

Калашикова О.

НАРЫН ДАРЫЯСЫНЫН МИСАЛЫНДА ТООЛУУ ДАРЫЯЛАРДЫН СУУ АГЫМЫН ЖАНА СУУ САКТАГЫЧТАГЫ СУУНУН АГЫМЫН УЗАК МӨӨНӨТТҮҮ БОЛЖОЛДОО ТУРАЛУУ УСУЛДАРЫН ИШТЕП ЧЫГУУ

Калашикова О.

К РАЗРАБОТКЕ МЕТОДОВ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА СТОКА ГОРНЫХ РЕК И ПРИТОКА ВОДЫ В ВОДОХРАНИЛИЩА НА ПРИМЕРЕ РЕКИ НАРЫН

O. Kalashnikova

TO THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR LONG-TERM FORECASTING OF MOUNTAIN RIVERS AND WATER INFLOW TO RESERVOIRS ON THE EXAMPLE OF THE NARYN RIVER

УДК: 556,06 (075.8)(575.2) (04)

Макалада иш жүзүндө ыкчам колдонулган, анын ичинде спутниктерден алынган сүрөттөрдөгү кар мейкиндик-катмарынын сандык маалыматтарына негизделген тоо дарыяларынын агымын узак мөөнөткө маалымдоонун усулдугу келтирилген. Нарын дарыясы жана Токтогул суу сактагычына суунун келиши үчүн иштелип чыккан усулдар мисал катары келтирилген. Бул методдордун өзгөчөлүктөрү жана жетишипеген жактары жазылган.

Негизги сөздөр: Нарын дарыясы, узак мөөнөттүү божомол, дарыялар суусунун агымы, суунун агып кирүүсү, методдор, спутниктик сүрөттөр.

В статье приведены методы долгосрочного прогноза стока горных рек, используемые в практике оперативного прогнозирования, в том числе основанные на данных о снежном покрове, полученных со спутниковых снимков. В качестве примера приведены разработанные методы для реки Нарын и притока воды в Токтогульское водохранилище. Изложены преимущества и недостатки этих методов.

Ключевые слова: река Нарын, долгосрочный прогноз, сток реки, приток воды, методы, спутниковые снимки.

The article presents the methods of long-term forecast of mountain rivers flow used in operational forecasting, including those based on snow cover data derived from satellite imagery. Methods developed for the Naryn River and water inflow in the Toktogul Reservoir are showed as an example. The advantages and disadvantages of these methods are outlined.

Key words: the Naryn river, the long-term forecast of river flow, the inflow of water, methods, satellite images.

Качественные и надежные долгосрочные гидрологические прогнозы стока горных рек и притока воды в водохранилища важны для проведения мероприятий водохозяйственными организациями и МЧС по снижению ущербов от многоводья и мало-водья, а также, для планирования работы каскадов гидроэлектростанций.

В нашем исследовании мы выбрали бассейн реки Нарын, водные ресурсы которого образуются во внутреннем Тянь-Шане и берут начало в ледниках массива Акшийрак (41°50' 78°15') в верховьях рек Большой Нарын и Малый Нарын. В бассейне реки находится Токтогульское водохранилище (проектный объем 19,5 млрд.м³) имеющее важное значение в

обеспечении водой республик Узбекистан, Казахстан и Кыргызстан. Площадь водосбора бассейна реки Нарын, выше створа у впадения в Токтогульское водохранилище составляет около 58000 км² и включают в себя 1369 км² ледников [5]. Диапазон высот водосбора р. Нарын изменяется от 700 до 5000 м над уровнем моря.

Методы долгосрочных гидрологических прогнозов, используемые в практике оперативного прогнозирования. Основным источником поступления воды в реке Нарын является талая вода от сезонного снега 42% и грунтовые воды 44% годового стока [12]. Питание реки за счет дождевого стока составляет около 4%, талого ледникового – не более 10 % [12], по последним расчетам 2010 года - 7,8% годового речного стока или 16% от летнего стока [4]. Половодье на реке Нарын начинается в середине апреля, с максимальными расходами воды в июне-июле. Основной сток реки наблюдается в мае-сентябре, составляя 70-80% годового стока.

Исходя из этих представлений, разработаны несколько различных вариантов прогноза стока на период половодья и вегетации на реках Нарынского бассейна.

В практике гидрологических прогнозов широко применяется метод использующий зависимость стока за период половодья (вегетации) от количества выпавших атмосферных осадков как в твердом виде [2], так и осадков, взятых за определенный календарный период [2, 3, 6, 10]. Возможность использования осадков за календарный период с октября по март для рек Сырдарьинского бассейна использовала Гирник Е. [3]. Согласно [10], уравнение для прогноза притока воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период (апрель-сентябрь) имеет вид:

$$Q_{4..9} = aX_{10..3} + c \quad (1)$$

где, $Q_{4..9}$ – средний вегетационный расход воды (за апрель-сентябрь)

$X_{10..3}$ – среднеарифметическое значение осадков по шести следующим станциям: Суусамыр, устье р.Тос, Ат-Башы, Арпа, ТяньШань и ТюяАшуу.

а, с – коэффициенты регрессии, рассчитанные по наблюдаемым значениям.

Но этот метод не является надежным, т.к. не все осадки, выпавшие за этот период, формируют запасы снега, которые затем примут участие в формировании стока. В нем, также, не учитываются влияние оттепелей в зимние месяцы, когда снег частично стает и также не вносит вклад в накопление снега на водосборе.

Использование множественной регрессии с двумя предикторами – расходом воды за предшествующий период (март или межень) и осадками, указанными в уравнении улучшило качество прогнозов стока на период вегетации (апрель-сентябрь) [7]. Коэффициент аппроксимации R^2 , в предыдущих расчетах равный 0,66 ($S/\sigma - 0,58$), составил 0,75 ($S/\sigma - 0,50$).

В 70-ых годах были разработаны методы, основанные на запасе воды в снеге [2], при этом устанавливаются корреляционные зависимости:

$$y = f[(s + x_1), x_2] \text{ и } y = f[(s + x_1), x_2, W] \quad (2)$$

где, y – сток за половодье;

s – запас воды в снежном покрове перед началом снеготаяния;

x_1 – количество осадков за время снеготаяния;

x_2 – количество осадков за время от схода снега в зоне до окончания половодья в расчетном створе на реке;

W – запас влаги в почве.

Разработка таких методик для рек со значительной долей ледникового питания являлась очень сложной задачей, т.к. для вычисления запаса воды в снежном покрове необходимо было проведение снегомерных маршрутных съемок на склонах различных экспозиций и крутизны. Зимой самые верхние зоны обычно были недоступны для измерений и применялся прием экстраполяции, не дающий действительных величин запаса воды в снеге [2, 11].

Также одним из применяемых методов было проведение авиаоблетов и оценка снегозапасов по установленным на основных снежниках Нарынского бассейна авиарейкам. Но и этот метод не является эффективным, т.к. в последние десятилетия большинство авиареек были уничтожены или повреждены. Нехватка средств на дорогостоящие авиаоблеты в высокогорных районах Нарынского бассейна не позволяет проводить регулярное наблюдение за состоянием накопившегося снежного покрова.

Методы долгосрочных гидрологических прогнозов на основе спутниковых снимков NOAA и MODIS. Впервые данные о снежном покрове со спутниковых снимков NOAA для разработки краткосрочных прогнозов стока реки Нарын были использованы в модели SRM [6, 8]. SRM (модель талого стока) была разработана Мартинеком в 1975г. и в настоящее время внедрена различными службами, институтами и университетами примерно в 80 бассейнах, расположенных в 25 различных странах [8].

Одной из основных проблем использования информации о снежном покрове со снимков NOAA было их недостаточное разрешение - 1000 м, которое на практике не позволяло делать точных расчетов площади снежного покрова. Кроме того, существовала проблема в удалении облачного покрова с территории, на которой производились расчеты снежного покрова. Приходилось использовать спутниковые снимки NOAA только в безоблачные дни, теряя при этом возможность регулярного мониторинга снежного покрова.

Учитывая предшествующий опыт, для долгосрочного гидрологического прогнозирования была использована информация о снежном покрове, данные о котором были получены со снимков MODIS.

Спектрорадиометр транснационального научно-исследовательского спутника MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) является одним из ключевых инструментов на борту американских спутников серии EOS (Terra (EOS AM-1) и Aqua (EOS PM-1)). MODIS имеет 36 спектральных каналов с 12-битным радиометрическим разрешением в видимом, ближнем, среднем и тепловом инфракрасном диапазонах. Пространственное разрешение снимка для дешифрирования информации о снежном покрове составляет 500 м., повторяемость съемки одной территории 1-2 раза в сутки в зависимости от широты места съемки. Спутник был запущен в 2000 году и информация о снежном покрове со снимков MODIS Terra была использована с 2000 по 2013гг. Данные о сезонном снежном покрове со снимков MODIS были обработаны в программе MODSNOW, позволяющей удалять облачный покров со снимков [14].

Для составления методики был использован метод множественной линейной регрессии, реализуемой в Excel [9]. Основными предикторами являются данные о снежном покрове со спутниковых снимков MODIS и предшествующий (базисный) сток за период с 2000 по 2013гг.

Данные о расходах воды и о предшествующем стоке на реках Нарынского бассейна были взяты по данным Кыргызгидромета.

Общий вид уравнения для прогноза водности рек Нарынского бассейна и притока воды в Токтогульское водохранилище следующий:

$$Q_t = aS_{snm} + bQ_m + c, \quad (4)$$

где Q_t – расход воды за период времени t ;

Q_m – расход воды за предшествующий период (предшествующий месяц или предшествующая декада) к моменту составления прогноза m ;

S_{snm} – площадь снежного покрова (в %) по отношению к общей площади бассейна к моменту составления прогноза m (по Юлианскому календарю);

a, b, c – коэффициенты регрессии, рассчитанные по наблюдаемым значениям.

Информация о снежном покрове Нарынского бассейна была получена со снимков MODIS за период с 2000 по 2013 гг. и далее в программе ArcGIS

были произведены расчеты снежного покрова следующих речных бассейнов:

1. Нарынский – створ плотины Токтогульского каскада;
2. Нарынский – гидропост Уч-Терек;
3. верховья реки Нарын – г. Нарын.

Примеры обработанной в программе ArcGIS карты снежного покрова на 30 апреля (на 2002 много-госнежный год) представлен на рис.1. и графика расчетных зависимостей расходов воды на период май-сентябрь от предшествующего стока за апрель и снежного покрова на 30 апреля представлены на рисунке 2.

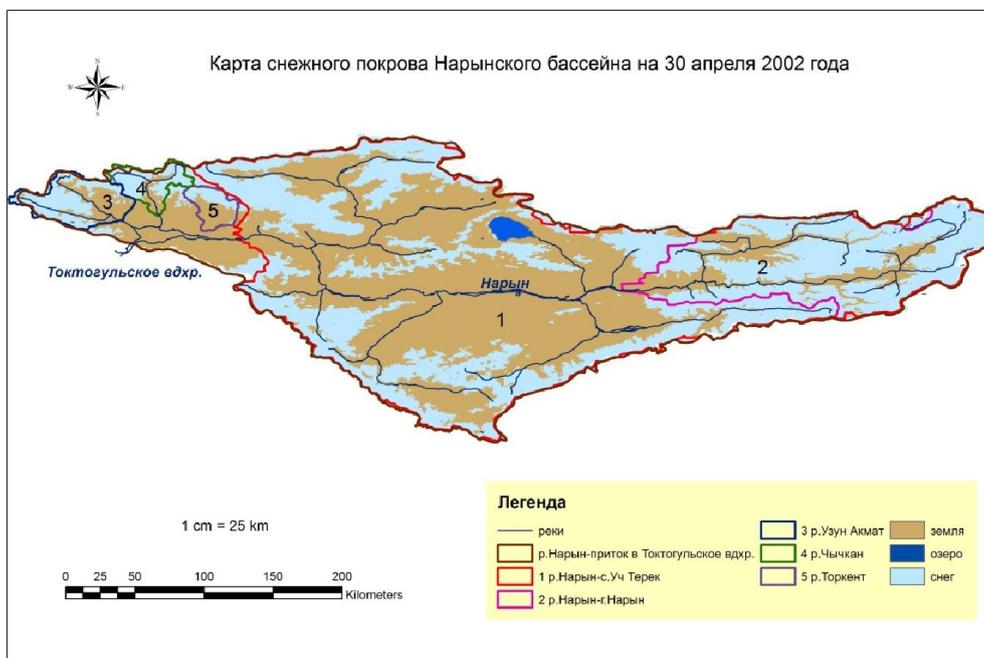


Рис. 1. Карта снежного покрова Нарынского бассейна на 30 апреля 2002 г.

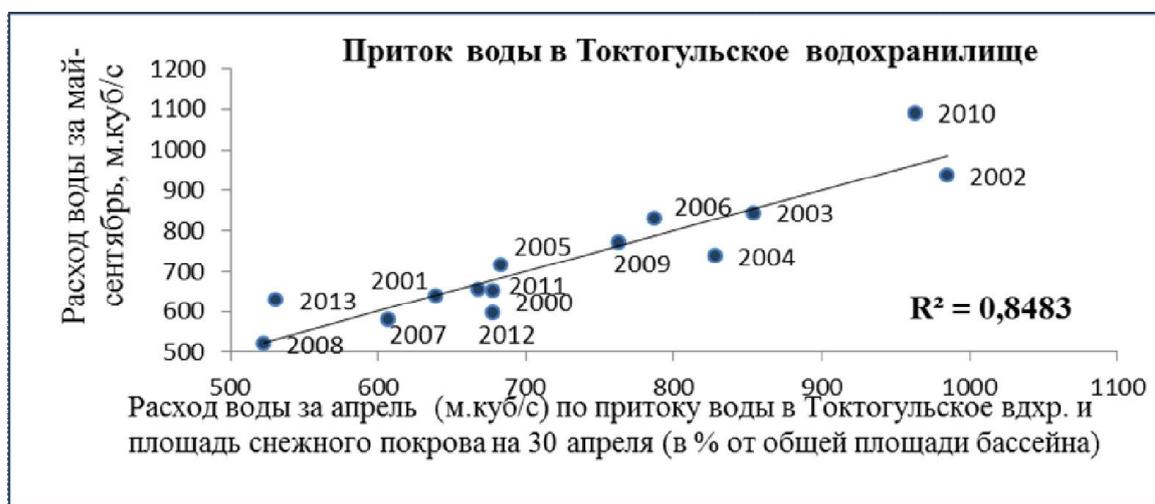


Рис. 2. Зависимости расходов воды на период май-сентябрь от снежного покрова на 30 апреля и расходов воды за апрель.

Уравнения и качество предложенной методики для прогноза стока реки Нарын и притока воды в Токтогульское водохранилище представлены в таблице 2.

Уравнения для долгосрочного прогноза расхода воды реки Нарын и притока воды в Токтогульское водохранилище.

№	Название объекта	Расчетное уравнение	R ²	S/σ
Прогноз на вегетационный период				
1	Приток в Токтогульскоевдхр.	$1,67*Q_3+5,44*S_{sn} \ 90-42,9$	0,45	0,74
2	р.Нарын – с.Уч Терек	$1,9*Q_3+3,06*S_{sn} \ 90-29,2$	0,57	0,65
3	р.Нарын – г. Нарын	$3,7*Q_3+1,04*S_{sn} \ 90-20,0$	0,36	0,80
Уточнение прогноза на вегетационный период (май-сентябрь)				
4	Приток в Токтогульскоевдхр.	$1,05*Q_4+9,09*S_{sn} \ 120+40,6$	0,85	0,39
5	р.Нарын – с.Уч Терек	$0,78*Q_4+7,48*S_{sn} \ 120+117$	0,84	0,40
6	р.Нарын – г. Нарын	$1,44*Q_4+2,2*S_{sn} \ 120-7,1$	0,83	0,41
Прогноз на май				
7	Приток в Токтогульскоевдхр.	$4,56*Q_3+2,9*S_{sn} \ 110-366$	0,43	0,75
8	р.Нарын – с.Уч Терек	$5,25*Q_4+5,0*S_{sn} \ 110-578$	0,70	0,55
9	р.Нарын – г. Нарын	$1,1*S_{sn} \ 110+78$	0,37	0,79
Прогноз на июнь				
10	Приток в Токтогульскоевдхр.	$4,95*Q_3+24,4*S_{sn} \ 140-521$	0,48	0,72
11	р.Нарын – с.Уч Терек	$0,63*Q_{2дек.5}+26,2*S_{sn} \ 140-67,1$	0,66	0,58
12	р.Нарын – г. Нарын	$1,0*Q_{2дек.5}+5,6*S_{sn} \ 140-112$	0,65	0,59
Прогноз на июль				
13	Приток в Токтогульскоевдхр.	$0,37*Q_{2дек.6}+32,8*S_{sn} \ 170+213$	0,91	0,30
14	р.Нарын – с.Уч Терек	$0,45*Q_{2дек.6}+24,2*S_{sn} \ 170+155$	0,86	0,37
15	р.Нарын – г. Нарын	$0,31*Q_{2дек.6}+1,6*S_{sn} \ 170+138$	0,82	0,43

Заключение.

Методики, используемые национальными гидрометслужбами Центральной Азии, основаны на анализе условий накопления осадков за календарный холодный период (октябрь-март) и редких (один раз в 3-5 лет) данных о снегозапасах по данным авиаоблетов. Эти методики имеют невысокое качество.

С появлением в открытом доступе в интернете спутниковых снимков стало возможным получать и затем дешифровать данные о снежном покрове и использовать их для прогноза стока рек. Одним из основных преимуществ использования таких методов для прогноза стока горных рек является возможность получения информации о стокформирующих снегозапасах в труднодоступных высокогорных районах.

Представленная методика была реализована для рек Нарынского бассейна и притока воды в Токтогульское водохранилище, внедрена в систему Кыргызгидромета и в настоящее время используется отделом гидропрогнозов для составления прогнозов водности рек в оперативном режиме.

В перспективе она может быть примером при разработке методик, основанных на данных о снежном покрове со спутников MODIS, для других горных регионов Центральной Азии.

Литература:

1. Айзен В.Б., Айзен Е.М., Мелак Ж.А. Климат, снежный покров, ледники и сток в ТяньШане // Бюллетень водных ресурсов. 1995. №31(6) С.1113-1129
2. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов // Л.: Гидрометеиздат, 1974. С.419.

3. Гирник Е.И. Долгосрочные прогнозы стока по рекам бассейна Сырдарьи в условиях искусственно-измененного их режима // Ташкент: САРНИГМИ, 1971. С.179
4. Диких А.Н., Усубалиев Р.А. Особенности динамики оледенения и ледникового стока Тянь-Шаня в условиях глобального потепления климата (в пределах стран Центральной Азии) // Интегрированное и ориентированное на устойчивость управление водными ресурсами. Алматы: изд.: Идан, 2010. С.144-151.
5. Долгушин Л.Д., Осипова Г.Б. Ледники. Издательство: «Мысль», Москва 1989г., 448с.
6. Калашникова О.Ю. К вопросу о гидрологических прогнозах весенне-летнего стока горных рек // «Метеорология и гидрология в Кыргызстане» под редакцией Подрезова О.А. Вып.3, Бишкек: КРСУ, 2003. С.14-22.
7. Карамолдоев Ж.Ж., Калашникова О.Ю. Прогноз притока воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период // Бишкек: Вестник БГУ. №3 (23). 2012.
8. Мартинек Дж., Ранго А., Робертц Р. Модель Талого Стока. Руководство для пользователей // Берн: Бернский Университет. Географический факультет, 1998. С.190.
9. Подрезов О.А. Методы статистической обработки и анализа гидрометеорологических наблюдений // Часть 1. Бишкек: изд.: КРСУ, 2003. С.148-195.
10. Руководство по гидрометеорологическим прогнозам, выпуск 1.Л.: Гидрометеиздат, 1989г.
11. Руководство по гидрологической практике ВМО №168. // Пятое издание. 1994. С.125-137.
12. Ресурсы поверхностных вод СССР // Том 14. Средняя Азия. Вып.1. Л.: Гидрометеиздат, 1969. С.73-87, 179-207.
13. Шульц В.Л. Реки Средней Азии. Л.: Гидрометеиздат, 1965. С.131-169, 497-516.
14. Gafurov A., Bárdossy A. Cloud removal methodology from MODIS snow cover products // Hydrology and Earth System Sciences, 2009. С.1-13.

Рецензент: к.геогр.н., доцент Аламанов С.К.