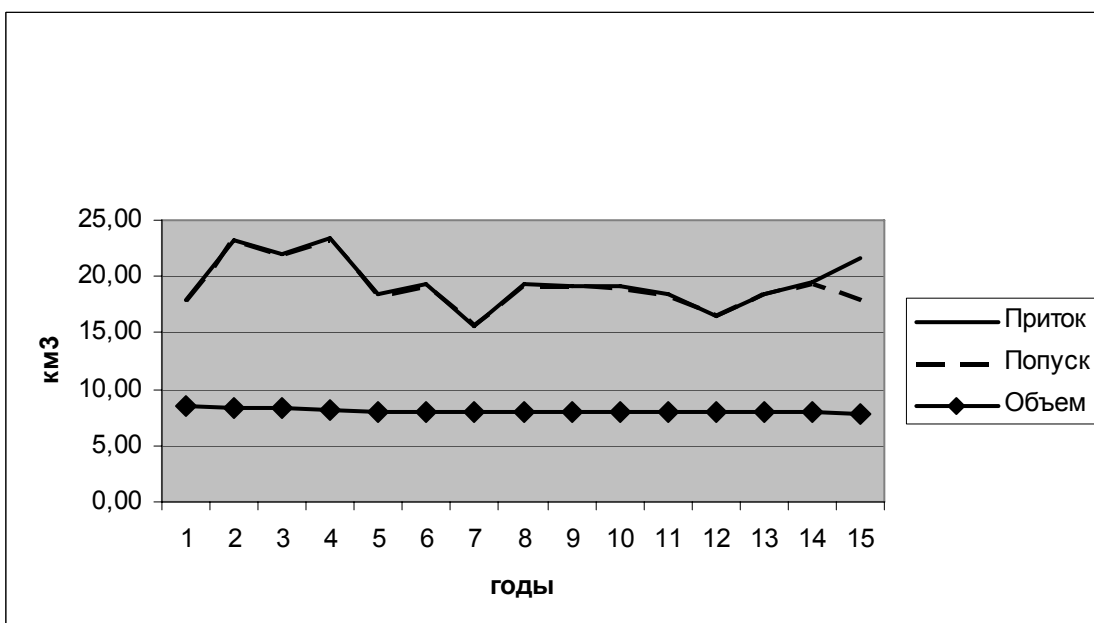
**Рис 2.1. Приток, попуск и объем воды в Рогунском водохранилище
Варианты 1.2. Период 2006-2015 гг.**



**Рис 2.2. Приток, попуск и объем воды в Рогунском водохранилище
Варианты 3.4.5 Период 2006-2020 гг.**



**Рис 2.3. Приток, попуск и объем воды в Нурекском водохранилище
Варианты 1.2. Период 2006-2015 гг.**



**Рис 2.4. Приток, попуск и объем воды в Рогунском водохранилище
Варианты 3.4.5. Период 2006-2020 гг.**

Нурекское водохранилище за этот период осуществляет сезонное регулирование, наполняясь в вегетационный период в объеме 3.2....3.5 км³, и соответственно сбрасывая этот объем в межвегетацию.

К концу расчетного периода максимальный объем воды, который можно аккумулировать в Нурекском водохранилище, оценивается для 1 и 2 вариантов в 7.9 км³ (2015 год), а для 3, 4 и 5 вариантов - 7.8 км³ (2020 год). Объем заилиения оценивается, соответственно, в 2,6 км³ и ,7 км³.

Рогунское водохранилище за период наполнения заилится по 1, 2 варианту на 0.5 км³ (2015 год), а по 3, 4 и 5 вариантам - на 1.2 км³ (2020 год).

2.2.2. Оценка режимов за период эксплуатации Рогунского водохранилища на проектных отметках

На рисунках 2.5 - 2.8 показаны годовые значения притока, попусков и объемов воды (на начало года) в Рогунском водохранилище, рассчитанные для периода эксплуатации гидроузла (после наполнения водохранилища до проектной отметки). Для вариантов 1 и 2 этот период включает 2016 - 2055 годы, а для вариантов 2, 3 и 4 - 2021-2055 годы.

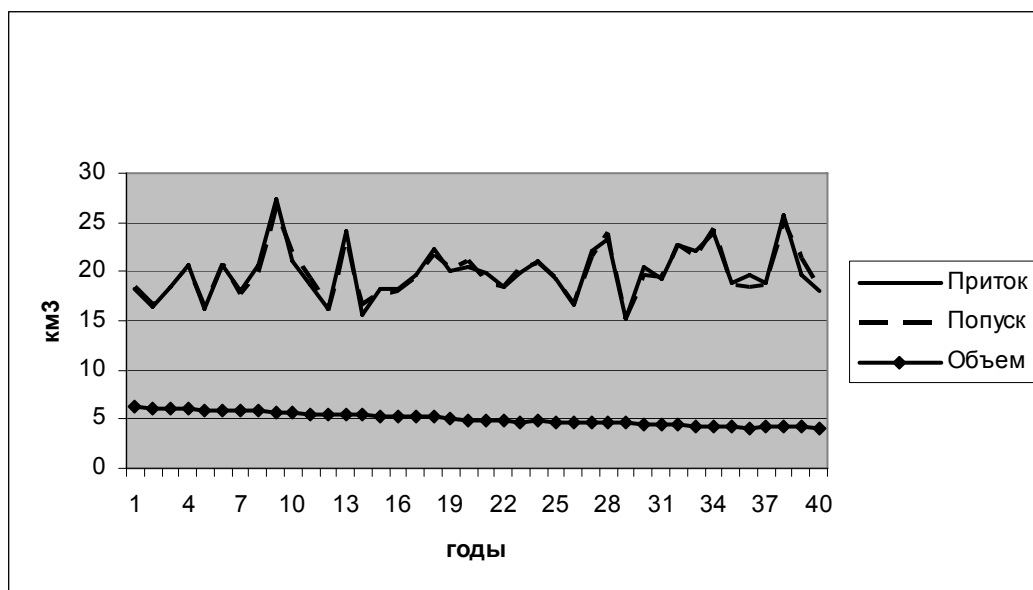


Рис 2.5. Приток, попуск и объем воды в Рогунском водохранилище
Варианты 1. Период 2016-2055 гг.

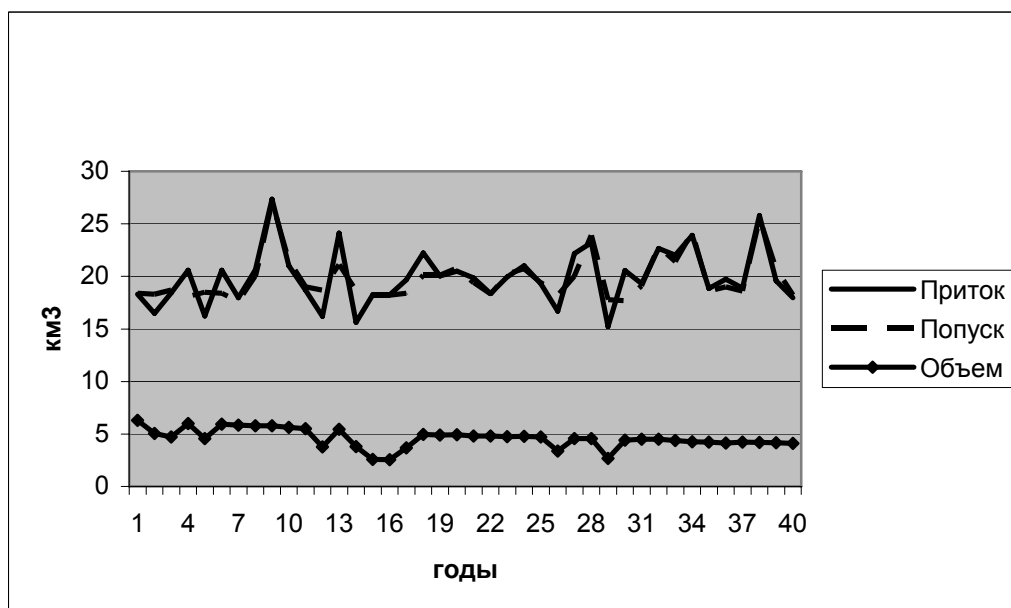
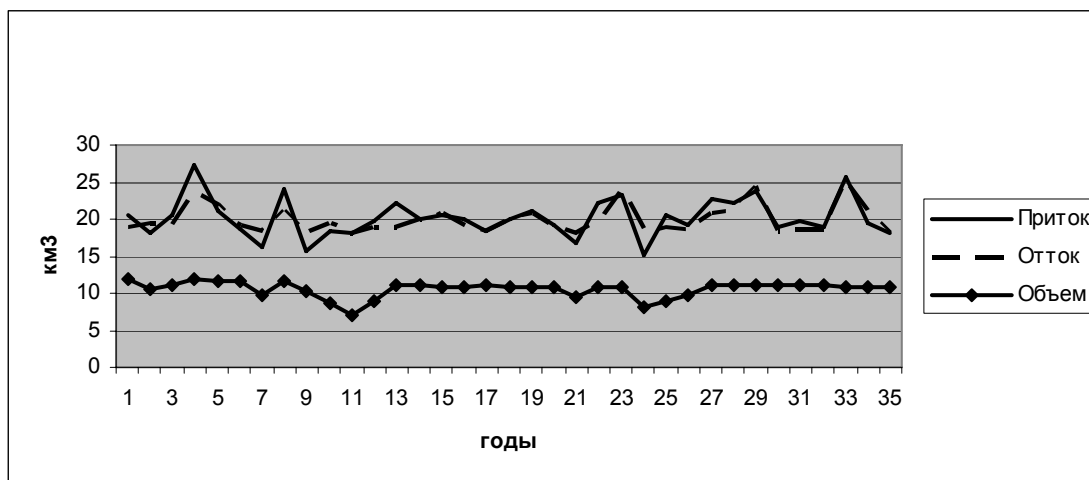


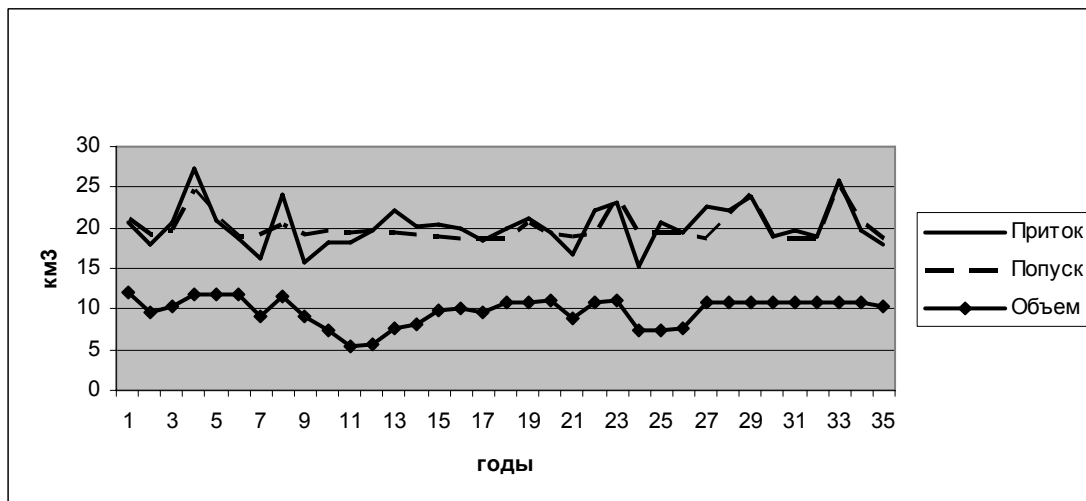
Рис 2.6. Приток, попуск и объем воды в Рогунском водохранилище
Варианты 2. Период 2016-2055 гг.

В варианте 1 осуществляется сезонное регулирование стока реки Вахш Рогунским гидроузлом. Ограниченный объем полезной емкости (в начале периода - 5.3 км^3 , а в конце - 3.6 км^3) позволяет в энергетическом режиме (вариант 1) наполнять водохранилище в вегетацию в объемах $1.2...3.9 \text{ км}^3$ и сбрасывать этот объем в межвегетационные периоды практически в тех же объемах $1.2...3.5$.

При работе Рогуна в ирригационном режиме (вариант 2) объем регулирования уменьшается (**приближается к бытовому стоку**), со сброской в межвегетацию $0.7...2.4 \text{ км}^3$, наполнением в вегетационные периоды не более 3.5 км^3 и сброской в маловодные годы до 0.8 км^3 (частичное многолетнее регулирование).



**Рис 2.7. Приток, попуск и объем воды в Рогунском водохранилище
Варианты 3.5. Период 2021-2055 гг.**



**Рис 2.8. Приток, попуск и объем воды в Рогунском водохранилище
Варианты 4. Период 2021-2055 гг.**

Регулирование стока реки Вахш Рогунским водохранилищем в энергетическом (3) и энерго-ирригационном (5) вариантах совпадает (рис. 2.7). Осуществляется многолетнее регулирование в интересах гидроэнергетики, предусматривающее сработку водохранилища в межвегетационный период в пределах $3.3 \dots 6.2 \text{ км}^3$ (**что ниже современных энергетических попусков из Нурекского водохранилища**) и наполнение в вегетацию в пределах $2.6 \dots 7.8 \text{ км}^3$.

Ирригационный режим работы Рогунского водохранилища (вариант 4, рис. 2.8) предусматривает многолетнее регулирование, и в многолетнем разрезе, в основном, повторяет динамику энергетического режима, что свидетельствует о важности многолетнего накопления стока, как для энергетики, так и ирригации, но отличается в сезонном перераспределении стока.

В межвегетацию объемы сработки водохранилища составляют $0.7 \dots 3.4 \text{ км}^3$, что вызывает ущербы в энергетике; в вегетацию наполнение водохранилища не превышает 4 км^3 , а сработка в особо маловодные годы достигает 1.3 км^3 , **что предупреждает появление дефицита в орошаемом земледелии на современном уровне водопотребления.**

Нурекское водохранилище осуществляет сезонное регулирование. В энергетическом варианте (3) происходит его наполнение в вегетацию ($0.4 \dots 2.1 \text{ км}^3$) и сработка в межвегетационные периоды ($0.7 \dots 2.2 \text{ км}^3$), что усиливает энергетическую работу Рогунского водохранилища и негативное влияние совместного регулирования на режим реки Амударьи и водообеспеченность орошаемого земледелия в маловодные годы.

Ирригационный вариант работы Нурекского водохранилища (4) предусматривает значительное снижение сработки водохранилища в межвегетацию ($0 \dots 1.0 \text{ км}^3$) и уменьшение объемов наполнения водохранилища в вегетационный период ($0 \dots 2.1 \text{ км}^3$). В маловодные годы в вегетацию предусматривается незначительная сработка водохранилища (0.3 км^3).

Энерго-ирригационный режим работы Нурекского водохранилища предусматривает перерегулирование стока реки Вахш ниже Рогунского водохранилища в интересах ирригации. Для чего осуществляется наполнение водохранилища в межвегетационный период ($0 \dots 2.6 \text{ км}^3$) и его сработка в межвегетацию ($0 \dots 3.3 \text{ км}^3$).

В приложении 2 (таблицы 1..10) приводятся графики сезонных объемов наполнения и сработки Рогунского и Нурекского водохранилищ за весь расчетный период (2006-2055 гг.), по которым можно судить, для каждого расчетного варианта регулирования стока, о возможном влиянии этих водохранилищ на режим реки Вахш.

2.2.3. Оценка водохозяйственной ситуации

Оценка водохозяйственной ситуации включает:

- вариантную оценку по периодам влияния регулирования стока Рогунским и Нурекским водохранилищами на режим рек бассейна, в том числе дополнительного влияния по сравнению с существующим регулированием стока Нурекским гидроузлом,
- вариантную оценку водообеспеченности водохозяйственных районов бассейна (зон планирования),
- вариантную оценку приточности реки к контрольным створам среднего и нижнего течений Амударьи, а также сравнение расчетного притока в Приаралье с экологическими требованиями к стоку Амударьи.

Основные факторы, влияющие на сток рек, водообеспеченность водохозяйственных зон (зон планирования) и природных комплексов:

- Водность естественных ресурсов рек бассейна,
- Водопотребление, которое будет меняться со временем в зависимости от сценариев развития стран,
- Водоотведение - сброс коллекторного стока с зон планирования, согласно сценариям развития,
- Сезонное и многолетнее регулирование стока в водохранилищах Вахско-Амударьинского каскада (удовлетворение требований орошаемого земледелия, гидроэнергетики и экологических требований).

В таблице 2.2.1 приводятся сезонные (вегетация, межвегетация) показатели влияния регулирования стока Рогунским и Нурекским водохранилищами на бытовые (естественные) режимы рек. Объемы изъятия и прибавления стока по периодам первоначального наполнения Рогунского водохранилища (2011/12-2014/15, 2011/12-2019/20) и его эксплуатации на проектных отметках (2015/16-2055/56, 2020/21-2055/56), по 5 вариантам регулирования стока приведены здесь как средние значения за периоды.

В таблице 2.2.2 приведены те же показатели, но как изменения (дополнительное изъятие и прибавка) к существующему регулированию стока Нурекским водохранилищем (современный уровень).

Таблица 2.2.1.

Объемы изъятия и прибавления стока к бытовому режиму по периодам и вариантам регулирования стока, средние значения за периоды, по сезонам (вегетация - IV-IX, межвегетация - X-III), км³/сезон

Вариант	Период влияния	Кол-во лет	Изъятие стока		Прибавка стока	
			IV-IX	X-III	IV-IX	X-III
1	2011/12-2014/15	4	4.79	0.02	0	3.23
	2015/16-2055/56	41	5.54	0	0	5.28
2	2011/12-2014/15	4	4.79	0.02	0	3.23
	2015/16-2055/56	41	2.25	0	0	2.24
3	2011/12-2019/20	9	4.55	0.09	0	3.3
	2020/21-2055/56	36	6.36	0	0	6.46
4	2011/12-2019/20	9	4.55	0.09	0	3.3
	2020/21-2055/56	36	2.72	0	0	2.74
5	2011/12-2019/20	9	4.55	0.09	0	3.3
	2020/21-2055/56	36	4.93	1.26	1.36	5.09

Таблица 2.2.2

Объемы дополнительного изъятия и прибавления стока к существующему уровню регулирования стока Нурекским водохранилищем по вариантам регулирования, средние значения за периоды, по сезонам км³/сезон

Вариант	Период влияния	Кол-во лет	Изъятие стока		Прибавка стока	
			IV-IX	X-III	IV-IX	X-III
1	2015/16-2055/56	41	2.0	0	0	2.0
2	2015/16-2055/56	41	0	1.2	1.2	0
3	2020/21-2055/56	36	2.9	0	0	2.9
4	2020/21-2055/56	36	0	0.8	0.8	0
5	2020/21-2055/56	36	0	0.3	0.3	0

Наибольшее влияние совместная работа Рогунского и Нурекского гидроузлов оказывает на естественные режимы рек при энергетических вариантах регулирования стока (варианты 1, 3), наименьшее - при ирригационных (варианты 2, 4). Из-за ограничений полезных емкостей влияние водохранилищ по варианту 1 меньше влияния по варианту 3.

По сравнению с существующим режимом работы Нурекского водохранилища в период начального наполнения Рогунского водохранилища ожидается дополнительное изъятие стока реки Вахш Рогунским гидроузлом в объемах 1.2...1.5 км³ в вегетацию, часть которого (0.2...0.3 км³) будет компенсирована Нуреком.

Однако в многолетнем ряду показатели средних лет будут резко отличаться от отдельных колеблющихся значений годового стока (приложение 3 табл. 3.4).

При совместной работе Рогунского и Нурекского гидроузлов (в период эксплуатации Рогуна на проектной мощности) в энергетическом режиме (варианты 1 и 3) ожидается в среднем за период **дополнительное изъятие стока реки Вахш в вегетацию в размере 2.0...2.9 км³**, с дополнительной сработкой этого объема в межвегетацию.

При работе водохранилищ в ирригационном режиме (варианты 2 и 4) ожидается дополнительная сработка в вегетацию 0.8...1.2 км³, с уменьшением сработки на эти объемы в межвегетацию.

Совместная работа водохранилищ в энерго-ирригационном режиме (вариант 5) оказывает почти такое же влияние на режим рек, как и современная работа Нурекского водохранилища, с небольшим перерегулированием в интересах ирригации (0.3 км³ в год).

Ниже в таблицах 2.2.3 и 2.2.4 приводятся результаты расчета стока реки Амударьи и водообеспеченности бассейна по всем вариантам развития.

Для сравнения приведем режим работы Нурека на перспективу по варианту ба энергетический «сохранение существующих тенденций» и 6б - «оптимистический».

Средний за период расчетный сток реки Амударьи в створе Келиф изменяется по вариантам от 56.8 до 58.1 км³, то есть не более чем на 2 %, в вегетацию - от 36.0 до 40.2 км³, то есть на 10 %, а в межвегетацию - от 17 до 21.6 км³, то есть уже на 21 %.

В створе Саманбай изменчивость стока по вариантам возрастает. Годовые значения изменяются от 7.5 до 12.0 км³ (на 38 %), за вегетацию - от 1.6 до 6.0 км³ (на 73 %).

Таблица 2.2.3.

Средний расчетный сток р. Амударьи в основных створах по сезонам (X-III, IV-IX), за год (IV-III), средние значения за 2006-2055 гг., км³

Сценарии развития	Варианты регулирования	IV-IX	X-III	IV-III
Створ Келиф (выше водозабора в Каракумский канал)				
Сохранения существующих тенденций	1a - энергетический	38.12	18.90	57.02
	2a - ирригационный	40.62	16.34	56.96
	3a - энергетический.	37.43	19.46	56.89
	4a - ирригационный	40.12	16.72	56.84
	5a - энерго-ирригационный	39.48	17.42	56.90
Оптимистичный	1b - энергетический	37.71	18.79	56.50
	2b – ирригационный	40.21	16.23	56.44
	3b - энергетический.	37.02	19.35	56.37
	4b – ирригационный	39.71	16.61	56.32
	5b - энерго-ирригационный	39.07	17.31	56.38
Национальный	1c - энергетический	35.71	18.15	53.86
	2c - ирригационный	38.21	15.94	54.15
	3c - энергетический.	35.02	18.71	53.73
	4c - ирригационный	37.71	15.97	53.68
	5c - энерго-ирригационный	37.07	16.67	53.74
Створ Саманбай (приток в Приаралье)				
Сохранения существующих тенденций	1a - энергетический	4.93	3.73	8.66
	2a – ирригационный	5.28	2.23	7.51
	3a - энергетический.	4.15	4.13	8.28
	4a – ирригационный	4.90	2.30	7.20
	5a - энерго-ирригационный	4.54	3.01	7.55
Оптимистичный	1b - энергетический	6.03	5.67	11.70
	2b – ирригационный	7.80	3.66	11.46
	3b - энергетический.	4.89	6.61	11.50
	4b – ирригационный	7.59	3.70	11.29
	5b - энерго-ирригационный	6.71	4.65	11.36
Национальный	1c - энергетический	3.51	1.25	4.76
	2c – ирригационный	3.29	1.07	4.36
	3c - энергетический.	2.95	2.10	5.05
	4c – ирригационный	3.12	0.83	3.95
	5c - энерго-ирригационный	2.77	1.67	4.44

В створе Келиф годовые значения стока Амударьи по оптимистичному сценарию несколько ниже стока, рассчитанного по сценарию сохранения существующих тенденций, так как здесь значительно влияние водозабора из Афганистана, который частично компенсируется уменьшением водозаборов Сурхандарьи и Таджикистана. В створе Саманбай за счет сокращения водозаборов по оптимистичному сценарию, сток Амударьи по этому сценарию возрастает.

2.2.3. Показатели водообеспеченности, частоты перебоев и их величина в различных вариантах работы Рогуна

Таблица 2.5 суммирует показатели данных расчетов по каждой зоне планирования, на основе детальных расчетов (приложение 5). В результате сравнения гидрологических показателей складываются следующие сопоставительные данные (таблица 2.6.):

1. Группа энергетических режимов работы Рогуна (1 и 3) дает наибольшее уменьшение водопотребления и наибольшую частоту перебойных лет, при этом увеличение высоты плотины уменьшает эту частоту на 15 - 20 %. Однако размах этого уменьшения и, наоборот, увеличение повторения перебойных лет зависят, в основном, от сценария развития:

- при «сохранении тенденций» частота перебоев колеблется от 12 до 23 за 50-летний период, глубоких перебоев величиной более 10 % - от 3 до 2;
- при «оптимистическом сценарии» все показатели уменьшаются в 2-4 раза, особо в варианте 4В и 5В, где перебои почти что отсутствуют - коэффициент ущемления всего 0,998!
- при «национальных сценариях» число перебойных лет увеличивается от 28 до 39 в среднем в среднем, а при глубинах перебоев свыше 10% - от 31 до 35 лет. Коэффициент ущемления во всех вариантах колеблется в пределах 0,76-0,80.

2. Переход на ирригационный режим при сценарии «существующих тенденций» влияет незначительно - в пределах 2 % по среднегодовым показателям водообеспеченности, в 2 раза сокращается число перебойных лет, хотя глубоко перебойных - всего на 10%. Но в национальных сценариях эти показатели остаются почти такими же, как в энергетических сценариях.

3. По приведенным режимам пусков высота плотины влияет незначительно. Однако это не означает, что это в действительности так, ибо по нашему мнению причина кажущейся этой незначительности в недостаточном учете или нежелании демонстрировать возможность многолетнего регулирования, которое создается при строительстве Рогуна с отметкой НПГ 1290. Маловодье целого ряда лет может быть свободно покрыто или даже сведено к нулю с использованием Рогуна - наполнением водой в многоводном 2019 г. и опорожнением в маловодном 2020 г., аналогично - 2028 и 2029 гг., 2043 и 2044 и др. Это еще раз демонстрирует, что проектировщики Лахмайер практически отошли от принципов работы Рогуна, которое было предусмотрено в начальном проекте САО «Гидропроект».

Таблица 2.2.4.

**Расчетный объем водозабора (км³/год) и обеспеченность
(расчетный/требования) зон планирования, средние значения за 2006-2055 гг.**

Зона планирования	Показатель	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Сценарий сохранения существующих тенденций (а)				
Туркменистан				
- Лебап	Объем	4.1	4.4	4.4
	Обеспеченность	0.93	1.00	1.00
- зона Каракумского канала	Объем	11.4	11.9	11.8
	Обеспеченность	0.97	1.01	1.0
- Дашховуз	Объем	5.6	5.7 5.6	
	Обеспеченность	0.97	0.98	0.97
Узбекистан				
- Сурхан-дарья	Объем	3.8	3.8	3.8
	Обеспеченность	1.00	1.00	1.00
- Карши	Объем	4.3	4.6	4.5
	Обеспеченность	0.93	1.00	0.98
- Бухара и Навои	Объем	4.2	4.6	4.4
	Обеспеченность	0.93	1.02	0.97
- Хорезм	Объем	4.6	4.7	4.7
	Обеспеченность	0.95	0.98	0.98
- Каракалпакстан	Объем	7.8	8.0	7.9
	Обеспеченность	0.95	0.98	0.96
Сценарий оптимистичный (b)				
Туркменистан				
- Лебап	Объем	3.8	3.8	3.8
	Обеспеченность	1.00	1.00	1.00
- зона Каракумского канала	Объем	10.1	10.2	10.1
	Обеспеченность	1.00	1.01	1.00
- Дашховуз	Объем	4.7	5.0	4.9
	Обеспеченность	0.94	1.00	1.98
Узбекистан				
- Сурхандарья	Объем	3.0	3.0	3.0
	Обеспеченность	1.00	1.00	1.00
- Карши	Объем	3.5	3.6	3.5
	Обеспеченность	1.00	1.02	1.00
- Бухара и Навои	Объем	3.4	3.5	3.5
	Обеспеченность	0.97	1.00	1.00
- Хорезм	Объем	3.6	3.7	3.6
	Обеспеченность	0.97	1.00	0.97
- Каракалпакстан	Объем	6.1	6.2	6.1
	Обеспеченность	0.96	0.98	0.97

Таблица 2.2.5.

Показатели влияния различных вариантов работы Рогуна на сток в створе Келиф

	Вариант	Число перебойных лет	Максимальная глубина колебания	Число перебойных лет свыше 10 %	Средняя водообеспеченность вегетации	Средний дефицит, км ³ /год	Средний дефицит в вегетацию %	Средний дефицит по году в %	Средняя подача в вегетацию, км ³ /год
Плотина на отметке 1240	1A	23	0,75	12	0,9474	1,625	5,26	3,686	29,27
	1B	4	0,82	2	0,9912	0,222	0,88	0,617	25,03
	1C	41	0,40	35	0,7788	8,332	22,12	15,656	29,336
	2A	13	0,83	2	0,9842	0,4882	1,58	1,10	30,41
	2B	2	0,9	0	0,9968	0,0808	0,32	0,22	25,173
	2C	44	0,48	31	0,7884	7,970	21,16	14,88	29,697
Плотина на отметке 1290	3A	20	0,75	10	0,9558	1,366	4,42	3,10	29,534
	3B	3	0,85	2	0,9932	0,1717	0,68	0,4	25,0823
	3C	44	0,39	34	0,7886	8,716	23,14	16,3	28,952
	4A	8	0,85	2	0,9844	0,327	1,06	0,7	30,572
	4B	2	0,90	-	0,9978	0,056	0,22	0,1	25,198
	4C	39	0,48	32	0,7952	7,714	20,48	14,4	29,954
	5A	12	0,80	3	0,98	0,618	2,0	1,4	30,282
	5B	3	0,92	-	0,997	0,076	0,3	0,2	25,1782
	5C	42	0,43	34	0,7838	8,143	21,62	15,2	29,524

Часть III Оценка социально-экономических и экологических последствий при вводе в работу Рогунского гидроузла

Рогунский гидроузел, который проектировался как многолетний регулятор Вахша, бесспорно должен улучшить устойчивость водного режима Вахша и Амударьи благодаря возможности частично сглаживать те колебания в водном режиме, которыми характерна эта река.

Начиная с 60-х годов прошлого столетия, Центральная Азия в целом и бассейн Амударьи в частности стали субъектами крупного водохозяйственного, индустриального и сельскохозяйственного развития. В этих условиях речной естественный режим требовал определенных гарантий возможности его корректировки в годы максимальных отклонений. Освоение верховьев Амударьи в Таджикистане (Яван-Обиикской массив, Дангара), в Туркменистане (Каракумский канал), в Узбекистане (Карши, Бухара, низовья Каракалпакии) увеличили площади орошаемых земель в бассейне почти вдвое. В результате объем водозабора достиг 85 % общих располагаемых водных ресурсов в бассейне Амударьи и далеко превысил экологически допустимые пределы. Аральское море, по сути, было принесено в жертву новому развитию. Тем не менее, опасность неустойчивости стока реки была явно продемонстрирована в течение второй половины XX века. Достаточно перечислить маловодные периоды (рис.3.1.) 1951...1952, 1957...1958, 1965...1966, 1974...1975, 1982...1983, 1986...1987, 2000...2002, чтобы убедиться в необходимости сглаживать колебания естественного режима реки.

«Схема комплексного использования гидроэнергетических режимов бассейна реки Амударьи» предусматривала, что Рогунское водохранилище будет играть роль многолетнего регулятора и увеличивать производство электроэнергии. При этом именно Рогун будет работать в энергетическом режиме, покрывая потребности в электроэнергии, а Нурекское водохранилище будет работать в режиме ирригационных пусков с учетом максимального удовлетворения потребностей орошаемого земледелия и в меньшей степени - экологических пусков.

Такой режим, очевидно, в настоящее время будет наиболее правильным, что позволит, учитывая новые требования, тенденции и стремления к достижению консенсуса в рациональном использовании воды избежать серьезных последствий, при стремлении всех стран снизить суммарное водопотребление исходя из линии на водосбережение. Так, в работе таджикских специалистов И.Ш.Норматова и Г.Н.Петрова такая линия поведения признается единственно правильной*.

Насколько данное положение нашло отражение в предложении «Лахмайер», мы увидим из анализа режимов реки, складывающихся под влиянием предполагаемой работы Вахшского каскада и его влияния на социально-экономические показатели регионов, питающихся водой из Амударьи.

* Использование водных ресурсов Центральной Азии для ирригации и гидроэнергетики: конфликт интересов или взаимовыгодное сотрудничество», Водные ресурсы Центральной Азии, 2005, том 2, № 2, с. 24-31

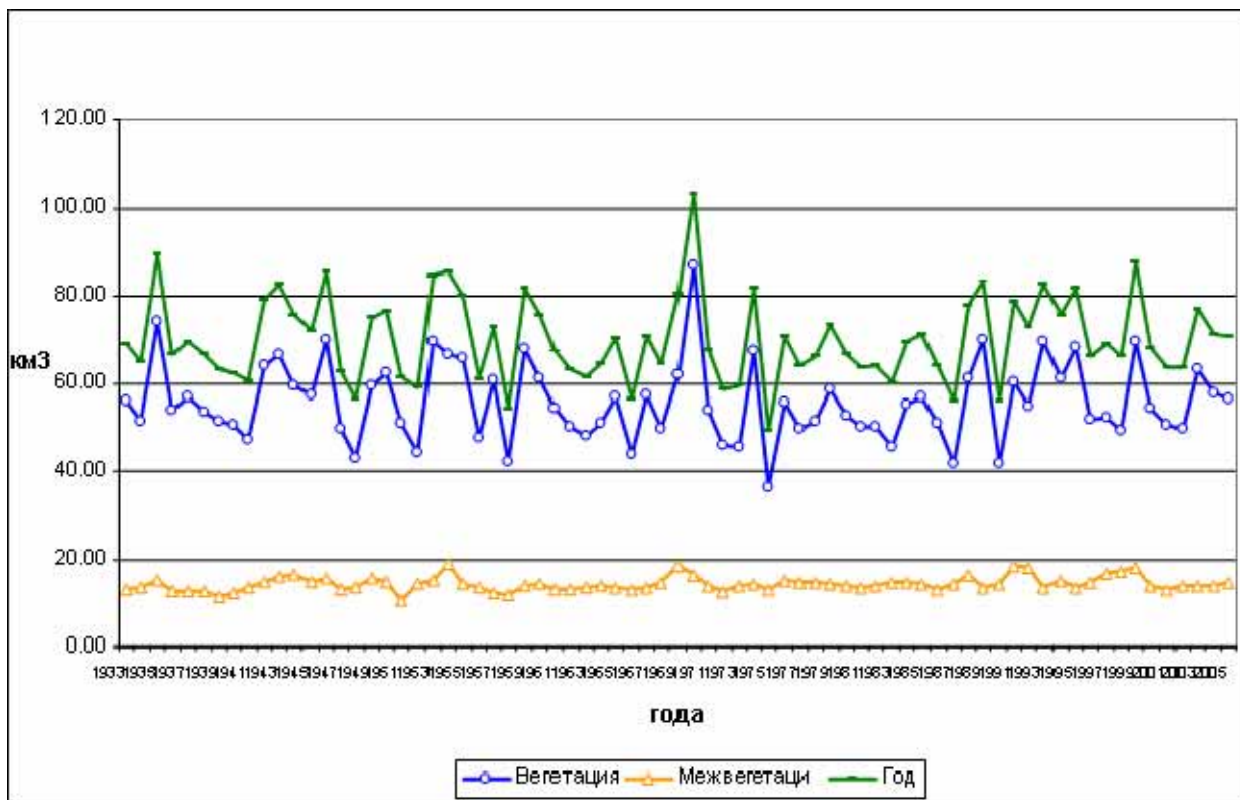


Рис 3.1. Суммарные естественные ресурсы малого бассейна реки Амударья

3.1. Основные положения к расчету социально-экономической и экологической эффективности работы Вахшского каскада

Река Амударья испокон веков питала орошаемые земли Хорезма, Каракалпакии, Ташауза, Чарджоу, а после строительства Каракумского, Каршинского и Амубухарского каналов больше половины сельского населения Центральной Азии оказались зависимыми от устойчивого водоснабжения из реки.

Учитывая, что водоснабжение населения, промышленности является незыблемым приоритетом в водообеспечении, все отклонения в возможной подаче воды будут отражаться на главном водопотребителе региона - на орошаемом земледелии. Поэтому в нашем анализе все социально-экономические показатели рассматриваются с позиции влияния режимов реки на водоподачу орошаемому земледелию и на удовлетворение экологических попусков. Исходные данные к расчету социально-экономического влияния в разрезе стран и зон планирования приведены в табл. 3.1. Из нее можно сделать выводы.

Таблица 3.1

Экономические показатели водных ресурсов бассейна реки Амударья

Области	Год	Фактический водозабор на орошение на границе областей млн. м ³	Орошаемая площадь нетто, тыс.га	Удельное водопотребление на орошение м ³ /га	Валовая продукция сельского хозяйства, млрд.\$	Валовая продукция на гектар \$	Продуктивность оросительной воды \$/м ³
Таджикистан							
Нижне-Кафирниганская	1980	554	42	13251	0,0980	2344	0,177
	1990	563	51	11112	0,0920	1815	0,163
	2000	535	51	10477	0,0210	411	0,039
	2001	491	52	9491	0,0210	406	0,043
	2002	533	53	10121	0,0220	417	0,041
	2003	554	51	10780	0,0250	486	0,045
	2004	553	52	10707	0,0270	523	0,049
Вахшская	1980	3185	143	22240	0,4280	2989	0,134
	1990	3341	159	21064	0,4300	2711	0,129
	2000	3236	159	20339	0,1080	679	0,033
	2001	3036	163	18671	0,1060	652	0,035
	2002	3201	177	18105	0,1140	645	0,036
	2003	3171	170	18631	0,1230	723	0,039
	2004	3223	171	18838	0,1400	818	0,043
Пянджская	1980	1344	83	16227	0,2570	3104	0,191
	1990	1388	91	15308	0,2580	2845	0,186
	2000	1415	90	15771	0,0750	836	0,053
	2001	1327	88	15092	0,0780	887	0,059

Области	Год	Фактический водозабор на орошение на границе областей млн. м ³	Орошаемая площадь нетто, тыс.га	Удельное водопотребление на орошение м ³ /га	Валовая продукция сельского хозяйства, млрд.\$	Валовая продукция на гектар \$	Продуктивность оросительной воды \$/м ³
	2002	1242	87	14205	0,0780	892	0,063
	2003	1504	89	16955	0,0860	970	0,057
	2004	1269	89	14262	0,0940	1056	0,074
Верхне-Кафирниганская	1980	355	58	6070	0,3270	5599	0,922
	1990	345	54	6411	0,3230	6004	0,937
	2000	454	44	10339	0,0810	1845	0,178
	2001	359	43	8373	0,0790	1841	0,220
	2002	292	48	6088	0,0840	1754	0,288
	2003	315	57	5499	0,0920	1606	0,292
	2004	329	59	5541	0,1000	1686	0,304
Каратаг-Ширкентская	1980	234	17	14030	0,0540	3234	0,230
	1990	211	17	12363	0,0560	3275	0,265
	2000	224	18	12800	0,0150	857	0,067
	2001	214	18	12206	0,0140	800	0,066
	2002	230	17	13627	0,0150	888	0,065
	2003	230	17	13690	0,0170	1012	0,074
	2004	227	17	13494	0,0190	1131	0,084
Гармская	1980	42	15	2695	0,0710	4610	1,711
	1990	41	20	2025	0,0830	4089	2,019
	2000	39	21	1867	0,0230	1090	0,584
	2001	39	22	1791	0,0230	1070	0,597
	2002	40	21	1904	0,0240	1148	0,603

Области	Год	Фактический водозабор на орошение на границе областей млн. м ³	Орошаемая площадь нетто, тыс.га	Удельное водопотребление на орошение м ³ /га	Валовая продукция сельского хозяйства, млрд.\$	Валовая продукция на гектар \$	Продуктивность оросительной воды \$/м ³
	2003	39	22	1806	0,0260	1198	0,663
	2004	39	24	1654	0,0300	1266	0,765
Горно-Бадахшанская	1980	342	17	20138	0,0690	4059	0,202
	1990	340	23	14967	0,0680	2996	0,200
	2000	333	23	14292	0,0190	815	0,057
	2001	331	19	17036	0,0190	979	0,057
	2002	331	22	15100	0,0200	913	0,060
	2003	332	21	16195	0,0220	1073	0,066
	2004	331	22	15338	0,0240	1111	0,072
Итого по Таджикистану	1980	6055	375	16134	1,3040	3475	0,215
	1990	6230	414	15051	1,3100	3165	0,210
	2000	6236	406	15372	0,3420	843	0,055
	2001	5795	404	14362	0,3400	843	0,059
	2002	5868	425	13824	0,3570	841	0,061
	2003	6145	427	14405	0,3910	917	0,064
	2004	5971	433	13786	0,4340	1002	0,073
Узбекистан							
Бухарская	1980	3378	282	11981	0,6600	2341	0,195
	1990	3361	346	9728	0,8884	2571	0,264
	2000	3337	271	12329	0,3814	1409	0,114
	2001	3166	271	11678	0,3890	1435	0,123
	2002	3391	271	12525	0,3230	1193	0,095

Области	Год	Фактический водозабор на орошение на границе областей млн. м ³	Орошаемая площадь нетто, тыс.га	Удельное водопотребление на орошение м ³ /га	Валовая продукция сельского хозяйства, млрд.\$	Валовая продукция на гектар \$	Продуктивность оросительной воды \$/м ³
	2003	3953	270	14618	0,3350	1239	0,085
	2004	4103	270	15179	0,3670	1358	0,089
Кашкадарьинская	1980	4335	348	12457	0,8200	2356	0,189
	1990	4701	486	9676	0,5252	1081	0,112
	2000	4307	498	8653	0,2254	453	0,052
	2001	3905	499	7832	0,2410	483	0,062
	2002	5307	498	10651	0,2240	450	0,042
	2003	4992	499	10003	0,3770	756	0,076
	2004	5152	501	10287	0,4090	817	0,079
Навоийская	1980	187	18	10226	0,0629	3434	0,336
	1990	275	32	8562	0,1024	3194	0,373
	2000	661	52	12802	0,0688	1332	0,104
	2001	564	53	10591	0,0760	1426	0,135
	2002	566	49	11572	0,0614	1255	0,108
	2003	688	49	14047	0,0652	1331	0,095
	2004	588	50	11792	0,0697	1398	0,119
Сурхандарьинская	1980	721	61	11818	0,1949	3192	0,270
	1990	1608	126	12777	0,4002	3179	0,249
	2000	1756	153	11480	0,2032	1328	0,116
	2001	1943	165	11785	0,2411	1462	0,124
	2002	1345	98	13676	0,1221	1242	0,091
	2003	1312	93	14166	0,1101	1189	0,084

Области	Год	Фактический водозабор на орошение на границе областей млн. м ³	Орошаемая площадь нетто, тыс.га	Удельное водопотребление на орошение м ³ /га	Валовая продукция сельского хозяйства, млрд.\$	Валовая продукция на гектар \$	Продуктивность оросительной воды \$/м ³
	2004	1314	97	13491	0,1214	1246	0,092
Хорезмская	1980	3163	192	16440	0,5000	2599	0,158
	1990	3535	259	13675	0,6341	2453	0,179
	2000	3198	273	11723	0,2722	998	0,085
	2001	2766	273	10133	0,2820	1033	0,102
	2002	3880	273	14212	0,2460	901	0,063
	2003	4290	273	15713	0,2610	956	0,061
	2004	4576	274	16731	0,2880	1053	0,063
Каракалпакстан	1980	7811	343	22780	0,5600	1633	0,072
	1990	5998	493	12159	0,2883	584	0,048
	2000	3994	492	8126	0,1238	252	0,031
	2001	2945	491	6000	0,1120	228	0,038
	2002	7555	491	15394	0,0930	189	0,012
	2003	8137	490	16604	0,1100	224	0,014
	2004	7757	490	15837	0,1300	265	0,017
Итого по Узбекистану	1980	19595	1245	15745	2,7978	2248	0,143
	1990	19477	1741	11187	2,8386	1630	0,146
	2000	17253	1737	9931	1,2748	734	0,074
	2001	15290	1752	8728	1,3411	766	0,088
	2002	22044	1680	13121	1,0696	637	0,049
	2003	23372	1674	13961	1,2583	752	0,054
	2004	23491	1682	13968	1,3851	824	0,059

Области	Год	Фактический водозабор на орошение на границе областей млн. м ³	Орошаемая площадь нетто, тыс.га	Удельное водопотребление на орошение м ³ /га	Валовая продукция сельского хозяйства, млрд.\$	Валовая продукция на гектар \$	Продуктивность оросительной воды \$/м ³
Киргизстан							
Алайская и итого по Киргизстану	1980	60	21	2946	0,0012	58	0,020
	1990	72	21	3430	0,0006	30	0,009
	2000	31	14	2266	0,0045	335	0,148
	2001	34	14	2493	0,0063	462	0,185
	2002	26	13	2099	0,0056	442	0,211
	2003	36	14	2621	0,0105	765	0,292
	2004	23	13	1700	0,0083	619	0,364
Туркменистан							
Дашховузкая	1980	6154	203	30314	0,3516	1732	0,057
	1990	5779	325	17759	0,5042	1549	0,087
	2000	4641	411	11286	0,1524	371	0,033
	2001	3112	411	7568	0,1787	435	0,057
	2002	6167	411	14998	0,1919	467	0,031
	2003	6546	412	15874	0,1976	479	0,030
	2004	6946	414	16778	0,1911	462	0,028
Марыйская	1980	3748	218	17211	0,2187	1005	0,058
	1990	4449	256	17392	0,3027	1183	0,068
	2000	4185	340	12304	0,0540	159	0,013
	2001	4249	359	11841	0,0624	174	0,015
	2002	4048	327	12390	0,0596	182	0,015
	2003	4112	302	13636	0,0540	179	0,013

Области	Год	Фактический водозабор на орошение на границе областей млн. м ³	Орошаемая площадь нетто, тыс.га	Удельное водопотребление на орошение м ³ /га	Валовая продукция сельского хозяйства, млрд.\$	Валовая продукция на гектар \$	Продуктивность оросительной воды \$/м ³
	2004	4139	335	12373	0,0627	187	0,015
Лебапская	1980	5327	172	30969	0,7442	4327	0,140
	1990	4825	263	18330	0,8667	3293	0,180
	2000	4275	296	14462	0,1211	410	0,028
	2001	4799	296	16236	0,1301	440	0,027
	2002	5081	296	17189	0,1333	451	0,026
	2003	4424	296	14945	0,1479	500	0,033
	2004	4837	299	16187	0,1589	532	0,033
Ахалская	1980	3696	216	17140	0,1945	902	0,053
	1990	4364	291	15017	0,2475	852	0,057
	2000	4833	519	9318	0,2850	550	0,059
	2001	4742	524	9043	0,3895	743	0,082
	2002	4604	528	8725	0,4886	926	0,106
	2003	4727	572	8262	0,4975	869	0,105
	2004	4739	573	8264	0,5239	914	0,111
Итого по Туркменистану	1980	18924	808	23409	1,5090	1867	0,080
	1990	19416	1135	17107	1,9211	1693	0,099
	2000	17934	1566	11455	0,6125	391	0,034
	2001	16902	1590	10630	0,7608	478	0,045
	2002	19900	1561	12747	0,8734	559	0,044
	2003	19809	1582	12521	0,8969	567	0,045
	2004	20660	1621	12748	0,9367	578	0,045

Области	Год	Фактический водозабор на орошение на границе областей млн. м ³	Орошаемая площадь нетто, тыс.га	Удельное водопотребление на орошение м ³ /га	Валовая продукция сельского хозяйства, млрд.\$	Валовая продукция на гектар \$	Продуктивность оросительной воды \$/м ³
Итого по странам ЗП	1980	44635	2449	18227	5,612	2292	0,126
	1990	45195	3311	13650	6,070	1833	0,134
	2000	41454	3722	11137	2,234	600	0,054
	2001	38021	3759	10115	2,448	651	0,064
	2002	47839	3678	13005	2,306	627	0,048
	2003	49362	3697	13354	2,557	692	0,052
	2004	50144	3749	13376	2,764	737	0,055

В период социалистического развития и плановой экономики уровень цен на производимую продукцию не зависел от колебания рыночных цен, а в основном, определялся общественно-необходимой стоимостью производственной продукции. Орошаемое земледелие основывалось на высоком уровне механизации и аграрной технологии (по уровню применения удобрений, гербицидов, технологической последовательностью обработки почв).

Это определило на уровне 1980 г. достаточно высокую удельную продуктивность орошаемых земель - в Таджикистане более 3000 \$/га при преобладании овощей, фруктов и других высокоэффективных культур, в Туркмении - 1867 \$/га и в Узбекистане - 2250 \$/га при преобладании в обеих странах хлопководства и рисосеяния. Средняя продуктивность воды при этом была близка или даже превышала 10 центов за кубометр воды. На площади 2449 тыс. га, оснащенных ирригационной сетью, производилось 5,6 млрд. долл. продукции растениеводства.

В 1980...1990 гг. освоение земель и развитие орошаемого земледелия продолжилась, что позволило при снижении удельного водопотребления с 18,3 тыс. м³/га до 13,6 тыс. м³/га увеличить площадь орошения на 862 тыс. га и дать объем продукции растениеводства в 6,0 млрд. долл.

Перестройка и критическое отношение к водному хозяйству несколько снизили внимание к нему и значительно уменьшили финансирование водного сектора и орошения, что привело к некоторому снижению продуктивности орошаемого земледелия с 2292 до 1833 долл. на 1 га.

После приобретения независимости и вовлечения всех стран Центральной Азии в орбиту мировой рыночной экономики произошли изменения в продуктивности сельского хозяйства и его экономических механизмах. Перестройка организационных принципов, ликвидация крупных механизированных хозяйств, реструктуризация колхозов и совхозов, потеря дотаций, инвестиций, разрушение снабженческой и бытовой инфраструктур - все это, почти сохранив площади орошаемых земель в прежнем размере (за исключением Каракалпакии), снизило продуктивность земель в среднем в 3 раза к 1996 г., а кое-где и больше. Такие изменения были вызваны не только снижением урожайности (рис. 3.2), которая упала по основным культурам не более 30 %, сколько изменением экономической политики и соответствующих цен - мировых и региональных.

Маловодье 2000-2001 гг. также резко ударило по растениеводству, что особенно отразилось в низовьях, где продуктивность упала до 250-350 \$/га за счет к тому же крайне неравномерного распределения воды в маловодные годы.

Тем не менее, проведенные реформы в сельском хозяйстве начали давать свои результаты. С 2002 г. начался устойчивый рост и урожайности и продуктивности земель, чему способствовало и достаточная водность периода 2002-2005 гг. В настоящее время мы предполагаем, что эта тенденция будет сохраняться в направлении роста продуктивности земель, что нашло отражение в приведенных расчетах. Величина среднегодового тренда роста продуктивности земель составила к 2002 г. для Туркменистана 3,7 % в год, для Узбекистана - 8,7 % в год.

Один из важных аспектов орошаемого земледелия особо в сельской местности - это его влияние на величину, так называемого, сопряженного эффекта и сферы обслуживания.

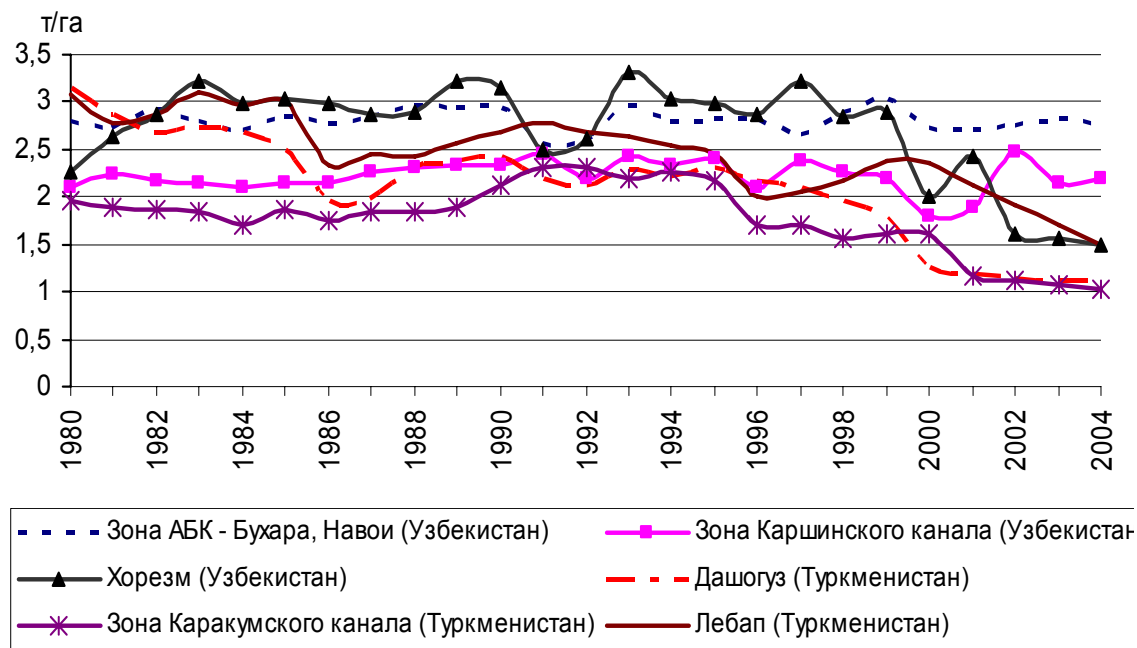


Рис. 3.2 Урожайность хлопчатника в бассейне Амударьи

Этому вопросу посвящены различные исследования, как в мировой, так и русскоязычной литературе. Наиболее детально применительно к хлопководству это влияние описано в работе IHE-UNESCO*, где показано, что 1 доллар продукции хлопководства создает 2,5 \$ продукции в сопряженных отраслях агроиндустрии - переработке волокна, пряжи, масла, жмыха и т.д. (рис.3.3). Для американской практики экономический эффект сопряженных отраслей еще больше и превышает 3,5 в связи с мощным развитием инфраструктуры аграрного сектора**.

По нашим расчетам, проведенным в рамках проекта «РиверТвин» для бассейна реки Чирчик, было установлено, что в среднем 1 доллар продукции растениеводства создает 0,53 долл. продукции в перерабатывающей отрасли. Кроме того, соответственно необходимо учитывать зависимость сферы обслуживания от объема производственной продукции в сельском хозяйстве. Эта доля составляет 0,32 к объему растениеводства.

* Hoekstra A.Y. Hung I.Q., 2002, Virtual water trade: quantification of virtual water flows between nations, UNESCO-IHE, RRS, # 11, Delft, Netherlands.

** Ольга Бигдай, "Олигополизация аграрного сектора США", Экономика сельского хозяйства, № 4, 2006, М., с. 87.

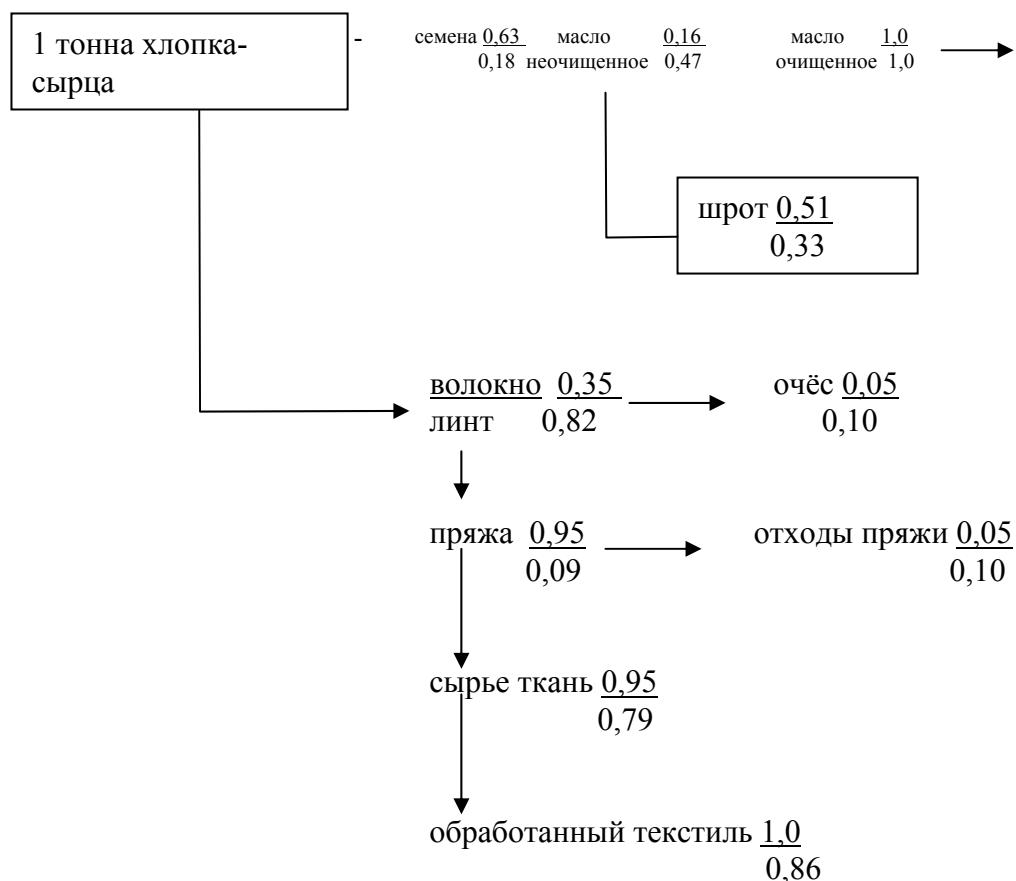


Рис. 3.3. Соотношение хлопка-сырца и производных продуктов хлопководства

в числителе - доля основного продукта весовая, идущая на вспомогательный продукт;

в знаменателе - доля в стоимостном выражении участия первого продукта в 1 тонну вторичной продукции.

Таким образом, основные положения расчета социально-экономического влияния водообеспечения на развитие и благосостояние сводятся к следующему:

1. Расчеты водообеспеченности и соответственно их социально-экономического влияния производятся для каждой зоны планирования (см. часть 1-2).

2. При дефиците воды в целом по бассейну общий недостаток воды распределяется пропорционально между Туркменистаном и Узбекистаном и по их зонам планирования по отношению к расчетному потреблению воды. На Таджикистан это снижение не распространяется.

3. Расчетное водопотребление в варианте «сохранение существующих тенденций» принято на уровне 2004 г., в варианте «оптимистический» - на уровне оптимистического сценария, разработанного НИЦ МКВК на 2030 г.^{*}, в варианте «национальный» - на основе сценариев, выработанных каждой страной в отчете «WEAMP» (проект GEF).

4. Влияние недоводообеспеченности по каждой зоне планирования проводится по сравнению с удельной водоподачей на га, запланированной на данный год.

^{*} «Дренаж в бассейне Аральского моря в направлении стратегии устойчивого развития», НИЦ МКВК, Ташкент, 2004 г.

5. Режим воды в реке определяется по модели ASBMM, ее гидрологического блока, на основе заданных попусков из Нурека для вариантов:

- энергетический режим при отметке НПУ 1240 м;
- ирригационный режим при отметке НПУ 1240 м;
- энергетический режим при отметке НПУ 1290 м;
- ирригационный режим при отметке НПУ 1290 м;
- смешанный режим при отметке НПУ 1290 м;

6. Тренд продуктивности земель до 2030 г. определяется по соотношению продуктивности 2004 г. к 2002 г.

Полученный % роста закладывается в тренд K_{rp}

для Узбекистанских ЗП - 1,087

для Туркменских ЗП - 1,037

В результате

$$P_t = K_{rp} P_{t-1}$$

$$V_{nt} = K_{rp} V_{nt-1},$$

Где

P_t V_{nt} -- продуктивность и объем продукции.

При достижении по каждой ЗП удельной продуктивности 1990 г., рост продуктивности приостанавливается.

7. В каждом из перебойных лет вводится коэффициент снижения продуктивности по уменьшению урожайности на основании формулы (90) из сборника ФАО-56 пропорционально урезке водообеспеченности в расчетном периоде

$$K_B = \frac{W_n - W_\phi}{W_n} = \frac{\Delta W}{W_n}$$

где

W_n - потребное количество воды в год

W_ϕ - фактическая подача воды в год

Учитывая неравномерность ущемления в различные периоды (по опыту 2000 ... 2001 и 2006 гг.) « K_B » умножается на 1,5, т.к. урезка отдельных критических периодов превышает в среднем на 50 % среднегодовой уровень водного дефицита (рис. 3.4).

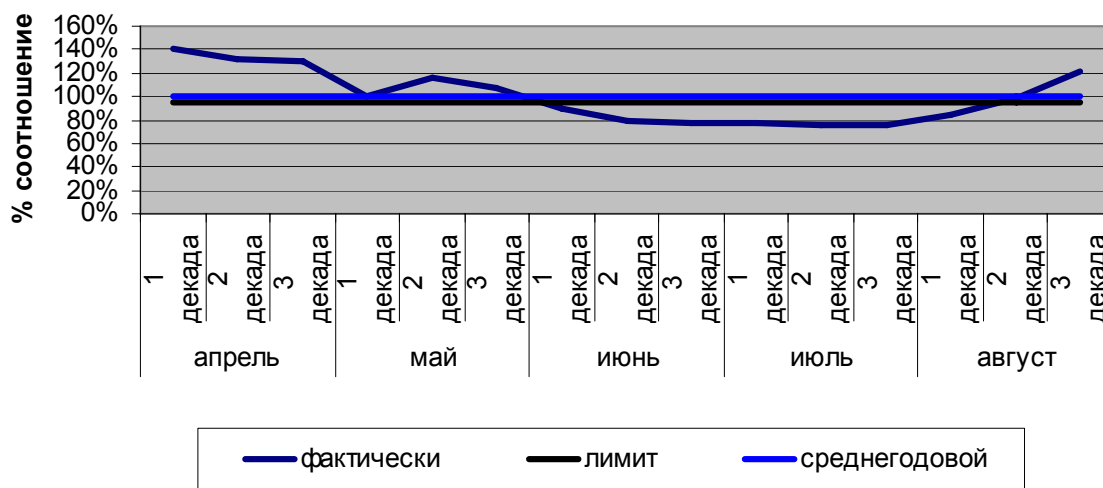


Рис. 3.4. Колебания водопользования по декадам вегетации на примере 2006 г.

8. Определяется потеря продукции орошаемого земледелия

$$V_{nt}^w = V_{nt} \times 1,5 \times K_v$$

9. Потеря продуктивности сопряженной агроиндустрии и сферы обслуживания определяется по соотношениям, полученным по результатам обследования в проекте РиверТвин:

$K_{au} = 0,53$ - где K_{au} - доля валовой продукции агроиндустрии по отношению к сельскому хозяйству;

$K_{co} = 0,32$ - где K_{co} - доля валовой продукции сферы обслуживания по отношению к сельскому хозяйству.

Общие потери валовой продукции составят:

$$\Sigma V_{nt}^w = V_{nt}^w \times 1,85$$

3.2. Оценка возможного влияния Рогунского водохранилища на социально-экономические показатели региона

Поставленная перед нами задача оценки возможности влияния Рогунского водохранилища на социально-экономические показатели региона могла бы быть успешно решена для намеченных пяти вариантов сочетания режима и параметров плотины, если бы прогноз социально-экономического развития и водного сектора был бы однозначен. Между тем, как было уже показано ранее, существует целый ряд различных сценариев будущего развития, которые можно свести к трем основным:

- сохранение существующих тенденций - сценарий А;
- оптимистический вариант - сценарий В;
- национальный вариант - сценарий С.

Таблица 3.2

Показатели влияния различных вариантов работы Рогуна на сток в створе Келиф

	Вариант	Число перебо- йных лет	Максимальная глубина колебания	Число перебо- йных лет свыше 10 %	Средняя водообеспеченность вегетации	Средний дефицит, км ³ /год	Средний дефицит в вегетацию %	Средний дефицит по году в %	Средняя подача в вегетацию, км ³ /год
Плотина на отметке. 1240	1A	23	0,75	12	0,9474	1,625	5,26	3,686	29,27
	1B	4	0,82	2	0,9912	0,222	0,88	0,617	25,03
	1C	41	0,40	35	0,7788	8,332	22,12	15,656	29,336
	2A	13	0,83	2	0,9842	0,4882	1,58	1,10	30,41
	2B	2	0,9	0	0,9968	0,0808	0,32	0,22	25,173
	2C	44	0,48	31	0,7884	7,970	21,16	14,88	29,697
Плотина на отметке 1290	3A	20	0,75	10	0,9558	1,366	4,42	3,10	29,534
	3B	3	0,85	2	0,9932	0,1717	0,68	0,4	25,0823
	3C	44	0,39	34	0,7886	8,716	23,14	16,3	28,952
	4A	8	0,85	2	0,9844	0,327	1,06	0,7	30,572
	4B	2	0,90	-	0,9978	0,056	0,22	0,1	25,198
	4C	39	0,48	32	0,7952	7,714	20,48	14,4	29,954
	5A	12	0,80	3	0,98	0,618	2,0	1,4	30,282
	5B	3	0,92	-	0,997	0,076	0,3	0,2	25,1782
	5C	42	0,43	34	0,7838	8,143	21,62	15,2	29,524

Экономические показатели, особо в условиях переходной экономики, являются достаточно неопределенными величинами, поэтому говорить о достоверности проводимых прогнозов очень трудно. В это же время чувствительность благосостояния и экономики и особенно населения была убедительно продемонстрирована всем, кто пережил эти времена - в 1974 ... 76 гг. в советский период. Тогда на ликвидацию последствий были сконцентрированы огромные силы и финансы, это же имело место и в прошедшие 2000 ... 2001 гг., когда сил было брошено много, средств меньше и последствия были очень ощутимы. Можно сказать с уверенностью, что, например, и ныне Ташауз и Каракалпакстан не восстановили свой потенциал в растениеводстве, потерянный в эти последние маловодные годы. Об этом свидетельствуют наши анализы, проведенные в работе «Обоснование ИУВР в низовьях Амударьи и Сырдарьи».

Тем не менее, на основе положений и допущений, изложенных нами ранее в разделе 3.1, осуществлен расчет для каждой зоны планирования (ЗП) предполагаемых

возможных последствий ущемления воды при различных вариантах Рогуна, его режимов и сценариев развития. Из таблицы 3.2 виден огромный разброс значений и показателей в различных вариантах, описанных выше. Тем не менее, можно с уверенностью сделать выводы, показывающие порядок и направленность влияния расчетных факторов.

В целом, переход от энергетического режима попусков к ирригационному при отметке 1240 и при отметке 1290 уменьшают среднегодовой размер ущерба в 3-4 раза при всех сценариях развития. Но, если при оптимистичном сценарии он близок к нулю, то в сценарии сохранения существующих тенденций измеряется десятками млн. в год, а при национальных сценариях - сотнями млн. в год.

Увеличение высоты плотины (возможно вследствие отмеченного нами невнимания к многолетнему регулированию) уменьшает социально-экономические потери на 20 %.

Общие величины потерь по ЗП и по республикам приведены в таблицах 3.3, 3.4.

Таблица 3.3

Потеря млн. \$
Суммарные потери за весь период расчета

Вари-анты		КАРАКАЛПАКСТАН (Узбекистан)	ХОРЕЗМ (Узбекистан)	ДАШОГУЗ (Туркменистан)	Зона Каракумского канала (Туркменистан)	Зона АБК - Бухара, Навои (Узбекистан)	Зона Каршинского канала (Узбекистан)	Лебап (Туркменистан)	Итого	Варианты	
1	a	1410,497	1716,509	1182,027	1455,311	1994,213	1554,735	1250,277	10563,567	a	Сохранения тенденций
	b	150,2235	231,63	151,389	243,474	278,6385	231,5565	116,2875	1403,199	b	Оптимист
	c	6162,561	7293,285	5327,415	6148,509	8453,6	6560,399	5863,637	45809,405	c	Национал
2	a	376,194	483,0525	324,7335	437,1465	567,525	451,962	320,355	2960,9685	a	Сохранения тенденций
	b	36,204	72,849	46,179	88,536	90,216	78,729	33,138	445,851	b	Оптимист
	c	5885,727	6960,435	5091,488	5871,834	8068,775	6263,249	5591,516	43733,022	c	Национал
3	a	1139,828	1399,262	994,7595	1222,904	1630,419	1278,218	1062,411	8727,7995	a	Сохранения тенденций
	b	104,559	168,9975	115,4685	188,139	204,918	172,6305	86,394	1041,1065	b	Оптимист
	c	6469,425	7641,351	5595,774	6437,832	8856,017	6871,133	6216,549	48088,08	c	Национал
4	a	224,5215	309,9705	209,076	293,2755	367,416	297,444	191,7405	1893,444	a	Сохранения тенденций
	b	22,9215	46,1265	32,7915	60,8685	57,141	49,854	21,9555	291,6585	b	Оптимист
	c	5682,378	6716,979	4926,411	5669,466	7787,303	6045,905	5387,694	42216,135	c	Национал
5	a	484,533	615,9825	429,9225	553,35	722,2845	573,1005	429,891	3809,064	a	Сохранения тенденций

Вари-анты		КАРАКАЛПАКСТАН (Узбекистан)	ХОРЕЗМ (Узбекистан)	ДАШОГУЗ (Туркменистан)	Зона Каракумского канала (Туркменистан)	Зона АБК - Бухара, Навои (Узбекистан)	Зона Каршинского канала (Узбекистан)	Лебап (Туркменистан)	Итого	Варианты	
	b	32,4975	65,394	44,058	83,0025	80,997	70,6755	30,4605	407,085	b	Оптимист
	c	6032,306	7118,301	5221,788	6003,057	8251,292	6404,183	5756,577	44787,503	c	Национал

Таблица 3.4

Потеря млн. \$
Средние потери .в год за период в 50 лет

Варианты		КАРАКАЛПАКСТАН (Узбекистан)	ХОРЕЗМ (Узбекистан)	ДАШОГУЗ (Туркменистан)	Зона Каракумского канала (Туркменистан)	Зона АБК - Бухара, Навои (Узбекистан)	Зона Каршинского канала (Узбекистан)	Лебап (Туркменистан)	Итого	Варианты	
1	a	28,20993	34,33017	23,64054	29,10621	39,88425	31,0947	25,00554	211,2713	a	Сохранение тенденций
	b	3,00447	4,6326	3,02778	4,86948	5,57277	4,63113	2,32575	28,06398	b	Оптимист
	c	123,2512	145,8657	106,5483	122,9702	169,072	131,208	117,2727	916,1881	c	Национал
2	a	7,52388	9,66105	6,49467	8,74293	11,3505	9,03924	6,4071	59,21937	a	Сохранение тенденций
	b	0,72408	1,45698	0,92358	1,77072	1,80432	1,57458	0,66276	8,91702	b	Оптимист
	c	117,7145	139,2087	101,8298	117,4367	161,3755	125,265	111,8303	874,6604	c	Национал
3	a	22,79655	27,98523	19,89519	24,45807	32,60838	25,56435	21,24822	174,556	a	Сохранение тенденций
	b	2,09118	3,37995	2,30937	3,76278	4,09836	3,45261	1,72788	20,82213	b	Оптимист

Энерг. 1240

Ирриг. 1240

Энерг. 1290

Варианты		КАРАКАЛПАКСТАН (Узбекистан)	ХОРЕЗМ (Узбекистан)	ДАШОГУЗ (Туркменистан)	Зона Каракумского канала (Туркменистан)	Зона АБК - Бухара, Навои (Узбекистан)	Зона Каршинского канала (Узбекистан)	Лебап (Туркменистан)	Итого	Варианты	
	с	129,3885	152,827	111,9155	128,7566	177,1203	137,4227	124,331	961,7616	с	Национал
4	а	4,49043	6,19941	4,18152	5,86551	7,34832	5,94888	3,83481	37,86888	а	Сохранение тенденций
	б	0,45843	0,92253	0,65583	1,21737	1,14282	0,99708	0,43911	5,83317	б	Оптимист
	с	113,6476	134,3396	98,52822	113,3893	155,7461	120,9181	107,7539	844,3227	с	Национал
5	а	9,69066	12,31965	8,59845	11,067	14,44569	11,46201	8,59782	76,18128	а	Сохранение тенденций
	б	0,64995	1,30788	0,88116	1,66005	1,61994	1,41351	0,60921	8,1417	б	Оптимист
	с	120,6461	142,366	104,4358	120,0611	165,0258	128,0837	115,1315	895,7501	с	Национал

Ирриг.1290

Энер-Ирриг.1290

3.3. Оценка экологических последствий различных вариантов строительства и режимов Рогунского водохранилища

В основу определения степени влияния различных вариантов строительства, режимов попусков на экологическую ситуацию, в основном, в низовьях рек приняты исследования, проведенные НИЦ МКБК совместно с Mountain Unlimited (Австрия), DHV Consultants (Netherlands) и Sibico International (Россия) по программе INTAS/RFBR-1733 и совместно с «Ecotec Resource» (Netherlands) по программе НАТО SFP 974357. В соответствии с этими разработками под названиями соответственно «Оценка социально-экономических последствий экологического бедствия - усыхания Аральского моря» и «Южное Приаралье - новые перспективы» наряду с оценкой ущербов от несоблюдения экологических попусков в Приаралье разработан комплекс мероприятий по обеспечению устойчивого экологического режима дельты реки Амударьи при новых гидрологических условиях.

В этих работах определены следующие требования дельты и в целом Приаралья для среднего и многоводных лет - 8 км^3 , для маловодных лет - 3 км^3 речной воды. Требования для маловодных лет установлены необходимостью поддержания определенного баланса объема и минерализации воды в дельтовых водоемах, обеспечивающих нормальные условия для выживания рыбы, ее нереста, а также выращивания пушнины и тростника. Этот объем определяется покрытием испарения с поверхности водоемов и ветландов, а также минимальными условиями проточности.

Принятые параметры экологических попусков заложены в анализ природоохранных последствий Рогунского водохранилища, приведенных в таблице 3.9. Сопоставление приведено по ряду показателей:

- суммарная водоподача воды в дельту за 50 лет;
- удельная водоподача воды в дельту в среднем за год;
- суммарное отклонение от назначенных экологических попусков;
- удельные отклонения от этих попусков в среднем за год;
- минимальная величина подачи воды в дельту за весь период наблюдения;
- число лет, в течение которых не соблюдался экологический попуск за весь период расчета;
- число маловодных лет, в которых не выдерживаются минимальные попуски в размере $3,0 \text{ км}^3$ в год;
- случаи высыхания дельты при недодаче воды в размере $3,0 \text{ км}^3$ в течение более 2 лет.

Сравнение различных вариантов показывает следующие результаты.

1. В среднем по многолетнему ряду при сценариях «сохранение существующих тенденций» и «оптимистическом» не наблюдается дефицита против экологических требований. Дефицит наблюдается в среднем по всей длительности ряда в 50 лет лишь в сценариях национальных. Однако дефицит против требуемых попусков в отдельные годы прослеживается во всех сценариях развития. Повторяемость и величина при этом незначительны - от 2 до 5 лет или от 4 до 10 % при оптимистических сценариях. Более весомы - от 14 до 22 лет или от 28 до 44 % при сценарии сохранения существующих тенденций и 35 ... 37 лет или от 70 до 74 % лет при национальных сценариях.

2. Соответственно этим показателям максимальная глубина дефицита экологических попусков, рассчитанная за весь период наблюдений наименьшая в

оптимистических сценариях - от 0,6 до 2,0 км³ в год, при сохранении существующих тенденций от 0,72 до 2,39 км³ в год, наибольшая в «национальных сценариях» - от 1,32 до 2,63 км³ в год против минимально допустимого в маловодный год 3,0 км³. Практически это означает (табл. 3.5), что во всех оптимистических сценариях случаев высыхания дельты не имеется, ибо при подаче до 1 куб.км дельта сохраняет какой-то минимальный объем водоемов, в сценариях «сохранение тенденций» дельта полностью высыхает 1 раз в 50 лет, в национальных - 2-3 раза за 50 лет.

3. Влияние высоты плотины на экологические попуски около 5 %, при этом повышение высоты уменьшает общий размер попусков. Ирригационный режим ухудшает условия формирования экологических попусков в пределах 15 %.

4. Практически по всем показателям все варианты плотин и ее режимы при оптимистических сценариях обеспечивают благоприятный экологический режим.

5. Ранжирование по среднегодовому отклонению от намеченного экологического попуска представляется следующим образом по убыванию ущерба:

- вариант 1В - энергетический режим, оптимистический сценарий высота 1240 + 6,1 км³/год;
- вариант 3В - энергетический режим, оптимистический сценарий высота 1290 + 5,903 км³/год;
- вариант 2В - ирригационный режим, оптимистический сценарий высота 1240 + 5,858 км³/год;
- вариант 5В - смешанный режим, оптимистический сценарий высота 1290 + 5,764 км³/год;
- вариант 4В - ирригационный режим, оптимистический сценарий высота 1290 + 5,688 км³/год;
- вариант 1А - энергетический режим, сценарий «сохранение существующих тенденций» высота 1240 + 3,06 км³/год;
- вариант 3А - энергетический режим, сценарий «сохранение существующих тенденций» высота 1290 + 2,678 км³/год;
- вариант 5А - смешанный режим, сценарий «сохранение существующих тенденций» высота 1290 + 1,95 км³/год;
- вариант 2А - ирригационный режим, сценарий «сохранение существующих тенденций» высота 1240 + 1,91 км³/год;
- вариант 4А - ирригационный режим, сценарий «сохранение существующих тенденций» высота 1290 + 1,603 км³/год;
- вариант 3С - энергетический режим, сценарий «национальный» высота 1290 - 0,556 км³/год;
- вариант 1С - энергетический режим, сценарий «национальный» высота 1240 - 0,84 км³/год;
- вариант 5С - смешанный режим, сценарий «национальный» высота 1290 - 1,159 км³/год;
- вариант 2С - ирригационный режим, сценарий «национальный» высота 1240 - 1,236 км³/год;
- вариант 4С - ирригационный режим, сценарий «национальный» высота 1290 - 1,642 км³/год.

Таблица 3.5

Анализ обеспечения экологическими попусками режима реки Амударьи в створе Саманбай

Варианты	1А	1Б	1С	2А	2Б	2С	3А	3Б	3С	4А	4Б	4С	5А	5Б	5С
1. Суммарная подача в дельту, км ³	432,99	584,95	238,21	375,63	572,90	218,19	413,9	575,1	252,2	360,27	564,42	197,88	377,69	568,2	222,04
2. Сумма отклонений от установленного, км ³	152,99	304,95	-41,79	95,63	292,90	-61,81	133,9	295,2	-27,8	80,27	284,42	-82,12	97,69	288,2	-57,96
3. Минимальная подача, км ³	0,77	2,41	0,37	0,67	2,41	0,7	2,41	2,41	1,08	1,27	1,0	0,38	1,68	1,57	0,37
4. Число лет нарушающих режим попусков	14	2	36	21	5	36	14	4	35	22	5	39	18	5	37
5. В т.ч. маловодных	8	2	16	12	3	16	5	2	12	12	3	21	8	3	15
6. Удельная в среднем в год подача в дельту, км ³	8,6597	11,62	4,764	7,51	11,458	4,3639	8,278	11,503	5,044	7,205	11,29	3,4575	7,554	11,364	4,440
7. Удельное отклонение, км ³	3,06	6,1	-0,84	1,91	5,858	-1,236	2,678	5,903	-0,556	1,603	5,6885	-1,642	1,9538	5,764	-1,159
8. Случаи высыхания	1	-	3	1	-	2	1	-	3	1	-	3	1	-	3

Стоимостная оценка экологических последствий проводилась по рядам лет (табл. 3.6), исходя из стоимости ущерба от недоподачи воды, определена на основании первого из вышеуказанных исследований в 0,37 цента за 1 м³ или 3,7 млн.\$/1 км^{3*}

Таблица 3.6

Показатели экологических ущербов при различных режимах работы.

	Сценарии развития	Варианты работы Рогуна				
		1 - энергетический.	2 - ирригационный	3 - энергетический.	4 - ирригационный	5 - смешанный
Суммарное отклонение по невыполнению требований за весь период, км ³	A	14,1	32,59	2,69	32,11	6,66
	B	1,32	5,51	2,73	7,18	5,92
	C	109,45	129,18	102,62	157,43	127,97
Максимальное годовое отклонение по невыполнению требований, км ³ /год	A	2,88	3,90	0,73	3,60	1,98
	B	0,73	2,28	0,75	2,30	1,9
	C	6,87	6,90	6,18	6,97	6,9
Суммарный экологический ущерб за весь период расчета, млн. \$	A	73,7	120,91	9,98	119,13	24,70
	B	4,90	20,44	10,12	26,6	21,96
	C	406,06	479,25	380,72	584,06	474,76
Максимальное значение годового значения экологического ущерба, млн. \$	A	4,90	14,47	2,71	9,76	7,34
	B	2,708	10,39	2,58	13,36	7,049
	C	25,49	25,60	22,92	25,86	25,60

Таким образом, данные по экологическому ущербу по многолетнему ряду и по максимальному году подтверждают сделанные выводы о значительном экологическом ущербе в национальных сценариях, сопоставляемых по величине с величиной социально-экономического ущерба в среднем на уровне 20-30 %, достаточно незначительные потери в оптимистическом варианте и несколько колеблющиеся величины ущербов в сохранении существующих тенденций. При этом в энергетическом варианте экологические потери больше в несколько раз. Соотношение размера экологического и социально-экономического влияния по вариантам приведено в таблице 3.7 в процентах по году максимального экологического ущерба.

* "Оценка социально-экономических последствий экологического бедствия – усыхания Аральского моря", НИЦ МКВК, 2001 г., стр. 82

Таблица 3.7

Отношение величины экологических потерь к социально-экономическим, в %

Варианты	1	2	3	4	5
сценарии					
сохранение тенденций	2,32	24,43	1,5	25,77	9,63
оптимистический	9,91	116,5	12,39	229,0	86,58
национальный	2,7	2,93	2,38	3,06	2,85

Огромные величины социально-экономических потерь в сценарии «национального видения» сводят потери экологические относительно к минимальной доле по отношению к первым. В оптимистическом сценарии энергетические варианты дают ущерб около 10 %, в ирригационном возрастают в десятки раз, превышая экономические потери по абсолютной величине. В сценарии «сохранения тенденций» экологические потери колеблются от 1,5 до 25 % по отношению к годовой величине социально-экономических потерь. На порядок потери в энергетическом варианте ниже в процентах, чем в ирригационном варианте попусков. Высота плотины существенно влияет на уменьшение экологических потерь лишь в энергетическом варианте.

3.4. Сравнительные показатели влияния

Рогунского водохранилища с существующим режимом работы Нурекского гидроузла

В соответствии с письмом «Гидропроекта» от 10 января 2007 г. были проведены расчеты по 50-летнему ряду дополнительного варианта - работа Нурекского гидроузла в нынешнем режиме в трех различных вариантах (А,В,С) развития водохозяйственной обстановки А, В, С (приложение 6). Данный вариант рассчитан по тем же методическим положениям, что и предыдущие 15 вариантов, как в части социально-экономических показателей, так и в части экологических последствий. При этом в соответствии с теми же замечаниями были приняты 3 шкалы экологических требований: 3 км³ - резко маловодный год, 5 км³ и 8 км³.

Результаты сопоставительных расчетов приведены в таблицах 3.8 и 3.9.

Из таблицы 3.12, видно, что при пролонгации существующих режимов работы Нурека на перспективу, мы будем иметь достаточно значительное ущемление всех зон планирования в варианте «сохранение существующих тенденций» - 94,7 млн. долл. в год, намного меньше в «оптимистическом сценарии» - 12 млн. долл. И огромный ущерб, равный одной трети объема валового производства на 2004 г. (см. табл. 3.1), по сравнению с режимом бытового стока.

Если принять данное положение пролонгации “status quo” водохозяйственного режима Амударьи при работе Нурекского водохранилища за исходное при определении сравнительного ущерба социально-экономического развития региона, то мы получим следующие результаты:

Таблица 3.8

Оценка влияния Рогунского водохранилища по показателям ΔY - потерь (+) и прибавки (-) продукции орошаемого земледелия (млн.\$/год) при различных режимах совместной работы Рогунского и Нурекского водохранилища и сценариях развития стран бассейна. Средние значения за 2006-2055 гг.

		Без Рогуна			1.Энергетический			2.Ирригационный			3.Энергетический			4.Ирригационный			5.Энерго-Ирригационный		
		a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
Каракалпакстан	У	12,3	1,2	120,7	28,21	3,0	123,3	7,52	0,72	117,7	22,8	2,1	129,4	4,49	0,46	113,7	9,69	0,65	120,65
	ΔY				15,91	1,8	2,5	-4,78	-0,48	-3,01	10,5	0,9	8,68	-7,81	-0,74	-7,07	-2,61	-0,55	-0,07
Хорезм	У	14,97	1,52	141,9	34,33	4,63	145,9	9,66	1,45	139,2	27,99	3,38	152,8	6,2	0,92	134,3	12,32	1,31	142,36
	ΔY				19,36	3,1	4,0	-5,31	-0,07	-2,69	13,02	1,86	10,94	-8,77	-0,6	-7,59	-2,65	-0,21	0,47
Зона Каракумского канала	У	13,65	2,33	120,3	29,11	4,87	123	8,74	1,77	117,4	24,46	3,76	128,8	5,86	1,21	113,4	11,07	1,66	120,06
	ΔY				15,46	2,5	2,7	-4,91	-0,56	-2,83	10,81	1,43	8,49	-7,79	-1,12	-6,88	-2,58	-0,67	-0,21
Бухара+Наваи	У	18,04	2,47	165,3	39,88	5,57	169,1	11,35	1,8	161,4	32,61	4,1	177,1	7,34	1,14	155,8	14,45	1,62	165,02
	ΔY				21,84	3,1	3,8	-6,69	-0,67	-3,93	14,57	1,63	11,81	-10,7	-1,33	-9,56	-3,59	-0,85	-0,29
Карши	У	14,24	2,08	128,3	31,09	4,63	131,2	9,04	1,57	125,3	25,56	3,45	137,4	5,95	0,99	120,9	11,46	1,46	128,1
	ΔY				16,85	2,6	2,9	-5,2	-0,51	-3,04	11,32	1,37	9,12	-8,29	-1,09	-7,39	-2,78	-0,62	-0,2
Дашогуз	У	10,74	1,44	104,5	23,64	3,03	106,6	6,49	0,92	101,8	19,9	2,31	112	4,18	0,65	98,5	8,6	0,88	104,43
	ΔY				12,9	1,6	2,0	-4,25	-0,52	-2,7	9,16	0,87	7,42	-6,56	-0,79	-6,03	-2,14	-0,56	-0,1
Лебап	У	10,77	1,06	115,4	25	2,32	117,3	6,4	0,66	111,8	21,25	1,73	124,3	3,83	0,44	107,8	8,59	0,61	115,14
	ΔY				14,23	1,3	1,9	-4,37	-0,4	-3,55	10,48	0,67	8,95	-6,94	-0,62	-7,63	-2,18	-0,45	-0,24
Всего по бассейну	У	94,71	12,1	896,4	211,3	28,05	916,2	59,2	8,89	874,7	174,6	20,83	961,8	37,85	5,81	844,3	76,18	8,19	895,76
	ΔY	0	0	0	116,6	15,95	19,82	-35,5	-3,21	-21,8	79,86	8,73	65,41	-56,9	-6,29	-52,2	-18,53	-3,91	-0,64

Примечание: А - Сценарий сохранения существующих тенденций
В - Оптимистичный сценарий
С - Сценарий национального видения

1,2 - варианты при НПУ Рогуна - 1240м
3,4,5 - варианты при НПУ Рогуна - 1290м

Таблица 3.9

Оценка влияния Рогунского водохранилища по показателям d Э (+) покрытия и (-) увеличения дефицита экологических попусков по реке Амударья в Южное Приаралье (млрд.м³) при различных режимах совместной работы Рогунского и Нурекского водохранилищ и сценариев развития стран бассейна

Годы	1.Энергетический			2.Ирригационный			3.Энергетически			4.Ирригационный			5.Энерго-Ирригацион		
	А	В	С	А	В	С	А	В	С	А	В	С	А	В	С
2006-2007	2,10	1,79	0,86	0,55	0,24	0,86	2,1	1,79	0,86	0,55	0,24	0,86	0,86	0,55	0,86
2007-2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008-2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009-2010	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010-2011	0,88	-0,36	-0,36	-0,67	-0,36	-0,36	0,88	-0,36	-0,36	-0,67	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36	-0,36
2011-2012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012-2013	0,27	1,7	0,27	-0,04	0,85	0,27	0,27	1,7	0,27	-0,04	-0,3	0,27	0,27	0,27	0,27
2013-2014	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,73	0	0	-0,73	0	0	-0,73
2014-2015	0	0	-0,87	0	0	-0,87	0	0	-2,7	0	0	-2,7	0	0	-2,7
2015-2016	0	0	2,29	-0,9	0	-0,71	-0,58	0	-0,39	-0,58	0	-1,08	-0,58	0	-1,08
2016-2017	0	0	0,9	0	0	0,4	0	0	0,76	-0,02	0	0,06	0	0	0,06
2017-2018	0,83	0	1	0,83	0	2,33	0,73	0	0,11	-0,2	0	0,11	0,11	0	0,11
2018-2019	1,33	0	1,84	1,1	0	1,1	0,37	0	2,51	0,37	0	0,37	0,37	0	0,37
2019-2020	0	0	1,12	0	0	-0,08	0	0	0,02	0	0	-0,7	0	0	-0,7
2020-2021	0,44	2,07	-0,63	-0,59	2,07	-1,53	1,41	2,07	0,22	0,51	2,07	-1,89	0,66	2,07	-1,83
2021-2022	0	0	0,78	0	0	-0,22	0	0	3,08	0	0	-0,5	0	0	1,61
2022-2023	0	0	-0,44	0	0	-0,24	0	0	0,52	0	0	-0,13	0	0	0,88
2023-2024	0	0	0,4	0	0	-0,6	0	0	1,1	0	0	-2,7	0	0	-0,2
2024-2025	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2025-2026	0	0	0,8	0	0	0,5	0	0	0,6	0	0	0	0	0	2,06
2026-2027	0	0	0	-1,51	0	0	0	0	0	-0,81	0	0	0	0	0
2027-2028	2,59	0	0,01	1,35	0	0,01	2,59	0	0,01	1,86	0	0,01	2,05	0	0,01
2028-2029	0	0	0,6	0	0	-0,5	0	0	-0,9	-0,08	0	-1,8	-0,48	0	-2,02
2029-2030	0,4	0,57	0,86	0,71	0,57	0,23	1,8	0,57	0,86	0,11	0,57	0,24	1,65	0,57	-0,86
2030-2031	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2031-2032	0,24	0	0	0,24	0	0	0,24	0	0	0,24	0	0	0,24	0	0
2032-2033	0	0	0,5	0	0	0	0	0	1,49	0	0	0,4	-0,68	0	0,29
2033-2034	0	0	0,3	0	0	-2,8	0	0	-1,71	0	0	-2,1	0	0	-1,8
2034-2035	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2035-2036	1,23	0	0	0,2	0	0	1,23	0	0	-1,4	0	0	0,2	0	0
2036-2037	0,09	0	0	0,09	0	0	0,09	0	0	0,09	0	0	0,09	0	0

Годы	1.Энергетический			2.Ирригационный			3.Энергетически			4.Ирригационный			5.Энерго-Ирригацион		
	А	В	С	А	В	С	А	В	С	А	В	С	А	В	С
2037-2038	0	0	0	-0,58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2038-2039	0	0	0,3	0	0	0,2	0	0	1,09	0	0	-0,3	0	0	-0,5
2039-2040	0	0	0,2	0	0	0,27	0	0	0,2	0	0	-1,1	0	0	0,2
2040-2041	0,24	0	0,4	0,24	0	0,9	0,24	0	1,49	0,24	0	0,3	0,24	0	0,5
2041-2042	2,65	0	1,25	0,34	0	0,91	2,67	0	1,25	0,74	0	0,52	2,67	0	0,72
2042-2043	0	0	-0,5	0	0	-1,7	0	0	0,98	0	0	-2,1	0	0	-0,82
2043-2044	0	0	0,99	0	0	-1,19	0	0	2,09	0	0	-1,39	0	0	-0,2
2044-2045	1,98	0	0,01	1,12	0	-0,07	2	0	1,04	1,32	0	0,13	2,04	0	0,43
2045-2046	0	0	3,86	0	0	-0,01	0	0	3,96	0	0	-1,39	0	0	-0,6
2046-2047	0,27	0	1,1	-0,1	0	0,3	0,27	0	2,08	0,1	0	-1,09	-0,1	0	-0,1
2047-2048	0	0	0,3	0	0	-1,8	0	0	-1,1	0	0	-3	0	0	-1,01
2048-2049	0	0	-1,59	0	0	-1,58	0	0	-0,89	0	0	-1,69	0	0	0,3
2049-2050	0	0	-0,3	0	0	-0,3	0	0	0,5	0	0	-0,3	0	0	0,89
2050-2051	0	0	1,09	0	0	1,09	0	0	0,99	0	0	0,9	0	0	0,7
2051-2052	-0,9	0	0,89	0,2	0	0,99	-1	0	1,98	0,7	0	0,7	0,3	0	0,3
2052-2053	0	0	-0,69	0	0	-0,59	0	0	0,5	0	0	-0,39	0	0	-0,4
2053-2054	0	0	-0,2	0	0	-0,1	0	0	-0,2	0	0	-1,8	0	0	-0,7
2054-2055	0	0	0,11	0	0	-0,19	0	0	1,1	0	0	-0,88	0	0	1,3
2055-2056	2,36	0	0,2	2,05	0	0,5	2,36	0	1,69	1,2	0	1,2	1,2	0	1,2
Сумма за 2006-2056гг															
d Э (+)	17,90	6,13	23,23	9,02	3,73	10,86	19,25	6,13	33,35	8,03	2,88	6,07	12,95	3,46	13,06
d Э (-)	-0,90	-0,36	-5,58	-4,39	-0,36	-15,44	-1,58	-0,36	-8,98	-3,80	-0,66	-30,12	-2,20	-0,36	-16,61

Примечание: А - Сценарий сохранения существующих тенденций

В - Оптимистичный сценарий

С - Сценарий национального видения

1,2 - варианты при НПУ Рогуна - 1240м

3,4,5 - варианты при НПУ Рогуна - 1290м

1. Работа Рогуна + Нурека в энергетическом режиме как при НПУ 1240 м, так и 1290 м ухудшает нынешний режим Нурека и приводит к дополнительному ежегодному ущербу:

- В сценарии «сохранение существующих тенденций» на 116,6 млн. долл. в год при НПУ 1240 м и 79,86 млн. долл. в год НПУ 1290 м;
- В «оптимистическом сценарии» ущерб увеличивается на 16,0 и 8,7 млн. долл. в год соответственно;
- в «национальных сценариях» увеличивается на 20 и 65,4 млн. долл. в год.

В процентах к исходному данное изменение составляет в сценарии «Сохранение существующих тенденций» - на 55,2 и 59,6 %; в «оптимистическом сценарии» - 45,6 и 36,1 % в «национальном» - 2,2 и 6,8 %.

2. Работа Рогуна + Нурека в ирригационном варианте, так же как в смешанном улучшает нынешний режим Нурека и приводит к снижению того ущерба, который будет инициировать продление нынешнего режима Нурека на далекую перспективу:

- при сценариях «сохранение существующих тенденций» соответственно на 35,5; 56,9 и 18,5 млн. долл. США в год;
- при «оптимистическом» сценарии соответственно на 3,21; 6,29 и 3,91 млн. долл. США в год;
- при «национальном» сценарии соответственно 21,8; 52,2 и 0,64 (практически ничего) млн. долл. в год.

Это улучшение составляет при сценариях:

- «сохранение существующих тенденций» соответственно 60 %; 150,5 % и 24,12 %;
- «оптимистическом» сценарии соответственно 36,1; 108,3 % и 47,7 %;
- «национальном» сценарии соответственно 2,5; 6,2 и 0 %.

Практически во всех вариантах «оптимистического» сценария при «ирригационном» и «смешанном» режимах работы абсолютная величина ущерба в целом не превышает 0,4 % в год в среднем по бассейну и по абсолютной величине в пределах 1 млн. долл. США для каждой зоны планирования. Отсюда напрашивается вывод, что выживание бассейна, его успешное социально-экономическое развитие возможно лишь при ориентации всего водного, сельского хозяйства и отраслей водопользователей всех стран бассейна на «оптимистический» сценарий развития.

Желательно при этом перестроить «энерго-ирригационный» режим работы каскада Вахшских ГЭС - Рогун в энергетическом многолетнем режиме, Нурек - в ирригационном.

Приведение всех показателей экологической оценки к исходному режиму пролонгированного Нурека показано в таблице 3.9.

Как видно в целом по многолетнему ряду во всех режимах идет улучшение экологических показателей против пролонгации нынешнего режима Нурека, кроме «национальных сценариев» в вариантах 2, 4, 5, где происходит еще большее ухудшение экологической обстановки. Практически высота плотины мало влияет на соблюдение экологических попусков. Главное значение имеет «сценарий» развития и режим попусков.

3.5 Показатели производства электроэнергии Рогунским гидроузлом.

В таблице 3.10 и на графиках 3.5 и 3.6 приводятся результаты расчета выработки электроэнергии на Рогунской ГЭС в сравнении по вариантам высоты плотины и режимам работы гидроузла. Расчеты выполнялись с шагом сезон (вегетация, межвегетация) за период с 2012 по 2055 годы, т.е. после предполагаемого ввода в эксплуатации гидроузла и его наполнения до проектной отметки.

Таблица 3.10

Сравнение значений выработки электроэнергии на Рогунской ГЭС за 2012-2055 годы при различных вариантах высоты плотины (НПУ) и режимах работы (энергетический, ирригационный, энерго-ирригационный), ГВт. ч за год, за вегетацию и межвегетационный период

Выработка электроэнергии за 2012-2055 гг. ГВт. ч		НПУ 1240 м		НПУ 1290 м		
		Энергетический	Ирригационный	Энергетический	Ирригационный	Энерго-ирригационный
Значения за год	Средн	9821	9802	11477	11444	11481
	Max	12473	13364	14616	14674	14620
	Min	7687	7687	9043	9040	9045
Значения за вегетацию	Средн	6661	7330	6966	8273	6955
	Max	8811	10741	9841	11297	9724
	Min	4256	5979	5240	7034	5240
Значения за межвегетацию	Средн	3160	2472	4511	3173	4526
	Max	3334	2871	5473	3610	5475
	Min	1707	1710	2003	2010	2005

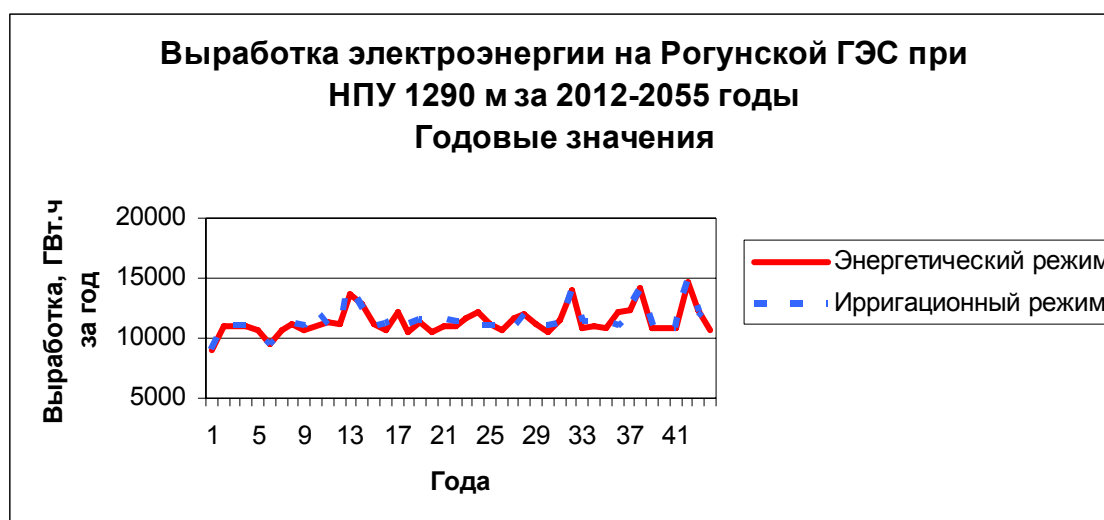


Рис. 3.5. Колебания водопользования по декадам вегетации на примере 2006 г.

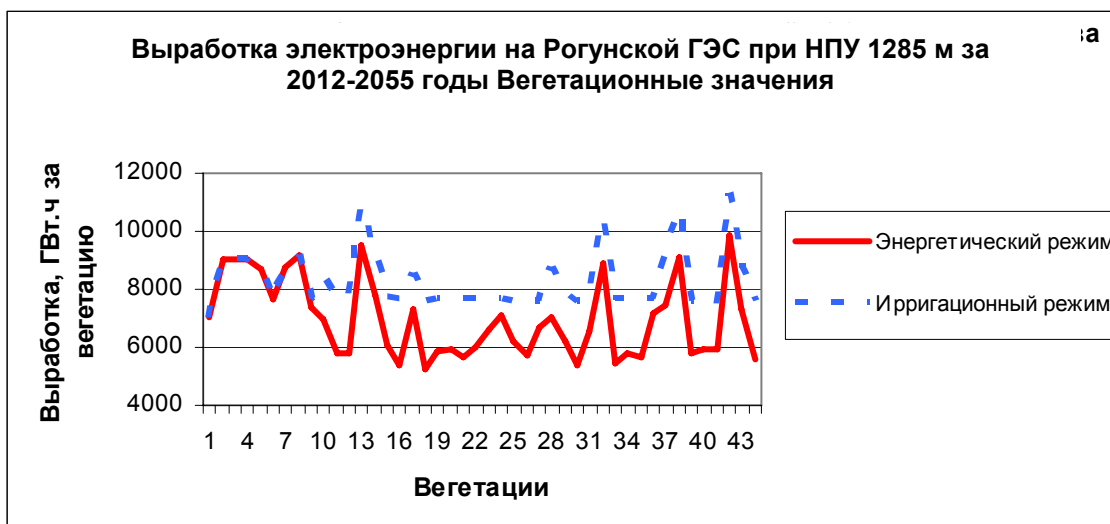


Рис. 3.6 Колебания водопользования по декадам вегетации на примере 2006 г.

Расчеты показали:

- При максимальной высоте плотины Рогунского гидроузла (НПУ 1290 м) и *энергетическом режиме* его работы средняя годовая за период 2012-2055 гг выработка составляет 11477 ГВт. ч / год, при колебаниях от 14616 до 9043 ГВт. ч / год. Средняя выработка за вегетацию (апрель-сентябрь) составляет 6966 ГВт. ч или 60 % от годовой выработки. *Энерго-ирригационный режим* Рогунской ГЭС фактически повторяет энергетический режим (отличие только по режимам работы Нурекской ГЭС).
- При максимальной высоте плотины Рогунского гидроузла (НПУ 1290 м) и *ирригационном режиме* средняя годовая выработка составляет 11446 ГВт. ч / год, при колебаниях от 14674 до 9040 ГВт. ч / год. Средняя выработка за вегетацию составляет 8273 ГВт. ч или 72 % от годовой выработки, что на 12 % выше, чем при энергетическом режиме.
- При минимальной высоте плотины Рогунского гидроузла (НПУ 1240 м) и энергетическом режиме средняя годовая выработка составляет 9821 ГВт. ч / год. Снижение выработки по сравнению с вариантом НПУ 1290 м составляет в среднем на 1675 ГВт. ч / год или 17 %. При той же высоте плотины, но ирригационном режиме средние годовые значения выработки фактически не изменились, с некоторым ростом доли вегетационной составляющей.

На рисунках 3,7-3,9 показаны режимы работы Рогунского водохранилища во внутригодовом разрезе для характерных по водности лет (маловодный, средний по водности и многоводный годы). Также хорошо видны особенности работы гидроузла при энергетическом, ирригационном и энерго-ирригационном режимах.

Динамика попусков из Рогуна при энергетическом и энерго-ирригационном режимах работы практически одинакова. Отличие лишь в режимах работы Нурекского водохранилища, которое при энергетическом сценарии работает также в интересах энергетики, а в энерго-ирригационном служит ирригационным компенсатором, который регулирует попуски из Рогуна в ирригационных целях.

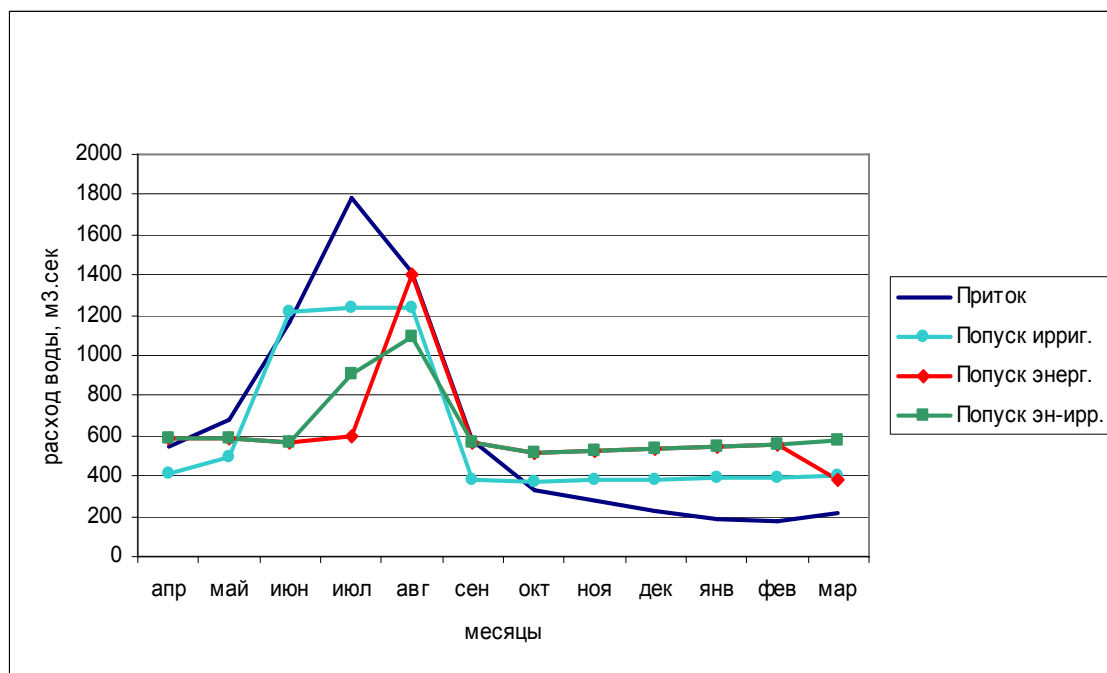


Рис. 3.7 Режим работы Рогунского водохранилища для среднего по водности года (приток по 1979-80 гг.)

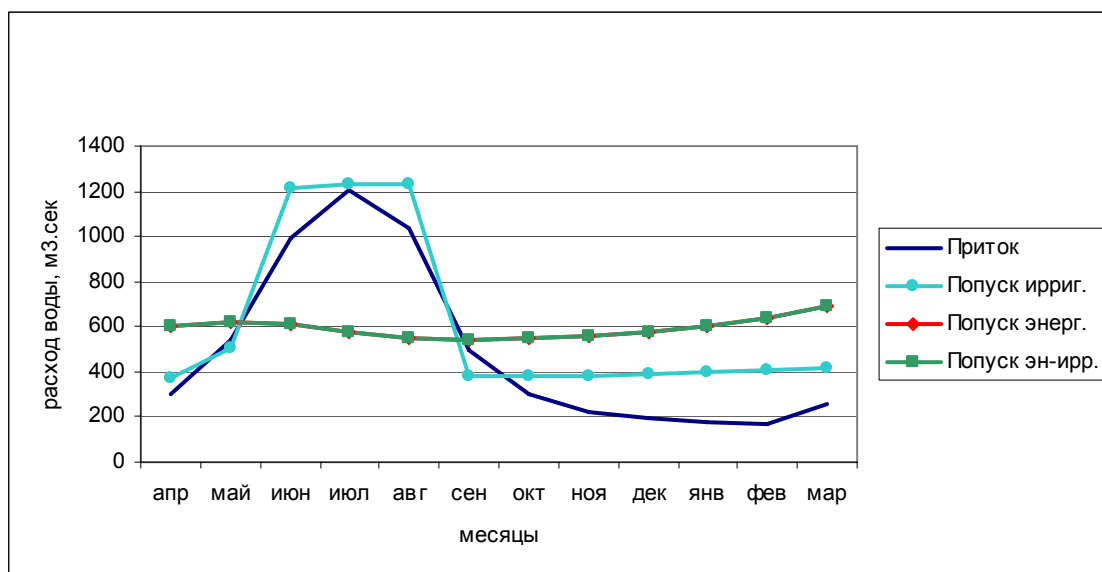


Рис. 3.8 Режим работы Рогунского водохранилища для маловодного года (приток по 1957-58 гг.)

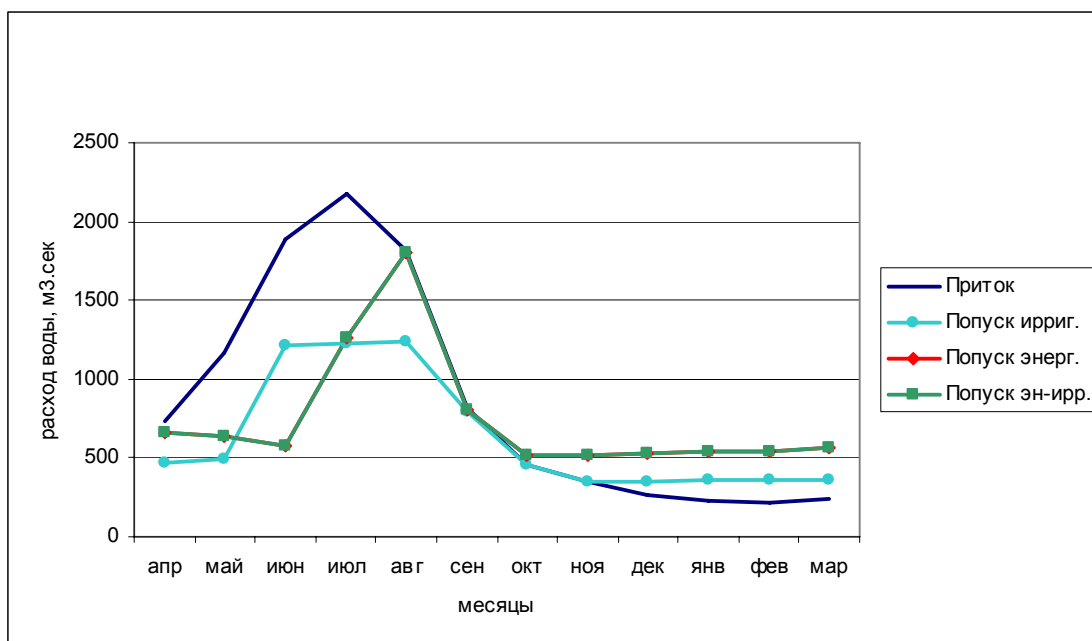


Рис. 3.9 Режим работы Рогунского водохранилища для многоводного года (приток по 1969-70 гг.)

Сравнение графиков притока и попусков воды из Рогуна в маловодный год (рис. 3.8) показывает, что только при ирригационном режиме происходит дополнительная сработка многолетних запасов воды в вегетационный период для покрытия ирригационного дефицита воды (осуществляется многолетнее регулирование стока). Из графика для многоводного года (рис. 3.9) видно, за счет чего происходит наполнение Рогуна при многолетнем регулировании - за счет вегетационного притока к водохранилищу.

В межвегетационный период попуски из водохранилища превышают приток при всех режимах работы Рогуна, отличаясь только величиной сработки водохранилища.

В таблице 3.11 приведено сопоставление влияния различных режимов работы Вахшского каскада на социально-экономические результаты орошаемого земледелия среднего и нижнего течения на территории Туркменистана и Узбекистана при сохранении существующих тенденций на перспективу до 2055 года. При этом принято, что цены на электроэнергию и на сельскохозяйственную продукцию сохраняются на нынешнем уровне при некотором увеличении стоимости одного киловатт-часа в зимнее время по отношению к летнему - соответственно 0.02 и 0.015 доллара. Рассматриваются пять сочетаний трех режимов (энергетического, ирригационного и комбинированного) при двух вариантах отметок плотины Рогунского гидроузла (1240 и 1290) в сравнении с существующим режимом работы Вахшского каскада.

Таблица 3.11.

**Сопоставление влияния различных режимов и параметров Рогунского гидроузла на социально-экономические показатели развития на период 2005-2055 гг.
(млн. \$/год)**

Варианты	Потери продукции орошаемого земледелия и сопряженных отраслей за год	Сокращение (-) или увеличение (+) потерь за год по отношению к современному режиму Нурека с учетом вклада от выработки электроэнергии	Выработка электроэнергии Рогунсом в денежном выражении	Суммарная выгода по отношению к современному режиму Нурека
Сохранение современного режима Нурека	94,71	-	-	-
Энергетический режим отм. 1240	211,3	116,59	162,35	45,76
Энергетический режим отм. 1290	174,6	79,89	194,71	114,82
Ирригационная. отм. 1240	59,2	-35,5	159,39	194,89
Ирригационный режим отм. 1290	37,85	-56,86	188,41	245,27
Ирригационно-энергетический. режим отм. 1290	76,18	18,53	194,84	176,31

Если следовать принципу «не навреди», то суммарный эффект от строительства Рогунского гидроузла должен быть скорректирован на величину увеличения потерь продукции среднего и нижнего течения под влиянием данного строительства. Тогда оба варианта энергетических режимов становятся значительно менее эффективными, чем все три остальных режим. При этом преимущества комбинированного ирригационно-энергетического режима становятся явными, ибо при увеличении производства электроэнергии почти до уровня энергетического режима он дает сокращение потерь продукции орошаемого земледелия по сравнению с существующим режимом Нурека в среднем на 18.5 миллионов долларов США в год.

В расчетах на перспективу был использован гидрограф притока к Рогуну по реке Вахш, смоделированный методом скользящих при анализе ретроспективных данных (рис 3.10).

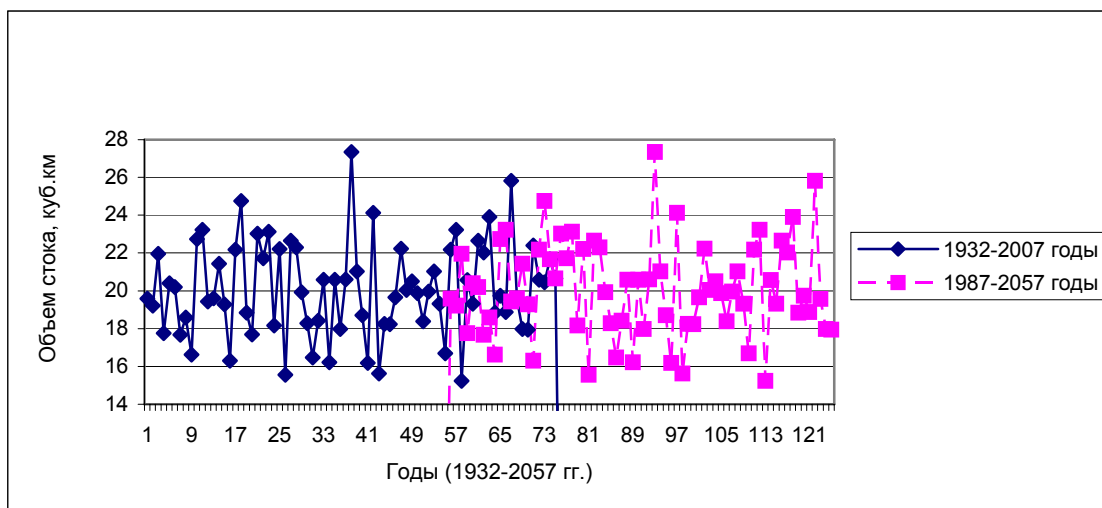


Рис. 3.10 Сравнение рядов годовых объемов стока реки Вахш на входе в Рогунское Водоохранилище: (1932-2007 гг.) факт – прогноз (1987-2057 гг.)

Проектное предложение по достройке Рогунского гидроузла и возможные меры по смягчению негативных последствий от его работы в среднем и нижнем течении реки Амударья

Сооружение Рогунского гидроузла, которое было запроектировано и начато в советское время, предусматривало, что управление единым каскадом Вахшских и Амударьинских гидроузлов будет проходить в рамках единого государства с учетом взаимных интересов всех стран. Обретение независимости странами-участниками совместного использования Амударьинского каскада в 1991 г. резко изменило политическую и социально-экономическую ситуацию в бассейне, хотя Соглашением от 18 февраля 1992 г. «О сотрудничестве в сфере совместного управления, использования, охраны водных ресурсов межгосударственных источников» 5 стран региона признали общность и единство водных ресурсов бассейна, одинаковые права на использование и ответственность за обеспечение и рациональное использование, а также договорились об обеспечении строгого соблюдения согласованного порядка и установленных правил использования и охраны водных ресурсов (статья 2).

Стороны также обязались не допускать на своей территории действий, затрагивающих интересы других сторон и способных нанести им ущерб, привести к изменению согласованных величин расходов воды. За 15 лет независимости сторонам удалось избежать серьезных отклонений в согласованных Межгосударственной Координационной Водной Комиссией и его БВО «Амударья» режимах работы и пусков по реке, за исключением 2000 - 2001 гг., когда эти изменения были сделаны в основном по решению национальных водохозяйственных органов. Тем не менее, продолжающиеся дебаты относительно будущего развития и управления водными ресурсами р. Амударья создают главный фон неопределенности в возможных последствиях социально-экономического развития в зависимости от изменения пусков по реке. Две нижележащие страны - Туркменистан и Узбекистан - заключили в 1996 г. Соглашение, по которому водораспределение по створу приведенному к Келифу объема воды, поступающего по р. Амударья, производится в соотношении 50 : 50 между Узбекистаном и Туркменистаном без учета необходимых экологических

попусков в дельту и Аральское море. Но сколько воды поступит к Келифу, определяется лишь ежегодными решениями МКВК, при этом требования Таджикистана удовлетворяются всегда на 100 процентов. На сегодняшний день по реке Амударья отсутствует многолетнее Соглашение по управлению водными ресурсами реки, аналогичное тому, которое имеется по Сырдарье при всех его недостатках, отсутствуют правила регулирования, которыми должны руководствоваться все участники, заинтересованные в использовании воды из реки и, что очень важно, порядок дальнейшего развития. Это положение нашло отражение в решении глав Государств Центральной Азии «Об основных направлениях программы конкретных действий по улучшению социально-экономической и экологической обстановки в бассейне Аральского моря на период 2003 - 2010 г.» от 6 октября 2002 г. Здесь в п. 1 приложения в качестве приоритета указана «Разработка согласованных механизмов комплексного управления водными ресурсами бассейна Аральского моря, в том числе пакет соглашений по бассейну р. Амударья».

Технические параметры по объему водохранилища и высоте плотины, бесспорно, являются принципиальными решениями, которые определяют возможность многолетнего регулирования и тем самым снижение напряженности в бассейне при правильной организации управления. Но в нынешних условиях для пяти различных государств, работающих на данной реке и использующих ее воду, принципиально важными и необходимыми вопросами являются три положения:

- режим работы Вахшского каскада, имеется в виду соотношение взаимодействия Рогунского и Нурекского гидроузлов и выходные параметры их месячного стока в зависимости от энергетического, ирригационного или смешанного режима;
- распределение водных ресурсов на перспективу между участниками водохозяйственного комплекса реки;
- как будет развиваться сотрудничество между странами в управлении и использовании вод реки Амударья, какого сценария будущего развития будут придерживаться все страны и в какой степени они будут выполнять и следовать этим сценариям и стратегиям.

С позиции неопределенности второго пункта, казалось бы, при равном распределении воды между Туркменистаном и Узбекистаном в среднем и нижнем течениях, вопросов на данном этапе не должно возникать, хотя имеется неясность в режимах экологических попусков, которые практически не узаконены соглашениями и планируются лишь решениями МКВК. В то же время главным вопросом неопределенности состоит изменение водопользования по Вахшу, а в будущем по Пянджу и по самой Амударье в связи с развитием ситуации в Афганистане. В проектом предложении с. 5 этот вопрос решен достаточно просто. Абзац 3 параграфа 1,4 проекта гласит, что «в соответствующей исследовательской документации заборы ирригационной воды с Вахшского каскада в национальных масштабах считаются достаточными» и далее «... не должно приниматься никаких мер по дополнительному обеспечению ирригационной водой стран, расположенных вниз по течению. По информации правительства Республики Таджикистан расположенные ниже по течению страны Узбекистан и Туркменистан не собираются платить за дополнительные нормы водопотребления, поэтому соответствующие сценарии (???) не следует принимать во внимание. Соответственно выгоды от поставок ирригационной воды нельзя включать в

расчеты по математическому моделированию, а все связанные с этим сценарии следует исключить из дальнейшего рассмотрения».

Наши расчеты продемонстрировали одно достаточно ясное положение о том, что успех будущего водообеспечения бассейна Амударьи и его устойчивость зависит, в основном, от выработки, приведения в жизнь и осуществления стратегии будущего развития водопользования на грядущие 20 ... 50 лет. Расчеты показали и огромную разницу в последствиях различных сценариев развития - ущерба в различных сценариях и режимах в среднем - от 10 млн. долл. до почти миллиарда в год.

В любом случае население будет расти и его потребность как в удовлетворении своих хозяйственно-питьевых нужд, так и необходимости удовлетворения потребности в продуктах питания, в рабочих местах для сельского населения соответственно 60 % от численности в регионе, будет увеличиваться. При этом естественные колебания стока будут иметь место, как в избыточную, так и в дефицитную сторону. Как уже указывалось, в последнее время частота экстремальных - дефицитных и паводковых лет - увеличилось. Вспомним маловодье 2000-2001 годов. Наше выживание и выживание наших потомков будет зависеть от того, какой сценарий будет принят для развития региона, включая ориентацию на водосбережение, на взаимодействие и соответствующее приемлемые для всех режимы работы основных гидроузлов.

Строительство Рогунского гидроузла и его режимы работы являются частью этих сценариев и будущей стратегии. Речь идет не только о выгодах от его строительства, но и об улучшении подачи воды по реке, о повышении устойчивости водообеспечения, наконец, о смягчении ущербов, которые будут обязательно возникать в среднем и нижнем течении в результате природной обстановки, социального развития, строительства и эксплуатации гидротехнических комплексов, включая строительство Рогунского гидроузла. В связи с этим необходимо наметить комплекс мероприятий, которые должны гарантировать стабильность управления водными ресурсами бассейна.

1. Основные проектные положения управления Вахшского каскада, включая Рогунский гидроузел, должны быть согласованы со всеми заинтересованными сторонами - Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан, включая отметку высоты плотины, объем многолетнего регулирования, режимы попусков вегетационные и вневегетационные.

2. Определить параметры и сроки наполнения водохранилища. Принятые в проекте параметры наполнения, проверенные нами в гидрологических расчетах, не вызывают серьезных осложнений и могут быть приняты в основу дальнейшей работы.

3. Стороны должны подготовить и подписать Соглашение по бассейну Амударьи, которое:

- будет четко определять сценарии и лимиты будущего водопотребления из реки, включая ограничения потребности Таджикистана в рамках ранее намеченных лимитов по схеме комплексного использования р. Амударьи;
- ориентация всех остальных стран региона на определенное снижение поэтапно на уровень 2010 и 2020 гг. суммарного водопотребления из бассейна всеми водопользователями соответственно 5 и 10 % от исходных показателей 2005 г.;
- жестко определить величины расчетных экологических попусков по реке и в дельту, а также мероприятия по их поддержанию;
- узаконить все положения строительства и режима работы Рогуна, указанные в п. 2.

4. Параллельно с выработкой «Соглашения» главное внимание должно быть уделено подготовке водной стратегии бассейна реки Амударьи. Здесь должны быть определены не только параметры региональных сценариев развития, но их национальные составляющие, увязка с внедрением ИУВР, порядок и участие всех стран в строительстве и эксплуатации гидроузлов на реках и их притоках, будущие режимы их работы. Параллельно с этим должны быть согласованы вклады участников сотрудничества в осуществлении общеканальных мероприятий, участия в прибыли и компенсации ущерба, если они будут возникать.

Следует иметь в виду при этом, что только в «оптимистичном» сценарии, который предусматривает согласованные и взаимовыгодные действия всех стран в бассейне, включая Афганистан, можно избежать возникновения ущемления интересов других стран, а отсюда и необходимости их компенсации.

Выводы

1. Завершение строительства Рогунского гидроузла может иметь огромное значение для повышения водообеспеченности всех отраслей хозяйства в бассейне Амударьи и, в первую очередь, орошаемого земледелия на площади почти 4,0 млн. га и создания крупного энергетического источника Таджикистана и всего региона.

2. Согласно правилам Международного водного права, особенно Международных Конвенций 1992 и 1997 гг., так же как и Хельсинских правил 1966 г., водохозяйственное строительство в верховьях реки должно учитывать интересы существующего водопользования в среднем и нижнем течении реки и ни в коем случае не причинять значительного вреда прежнему водопользованию, особо имея в виду огромное социально-экономическое значение орошаемого земледелия.

3. Перспективное развитие и строительство водохозяйственных объектов межгосударственного значения в каждом из бассейнов на основании действующих Соглашений должно быть согласовано с пограничными странами, использующими тот же международный водоток. При этом главным фактором дальнейшего благосостояния бассейна реки Амударья является следование всеми странами бассейна «оптимистическому сценарию», нацеленному на экономное расходование воды и совершенствование управления водным хозяйством в регионе. В противном случае нижележащие страны обречены на потерю значительной части валового продукта, создаваемого на базе орошаемого земледелия.

4. В сценарии «сохранение существующих тенденций» при энергетическом режиме и отметке НПУ 1240 м социально-экономический ущерб составляет 211 млн. долл. в год. При переходе на ирригационный режим в этом же сценарии стоимость ущерба сокращается в 3 раза - до 60 млн. долл. в год. При отметке НПУ 1290 м указанные соотношения смещаются в лучшую сторону, уменьшаясь соответственно до 174 и 38 млн. долл. в год. При комбинированном режиме в сценарии «сохранение существующих тенденций» при максимальной высоте плотины суммарный ущерб составит 76 млн. долл. Таким образом, среднегодовые социально-экономические ущербы в наиболее реальных сценариях соизмеримы со стоимостью получаемой электроэнергии.

5. Сезонное регулирование стока по энергетическому режиму в проекте «Лахмаера» или даже по ирригационному или комбинированному режимам не предусматривают возможность многолетнего регулирования. Оно должно было осуществляться на основе использования полезного объема Рогунского водохранилища ($\approx 8,6 \text{ км}^3$)* как многолетнего регулятора, как это было предусмотрено в «Генеральной схеме комплексного использования водных ресурсов реки Амударьи» (Средазгидропроект, Ташкент, 1971 г.).

В дальнейшем колебания многоводных и маловодных лет, как было показано в тексте, могут быть смоделированы и учтены при построении режима многолетнего регулирования, что намного снизит ущербы социально-экономического развития бассейна особо в дефицитные годы.

6. Учитывая явную нереальность «национальных сценариев», которые могут привести лишь к нарушению спокойствия в данном регионе, исследования влияния Рогунского гидроузла должны ориентироваться если не на сценарий

* Объем $8,6 \text{ км}^3$ соответствует расчетному показателю «Генеральной схеме комплексного использования водных ресурсов реки Амударьи» САО "Гидропроекта"; объем 7,8 фигурирует в отчете "Лахмайера".

оптимистического развития, то хотя бы на «сценарий существующих тенденций». При принятии комбинированного режима, близкого к варианту 5А, при улучшении многолетнего регулирования, средний дефицит в воде может быть снижен до 1,5...2 %, а величина среднегодового ущерба до 60 ... 70 млн. долл. при максимальном ущербе до 100 млн. долларов в год.

7. Экологический ущерб в этом случае составит еще около 10 млн. долл. в год, но за период 50 лет будет лишь один период длительного (более 2 лет) ущемления интересов дельты.

8. Сопоставление результатов проведенных расчетов с условиями сохранения существующих режимов Нурекского водохранилища показывает целесообразность принятия «ирригационного» или «комбинированного» режима работы каскада Вахшских ГЭС во всех сценариях будущего развития. При этом создается более устойчивое водообеспечение среднего и нижнего течения реки и снижение того ущерба, который имел бы место при нынешней ситуации в будущем. Особенно резкое снижение ущербов или даже доведение их до нулевого возможно при «оптимистическом» сценарии и высоте плотины водохранилища с НПУ 1290 м., при многолетнем регулировании стока.

9. В анализе не рассматриваются варианты совместного влияния Рогунского водохранилища и Даштиджумского комплекса на Пяндже, переговоры о строительстве которого ведутся и усиленно муссируются в зарубежной прессе. Такое сочетание при энергетических режимах их работы может резко ухудшить стабильность водообеспеченности среднего и нижнего течения Амударьи.

10. Выживание всех стран в бассейне, особо с учетом возможного развития орошения и отборов воды в Афганистане, возможно только, если правительства всех государств достигнут договоренности и заключения соглашения о переходе на водосбережение и постепенное внедрение «оптимистического сценария» развития, который позволит обеспечить успешное развитие экономики всех четырех стран и соблюдение экологических требований.

11. Все страны региона должны срочно приступить к согласованию основных принципов региональной водной стратегии Амударьи. Организация подготовки детальной стратегии, плана действий, включая моделирование параметров возможного развития каждой из зон планирования, дадут четкое представление о том, что сулят правильные подходы к регулированию Вахша и Пянджа и чем грозит несогласованность в подходах будущему управлению такими крупномасштабными мероприятиями.

12. В дальнейшем должен быть рассмотрен сценарий, учитывающий ожидаемые изменения климата, которые могут существенно повлиять на водные ресурсы региона, а также на размеры и режим водопотребления в бассейне Амударьи.

Заключение

Опыт последних 10-15 лет показывает, что одним из основных негативных факторов, которые могут отрицательно повлиять на обеспеченность водой стран бассейна Амударьи, является неблагоприятный режим стока, непосредственно связанный с водохозяйственной политикой независимых государств бассейна и во многом определяемый работой крупных водохранилищ (сегодня Нурек, Туюмун, завтра - Рогун, водохранилища Пянджа).

В то же время, в действующих соглашениях между странами бассейна по водохозяйственным вопросам не сформулированы условия, при которых были бы сведены к минимуму риски от негативного влияния крупных водохранилищных гидроузлов с ГЭС, а также определены возможные выгоды от рационального регулирования стока, как для орошаемого земледелия, так и гидроэнергетики. Поскольку внутригодовое распределение естественного (не испорченного водохранилищами) стока основных притоков Амударьи - рек Пяндж и Вахш хорошо соответствует требованиям орошаемого земледелия, для стран среднего и нижнего течений Амударьи работа Нурека (а в будущем и Рогуна) может принести пользу только в особо маловодные годы. И то в случае, если эти водохранилища будут "помогать" орошению, срабатывая часть своих многолетних запасов дополнительно к естественному стоку маловодных лет.

Может ли в будущем ситуация осложниться в связи с вводом Рогунского гидроузла? Предварительные расчеты НИЦ МКВК показывают - да, если Рогун и Нурек будут работать в тандеме исключительно для нужд энергетики Таджикистана. Работа этих водохранилищ в энергетическом режиме может привести к переносу летнего паводка на зиму и созданию искусственного маловодья летом в среднем и нижнем течениях Амударьи, пересыханию русла летом, когда река теряет свою естественную функцию (природной дрены), что ведет в жаркое время года к кризисной эпидемиологической обстановке. Кроме того, будет исключена возможность многолетнего регулирования стока для гарантии выживания всех водопользователей в условиях крайне маловодных лет.

Будущее устойчивое развитие бассейна Амударьи возможно лишь на основе сотрудничества и кооперации, повышения эффективности использования водно-земельных и энергетических ресурсов, экономного расходования воды и энергии. Для этого необходимо разработать и утвердить четкие правила управления водохранилищами и попусков воды из них по руслам основных рек в различные годы - многоводные и маловодные, особенно при повторении этих лет. Главная цель - упорядочить систему управления бассейном Амударьи и создать стабильную, устойчивую и справедливую организацию водоподачи на трансграничном уровне.

Стремление же стран к водно-энергетической независимости любыми средствами, необоснованные «ответные действия» со стороны соседних государств могут привести к ситуации, когда предпочтение (в ущерб собственной экономике) будет отдано менее эффективным решениям, но главное, повысить риск появления новых ирригационно-энергетических конфликтов. Необходима экономическая оценка планов государств региона по новым водохранилищам (Рогун, водохранилища Пянджа).

Поскольку у России существует интерес в приобретении гарантированной электроэнергии у Таджикистана, она может способствовать интеграционным

процессам, идеи которых зарождаются в регионе. Это может быть выработка общих “правил игры” в бассейне между энергетиками, водниками и экологами стран амударьинского бассейна, а в перспективе - совместное управление каскадами водохранилищ и ГЭС.

Литература

1. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Гидрометеиздат, 1965.
2. Генеральная схема комплексного использования водных ресурсов р. Амударьи. САО Гидропроект. Ташкент, 1971.
3. Уточнение схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов р. Амударьи. Средазгипроводхлопок. Ташкент, 1984.
4. Сорокин А.Г. Разработать научно-технические основы повышения эффективности комплексного ирригационно-энергетического регулирования водных ресурсов рек и водохозяйственных систем Сырдарьи и Амударьи. Отчет о научно-исследовательской работе. НПО САНИИРИ. Ташкент, 1994.
5. Кунин В.И. Происхождение подземных вод Каракумов. Известия ВГО. Том 79, выпуск 1, 1947.
6. Проскуряков А.К. Водный баланс р. Амударьи на участке от г. Керки до г. Нукус. Гидрометеиздат, 1953.
7. Светицкий В.П. Провести исследования и составить современный и на перспективу до 2000 года водохозяйственный баланс бассейна Аральского моря. Отчет о научно-исследовательской работе. САНИИРИ. Ташкент, 1985.
8. «Южное Приаралье - новые перспективы» под редакцией проф. В.А. Духовного, Юпа де Шутера, Ташкент, 2003 г., 153 стр.
9. Проект ИНТАС - РФФИ - 1733 «Оценка социально-экономических последствий экологического бедствия - усыхания Аральского моря», 2002
10. Духовный В.А., Соколов В.И. «Комплексное управление водными ресурсами в бассейне Аральского моря», Сборник научных трудов НИЦ МКВК. Избранное за 1992-2002 годы. Ташкент, 2002, с. 5- 58

Принятые обозначения и сокращения

ББА	Большой Бассейн реки Амударьи
МБА	Малый Бассейн реки Амударьи
ЗП	Зона планирования (водохозяйственный район)
ТМГУ	Тюямуянский гидроузел
ASBmm	Комплекс моделей управления бассейном Аральского моря
БД	База данных

Оценка влияния Рогунского водохранилища на водный режим реки Амударьи

В. А. Духовный, А. Г. Сорокин

Верстка - Беглов И.Ф., Абдурахманов Д.Д.

Дизайн обложки - Абдурахманов Д.Д.

Подготовлено к печати и отпечатано
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан,
100187, г. Ташкент, массив Карасу-4, дом 11
НИЦ МКВК
E-mail: info@icwc-aral.uz

Наш адрес в Интернете:
<http://sic.icwc-aral.uz>