

*География*

УДК 556.131.11

ОЦЕНКА ВОДНОГО БАЛАНСА НА АНТРОПОГЕННО-  
НАГРУЖЕННОМ ВОДОСБОРЕ РЕКИ ЗЕРАВШАН (УЗБЕКИСТАН)

В. А. МИРЗОЕВ <sup>1,2\*</sup>, Е. В. ГАЙДУКОВА <sup>1\*\*</sup>, Е. К. СЕМЕНОВА <sup>1\*\*\*</sup>,  
И. Д. ЗАХАРОВ <sup>1\*\*\*\*</sup>, М. С. ДРЕГВАЛЬ <sup>1\*\*\*\*\*</sup>

<sup>1</sup> Российский государственный гидрометеорологический  
университет (РГГМУ), Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Самаркандское гидрометеорологическое управление,  
Ташкент, Узбекистан

Рассматриваются составляющие водного баланса речного бассейна р. Зеравшан, для которого характерна значительная антропогенная нагрузка. Сделана оценка гидрометеорологической изученности территории, проведен анализ статистических гидрологических характеристик, а также оценена значимость трендов в рядах наблюдения за температурой воздуха, осадками и речным стоком. Выяснено, что тренды присутствуют только в двух из восьми рядов наблюдений за температурой, гидрологические ряды и ряды осадков трендов не имеют. Проанализированы расчетные формулы испарения. Оценка водного баланса показала расходование почти полностью приходной составляющей на водосборе р. Зеравшан, включая использование воды в промышленных и коммунально-бытовых целях.

<https://doi.org/10.46991/PYSUC.2025.59.2.412>

**Keywords:** river runoff, precipitation, evaporation, trends, statistical characteristics, anthropogenic load.

**Введение.** Оценка водного баланса речного водосбора позволяет проанализировать, происходящие на нем процессы. Но погрешность в оценке может быть связана с наличием на водосборе антропогенной деятельности, воздействие которой количественно не оценивается. В Узбекистане в настоящее время происходит весомое использование водных ресурсов, приводящее к их истощению [1]. Президентом Узбекистана была подписана концепция развития водного хозяйства на 2020–2030 гг. [2], в которой говорится об увеличивающихся объемах использования поверхностных водных ресурсов, перспективах добычи подземных вод и возможных изменениях климата,

\* E-mail: [vagif1976@mail.ru](mailto:vagif1976@mail.ru)

\*\* E-mail: [oderiut@mail.ru](mailto:oderiut@mail.ru)

\*\*\* E-mail: [es544207@gmail.com](mailto:es544207@gmail.com)

\*\*\*\* E-mail: [zahar2807@bk.ru](mailto:zahar2807@bk.ru)

\*\*\*\*\* E-mail: [msdregval@mail.ru](mailto:msdregval@mail.ru)

которые негативно могут сказаться на уровне жизни населения Узбекистана, связанном с уменьшением доступной воды.

Цель исследования заключается в оценке составляющих водного баланса водосбора р. Зеравшан, который отличается антропогенной нагрузкой и недостаточностью наблюдений за гидрометеорологическими характеристиками.

**Исходные данные и методы исследования.** Водный баланс за годовой период выражается следующим равенством:

$$P = Y + E \pm \Delta U, \quad (1)$$

где  $P$  – осадки, мм;  $Y$  – речной сток, мм;  $E$  – испарение, мм;  $\Delta U$  – изменение влагозапасов в почвогрунтах, мм.

За многолетний период изменение влагозапасов в почвогрунтах  $\Delta U$  стремится к нулю, и уравнение (1) принимает вид

$$P = Y + E. \quad (2)$$

Для оценки составляющих водного баланса необходимы гидрометеорологические характеристики. Ряды наблюдений за суммой годовых осадков и среднегодовой температурой брались с метеостанций (МС): 1 – “Самарканд”; 2 – “Булунгур”; 3 – “Янгиарық”; 4 – “Пайарық”; 5 – “Окдарье”; 6 – “Нурабад”; 7 – “Кушрабад”; 8 – “Каттакурган”. Размещение станций показано на рис. 1. Период наблюдений с 2000 по 2022 гг.

За гидрологическим режимом в бассейне р. Зеравшан наблюдают на 21 станциях (ГС). Посты располагаются на естественных, в основном на малых и средних, и на зарегулированных водотоках [3]. Период наблюдения с 2009 по 2023 гг. В табл. 1 перечислены посты наблюдения с указанием площади водосбора: 1 – р. Ақдарья (Агалық), кишлак Агалық; 2 – р. Ургутсай, г. Ургут; 3 – р. Аманкутансай, кишлак Аманкутан; 4 – р. Караагач (Олмасаван), кишлак Мавлян; 5 – р. Санзар, кишл. Кырк; 6 – р. Бахмазарсай, кишлак Бахмазар; 7 – р. Джум-джум кишлак Джум-джум; 8 – р. Биглярсай, кишлак Янги-Акчаб; 9 – р. Актепасай (Пангат), кишлак Ача; 10 – р. Зеравшан. Нижний бьеф Раватходжинской плотины; 11 – кан. Левобережный (Обводной). Голова, из кан. Даргом; 12 – кан. Правобережный (ПК-6). Голова; 13 – р. Зеравшан (Карадарья), Ак-Карадарьинский вододелитель (Чупонатин ский); 14 – кан. Центральный Мианкальский. Голова, из р. Зеравшан; 15 – кан. Курбанобад. Голова, из р. Зеравшан; 16 – р. Зеравшан, кан. Фарог; 17 – р. Ақдарья, протока р. Зеравшан, Ак-Карадарьинский вододелитель; 18 – кан. Подводящий Каттакурганского вдхр. Устье: 19 – кан. Отводящий – Каттакурганского вдхр. Голова; 20 – кан. Чегонак. Голова, из кан., отводящего Каттакурганского вдхр.; 21 – р. Зеравшан, г. Навои.

Для оценки статистических характеристик использовались методы гидрологических расчетов [4].

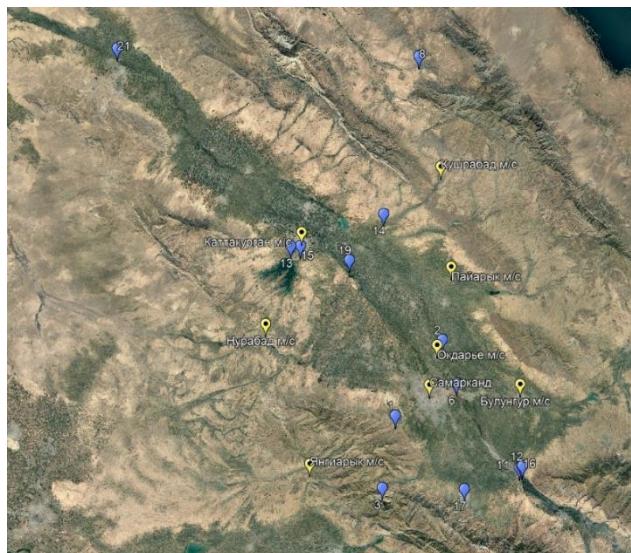


Рис. 1. Расположение метеорологических и гидрологических станций наблюдений.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Оценка трендов в рядах наблюдений за температурой и осадками выявила значимые тренды (на 5% уровне значимости) только в следующих случаях: на МС “Пайарык” и “Самарканд” в рядах температуры воздуха. Все ряды по осадкам значимых трендов не имеют.

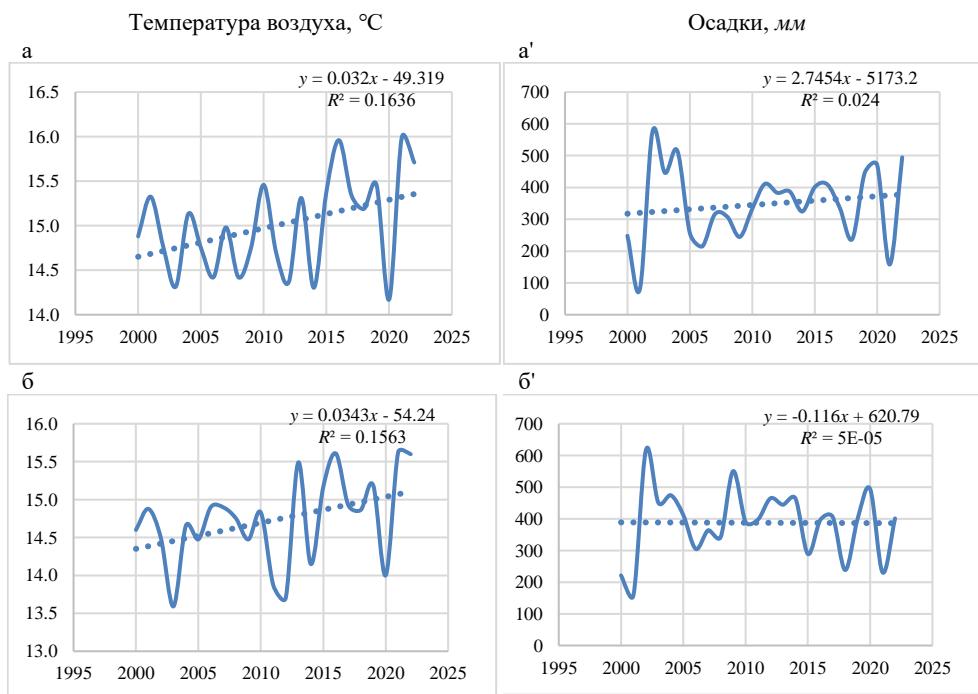


Рис. 2. Хронологические графики температуры и осадков на МС “Самарканд” (а, а') и “Пайарык” (б, б').

На рис. 2 показаны хронологические графики со значимыми трендами по температуре воздуха и незначимыми трендами по количеству осадков.

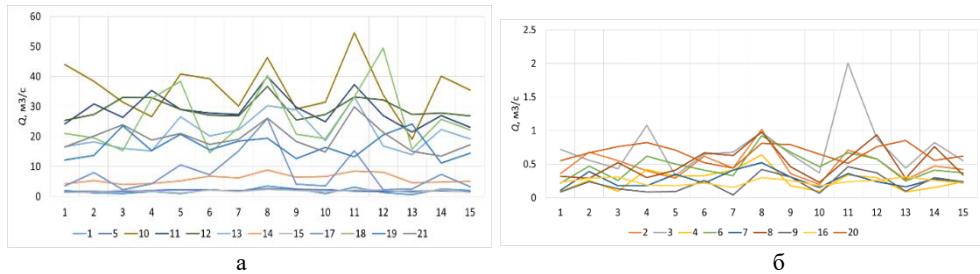


Рис. 3. Хронологические графики расходов воды с 2009 по 2023 гг.:  
а) ГС 1, 5, 10–21; б) МС 2–9, 16, 20; цифры 1–15 – годы: 2009–1 ,..., 2023–15.

Оценка трендов в рядах наблюдений за расходами воды значимых трендов не выявила. На рис. 3 показаны хронологические графики расходов воды по каждой станции, даже визуально видно отсутствие трендов в обозначенной стоковой характеристики.

Таблица 1

*Статистические характеристики и составляющие водного баланса водосбора р. Зеравшан с 2009 по 2023 гг.*

№ ГС	$F,$ $\text{км}^2$	$Q,$ $\text{м}^3/\text{с}$	$Cv$	$Cs$	$\delta Q,$ %	$\delta Cv,$ %	$\delta Cs,$ %	№ МС	$P,$ $\text{мм}$	$h,$ $\text{мм}$	$T,$ $^{\circ}\text{C}$	$E,$ $\text{мм}$	$\delta,$ $\text{мм}$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
1	70,9	1,79	0,48	0,44	12,5	19,1	236	cp.	369	790	14,7	381	-802
2	25,1	0,49	0,43	1,06	11,0	18,9	89,9	7	360	623	15,1	370	-633
3	57,8	0,74	0,55	2,19	14,3	19,3	52,5	cp.	369	412	14,7	381	-424
4	34,7	0,26	0,59	0,85	15,2	19,4	143	7	360	241	15,1	370	-251
5	570	1,97	0,17	0,57	4,38	18,4	121	2	264	110	15,0	268	-114
6	44,6	0,48	0,40	0,74	10,4	18,9	124	7	360	342	15,1	370	-352
7	20,4	0,27	0,42	0,61	10,9	18,9	156	7	360	426	15,1	370	-436
8	180	0,52	0,47	0,75	12,1	19,0	135	7	360	92	15,1	370	-102
9	43,8	0,21	0,65	0,41	16,8	19,6	328	7	360	152	15,1	370	-162
10	12300	36,0	0,24	0,21	6,29	18,5	359	8	380	92	14,6	393	-105
11	1990	28,7	0,18	0,93	4,70	18,4	74,8	7	360	461	15,1	370	-471
12	1538	29,2	0,12	0,89	3,05	18,3	73,9	7	360	602	15,1	370	-612
13	1994	21,2	0,28	0,82	7,19	18,6	94,0	7	360	337	15,1	370	-347
14	955	5,93	0,27	0,62	6,89	18,5	123	7	360	198	15,1	370	-208
15	640	1,79	0,22	-0,05	5,79	18,5	-1447	2	264	90	15,0	268	-94
16	218	0,24	0,21	-0,16	5,44	18,4	-445	6	398	35	14,8	413	-50
17	1480	7,70	0,87	1,73	22,4	20,1	105	7	360	171	15,1	370	-181
18	1660	26,1	0,40	0,98	10,3	18,9	93,4	5	358	500	14,7	369	-511
19	1564	16,7	0,25	0,48	6,43	18,5	154	2	264	341	15,0	268	-345
20	546	0,67	0,19	-0,23	5,03	18,4	-303	6	398	39	14,8	413	-54
21	2292	19,5	0,23	0,95	5,87	18,5	76,5	7	360	271	15,1	370	-281

Статистические характеристики рядов наблюдения за стоком представлены в табл. 1. Так как ряды имеют непродолжительный период наблюдений, то относительные погрешности имеют значительные значения, особенно для

коэффициента асимметрии, и достигают нескольких сотен процентов (табл. 1, столбцы 4–9).

Для составления водного баланса за многолетний период сделаны следующие шаги.

1. *Выбор репрезентативной МС для каждого водосбора:* рассчитывался коэффициент корреляции  $r$  между рядами осадков и стока, выбиралась та МС, корреляция стока с осадками по которой была максимальной. В том числе рассматривали и коэффициент корреляции между среднеарифметическими значениями осадков (ср.) по всем станциям. Репрезентативные МС под номерами показаны в табл. 1 (столбец 10).

2. *Анализ графического материала* в виде совместных хронологических графиков слоев стока и осадков за период с 2009 по 2023 гг. (рис. 4).

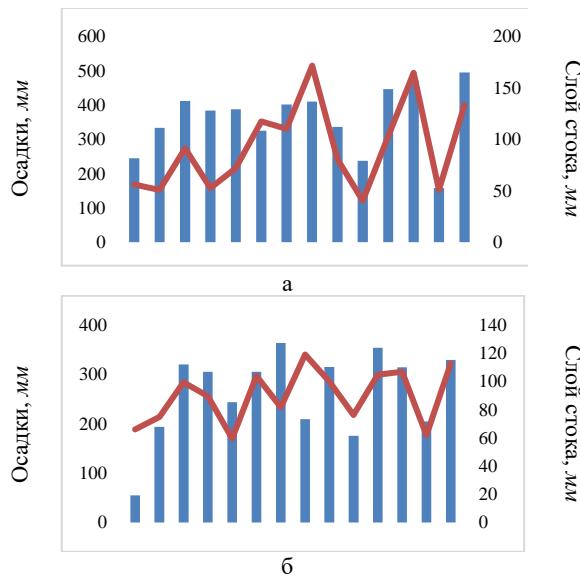


Рис. 4. Совместные графики слоя стока и осадков:  
а – р. Биглярсай, кишл. Янги-Акчаб,  
МС “Самаркандин”,  $r = 0,70$ ;  
б – кан. Курбанобад. Голова, из  
р. Зеравшан, МС “Каттакур-  
ган”,  $r = 0,69$ .

На графиках за каждый год видно соотношение приходной составляющей в виде осадков и расходной, визуально можно оценить величину испарения совместно с изменением влагозапасов. Существенное несовпадение при численных составляющих могут характеризовать антропогенную нагрузку, которая входит в расходную часть. Но данная оценка имеет существенные погрешности, так как оцениваются три неизвестные величины в одном балансе.

3. *Определение испарения.* Для расчета испарения были рассмотрены формулы П. Шрайбера, В.С. Мезенцева и Л. Тюрка, Э.М. Ольдекопа, М.И. Будыко (табл. 2). В формулы входят средние значения осадков и испаряемость, которая рассчитывалась по формулам Л. Тюрка и А.Н. Постникова.

Вычисления значений испарения по всем формулам с вариацией по испаряемости показали практически идентичные результаты, кроме формулы Будыко (испарение было необоснованно высоким). Вычисленные значения показаны в табл. 1 (столбец 14).

4. Сведение водного баланса за многолетний период. Основная цель – оценка неувязки баланса (табл. 1, столбец 15), которая будет отражать антропогенную составляющую:  $\delta = P - h - E$  (мм). Значение  $\delta$  показывает, что расходная составляющая больше, чем приходная, что свидетельствует о присутствии антропогенного воздействия, причем связанного с излишним изъятием воды из водотоков. Данное воздействие носит сильный характер (судя по значениям  $\delta$ ) и, вероятно, возмещается использованием грунтовых вод на водохранилище [5].

Таблица 2

## Выражения для расчета испаряемости и испарения

Испарение $E$ , мм		Испаряемость $E_0$ , мм	
автор	расчетная формула	автор	расчетная формула
Шрайбер П.	$E = P \left( 1 - e^{-\frac{E_0}{P}} \right)$	Тюрк Л.	$E_0 = 300 + 25T^2 + 0,05T^3$
Мезенцев В.С. и Тюрк Л.	$E = E_0 \left( 1 + \left( \frac{P}{E_0} \right)^n \right)^{\frac{1}{n}}$	Постников А.Н.	$E_0 = (350 + 5,5T) e^{0,07T}$
Ольдекоп Э.М.	$E = E_0 \operatorname{th} \left( \frac{P}{E_0} \right)$	$n = 2;$ $P$ – среднее значение осадков, мм; $T$ – средняя температура приземного воздуха, °C.	
Будыко М.И.	$E = \sqrt{E_0 \operatorname{th} \left( \frac{P}{E_0} \right)} P \left( 1 - e^{-\frac{E_0}{P}} \right)$		

Имеются исследования, в которых говорится о ненулевой величине изменения влагозапасов почвогрунтов при многолетней оценке водного баланса [6]. Данное явление свойственно для водохранилищ, находящихся в условиях избыточного и достаточного увлажнения и с неглубоким залеганием грунтовых вод. Для водохранилищ из засушливой зоны уравнение баланса имеет традиционный вид с нулевыми изменениями влагозапасов за многолетний период [7].

**Заключение.** Произведена оценка составляющих водного баланса водохранилища р. Зеравшан, отличающегося антропогенной нагрузкой. Получены следующие результаты:

- водохранилище р. Зеравшан можно отнести к недостаточно изученному в гидрометеорологическом смысле водохранилищу;
- значимые тренды присутствуют только в двух из восьми рядов наблюдений за температурой воздуха, гидрологические ряды и ряды осадков трендов не имеют;
- для расчета испарения с водохранилища р. Зеравшан подходят формулы П. Шрайбера, В.С. Мезенцева и Л. Тюрка, Э.М. Ольдекопа;

- расходная часть уравнения водного баланса больше, чем приходная;
- антропогенное воздействие на водосборе сильное и возмещается использованием грунтовых вод.

Планируется разработка методики оценки составляющих водного баланса с учетом возможных изменений климата.

Поступила 04.04.2025  
Получена с рецензии 21.05.2025  
Утверждена 15.08.2025

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мавлонов А.А., Абдуллаев Б.Д. Водные ресурсы Узбекистана и их использование: современное состояние и перспективы. *География и водные ресурсы* **3** (2016).
2. Концепция развития водного хозяйства на 2020–2030 годы. Указ президента Узбекистана. Министерство водного хозяйства Республики Каракалпакстан.
3. Мирзоев В.А., Гайдукова Е.В. Гидрологическая изученность и особенности формирования речного стока в бассейне р. Зеравшан (Узбекистан). *Естественные и технические науки* **12** (2024), 216–220.  
<https://doi.org/10.25633/ETN.2024.12.19>
4. Сикан А.В. *Методы статистической обработки гидрометеорологической информации*. Учебник. Специальность “Гидрология”. Санкт-Петербург, изд-во РГГМУ (2007), 279.
5. Айтметов Б. *Состояния подземных вод Республики Узбекистан*. Ташкент (2022).
6. Гайдукова Е.В., Голованова Е.Ю., Коваленко В.В. *Явление неизвестной нормы многолетних изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов*. Санкт-Петербург (2019), 104.
7. Гайдукова Е.В., Диавара Х. *Долгосрочная оценка вероятностных распределений многолетнего годового испарения при изменении климата на примере Африканского континента*. Санкт-Петербург, изд-во РГГМУ (2016), 111.

Ч. Ա. ՄԻՐԶՈՆԵԿ, Ե. Վ. ԳԱՅԴՈՒԿՈՎԱ, Ե. Կ. ՍԵՄԵՆՈՎԱ,  
Ի. Դ. ԶԱԽԱՐՈՎ, Մ. Ա. ԴՐԵԳՎԱԼ

#### ԶԵՐԱՎԾԱՆ ԳԵՏԻ (ՈՒՉԲԵԿԱՍՏԱՆ) ՄԱՐԴՎԾԻՆ ՋՐՀԱՎԱՔ ԱՎԱԶԱՆՈՒՄ ՋՐԱՅԻՆ ՀԱՇՎԵԿԾՈՒ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄ

#### Ամփոփում

Դիտարկվում են գետավազանի ջրային հաշվեկշռի բաղադրիչները: Զերավշանը, որը բնութագրվում է զգայի մարդածին ծանրաբեռնվածությամբ: Կատարվել է տարածքի հիդրոօգենութարանական ուսումնասիրության գնահատում, կատարվել է հիդրոլոգիական բնութագրերի վիճակագրական վերլուծություն, ինչպես նաև գնահատվել է օդի ջերմաստիճանի, տեղումների և գետային հոսքի դիտարկումների շարքի տրենդի նշանակությունը: Պարզվել է, որ միտումները առկա են զերմաստիճանի ութ դիտարկումների շարքերից միայն երկուսում: Հիդրոլոգիական և տեղումների շարքերը միտումներ չունեն:

Վերլուծվում են գոլորշիացման հաշվարկման բանաձևերը: Զրային հաշվեկշռի զնահատումը ցույց տվեց, որ Զերավշան գետի ջրհավաք ավազանում ջրի մուտքային բաղադրիչը գրեթե ամբողջությամբ ծախսվում է՝ ներառյալ ջրի օգտագործումը արդյունաբերական և կոմունալ-կենցաղային նպատակով:

V. A. MIRZOEV, E. V. GAIDUKOVA, E. K. SEMENOVA,  
I. D. ZAKHAROV, M. S. DREGVAL

WATER BALANCE ASSESSMENT IN THE ANTHROPOGENICALLY  
LOADED CATCHMENT AREA OF THE ZERAVSHAN RIVER  
(UZBEKISTAN)

Summary

The water balance components of the river basin of the River Zeravshan, which is characterized by significant anthropogenic load, are considered. The hydrometeorological study of the territory is assessed, the statistical hydrological characteristics are analyzed, and the significance of trends in the series of observations of air temperature, precipitation and river runoff is assessed. It is found that trends are present only in two of the eight series of observations of temperature, the hydrological series and series of precipitation do not have trends. The evaporation calculation formulas are assessed. The water balance assessment showed that the incoming component is spent almost entirely on the catchment area of the River Zeravshan, including the use of water for industrial and municipal purposes.