

УДК 556.5(528.8)

## ПРОГНОЗ СТОКА РЕКИ ЗЕРАВШАН В ПЕРИОД ПОВОДОДЬЯ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

*Дж.Б. Ниязов, О.Ю. Калашикова, С.О. Мирзохонова*

Водные ресурсы реки Зеравшан имеют важное водохозяйственное значение для ирригации хлопковых полей в ее низовьях. Используются данные наземных наблюдений сети метеостанций и гидропостов за период наблюдений с 1950 по 2004 г. для разработки прогностических уравнений в период половодья на реке Зеравшан в створе Дупули. Для разработки прогностической методики были использованы данные метеопараметров с 7 метеостанций, находящихся на различной высоте, оценена их эффективность и репрезентативность.

*Ключевые слова:* водные ресурсы; половодье на реке; репрезентативность данных; Зеравшан; Памиро-Алай.

## ЖЕР ҮСТҮНДӨГҮ БАЙКОО ЖҮРГҮЗҮҮЛӨРДҮН МААЛЫМАТТАРЫ БОҮНЧА СУУ ТАШКЫНЫ МЕЗГИЛИНДЕ ЗЕРАВШАН ДАРЫЯСЫНЫН АГЫМЫНЫН БОЛЖОЛУ

*Дж.Б. Ниязов, О.Ю. Калашикова, С.О. Мирзохонова*

Зеравшан дарыясынын суу ресурстары анын төмөн жагындагы пахта талааларын сугаруу үчүн маанилүү суу чарбалык мааниге ээ. Зеравшан дарыясында Дупули гидропостунда суу ташкыны мезгилинде болжолдоочу теңдемелерди иштеп чыгуу үчүн метеостанциялар тармагына жана гидропостторго 1950-жылдан 2004-жылга чейинки жер үстүндөгү байкоо жүргүзүүлөрдүн маалыматтары пайдаланылды. Болжолдоочу методикаларды иштеп чыгуу үчүн ар түрдүү бийиктиктеги 7 метеостанциядан алынган метеопараметрлердин маалыматтары пайдаланылды, алардын натыйжалуулугу жана репрезентативдүүлүгү бааланды.

*Түйүндүү сөздөр:* суу ресурстары; дарыядагы суу ташкыны; маалыматтардын репрезентативдүүлүгү; Зеравшан; Памир-Алай.

## FORECAST OF THE FLOW OF THE ZERAVSHAN RIVER AT HIGH WATER BASED ON GROUND OBSERVATIONS

*J.B. Niyazov, O. Yu. Kalashnikova, S.O. Mirzohonova*

The water resources of the Zerafshan River are important for irrigation in the lower reaches of the cotton fields. In this study, data from ground observations of a network of weather stations and hydro stations for the period of observations from 1950 to 2004 were used to develop predictive equations for the flood period on the Zerafshan River in the Dupuli hydropost. To develop a predictive method, we used data from meteorological parameters of 7 weather stations located at different altitude, and evaluated their effectiveness and representativeness.

*Keywords:* water resources; the high water on the river; the representativeness of the data; the Zerafshan River; Pamiro-Alay Mountain.

**Введение.** Бассейн реки Зеравшан расположен на территории Таджикистана и Узбекистана. Река Зеравшан является притоком реки Амударья, но не достигает ее, так как развитая ирригационная сеть в нижнем течении реки раз-

бирает ее воды на орошение. Режим реки, не измененный хозяйственной деятельностью человека, изучается на Дупулинской гидрометеорологической станции (площадь бассейна до гидропоста составляет 10240 км<sup>2</sup>). По данным

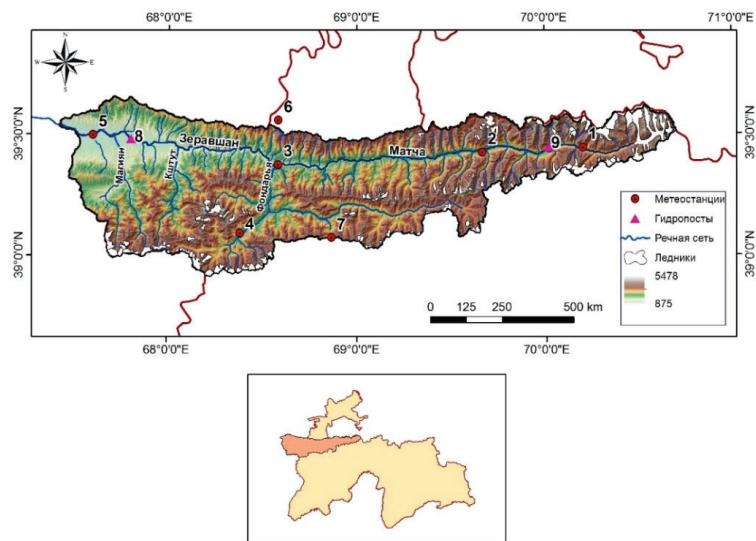


Рисунок 1 – Местоположение бассейна р. Зеравшан на территории Памиро-Алайской горной системы и Таджикистана: 1 – Дехавз, 2 – Мадрушкат, 3 – Сангистон, 4 – Искандеркуль, 5 – Пенджикент, 6 – Шахристан, 7 – Анзоб и гидропосты: 8 – Дупули, 9 – Худгиф

гидропоста Дупули среднегодовой сток реки Зеравшан составляет  $4,86 \text{ км}^3/\text{г}$ . [1].

Водные ресурсы реки Зеравшан имеют большое водохозяйственное значение, как для Таджикистана, так и для Узбекистана, на территории которого расположены важные для региона посевы хлопчатника. Протяженность только магистральных каналов, забирающих воду из Зеравшана, составляет около 2500 км, причем крупнейшие из них имеют пропускную способность, превышающую расходы многих рек Центральной Азии [2, с. 467].

**Цель исследования** – анализ влияния метеорологических факторов на формирование стока реки Зеравшан и его прогноз на период половодья на основе данных наземных наблюдений.

**Объект исследования.** Бассейн реки Зеравшан до створа Дупули расположен в Центральной Азии в Таджикистане, и относится к Памирской горной системе (рисунок 1). Диапазон высот в бассейне р. Зеравшан на территории Таджикистана составляет от 875 до 5478 м н.у.м., средняя высота водосбора – 3100 м н.у.м. Длина реки составляет 781 км, площадь водосбора  $12300 \text{ км}^2$  [2, с. 479]. Площадь

оледенения бассейна составляет 7 % от площади бассейна [3].

В питании р. Зеравшан значительная роль принадлежит высокогорным снегам и ледникам. Доля ледникового питания в годовом стоке реки до створа Дупули составляет 18 %, а до створа Худгиф (к. Дехавз) – 56 % [4, с. 218]. Половодье на реке начинается во второй декаде апреля и интенсивное нарастание расходов воды наблюдается до июля, а спад – с августа по март. Из года в год на реке наблюдается значительная изменчивость стока как в период половодья, так и в другие месяцы.

Бассейн р. Зеравшан достаточно хорошо охвачен метеорологическими наблюдениями. В бассейне реки и на его границе расположены 7 метеостанций и 2 гидропоста, основные сведения о высоте и местоположении которых представлены в таблице 1 и на рисунке 1.

**Методы исследования.** Для анализа влияния различных климатических факторов на сток р. Зеравшан была построена корреляционная матрица (таблицы 2, 3). Результаты анализа позволили выделить наиболее эффективные метеопараметры по вкладу в сток реки и, таким образом,

Таблица 1 – Основные сведения о метеостанциях и гидропостах в бассейне р. Зеравшан

| № п/п | Название метеостанций/ гидропостов | Бассейн реки          | Высота, м н.у.м. |
|-------|------------------------------------|-----------------------|------------------|
| 1     | Дехавз                             | Матча                 | 2564             |
| 2     | Мадрушкат                          | Матча                 | 2134             |
| 3     | Сангистон                          | Зеравшан              | 1502             |
| 4     | Искандеркуль                       | Фандарья              | 2204             |
| 5     | Пенджикент                         | Зеравшан              | 1015             |
| 6     | Шахристан                          | Зеравшан / Сырдарья   | 3143             |
| 7     | Анзоб                              | Зеравшан / Кафирниган | 3373             |
| 8     | Дупули                             | Зеравшан              | 1420             |

выделить репрезентативные метеостанции для прогноза стока в период половодья. Для анализа репрезентативности данных метеостанций и стока реки Зеравшан, авторы использовали данные о средних месячных расходах воды по гидропосту Дупули и данные о среднемесячной температуре воздуха и месячном количестве осадков с 7-и метеостанций Таджгидромета за период с 1950 по 2004 г. [5, 6]. Наши исследования были проведены для периода с 1950 по 2004 г., так как с 2005 по 2014 г. на р. Зеравшан в створе Дупули расходы воды не измерялись, измерения возобновились с 2015 г. и ведутся по настоящее время.

Для разработки методики прогноза водности были использованы физико-статистические методы прогнозов, в основе которых лежит воднобалансовый подход. Прогностические зависимости для горных рек, в которые входят основные факторы, полученные по данным измерений на стационарных метеостанциях и гидрологических постах, имеют вид [7]:

$$Q_t = f(\hat{a}X_m, Q_m, q_m^{\circ}), \quad (1)$$

где  $Q_t$  – расход воды за период времени  $t$ ;  $X_m$  – осадки за период, предшествующий составлению прогноза;  $Q_m$  – расход воды за предшествующий период продолжительности  $m$ ;  $q_m^{\circ}$  – температура за предшествующий период, продолжительность которого  $m$ .

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции (R) средних расходов воды за период половодья на р. Зеравшан с суммой осадков за холодный (октябрь–март) период

| № п/п | Название метеостанции                          | R с суммой осадков за периоды октябрь–март |
|-------|--|--|
| 1     | Дехавз   | 0,45                                       |
| 2     | Мадрушкат                                      | 0,43                                       |
| 3     | Сангистон                                      | 0,36                                       |
| 4     | Искандеркуль                                   | 0,50                                       |
| 5     | Пенджикент                                     | 0,43                                       |
| 6     | Шахристан                                      | 0,22                                       |
| 7     | Анзоб  | 0,27                                       |
| 8     | Дехавз + Искандеркуль                          | 0,52                                       |
| 9     | Дехавз + Мадрушкат + Искандеркуль + Пенджикент | 0,54                                       |

В зависимости от источников питания реки (талого снегового, ледникового или грунтового питания), использование множественной линейной регрессии с двумя и тремя предикторами улучшает качество методики [7, 8]. В связи с этим, при разработке прогностических уравнений мы использовали различные комбинации предикторов и выбрали наиболее эффективные для прогноза водности р. Зеравшан в период половодья.

Оценка качества и надежности разработанной прогностической методики была проведена на основе критериев, используемых в национальных гидрометслужбах Центральной Азии в соответствии с наставлением по службе прогнозов [9].

Этот методический подход был также применен для рек бассейна Памиро-Алая. Он показал свою эффективность для использования в практике гидропрогнозов [10–12].

**Результаты исследования.** Результаты анализа эффективности и репрезентативности данных метеостанций о среднемесячной температуре воздуха и сумме осадков за холодный период, для прогноза средних расходов воды за период половодья на реке Зеравшан – Дупули представлены в таблицах 2 и 3.

Таблица 3 – Коэффициенты корреляции (R) средних расходов воды за период половодья на р. Зеравшан со среднемесячной температурой воздуха за гидрологический год

| № п/п | Название метеостанции | R коэффициент корреляции с температурой воздуха за месяцы |       |      |       |      |       |      |
|-------|-----------------------|---|-------|------|-------|------|-------|------|
|       |                       | 10  | 11    | 12   | 1     | 2    | 3     | 4    |
| 1     | Дехавз                | 0,12  | 0,01  | 0,28 | -0,07 | 0,19 | -0,07 | 0,27 |
| 2     | Мадрушкат             | 0,17  | -0,08 | 0,12 | -0,05 | 0,22 | -0,08 | 0,26 |
| 3     | Сангистон             | 0,18  | -0,02 | 0,25 | -0,06 | 0,14 | 0,01  | 0,30 |
| 4     | Искандеркуль          | -0,17   | 0,27  | 0,11 | -0,09 | 0,16 | -0,06 | 0,28 |
| 5     | Пенджикент            | 0,17  | -0,08 | 0,12 | -0,03 | 0,17 | 0,20  | 0,18 |
| 6     | Шахристан             | 0,18  | -0,05 | 0,24 | -0,06 | 0,19 | -0,00 | 0,39 |
| 7     | Анзоб                 | 0,11  | -0,04 | 0,27 | 0,27  | 0,19 | 0,02  | 0,37 |

Таблица 4 – Уравнения для прогноза расходов воды на период половодья на р. Зеравшан – Дупули

| № п/п | Расчетное уравнение   | R2   | Обеспеченность допустимой погрешности, % |
|-------|---|------|--|
| 1     | $7.19\theta_4(\text{Анзоб}) + 0.44\sum X_{10.3} (\text{Дехавз} + \text{Искандеркуль}) - 0.1Q_3 (\text{Дупули}) + 223.2$ | 0,36 | 57                                       |
| 2     | $11.9\theta_1(\text{Анзоб}) + 0.46\sum X_{10.3} (\text{Дехавз} + \text{Искандеркуль}) + 58.1$                           | 0,31 | 63                                       |
| 3     | $0.538\sum X_{10.3} (\text{Дехавз} + \text{Мадрушкат} + \text{Искандеркуль} + \text{Пенджикент}) + 178,3$               | 0,31 | 62                                       |
| 4     | $7.1\theta_4(\text{Шахристан}) + 0.33\sum X_{10.3} (\text{Искандеркуль}) + 207.4$                                       | 0,32 | 56                                       |

Анализ результатов тесноты зависимости (по коэффициенту корреляции R) между средними расходами воды за период половодья и суммой осадков за холодный период и среднемесячной температурой воздуха позволяет сделать следующие выводы:

- наиболее высокие коэффициенты корреляции 0,50–0,54 были выявлены с суммой осадков за холодный период (октябрь–март) по данным метеостанций Искандеркуль, а также со средней суммой осадков Искандеркуль и Дехавз, второй вариант – Дехавз, Мадрушкат, Искандеркуль и Пенджикент;
- высокие коэффициенты корреляции 0,26–0,39 (с высокогорными метеостанциями Шахристан и Анзоб – 0,37–0,39) были с температурой воздуха за апрель со всеми метеостанциями, расположенными в исследуемом бассейне, кроме Пенджикента;
- коэффициенты корреляции с температурой воздуха за ноябрь с метеостанцией Искандеркуль, декабрь и январь с метеостанцией

Анзоб и за декабрь с метеостанцией Дехавз составили 0,27–0,28.

Коэффициент корреляции (R) между средними расходами воды за период половодья и средним расходом воды за межень и за март составил 0,14 и 0,13, соответственно.

Учитывая наиболее репрезентативные данные метеопараметров сети метеостанций со стоком р. Зеравшан за период половодья, авторы разработали прогностические уравнения, представленные в таблице 4.

На рисунке 2 в качестве примера представлены результаты прогноза по двум уравнениям (1 и 2 в таблице 4) в сравнении с наблюдаемым стоком за период половодья.

Наилучший результат ( $R^2 = 0,36$ ) при разработке прогностических уравнений на половодье (апрель–сентябрь) на р. Зеравшан был получен в множественной регрессии по трем параметрам: стоку за март, температуре воздуха за апрель и сумме осадков за холодный период (октябрь–март). Температура воздуха за апрель

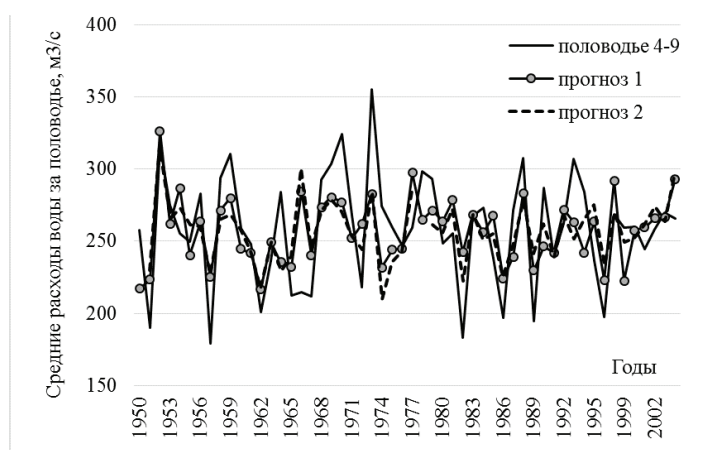


Рисунок 2 – Наблюденный и спрогнозированный по уравнениям расходы воды на период половодья (апрель–сентябрь). Прогноз 1 рассчитан по уравнению 1, прогноз 2 – по уравнению 2 (в таблице 4)

в данном уравнении может быть установлена метеопрогнозом, который, как правило, уже имеется к моменту составления прогноза (конец марта). Использование в множественной регрессии двух параметров – суммы осадков за холодный период и температуры воздуха за апрель или январь, а также только с одним параметром – осредненной суммы осадков за холодный период по данным нескольких наиболее репрезентативных метеостанций выявил тесноту зависимости  $R^2 = 0,31 - 0,32$ . Обеспеченность допустимой погрешности по рассчитанным уравнениям составила 56–63 %.

**Заключение.** Анализ матрицы корреляции стока реки Зеравшан в период половодья с метеопараметрами, показывает тесную зависимость с данными о сумме осадков за холодный период (октябрь–март), которые формируют запасы сезонного снега.

Также прослеживается корреляционная зависимость стока за период половодья с температурами воздуха за апрель и зимние месяцы. Начало половодья на р. Зеравшан приходится на апрель, чем объясняется зависимость стока реки от температур за этот месяц. От зимних температур зависят условия накопления сезонного снега и формирование устойчивого снежного покрова.

Таким образом, можно учесть вклад таяния сезонного снега. Однако ледниковый вклад, играющий значительную роль в формирова-

нии стока реки в период половодья, к моменту составления прогноза (конец марта) учесть невозможно.

Несмотря на хорошую освещенность бассейна р. Зеравшан метеонаблюдениями, прогностические уравнения позволяют оценить сток на период половодья с обеспеченностью допустимой погрешности 56–63 %. Коэффициенты корреляции ( $R^2$ ) между стоком за половодье на р. Зеравшан – Дупули и метеопараметрами, использованными в уравнениях с множественной регрессией, составили 0,31–0,36, что соответствует удовлетворительному качеству методики прогнозов.

#### Литература

1. Вторая оценка трансграничных рек, озер и подземных вод ЕЖКООН. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. 2011 г.
2. Шульц В.Л. Реки Средней Азии / В.Л. Шульц. САНИГМИ. Л.: Изд.: ГИМИЗ, 1965. 680 с.
3. Каталог ледников СССР. Т. 14. Вып. 3. Ч. 1, 2. Л.: Гидрометеиздат, 1982. С. 120.
4. Коновалов В.Г. Таяние и сток с ледников в бассейнах рек Центральной Азии / В.Г. Коновалов. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 237 с.
5. Книжки и таблицы для записи метеорологических наблюдений (ТМ-1, ТМС-84, КМ-1) фонда Таджгидромета с 1950 по 2004 г.
6. Гидрологические ежегодники за 1950–2004 годы.

7. Руководство по гидрометеорологическим прогнозам. Руководящий документ. Вып. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 357 с.
8. *Подрезов О.А.* Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических данных: учебник / О.А. Подрезов. Бишкек, 2003. 262 с.
9. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Часть 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 196 с.
10. *Ниязов Дж.Б.* Влияние климатических изменений на сток реки Гунт (приток реки Пяндж, бассейн реки Амударья, Таджикистан) за период 1940–2016 гг. / Дж.Б. Ниязов, О.Ю. Калашникова, С.О. Мирзохонова // Известия АН Республики Таджикистан. 2019. № 3.
11. *Ниязов Дж.Б.* Влияние метеопараметров на сток и прогноз половодья на реке Гунт (приток р. Пяндж, бассейн р. Амударья, Таджикистан) Дж.Б. Ниязов, О.Ю. Калашникова, С.О. Мирзохонова, Х.Д. Наврузшоев // Матер. межд. научн. конф., посв. 15-летию со дня образования ЦАИИЗ. Дистанционные и наземные исследования в Центральной Азии. Бишкек: Кыргызстан, 17–18 сентября 2019 С. 178–186.
12. *Ниязов Дж.Б.* Динамика стока и прогноз половодья на реке Варзоб по данным наземных наблюдений / Дж.Б. Ниязов, О.Ю. Калашникова // Гидрометеорология и экология. Вып. 1. Алматы. 2020. С. 163–175.