

Гидрометеорология и экология. 2025. № 79. С. 281—291.

Hydrometeorology and Ecology. 2025;(79):281—291.

Научная статья

УДК 556.162(282.255.2)

doi: 10.33933/2713-3001-2025-79-281-291

Распределение модуля стока в бассейнах рек Чирчик—Ахангаран

*Саркорбек Санжар угли Суванкулов^{1,2}, Лидия Михайловна Карандаева²,
Данияр Маннапжанович Тургунов²*

¹ Институт геологии и геофизики имени Х. М. Абдуллаева, Ташкент,

ssarkorbek@gmail.com

² Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент

Аннотация. Изучен модуль стока шестнадцати рек бассейна Чирчик—Ахангаран с естественным гидрологическим режимом. С использованием ГИС-технологий создана цифровая модель рельефа бассейна, позволившая определить площади и средние высоты бассейнов изучаемых рек. Получена зависимость модуля стока от средней высоты бассейна девяти рек бассейна реки Чирчик и семи рек бассейна реки Ахангаран. На основе полученной зависимости создана электронная карта распределения модуля стока в бассейнах рек Чирчик—Ахангарана.

Ключевые слова: водосбор реки Чирчик, водосбор реки Ахангаран, модуль стока, географические информационные системы.

Благодарности: сотрудникам Института геологии и геофизики имени Х. М. Абдуллаева и Научно-исследовательского гидрометеорологического института за помощь и советы во время исследования.

Для цитирования: Суванкулов С. С., Карандаева Л. М., Тургунов Д. М. Распределение модуля стока в бассейнах рек Чирчик—Ахангаран // Гидрометеорология и экология. 2025. № 79. С. 281—291. doi: 10.33933/2713-3001-2025-79-281-291.

Original article

Distribution of the runoff module in the Chirchic—Akhangan river basins

Sarkorbek S. Suvankulov^{1,2}, Lidiya M. Karandayeva², Daniyar M. Turgunov²

¹ Institute of Geology and Geophysics named after H. M. Abdullaev

² Hydrometeorological Research Institute

Summary. The aim of this study is to create a digital map of the distribution of the runoff module in the Chirchic—Akhangan river basins. The objects of this study are 16 rivers of the Chirchic-Akhangan basin with a natural runoff regime: Chatkal, Pskem, Oygaing, Maydantal, Chiralma, Ugam, Akbulak, Yangikurgansai, Chimgansai, Akhangaran, Kyzylcha, Niyozbashsai, Dukantsai, Karabagirsai, Abzhazsai, Shaugaz. The subject of the study is to evaluate their modulus of flow. Using a digital elevation model “Daichi” from the ALOS database using ArcGIS Pro, a digital elevation model of the Chirchic-Akhangan

river basin was created. The highest altitude of the Chirchik River basin corresponds to 4412 m, and of the Akhangaran River basin — to 4034 m. Based on the digital elevation model of the Chirchik-Akhangaran river basin and using GIS technologies, the area (F , km²) and average height (H_{av} , m) of the studied river basins were calculated. A linear functional dependence between the flow modulus and the average altitude of the Chirchik—Akhangaran river basins was calculated ($R^2 = 0,593$). Based on said dependence and using GIS technologies, a digital map of the distribution of the flow modulus values in the Chirchik-Akhangaran river basins was created. The results of the research showed that the largest modulus of flow in the Chirchik River basin is formed in the altitude zone of 3201—3400 m and comprises 12,8 % of the overall value, and in the Akhangaran River basin — in the altitude zone of 2601—2800 m and comprises 14,0 %.

Keywords. Chirchik river basin, Akhangaran river basin, basin area, average basin height, runoff module, geographic information systems (GIS).

For citation: Suvankulov S. S., Karandayeva L. M., Turgunov D. M. Distribution of the runoff module in the Chirchik—Akhangaran river basins. *Gidrometeorologiya i Ekologiya = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2025;(79):(281—291). doi: 10.33933/2713-3001-2025-79-281-291. (In Russ.).

Введение

Изменение климата, определяющееся количеством и режимом выпадения осадков, повышением температуры воздуха, приводит к изменению стока рек. Изучение и анализ тенденций расходов воды в реках представляют интерес с точки зрения гидрологии, климатологии, а также водохозяйственной деятельности. Состояние водного режима рек необходимо учитывать при разработке водохозяйственных планов и мероприятий, направленных на снижение негативного влияния на экономику и население. В связи с этим исследования гидрологических характеристик рек приобретают особую актуальность и важность. Многие зарубежные ученые и ученые Узбекистана занимались вопросами изучения [1—6 и др.], моделирования и прогнозирования [7, 8 и др.] стока.

При высоком агрометеорологическом потенциале территории Республики Узбекистан водные ресурсы являются особенно важным компонентом, а учет речного стока — одной из важнейших задач устойчивого развития ведущих отраслей экономики страны. Сельское хозяйство — один из приоритетных секторов экономики Узбекистана и играет ключевую роль в занятости населения. Особенностью сельского хозяйства является чрезвычайно высокая зависимость от искусственного орошения. Орошаемое земледелие потребляет порядка 90 % от общего объема воды, используемой в Республике Узбекистан. В стратегии «Узбекистан–2030» поставлена цель «повышения культуры рационального водопользования и эффективности водопользования в республике».

Изучению водных ресурсов Средней Азии и, в частности Узбекистана, всегда уделялось значительное внимание. В монографии Ф. Х. Хикматова описываются закономерности формирования водных ресурсов горных рек в условиях изменения климата [9]. Исследованиями влияния изменения климата на формирование стока рек занимаются Д. М. Тургунов [10], Л. М. Карандаева [11].

В основном гидрологические посты на реках располагаются в нижнем течении, а сток малых рек и ручьев, формирующихся в верховьях рек, в большинстве случаев недостаточно изучен. Вопросы расчета речного стока на неизученных территориях с использованием современных ГИС-технологий имеют актуальное практическое значение.

Целью данного исследования является создание электронной карты распределения модуля стока в бассейнах рек Чирчик—Ахангарана, играющих важное значение для экономики Узбекистана.

Исходные данные и методы исследования

В формировании климата бассейнов рек Чирчик и Ахангаран первостепенное значение имеют преобладающее направление движения воздушных масс и рельеф местности. Чирчик—Ахангаранский физико-географический район расположен в северо-восточной части Узбекистана между рекой Сырдарья и отрогами Западного Тянь-Шаня. На северо-западе района по долине реки Келес и хребтам Каржантау и Угамскому проходит граница Узбекистана с Казахстаном, на востоке по Таласскому, Пскемскому и Чаткальскому хребтам — с Кыргызстаном. Кураминский хребет отделяет Чирчик—Ахангаранскую долину от Ферганской долины. Юго-западная граница района проходит по реке Сырдарье. С северо-востока на юго-запад Чирчик—Ахангаранский район протянулся на 280 км, а с востока на запад — на 180 км [12].

В качестве исходной информации для проведения исследований послужили среднегодовые расходы воды по данным гидрологических постов, расположенных на реках Чирчик—Ахангаранского бассейна с естественным режимом стока: Чаткал, Пскем, Ойгаинг, Майдантал, Чиралма, Угам, Акбулак, Янгикургансай, Чимгансай, Ахангаран, Кызылча, Ниёзбашсай, Дукантсай, Карабагирсай, Абжазсай, Шаугаз (рис. 1).

С сайта search.asf.alaska.edu была загружена цифровая модель рельефа из базы данных ALOS (Advanced Land Observing Satellite) под названием «Daichi» с разрешением 12,5 м. На основе полученной информации при помощи ArcGIS Pro была создана цифровая модель рельефа Чирчик—Ахангаранского бассейна. Наибольшие высоты бассейна реки Чирчик соответствуют 4412 м, а бассейна реки Ахангаран — 4034 м.

На сегодняшний день в Чирчик—Ахангаранском бассейне функционируют 16 гидрологических постов, на которых проводятся стационарные наблюдения (рис. 1). При помощи ArcGIS Pro были построены контуры бассейнов исследуемых рек (рис. 2) и изучены их водосборные площади.

Основные результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены площадь (F , км²) и средняя высота ($H_{\text{ср}}$, м) исследуемых речных бассейнов (рис. 2). Эти данные получены по материалам гидрологических ежегодников из фонда Агентства по гидрометеорологической службе, а также рассчитаны с использованием возможностей ArcGIS Pro. Как видно из таблицы, разность между фактическими и рассчитанными данными в большинстве случаев не превышает 5 %, поэтому можно сделать вывод, что рассчитанные при помощи ArcGIS Pro площади и средние высоты бассейнов можно использовать в дальнейших исследованиях.

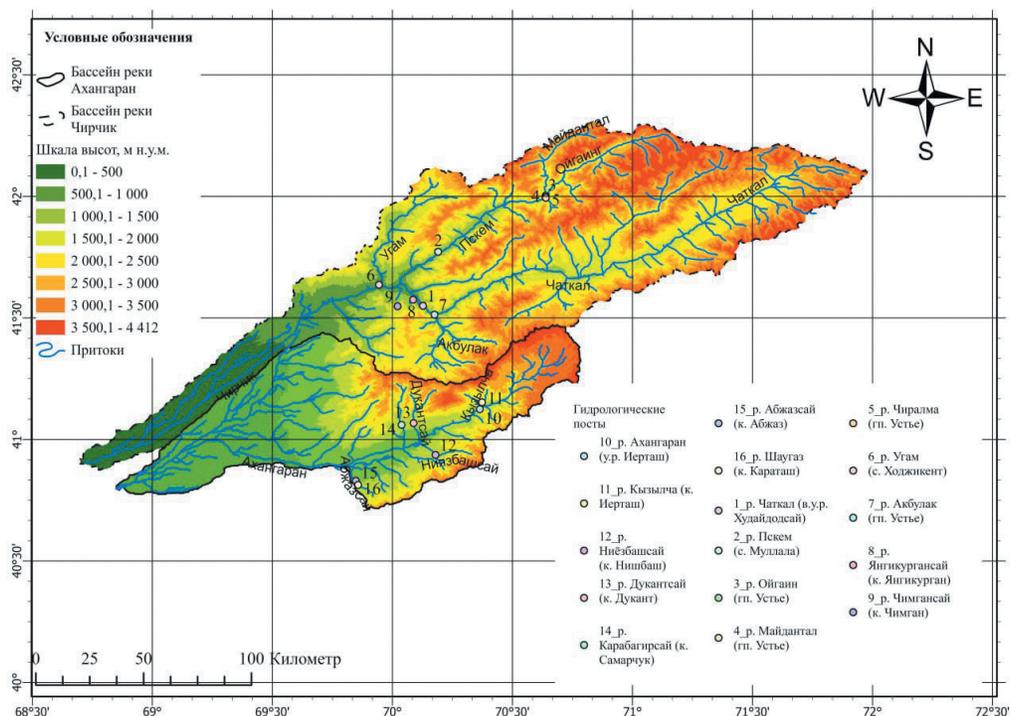


Рис. 1. Гипсометрическая карта бассейна Чирчик—Ахангаран.

Fig. 1. Hypsometric map of Chirchik—Ahangaran basin.

Поскольку площадь бассейна реки Чаткал является наибольшей среди площадей бассейнов исследуемых рек, то и объем стока, формирующийся в этом бассейне, существенно выше. Однако если рассматривать расход воды на км² площади бассейна, то для бассейна реки Майдантал это значение больше, чем для других речных бассейнов.

На следующем этапе была исследована зависимость модуля стока, образующегося в бассейнах, от средних высот этих бассейнов. График зависимости модуля стока рек бассейна Чирчик—Ахангаран от средней высоты бассейна этих рек представлен на рис. 3.

Из представленного графика видно, что значения модуля стока увеличиваются в соответствии со средней высотой бассейнов рек Чирчик—Ахангарана. Выявленную зависимость предлагается использовать для определения объема стока для бассейнов рек и ручьев, где наблюдения не проводятся.

С увеличением высоты расположения речных бассейнов изменяются и географические условия. Эти изменения касаются и гидрологического режима рек. В пределах исследуемых речных бассейнов с помощью программы ArcGIS Pro были рассчитаны площади высотных зон с интервалом 200 м. Построены гипсографические кривые девяти бассейнов рек Чирчика и семи рек Ахангарана. Ниже, как пример, представлены гипсографические кривые рек Чаткал и Ахангаран.

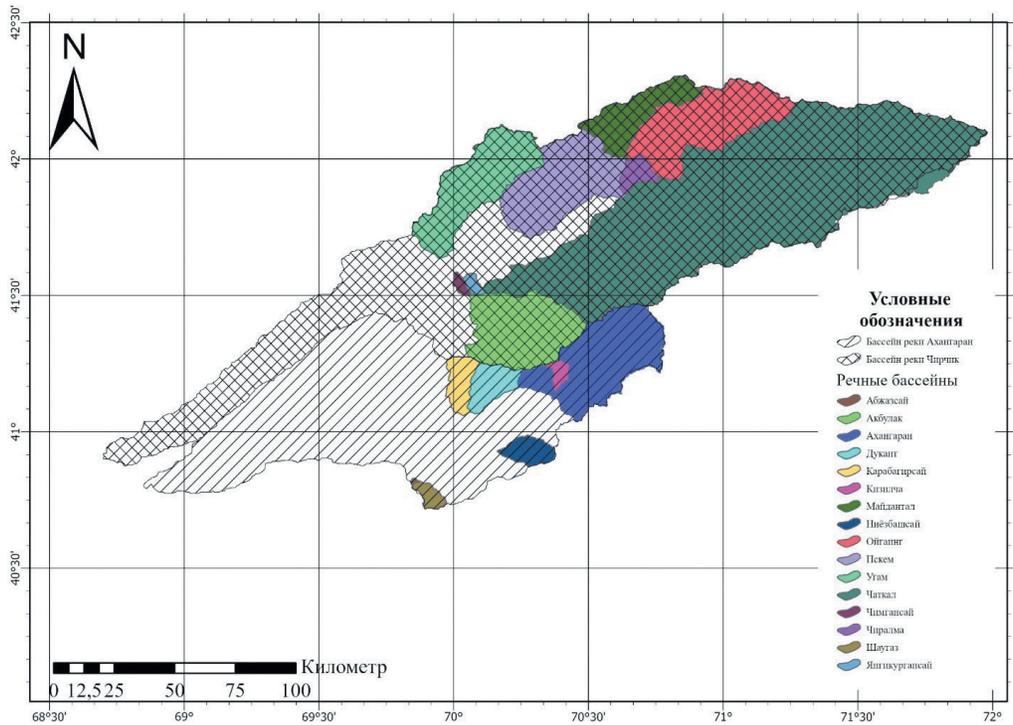


Рис. 2. Бассейны притоков рек Чирчик и Ахангаран.

Fig. 2. Location of the rivers of the Chirchik—Ahangan basin.

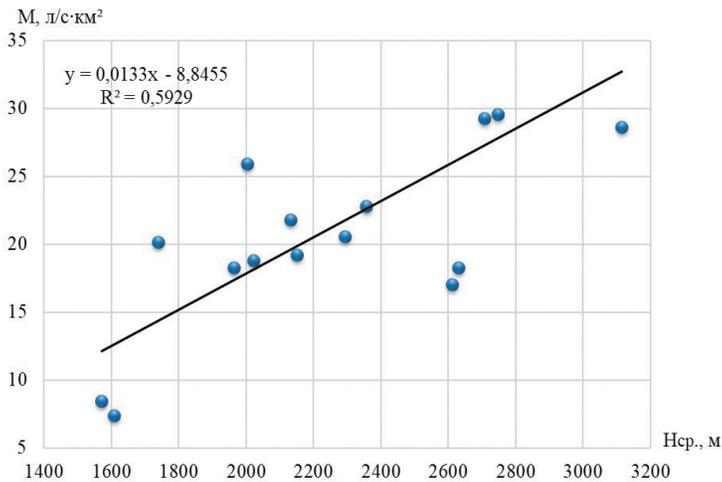


Рис. 3. Зависимость модуля стока от средней высоты бассейна рек Чирчик—Ахангаран.

Fig. 3. Linear dependency between the runoff module and the average river basin altitude.

Гидрологические параметры исследуемых рек
Hydrological parameters of the studied rivers

№	Река (пост)	Период наблюдений	Q , м ³ /с	F , км ²			$H_{\text{ср}}$, м			M , л/(с·км ²)		
				Данные Узгидромета	Результат расчета	Разность (%)	Данные Узгидромета	Результат расчета	Разность (%)	Данные Узгидромета	Результат расчета	Разность (%)
1	р. Чаткал (в.у.р. Худайдодсай)	1965—2022	112,2	6580	6586	-0,1	2660	2611	1,9	17,1	17	0,1
2	р. Пскем (с. Муллала)	1965—2022	75,6	2540	2556	-0,6	2740	2747	-0,3	29,8	29,6	0,6
3	р. Ойгаин (гп. Устье)	1951—2022	28,8	1010	1004	0,6	3010	3114	-3,3	28,5	28,6	-0,6
4	р. Майдантал (гп. Устье)	1950—2022	18,6	471	447	5,4	3130	3019	3,7	39,5	41,6	-5,1
5	р. Чиралма (гп. Устье)	1950—2022	3,1	103	105	-1,9	2700	2706	-0,2	29,8	29,3	1,8
6	р. Угам (с. Ходжикент)	1950—2022	22,4	869	865	0,5	2030	2004	1,3	25,8	25,9	-0,4
7	р. Акбулак (гп. Устье)	1981—2022	20	886	878	0,9	2400	2357	1,8	22,6	22,8	-1
8	р. Янгикургансай (к. Янгикурган)	1965—2022	0,7	33,7	35	-3,7	2200	1797	22,4	20,2	19,2	4,8
9	р. Чимгансай (к. Чимган)	1967—2022	0,3	23,3	27,9	-16,5	1530	1739	-12	13,3	20,2	-34,1
10	р. Ахангаран (у.р. Иерташ)	1971—2022	19,9	1110	1090	1,8	2600	2630	-1,1	17,9	18,3	-1,8
11	р. Кызылча (к. Иерташ)	1951—2022	1,1	51,6	51	1,2	2340	2292	2,1	20,3	20,6	-1
12	р. Ниёзбашсай (к. Нишбаш)	1951—2022	2,7	141	144	-2,1	2050	2021	1,4	19,2	18,8	2,3
13	р. Дукантсай (к. Дукант)	1971—2022	4,6	201	210	-4,3	2140	2132	0,4	22,8	21,8	4,5
14	р. Карабагирсай (к. Самарчук)	1949—2022	3	166	165	0,6	2030	1963	3,4	18,2	18,3	-0,4
15	р. Абжасай (к. Абжас)	1978—2022	0,6	70,5	69	2,2	1590	1571	1,2	8,3	8,5	-2,2
16	р. Шаугаз (к. Караташ)	1971—2022	0,5	65,8	65	1,2	1660	1607	3,3	7,3	7,4	-1,2

Примечание: Q – средние многолетние годовые расходы воды, м³/с; M – модуль стока, л/(с·км²).

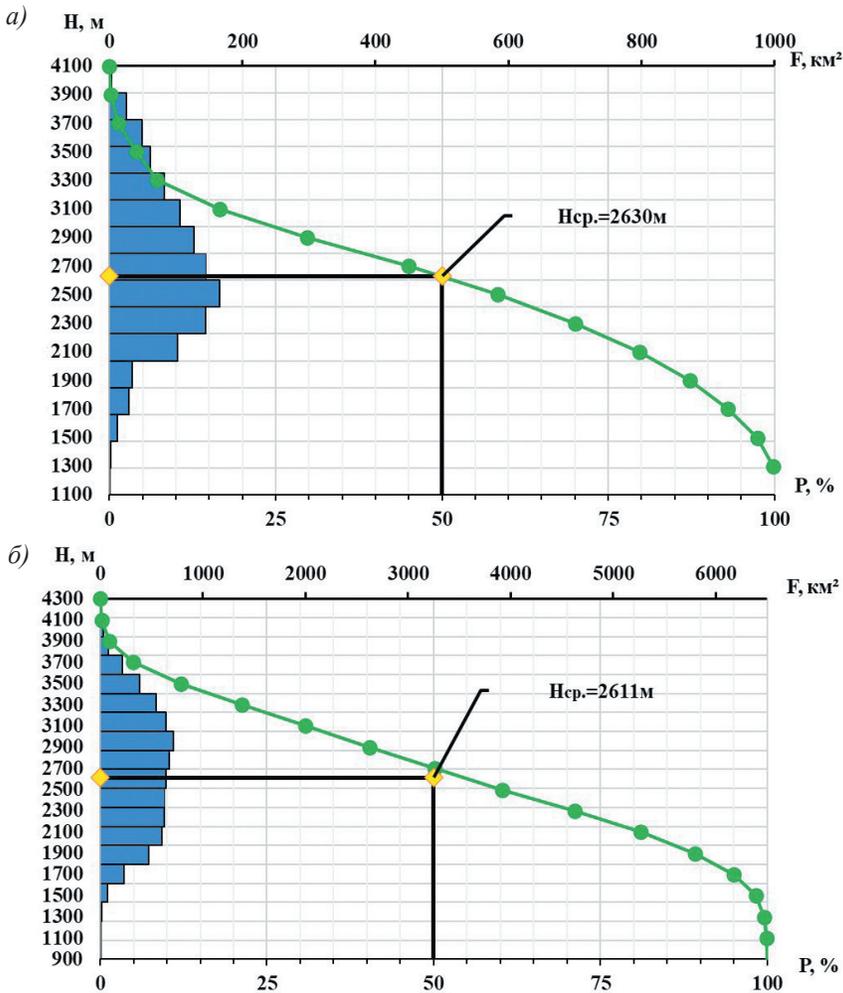


Рис. 4. Гипсографическая кривая речных бассейнов а) Ахангаран; б) Чаткал.

Fig. 4. Hypsographic curve of river basins a) Ahangaran; b) Chatkal.

Значения площадей высотных интервалов исследуемых бассейнов различны. Это связано с рельефом и географической экспозицией бассейна. В пределах выделенных высотных интервалов наибольшую площадь ($F = 1385 \text{ км}^2$) имеет интервал между 2201 м и 2400 м абсолютной высоты.

Исходя из цели исследования, на основе полученного уравнения зависимости модуля стока от средних отметок абсолютных высот бассейнов определялись значения модуля стока, соответствующие каждой высотной зоне. По полученным результатам с использованием технологий ГИС была создана карта распределения значений модуля стока по бассейнам рек Чирчик—Ахангарана (рис. 5).

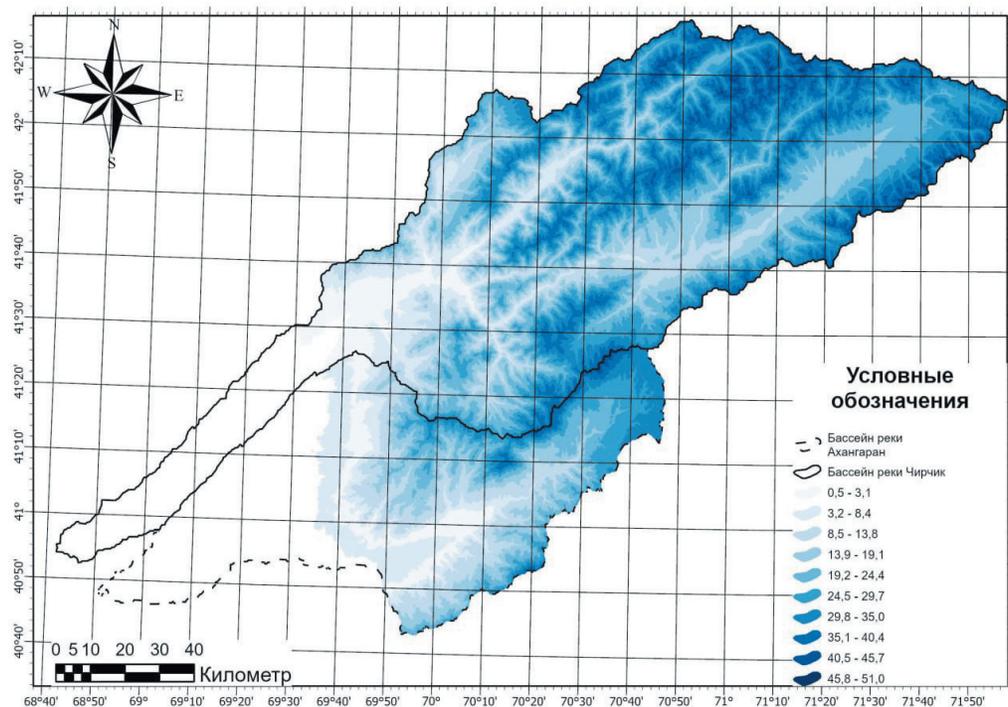


Рис. 5. Распределение модуля стока в бассейнах рек Чирчик—Ахангарана.

Fig. 5. The flow module formed in the height intervals of the river basins.

В результате исследования установлено, что наибольший сток в бассейне реки Чирчик формируется в высотной зоне 3201—3400 м и составляет 12,8 % от стока бассейна. В бассейне реки Ахангаран в высотной зоне 2601—2800 м он составляет 14,0 %.

Заключение

С использованием цифровой модели рельефа под названием «Daichi» из базы данных ALOS при помощи ArcGIS Pro была создана цифровая модель рельефа Чирчик-Ахангаранского бассейна. Наибольшие высоты бассейна реки Чирчик соответствуют 4412 м, а бассейна реки Ахангаран — 4034 м. На основе цифровой модели рельефа Чирчик—Ахангаранского бассейна с использованием ГИС-технологий рассчитаны площадь (F , км²) и средняя высота ($H_{\text{ср}}$, м) исследуемых речных бассейнов. Разность между фактическими и рассчитанными данными в большинстве случаев не превышает 5 %.

Площадь бассейна реки Чаткал является наибольшей среди площадей бассейнов исследуемых рек, однако бассейн реки Майдантал выделяется среди остальных по своей водности.

Получена линейная зависимость модуля стока от средней высоты бассейнов рек Чирчик—Ахангарана ($R^2 = 0,593$). На основе уравнения зависимости модуля стока от средних отметок абсолютных высот бассейнов с использованием ГИС-технологий была создана электронная карта распределения значений модуля стока в бассейнах рек Чирчик—Ахангарана.

Выявленная зависимость имеет практическое значение и может быть использована для определения объема стока для бассейнов рек и ручьев, где наблюдения не проводятся.

Результаты исследований показали, что наибольший сток в бассейне реки Чирчик формируется в высотной зоне 3201—3400 м, а в бассейне реки Ахангаран в высотной зоне 2601—2800 м.

Данный подход исследования в условиях отсутствия данных может быть использован для изучения водных ресурсов бассейнов рек Средней Азии, что будет способствовать принятию решения для рационального использования водных ресурсов трансграничных рек.

Список литературы

1. Болгов М. В., Трубецкова М. Д. О высотной зональности стока рек со значительной долей ледникового питания // Лед и снег. 2011. № 1. С. 45—52.
2. Глазырин Г. Е., Страхова Н. Ю. Зональные модули стока и водные ресурсы бассейна реки Кашкадарья // Гидрометеорология и экология. 2011. №2. С. 69—76.
3. Глазырин Г. Е., Хикматов Ф. Х., Трофимов Г. Н. и др. Методика исследования гидрологического режима горных рек (на примере р. Угам). Ташкент: «Наука и технология», 2016. 172 с.
4. Ясинский С. В., Вишневская И. А. Зональные особенности динамики водопользования в бассейне Волги в постсоветский период // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018;(1):75—89. DOI: 10.7868/S2587556618010071.
5. Sagdeev N. Z., Khamzaeva J. T., Khakimova Z. F. Change of Statistical Characteristics of Flow With Prolongation of Observation Series. Nat Sci 2020; 18(2):32—35. DOI: 10.7537/marsnsj180220.06.
6. Умирзаков Г. У., Суванкулов С. С., Мамиров Х. А., Акбаров Ф. Н. и др. Выявление изменений режима малых горных водотоков ледникового питания (на примере реки Баркраксай) // География и водные ресурсы. Алматы. 2023. С. 3—12. DOI: org/10.55764/2957-9856/2023-1-3-11.1.
7. Денисов Ю. М., Агальцева Н. А., Пак А. В. Автоматизированные методы прогноза стока горных рек Средней Азии. Ташкент: САНИГМИ, 2000. 160 с.
8. Георгиевский М. В., Чепикова С. С., Терехов А. В., Казаков Э.Э. Методика краткосрочного прогнозирования уровней (расходов) воды рек Ленинградской области Камчатского края с использованием автоматизированной информационной системы (АИС) // Гидрометеорология и экология. 2024. № 77. С. 626—644. DOI: 10.33933/2713-3001-2024-77-626-644.
9. Хикматов Ф. Х. Закономерности формирования водных ресурсов горных рек в условиях изменения климата. Ташкент. 2020. 228 с.
10. Тургунов Д. М., Сазонов А. А., Хикматов Ф. Х., Фролова Н. Л. Маловодья на горных реках Республики Узбекистан: причины и особенности // Вестник МГУ. Московского университета. Серия 5. География. 2020. № 1. С. 23—34.
11. Карандаева Л. М., Карандаев С. В. Анализ и сравнение среднемесячных расходов воды рек Чирчик-Ахангаранского бассейна базового и текущего климатических периодов // Центрально-азиатский журнал географических исследований. 2024. № 1—2. С. 28—41. DOI: org/10.5281/zenodo.12509645.
12. Хасанов И. А., Гулямов П. Н., Шарипов Ш. М. и др. //Природная география Узбекистана. Учебное пособие. Ташкент: «Маърифат», 2023. 308 с.

References

1. Bolgov M. V., Trubetskova M. D. On the altitudinal zonality of river runoff with a significant share of glacial feeding. *Led i Sneg = Ice and snow*. 2011; 1(145): (45—52). (In Russ.).
2. Glazyrin G. E., Strakhova N. Yu. Zonalnie moduli stoka i vodnie resursi basseyna reki Kashkadari. Zonal runoff modules and water resources of the Kashkadarya River basin. *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2011; (2): (69—76). (In Russ.).
3. Glazyrin G. E., Khikmatov F. Kh., Trofimov G. N., et al. *Metodika issledovaniya gidrologicheskogo rezhima gornix rek (na primere r. Ugam) = Methodology for studying the hydrological regime of mountain rivers (using the Ugam River as an example)*. Tashkent: “Nauka i texnologiya”, 2016: 172 p. (In Russ.).
4. Yasinsky S. V., Vishnevskaya I. A. Zonal features of water use dynamics in the Volga basin in the post-Soviet period. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya = Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series*. 2018; (1): (75—89). DOI: 10.7868/S2587556618010071. (In Russ.).
5. Sagdeev N. Z., Khamzaeva J. T., Khakimova Z. F. Change of Statistical Characteristics of Flow With Prolongation of Observation Series. *Nat Sci* 2020; 18(2): 32—35 doi:10.7537/marsnsj180220.06.
6. Umirzakov G. U., Suvankulov S. S., Mamirov H. A. et al. Identification of Changes in the Regime of Small Mountain glacial-fed Watercourses (using the Barkraksay River as an Example). *Geografiya i vodnie resursi Almati = Geography and Water Resources of Almaty*. 2023; (3—12). DOI: org/10.55764/2957-9856/2023-1-3-11.1. (In Russ.).
7. Denisov Yu. M., Agaltseva N. A., Pak A. V. *Avtomatizirovannie metodi prognoza stoka gornix rek Sredney Azii = Automated methods for forecasting the runoff of mountain rivers in Central Asia*. Tashkent. SANIGMI, 2000: 160 p. (In Russ.).
8. Georgievskiy M. V., Chepikova S. S., Terekhov A. V., Kazakov E. E. Methodology for short-term forecasting of water levels (discharges) of rivers in the Leningrad Region of Kamchatka Krai using an automated information system (AIS). *Gidrometeorologiya i ekologiya = Hydrometeorology and Ecology*. 2024; (77): (626—644). DOI: 10.33933/2713-3001-2024-77-626-644. (In Russ.).
9. Khikmatov F. Kh. *Zakonomernosti formirovaniya vodnix resursov gornix rek v usloviyax izmeneniya klimata. = Patterns of formation of water resources of mountain rivers in the context of climate change*. Tashkent, 2020: 228 p. (In Russ.).
10. Turgunov D. M., Sazonov A. A., Khikmatov F. Kh., Frolova N. L. Low water on the mountain rivers of the Republic of Uzbekistan: causes and features. *Vestnik Moskovskogo universiteta = Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography*. 2020; (1): (23—34). (In Russ.).
11. Karandaeva L. M., Karandaev S. V. Analysis and comparison of average monthly water discharges of the rivers of the Chirchik-Akhangaran basin of the base and current climatic periods. *Sentralnoaziatskiy jurnal geograficheskix issledovaniy = Central Asian Journal of Geographical Research*. 2024; (1—2): (28—41). DOI: org/10.5281/zenodo.12509645. (In Russ.).
12. Khasanov I. A., Gulyamov P. N., Sharipov Sh. M. et al. *Prirodnaya geografiya Uzbekistana = Natural geography of Uzbekistan*. Study guide. Maʼrifat. 2023: 308 p. (In Russ.).

Информация об авторах

Саркорбек Санжар угли Суванкулов, младший научный сотрудник, Институт Геологии и Геофизики им. Х.М. Абдуллаева, Ташкент, Узбекистан, ssarkorbek@gmail.com.

Людия Михайловна Карандаева, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом гляциологии, Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, Узбекистан.

Данияр Маннапжанович Тургунов, доктор географических наук, доцент, директор, Научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Ташкент, Узбекистан.

Information about authors

Sarkorbek Sanjar ugli Suvankulov Junior Researcher, Institute of Geology and Geophysics named after Kh.M. Abdullaev.

С. С. СУВАНКУЛОВ, Л. М. КАРАНДАЕВА, Д. М. ТУРГУНОВ

Lidiya Mikhailovna Karandaeva PhD, Senior Researcher, Head of the Glaciology Department, Hydrometeorological Research Institute.

Daniyar Mannapjanovich Turgunov DSc, Associate Professor. Director. Hydrometeorological Research Institute.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 11.03.2025

Принята к печати 05.05.2025

The article was received on 11.03.2025

The article was accepted on 05.05.2025