

Фазылов А.Р. д-р техн. наук, доцент,
Институт водных проблем, гидроэнергетики
и экологии Академии наук,
Республика Таджикистан, г. Душанбе
Лавров Н.П. д-р техн. наук, профессор,
Санкт-Петербургский политехнический
университет Петра Великого, г. Санкт-Петербург

УПРАВЛЕНИЕ ТВЕРДЫМ СТОКОМ РЕКИ ВАХШ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Аннотация: в статье освещены проблемы и возможные пути управления твердым стоком при создании водохранилищ на водных объектах Таджикистана, в условиях изменения климата.

Ключевые слова: твердый сток, р. Вахш, изменение климата, водохранилище, управление.

Республика Таджикистан (РТ), занимая площадь 142,6 тыс. км², расположена в центре Евразийского континента и является горной страной (93% территории) с отметками абсолютных высот от 300 до 7495 м, со свойственными ей климатическими условиями, рельефом, геологическим строением, растительностью, животным миром, антропогенной нагрузкой. Специфическая орография и климат способствовали тому, что РТ является центром крупного современного оледенения в Центральной Азии (ЦА) [1].

Горные системы с ответвлениями образуют гидрогеографические области РТ, формируя при этом речные системы рек Амударьи и Сырдарьи. На севере страны расположен бассейн р. Сырдарьи, площадью 13,4 тыс. км², а остальная часть территории РТ находится в речном бассейне реки Амударья.

В Таджикистане имеется 947 рек, постоянных и сезонных водотоков (саи), возобновляемый водный сток которых в среднем составляет 64 км³ в год, в том числе 1,1 км³ /в год в бассейне реки Сырдарьи и 62,9 км³ /в год в бассейне реки Амударьи. Порядка 55% среднегодовых водных ресурсов бассейна Аральского моря формируются в Таджикистане [2].

Значительная амплитуда изменения высот и большие уклоны рек; широкое распространение горных пород, подверженных интенсивному выветриванию; слабо развитый растительный покров; частые весенние ливни и селевые потоки; а также антропогенная деятельность (нерегулируемый выпас, вырубка лесов, богарное земледелие) являются причинами повышенной мутности и значительного стока наносов рек Таджикистана. В связи с этим, реализация комплекса научных и практических исследований по управлению твердым стоком на водных объектах, обеспечивающих гидроэкологическую безопасность, является актуальной многофакторной задачей.

Согласно результатам глобальных оценок, в Таджикистане среднегодовой сток наносов примерно в трех четвертях территории страны варьируется, как правило, в пределах от 20 т/м^2 в год до 500 т/м^2 в год [3,4, 5].

В качестве объекта исследований твердого стока рек горно-предгорной зоны выбрана р. Вахш (ледниково-снеговое питание), пересекающая практически всю страну и все высотные и климатические зоны РТ. Внутригодовое распределение стока взвешенных наносов р. Вахш отличается большой неравномерностью и в значительной степени соответствует внутригодовому распределению стока воды. При этом соотношение экстремальных расходов воды, составило 1,8, а соотношение расхода наносов 3,9. Для подтверждения этих данных на рис. 1 приведен график изменения внутригодового расхода наносов, мутности и расхода воды р. Вахш (1949-2007гг.) по створу Рогунской плотины.

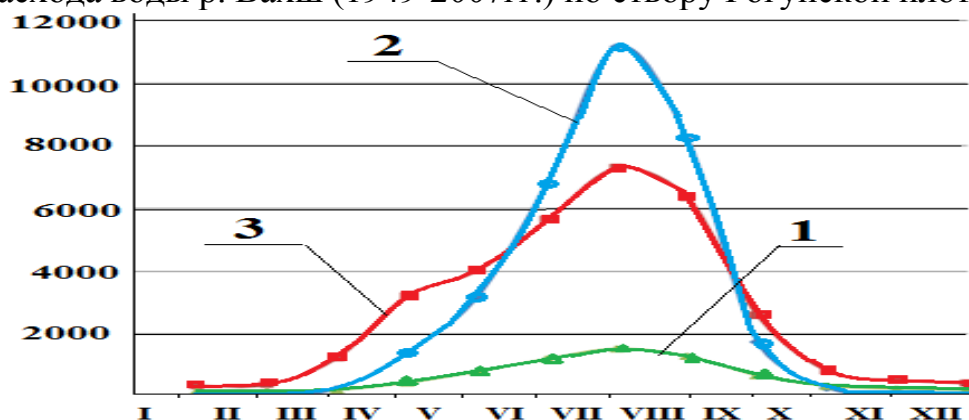


Рис. 1. Графики расхода воды (1, м³/с), расхода наносов (2, кг/с) и мутности (3, кг/м³) р. Вахш, в створе Рогун.

Формирование твердого стока рек горно-предгорных зон вообще и реки Вахш, в частности, определяется практически всеми видами физико-географических факторов. Вместе с этим, следует учитывать, что значимыми причинами, влияющими на процесс формирования и стока наносов, являются также воздействие изменения климата и антропогенные факторы. Значительный вклад в количество твердого стока вносят также уничтожение растительного покрова, неправильная распашка поверхности и обработка почв, которые приводят к усилению эрозии, смыву почв, возникновению овражной эрозии, формированию селей и, в конечном итоге, к увеличению мутности реки. Основные компоненты твердого стока р. Вахш - это минеральные частицы, продукты выветривания, денудации, эрозии горных пород и почв, переносимые потоком, формирующие русловые и пойменные отложения. В нынешних условиях напряженного водохозяйственного баланса Центрально-Азиатского региона, значение водохранилищ, осуществляющих комплексное перераспределение естественного стока во времени и по территории и позволяющие осуществлять управление твердым стоком, с каждым годом возрастает.

В Таджикистане эксплуатируются водохранилища с общей акваторией 664 км^2 и полным объемом $15,344 \text{ км}^3$ (13% среднемноголетнего стока рек бассейна Аральского моря), и полезным объемом $7,5 \text{ км}^3$. Одним из крупных водохранилищ каскада на реке Вахш является водохранилище Нурекской ГЭС.

Верховья его речного бассейна подвержены частым оползням и лавинам. Кроме того, средний уклон русла достаточно велик и изменяется от 0,04 до 0,0007, а скорости течения в зависимости от морфометрии русла составляют 2,0-5,0 м/с, а в отдельных зонах и более, что приводит к очень высокой транспортирующей способности потока и, как следствие, к размыву русла. Потенциальное количество взвешенного материала и наносов, попадающих в водохранилище велико, что приводит к непрерывной потере его емкости. Среднегодовой твердый сток реки Вахш в Нурекское водохранилище по проекту строительства Нурекской ГЭС, был принят равным 88,7 миллион $\text{м}^3/\text{год}$. При этом, максимальный твердый сток, равный 4400 кг/с, имел место при расходе 782 $\text{м}^3/\text{с}$, а минимальный твердый сток, равный 1470 кг/с - при расходе 487 $\text{м}^3/\text{с}$. Основная доля, т.е. 62% от годового твердого стока р. Вахш приходится на период с июля по сентябрь, который является также периодом максимального (49%) годового речного стока.

По состоянию на 24.04.2014 г. основные параметры, установленные гидро-техническим цехом Нурекской ГЭС, следующие: полный объем воды – 7,19 $\text{км}^3 = 7,19 \text{ млрд. м}^3$; полезный объем воды – 3,896 $\text{км}^3 = 3,896 \text{ млн. м}^3$; годовой сток наносов - 0,094 $\text{км}^3 = 90 \text{ млн. м}^3$. Как видно, полезный объем водохранилища Нурекской ГЭС, при проектном полезном объеме 4,5 км^3 , сократился на 0,387 км^3 .

На основании инструментальных измерений 1989 года, за период 1972-1989гг. в Нурекское водохранилище поступило около 1.845 млрд. м^3 взвешенных и донных влекомых наносов или в среднем 108.5 млн. м^3 в год [6].

Для сравнения - темпы осаднения наносов в водохранилище Кайраккумской ГЭС на реке Сырдарья в Таджикистане по сравнению с объемом водохранилища невелики. Основной период накопления наносов Кайраккумским водохранилищем происходил в период с 1950 по 1973 годы, и составило (за 23 года) не менее 522 млн. тонн наносов. При объемной плотности наносов 1,5 г/см³ общий объем отложившихся составлял 348 млн. м^3 или 15.1 млн. м^3 в год. При этом реками Нарын и Карадарья в год выносилось 18,5 млн. тонн, остальной объем наносов (4,2 млн. т/год) выносился боковыми притоками Сырдарьи (Исфайрамсай, Сох, Исфара, Акбура, Шахимардан и др).

В 1973 году началось накопление воды и соответственно наносов в Токтогульском и Андижанском водохранилищах. За период с 1973 по 2016 годы в Кайраккумском водохранилище было дополнительно накоплено не менее 200 млн. тонн, составив суммарно (за 66 года) не менее 750 млн. тонн (500 млн. м^3). Ежегодно за период с 1973 по 2016 годы в Кайраккумское водохранилище поступило 133 млн м^3 или в среднем 3.1 млн м^3 в год наносов. Уменьшение объема наносов после функционирования Токтогульского и Андижанского водохранилищ составило почти в 5 раз [8].

На рис. 2. приведена динамика заиления и занесения профиля дна Нурекского водохранилища, за период 1977-2014гг. При этом основная часть влекомых и некоторая часть взвешенных наносов сосредоточилась в речной части бассейна, а значительная часть взвешенных наносов приходится на долю емкости мертвого объема озёрной части водохранилища).

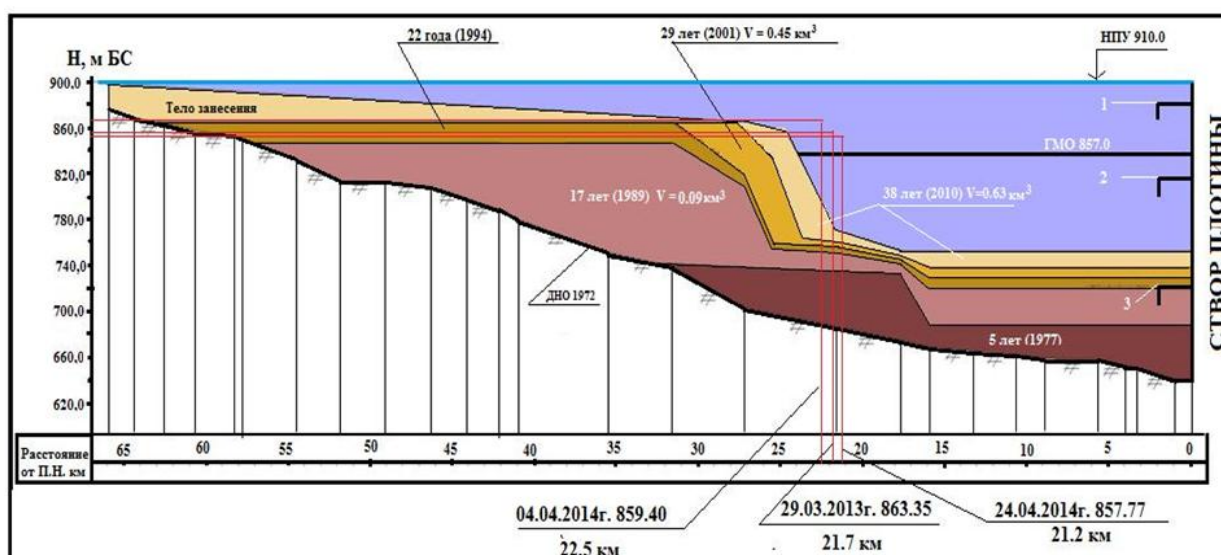


Рис. 2. Динамика заиления и занесения профиля дна Нурекского водохранилища, за период 1977-2014гг. 1 – порог поверхностного катастрофического сброса (897 м); 2 – порог турбинных водоводов (837,0 м); 3 – порог туннеля III яруса

Однако процесс заиления Нурекского водохранилища, вряд ли будет продолжаться до конца столетия, поскольку это непосредственно сказывается как на режиме работы ГЭС, так и на безопасности плотины. Экспертами рассматривались различные варианты ограничения попадания донных и других речных наносов в Нурекское водохранилище и наиболее очевидным решением данной проблемы и безопасного функционирования всего гидроэнергетического комплекса его сооружений принято создание водохранилища выше по течению.

В Таджикистане 29 октября 2016 года состоялось перекрытие реки Вахш и началось строительство каменно-насыпной плотины Рогунской ГЭС - девятой ГЭС каскада на реке Вахш. Плотина высотой 335 метров (при НПУ = 1290 м) должна образовать водохранилище объемом 13,3 км³, при полезном объеме 10,3 км³, с гидроэлектростанцией мощностью 3600 мегаватт. После её строительства Таджикистан сможет обеспечивать электричеством соседние и региональные страны, но также вода, накапливаемая в нём, в сезоны засухи и маловодия будет использована в ирригации в качестве крупного источника.

Исследование вопроса седиментации, проведенных группой экспертов Всемирного банка по проекту строительства Рогунской ГЭС в Таджикистане, в рамках «Исследования ТЭО проекта строительства Рогунской ГЭС» основывалось на имеющихся данных, включая существующие изыскания по Нурекскому водохранилищу [9]. Для должного рассмотрения неопределенностей использовался консервативный подход с целью определения различных сроков эксплуатации предлагаемых альтернатив, предполагая годовой приток наносов в водохранилище 100 млн м³/год. Рассчитанный специалистами срок эксплуатации плотины при её высоте 335м, при НПУ = 1290 м составил 115 лет.

Возведение Рогунского гидроэнергетического комплекса значительно снизит скорость заполнения водохранилища Нурекской ГЭС, тем самым обес-

печит регулирование стока на значительный период времени, отсрочит необходимость реконструкции системы пропуска паводков с учетом проблемы отложений наносов, а также позволит продлить срок эксплуатации Нурекской ГЭС на срок эксплуатации Рогунской ГЭС. При этом объем водохранилища Нурекской ГЭС не изменяется и с началом строительства Рогунской ГЭС количество твердого стока, поступающий в Нурекское водохранилище, уменьшится и сток наносов, будет происходить в основном из притоков р. Вахш между Рогунской и Нурекской ГЭС. После строительства Рогунской ГЭС, объем Нурекского водохранилища существенно не изменится [10].

Увеличение атмосферных осадков всего на 10% в горных районах, подверженных водной эрозии, ведет к увеличению почти в два раза объема наносных отложений, транспортируемых в р. Вахш и, как следствие, к повышению интенсивности процесса заиления водохранилищ [11]. Изменение климата, обусловленное возможным повышением к 2050-ым годам температуры на 1,5⁰С и увеличением годовой суммы осадков на 22%, дают основание предполагать изменение режима стока наносов для рек Гунт, Муксу (приток Вахша) и Кафирниган. Результатом такого сценария может быть увеличение стока наносов рр. Гунт (+62%) и Муксу (+11%) и соответственно в рр. Вахш и Пяндж, что, соответствует прогнозируемому повышению температуры (ведущему к таянию ледника) и увеличению количества осадков (табл. 1) [12].

Таблица 1

Влияние изменения климата на сток наносов по отдельным рекам в РТ

Река	Положение на октябрь месяц 2011 г.			Повышение температуры на 1.5 ⁰ С и увеличение количества осадков на +22% к 2050 году		
	Площадь гласации, км ²	Доля, в %, твердых осадков совокупных годовых осадках	Сток наносов тонна/год	Площадь гласации км ²	Доля, в %, твердых осадков в совокупных годовых осадках	Сток наносов тонна/год
Гунт	609	94	37	380	89	60
Муксу	2085	100	2000	1680	100	2220
Кафирниган	103	58	360	75	53	300

Большинство современных моделей при умеренных сценариях указывают на повышение осадков, интенсивности таяния льда и рост стока на 5-10% к середине века и еще больше к концу XXI столетия. Средняя годовая температура бассейна р. Вахш может увеличиться с текущей 3.3° до 5.6-6.9°С (середина-конец XXI века), а объем ледников - сократиться примерно наполовину. При такой неопределенности сложно выработать конкретные меры реагирования на ожидаемые последствия изменения климата. В то же время необходимо разработать стратегии развития, устойчивые к изменению климата, чтобы свести к минимуму влияние неопределенностей и последствий [1].

В сложившейся ситуации, в условиях изменения климата необходимо: реабилитировать наблюдательные посты за твердым стоком в зоне формирова-

ния стока р. Вахш; усовершенствовать контроль и мониторинг с использованием современных приборов наблюдения над седиментацией водохранилища; определить способы и технические средства управления твердым стоком, в том числе создание выше створа Нурекской ГЭС водохранилища комплексного назначения, реализация такого проекта уже началась - Рогунская ГЭС; уточнить и внести поправки в существующие карты крупности зерен и мутности воды в предгорной зоне р. Вахш – в нижнем бьефе Нурекской ГЭС.

Таким образом, изменение климата отрицательно влияет не только на формирование и объем водных ресурсов, но также на формирование и транспорт твердого стока. Игнорирование этого фактора может привести к катастрофическим последствиям в различных секторах народного хозяйства, а также к возрастанию числа чрезвычайных стихийных бедствий, в т.ч. и к отрицательному влиянию на безопасность ГТС. С учетом вышеизложенного, разработана методология управления твердым стоком для обеспечения гидроэкологически безопасного водопользования в области опасных гидрологических процессов на водных объектах Таджикистана [13, 14].

Библиографический список

1. Третье национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – Душанбе, 2014. – С. 45: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unfccc.int/resource/docs/natc/tjknc3.pdf>.
2. Программа реформы водного сектора Таджикистана на период 2016-2025 гг.: утв. постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30.12.2015. № 791.
3. Львович М.И. Современная интенсивность внутриконтинентальной эрозии суши земного шара [Текст] / М.И. Львович, Г.Я. Карасик, Н.Л. Братцева, Г.П. Медведева, А.В. Мелешко. – М.: МГК РАН, 1991. – 336 с.
4. Walling, D. E. & Webb, B. W. (1983) Patterns of sediment yield. In: Background to Palaeohydrology (ed. by K. J. Gregory), 69-100. Wiley, Chichester, UK.
5. Фазылов А.Р. Особенности формирования твердого стока рек горно-предгорной зоны [Текст] / А.Р. Фазылов, Н.П. Лавров // Сб. науч. тр. «Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства». – Рязань: ФГБОУ ВО РГАТУ, 2016. – Вып. 12. – С. 391-395.
6. Ёров А.Ё. Инструментальные исследования процесса заиления водохранилища Нурекской ГЭС [Текст] / А.Ё. Ёров, Х. Ибодзода, С.Н. Рахимов // Мат. междун. научно-практ. конф. «Математические проблемы технической гидромеханики, теории фильтрации и орошаемого земледелия» посв. 70-летию докт. техн. наук, проф. Саттарова М.А. (27-28 мая 2008 г., г. Душанбе, Таджикистан). – Душанбе, 2008. – С. 28-32.
7. Фазылов А.Р. Влияние водохранилищ на режим твердого стока рек горно-предгорной зоны Таджикистана [Текст] / Д.М. Маматканов, А.Р. Фазылов // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – Бишкек: КРСУ, 2015. – Т. 15. – № 3. – С. 189-193.
8. Абдушукуров Д.А. Состояние Кайраккумского водохранилища [Текст] / Д.А. Абдушукуров, Ш.Ш. Азимов, А.А. Джураев, В.Н. Петухов // Вестник Таджикского национального университета. – Душанбе: ТНУ, 2016. – № 1-1 (192). – С. 222.
9. Оценка экологического и социального воздействия для Рогунской ГЭС OSHPC “BarkiTojik” / ОАХК «Барки Точик» RÖYRÜ ENERGY LTD. Rogun HPP ESIA / ОЭСВ РОГУНСКОЙ ГЭС Date 2014-06-17 ОЭСВ (проект): [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rogunges.tj/rus/media/docs/prerus.pdf>.

10. Исследования ТЭО проекта строительства Рогунской ГЭС. Фаза II: Варианты определений проекта. Том 3: «Инженерия и Проектирование» Гл. 5: Исследования по моделированию эксплуатации водохранилища. Август 2014 г. Отчет №: P.002378 RP40 С. 27-28.

11. Второе Национальное Сообщение Республики Таджикистан по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата. – Душанбе, 2008. – 94 с.

12. Пилотная программа повышения устойчивости к изменениям климата (ППУИК): Таджикистан. Проект А4 этапа I ППУИК // Повышение устойчивости гидроэнергетического сектора Таджикистана к изменениям климата. – 2011. – С. 21- 46.

13. Фазылов А.Р. Совершенствование управления технологических процессов и технических средств водных объектов в горно-предгорной зоне Таджикистана [Текст] / А.Р. Фазылов, З.В. Кобулиев // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. - Бишкек: КРСУ, 2014. – Т. 14. – №7. – С. 119-123.

14. Фазылов А.Р. Обеспечение гидроэкологической безопасности через совершенствование способов и средств борьбы с наносами в горно-предгорной зоне Таджикистана [Текст] / А.Р. Фазылов, И.И. Саидов // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – Бишкек: КРСУ, 2014. – Т. 14. – № 7. – С. 124-128.

Фирцева С.В., канд. экон. наук, доцент,
Тюменский индустриальный университет

АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ В ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация: в статье представлен анализ охраны окружающей среды в Тюменской области за 2008-2015 гг. Анализ осуществлялся по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области.

Ключевые слова: год экологии, охрана окружающей среды, охрана водных ресурсов, выбросы в атмосферу, инвестиции на охрану окружающей среды.

В Российской Федерации 2017 год объявлен Годом экологии и Годом особо охраняемых природных территорий, в связи с тем, что вышли указы Президента РФ В.В. Путина 01.08. 2015 г. № 392 и 05.01.2016 г. № 7 2017 г. [1].

Цель данного решения – привлечь внимание к проблемным вопросам, существующим в экологической сфере, и улучшить состояние экологической безопасности страны [2].

Ключевыми решениями года являются: внедрение наилучших доступных природоохранных технологий, улучшение экологических показателей регионов, совершенствование системы управления отходами, защита Байкальской природной территории, сохранение водных, лесных и земельных ресурсов, развитие заповедной системы [2].

Анализ основных показателей, характеризующие воздействие хозяйственной деятельности на водные объекты в Тюменской области, показал следующие результаты (таблица 1).

Анализ проводился по данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Тюменской области [3, 4].