

*Калашникова О.Ю., Гафуров А.А., Ниязов Дж.Б., Кодиров С.М.,
Усубалиев Р.А.*

**ПРОГНОЗ СТОКА РЕКИ ЧАТКАЛ НА ВЕГЕТАЦИОННЫЙ
ПЕРИОД НА ОСНОВЕ СНИМКОВ MODIS**

Kalashnikova O.Y., Gafurov A.A., Niyazov J.B., Kodirov S.M., Usubaliev R.A.

**THE CHATKAL RIVER RUNOFF FORECASTING FOR THE
VEGETATION PERIOD BASED ON MODIS DATA**

*Калашникова О.Ю., Гафуров А.А., Ниязов Дж.Б., Кодиров С.М.,
Усубалиев Р.А.*

**ЧАТКАЛ ДАРЫЯСЫНЫН АГЫМЫН ВЕГЕТАЦИЯЛЫК
МЕЗГИЛДЕ MODIS КОСМОСУРӨТТӨРҮНҮН НЕГИЗИНДЕ
БОЖОМОЛДОО.**

УДК: 551.5 + 556.06

В статье представлена методика прогноза водности реки Чаткал на вегетационный период, составленная на основе спутниковой информации снимков MODIS, обработанных в программе MODSNOW. Методика подготовлена с использованием методов статистического анализа, принятого в оперативном гидрологическом прогнозировании. Авторами были получены уравнения для прогноза водности реки Чаткал на вегетационный период (с апреля по сентябрь) и его уточнение (на период с мая по сентябрь). Оценена эффективность методики и её применимость в предупреждении маловодья (гидрологической засухи) и многоводья. Качество методики имеет категории хорошее и удовлетворительное, что подтверждает её надежность и эффективность в практическом применении в системе национальных гидрометеорологических служб.

Ключевые слова: сток реки, река Чаткал, прогноз водности, снежный покров, снимки MODIS, MODSNOW, Кыргызстан.

The article presents a methodology for forecasting the Chatkal Rive water availability for the vegetation period based on the MODIS satellite images processed in the MODSNOW program. The methodology is compiled using statistical analysis methods adopted in operational hydrological forecasting. The authors obtained equations of the forecasting for the Chatkal River water availability for the vegetation period (April - September) and its refinement (May - September). The efficiency of the methodology and its applicability to low water (hydrological drought) and high water prevention was highly commended. The quality of the methodology is classified as good and satisfactory, which confirms its reliability and efficiency in practical application in the system of National Hydro-Meteorological Services (NHMS).

Key words: river runoff, Chatkal River, forecast of discharge, MODIS images, snow cover, MODSNOW, Kyrgyzstan.

Макалада MODSNOW программасында иштетилген MODIS космосүрөттөрүнүн маалыматынын негизинде Чаткал дарыясынын вегетация мезгилине карата суунун молдуулугунун болжолдоо методологиясы берилген. Методология оперативдүү гидрологиялык болжолдоодо кабыл алынган статистикалык талдоо ыкмаларын колдонуу менен түзүлгөн. Авторлор Чаткал дарыясынын агымын молдуулугун вегетация мезгилине болжолдоо үчүн (апрелден сентябрга чейин) жана аны тактоодо (майдан сентябрга чейинки мезгилге) теңдемелерди алышкан. Методиканын натыйжалуулугу жана анын суунун азчылыгына (гидрологиялык кургакчылык) жана суунун көптүгүнө колдонулушу бааланат. Методиканын сапаты жакшы жана канааттандырарлык деп классификацияланат, бул анын улуттук гидрометеорологиялык

кызматтардын тутумунда практикалык колдонууда ишенимдүүлүгүн жана натыйжалуулугун тастыктайт.

Негизги сөздөр: дарыянын агымы, Чаткал дарыясы, суунун молдуулугунун божомолдоо, MODIS космосүрөттөрү, кар катмары, MODSNOW, Кыргызстан.

Введение

Река Чаткал обладает значительным гидроэнергетическим потенциалом, который по данным Института водных проблем и гидроэнергетики НАН КР был оценен в 2063 тыс. кВт, то есть на уровне энергопотенциала реки Тарим (2048 тыс. кВт) и выше потенциала рек Иссык-Кульского (1528 тыс. кВт), Чуйского (1521 тыс. кВт) или Таласского (700 тыс. кВт) бассейнов [1]. Река имеет трансграничное местоположение, ее водосбор составляет 7110 км² и большая его часть (около 5520 км²) расположена на территории Кыргызстана, ниже по течению на территории Узбекистана расположен важный водохозяйственный объект – Чарвакское водохранилище, построенное в 1970 году (проектный объем 2 км³) [2]. Наблюдение за стоком проводится сетью Узгидромета и качественные прогнозы необходимы для рационального наполнения и сброса воды из Чарвакского водохранилища.

Целью данного исследования является составление методики прогноза водности реки Чаткал на вегетационный период (апрель-сентябрь и май-сентябрь) на основе снимков MODIS. Основной задачей авторов является оценка эффективности и надежности этой методики для оперативного гидрологического прогнозирования.

Использованные данные и методика обработки данных

Площадь бассейна до гидропоста Худойдодсай составляет 6602 км², длина реки – 217 км, средняя высота водосбора – 2652 м.н.у.м., площадь оледенения в 2013-2016 г.г. – 42,3 км² или 0,6 % от площади бассейна,

средний годовой расход воды – 110 м³/с [3]. Сток реки Чаткал изучался по данным гидропоста Худойдодсай (высота 943 м.н.у.м.) (рис. 1) [4].



Рисунок 1. Местоположение бассейна реки Чаткал на территории Центральной Азии и его сеть наблюдений.

Данные снежного покрова снимков MODIS были получены после их обработки в программе MODSNOW, которая удаляет облачный покров и производит расчеты площади снежного покрова в процентах от площади бассейна [5].

Для оценки тесноты зависимости между средним стоком за вегетационный период (апрель-сентябрь, май-сентябрь) гидропоста Худойдодсай с площадью снежного покрова снимков MODIS в программе MODSNOW использовались методы статистического анализа [6]. Были предложены и использованы следующие формулы с одним и с двумя предикторами:

$$Q_{4..9} = aSCA_{90} + c \quad (1)$$

$$Q_{4..9} = aSCA_{90} + bQ_3 + c \quad (2)$$

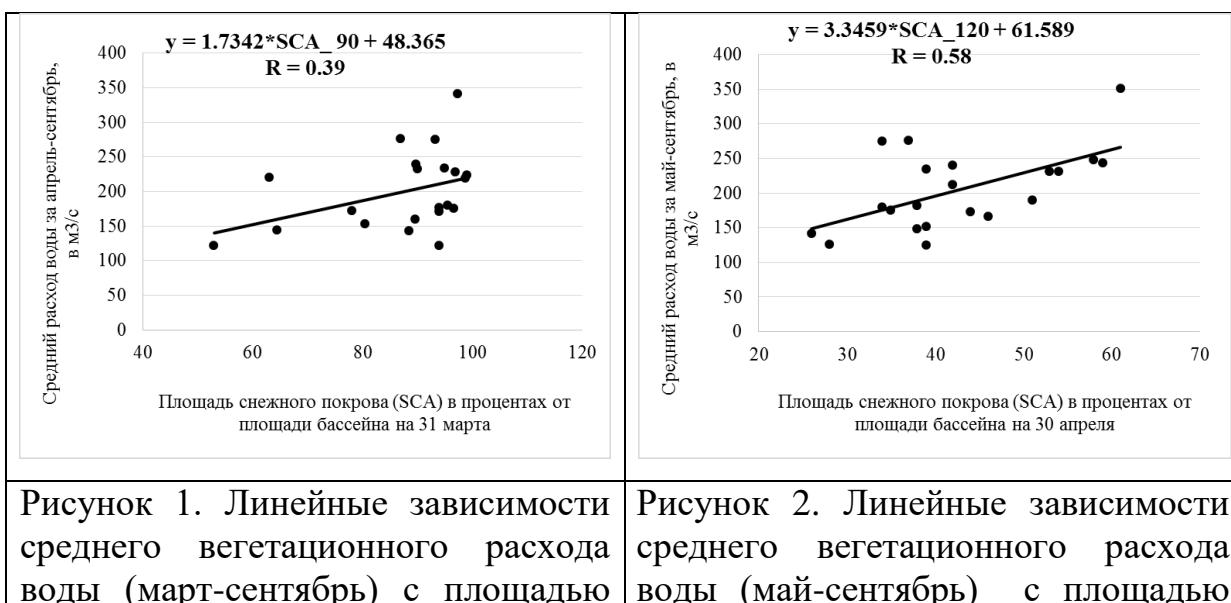
где $Q_{4..9}$ – средний вегетационный расход воды (за апрель-сентябрь, май-сентябрь); SCA_{90} – площадь снежного покрова снимков MODIS (в %) по отношению к общей площади бассейна на 90-ый (31 марта) или на 120-ый (30 апреля) день по Юлианскому календарю; Q_3 – расход воды за март

(апрель); а, b, с – коэффициенты регрессии, рассчитанные по наблюдаемым значениям.

Полученные линейные уравнения оценивались по критериям качества методики, которые приняты в наставлениях по службе прогнозов и в руководстве ВМО [7, 8]. Подробное описание процесса оценки прогностических методик, основанных на применении данных снежного покрова снимков MODIS, дано в предыдущей публикации авторов в журнале CAJWR [9]. Подобная методика была подготовлена для реки Нарын в 2015 г., внедрена в систему Кыргызгидромета и апробирована в 2017-2019 годах, показав высокую оправдываемость и эффективность для оперативного гидрологического прогнозирования [10, 11]. В настоящее время разработка методов, основанных на данных снежного покрова снимков MODIS, проводится и для других речных бассейнов Тянь-Шаня, Памиро-Алая и Памира, где снежный покров играет значительную роль в питании реки. [12].

Результаты исследования

В результате расчетов, произведенных по формулам 1-2, были получены линейные зависимости средних вегетационных расходов воды на реке Чаткал с площадью снежного покрова в процентах от площади бассейна снимков MODIS представленные на рисунках 1-4.



снежного покрова на 90-ый день по Юлианскому календарю (на 31 марта)

снежного покрова на 120-ый день по Юлианскому календарю (на 30 апреля)

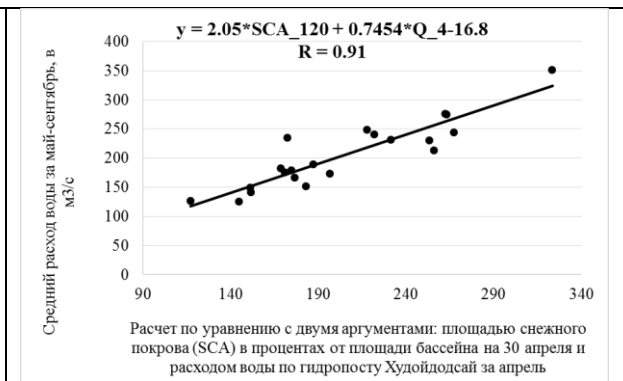
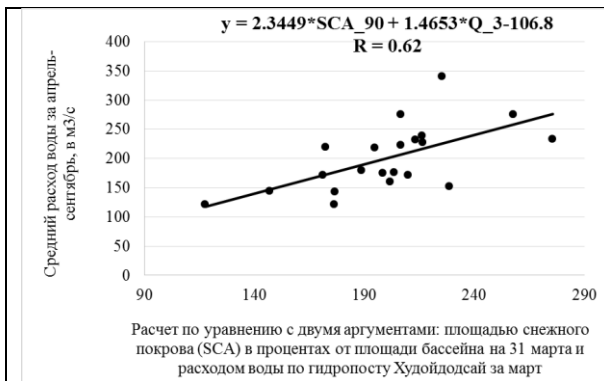


Рисунок 3. Линейные зависимости среднего вегетационного расхода воды (март-сентябрь) с двумя аргументами площадью снежного покрова на 90-ый день по Юлианскому календарю (на 31 марта) и предшествующим стоком за март

Рисунок 4. Линейные зависимости среднего вегетационного расхода воды (май-сентябрь) с двумя аргументами площадью снежного покрова на 120-ый день по Юлианскому календарю (на 30 апреля) и предшествующим стоком за апрель

Введение в уравнение множественной регрессии дополнительного (второго) аргумента – стока за предшествующий месяц (формула 2) значительно улучшает зависимости, а также надежность и эффективность прогнозов в сравнении с использованием только одного аргумента – площади снежного покрова (формула 1). Это связано с тем, что в питании реки участвуют грунтовые воды (базисный сток) и талые воды сезонного снега, ледниковый сток - незначительный. Рассчитанные прогностические уравнения и оценки критериев применимости методики представлены в таблице 1.

Таблица 1. – Уравнения для прогноза среднего вегетационного расхода воды реки Чаткал.

№	Расчетное уравнение	R	S/ σ *	δ **	Обеспеченность допустимой погрешности в %
Прогноз на вегетационный период (апрель-сентябрь)					
1	1.7342*SCA_90 + 48.365	0,39	0,92	40,8	71
2	2.3449*SCA_90 + 1.4653*Q_3-106.8	0,61	0,79	40,8	76
Уточняющий прогноз на вегетационный период (май-сентябрь)					
3	3.3459*SCA_120 + 61.589	0,58	0,81	41,9	76
4	2.05*SCA_120 + 0.7454*Q_4-16.8	0,91	0,41	41,9	95

Примечание: *S/ σ – критерий качества (применимости) методики;

** δ – допустимая погрешность прогноза.

В соответствии с критериями оценки методик, принятых в системе национальных гидрометслужб, качество прогностической методики на период апрель-сентябрь удовлетворительное, на период май-сентябрь – хорошее.

Выводы

Предложенная авторами методика прогноза водности реки Чаткал на вегетационный период, где в качестве аргумента приняты снимки снежного покрова MODIS (SCA), обработанные в программе MODSNOW-Tool имеет удовлетворительное и хорошее качество – S/ σ = 0,41-0,79, R = 0,61-0,91 и обеспеченность допустимой погрешности 71-95 %.

Все расчетные уравнения (формулы 1-2) эффективно предупреждают маловодье (гидрологическую засуху) и в значительной степени средние по водности годы. Значительно сложнее предупреждается многоводье, т.к. оно зависит от будущих весенне-летних температур воздуха, а соответственно интенсивности таяния снега и ледников, которые на момент составления прогноза остаются не известным фактором. Но использование уравнений с двумя аргументами - снимками снежного покрова и предшествующим

стоком позволяет предупредить многоводье, т.к. уравнения для оценки стока на вегетационный период получены с хорошим качеством методики.

Преимущество использования спутниковой информации о снежном покрове снимков MODIS в свободном доступе к снимкам и готовом программном обеспечении MODSNOW-Tool, не требующим специальной подготовки в географической и геометрической привязке спутниковых снимков, дешифрированию снежного и облачного покрова. Для многих крупных речных бассейнов разработаны готовые расчетные скрипты, позволяющие рассчитывать водность на месяцы вегетации.

Литература

1. Маматканов Д.М., Бажанова Л.В., Романовский В.В. Водные ресурсы Кыргызстана на современном этапе. Бишкек, 2006 г.
2. Вторая оценка трансграничных рек, озер и подземных вод. ЕЭК ООН. Женева, 2011 г.
3. Шабунин А.Г. Каталог ледников Кыргызстана. Центрально-Азиатский институт прикладных исследований Земли. Бишкек, 2018 г.
4. Гидрологические ежегодники по гидропосту р.Чаткал - Худойдодсай за 2000-2020 годы. Фонды Узгидромета.
5. Gafurov A., Lüdtke S., Unger-Shayesteh K., Vorogushyn S., Schöne T., Schmidt S., Kalashnikova O. and Merz B.: MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data. Environmental Earth Science, 2016 г. Doi: 10.1007/s 12665-016-5869-x
6. Подрезов О.А. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических данных (Методы анализа с использованием статистик, аппроксимации распределений, регрессии, корреляции и проверки гипотез). Учебник для бакалавров-гидрометеорологов. Бишкек, 2020 г.
7. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть 1. Л.:Гидрометеоиздат, 1962 г.

8. Руководство по гидрологической практике. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. Часть 2. Издание 6. Женева: ВМО, 2012 г.
9. Ниязов Дж.Б., Калашникова О.Ю., Гафуров А.А. Методика прогноза водности высокогорных рек Центральной Азии на основе снимков MODIS. Central Asian Journal of Water Research (CAJWR) Центральноазиатский журнал исследований водных ресурсов, № 6(2), с. 26–37, 2021 г.
<https://doi.org/10.29258/CAJWR/2020-R1.v6-2/26-37.rus>
10. Калашникова О.Ю. К разработке методов долгосрочного прогноза стока горных рек и притока воды в водохранилище на примере реки Нарын. Наука и новые технологии и инновации Кыргызстана, №5, с. 100-103. Бишкек, 2015 г.
11. Калашникова О. Ю. Исследование влияния климатических факторов на формирование стока рек Нарынского бассейна и их долгосрочный прогноз. Автореферат на соискание ученой степени кандидата географических наук. Бишкек, 2022 г.
12. Ниязов Дж. Б., Калашникова О.Ю., Гафуров А.А. Оценка водных ресурсов Памиро-Алая методами дистанционного зондирования (на примере рек Кафирниган и Гунт). Вестник КРСУ, т.20, №4, с 152-157. Бишкек, 2020 г.

Сведения об авторах

Калашникова Ольга Юрьевна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник. Центрально-Азиатский Институт Прикладных Исследований Земли.

Адрес: 720027, г.Бишкек, ул.Тимура Фрунзе, 73/2.

Тел. (+996) 312 555775 (218)

Тел. мобильный: +996 770770590

e-mail: o.kalashnikova@caiag.kg

Гафуров Аброр Асроржонович, PhD, научный сотрудник отдела «Гидрология», Немецкий Исследовательский Центр наук о Земле (GFZ), профессор Университета Гумбольдта.

Адрес: 14473 г.Потсдам, Телеграфенберг, корпус С 4, комната 2.28

Тел.+49 331 288-1816, +49 331 288-1570

e-mail: abror.gafurov@gfz-potsdam.de

Ниязов Джафар Баходурович, кандидат исторических наук, заведующий лабораторией «Климата, гляциологии и моделирования водных ресурсов», Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН ТР.

Адрес: 734042, г.Душанбе, ул. Айни, 14А.

Тел: +992 935650777

e-mail: niyazovjafar@mail.ru

Кодиров Собир Мамадиерович, старший преподаватель кафедры гидрологии и гидрогеологии Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства Национального исследовательского университета.

Адрес: 10000, г.Ташкент, ул. Кари Ниязова, 39,

Тел.+998 974452572

e-mail: smgodirov@gmail.com

Усубалиев Рыскул Абдыжакыпович, кандидат географических наук, начальник отдела «Климат, вода и природные ресурсы». Центрально-Азиатский Институт Прикладных Исследований Земли.

Адрес: 720027, г.Бишкек, ул.Тимура Фрунзе, 73/2.

Тел. мобильный: +996 776 196 709.

e-mail: r.usubaliev@caiaig.kg

Information about the authors

Dr. Kalashnikova Olga, Senior Research worker. Central Asian Institute for Applied Geosciences.

Address: 73/2, Timur Frunze str., Bishkek city, 720027.

mobile: +996 770770590

o.kalashnikova@caiaig.kg

Dr. Abror Gafurov, PhD, Researcher of the Hydrology Department, Professor at Humboldt University. Helmholtz Centre Potsdam, GFZ German Research Centre for Geosciences.

Address: Telegrafenberg, Building C 4, Room 2.28, Potsdam, 14473.

Phone: +49 331 288-1816, +49 331 288-1570

e-mail: abror.gafurov@gfz-potsdam.de

Dr. Niyazov Jafar, candidate of the historical sciences, Head of the Laboratory of Climatology, Glaciology and modeling of water resources. National Academy of Tajikistan Institute of water problems, hydropower and ecology,

Address: 14A Ayni str., Dushanbe, 734042, Tajikistan.

Phone: +992 935650777

e-mail: niyazovjafar@mail.ru

Kodirov Sobir, Senior Lecturer, Department of Hydrology and Hydrogeology, Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, National Research University,

Address: 39 Kari Niyazov str., Tashkent, 100000, Uzbekistan.

Phone: +998 974452572

e-mail: smqodirov@gmail.com

Usubaliev Ryskul, candidate of geographical Sciences, head of the Department of the «Climate, water and natural resources». Central Asian Institute for Applied Geosciences.

Address: 73/2, Timur Frunze str., Bishkek city, 720027.

mobile: +996 776 196 709.

e-mail: r.usubaliev@caiag.kg

Авторлор жөнүндө маалымат:

Калашникова Ольга Юрьевна, география илимдеринин кандидаты, илимий кызматкер, Борбордук - Азиялык Жерди прикладдык изилдөө институту.

Дареги: 720027, Бишкек ш., Тимур Фрунзе көч., 73/2.

Уюлдук тел.: +996 770770590

e-mail : o.kalashnikova@caiag.kg

Гафуров Аброр Асроржонович, PhD. Гумбольдт университетинин профессору, Жер илимдер боюнча Германиянын изилдөө борборунун "Гидрология" борбору илимий кызматкери.

Дареги: 14473, Потсдам ш., Телеграфенберг, С4, 2.28.

Уюлдук тел.: +49 331 288-1816, +49 331 288-1570

e-mail: abror.gafurov@gfz-potsdam.de

Ниязов Джафар Баходурович, PhD, Тажикстан Илимдер академиясынын суу проблемар, гидроэнергетика жана экология институтунун «Климатология жана гляциология» лабораториясынын башчысы.

Дареги: 734042, Айни көч., 14 А, Душанбе, Тажикстан

Тел/Факс:(+992 37) 222 23 20/222 23 21

e-mail : niyazovjafar@mail.ru

Кодиров Собир Мамадиерович, Ташкент Улуттук изилдөө университетинин Ирригация жана айыл чарбасын механизациялоо Инженерлер институтунун гидрология жана гидрогеология кафедрасынын улук окутуучусу.

Дареги: 10000, г.Ташкент, ул. Кари Ниязова, 39,

Уюлдук тел.: +998 974452572

e-mail: smgodirov@gmail.com

Усубалиев Рыскул Абдыжакыпович, г.и.к. Борбордук - Азиялык Жерди прикладдык изилдөө институту.

Дареги: 720027, Бишкек ш., Тимура Фрунзе көч., 73/2.

Уюлдук тел.: +996 776 196 709.

e-mail: r.usubaliev@caiaq.kg