

ПРОГНОЗ СТОКА РЕКИ ВАХШ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ SRM С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ MODSNOW ПО СНЕЖНОМУ ПОКРОВУ

Каюмов А.К., Кабутов З.К.

*Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников
Национальной академии наук Таджикистана»*

***Аннотация.** Цель работы-оценка современного состояния водности реки Вахш в условиях изменения климата. Проведена оценка состояния водности реки Вахш за период 2016 -2022 годов с помощью модели снеготалого стока (SRM) с использованием спутниковых снимков Modis. Научная новизна работы заключается в том, что за последние 70 лет впервые проводится подробное описание карты водосборного бассейна реки Вахш с помощью цифровых технологий и его состояние в ходе глобального потепления, что позволяет определить стратегии и перспективы исследования бассейна с учетом изменения климата.*

ВВЕДЕНИЕ. На сегодняшний день 95% энергетики Таджикистана основаны на использовании гидроэнергоресурсов речного стока. Согласно стратегии экономического развития, принятой Правительством Республики Таджикистан, такое же место гидроэнергетика будет занимать и в будущем [5].

При этом речные водные ресурсы отличаются большой изменчивостью, среднесуточный сток даже наиболее крупных рек может меняться от года к году в два и более раз (ЗНС) [5]. Естественно, что в таких же пропорциях будет меняться и потенциально возможная годовая выработка электроэнергии на сооружаемых на таких реках гидроэлектростанциях. Поэтому прогноз многолетней водности рек очень важен для планирования работы ГЭС и определения её экономических показателей.

Использование гидроресурсов реки Вахш возможно, только если имеется надежный прогноз водного стока. Для прогноза стока горных рек используется модель снежного стока (SRM), разработанная швейцарскими американскими учеными. SRM предназначена для моделирования стока горных рек, показала

свою работоспособность во многих горных странах, в том числе и в горах Средней Азии [6]. В отличие от других методов моделирования SRM дает дополнительные преимущества в прогнозировании стока рек за счет: применения ко все более крупным бассейнам, он также может применяться для оценки влияния изменения климата на сезонный снежный покров, моделирование суточных стоков в сезон снеготаяния, в течение года или в последовательности лет, краткосрочные и сезонные прогнозы стока. Река Вахш протекает через весь Таджикистан с северо-востока на юго-запад, пересекая все основные высотные и климатические пояса и вбирая в себя по пути большое количество крупных и мелких притоков. Поэтому водный сток Вахша и его изменчивость являются характерными для всего Таджикистана [2]. Одновременно р. Вахш обладает очень большим гидроэнергетическим потенциалом около – 251.15кВт.ч. в год [3]. На ней уже построена крупнейшая в республике Нурекская ГЭС, мощностью 3000 МВт, с самой высокой в мире каменно-земляной плотиной (300 м.), Байпазинская ГЭС, мощностью 600 МВт. и каскад Вахшских ГЭС из трех станций, общей мощностью

300 МВт. Сангтудинские ГЭС 1 и 2, мощностью соответственно 670 и 220 МВт. и строится Рогунская ГЭС, мощностью 3600 МВт. В дальнейшем планируется возведение еще 10 новых ГЭС, с доведением общей мощности всех гидроэлектростанций в бассейне р. Вахш до 14980 МВт, с годовой выработкой электроэнергии – 53.36 млрд. кВт.ч. в год [4].

Цель исследования – оценка современного состояния водности реки Вахш в ус-

ловиях изменения климата для прогнозирования стока реки Вахш на 2022 год.

ЗОНА ИССЛЕДОВАНИЯ. Большая часть бассейна расположена в пределах Памиро-Алайской горной системы. В верховье называется Сурхоб и течёт на запад, приняв слева реку Обихингоу, получает название Вахш и поворачивает на юго-запад (рис.1).



Рисунок 1. Бассейн реки Вахш

Река Вахш течёт преимущественно в узкой долине, местами превращающуюся в глубокое ущелье; в 170 км от устья выходит в Вахшскую долину, где разбивается на рукава, вода которых используется для орошения и водоснабжения. Длина – 524 км, бассейн – 39 100 км², расход воды – 660 м³/с.

Питание преимущественно ледниково-снеговое, в меньшей степени дождевое. Половодье наблюдается в период интенсивного таяния ледников: с мая по

сентябрь, межень в ноябре-апреле. Средний расход в среднем течении 660 м³/сек, наибольший (в июле) – 3120 м³/сек, наименьший (в феврале) – 130 м³/сек. Воды Вахша, как и других среднеазиатских рек, отличались большой мутностью (4.16 кг/м³), но после постройки Нурекской ГЭС стали прозрачными, голубого цвета.

Опорной метеорологической станцией для расчета температуры воздуха и осадков является станция Лахш, высота над уровнем моря 2000.

Район Лахш и прилегающие к нему территории (39 с.ш., 71 в.д.) представляют собой водосборный бассейн реки Вахш площадью 29186 км². Высота этого бассейна колеблется от 1107 до 7495 метров.

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ СТОКА РЕКИ ВАХШ. Для расчетов картографических данных использовалась модель в проекции UTM WGS84 с разрешением 200 м.

Таблица 1

Гипсометрические данные бассейна реки Вахш

Номер высотной зоны	Высотные отметки зоны			Площадь зоны	
	Минимальная	Максимальная	Медианная	км ²	%
1	1107	2949	1668	1519	5.2
2	1950	2749	2400	4459	15.3
3	2750	3549	3200	8929	30.6
4	3550	4349	3900	7698	26.4
5	4350	5149	4637	4977	17
6	5150	5949	5360	1422	4.9
7	5950	6745	6160	171	0.6
8	6759	7495	6800	11	0.0
Весь бассейн				29186	100

При использовании SRM необходимо указать параметры и переменные модели. Эти требования состоят из спутниковых данных, данных наземных станций и

вспомогательных карт. Наборы данных, использованные в этом исследовании, которые были разделены на три группы, описаны в табл. 2.

Таблица 2

Наборы данных, используемые для моделирования снежного стока

Наборы данных		
Спутниковые данные	Метеорологические и гидрологические данные	Геологические данные и топографическая информация
Снежный продукт MODSNOW	Среднесуточные температуры метеостанции	Цифровая модель рельефа (DEM)
	Информация о дневном стоке - гидрологические станции	
	Ежедневная информация об осадках и снегопаде, дождемерные и снегомерные станции	

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. На рис. 2 показан Снежный покров водосборного бассейна реки Вахш на декабрь

2021 года и на рис. 3 – карта водосборного бассейна реки Вахш.

Snow cover distribution in the Wachsh_Darband basin

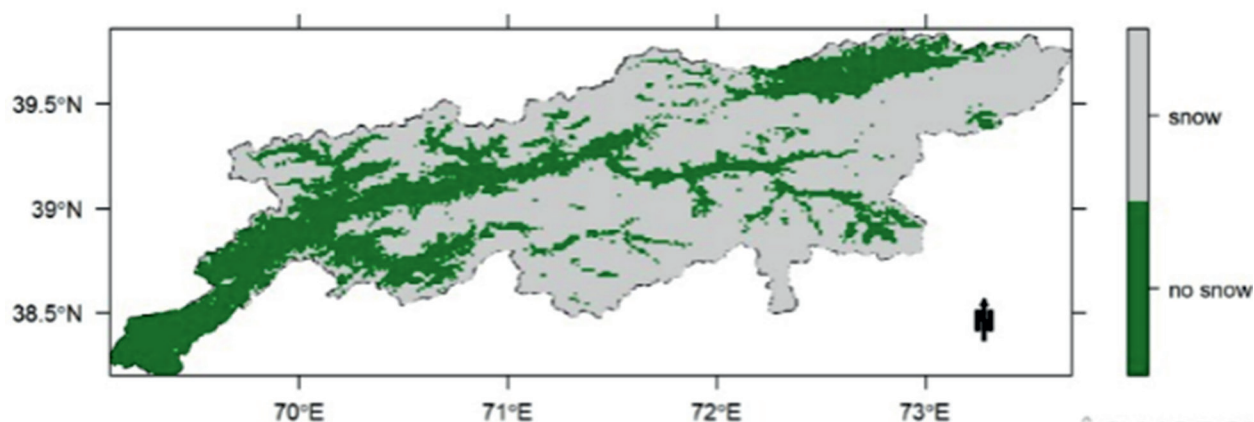


Рисунок 2. Снежный покров водосборного бассейна реки Вахи на декабрь 2021 года.

DEM of the Wachsh_Darband basin

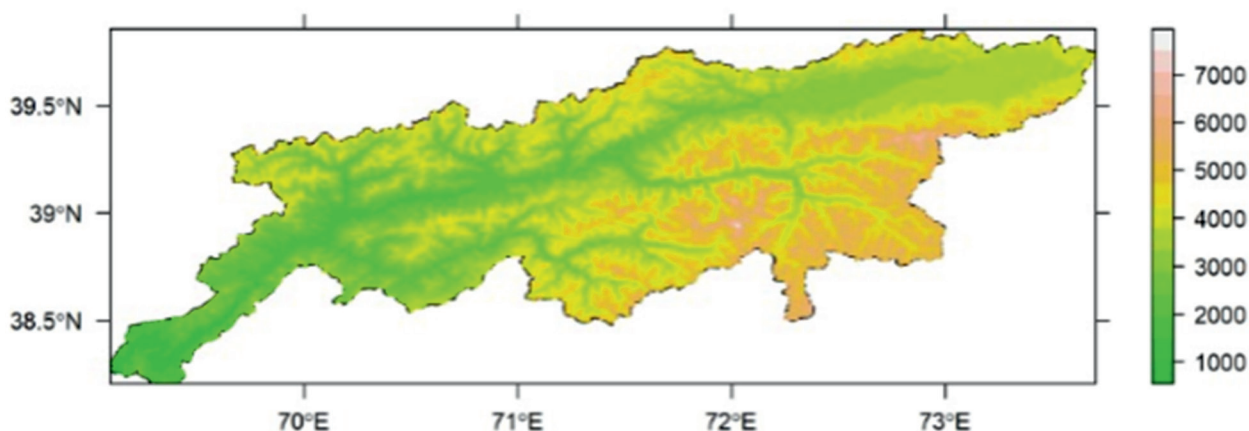


Рисунок 3. Карта водосборного бассейна реки Вахи.

SRM выполняется для всего водного года 2018-2019 гг. Точность модели исследуется с помощью R^2 , меры эффективности модели, и Dv в соответствии с уравнением (1) и (2) соответственно (Martinez, Rango et al., 1998).

С помощью программы SRM произвели моделирование стока реки Вахш на 2019 г. Годовой объем стока реки на 2019 измеренный 19.368 млрд m^3 со средним значением 0.614 млрд m^3/c и рассчитанный программой 19.478 млрд m^3 со средним значением 0.617 млрд m^3/c . Коэффициент детерминации $R^2=0.8$ с разницей в объеме -0.56%.

Для прогноза стока в модели SRM в сезон снеготаяния использовали те же данные на 2019 год (максимальная минимальная температура, измеренный сток реки, осадки и коэффициент снежного покрова с начала года до 12 мая 2019 года). Результаты симуляции сезона снеготаяния измеренный сток 3.667 млрд m^3 со средним значением 0.116 млрд m^3/c и рассчитанный на тот же период сток 3.146 млрд m^3 со средним значением 0.099 млрд m^3/c , Коэффициент детерминации $R^2=0.148$ с разницей в объеме -0.71%

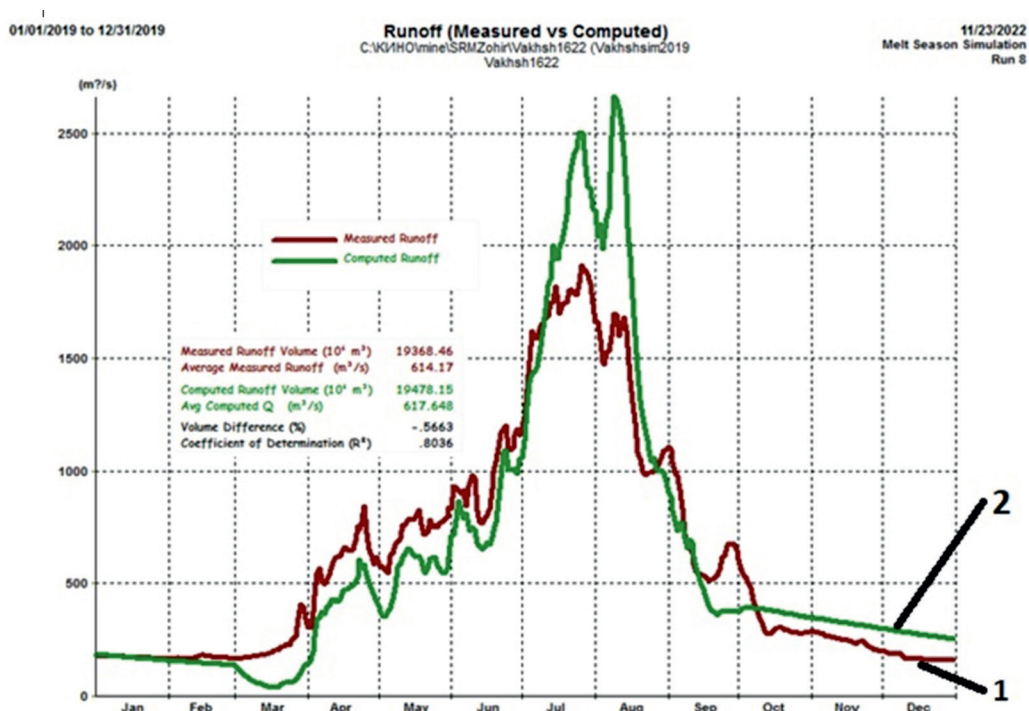


График 1. Сток реки Вахи на 2019 г (красная линия (1) измеренный и зеленая линия (2) рассчитанный).

Для прогнозирования стока реки использовали данные до 12 мая расчетного года. Полученные данные показыва-

ют о стоке реки в измеренном объеме 3.667 млрд м³ воды и рассчитанном 3.146 млрд м³.

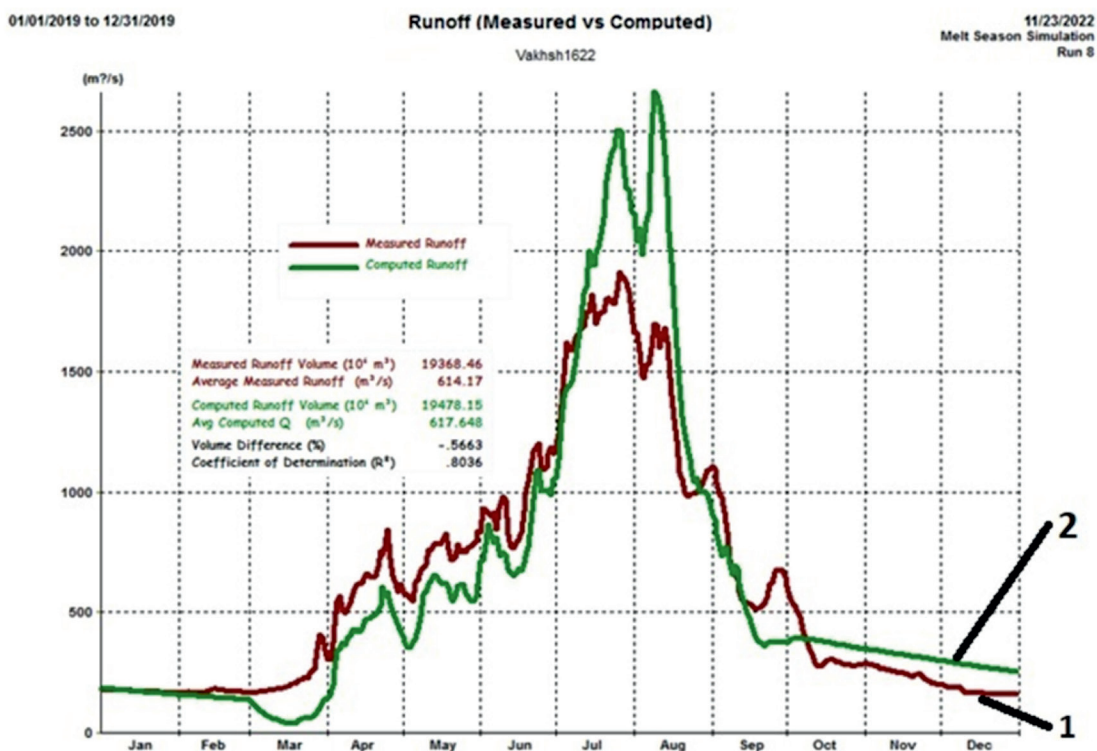


График 2. Сток реки Вахи с начала года до 12 мая 2019 г (линия 1 измеренный и линия 2 рассчитанный).

Используя данные прогноза погоды на месяц в программе, получили прогноз стока реки на месяц. Симуляция показала прогнозируемый сток в объеме 1.783 млрд м³ (спрогнозированный), а измеренный сток на тот же период составляет 2.208 млрд м³.

Симулируя прогноз, на месяц, добавляя данные максимальной и минимальной температуры, осадки и коэффициент

снежного покрова с 13 мая 2019 по 12 июня 2019 года получили следующие значения: измеренный сток остался прежним, так как данные измеренного стока были удалены из модели начиная с 13 мая 2019 г. Рассчитанный сток составил 4.929 млрд м³ со средним значением 0.156 млрд м³/с, коэффициент детерминации R²= -0.24 с разницей в объеме -34.4%.

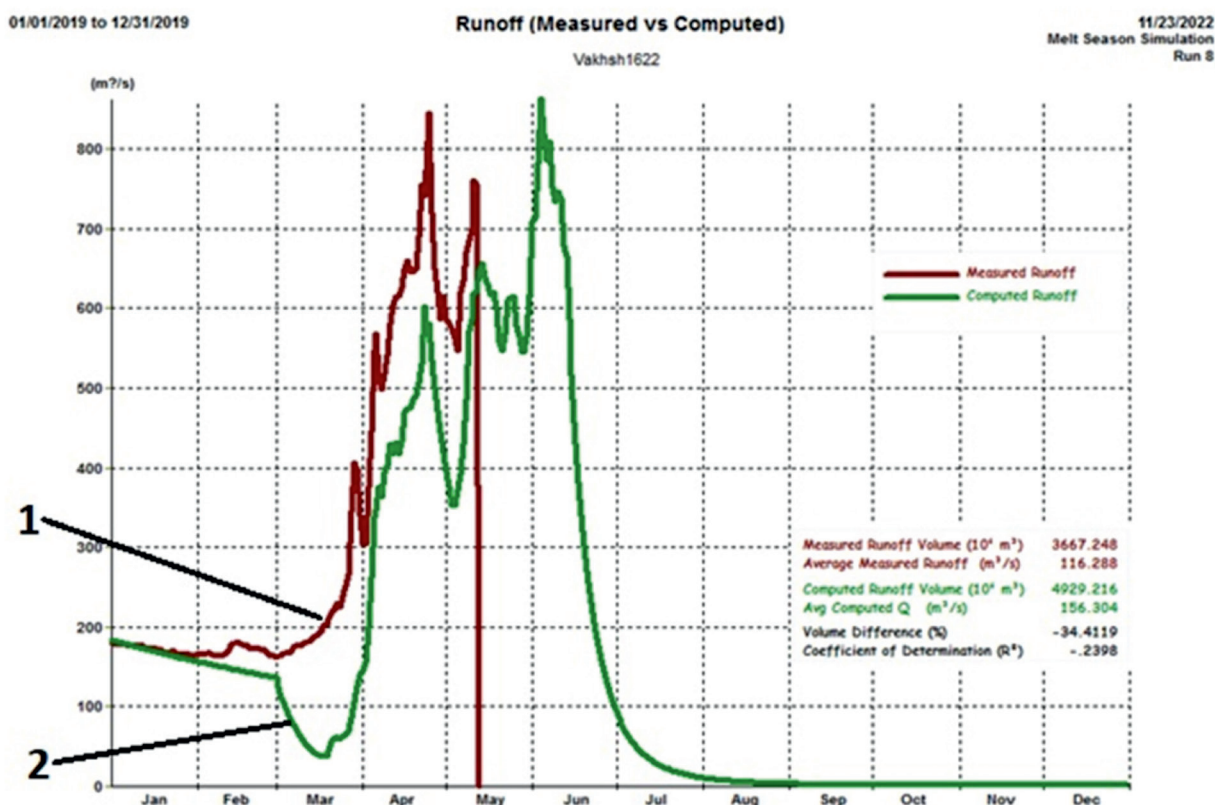


График 3. Сток реки Вахш с начала года до 12 мая 2019 г с прогнозом на месяц до 12 июня 2019 г. (линия 1-измеренный и линия 2-рассчитанный).

Используя, таким образом, SRM, создали предварительный прогноз стока реки Вахш на 2022 г. с учетом выпавших осадков в осенне-зимний период 2021-22 гг.

По расчетам сток реки на 2022 г. составит 19.940 млрд м³ со среднегодовым

значением в 0.632 млрд м³/с. Ниже, на графике 5 приведен прогноз стока. По сравнению с предыдущими годами сток реки составлял начиная с 2016 года - 20.283 млрд м³, 2017 - 22.748, 2018 – 18.536, 2019 – 19.368 и на 2020 – 17.753 млрд м³

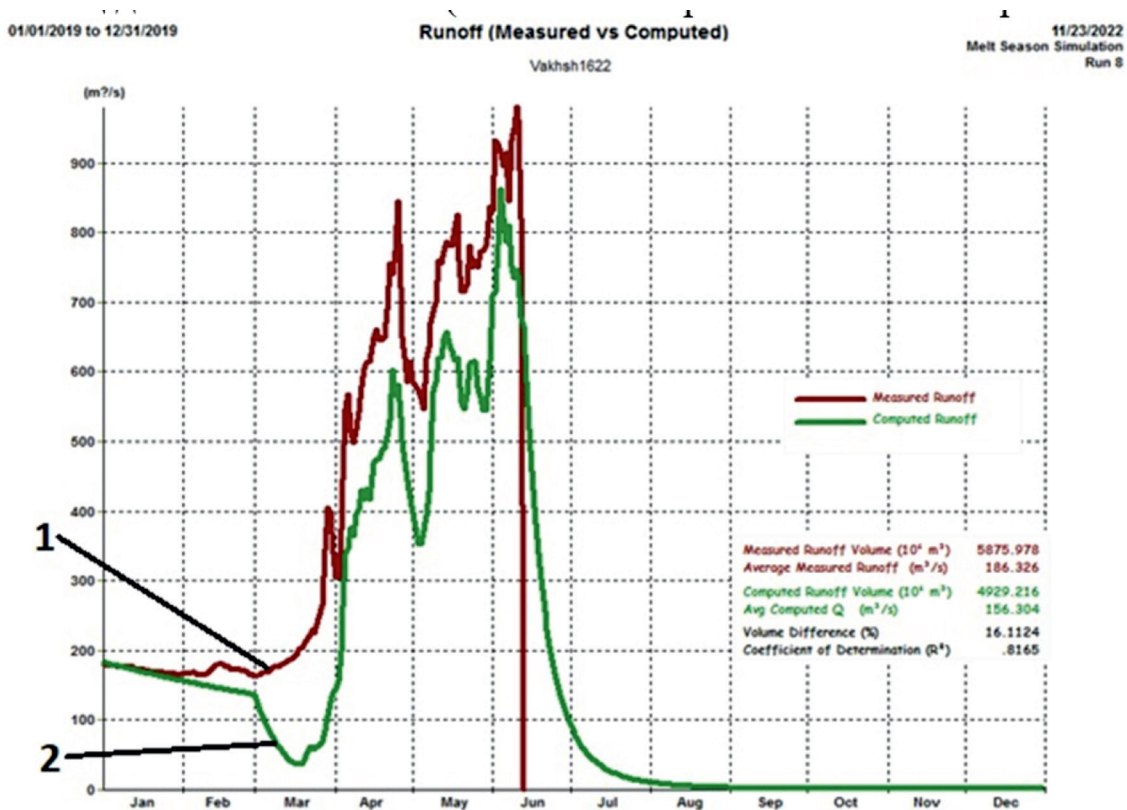


График 4. Сток реки Вахи с начала года до 12 июня 2019 г. (линия 1-измеренный и линия 2-рассчитанный).

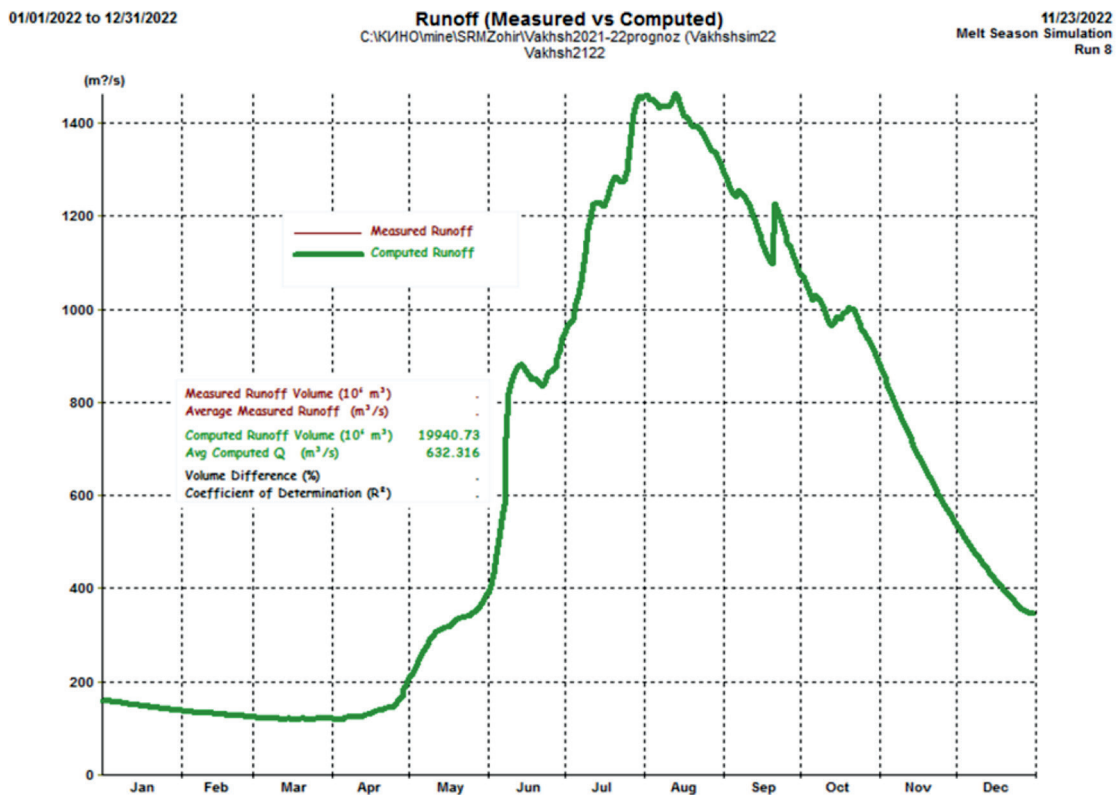


График 5. Прогноз стока реки Вахи на 2022 г.

ОБСУЖДЕНИЕ. Различия между измеренным и смоделированным стоком в основном проявляются перед сезоном снеготаяния, когда сток является результатом дождя, а не талой воды. Также в течение дней после сильного дождя моделирование реальной реакции стока требует дополнительных исследований, связанных с бассейном.

Результаты показывают, что этот подход потенциально может быть реализован в проекте для мониторинга площади снежного покрова (SCA). Это может быть полезно в управлении водными ресурсами как для менеджеров, так и для пользователей, в то время как график орошения будет определяться на основе информации о расчетном стоке в конце сезона. Недельные и двухнедельные прогнозы могут быть рассчитаны с использованием максимальной и минимальной температуры, осадков и SCA за последние десять лет, чтобы адаптировать и откалибровать SRM для конкретного тематического исследования. SCA на основе продукта MODSNOW из-за его использования в приложении, а также простоты доступа и процесса может быть полезен в этом приложении.

По данным статьи автора [9], до 2020 года водность реки Вахш будет выше средней примерно на 0.7 км^3 , а затем наступит маловодный период, который продлится до 2050 г. Полученные нами результаты показывают, что водность реки Вахш с 2010 по 2020 гг. выше средней на 0.14 км^3 , в период на 2021-22 гг не наблюдается

маловодие и сток реки варьирует от среднего на 2%. Наши данные согласуются с данными [3].

Таким образом, несмотря на то что средние многолетние величины стока в бассейне реки Вахш пока изменяются незначительно, проблемы возможного влияния деградации оледенения на водные ресурсы и речной сток имеют важнейшее значение в текущий период, ближайшую и отдаленную перспективу.

Рекомендации. Дальнейшие усовершенствования могут быть внесены для достижения лучших результатов путем проверки модели с помощью наблюдаемых данных о стоке, запуска модели в течение более длительного времени и использования оптических данных высокого разрешения об отсутствии облаков или микроволновых данных для оценки стока таяния снега.

ВЫВОДЫ. Результаты расчетов показывают разницу в объеме между прогнозируемым и измеренным от 30% до 40%. Для более точного прогнозирования с программой SRM необходимы более точные измерения параметров снеготаяния и дождевого стока. Прогнозирование стока на краткосрочной и долгосрочной перспективе требует работы с большими объемами данных. Необходимость прогноза стока реки имеет важное значение для ирригации и предупреждения селевых потоков и для перспективы в планировании работы гидроэлектростанции объема поступающей воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдуллаева Ф. С. и соавт. Гидроэнергетические ресурсы Таджикской ССР. Л.: Недра, 1965. - 658 с.
2. Каталог Ледников. 1979, т. 14, Средняя Азия; Вып. 3, Амударья; ч. 14, Бассейн р. Барганг. Гидрометеоиздат.
3. Каюмов А., Арифов Х., Новиков В. Перспективы развития гидро-энергетики в условиях климатических изменений и деградации ледников. Экономика Таджикистана. - Душанбе, 2021, № 1. С. 117-121.
4. Каюмов А., Махмадалиев Б., Новиков В., Каримов Ю. Национальный план действий Республики Таджикистан по смягчению последствий изменения климата. - Душанбе, 2003, 234 с.
5. Каюмов А.К., Новиков В.В. Третье национальное сообщение Республики Таджикистан по Рамочной конвенции ООН об изменении климата. - Душанбе, 2014, 166 с.
6. Методическое указание. Метод краткосрочного прогноза стока реки Вахш, приток воды в нурекское водохранилище на основе модели SRM. г. Ташкент.

7. Петров Г. Н., Халиков Ш. Х. – Экономика Таджикистана: стратегия развития. 2006, № 3, с. 97-118.
8. Петров Г. Н., Норматов И. Ш., Леонидова Н. В. – Водные ресурсы Центральной Азии, №12004, с.35-49.
9. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. -Л.: 1965, 691с.
10. Petrov G. - Central Asia and the Caucasus. Journal of social and Political Studies. Sweden, 2003, №3 (21), pp. 153-161.
11. Petrov G. – Tajikistan's Energy Projects: Past, Present, and Future, №5(29), 2004, pp. 93-103.
12. Snowmelt Runoff Model (SRM). Users Manual. Jaroslav Martines, Albert ango, Ralph Roberts, 2008 г.
13. <http://www.ars.usda.gov/services/software/download.htm?softwareid=7> Посещение 22.09.2022
14. <http://winsrm.software.informer.com/> 1 Посещение 2.07.2022
15. www.rp5.ru Посещение 22.09.2022

ПЕШГУЌИИ МАҶРОИ ДАРЁИ ВАХШ ДАР АСОСИ МОДЕЛИ SRM БО ИСТИФОДА АЗ МАЪЛУМОТИ МОҶВОРАГИИ MODSNOW, ҚАБАТИ БАРФӢ

Қаюмов, А.Қ., Кабутов З.Қ.

***Аннотатсия:** Мақсади тадқиқот баҳо додан ба вазъияти ҳозираи оби дарёи Вахш дар шароити тағйирёбии иқлим мебошад. Арзёбии мизони оби дарёи Вахш барои солҳои 2016-2022 бо истифода аз модели обшавии барф (SRM) бо истифода аз аксҳои моҳвораи Модис анҷом дода шуд. Навовариш илми кор дар он аст, ки дар тӯли 70 соли охир бори аввал тавсифи муфассали ҳаритаи ҳавзаи обпартои дарёи Вахш бо истифода аз технологияи рақамӣ ва ҳолати он дар давраи гармишавии глобалӣ анҷом дода шудааст. ки ин имконият медиҳад стратегия ва перспективаҳои омӯзиши ҳавза муайян карда шавад.*

***Калимаҳои калидӣ:** дарёи Вахш, тирях, қабати барф, ҷараёни об, маълумоти моҳвораӣ, моделсозӣ, SRM, моделсозӣ.*

FLOW FORECAST OF THE VAKHSH RIVER BASED ON THE SRM MODEL USING MODSNOW SATELLITE DATA ON SNOW COVER

Каюмов А.Қ., Кабутов З.Қ.

***Аннотатсия:** The purpose of the study is to assess the current state of the water content of the Vakhsh River in the context of climate change.*

The assessment of the water content of the Vakhsh River for the period 2016-2022 was carried out using the snowmelt runoff model (SRM) using Modis satellite images. The scientific novelty of the work lies in the fact that over the past 70 years, for the first time, a detailed description of the map of the drainage basin of the Vakhsh River using digital technology and its state during global warming has been carried out, which makes it possible to determine strategies and prospects for studying the basin.

***Key words:** Vakhsh River, glacier, snow cover, runoff, satellite data, modeling, SRM, modeling.*

Адрес для корреспонденции: Қаюмов Абдулхамид Қаюмович, 734063, г. Душанбе. пр. Рудаки 33, Государственное научное учреждение «Центр изучения ледников Национальной академии наук Таджикистана» E-mail: abdkaumov@mail.ru . kabutovzohirsoh@gmail.com.