ЦЕНТРАЛЬНОАЗИАТСКИЙ ЖУРНАЛ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ (2026)
12(2): 68-80

https://doi.org/10.29258/CAJWR/2026-R1.v12-2/68-80.rus

© Авторы, 2026

Применение спутниковых снимков для изучения компонентов стока рек Памиро-Алая за современный период

Джафар Ниязов [1] *, Ольга Калашникова [2]

[1] Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии Национальной академии наук Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

[2] Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ), Бишкек, Кыргызская Республика

АННОТАЦИЯ

В статье приводится исследование рек Памиро-Алайской горной системы с различной степенью оледенения и типом питания. Основным результатом работы является оценка основных источников питания рек и их вклада в годовой сток в современный период. Методика генетического расчленения гидрографа широко применялась исследователями в периоды 1960–1990 гг. и 2018–2023 гг. Инновационным подходом является использование спутниковых снимков MODIS, обработанных в программе MODSNOW для определения периода схода сезонного снежного покрова и начала таяния ледников при многомодальных гидрографах. Для рек с небольшой площадью оледенения значительное влияние на сток оказывают зимние осадки (в маловодные годы запасы снега в бассейнах рек Гунт и Варзоб составляли 40–43% нормы). Исследование показало, что на реке Гунт талый ледниковый сток компенсирует дефицит воды в маловодные годы, тогда как на реке Кызылсу (Алайская) с мощным оледенением зимние осадки не лимитируют сток, и с 1990-х годов маловодных лет не отмечается.

ИСТОРИЯ СТАТЬИ

Подана в редакцию:
17 сентября 2025 г.

Принята:
01 сентября 2026 г.

Опубликована:
20 октября 2026 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

компоненты стока, речной сток, ледниковый сток, Памиро-Алай, бассейн реки Амударья, спутниковые снимки MODIS, MODSNOW

КОНТАКТ Джафар Ниязов iwphenast2021@gmail.com Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана, ул. Бофанда 5/2, 734025, Душанбе, Таджикистан

Опубликовано Казахстанско-Немецким Университетом, Алматы / Казахстан

1. Введение

Основоположниками методических подходов в исследованиях источников питания горных рек Центральной Азии были В. Л. Шульц, О. П. Щеглова и А. О. Кеммерих (Шульц, 1965; Щеглова, 1960; Кеммерих, 1972). В дальнейшем их методы развили А. Н. Диких, В. И. Михайлова и Л. В. Бажанова, которые использовали метод вертикального расчленения гидрографа, рассчитывая объем основных источников питания рек Тянь-Шаня (Диких, Михайлова, 1976; Диких, 1993; Бажанова, 2018). Авторы статьи применяли тот же метод для рек Тянь-Шаня, Памира и Памиро-Алая для расчетов компонентов стока за современный период (Калашникова и др., 2020; Ниязов, 2022; Ниязов, Калашникова, 2023). Сложность расчетов талого снегового и ледникового стока с использованием метода вертикального расчленения гидрографа возникала в случаях многомодальных (несколько пиков паводков) гидрографов.

В работе применены спутниковые снимки MODIS, обработанные с помощью программы MODSNOW Tool (Gafurov et al., 2016), для определения периода таяния снега и ледников, а также оценки долевого вклада талого снегового и ледникового стока исследуемых рек. Программа MODSNOW Tool успешно применялась для определения даты схода снежного покрова в бассейнах рек Тянь-Шаня и Памира как снегово-ледникового, так и ледниково-снегового типа питания (Калашникова, Гафуров, 2017; Ниязов и др., 2020). В настоящее время программа MODSNOW также активно используется в статистическом анализе гидрологических и метеорологических данных с использованием языка R и современных подходов машинного обучения (Apel et al., 2018; Umirbekov et al., 2025).

В работе были использованы современные данные Таджикгидромета — расходы воды, температура атмосферного воздуха и осадки, а также данные суточного хода снежного покрова по снимкам MODIS. Данные о современном состоянии оледенения использовались для уточнения вклада ледникового стока. Полученные результаты сравнивались с расчетами В. Г. Коновалова, А. С. Щетинникова, А. Ф. Финаева и А. Г. Шабунина (Коновалов, 1985, 2020; Шабунин, 2018; Финаев, 2013; Щетинников, 1998; Государственный водный кадастр, 1987). Репрезентативность метеостанций для анализа речного стока Памира и Памиро-Алая была определена в инструментах статистического анализа (Подрезов, 2020).

В данной статье исследование проведено для речных бассейнов Памиро-Алайской горной системы — Варзоб, Кызылсу (Алайская) и Гунт. Водные ресурсы этих рек имеют важное значение для региона Центральной Азии. На реке Варзоб (приток реки Кафирниган) расположен каскад малых ГЭС для обеспечения электроэнергией города Душанбе. Значительная часть ее стока используется на ирригационные цели Большим Гиссарским каналом. Река Кызылсу (Алайская) является крупным притоком реки Вахш. В бассейне развито мощное оледенение, которое питает талыми водами вечных снегов и ледников реку Вахш в летний период. В среднем течении река Вахш разбирается на ирригационные нужды. В целях многолетнего регулирования стока на реке построено Нурекское водохранилище. Помимо крупнейшей Нурекской ГЭС, на реке Вахш расположены еще шесть ГЭС Вахшского каскада (Байпазинская, Сангтудинская-1, Сангтудинская-2, Головная, Перепадная и Центральная плотины). Водные ресурсы реки Гунт, крупнейшего притока реки Пяндж, имеют важное гидроэнергетическое и водохозяйственное значение. Кроме того, бассейны этих рек относятся к высокогорным селеопасным зонам со смешанным происхождением селей, вызванных интенсивным снеготаянием, таянием ледников и прорывом водоемов.

2. Материалы и методы

2.1 Объекты исследования

Географическое местоположение, гидрологическая и метеорологическая сеть наблюдений представлены на рисунках 1–4: р. Варзоб (39°01′29″ с.ш. 68°47′07″ в.д. и 38°29′25″ с.ш. 68°46′30″ в.д.) (рис. 1), р. Кызылсу (Алайская) (39°33′11″ с.ш. 73°35′51″ в.д. и 39°16′13″ с.ш. 71°22′51″ в.д.) (рис. 2) и р. Гунт (37°37′51″ с.ш. 73°58′41″ в.д. и 37°29′23″ с.ш. 71°31′11″ в.д.) (рис. 3).

Памиро-Алай — горная система на юге Центрально-азиатских стран (Узбекистан, Кыргызстан и Таджикистан), которая включает в себя Гиссаро-Алай, Таджикскую депрессию и Памир. Бассейн реки Гунт расположен в Западном Памире, но ее истоки находятся в Восточном Памире, отличающемся суровыми климатическими условиями. Бассейны рек Варзоб и Кызылсу (Алайская) относятся к Гиссаро-Алайской высокогорной системе (Щетинников, 1998). Основные сведения о бассейнах представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные сведения об исследуемых речных бассейнах до пункта наблюдений. Примечание: площадь оледенения за 1940–1970 гг. представлена по данным каталога ледников СССР (1971), за 2001–2016 гг. — по данным снимков LANDSAT (Финаев, 2013; Шабунин, 2018; Коновалов, 2020).

№	Гидропост	Площадь водосбора, км²	Высота, м н.у.м.	Ледники 1940-1970, км²	Ледники 2001-2016, км²	Оледенение, % (1940-70 / 2013-16)	Средний расход Q, м³/с
1	р. Гунт – г. Хорог	13 700	4 170	535	460	3,9 / 3,4	104,0
2	р. Кызылсу – с. Домбрачи	8 470	3 540	640	578	7,6 / 6,8	76,2
3	р. Варзоб – с. Дагана	1 270	2 670	35,0	27,0	2,7 / 2,1	49,5

Одной из важных характеристик является современная площадь оледенения, рассчитанная по данным снимков LANDSAT за июль–август. Для бассейна реки Кызылсу она представлена за 2013–2016 гг. из открытых источников ЦАИИЗ (Шабунин, 2018), для бассейна реки Гунт — по расчетам В. Г. Коновалова (2020), а для бассейна реки Варзоб — по расчетам А. Ф. Финаева (2013). В таблице 1 эти данные представлены в сравнении с данными Каталога ледников СССР (1971): площадь оледенения сократилась в бассейне реки Кызылсу (Алайская) на 10%, Варзоб — на 23%, Гунт — на 14%.

Гидрограф половодья исследуемых рек многомодальный: первый пик — снеговой, сформировавшийся за счет таяния сезонного снега, накопившегося в горах за холодный период (октябрь–март/апрель); второй пик — ледниковый, вызванный таянием ледников, на который накладываются отдельные небольшие по объему пики за счет осадков теплого периода (июль–октябрь).

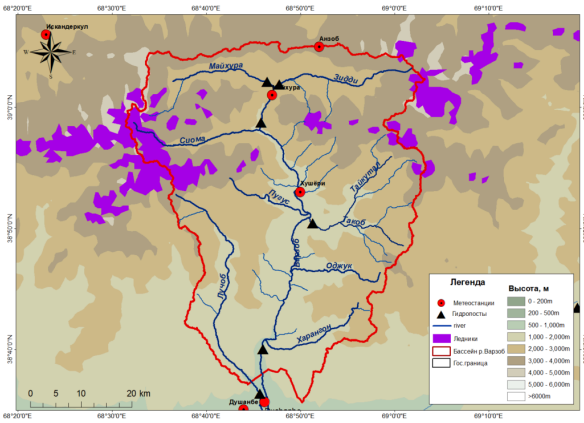


Рис. 1. Бассейн реки Варзоб

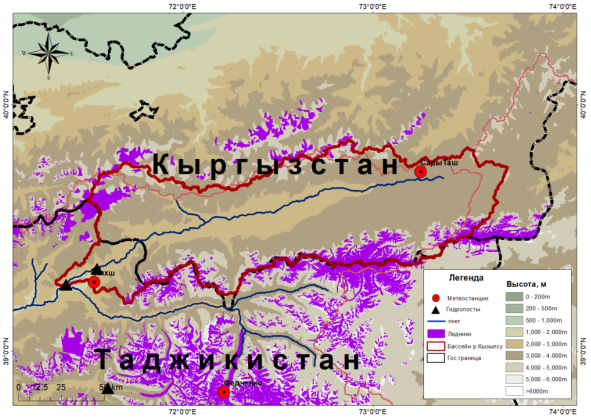


Рис. 2. Бассейн реки Кызылсу (Алайская)

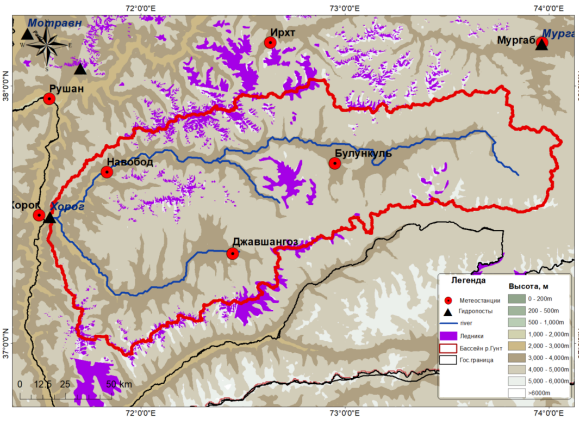


Рис. 3. Бассейн реки Гунт

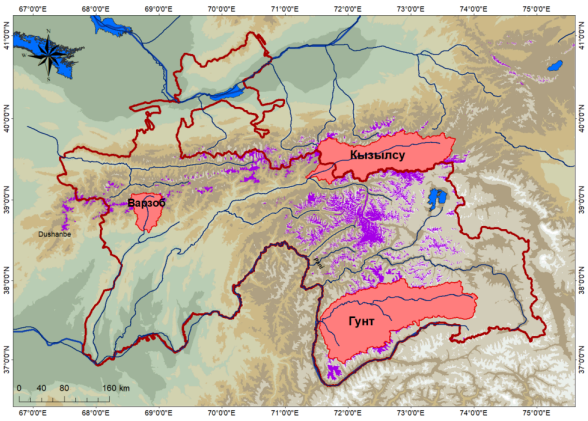


Рис. 4. Расположение исследуемых бассейнов

Источник: составлено авторами

2.2 Методология

Для изучения объема стока основных источников питания был использован метод генетического (вертикального) расчленения гидрографа (Кеммерих, 1972; Диких, 1993). Метод применялся для разделения общего речного стока на три основные составляющие по источникам питания: снеговое, ледниковое и подземное. По данным о среднесуточных расходах воды и среднесуточной температуре воздуха строится совмещенный график. На гидрографе стока по ходу температуры воздуха выделяются паводки, вызванные таянием снега или ледников, и их продолжительность в днях.

Величина каждого источника питания определялась из среднесуточного расхода воды, переведенного в объем стока в млн м³. Объем стока за расчетный интервал времени определялся по формуле (Диких, Михайлова, 1976; Бажанова, 2018):

$$W = Q \cdot T$$

где: W — объем стока, м³ (км³); Q — средний расход воды за расчетный период времени, м³/с; T — число секунд в том же периоде времени.

Рассчитанный объем стока затем суммировался за период снегового (март/апрель – июнь) и ледникового (июль – сентябрь) половодья. Метод успешно апробирован для рек Тянь-Шаня, Памира и Памиро-Алая (Калашникова и др., 2020; Ниязов, 2022; Ниязов, Калашникова, 2023).

Для определения дат окончания таяния сезонного снежного покрова и начала таяния ледников использованы данные суточного хода снежного покрова снимков MODIS, обработанные в программе MODSNOW (алгоритм удаления облачности) за период с 2000 по 2019 гг. (Gafurov et al., 2016). Пространственное разрешение составляет 500 м (продукты MOD10A1/MOD10A2), временная дискретность — ежедневная и 8-суточная. В годы, когда дату начала таяния ледников сложно определить только по температуре, информация MODIS о снежном покрове являлась определяющей.

Полученные результаты сопоставлены с данными предшествующих исследований (Кемерих, 1972; Коновалов, 1985, 2020; Щеглова, 1960). Выбор репрезентативной метеостанции осуществлен на основе коэффициента корреляции Пирсона (R) метеопараметров и расходов воды (Подрезов, 2020).

3. Результаты исследования

Для выявления репрезентативной метеостанции построена корреляционная матрица. Зависимость между осадками за холодный и теплый периоды и расходами воды за половодье представлена в таблице 2, а со среднемесячной температурой воздуха — в таблице 3.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции речного стока за половодье с осадками.

Метеостанция	Холодный период	Теплый период
р. Варзоб – с. Дагана		
Анзоб	0,62	0,75
Майхура	0,72	0,61
Душанбе	0,51	0,63
Хушери	0,54	0,09
р. Гунт – г. Хорог		
Булункуль	0,59	–0,05
Джавшангоз	0,61	–0,05
Хорог	0,65	0,06
р. Кызылсу (Алайская) – с. Домбрачи		
Гарм	0,35	–0,15
Тавильдара	0,20	0,12
Сары-Таш	0,39	0,07
Дароот-Коргон	0,29	0,24

Таблица 3. Коэффициенты корреляции речного стока за половодье со среднемесячной температурой воздуха.

Метео-станция	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Варзоб - с. Дагана												
Анзоб	0,19	0,14	−0,11	0,11	−0,31	−0,41	−0,08	−0,48	−0,11	0,09	0,41	0,29
Майхура	0,29	0,02	−0,22	−0,47	−0,76	−0,54	0,01	−0,40	−0,16	−0,22	0,05	0,04
Душанбе	0,31	0,09	−0,18	−0,22	−0,64	−0,51	−0,27	−0,49	−0,24	−0,38	0,24	0,05
р. Гунт - г. Хорог												
Булункуль	−0,24	−0,08	−0,18	−0,27	−0,06	0,11	0,20	0,14	0,13	−0,12	0,01	0,07
Джавшан-гоз	−0,12	−0,03	−0,13	−0,23	−0,21	0,07	0,37	0,09	0,09	−0,04	0,09	0,12
Хорог	−0,06	−0,12	−0,13	0,06	0,09	0,14	0,29	0,01	0,04	−0,08	−0,10	0,03
р. Кызылсу (Алайская) - с. Домбрачи												
Гарм	−0,09	−0,08	0,01	0,21	0,01	0,06	0,22	0,19	0,29	0,15	0,10	0,27
Тавильдара	−0,12	0,05	0,14	0,19	0,10	0,24	−0,27	0,25	0,36	0,11	0,20	0,21
Сары-Таш	0,38	0,20	0,16	0,27	0,30	0,47	0,36	0,35	0,27	0,27	0,13	0,28

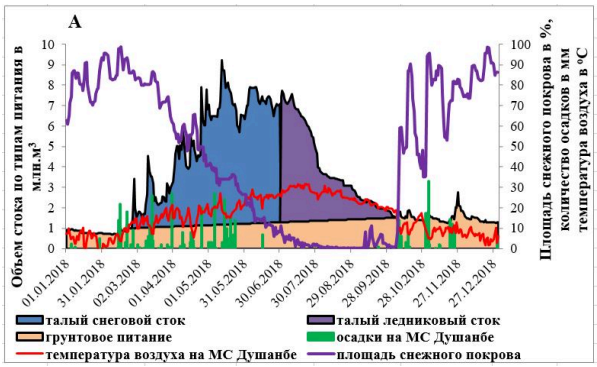
Наибольшая теснота зависимости стока за половодье с метеопараметрами выявлена для рек:

- Варзоб — с осадками по метеостанциям Анзоб, Майхура и Душанбе; с температурой воздуха по станциям Майхура и Душанбе;
- Гунт — с осадками за холодный период по станции Хорог;
- Кызылсу (Алайская) — с осадками и температурой по метеостанции Сары-Таш.

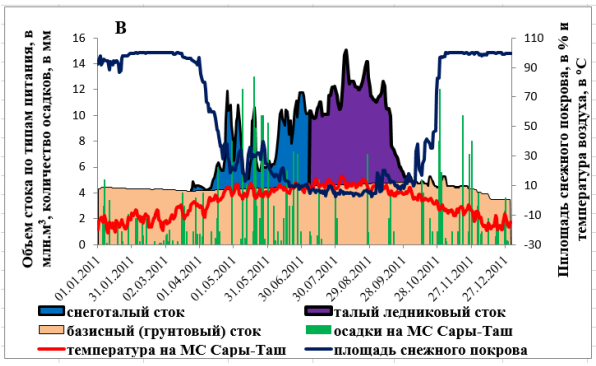
На рисунке 5 представлены совмещенные гидрографы с температурой воздуха по репрезентативным метеостанциям для рек Варзоб, Кызылсу (Алайская) и Гунт.

Бассейн реки Гунт отличается суровыми климатическими условиями и малым количеством годовых осадков, сток реки Гунт характеризуется поздним началом половодья и ледникового таяния. Данное исследование позволило определить, что в маловодные и малоснежные годы сезонный снежный покров стаивает на 10 дней раньше, и талый ледниковый сток компенсирует нехватку воды в бассейне реки Гунт (рис. 6, табл. 4).

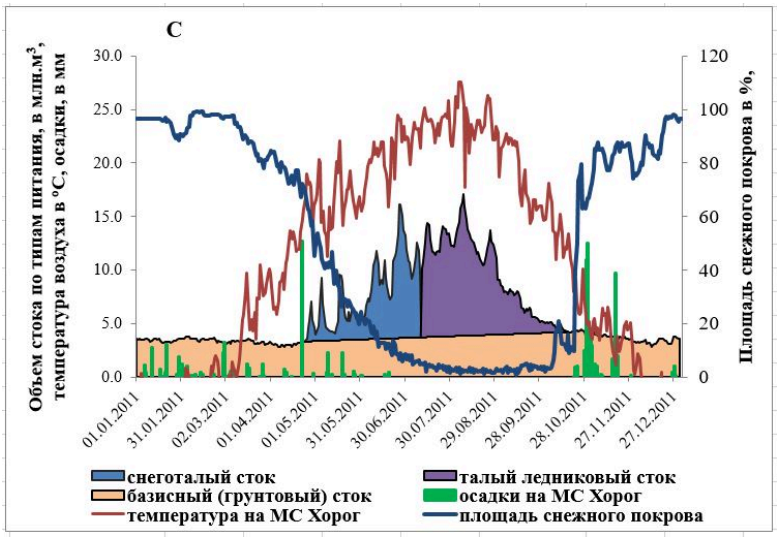
Определение периода половодья, таяния снежного покрова и ледников проведено для маловодного и средних по водности лет (табл. 4). Для реки Кызылсу (Алайская) маловодным оказался 1986 год, за последующий период до 2019 года маловодных лет не наблюдалось.



(A) р. Варзоб – с. Дагана



(B) р. Кызылсу – с. Домбрачи



(C) р. Гунт – г. Хорог

Рис. 5. Совмещенные гидрографы для рек Варзоб (A), Кызылсу (Алайская) (B) и Гунт (C) с температурой воздуха по репрезентативным метеостанциям и суточным ходом снежного покрова, полученным в программе MODSNOW. *Источник: составлено авторами.*

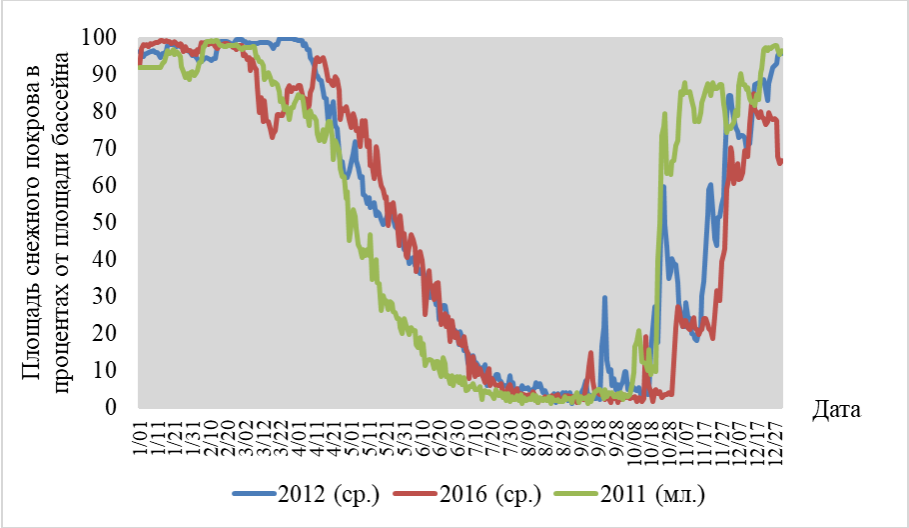


Рис. 6. Динамика снежного покрова в средние по водности и снегу (2012, 2016) и маловодные/малоснежные годы (2011). *Источник: составлено авторами.*

Таблица 4. Объем основных компонентов стока на реках Памиро-Алая (мл. — маловодный год; ср. — средний по водности).

Год	Грунтовый сток		Талый снеговой		Талый ледниковый		Осадки окт-апр	
	млн м³	%	млн м³	%	млн м³	%	мм	% нормы
р. Варзоб - с. Дагана								
2018 мл.	456	37	502 (24.02-25.06)	41	276 (26.06-07.10)	22	200	43
2012 ср.	453	28	750 (14.03-28.06)	47	398 (29.06-26.09)	25	517	119
2016 ср.	516	35	714 (26.02-28.06)	48	266 (29.06-29.09)	18	533	115
р. Кызылсу - с. Домбрачи								
1982 мл.	1373	69	293 (11.04-15.07)	15	336 (16.07-18.10)	17	160	89
1986 мл.	981	57	354 (08.04-12.07)	21	385 (13.07-04.11)	22	165	91
2011 ср.	1605	65	357 (07.04-10.07)	15	495 (11.07-07.10)	20	160	90
2016 ср.	1563	67	367 (10.05-11.07)	16	415 (12.07-18.10)	18	130	72
р. Гунт - г. Хорог								
2011 мл.	1220	55	359 (23.04-10.07)	16	645 (11.07-20.10)	29	99	40
2012 ср.	1649	51	961 (26.05-22.07)	30	596 (23.07-06.10)	17	345	139
2016 ср.	1471	47	1148 (08.05-20.07)	36	530 (21.07-11.10)	17	189	76

Исследование показало значительную вариабельность начала половодья: Варзоб — конец февраля-март, Кызылсу (Алайская) — апрель-май, Гунт — конец апреля-май. Начало ледникового таяния наблюдается на реке Варзоб в конце июня, на Кызылсу — в I-II декадах июля, на Гунте — во II-III декадах июля. Доля ледникового стока составляет: Варзоб — 18-25%, Гунт — 17-29%, Кызылсу — 18-22%. Доля талого снегового стока: Варзоб — 41-48%, Кызылсу — 15-21%, Гунт — 16-36% (Ниязов, Калашникова, 2023).

Экстремальные маловодные годы на реках Варзоб и Гунт связаны с низким накоплением зимних осадков (40-43% нормы). На Кызылсу (Алайская) маловодные годы не зависят от запасов снега: дефицит стока обусловлен низкой температурой воздуха (Ниязов, 2022).

4. Обсуждение результатов

Результаты расчета сопоставлены с данными В. Г. Коновалова (1985), О. П. Щегловой (1960), А. О. Кеммериха (1972) и В. Л. Шульца (1965) (табл. 5).

Таблица 5. Сравнение вычисленных компонентов стока с данными других исследователей (* — маловодные годы).

Период / год	Грунтовое		Снеговое		Ледниковое		Годовой, млн м³	Источник данных
	млн м³	%	млн м³	%	млн м³	%		
р. Кызылсу (Алайская)								
1986*	981	57	354	21	385	22	1 715	(Ниязов, 2022)
2011	1605	65	357	15	495	20	2 457	(Ниязов, 2022)
1957–1974	—	—	—	—	—	23	—	(Коновалов, 1985)
р. Варзоб								
2018*	456	37	502	41	276	22	1 234	(Ниязов, 2022)
2012	453	28	750	47	398	25	1 600	(Ниязов, 2022)
1957–1974	—	—	—	—	—	15	—	(Коновалов, 1985)
1962–1971	—	28	—	58	146	10	1 467	(Кеммерих, 1972)
1962–1971*	—	—	—	—	—	15	992	(Кеммерих, 1972)
р. Гунт								
2011*	1220	55	359	16	645	29	2 224	(Ниязов, 2022)
2016	1471	47	1148	36	530	17	3 149	(Ниязов, 2022)
1957–1974	—	—	—	—	—	≤13	—	(Коновалов, 1985)
1934–1952	—	35	—	47	604	17	—	(Щеглова, 1960)
1962–1971	—	39	—	35	864	25	3 337	(Кеммерих, 1972)
1962–1971*	—	—	—	—	—	33	2 451	(Кеммерих, 1972)

По расчетам авторов, доля ледникового стока на 7–10% выше, а талого снегового — соответственно ниже на реке Варзоб. Доля грунтового питания в бассейне высокогорной реки Гунт оказалась на 10–20% выше прежних оценок, что объясняется тем, что А. О. Кеммерих и В. Л. Шульц использовали календарные сроки (1 июля) за неимением ежедневных рядов температуры и спутниковых наблюдений.

Исследуемые реки относятся к ледниково-снеговому (Кызылсу, Гунт) и снегово-ледниковому (Варзоб) типам питания (Шульц, 1965). Различная степень оледенения определяет долю стока: на реках с небольшой площадью оледенения (Варзоб и Гунт) доля ледников составляет 17–29%. На Гунте дефицит стока в малоснежные годы компенсируется ускоренным таянием ледников

(начало на 10–12 дней раньше, вклад ледников достигает 30% против 17% в средние годы). Бассейн реки Кызылсу (Алайская) выделяется колоссальной долей грунтового питания — 57–69% годового объема.

5. Выводы

1. Водность рек с небольшой степенью оледенения (2,1–3,4% площади бассейна), таких как Гунт и Варзоб, критически зависит от запасов снега, накопленных за холодный период.
2. В малоснежные годы таяние ледников в бассейне реки Гунт наступает на 10–12 дней раньше. Доля ледникового стока возрастает с 17% (в средние годы) до 29%, компенсируя нехватку талых снеговых вод.
3. На реке Варзоб доля талого снегового и ледникового стока составляет 41–48% и 18–25% соответственно. Сток половодья в решающей степени определяется снегонакоплением зимы и температурным фоном мая.
4. Река Кызылсу (Алайская) с мощным оледенением (6,8% площади) демонстрирует стабильный ледниковый сток (18–22%) и устойчивое преобладание подземного питания (до 69%), маловодных лет здесь не отмечается с 1990-х годов.
5. Привлечение спутниковых данных MODIS позволило уточнить вклад ледникового питания (на Варзобе — на 10% выше исторических оценок) и грунтового стока (на Гунте — на 10–25% выше).

6. Заключение

Применение данных о суточном ходе снежного покрова MODIS, обработанных в программе MODSNOW, показало высокую эффективность для разделения гидрографа горных рек Центральной Азии. В условиях многомодальных паводков спутниковый мониторинг площади снежного покрова и динамики абляции позволяет исключить субъективизм календарного разделения и существенно повысить точность расчетов водных ресурсов для гидроэнергетики и орошаемого земледелия региона.

Вклад авторов

Ниязов Дж. Б.: концептуализация, методология, формальный анализ, написание оригинального проекта, визуализация, рецензирование и редактирование, сбор данных, исследование.

Калашникова О. Ю.: концептуализация, методология, формальный анализ, написание оригинального проекта, рецензирование и редактирование, сбор данных, исследование.

Список литературы

Бажанова Л. В. Влияние изменений климата на гидрологический режим рек высокогорной зоны (на примере р. Кашка-Тор в бассейне озера Иссык-Куль) // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. — 2018. — № 3. — С. 186–191.

Диких А. Н. Ледниковый сток Тянь-Шаня и его роль в формировании общего стока // Материалы гляциологических исследований. — 1993. — № 77. — С. 41–49.

Диких А. Н., Михайлова В. И. Режим ледников и водный баланс северного склона хребта Терскей-Ала-Тау. — Фрунзе: Наука, 1976. — 132 с.

Калашникова О. Ю., Аламанов С. К., Усубалиев Р. А. Оценка динамики компонентов стока рек ледникового питания в горах Тянь-Шаня в условиях изменения глобального климата (на примере реки Нарын) // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. — 2020. — № 3. — С. 8–13.

Калашникова О. Ю., Гафуров А. Использование наземных и спутниковых данных о снежном покрове для прогноза стока реки Нарын // Лёд и Снег. — 2017. — Т. 57, № 4. — С. 507–517. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-4-507-517

Кеммерих А. О. Роль ледников в стоке рек Средней Азии // Материалы гляциологических исследований. — 1972. — № 20. — С. 82–94.

Коновалов В. Г. Таяние и сток с ледников в бассейнах рек Центральной Азии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1985. — 237 с.

Коновалов В. Г. Изменения и репрезентативность параметров горного оледенения // Лёд и Снег. — 2020. — Т. 60, № 2. — С. 165–181. https://doi.org/10.31857/S2076673420020031

Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Бассейн Аральского моря / Государственный водный кадастр. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — Т. 1, вып. 12.

Ниязов Дж. Б. Исследование влияния метеорологических параметров на формирование стока реки Кызылсу и его компоненты // Климат и Природа. — 2022. — № 3. — С. 38–47. https://doi.org/10.51618/2220-8259_2022_3_38

Ниязов Дж. Б. Вклад ледникового и талого снегового питания в годовой сток реки Фандарья // Доклады Национальной Академии наук Таджикистана. — 2022. — Т. 65, № 5–6. — С. 390–397.

Ниязов Д. Б., Калашникова О. Ю. Сравнительная оценка компонентов стока рек Памира и Памиро-Алая в маловодные и средние по водности годы // Сборник Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты экологии и климата». — Душанбе, 2023. — С. 130–135.

Ниязов Дж., Калашникова О., Гафуров А. Методика прогноза водности высокогорных рек Центральной Азии на основе снимков MODIS // Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов. — 2020. — Т. 6, № 2. — С. 26–37. https://doi.org/10.29258/CAJWR/2020-R1.v6-2/26-37.rus

Подрезов О. А. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений. — Бишкек: КРСУ, 2020.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Каталог Ледников СССР. Средняя Азия. Вып. 3: Бассейн р. Амударьи / ред. О. Н. Виноградов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1971. — Т. 14.

Финаев А. Ф. Динамика оледенения некоторых районов Памиро-Алая // Вопросы географии и геоэкологии. — 2013. — № 3. — С. 32–42.

Шабунин А. Г. Каталог ледников Кыргызстана. — Бишкек: ЦАИИЗ, 2018.

Шульц В. Л. Реки Средней Азии. — Л.: Гидрометеоиздат, 1965. — 691 с.

Щеглова О. П. Питание рек Средней Азии. — Ташкент: СамГУ, 1960. — 244 с.

Щетинников А. С. Морфология и режим ледников Памиро-Алая. — Ташкент, 1998. — 219 с.

Apel, H., Abdykerimova, Z., Agalhanova, M., Baimaganbetov, A., Gavrilenko, N., Gerlitz, L., Kalashnikova, O., Unger-Shayesteh, K., Vorogushyn, S., & Gafurov, A. (2018). Statistical forecast of seasonal discharge in Central Asia using observational records: Development of a generic linear modelling tool for operational water resource management. **Hydrology and Earth System Sciences**, 22(4), 2225–2254. https://doi.org/10.5194/hess-22-2225-2018

Gafurov, A., Lüdtke, S., Unger-Shayesteh, K., Vorogushyn, S., Schöne, T., Schmidt, S., Kalashnikova, O., & Merz, B. (2016). MODSNOW-Tool: An operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data. **Environmental Earth Sciences**, 75(12), 1078. https://doi.org/10.1007/s12665-016-5869-x

Umirbekov, A., Peña-Guerrero, M. D., Didovets, I., Apel, H., Gafurov, A., & Müller, D. (2025). The value of hydroclimatic teleconnections for snow-based seasonal streamflow forecasting in Central Asia. **Hydrology and Earth System Sciences**, 29(11), 3055–3071. https://doi.org/10.5194/hess-29-3055-2025

Satellite Images Application of Pamir-Alay River Runoff Components in the Modern Period

Jafar Niyazov [1] *, Olga Kalashnikova [2]

[1] Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

[2] Central-Asian Institute for Applied Geosciences (CAIAG), Bishkek, Kyrgyz Republic

ABSTRACT

The article investigates the rivers of the Pamir-Alay mountain system with varying degrees of glaciation and runoff feeding regimes. The primary outcome is an assessment of main runoff components and their contributions to the annual river discharge during the modern period. The genetic hydrograph separation technique was widely used by researchers during the periods 1960–1990 and 2018–2023. An innovative approach is the integration of MODIS satellite imagery processed via the MODSNOW tool to reliably detect snowmelt termination and glacier melting onset in multimodal flood hydrographs. In sub-basins with low glaciation, precipitation accumulated during the cold season strongly dictates seasonal discharge: during dry years, snowpack in the Gunt and Varzob basins fell to 40–43% of normal values, where increased glacier melt effectively buffered low-water anomalies on the Gunt. For the heavily glaciated Kyzylsu (Alay) basin, cold-season precipitation is not restrictive, and no extreme dry years have been recorded since the 1990s.

ARTICLE HISTORY

Received:
September 17, 2025

Accepted:
September 01, 2026

Published:
October 20, 2026

KEYWORDS

runoff components, river runoff, glacial runoff, Pamir-Alay, Amudarya River basin, MODIS satellite images, MODSNOW

CONTACT Jafar Niyazov iwphenast2021@gmail.com Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology, Bofanda str. 5/2, 734025, Dushanbe, Tajikistan

References

Apel, H., Abdykerimova, Z., Agalhanova, M., Baimaganbetov, A., Gavrilenko, N., Gerlitz, L., Kalashnikova, O., Unger-Shayesteh, K., Vorogushyn, S., & Gafurov, A. (2018). Statistical forecast of seasonal discharge in Central Asia using observational records: Development of a generic linear modelling tool for operational water resource management. *Hydrology and Earth System Sciences*, *22*(4), 2225–2254. https://doi.org/10.5194/hess-22-2225-2018

Bazhanova, L. V. (2018). Influence of climate change on the hydrological regime of rivers in the high-mountain zone (on the example of the Kashka-Tor river in the Issyk-Kul lake basin). *Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan*, (3), 186–191.

Dikikh, A. N. (1993). Glacier runoff of Tien Shan and its role in total runoff formation. *Data of Glaciological Studies*, (77), 41–49.

Dikikh, A. N., & Mikhailova, V. I. (1976). *Glacier regime and water balance of the northern slope of the Terskey Ala-Too range*. Nauka.

Finaev, A. F. (2013). Glaciation dynamics in some areas of Pamir-Alay. *Issues of Geography and Geoecology*, (3), 32–42.

Gafurov, A., Lüdtke, S., Unger-Shayesteh, K., Vorogushyn, S., Schöne, T., Schmidt, S., Kalashnikova, O., & Merz, B. (2016). MODSNOW-Tool: An operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data. *Environmental Earth Sciences*, *75*(12), 1078. https://doi.org/10.1007/s12665-016-5869-x

Kalashnikova, O., & Gafurov, A. (2017). Snow cover monitoring with ground-based and satellite data for runoff forecasting in the Naryn river basin. *Ice and Snow*, *57*(4), 507–517. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2017-4-507-517

Kalashnikova, O., Alamanov, S. K., & Usubaliev, R. A. (2020). Assessment of runoff components dynamics of glacier-fed rivers in Tien Shan under climate change (the Naryn river case study). *Science, New Technologies and Innovations of Kyrgyzstan*, (3), 8–13.

Kemmerikh, A. O. (1972). The role of glaciers in the runoff of Central Asian rivers. *Data of Glaciological Studies*, (20), 82–94.

Konovalov, V. G. (1985). *Melting and runoff from glaciers in river basins of Central Asia*. Gidrometeoizdat.

Konovalov, V. G. (2020). Changes and representativeness of mountain glaciation parameters. *Ice and Snow*, *60*(2), 165–181. https://doi.org/10.31857/S2076673420020031

Niyazov, J. B. (2022b). Contribution of glacial and snowmelt feeding to the annual runoff of the Fandarya river. *Reports of the National Academy of Sciences of Tajikistan*, *65*(5–6), 390–397.

Niyazov, J. B. (2022a). Study of meteorological parameters influence on runoff formation and components of the Kyzylsu river. *Climate and Nature*, (3), 38–47. https://doi.org/10.51618/2220-8259_2022_3_38

Niyazov, J. B., & Kalashnikova, O. (2023). Comparative assessment of runoff components in the rivers of Pamir and Pamir-Alay in dry and average years. *Proceedings of the International Conference on Environmental Protection and Climate*, 130–135.

Niyazov, J., Kalashnikova, O., & Gafurov, A. (2020). Methods of water availability forecasting for high-mountain rivers of Central Asia using MODIS satellite imagery. *Central Asian Journal of Water Research*, *6*(2), 26–37. https://doi.org/10.29258/CAJWR/2020-R1.v6-2/26-37.rus

Podrezov, O. A. (2020). *Methods of statistical processing and analysis of hydrometeorological observations*. KRSU.

Shabunin, A. G. (2018). *Glacier Inventory of Kyrgyzstan*. CAIAG.

Shcheglova, O. P. (1960). *River feeding in Central Asia*. SamGU.

Shchetinnikov, A. S. (1998). *Morphology and regime of Pamir-Alay glaciers*. Sanat.

Shults, V. L. (1965). *Rivers of Central Asia*. Gidrometeoizdat.

State Water Cadastre. (1987). *Long-term data on regime and surface water resources. Aral Sea basin. Vol. 1(12)*. Gidrometeoizdat.

Umirbekov, A., Peña-Guerrero, M. D., Didovets, I., Apel, H., Gafurov, A., & Müller, D. (2025). The value of hydroclimatic teleconnections for snow-based seasonal streamflow forecasting in Central Asia. *Hydrology and Earth System Sciences*, *29*(11), 3055–3071. https://doi.org/10.5194/hess-29-3055-2025

USSR Glacier Inventory. (1971). *Surface Water Resources of the USSR. Glacier Inventory of the USSR. Central Asia. Vol. 14, Iss. 3: Amudarya River Basin*. Gidrometeoizdat.