

## ГИДРОЛОГИЯ И ГЛЯЦИОЛОГИЯ

А.А. Нестерова, Г.П. Фролова

### ИССЛЕДОВАНИЕ ЖИДКОГО И ТЕРРИГЕННОГО СТОКА, ПОСТУПАЮЩЕГО В АНДИЖАНСКОЕ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

*Приведены результаты теоретических исследований гидрологических характеристик рек Кара-Дарья, Яссы, Кара-Кульджа, Тар, Куршаб, питающих Андижанское водохранилище, результаты расчетов по терригенному стоку, поступающему в Андижанское водохранилище.*

В горах Кыргызстана формируется сток основных водных артерий Средней Азии. По водности мы занимаем второе место в странах СНГ после России [1]. Но не весь сток горных рек мы используем. Крупные реки, такие как Нарын, Талас, Чу, Кара-Дарья, являются трансграничными. По климатическим условиям предгорья и долины Кыргызстана и соседних с ним республик расположены в аридной зоне. В таких условиях оказывается необходимым умело использовать сток рек, как для нужд водоснабжения, так и гидроэнергетики и ирригации. Одним из способов регулирования стока является создание водохранилищ. Зачастую, проектные расчеты срока службы русловых водохранилищ не оправдываются и искусственно созданные водные резервуары намного быстрее перестают функционировать как резервные емкости и вновь превращаются в реку. Поэтому в период работы водохранилищ необходимо вести мониторинг их заиления, что является актуальной задачей для решения проблемы рационального использования водных ресурсов на территории нашей страны и одновременно учитывать вопросы использования водного потенциала трансграничных рек.

Река Кара-Дарья является левым притоком р. Сырдарьи, протекающей по Ферганской долине. Преобладающая ширина р.

Кара-Дарьи 30–50 м, глубина реки 1 м, скорость течения 2,0–2,5 м/с. На реке построена плотина, выше которой образовано Андижанское водохранилище, объемом 1900 млн. м<sup>3</sup>, используемое для регулирования количества воды при орошении. Средняя глубина водохранилища около 50 м. Основное питание Кара-Дарья получает от таяния сезонных снегов. Выпадение дождей играет заметную роль только в формировании паводков. Река имеет снегово-ледниковое питание [2], с весенне-летним половодьем. Однако данная картина наблюдается до Андижанского водохранилища. Затем сток р. Кара-Дарья является уже зарегулированным.

В Андижанское водохранилище несут свои воды реки Яссы и Куршаб (ранее были притоками р. Кара-Дарьи), а р. Кара-Дарья образуется от слияния рек Каракульджа и Тар, которые также приняты нами к рассмотрению (рис. 1).



Рис. 1. Руслу рек при впадении в Андижанское водохранилище: 1 – Яссы, 2 – Кара-Дарья, 3 – Куршаб.

Бассейны рек Яссы и Каракульджи относятся к территории Ферганского хребта, р. Куршаб – к Алайскому хребту, а бассейн р. Тар занимает промежуточное положение – он относится как к Ферганскому, так и Алайскому хребту. И из этого различного ме-

Таблица 1

## Основные гидрографические характеристики рек

| Река         | Г/пост       | Длина реки<br>(км) | Коэффициент<br>извилистости | Расст. от<br>устья до<br>г/поста (км) | Средне-<br>взвешен.<br>высота (м) | Площадь<br>водосбора<br>км <sup>2</sup> |
|--------------|--------------|--------------------|-----------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|
| Яссы         | с. Саламалик | 105                | 1,15                        | 52                                    | 2590                              | 1180                                    |
| Кара-Кульджа | киш. Ак-Таш  | 94                 | 1,03                        | 31                                    | 3250                              | 907                                     |
| Тар          | киш. Чалма   | 119                | 1,16                        | 34                                    | 2810                              | 3840                                    |
| Куршаб       | с. Гульча    | 98                 | 1,08                        | 69                                    | 3010                              | 2010                                    |

Известно, что большая часть терригенного стока перемещается в водном потоке в период половодья и паводков, поэтому нами были проанализированы ряды максимальных расходов по гидропостам, расположенным в нижнем течении рек, впадающих в водохранилище. Были взяты для р. Кара-Дарья гидропост г. Узген, р. Яссы – г. Узген и для р. Куршаб – кишл. Кочкор-Ата. Но мы столкнулись с тем, что наблюдения на этих постах за расходами воды велись периодически, с перерывами, и не хватало данных максимальных расходов воды за последние годы. Для того чтобы решить эту проблему, были выбраны реки-аналоги с более длинным рядом наблюдений, что позволило продлить ряд максимальных расходов воды на реках Кара-Дарья, Куршаб, Яссы по интересующим нас постам. Для бассейна р. Кара-Дарья был взят бассейн ее самого крупного притока – р. Тар (гидропост киш. Чалма). Для восстановления рядов на реках Куршаб и Яссы были взяты бассейны этих же рек по створам постов, расположенным на этих же реках выше по течению. Для р. Куршаб был взят пост с. Гульча, и для р. Яссы – пост с. Саламалик. Для всех рек были соблюдены соответствующие критерии для выбора бассейнов-аналогов, соотношение площадей водосборов составило не более 1:5 [3].

стоположения проистекают их различия в питании, внутригодовом распределении стока и расходах воды. Реки имеют ширину до 35–115 м, глубину до 1,5 м скорость течения 1,7–2,6 м/с. Куршаб, Тар и Кара-Кульджа относятся к рекам снегово-ледникового питания. Основным источником питания реки Яссы являются сезонные снега. Вследствие относительно низкого гипсометрического положения водосборной площади роль ледникового стока здесь ничтожна, поэтому река относится к снеговому типу питания [2]. Остальные источники питания рек – жидкие осадки и грунтовые воды – имеют меньшее значение. Жидкие осадки быстро испаряются с поверхности почвы или трансформируются растительностью. Что касается грунтовых вод, то существенное влияние на сток рек они оказывают только зимой.

Реки, как правило, не замерзают. В декабре – марте образуются скопления плывущего льда – шуга. Полноводными реки бывают с апреля по август, в период интенсивного таяния снега в горах и ливневых дождей. Уровень воды на реках в этот период повышается по сравнению с меженным на 1–3 м (максимум на 5 м), скорость течения возрастает в 2 раза и более. Межень устанавливается в сентябре.

Половодье в бассейне реки Кара-Дарья начинается в марте или начале апреля и заканчивается в сентябре и редко в начале октября. Продолжительность половодья меняется в широких пределах (от 140–200 дней и более). За время половодья проходит до 75–85% годового стока. Наибольшие годовые расходы на реках Тар, Каракульджа, Куршаб, Кара-Дарья отмечаются в июне. Межень на этих реках продолжается с сентября до марта или апреля следующего года. Расходы воды постепенно уменьшаются, но на реке Каракульджа осенью в отдельные годы наблюдается заметное общее увеличение расходов и прохождение сравнительно небольших дождевых паводков. Половодье на реке Яссы за счет снегового питания начинается в марте, заканчивается в августе. Наибольшие годовые расходы проходят в мае. Общая продолжительность половодья 140–180 дней. За это время сток составляет 60–85% годового. Меженное состояние продолжается с сентября до марта следующего года. Снижение расходов воды в этот период с незначительными колебаниями происходит до января или февраля следующего года, когда обычно бывают наименьшие годовые расходы.

Основные гидрографические характеристики рек приведены в табл. 1.

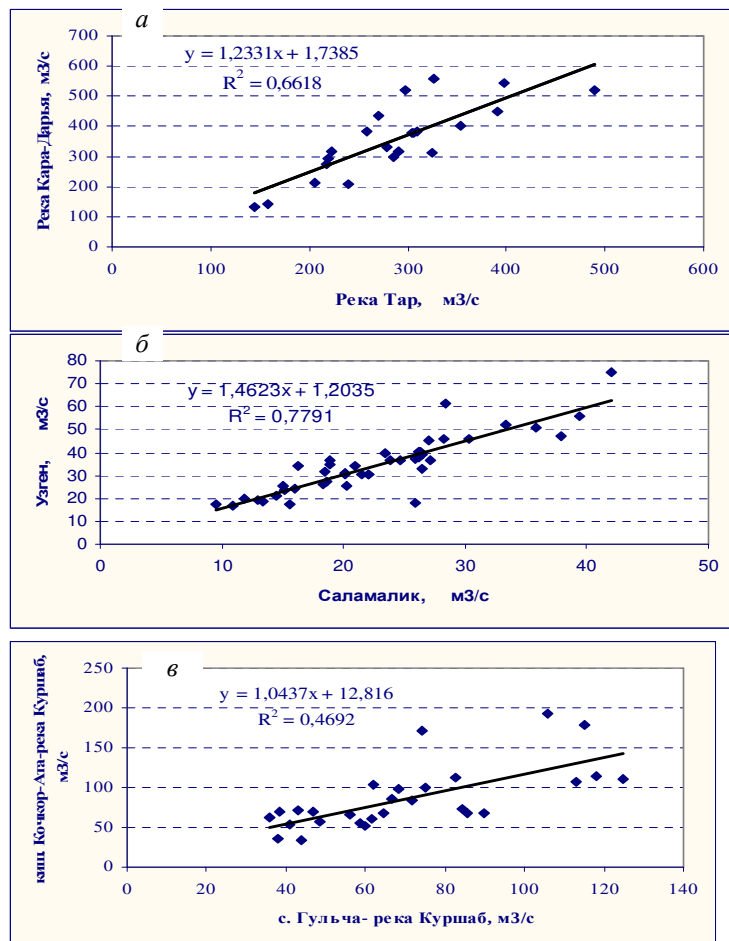


Рис. 2. График зависимости максимальных расходов воды:  
а – на рр. Кара-Дарья и Тар; б – р. Яссы; в – р. Куршаб.

На рис. 2 представлены графики связи максимальных расходов воды на исследуемых реках и выбранных реках-аналогах и приведены линии и уравнения линий трендов, обозначающих наличие прямолинейной связи между исследуемыми параметрами.

По линиям тренда также прослеживается увеличение расходов воды за исследуемый период времени.

Для рек Кара-Дарья и Тар (см. рис. 2 а) коэффициент корреляции  $R$  достаточно высокий – 0,81. Это говорит о том, что существует хорошая связь между расходами, наблюдаемыми на гидропостах сравниваемых рек, и возможность использовать гидрологические данные рек для продления ряда максимальных расходов воды.

По графику зависимости максимальных расходов нижних и верхних створов (см. рис. 2, б, в) рассчитан коэффициент корреляции для р. Куршаб  $R = 0,63$ , что соответствует критерию тесной связи между исследуемыми параметрами. Для р. Яссы по максимальным расходам коэффициент корреляции имеет несущественное значение, поэтому в расчетах нами взяты данные наблюдений среднегодовых расходов, коэффициент корреляции составил  $R = 0,84$ .

После выбора бассейнов-аналогов и проверки корреляционной связи по уравнениям, приведенным на рис. 2, были продлены ряды максимальных расходов воды до 2001 г. для рек Кара-Дарья, Яссы и Куршаб по постам, расположенным в нижнем течении рек.

Получив удлинённые ряды максимальных расходов воды, мы смогли удлинить ряды наблюдений за твердым стоком рек Кара-Дарья, Куршаб и Яссы. Для этого первоначально определили связь между расходами воды и стоком взвешенных наносов.

Данные по расходам взвешенных наносов были взяты из фонда Гидрометцентра Кыргызстана. В табл. 2 приведены зарегистрированные данные по постам за 19 лет по твердому и максимальному стоку рек Кара-Дарья и Яссы, за 18 лет этих же параметров реки Куршаб. К сожалению, некоторые данные отсутствуют. Это связано с неравномерностью измерения расходов взвешенных наносов во времени, и в связи со сложностью их измерения, особенно в период паводков. В 1993 г. наблюдения за стоком взвешенных наносов по техническим причинам повсеместно были прекращены.

Таблица 2

Значения твердого и максимального стока  
за исследуемые годы

| Год                        | Расход взвешенных наносов, тыс./м <sup>3</sup> | Макс. расход, м <sup>3</sup> /с | Год                           | Расход взвешенных наносов, тыс./м <sup>3</sup> | Макс. расход, м <sup>3</sup> /с | Год                  | Расход наносов, т./м <sup>3</sup> | Макс. расход, м <sup>3</sup> /с |
|----------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Река Кара-Дарья – г. Узген |                                                |                                 | Река Куршаб – киш. Кочкор-Ата |                                                |                                 | Река Яссы – г. Узген |                                   |                                 |
| 1973                       | 2397                                           | 297                             | 1976                          | 157                                            | 68                              | 1963                 | 60                                | 178                             |
| 1974                       | 449                                            | 134                             | 1977                          | 50                                             | 84                              | 1964                 | 73                                | 198                             |
| 1975                       | 1161                                           | 310                             | 1978                          | 179                                            | 113                             | 1965                 | 7                                 | 77                              |
| 1976                       | 1762                                           | 274                             | 1979                          | 94                                             | 35                              | 1966                 | 401                               | 493                             |
| 1977                       | 1837                                           | 381                             | 1980                          | 305                                            | 171                             | 1967                 | 50                                | 216                             |
| 1978                       | 1096                                           | 215                             | 1981                          | 220                                            | 56                              | 1968                 | 24                                | 147                             |
| 1979                       | 5797                                           | 520                             | 1982                          | 374                                            | 87                              | 1969                 | 824                               | 450                             |
| 1980                       | 974                                            | 332                             | 1983                          | 47                                             | 34                              | 1970                 | 148                               | 230                             |
| 1981                       | 2253                                           | 378                             | 1984                          | 452                                            | 192                             | 1971                 | 81                                | 177                             |
| 1982                       | 517                                            | 140                             | 1985                          | 284                                            | 111                             | 1972                 | 61                                | 200                             |
| 1983                       | 2694                                           | 557                             | 1986                          | 66                                             | 70                              | 1973                 | 60                                | 213                             |
| 1984                       | 2658                                           | 450                             | 1987                          | 30                                             | 55                              | 1974                 | 5                                 | 47                              |
| 1985                       | 1453                                           | 319                             | 1988                          | 200                                            | 114                             | 1975                 | 32                                | 91                              |
| 1986                       | 518                                            | 436                             | 1989                          | 294                                            | 108                             | 1976                 | 90                                | 267                             |
| 1987                       | 3359                                           | 544                             | 1990                          | 75                                             | 60                              | 1977                 | 32                                | 183                             |
| 1988                       | 6398                                           | 520                             | 1991                          | 178                                            | 178                             | 1978                 | 52                                | 174                             |
| 1989                       | 510                                            | 208                             | 1992                          | 192                                            | 103                             | 1979                 | 321                               | 447                             |
| 1990                       | 476                                            | 384                             |                               |                                                |                                 |                      |                                   |                                 |
| 1991                       | 1113                                           | 318                             |                               |                                                |                                 |                      |                                   |                                 |

Получив по расчетам достаточно высокие коэффициенты корреляции  $R$  зависимости твердого стока и максимального жидкого стока для исследуемых рек (р. Кара-Дарья 0,73, р. Куршаб  $R = 0,68$ , р. Яссы  $R = 0,97$ ) за фактический период наблюдений, мы получили возможность использовать гидрологические данные рек для продления ряда стока наносов до 2001 г. и вычисления общего объема взвешенных наносов от всех трех рек. На основании исследований, проведенных для горных рек Кыргызстана по

учету влекомых наносов [4], нами был рассчитан общий объем наносов, по всем трем рекам за период до 2001 г. включительно (табл. 3).

По береговым очертаниям Андижанского водохранилища, отчетливо видно (см. рис. 1), что процесс переформирования берегов практически отсутствует, из-за скального обрамления и закальматированного глинистого прибрежного шельфа.

Поэтому в расчеты наносов не были включены объемы терригенного стока по разрушению берегов водоема вследствие малости его величины по сравнению с наносами, поступающими с речным водным потоком.

Таблица 3

Общий объем наносов по годам

| Годы | Объем взвешенных наносов, тыс./м <sup>3</sup> | Объем влекомых наносов, тыс./м <sup>3</sup> | Общий объем наносов, тыс./м <sup>3</sup> | Годы    | Объем взвешенных наносов, тыс./м <sup>3</sup> | Объем влекомых наносов, тыс./м <sup>3</sup> | Общий объем наносов, тыс./м <sup>3</sup> |
|------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|---------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1963 | 200                                           | 60                                          | 260                                      | 1983    | 3285                                          | 985                                         | 4270                                     |
| 1964 | 243                                           | 73                                          | 317                                      | 1984    | 3032                                          | 910                                         | 3942                                     |
| 1965 | 23                                            | 7                                           | 30                                       | 1985    | 1709                                          | 513                                         | 2222                                     |
| 1966 | 1337                                          | 401                                         | 1738                                     | 1986    | 635                                           | 191                                         | 826                                      |
| 1967 | 167                                           | 50                                          | 218                                      | 1987    | 3951                                          | 1185                                        | 5136                                     |
| 1968 | 81                                            | 24                                          | 106                                      | 1988    | 7675                                          | 2302                                        | 9977                                     |
| 1969 | 2747                                          | 824                                         | 3571                                     | 1989    | 738                                           | 222                                         | 960                                      |
| 1970 | 494                                           | 148                                         | 642                                      | 1990    | 944                                           | 283                                         | 1228                                     |
| 1971 | 269                                           | 81                                          | 350                                      | 1991    | 1680                                          | 504                                         | 2184                                     |
| 1972 | 205                                           | 61                                          | 266                                      | 1992    | 1863                                          | 559                                         | 2422                                     |
| 1973 | 2598                                          | 779                                         | 3377                                     | 1993    | 1580                                          | 474                                         | 2054                                     |
| 1974 | 466                                           | 140                                         | 605                                      | 1994    | 1756                                          | 527                                         | 2283                                     |
| 1975 | 1424                                          | 427                                         | 1851                                     | 1995    | 1282                                          | 385                                         | 1666                                     |
| 1976 | 2114                                          | 634                                         | 2748                                     | 1996    | 1521                                          | 456                                         | 1977                                     |
| 1977 | 2121                                          | 636                                         | 2757                                     | 1997    | 996                                           | 299                                         | 1295                                     |
| 1978 | 1362                                          | 409                                         | 1771                                     | 1998    | 1684                                          | 505                                         | 2189                                     |
| 1979 | 7173                                          | 2152                                        | 9325                                     | 1999    | 1682                                          | 505                                         | 2187                                     |
| 1980 | 1732                                          | 520                                         | 2252                                     | 2000    | 549                                           | 165                                         | 714                                      |
| 1981 | 2874                                          | 862                                         | 3737                                     | 2001    | 1006                                          | 302                                         | 1308                                     |
| 1982 | 631                                           | 189                                         | 821                                      | среднее | 1688                                          | 506                                         | 2194                                     |

Среднегодовое количество терригенного стока (взвешенные + влекомые наносы), поступающего в водохранилище на основании наших расчетов, основанных на эмпирических данных –  $V_n = 2165 \text{ тыс. м}^3$ . С таким нарастанием твердого стока, мертвый объем Андижанского водохранилища ( $V_{m.o.} = 0,15 \text{ км}^3$ ) будет заполняться наносами еще в течение 40 лет.

### Литература

1. *Комарова Н.Г.* Геоэкология и природопользование. – М.: Академия, 2003. – 190 с.
2. *Шульц В.Л.* Реки Средней Азии. – М.-Л.: Гидрометеиздат, 1965. – 400 с.
3. *Орлов В.Г., Сикан А.В.* Основы инженерной гидрологии. – С.-Петербург: РГГМУ, 2003. – 187 с.
4. *Талмаза В.Ф., Крошкин А.Н.* Морфометрические характеристики горных рек. – Фрунзе: Илим, 1968. – 120 с.