



Проект PEER - "Адаптация управления
водными ресурсами трансграничных вод
бассейна Амударьи к возможным
изменениям климата"



Research report

2. Research

2.1 ASBmm adjustment

Руководитель проекта, проф.

В.А.Духовный

Исполнитель

Д.А.Сорокин

Ташкент, сентябрь 2016 г

Содержание

Введение

1.Водные ресурсы

2.Регулирование стока рек водохранилищами и ГЭС

3.Внесение изменений в комплекс ASBmm

Заключение

Приложение

Введение

В отчете приводятся результаты исследований по оценке водных ресурсов, регулированию стока рек водохранилищами и ГЭС бассейна Амударьи. Приводится информация по внесению изменений в комплекс ASBmm. Данная работа является частью раздела 2.1 “ASBmm adjustment” второго этапа исследований проекта PEER.

1. Водные ресурсы

Водные ресурсы бассейна Амударьи формируются на территориях Таджикистана, Узбекистана, Кыргызстана, Афганистана, Туркменистана и Ирана.

Водные ресурсы бассейна Амударьи слагаются из следующих составляющих: поверхностный сток рек, водные ресурсы озер, водохранилищ, возвратные воды – коллекторно-дренажный сток (КДС), поступающий с орошаемых полей, стоки, сбрасываемые с промышленных предприятий, коммунально-бытового сектора, подземные источники воды, доступные пользователю. При моделировании учитываются все перечисленные составляющие водных ресурсов.

Водные ресурсы трансграничных и местных рек

В проекте PEER в схему регулирования и распределения водных ресурсов включены: трансграничная река Амударья и ее основные притоки (Вахш, Пяндж, Кафирниган), река Сурхандарья (по сбросу с Сурхандарьинской зоны планирования), Кундуз (по сбросу с Афганской зоны планирования); включена боковая приточность к реке Вахш по сбросу с Вахшской зоны планирования, к реке Пяндж по сбросу с Пянджской и Афганской (по реке Кокча) зон планирования.

Сток местных рек (наряду с водными ресурсами трансграничных рек) учитывается в водном балансе зон планирования. Например, в водном балансе Каршинской зоны планирования в категорию водные ресурсы “местных” рек включена незначительная часть водных ресурсов реки Кашкадарья и часть реки Заравшан (который является трансграничной рекой). В водном балансе Навоийской зоны планирования в качестве “местных” рек включена река Заравшан, а в зонах планирования Туркменистана – трансграничные реки Теджен (в Афганистане - Герируд) и Мургаб. В сурхандарьинской зоне планирования учитывается трансграничный сток реки Амударья, который подается каскадом насосных станций Аму-Занг, а также “местный” сток бассейна Сурхандарья и Шерабада. В зонах планирования низовий Амударья (Дашоуз, Хорезм, две зоны Каракалпакистана), а также в Лебапской зоне планирования (Туркменистан) местные реки отсутствуют.

Моделирование водных ресурсов

Трансграничная сеть рек Вахш, Пяндж (вместе с рекой Кокча), Кафирниган, Кундуз, Амударья, а также водохранилища Вахшского каскада ГЭС и ТМГУ, включены в модель регулирования и распределения стока (WAm) комплекса ASBmm, остальной речной сток, состоящий из трансграничных и местных источников, а также водные ресурсы водохранилищ, расположенных на реках и каналах - в модель зоны планирования PZm ASBmm. Имеется в виду, что кроме русловых водохранилищ сезонное регулирование стока осуществляется рядом внутрисистемных резервуаров на Каршинском, Амубухарском каналах и на Гарагумдарье (Каракумский канал). Поверхностные водные ресурсы зон планирования включают: часть стока рек Амударья и ее притоков Вахш, Пяндж, Кафирниган (водозабор по каналам), сток реки Сурхандарья, часть стока реки Кашкадарья, Заравшан, сток рек Теджен, Мургаб.

Использование подземных водных ресурсов учтено для каждой зоны планирования в PZm ASBmm. КДС формируется в зонах планирования и далее – распределяется: часть повторно используется в зоне планирования на орошение, часть сбрасывается в реки и озера данной зоны планирования, часть передается соседней зоне планирования, а часть – сбрасывается в трансграничную сеть. Речной сток, который не используется в зоне планирования, сбрасывается в трансграничную сеть или в соседнюю зону планирования (если речная сеть является общей для двух зон).

Оценка водных ресурсов Таджикистана

С гидрографической точки зрения в малом бассейне Амударьи, ограниченном Таджикистаном, имеются бассейны рек Пяндж, Вахш, Кафирниган и бассейны рек Каратаг–Ширкента, Кызылсу-Яхсу. Возобновляемый поверхностный сток Таджикистана в бассейнах этих рек имеет различные оценки по времени и источникам. Например, в Диагностическом докладе “Рациональное и эффективное использование водных ресурсов в Центральной Азии”, подготовленном специальной экономической программой в ЦА - SPECA (ООН, 2000) суммарный средний многолетний сток рек Таджикистана в бассейне Амударьи оценивается в 55.26 км³/год. Сопоставимой с оценкой SPECA является оценка НИЦ МКВК, основанная на анализе ретро-рядов стока рек Бассейна Аральского моря за 1911-1999 гг, хранящихся в БД НИЦ МКВК. В среднем за 1911-1999 гг суммарный сток рек Пяндж, Вахш, Кафирниган и Сурхандарьи оценивается в 63.3 км³/год, из них на Таджикистан приходится 55.49 км³/год.

В докладе SPECA (ООН, 2000) сток рек Таджикистана оценивается как среднемноголетний сток за периоды трех циклов водности 1943-1992 гг.: сток реки Пяндж оценивается в 34.289 км³/год, из них на Таджикистан приходится 31.089 км³/год, сток реки Вахш оценивается в 20.004 км³/год, из них на Таджикистан приходится 18.4 км³/год и Кыргызскую Республику – 1.604 км³/год, сток реки Кафирниган оценивается в 5.452 км³/год и сток реки Сурхандарья оценивается в 3.324 км³/год, из них на Таджикистан приходится 0.32 км³/год и Республику Узбекистан – 3.004 км³/год. Оценка SPECA (ООН, 2000) для Большого бассейна Амударьи (включающего Заравшан) дает объем стока в 79.28 км³/год, что сопоставимо с оценкой, выполненной в “Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов Амударьи” в 1984 году (79.4 км³/год).

В “Стратегии водного сектора Республики Таджикистан” (2008) среднемноголетний сток рек Таджикистана в бассейне реки Амударья оцениваются в 62.9 км³/год, т.е на 7.64 км³/год больше, чем по оценке SPECA. Одна из возможных причин расхождения данных заключается в том, что при оценке SPECA учитываются не все водные ресурсы. Если сток рек бассейна Кафирниган учтен в оценке SPECA по сумме стоков водотоков зоны формирования по данным гидрометрических станций, расположенных близ выхода из гор, то учет стока бассейна реки Пяндж берется только по посту Нижний Пяндж (устье реки), а сток реки Вахш – по створу Нурекской ГЭС. Для расчета естественного стока Пянджа необходимо к объему стока опорного створа (в нашем случае створа “Нижний Пяндж”) добавить безвозвратное водопотребление (водозабор минус сброс) выше этого створа, осуществляемое на орошаемых полях бассейна реки Кызылсу-Яхсу, рек ГБАО. Аналогично, в бассейне реки Вахш не учтено водопотребление Гармской оросительной системы, расположенной выше Нурекской ГЭС, а также водопотребление бассейна реки Кызылсу (Кыргызстан); не учтен также боковой приток к Вахшу ниже Нурекского водохранилища. Все эти особенности формирования стока рек бассейна Амударьи учтены при моделировании речной сети, расчете водного баланса трансграничных рек и местных источников (реки Кызылсу-Яхсу, ГБАО, Гармская группа районов, бассейн реки Кызылсу и др.).

Оценка водных ресурсов Кыргызской республики

В бассейне Амударьи Кыргызская Республика занимает часть бассейна реки Пяндж – ее притока Кызыл-Су. Речной сток оценивается (ООН, 2001) в $1.604 \text{ км}^3/\text{год}$.

Оценка водных ресурсов Афганистана

В схеме управления водными ресурсами бассейна Амударьи отдельно выделена река Кундуз – левый приток реки Амударья. Река Кокча учтена, как одна из составляющих реки Пяндж. Афганские реки Мургаб и Герируд (Теджен) учтены в водном балансе зон планирования Туркменистана на его территории.

Кокча и Кундуз относятся к рекам северо-восточной части Афганистана. По данным наблюдений до 1985 года (Гарбовский Э.А., 1989) норма стока реки Кокча в приустьевом створе Ходжагар оценивается в $199 \text{ м}^3/\text{с}$ или $6.28 \text{ км}^3/\text{год}$, а норма стока реки Кундуз в приустьевом створе Кулук-Тепа – в $111 \text{ м}^3/\text{с}$ или $3.5 \text{ км}^3/\text{год}$. Средневзвешенные отметки речных бассейнов в привязке к данным створам: для реки Кокча – 2730 м, для реки Кундуз – 2400 м. В.А.Шульц (1968) сток реки Кундуз оценивает в $3.62 \text{ км}^3/\text{год}$, реки Кокча – в $5.4 \text{ км}^3/\text{год}$.

Водозабор на орошение в бассейне реки Кундуз на уровне 1985 года оценивается (Гарбовский Э.А., 1989) в $54 \text{ м}^3/\text{с}$ или $1.7 \text{ км}^3/\text{год}$, а в бассейне реки Кокча – $12 \text{ м}^3/\text{с}$ или $0.38 \text{ км}^3/\text{год}$. Общий водозабор из двух рек составляет: $1.7 + 0.38 = 2.08 \text{ км}^3/\text{год}$. Зная объем водозабора и сток рек в устьях, можно рассчитать естественные их сток: для реки Кундуз он составляет $111 + 54 = 165 \text{ м}^3/\text{с}$ или $5.2 \text{ км}^3/\text{год}$, а для реки Кокча – $199 + 12 = 211 \text{ м}^3/\text{с}$ или $6.65 \text{ км}^3/\text{год}$.

Бассейн реки Мургаб до границы с Туркменистаном имеет средневзвешенную высоту 1760 м, а бассейн реки Герируд – 1870 м, - это ниже, чем, по бассейнам рек Кокча и Кундуз. Сток реки Мургаб измеряется в нескольких створах; ближайший к границе Туркменистана – пост Баламургаб. Сток реки Мургаб в этом створе оценивается (Гарбовский Э.А., 1989) в $53.7 \text{ м}^3/\text{с}$ или $1.69 \text{ км}^3/\text{год}$. С учетом поправки на орошение ($5.4 \text{ м}^3/\text{с}$) естественный сток Мургаба составит $59.1 \text{ м}^3/\text{с}$ или $1.86 \text{ км}^3/\text{год}$. Сток реки Герируд (Теджен) до границы с Ираном оценивается по посту Тирпуль в $30.7 \text{ м}^3/\text{с}$ или $0.97 \text{ км}^3/\text{год}$. Эта цифра приводится и в работах В.Л.Шульца (1968) и Э.А.Гарбовского (1989). С поправкой на орошение естественный сток реки Герируд (Теджен) оценивается в $69 \text{ м}^3/\text{с}$ или $2.17 \text{ км}^3/\text{год}$, т.е. река Теджен в своем естественном состоянии превышает по водности реку Мургаб. Суммарный естественный сток рек Мургаб и Теджен оценивается в $1.86 + 2.17 = 4.03 \text{ км}^3/\text{год}$.

В работе “Афганистан: возвращение к мирной жизни. Тенденции развития и направления регионального сотрудничества. Взгляд из Центральной Азии” (НИЦ МКВК, 2007) приводятся данные из различных источников по стоку рек Афганистана Амударьинской и Притуркменской зон: сток реки Кундуз оценивается в $3.6 \text{ км}^3/\text{год}$, реки Кокча – в $5.4...5.7 \text{ км}^3/\text{год}$, реки Мургаб – в $1.6 \text{ км}^3/\text{год}$, реки Герируд – $0.97 \text{ км}^3/\text{год}$. Данные оценки характеризуют сток Афганских рек, искаженных антропогенным воздействием.

Оценка водных ресурсов Туркменистана

В исследованиях РЕЕР в части оценки водных балансов зон планирования учтены реки Мургаб и Теджен. Река Атрек и незначительные по водности реки северо-восточного склона хребта Копет-Даг в расчеты не включены, поскольку относятся к бассейну Каспия.

На территории Туркменистана сток реки Мургаб измеряется в нескольких створах, ближайший к границе Афганистана – пост Сеин-Али; сток реки в этом створе оценивается (Гарбовский Э.А., 1989) в $47.9 \text{ м}^3/\text{с}$ или $1.51 \text{ км}^3/\text{год}$, а с поправкой на орошение – в $50 \text{ м}^3/\text{с}$ или $1.58 \text{ км}^3/\text{год}$. На территории Туркменистана ниже поста Сеин-Али в реку Мургаб впадают реки Кушк ($4.5 \text{ м}^3/\text{с}$) и Кашан ($6.5 \text{ м}^3/\text{с}$). Таким образом, естественные водные ресурсы бассейна реки Мургаб на территории Туркменистана (на уровне водозабора в Афганистане 1985 года) можно принять равными $50 + 4.5 + 6.5 = 61 \text{ м}^3/\text{с}$ или $1.91 \text{ км}^3/\text{год}$. Сток реки Герируд (Теджен) на территории Туркменистана оценивается по створу ниже моста Пулихатум; средний многолетний сток реки в этом створе оценивается по данным 1914-1959 гг в $32.3 \text{ м}^3/\text{с}$ или $1.02 \text{ км}^3/\text{год}$ (В.Л.Шульц, 1965). Суммарный сток рек Мургаб и Теджен составляет $1.91 + 1.02 = 2.93 \text{ км}^3/\text{год}$.

Оценка водных ресурсов Республики Узбекистан

Водные ресурсы Республики Узбекистан в схеме регулирования и распределения стока представлены стоком трансграничной реки Амударья в ее верхнем (до створа выше Гарагумдарьи), среднем (до ТМГУ) и нижнем течениях. В водных балансах зон планирования учитываются: водные ресурсы бассейнов рек Сурхандарья и Шерабад, часть стока рек Кашкадарья (Каршинская зона), Заравшан (Каршинская и Навоийская зоны планирования). В Диагностическом докладе “Рациональное и эффективное использование водных ресурсов в Центральной Азии”, подготовленном специальной экономической программой в ЦА - СПЕСА (ООН, 2000) суммарный сток рек Сурхандарья и Шерабад оценивается в $3.32 \text{ км}^3/\text{год}$, из них на Таджикистан приходится $0.32 \text{ км}^3/\text{год}$, а на Республику Узбекистан – $3.00 \text{ км}^3/\text{год}$; сток реки Кашкадарья оценивается в $1.23 \text{ км}^3/\text{год}$, а сток реки Заравшан – $5.14 \text{ км}^3/\text{год}$ (из них на Узбекистан приходится $4.64 \text{ км}^3/\text{год}$). Сопоставимой с оценкой СПЕСА является оценка НИЦ МКВК, основанная на анализе ретро-рядов стока рек Бассейна Аральского моря до 1999 года: водные ресурсы бассейна Сурхандарья равны $3.4 \text{ км}^3/\text{год}$, Кашкадарья – $1.3 \text{ км}^3/\text{год}$, Заравшана – $5.2 \text{ км}^3/\text{год}$.

Восстановление рядов стока рек

В базе данных НИЦ МКВК собраны данные по водным ресурсам всех основных рек бассейна Амударья за 1932/1933-1998/1999 гидрологические годы (которые начинаются 1 октября и заканчиваются 30 сентября). Кроме этого, по проекту РЕЕР собраны данные по рекам Республики Узбекистан, по стоку реки Вахш в створе поста Дарбанбе (ранее - Комсомолабад) и стоку реки Амударья за период с 1999/2000 года по 2014/2015 год. Для водопользователей Туркменистана и Республики Узбекистан, получающих Амударьинскую воду в среднем течении, основными точками мониторинга являются гидропосты на реке Амударья: Термез и Атамырат (ранее - Керки), в нижнем течении Амударьи: посты Дарганата, Тюямуюн, Саманбай.

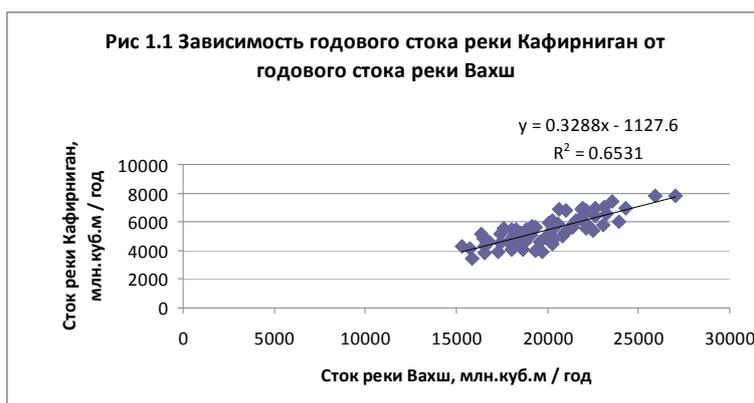
БВО “Амударья” и НИЦ МКВК на оперативной основе по заданию МКВК с целью планирования и анализа распределения водных ресурсов вдоль реки Амударья, выполняют оценку естественного стока реки Амударья по створу “Атамырат Выше Гарагумдарьи” (ранее – “Приведенный Керки”). По стоку реки в данном створе можно судить о водных ресурсах Амударьи выше водозабора в Гарагумдарью (ранее –

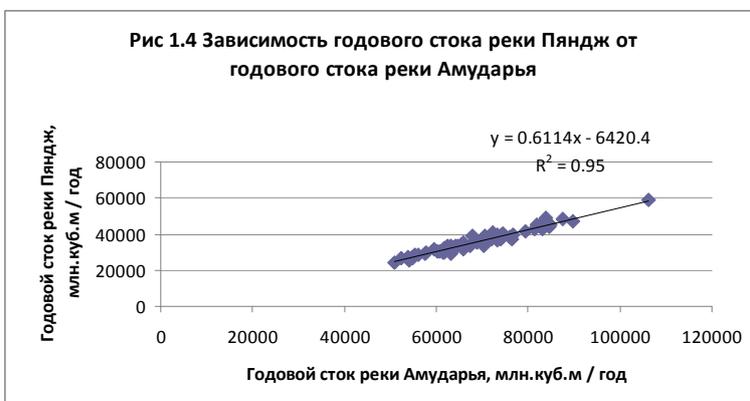
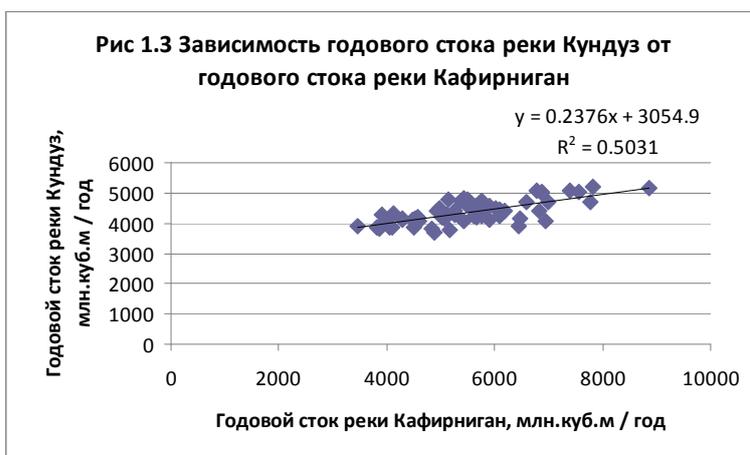
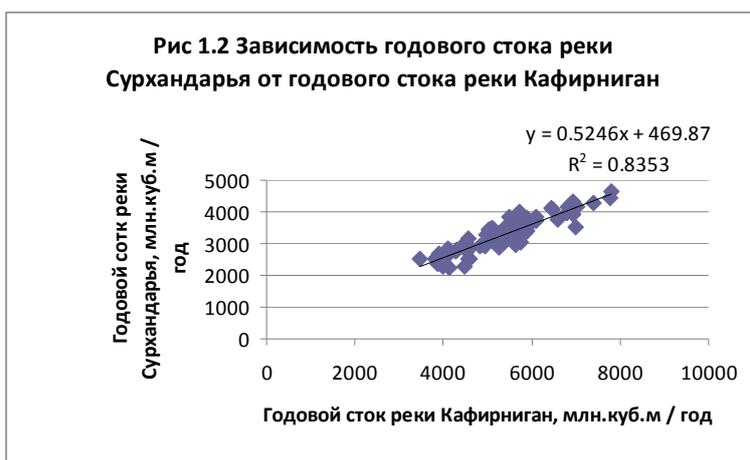
Каракумский канал). Сток реки Амударья в этом створе рассчитывается на основе измеряемого стока в створе Атамыра плюс измеряемый водозабор в Гарагумдарью (Туркменистан) и Каршинский магистральный канал (Республика Узбекистан).

Если к стоку реки Амударья в створе “Атамырат Выше Гарагумдарьи” прибавить безвозвратное водопотребление выше этого поста, включая бассейны рек Сурхандарья, Кафирниган, Вахш, Пяндж и (если возможно) реки Кундуз, то мы получим сток рек малого бассейна Амударьи; а если этот сток откорректировать на регулирование стока в Нурекском водохранилище (убрать регулирующее влияние водохранилища), то можно получить естественный сток реки Амударьи. Именно таким образом поступают специалисты из БВО “Амударья” и НИЦ МКВК, когда оценивают водность реки.

В проекте PEER естественный сток реки Амударья, рассчитанный по посту “Атамырат Выше Гарагумдарьи” принят в качестве опорного поста при восстановлении рядов стока рек Пяндж, Кафирниган, Сурхандарья и Кундуз за период 1999/2000 – 2014/2015 гг. Порядок восстановления следующий: строятся зависимости между годовыми стоками рек бассейнов рек и естественным стоком Амударьи на ретро-данных (смотрите рисунки 1.1 – 1.4); по полученным зависимостям рассчитываются годовые стоки рек за 1999/2000 – 2014/2015 гг; далее, годовые стоки рек трансформируются в средние месячные расходы, для чего используются типовые гидрографы внутригодового распределения, построенные для лет различной водности.

Годовой сток реки Кафирниган за 1999/2000 – 2014/2015 гг восстановлен по связи с годовым стоком реки Вахш; годовые стоки рек Сурхандарья и Кундуз по связям с годовым стоком реки Кафирниган; годовой естественный сток реки Амударья за 1999/2000 – 2014/2015 гг рассчитан балансовым методом с использованием измеренных расходов реки Амударья в створе Керки, статистических данных о водозаборе выше Керки, регулировании стока в Нурекском водохранилище, возвратном стоке и потерях воды (экспертные данные); годовой сток реки Пяндж расчитан балансовым методом как разность годового естественного стока реки Амударья и суммы стоков рек Вахш, Кафирниган, Сурхандарья и Кундуз.





Оценка водных ресурсов Амударьи

Река Амударья является крупнейшей рекой в Центральной Азии, текущей по территории северной части Афганистана, Таджикистана, Туркменистана, значительной части Узбекистана и небольшой площади в верховьях на территории Кыргызстана; площадь водосбора составляет 309 тыс. км², а длина реки от верхних истоков Пянджа превышает 2540 км. Главными составляющими реки являются притоки Вахш и Пяндж, ниже по течению Амударья принимает притоки Кафирниган, Сурхандарью, Шерабад справа по течению и Кундуз слева с территории Афганистана. Ниже створа Атамырат река не имеет ни одного притока, за исключением сброса в неё коллекторно-дренажных вод.

Река Амударья имеет смешанное снежно-ледниковое питание с естественным гидрографом стока, близко совпадающим с потребностью орошения, когда максимум расходов приходился на апрель-сентябрь (до 80 %). Река Амударья от створа Атамырат до дельты, в основном, теряет сток (в том числе на испарение и фильтрацию), хотя на некоторых участках (Ильчик-Дарганата) имеется русловая приточность, т.е. существует взаимодействие русла реки с грунтовыми водами, в объемах, зависящих от водности года и гидрологии участка.

Первые комплексные оценки водных ресурсов Малого Бассейна Амударьи (МБА), т.е. реки Амударья как суммы ее притоков - Вахша, Пянджа, Кафирнигана, Сурхандарьи и Кундуза, не испорченных антропогенным влиянием (в естественном состоянии) выполнялась Среднеазиатским отделением Гидропроекта в 1971 году при разработке Генеральной схемы комплексного использования водных ресурсов Амударьи (САОгидропроект, 1971) и Средазгипроводхлопом при разработке Схемы комплексного использования водных ресурсов бассейна Аральского моря (Средазгипроводхлопок, 1973). Результаты проектных разработок практически совпали. Среднегодовое стока реки Амударьи (как сумма притоков в естественном состоянии) оказался равным: в первой работе 67.94 км³/год, во второй – 68.2 км³/год.

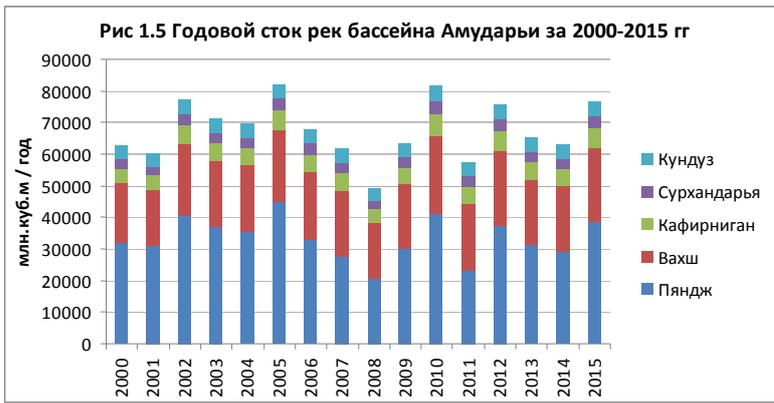
Повторные расчеты по оценке водных ресурсов были проведены Средазгидропроектом в 1983 году и Средазгипроводхлопом в 1984 году при уточнении схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов реки Амударьи (Средазгипроводхлопок, 1984). Согласно расчетам Средазгидропроекта (САОгидропроект, 1983) водные ресурсы МБА оказались равными 68.6 км³/год, а по расчетам Средазгипроводхлопка - 66.32 км³/год (Средазгипроводхлопок, 1984), т.е. на 2.28 км³/год меньше. Расхождение объясняется тем, что расчеты выполнялись разными способами: в первом случае водные ресурсы определялись по опорным створам основной реки в сумме с водопотреблением, а во втором – по сумме стоков, измеряемых гидрометрическими станциями, расположенными близ выхода из гор. Представляется, что по достоверности, первый способ предпочтительнее, поскольку при втором способе не учитывается приточность реки с территорий, расположенных ниже гидрометрических станций.

Данные официальные оценки характеризуют естественный сток за периоды до середины 80-х годов. Исследования САНИИРИ (Сорокин А.Г., 1994) и НИЦ МКВК позволяют продолжить оценку стока реки на период до 2000 года. По данным САНИИРИ (Сорокин А.Г., 1994) средний многолетний сток реки Амударья для периода до 1911-1993 гг оценивается в 69.7 км³/год, а по данным НИЦ МКВК (выборка их БД для периода до 1932 - 2000 годов) - 69.23 км³/год. Дальнейшие исследования, выполненные в рамках проекта PEER, позволяют продлить период оценки до 2016 года.

Восстановленные ряды стока рек бассейна Амударьи за период 1999/2000 – 2014/2015 гг представлены на рисунках 1.5, 1.6, 1.7. На рисунке 1.8 представлена динамика годовых объемов естественного стока реки Амударьи за 1932/1933 – 2014/2015 годы, а на рисунке 1.9 – объемы стока по отдельным рекам, составляющим сток Амударьи.

Анализ представленных данных показывает, что наблюдается небольшой тренд на снижение годового стока Амударьи за 1932/1933 – 2014/2015 годы; годовой сток реки за этот период снизился на 0.8 %.

Сравнение данных годового стока рек бассейна Амударьи по периодам и источникам данных представлено в таблице 1.1.



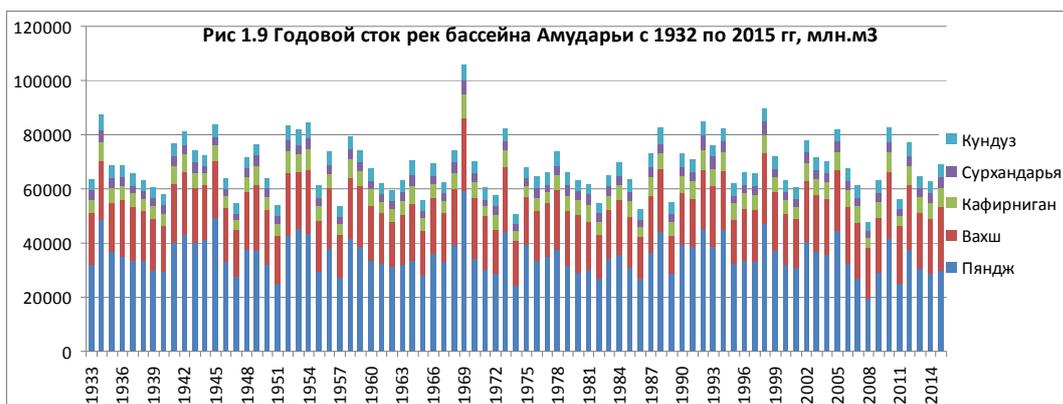


Таблица 1.1 Сравнение данных о годовом стоке рек бассейна Амударьи по периодам и источникам

Параметр	Период	Источник данных	Ед. изм.	Пяндж	Вахш	Кафирниган	Сурхандарья	Кундуз	Амударья (сумма рек)
Средний многолетний годовой сток рек	1932/1933 - 1998/1999	БД НИЦ МКВК	куб.км / год	35,91	19,99	5,51	3,38	4,44	69,23
	1999/2000 - 2014/2015	РЕЕР	куб.км / год	33,39	21,12	5,61	3,38	4,34	67,84
	1932/1933 - 2014/2016	НИЦ МКВК / РЕЕР	куб.км / год	35,43	20,21	5,53	3,38	4,42	68,97
	по данным до 1970 года	САО Гидропроект, 1972	куб.км / год	34,9	20	5,56	3,82	3,66	67,94
Изменение годового стока по периодам	1999-2016 от 1932-1999		куб.км / год	-2,52	1,13	0,1	0	-0,1	-1,39
			%	-7,0	5,7	1,8	0,0	-2,3	-2,0
	1999-2016 от 1932-2016		куб.км / год	-2,04	0,91	0,08	0	-0,08	-1,13
			%	-5,8	4,5	1,4	0,0	-1,8	-1,6

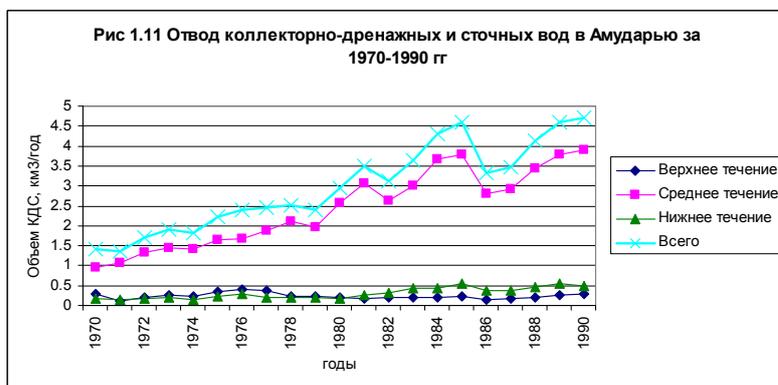
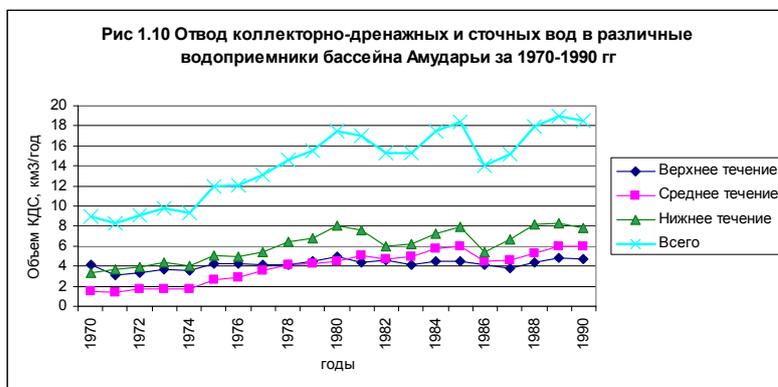
Сравнение даны таблицы 1.1 показывает, что средний многолетний сток реки Амударьи (сумма рек Вахш, Пяндж, Кафирниган, Сурхандарья & Шерабад и Кундуз) за 1999/2000 - 2014/2015 гг оказался ниже среднего многолетнего стока за период 1932/1933 – 1998/1999 гг на 1.39 км³ или 2 % от стока за период 1932/1933 – 1998/1999 г; основной вклад в снижение стока Амударьи оказал Пяндж, сток которого понизился на 2.52 км³ (7 %); при этом, сток реки Вахш вырос на 1.13 км³ (5.7 %). Наибольший “провал” водности наблюдался по Пянджу в 2008 году - до 20 км³ / год – наименьший объем из зафиксированных, что привело к снижению стока Амударьи (смотрите рис. 1.6, 1.7).

Анализ стока реки Амударья показывает очень хорошее соответствие естественного (не зарегулированного водохранилищами) стока основных притоков Амударьи - рек Пяндж и Вахш к требованиям орошаемого земледелия. Отличительной особенностью бассейна Амударьи является то, что орошаемые и пригодные для орошения земли некоторых зон планирования находятся на значительном удалении от источников (головных водозаборов). Это обстоятельство отразилось на специфике формирования водохозяйственных систем в бассейне и создании на них систем наливных водохранилищ сезонного цикла, а также на формировании и распределении КДС, сбрасываемого в Амударью и озера по магистральным коллекторам.

Коллекторно-дренажный сток бассейна Амударьи

Величина коллекторно-дренажного стока в бассейне Амударьи измеряется, главным образом, в устьевых створах магистральных коллекторов, что не позволяет учитывать весь формирующийся дренажный сток; для моделирования дренажного стока во всех его составляющих, необходимо: учесть (если он существует) временной лаг - запаздывание основных фаз подъема и спада КДС от фаз гидрографов водозабора в каналы, выделить из КДС объемы сброса в озера и понижения, в речную сеть (для бассейна Амударьи характерно "регулирование" КДС в озерах). КДС должен быть разделен по источникам на две составляющие: КДС, сформированный на орошаемых площадях, и сбросные воды с промышленных предприятия, бытового сектора и фермерских хозяйств. Такое разделение позволит правильно смоделировать формирование и распределение КДС на перспективу в зависимости от трендов изменения орошаемых полей, размещения культур, роста промышленного производства, населения и др. В объем возвратных вод КДС (или ее часть) входит как одна из составляющих; другие составляющие: холостые сбросы с каналов, остаточный сток рек (боковой приток по рекам).

Наиболее интенсивный рост КДС в бассейне Амударьи наблюдался в период с 1970 по 1980 годы, - в это время в бассейне развивалось орошение и строительство дренажных систем. С 1980 по 1990 годы на фоне общего роста КДС колебался в зависимости от водности бассейна. На рисунках 1.10, 1.11 показана динамика отвода коллекторно-дренажных и сточных вод в различные водоприемники бассейна Амударьи, в том числе в русло самой реки Амударья. На рисунках видно, что в нижнем течении отводится наибольший КДС, в верхнем - наименьший. Если же проследить динамику сбросов КДС в реку Амударью, то здесь другая картина: наибольший объем сбрасывается в среднем течении, наименьший - в нижнем.

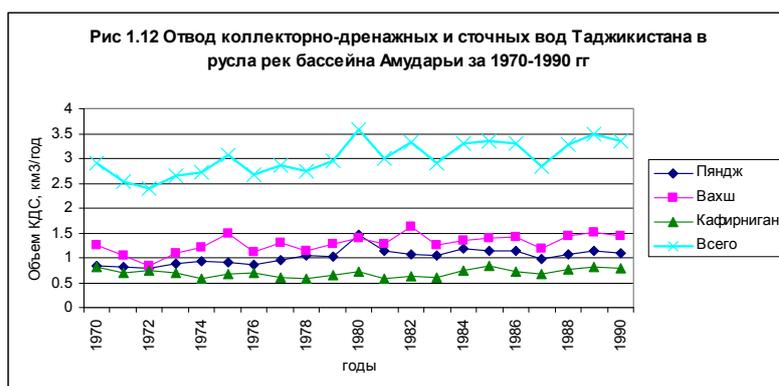


С 1990 по 2000 год объем КДС прекратил свой рост. В конце 90-х общий объем отвода коллекторно-дренажных и сточных вод в водоприемники бассейна Амударья достиг 19 км³/год, а средний объем КДС за 1990-2000 годы составил 18.2 км³/год, - объем изменялся от 16 до 19 км³/год, но в целом даже снизился (основная причина – снижение водозабора в каналы). В таблице 1.2 приводятся осредненные данные за 1990-2000 годы, характеризующие формирование и водоотведение возвратных вод в бассейне Амударья – данные из Диагностического доклада “Рациональное и эффективное использование водных ресурсов в Центральной Азии”, подготовленном специальной экономической программой в ЦА - SPECA (ООН, 2000).

Таблица 1.2 Формирование возвратных вод и водоотведение в бассейне Амударья: осреднение за 1990-2000 годы, км³/год

Показатель	Таджикистан	Туркменистан	Узбекистан	Всего бассейн
1.Формируется возвратных вод всего	2.55	4.05	11.6	18.2
В том числе:				
- КДС от орошения	2.4	3.8	10.8	17.0
- Сточные воды	0.15	0.25	0.8	1.2
2.Повторное использование	0.07	0.04	2.0	2.11
3.Водоотведение всего	2.48	4.01	9.6	16.09
В том числе:				
- в реки	2.48	0.91	3.37	8.5
- в понижения	0	3.1	6.23	7.59

В бассейнах рек Пяндж, Вахш и Кафирниган такого интенсивного роста КДС с 1970 по 1990 годы не происходило (смотрите рисунок 1.12). В конце 90-х общий объем отвода коллекторно-дренажных и сточных вод в водоприемники бассейна Амударья в Таджикистане составил 3.35 км³/год. В среднем за 1990-2000 годы объем формируемых возвратных вод снизился до 2.55 км³/год. Современный объем возвратных вод Таджикистана составляет порядка 3.5...4.0 км³/год, из которых 3,0 км³ - дренажные возвратные воды с орошаемых земель, 0.50 км³ - бытовые и промышленные стоки. В бассейнах рек Пяндж и Вахш КДС формируется за счет сброшенной воды с орошаемых полей (10...20 %) и дренажного стока. Возвратные воды распределены по территории следующим образом: РРП - 19 % от общего объема КДС, Хатлонская область - 80 %, ГБАО - 1 %.



В среднем за 2010 – 2015 годы объем возвратного стока в бассейне Сурхандарьи составил 0.96 км³/год (по данным, собранным в рамках проекта PEER); по годам он распределялся крайне неравномерно (смотрите таблицу) в явной зависимости от водности бассейна. Необходимо выделить: отвод КДС в реку Сурхандарью и ее притоки, отвод КДС в Карасу (продолжение реки Шерабад) и непосредственный сброс в Амударью.



В среднем течении в реку Амударью отводится КДС от Каршинской ЗП по Южному коллектору, от Бухарской ЗП по Парсанкульскому сбросу (от озера Соленное) и по коллекторам Лебапской ЗП (Туркменистан). На рисунках 1.14, 1.15 показана динамика объемов стока коллекторов Карши, Бухары и Лебапа, сбрасываемых в Амударью: 2010-2015 годы, выборка из БД проекта PEER.

Система коллекторов Бухарской ЗП помимо Парсанкульского сброса (Главный Бухарский коллектор) включает:

- Северо-Бухарский коллектор – впадает в естественное понижение Каракыр,
- Центральный Бухарский коллектор – русло реки Заравшан (Каракульдарьи),
- Маханкульский сброс – продолжение Центрального Бухарского коллектора – впадает в озеро Соленное,
- Западно-Ромитанский коллектор – сбрасывает воду в озеро Соленное,
- Параллельный и Денгизкульский – впадает в Денгизкульскую впадину,
- Главный Каракульский – направляет КДС в озеро Соленное.

Таким образом, только часть КДС, который формируется в Бухарской ЗП, сбрасывается в реку Амударью. Данная особенность затрудняет прогнозирование сбросов КДС в Амударью, поскольку они зависят не только от водозабора в ЗП, водности рек ЗП, но также от технических особенностей транспортирования КДС (протяженность, расход, регулирование в озерах) сбросных трактов.



Основные коллектора Хорезма: трансграничные магистрали Дарьялык и Озерный. Дарьялыкский коллектор проходит по старой протоке Дарьялык и до границы с Туркменистаном собирает воды Диванкульского, Шават-Андреевского, Чагат-Атабинского и других коллекторов. Озерный (или Озерно-урavnительный) также собирает до границы с Туркменистаном сток коллекторов (Дауданский коллектор и др.), а также связывает в единую сеть ряд озер. В питании этих коллекторов существенную роль играют остатки оросительных вод, сбрасываемых с полей орошения. Слияние Дарьялыкского и Озерного коллекторов происходит на территории Туркменистана (Дашогузская ЗП). Эти коллектора пополняются сбросами КДС с Дашогузской ЗП и впадают в озеро Сарыкамыш (как один коллектор под названием Дарьялыкский).

Коллектора Республики Каракалпакстан можно разделить на коллектора правого и левого берега. Из коллекторов правого берега следует выделить Главный Южный коллектор Каракалпакстана (ГЮКК), КС-1, КС-3, из коллекторов левого берега – ККС (Кунградский), - по этому коллектору вода сбрасывается в озеро Судочье. Составляющими ККС являются: правая ветка и Главный Левобережный.

На рисунках 1.16, 1.17 показана динамика объемов стока коллекторов Хорезма и Республики Каракалпакстан, 2010-2015 годы, выборка из БД проекта PEER.





Возвратные воды Туркменистана (коллекторно-дренажные воды с орошаемых полей и сточные воды) можно разделить по зонам планирования Лебап, Дашогуз и зоне Гарагумдарьи (Ахалская, Марыйская ЗП). В проекте РЕЕР мы не исследуем водный баланс Балканской ЗП (она относится к бассейну Каспийского моря), включающем и возвратные воды, но в водном балансе Гарагумдарьи (Каракумского канала) мы должны учесть подачу воды в Балканскую ЗП (которая в будущем может быть увеличена).

В Лебапской ЗП из сформированного КДС сегодня около 75 % сбрасывается в Амударью, а остальная часть отводится в понижения. В среднем за 2010-2015 годы с Лебапской ЗП в реку Амударью было сброшено КДС около $1.4 \text{ км}^3 / \text{год}$, а направлено в понижения – $0.4 \text{ км}^3 / \text{год}$. В Ахалской ЗП КДС оценивается в $0.5 \text{ км}^3 / \text{год}$, в Мары – $1.3 \text{ км}^3 / \text{год}$, в Дашогузе – $2.2 \text{ км}^3 / \text{год}$, - итого по Туркменистану $5.8 \text{ км}^3 / \text{год}$, в том числе в зоне Гарагумдарьи – $1.8 \text{ км}^3 / \text{год}$. Основными коллекторами в Ахалской ЗП являются: ГКС 1, ..5, ГВСК, К 1, К 5, К 6, ТЦК; в Мары: ГМК, Джар; в Дашогузе: Дарьялыкский (около 60 % КДС ЗП) и Озерный.

Использование подземных вод

Эксплуатационные запасы подземных вод малого бассейна Амударьи (МБА) были оценены Средазгипроводхлопом в 1984 году при уточнении схемы комплексного использования и охраны водных ресурсов реки Амударьи (Средазгипроводхлопок, 1984) в 11.5 км^3 в год, из них в Кыргызстане – 0.01 км^3 , Таджикистане – 1.68 км^3 , Туркменистане 4.08 км^3 и в Республике Узбекистан – 5.73 км^3 .

По своему происхождению подземные воды могут быть подразделены на воды, формирующиеся i) естественным путем за счет осадков, фильтрации из водоемов, речных русел, и ii) на орошаемых полях и каналах (антропогенная составляющая). Месторождения подземных вод могут иметь гидравлическую связь с поверхностным стоком, - в этом случае при чрезмерном отборе подземных вод поверхностный сток может уменьшаться. Исходя из этого, по каждому месторождению устанавливаются утвержденные запасы, разрешенные для отбора. Для МБА они были оценены (Средазгипроводхлопок, 1984) приблизительно в 2 км^3 , в том числе: для верхнего течения Амударьи – 0.97 км^3 , Лебапской зоны Туркменистана и зоны Гарагумдарьи – 0.36 км^3 , Каршинской и Бухарской зон – 0.39 км^3 , в низовьях Амударьи – 0.28 км^3 . Подземные воды используются на хозяйственно-питьевые нужды, промышленностью, на обводнение пастбищ и орошение.

В дальнейшем утвержденные запасы пересматривались. В диагностическом докладе “Рациональное и эффективное использование водных ресурсов в Центральной Азии”, подготовленном специальной экономической программой в ЦА - SPECA (ООН, 2000) утвержденные к использованию запасы подземных вод Таджикистана оценены в 2.2 км³/год, а при подготовке Стратегии водного сектора Республики Таджикистан (2008) - в 2,8 км³/год, из которых на малый бассейн Амударьи (по оценке НИЦ МКВК) приходится около 2.0 км³/год. Фактический отбор подземных вод в Таджикистане меньше утвержденных к использованию запасов. Например, в 1999 году Таджикистан использовал только 45 % утвержденных запасов подземных вод; из них: на орошение было направлено около 55 % от фактического отбора, на питьевое водоснабжение – 34 %, на промышленность – 9 %. Распределение по территории следующее: районы республиканского подчинения (РПП) - 65 % от общего водозабора подземных вод Таджикистана в малом бассейне Амударьи, Хатлонская область – 34 %, ГБАО – 1 %.

В Туркменистане насчитывается около 190 месторождений пресных подземных вод, 75 из них – эксплуатационные запасы. Современные утвержденные запасы для использования подземных вод оценены (ООН, 2000) в 1.22 км³/год, из них фактический отбор (по данным 1999 года) составляет 37 %; на орошение (включая вертикальный дренаж) используется около 46 % подземных вод (от фактического отбора), на питьевое водоснабжение – 45 %, на промышленность – 8 %. В Дашогузской ЗП используется около 9 % общего объема, используемых в Туркменистане, подземных вод, в Лебапской ЗП – 28 %, в Мары - 8 %, в Ахале – 55 %.

По данным Узбекгидроингео (оценка 2001 года) эксплуатационные запасы подземных вод Республики Узбекистан в бассейне Амударьи составляют 9.93 км³/год, из них на пресные воды (с минерализацией менее 1 г/л) приходится 3.11 км³/год; утвержденные к использованию подземные воды оцениваются приблизительно в 1 км³/год. Распределение подземных вод Узбекистана в бассейне реки Амударьи по областям следующее: Сурхандарьинская область – 0.2 км³/год, Кашкадарьинская область - 0.25 км³/год, Бухарская и Навоийская - 0.2 км³/год, Хорезмская область и Республика Каракалпакстан – 0.05 км³/год. На хозяйственные и питьевые нужды в Сурхандарьинской и Кашкадарьинской областях тратится 56 % от общего объема подземных вод, в Бухарской и Навоийской - 66 %, в Хорезме и Республике Каракалпакстан – 54 %. Другие потребители: сельскохозяйственное водоснабжение (20...40 %) и промышленность.

Водозабор из подземных вод в бассейне Амударьи осуществляется в пределах утвержденных к использованию запасов. В перспективе использование подземных вод также будет осуществляться в пределах утвержденных к использованию эксплуатационных запасов.

В таблице 1.3 приводится динамика водозабора из подземных вод стран бассейна Амударьи для современного уровня использования и на перспективу, в % от располагаемых водных ресурсов (анализ данных из Отчета № 1 национальной рабочей группы Республики Узбекистан. Программа бассейна Аральского моря. Проект управления водными ресурсами и окружающей средой. Подкомпонент А–1. Ташкент, 2001).

Таблица 1.3 Использование подземных и коллекторно-дренажных вод бассейна Амударья, в % от располагаемых водных ресурсов: современный уровень и перспектива (ориентировочно 2025 год)

Республика	Использование подземных вод, %		Использование КДС, %	
	Современный уровень	Перспектива	Современный уровень	Перспектива
Кыргызстан	8	10	0	0
Таджикистан	5	7	0	0
Туркменистан	2	2	10	17
Узбекистан	3	3	7	13

2. Регулирование стока рек водохранилищами и ГЭС

Регулирование стока в бассейне реки Амударья осуществляется речными (русловыми, наливными) и внутрисистемными (расположенными внутри ирригационных систем) водохранилищами. Регулирование реки Вахш осуществляется водохранилищами Вахшского каскада ГЭС, регулирование реки Амударья – водохранилищами ТМГУ. Регулирование рек Вахш и Пяндж учтено в модели WAm ASBmm, регулирование других рек – в зонах планирования моделью PZm ASBmm. Краткая характеристика водохранилищ бассейна Амударьи приводится в Приложении к отчету.

ГЭС Таджикистана

В настоящее время единственным водохранилищным гидроузлом с ГЭС, который в значительной степени влияет на внутригодовое распределение стока реки Вахш (а значит и реки Амударья), является Нурекский Гидроузел. Другие ГЭС Таджикистана имеют полезные емкости, позволяющие осуществлять суточное или недельное регулирование.

Динамику суммарных мощностей ГЭС Таджикистана в бассейне Амударьи за 2010-2015 годы можно проследить на рисунке 2.1. Объекты энергосистемы Таджикистана, ограниченные бассейном Амударьи, включают (по состоянию на 2015 год): Нурекскую ГЭС, ГЭС Вахшского каскада (Байпазинская, Головная, Сангтудинские ГЭС 1 и 2), ГЭС Вахшского канала (Перепадная, Центральная), каскад Варзобских ГЭС и ГЭС реки Гунт (Памир, Хорог). В данный не входит Кайраккумская ГЭС, поскольку она относится к бассейну реки Сырдарьи). Суммарная установленная мощность всех ГЭС Таджикистана (бассейн Амударьи) на 2015 год оценивается в 4.81 ГВт. Краткая характеристика всех основных ГЭС Таджикистана приводится в Приложении к отчету.



Мощность тепловых электростанций Таджикистана в настоящее время оценивается в 0.67 ГВт – это суммарная фактическая мощность районных отопительных систем, вырабатывающих электроэнергию, включая Душанбинскую ТЭЦ – 1 и Яванскую ТЭЦ. Таким образом, суммарная мощность всех электростанций Таджикистана в бассейне Амударьи на 2015 год можно оценить в 5.48 ГВт.

Сангтудинские ГЭС 1 и 2

Сангтудинская ГЭС-1 расположена в Хатлонской области Республики Таджикистан, в 110 км к югу от столицы республики Душанбе, является крупнейшим инвестиционным проектом, реализованным Российской Федерацией. Строительство Сангтудинской ГЭС-1 велось в течение 4 лет с 2005 по 2009 год. Первый гидроагрегат ГЭС начал вырабатывать электроэнергию в январе 2008 года; в конце июля 2009 года станция была введена в эксплуатацию. Открытая Акционерная Холдинговая Компания «Барки Точик» (ОАХК «Барки Точик») обеспечивает передачу, распределение и продажу электроэнергии, вырабатываемой на ГЭС конечным потребителям — населению и предприятиям Республики Таджикистан.

Сангтудинская ГЭС-2 расположена в 120 км юго-восточной Душанбе, имеет проектную мощностью 220 МВт, является совместным таджикско-иранским проектом. Строительство Сангтудинской ГЭС-2 началось в феврале 2006 года. Первый агрегат ГЭС (110 МВт) был запущен в сентябре 2011 года, в сентябре 2013 года был запущен второй агрегат мощностью 110 МВт. После пуска в течение 14,5 лет Сангтудинская ГЭС-2 будет считаться собственностью Ирана, после чего перейдет в собственность Таджикистана.

Нурекский гидроузел

Нурекский гидроузел - ирригационно-энергетического назначения, в эксплуатации с 1972 года. Основные данные: НПУ - 910 м, УМО - 857 м, полный объем . - 10,5 км³, полезный - 4,5 км³, установленная мощность ГЭС - 3000 тыс.кВт., напор 223 м. Объем заиления (по съёмке 1990 г.) оценивается в 1,8 км³, в том числе в пределах мёртвого объема (ниже отметки 857 м) около 700 млн.м³, и полезного объема – 1.1 км³ (по данным Средазгидропроекта). Гарантируемый среднесуточный зимний попуск в нижний бьеф Нурекского гидроузла по проекту установлен в размере 300 м³/с. 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.

Испарение с водной поверхности водохранилища Нурекского гидроузла - 1050 мм/год, объем испарения при средней площади зеркала 98 км² - 90 млн.м³/год. Ведомственная принадлежность гидроузла: ОАХК «Барки Точик».

По проекту Нурекское водохранилище должно регулировать сток реки Вахш в период вегетации в компенсирующем (по отношению к Пянджу) режиме по ирригационному графику водопотребления. Современное назначение гидроузла (по приоритетам): сезонное регулирование стока в интересах гидроэнергетики Таджикистана, осуществление попусков в вегетацию в интересах орошаемого земледелия верхнего и среднего течения Амударьи по графику МКВК / БВО «Амударья».

Эффективность регулирования стока Нурекским гидроузлом может быть оценена:

- Количеством выработанной электроэнергией на ГЭС в осеннее -зимний период и дефицитом электроэнергии в этот период,
- Количеством выработанной электроэнергией на ГЭС в вегетационный период и избытками (потерями) электроэнергии,

- Объемами попусков воды из Нурекского водохранилища в вегетационный и осеннее -зимний периоды, холостыми сбросами ГЭС.

Эффективность управления водными ресурсами Нурекского гидроузла может быть оценена:

- Сравнением прогнозных и фактических значений притока воды в Нурекское водохранилище,
- Сравнением планируемых (график БВО “Амударья”) и фактических попусков из Нурекского водохранилища.

На рисунках 2.2 – 2.8 приводятся:

- Гидрографы притока и попуска воды из Нурекского водохранилища за 2009-2010 гг, показывающие колебания месячных объемов, - наибольшие колебания наблюдаются в вегетацию по попускам воды (рис. 2.2, 2.3),
- Динамика объемов попуска из Нурекского водохранилища с 1987 по 2014 гг для июля и декабря месяцев, - здесь прослеживается тренд на снижение июльского стока и небольшой тренд на рост декабрьского стока (рис. 2.4),
- Сравнение по декадам прогнозируемых (Узгидромет) и фактических объемов притоков воды к Нурекскому водохранилищу за период с октября 2009 года по сентябрь 2015 года, - здесь обращает на себя внимание превышение прогнозируемых объемов над фактическими (рис. 2.5); в среднем за период среднее декадное значение притока по прогнозу составило 561 млн.куб.м, а фактически была равна 615 млн.куб.м за декаду, ошибка прогноза - 54 млн.куб.м за декаду (около 10 %),
- Сравнение по декадам планируемого (график БВО “Амударья”) и фактических объемов попусков воды из Нурекскому водохранилищу за период с октября 2009 года по сентябрь 2015 года (рис. 2.6), - здесь также прослеживается превышение плановых объемов над фактическими; ошибка прогноза составляет 53 млн.куб.м за декаду (около 9 %).,
- Интегральные кривые (суммирование в нарастающем итоге) декадных отклонений фактических значений попуска от планируемых по сезонам (рис. 2.7, 2.8), - если к концу периода октябрь – март интегральная кривая выходит на отрицательные значения отклонений, что говорит об ошибках планирования в сторону превышения попусков (план выше факта), то за периода апрель – сентябрь интегральная кривая все время повышается и выходит к концу периода на положительное значение, что говорит об ошибках планирования в сторону занижения попусков (план ниже факта); ошибки в планировании попусков из Нурекского гидроузла являются следствием, прежде всего, ошибок в прогнозировании притока воды к Нурекскому водохранилищу.

Рис 2.2 Приток к Нурекскому водохранилищу за 2009-2015 гг

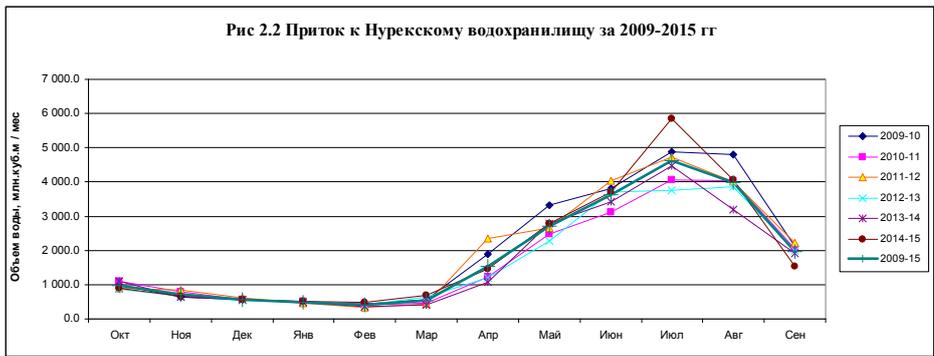


Рис 2.3 Попуск из Нурекского водохранилища за 2009-2015 гг

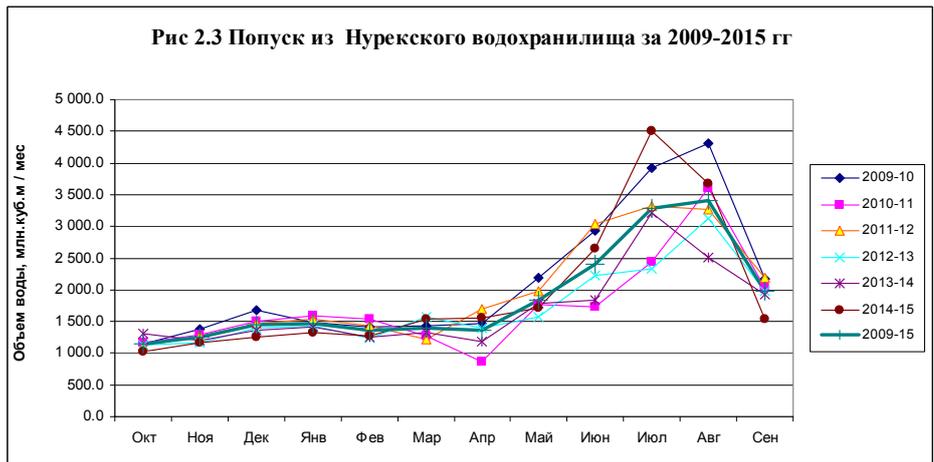
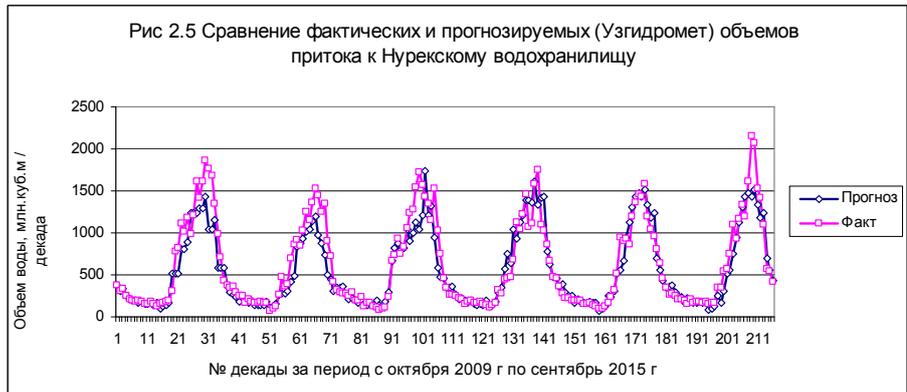
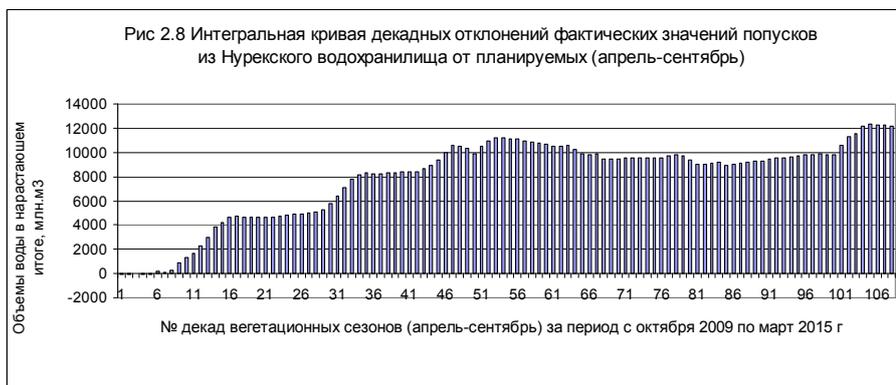
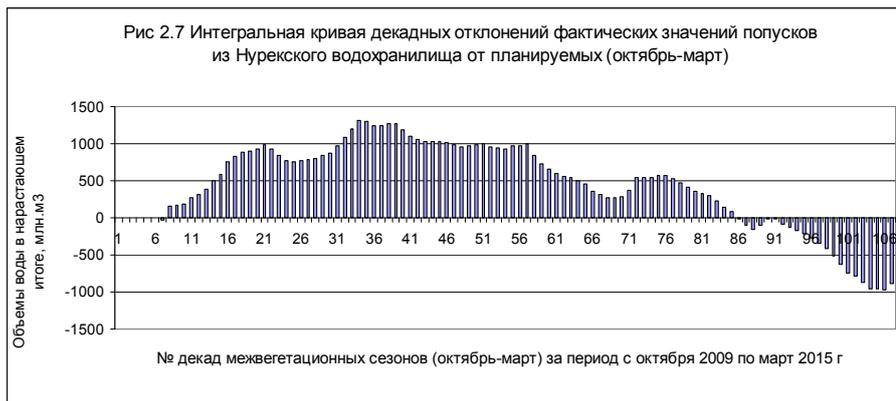
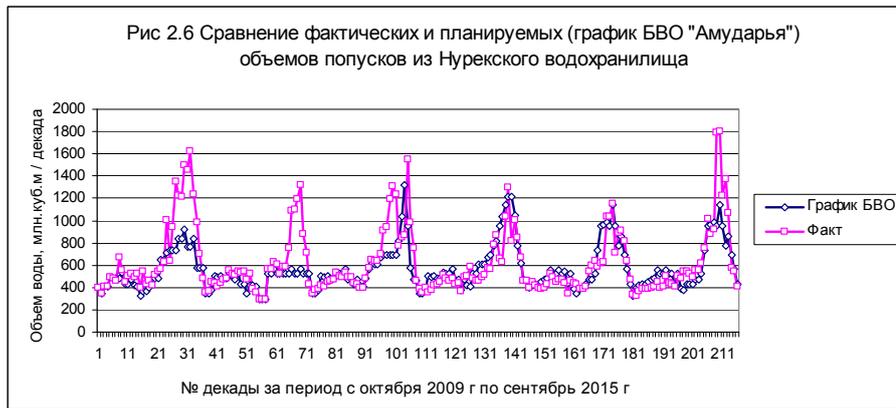


Рис 2.4 Динамика объемов попусков из Нурекского водохранилища за июль и декабрь



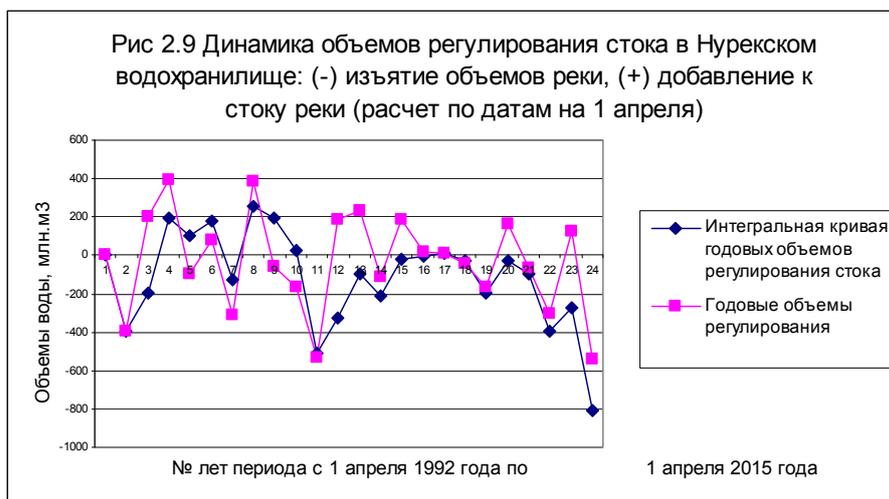
Рис 2.5 Сравнение фактических и прогнозируемых (Узгидромет) объемов притока к Нурекскому водохранилищу



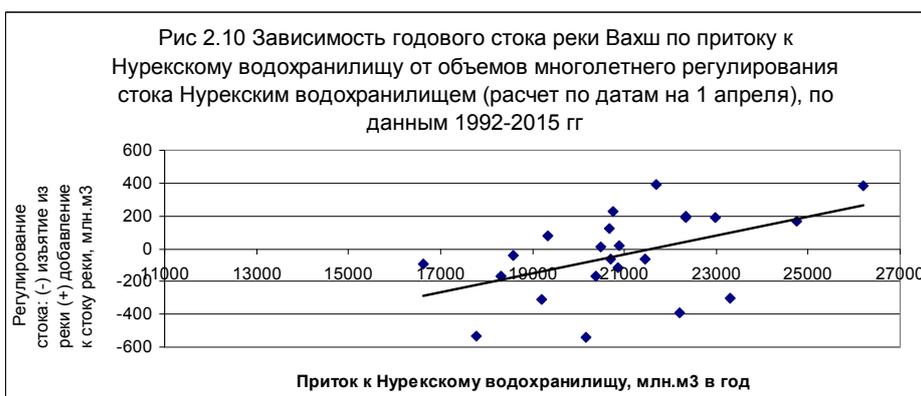


Многолетнее регулирование стока в Нурекском водохранилище

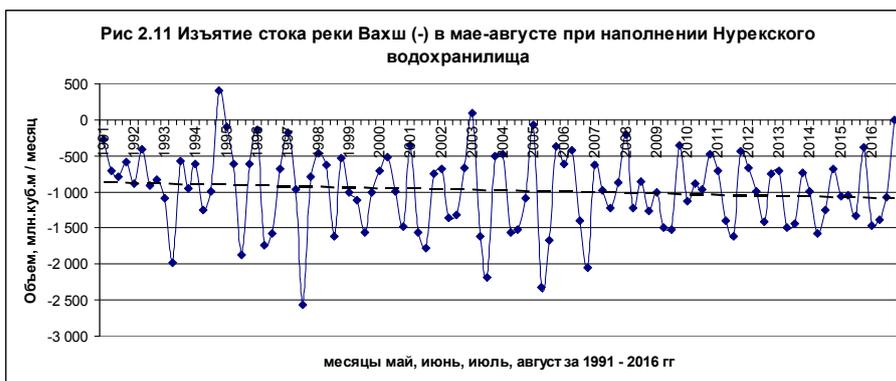
Если проследить динамику наполнения Нурекского водохранилища с 1992 года по 2015 год (рис. 2.9), то можно отметить следующее. Водохранилище практически каждый год наполняется на максимальный объем (10.5 км^3) и сбрасывается к началу апреля, но на разный объем. Таким образом, если оценивать регулирование стока по дате на 1 август – водохранилище работает в сезонном режиме, но если по дате на 1 апреля – в сезонном (годовом) и частично в многолетнем. О величинах годовых объемах регулирования можно проследить на рисунке – видно, что наблюдались года, когда водохранилище наполнялось (происходило изъятие объемов воды из реки Вахш) и когда водохранилище сбрасывалось (происходило добавление воды из водохранилища в реку Вахш).



Сравнивая объемы многолетнего регулирования стока в Нурекском водохранилище с притоком воды в водохранилище (водностью реки Вахш) наблюдаем следующую картину: водохранилище может срабатываться за многоводный год и наполняться за маловодный, т.е. происходит неэффективное с точки зрения и орошения и гидроэнергетики управление. Более того, выявлена определенная закономерность (смотрите рисунок 2.10): чем больше приток к Нурекскому водохранилищу, тем больше сработка из многолетних запасов Нурекского водохранилища, а чем меньше приток (и водность Вахша), тем больше наполнение Нурекского водохранилища и дополнительное изъятие стока из реки Вахш.



На рисунке 2.11 приводится динамика объемов изъятия стока реки Вахш Нурекским водохранилищем, когда происходит наполнение водохранилища. Наблюдается тренд на увеличение объемов изъятия стока, искажающих естественный режим Вахша за 1991 – 2015 гг. Максимальный месячный объем изъятия вегетационного стока достигает 2.5 км^3 .



Холостые сбросы

Анализ работы Нурекской ГЭС, выполненный Петровым Г.Н (2009) в монографии “Оптимизация режимов работы гидроузлов с водохранилищами”, показывает, что холостые сбросы с Нурекского гидроузла в период с 1991 по 2005 гг составили: 2.74 км³ (1992 год), 1.95 км³ (1993 год), 4.07 км³ (1994 год), 0.5 км³ (1995 год), 1.89 км³ (1996 год), 1.74 км³ (1997 год), 2.57 км³ (1999 год), 0.3 км (2000 год), 3.26 км³ (2002 год), 0.9 км³ (2003 год), 0.2 км³ (2004 год), 1.3 км³ (2005 год). Автор показывает, что холостые сбросы могут быть исключены при годовом притоке к Нуреку ниже 21 км³ воды в год.

Выводы сделанные Г.Н. Петровым подтверждаются нашими расчетами. Более того, мы можем выделить несколько составляющих холостых сбросов:

- холостые сбросы, вызываемые техническими ограничениями (пропускная способность агрегатов, установленная мощность), - по нашим оценкам за период 2010 – 2019 годов для Нурекской ГЭС они достигали: 530 м³/с (третья декада сентября 2010 г), 283 м³/с (вторая декада августа 2012 г), 725 м³/с (вторая декада июля 2015 г)
- холостые сбросы, рассчитанные по избыткам мощности ГЭС (избыток определяется по разнице между расчетной потенциальной выработкой и спросом на электроэнергию).

Ниже на графиках 2.12 – 2.14 показаны примеры суточных режимов работы Нурекской ГЭС за август и сентябрь 2014 года (обработка данных КДЦ “Энергия”): расходы ГЭС, холостые сбросы и потери энергии на холостых сбросах.





Тюямуюнский гидроузел

Значимость Тюямуюнского гидроузла (ТМГУ) как регулирующего ирригационного комплекса в 20 лет несомненно возросло в связи с увеличением дефицитов воды в бассейне и низкой способностью Нурекского водохранилища снижать летние дефициты воды в среднем и тем более нижнем течении.

ТМГУ – это комплекс гидротехнических сооружений комплексного назначения (ирригация, хозяйственное водоснабжение, энергетика), является замыкающим в Вахско-Амударьинском каскаде; в его состав входят: Руслевое и три наливных емкости (Руслевое водохранилище имеет полный проектный объем 2.34, Капарас – 0.96, Султансанджар – 2.69 и Кошбулак – 1.81 млрд.м³), ГЭС с установленной мощностью 150 тыс.кВт (6 агрегатов по 25 тыс.кВт каждый) и среднемноголетний выработкой 480 млн.кВт.ч. В состав сооружений ТМГУ также входят: водозаборы наполнения и сработка Султансанджарского и Капарасского водохранилищ, канал осветлённой воды из Султансанджарского водохранилища, Левобережный и Правобережный водозаборы в магистральные каналы.

Предельно возможные объёмы регулирования устанавливаются исходя из значений максимальной пропускной способности гидротехнических сооружений: для водозабора в ЛМК - 590 м³/с (при уровне воды в водохранилище от 130 до 120 м), 430 м³/с (при уровне 119 м), 320 м³/с (при уровне 118 м), 190 м³/с (при уровне 117 м), 120 м³/с (при уровне 116м), 60 м³/с (при уровне 115м); для сооружения наполнения и сработка Султансанджарского водохранилища - 500 м³/с (при уровне воды в водохранилище от 130 до 120 м), 100 м³/с (при уровне 116 м).

Объём заиления Руслового водохранилища (по съёмке 1992 г) оценивается в $0,7 \text{ км}^3$, в том числе в пределах мёртвого объёма (ниже отметки 120 м) - $0,2 \text{ км}^3$. В настоящее время объём заиления Руслового водохранилища оценивается в $1...1,2 \text{ км}^3$ и зависит от режима работы водохранилища, предполагающего его наполнение, интенсивную сработку и промывку емкости.

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

Реальные технические возможности к регулированию стока Амударьи в настоящее время определяются в основном объемами водохранилищ Нурекского и Тюямуонского гидроузлов. С учетом заиления емкостей Нурекского и Руслового водохранилищ и использования водохранилища Капарас в интересах водоснабжения, суммарная емкость регулирования водохранилищ Нурекского и Тюямуонского гидроузлов оценивается всего в $7,5 \text{ км}^3$

Основными функциями ТМГУ являются:

- внутригодовое (сезонное) трансформирование гидрографа притока к гидроузлу в интересах ирригации по требованиям оросительных систем низовий - Хорезма, Каракалпакистана (Узбекистан), Дашховуза (Туркменистан);
- аккумуляирование слабоминерализованной воды в Капарасе с целью дальнейшего ее использования для нужд питьевого водоснабжения низовий (по водоводам Тюямуон-Ургенч, Тюямуон-Нукус);
- регулирование паводков.

Многолетняя практика эксплуатации ТМГУ выработала ряд ограничений, которые необходимо соблюдать: запрещается срабатывать водохранилища с интенсивностью больше, чем один метр в сутки по условиям устойчивости сооружений; интенсивность изменения расходов выпуска воды из ТМГУ должна быть в пределах допустимой, особенно в период установления ледостава; при сработке наливных водохранилищ не рекомендуется доходить до отметки 126 м, так как нарушение этого правила приводит к активному перемешиванию водных масс и подъему соленых вод в верхние горизонты.

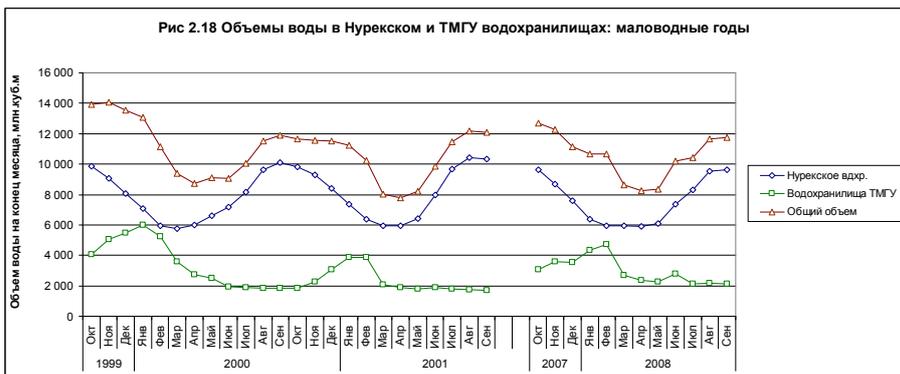
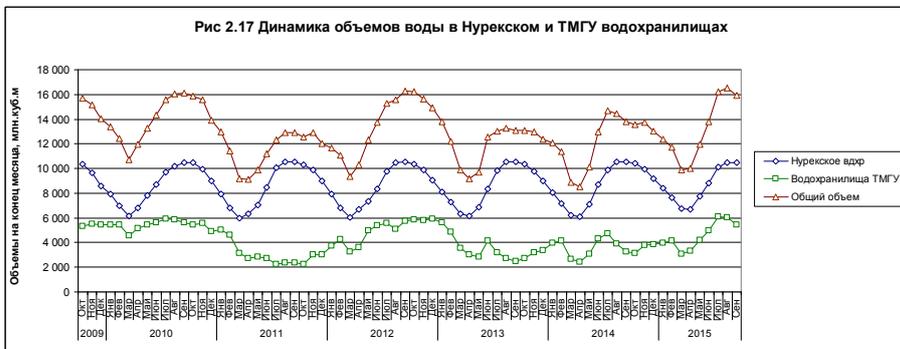
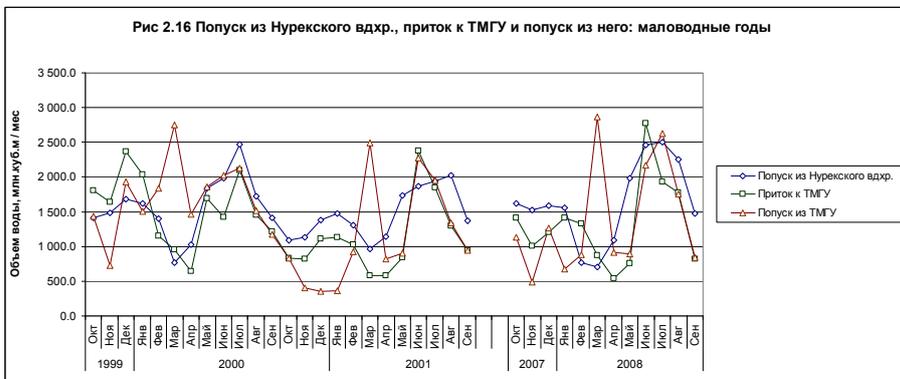
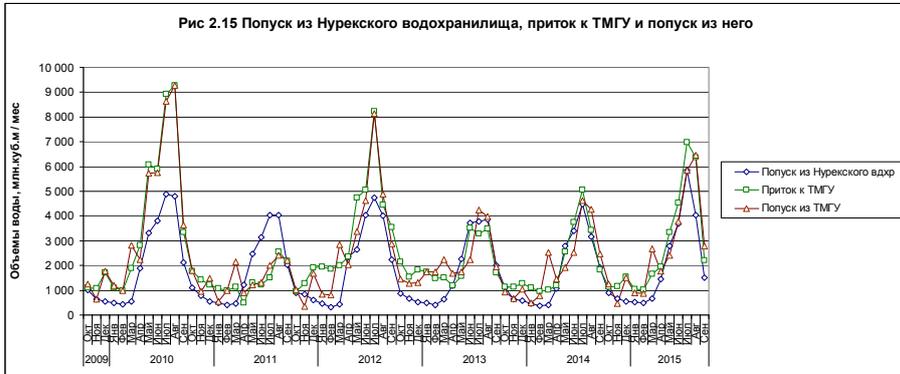
По проекту сработка Тюямуонского гидроузла начинается в период проведения весенних промывных поливов. В первую очередь срабатывается русловое водохранилище и Капарас, затем Султанджар и Кошбулак. Наполнение производится в осенне-зимний период за счет гарантированного попуска из Вахшских водохранилищ, в другие периоды - избытками стока в реке. По существующим правилам эксплуатации Тюямуонского гидроузла его водохранилища заполняются в период с сентября по май, а с июня по август происходит сработка водохранилищ.

Особенностью режима эксплуатации Тюямуонского гидроузла является наличие достаточно четко выраженных двух тактов работы водохранилища: промывные поливы (октябрь - апрель), вегетационные поливы (май - сентябрь). В маловодные годы во втором такте работы Руслового водохранилища ТМГУ создаются условия смыва отложившихся наносов и подачи в нижний бьеф мутной воды

На рисунках 2.15 – 2.18 приводятся:

- Динамика объемов воды, объемов притока и попусков ТМГУ за период с октября 2009 года по сентябрь 2015 года,

- Динамика объемов воды, объемов притока и попусков ТМГУ в маловодные годы для двух периодов (октябрь 1999 – сентябрь 2001 года; октябрь 2007 – сентябрь 2008 года).



Обращают на себя внимание следующие особенности работы регулирования стока в маловодные периоды:

- Наименьший приток к ТМГУ наблюдается в марте-апреле; в этот же период из Нурекского водохранилища сбрасываются наименьшие объемы воды,
- С конца мая приток к ТМГУ начинает возрастать и достигает максимума в июне; начиная с июля приток к ТМГУ и попуски из Нурекского водохранилища снижаются,
- На апрель приходится наибольший попуск воды из водохранилищ ТМГУ (в это время приток воды к ТМГУ и попуск из Нурекского водохранилища минимальные), следующий пик попусков (но меньший по величине) из ТМГУ приходится на июнь-июль.

Внутрисистемные водохранилища

В проекте РЕЕР исследованию подлежат внутрисистемные водохранилища, расположенные на каналах зон планирования. Выделены: внутрисистемные водохранилища верхнего течения Амударьи - Таджикистана и Сурхандарьинского бассейна (Республика Узбекистан), внутрисистемные водохранилища среднего течения Амударьи – зона Гарагумдарьи – Лебапская, Марыйская и Ахалская зоны планирования (Зеидское, Хаузханское, Копетдагское, Мадлусское и др.), водохранилища Каршинского канала и Каршинской зоны планирования (Талимарджанское, Шорсайское), водохранилища Аму-Бухарского магистрального канала (Учкызылское).

Водохранилища, расположенные на реках зон планирования, включены в водные балансы отдельных зон планирования, - к ним относятся водохранилища на реке Сурхандарье (Тупалангское, Южносурханское), Теджене (Тедженское 1, 2, Достлунское) и Мургабе (Ташкепринское, Сарыязинское).

Зеидское водохранилище расположено в головной части Гарагумдарьи (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 Каракумского 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.

Учкызылское водохранилище - расположено в нижнем течении реки Сурхандарья, наливное, сезонного ирригационного регулирования, полный объем - 160 млн.м³, полезный - 80 млн.м³. Наполняется из Магистрального канала Занг, берущего начало из Зангского гидроузла на реке Сурхандарья. Водохранилище служит для аккумуляции осенне-зимнего стока реки Сурхандарьи в целях повышения водообеспеченности земель южной зоны. Эксплуатируется с 1957 года. После строительства Машиного канала Аму-Занг (1-я очередь построена в 1973 году), обеспечивающего подачу амударьинской воды в

верхний бьеф Зангского гидроузла, в Учкызылское водохранилище стала поступать вода из Амударьи.

Талимарджанское водохранилище - наливное водохранилище сезонного регулирования стока, полной ёмкостью 1,53 км³, полезной 1,4 км³; расположено на стыке головной (машинный канал) и рабочей (самотечный канал) частей Каршинского магистрального канала (КМК). В эксплуатации с 1985 года. Водоохранилище аккумулирует воду, подаваемую от головной части с помощью насосной станции по подводящему каналу (расход 155 м³/с) и подпитывает рабочую часть Каршинского магистрального канала (КМК) через водовыпуск по сбросному каналу (расход 350 м³/с). Вода в рабочую часть КМК из машинного канала может подаваться или через водохранилище или по обводному каналу, минуя его. 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. При работе всех насосных агрегатов по системе КМК (машинный канал, водозабор в каналы Туркмении и канал Миришкор, рабочая часть канала, канал М-3) возможна подача 240 м³/сек для орошения земель в нижней (Каршинская зона планирования) и частично в средней зонах Кашкадарьинской области. Испаряемость с водной поверхности водохранилища - 1300 мм/год, объём испарения (при средней площади зеркала) составляет 68 млн.м³/год. Фактический режим работы Талимарджанского водохранилища несколько отличается от проектного. Минимальный объём воды в водохранилище наблюдается в конце августа. Наполнение начинается с сентября и продолжается до начала или середины марта, когда накапливается максимальный объём воды в водохранилище. Срабатывается водохранилище в марте - апреле и июне - августе.

Куюмазарское водохранилище - наливное внутрисистемное водохранилище сезонного ирригационного регулирования стока низовой реки Заравшан; полная ёмкость - 350 млн.м³, полезный объём - 300 млн.м³; объём испарения (при средней площади зеркала поверхности водохранилища) 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. Куюмазарская насосная станция расположена на Амубухарском магистральном канале (АБК-1), подаёт воду из АБК-1 в водохранилище, а также из отводящего канала водохранилища в АБК-1. Водоохранилище наполняется водами Заравшана по подводящему каналу и водами Амударьи по АБК. Водоохранилище наполняется с сентября до мая месяца, а срабатывается с декабря по март и с апреля по сентябрь. При этом, по АБК вода подается в сентябре - ноябре, январе и марте - мае.

Водоохранилища Кулябской оросительной системы: Сербульское водохранилище - расположено на реке Кзылсу, полезный объём 16 млн.м³; Муминабадское водохранилище - расположено на реке Оби-Шур, полезный объём 26 млн.м³, повышают водообеспеченность земель существующего орошения.

На рисунках 2.19 – 2.25 приводятся: объёмы наполнения и сработки внутрисистемных водохранилищ бассейна Амударьи; выделены зоны Гарагумдарьи, АБК, КМК, Амузанга.

Рис 2.19 Наполнение (+) и сработка (-) внутрисистемных водохранилищ различных зон бассейна Амударья

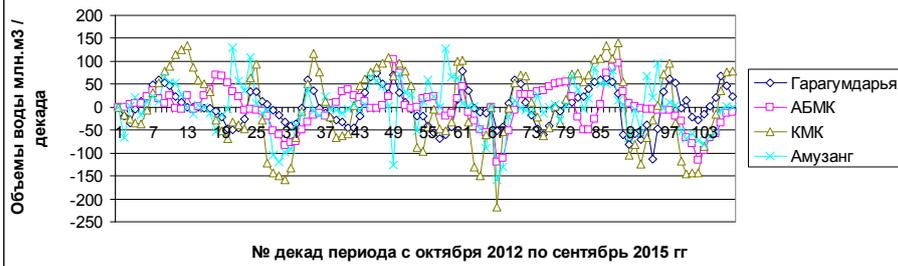


Рис 2.20 Объем воды в водохранилищах Туркменистана: зона Гарагумдарья

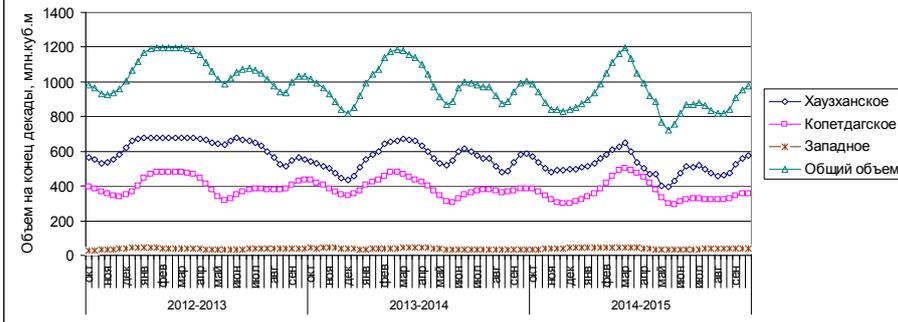


Рис 2.21 Объем воды в водохранилищах Республики Узбекистан: зона АБМК

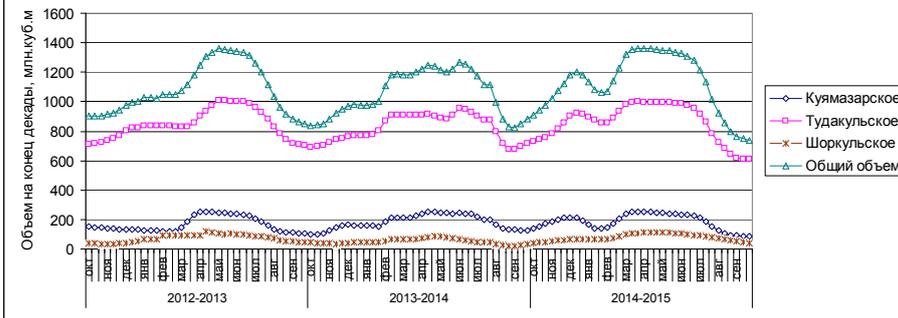


Рис 2.22 Объем воды в водохранилищах Республики Узбекистан: зона КМК

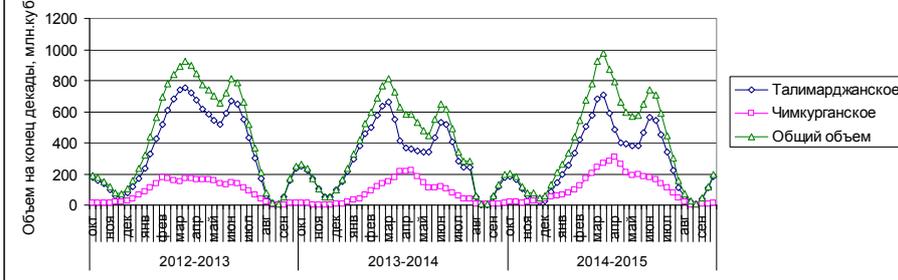


Рис 2.23 Объем воды в водохранилищах Республики Узбекистан:
зона канала Амузанг

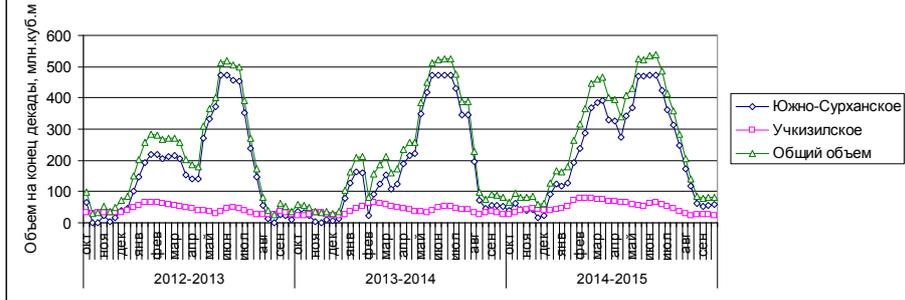


Рис 2.24 Динамика объема воды в Зеидском водохранилище

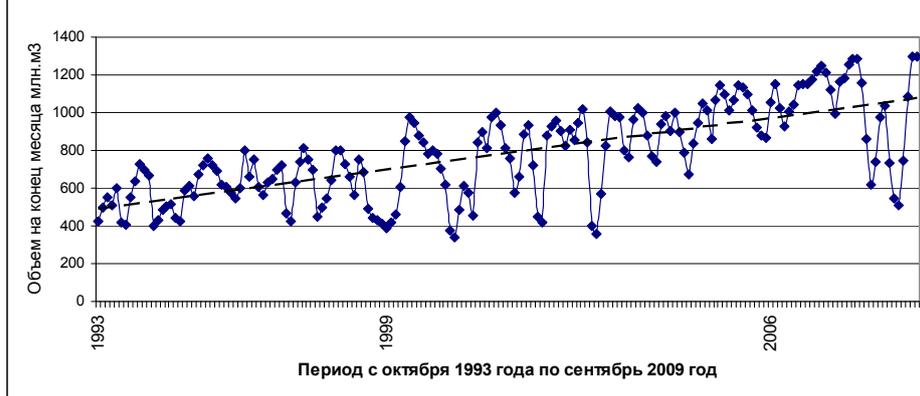
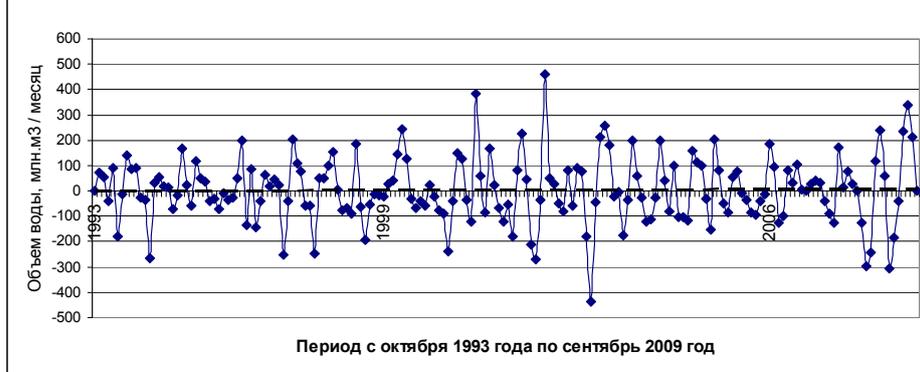


Рис 2.25 Динамика наполнения (+) и сброски (-) Зеидского водохранилища



3.Внесение изменений в комплекс ASBmm

Задача адаптации ASBmm, предусмотренная проектом PEER, предполагает:

- исследовательскую часть - переосмысления функционирования отдельных объектов и системы в целом, уточнения отдельных функций, внесения новых факторов и переменных,
- работу по совершенствованию алгоритмов – водного баланса ЗП, гидроэнергетической модели,
- работу по совершенствованию WEB-интерфейса – улучшение меню пользователя, улучшение структуры и наполнения БД.

Все изменения и дополнения, вносимые в ASBmm проектом PEER, соответствуют требованиям методологии моделирования сложных систем (Function Modeling) и информационных потоков (Information Modeling), разработанной в США.

Усовершенствование гидроэнергетической модели

Анализ работы каскада Вахшских ГЭС показывает, что для повышения эффективности управления каскадом необходима уточненная информация по следующим показателям:

- приток к Нурекскому гидроузлу,
- полезный объем Нурекского водохранилища,
- КПД каскада ГЭС,
- холостые технические сбросы Нурекской, Байпазинской и головной ГЭС,
- холостые сбросы каскада, обусловленные отсутствием потребителя электроэнергии.

В модель введены следующие изменения и дополнения:

- Расчет максимальных допустимых расходов Нурекскую ГЭС по условиям пропускной способности для небольших напоров и по условиям кавитации для высоких напоров (Петров Г.Н, 2009)
- Расчет холостых (технических) сбросов из Нурекской ГЭС, которые определяются как разницa расчетных расходов ГЭС и максимальных допустимых расходов,
- Экологическое условие для Нурекского гидроузла – расход через турбины и холостые сбросы в сумме не должен быть меньше санитарных попусков,

- Проверка расчетных мощностей ГЭС всего каскада на их не превышение установленных (доступных) мощностей,
- Уточнение батиметрических зависимостей “уровень воды - объем воды в водохранилище”, “уровень воды - площадь водной поверхности водохранилища” для Нурекского водохранилища (Петров Г.Н, 2009),
- Расчет боковой приточности на участке гидропоста Комсомолабад до Нурекского водохранилища (Петров Г.Н, 2009),
- Расчет уровня воды в реке Вахш ниже Нурекской ГЭС и напора на ГЭС (Петров Г.Н, 2009),
- Расчет холостых сбросов и потерь мощности (выработки) каскада ГЭС, вызванных отсутствием спроса на электроэнергию.

Заключение

Восстановление стока рек Пяндж, Кундуз, рек Туркменистана позволило оценить динамику поверхностных водных ресурсов бассейна Амударьи за 2010-2015 годы (базовый период) и подготовить основу (многолетние ретро-ряды) для построения оценки водных ресурсов на 2015-2055 годы.

Современная водохозяйственная обстановка бассейна реки Амударья характеризуется тем, что в Нурекском водохранилище перераспределение стока осуществляет, прежде всего, в интересах гидроэнергетики, что требует ниже по течению компенсационного ирригационного регулирования. Анализ работы Нурекского водохранилища за 1990-2015 годы показал, что водохранилище имеет небольшие объемы многолетнего регулирования (это видно из динамики наполнения водохранилища на 1 апреля). Водохранилище может сбрасываться за многоводный год и наполняться за маловодный, т.е. происходит неэффективное с точки зрения и орошения и гидроэнергетики управления.

Противоречие между энергетикой и ирригацией в бассейне Амударьи не принимает такого острого характера, как в бассейне Сырдарьи, поскольку, недостаточность полезного объема Нурекского водохранилища ограничивает его энергетический режим. Тем не менее, значимость Тюямуюнского гидроузла и внутрисистемных водохранилищ, как компенсационных регуляторов, в последнее время несомненно возросло.

Опыт эксплуатации внутрисистемных водохранилищ показывает, что величины фактических объемов регулирования в водохранилищах не являются постоянными и зависят от водности. Для сезонов повышенной водности характерно опережение по срокам утвержденных режимов наполнения водохранилищ, для маловодных – снижение объемов наполнения.

Приложение к разделу 2.1 ASBmm adjustment

Полезные объемы водохранилищ бассейна Амударьи по состоянию на 2015 год (по списку основных объектов)

Наименование водохранилищ	Страна, область	Река, канал	Полезный объем, млн.м ³
Водохранилище Нурекской ГЭС	Таджикистан	Вахш	4500
Водохранилище Байпазинской ГЭС	Таджикистан	Вахш	90
Водохранилище Сангтудинской ГЭС 1	Таджикистан	Вахш	20
Итого по реке Вахш			4610
Зеидское	Туркменистан	Гарагумдарья	2000
Хаузханское	Туркменистан	Гарагумдарья	435
Копетдагское	Туркменистан	Гарагумдарья	500
Данатийское	Туркменистан	Гарагумдарья	380
Мадлуское	Туркменистан	Гарагумдарья	650
Ховузхон	Туркменистан	Гарагумдарья	660
Западное	Туркменистан	Гарагумдарья	50
Итого по Гарагумдарье			4675
Тедженское 1	Туркменистан	Теджен	140
Тедженское 2	Туркменистан	Теджен	180
Достлунское	Туркменистан	Теджен	1000
Итого по реке Теджен			1320
Ташкепринское	Туркменистан	Мургаб	150
Сары Язинское	Туркменистан	Мургаб	350
Итого по реке Мургаб			500
Южно-Сурханское	Республика Узбекистан	Сурхандарья	700
Учкызылское	Республика Узбекистан	Амударья, канал Занг	80

Тупалангское	Республика Узбекистан	Тупаланг	450
Итого по Сурхандарьинской области			1230
Талимарджанское	Республика Узбекистан	Амударья, Каршинский магистральный канал	1400
Шорсайское	Республика Узбекистан	Каршинский магистральный канал	1500
Чимкурганское	Республика Узбекистан	Кашкадарья	450
Итого по Каршинской зоне			3350
Тудакульское	Республика Узбекистан	Аму-Бухарский магистральный канал	840
Шоркульское	Республика Узбекистан	Заравшан	200
Куюмазарское	Республика Узбекистан	Аму-Бухарский магистральный канал, Заравшан	300
Итого по Аму-Бухарской зоне			1340
Водохранилища ТМГУ	Республика Узбекистан	Амударья	5300
Тахияташское	Республика Узбекистан	Амударья	100
Междуреченское	Республика Узбекистан	Амударья	400
Итого низовья Амударьи			5800
Всего			22825
В том числе:			
Таджикистан			4610
Туркменистан			6495
Республика Узбекистан			11720
Примечание. В список не вошли водохранилища Самаркандской и Кашкадарьинской зон планирования, поскольку они не входят в малый бассейн Амударьи			

Мощность ГЭС Таджикистана по состоянию на 2015 год (по списку основных объектов)

Наименование ГЭС	Река, канал	Установленная мощность, МВт	Средняя выработка, млн.кВт.ч
Нурекская	река Вахш	3000	11200
Байпазинская	река Вахш	600	2485
Сангтудинская 1	река Вахш	670	2730
Сангтудинская 2	река Вахш	220	1050
Головная	река Вахш	240	1300
Перепадная	Вахшский канал	30	220
Центральная	Вахшский канал	20	110
Каскад Варзобских ГЭС	Река Варзоб	15	-
ГЭС на реке Гунт	Река Гунт	15	-
Итого		4810	

