

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
Институт водных проблем и гидроэнергетики

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ
ТАДЖИКИСТАН

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии

ТАДЖИКСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

БИШКЕКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

им. К.Карасаева

Диссертационный совет Д 25.20.613

На правах рукописи

УДК 556.06 (575.2) (043.3)

Калашникова Ольга Юрьевна

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА
ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА РЕК НАРЫНСКОГО БАССЕЙНА И ИХ
ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ

25.00.27 Гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Бишкек – 2022

**Работа выполнена в Центральном-Азиатском институте
прикладных исследований Земли**

Научный руководитель: **Аламанов Саламат Кулембекович**
кандидат географических наук, доцент,
заведующий отделом географии
Института геологии Национальной академии наук
Кыргызской Республики (25.00.27)

Официальные оппоненты: **Муртазаев Уктам Исмаатович**
доктор географических наук, профессор
кафедры физической географии
Таджикского государственного педагогического
университета им. С.Айни (25.00.27)

Турсунова Айсулу Алашевна
кандидат географических наук,
руководитель лаборатории Водных ресурсов
(25.00.27)

Ведущая организация: АО «Института географии и водной безопасности»
Федеральное государственное бюджетное
учреждение «Гидрометеорологический научно-
исследовательский центр Российской Федерации»
Россия, Москва, Большой Предтеченский переулок,
д.13, строение 1

Защита диссертации состоится в 10:00 31 января 2022 г. на заседании Диссертационного Совета Д.25.20.613 при Институте водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, Институте водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Республики Таджикистан и Таджикском национальном университете, в режиме он-лайн, по адресам: г. Бишкек, ул. Фрунзе, 533; г. Душанбе, ул. Айни, 14 А. Идентификационный код онлайн трансляции защиты диссертации в <https://vc.vak.kg/b/d25-m2m-m5s-p4f>

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке Института водных проблем и гидроэнергетики Национальной Академии наук Кыргызской Республики, по адресу: 720033, г. Бишкек, ул. Фрунзе, 533, комн. 3, тел. +996 312 323728, e-mail: zagivit@mail.ru; г. Душанбе, ул. Айни, 14А, e-mail: owp@tojikiston.com; тел. +992 372 2222320 и на сайтах <http://www.vak.kg>; <http://iwp.kg/index.php/dissertatsionnyj-sovet>.

Автореферат разослан 6 декабря 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д. 25.20.613,
кандидат технических наук



Загинаев В.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Водность реки Нарын и пополнение запаса воды в Токтогульском водохранилище для стран верхнего течения, таких как Кыргызстан и ближайших соседних территорий, наиболее важна для целей энергетики, а для стран нижнего течения Узбекистана, Казахстана и Таджикистана – для ирригационных целей. Одной из проблем зимнего периода, является подтопление населенных пунктов в нижнем течении реки Нарын.

Основной сток реки Нарын (70-80% годового стока) формируется в период апрель-сентябрь и обеспечивает максимальное наполнение водой Токтогульского водохранилища. Наибольшая потребность в поливной воде возникает в засушливые летние месяцы, когда осадков выпадает незначительное количество, а питание реки зависит от таяния ледников в высокогорной зоне.

Изучение компонентов стока реки Нарын является важной задачей для интегрированного и устойчивого управления водными ресурсами. Качественная и достоверная информация об ожидаемой водности реки Нарын на весенне-летний период очень важна для планирования использования водных ресурсов и водodelения между трансграничными государствами Центральной Азии.

Для решения этой задачи гидрометслужбы стран Центральной Азии используют разработанные в 1950–1980-е годы методики для составления долгосрочных прогнозов водности рек, основанные на данных наземных наблюдений о накоплении осадков за холодный период времени. Однако, сокращение сети наблюдений на 50 % и закрытие метеостанций в 1990-ые годы, привело к ухудшению оценки накопления снега в горах и, соответственно, ухудшению качества гидропрогнозов, которое не удовлетворяло обслуживаемые гидрометслужбами организации. Поэтому использование методов гидрологического прогнозирования, основанных на данных о снежном покрове спутниковых снимков является альтернативой для восполнения этой недостающей информации, а также решением вопросов улучшения качества и достоверности прогнозов.

Связь работы с научными программами и темами. Диссертационные исследования проведены в соответствии с проектом CAWa (Central Asian Water) с 2008 по 2019 годы по реализации компонента «Гидрологическое прогнозирование и моделирование стока рек Кыргызстана».

Исследования включали разработку прогностических методик с использованием спутниковой информации и статистического моделирования и внедрение результатов в систему оперативного гидрологического прогнозирования Кыргызгидромета.

Цель и задачи исследования. Основной целью исследования являлось изучение влияния климатических изменений на сток реки Нарын и разработка эффективных методов долгосрочного гидрологического прогнозирования, в том числе на основе данных спутникового зондирования.

В связи с этим в исследовании были поставлены следующие задачи:

1. Анализ влияния климатических факторов на сток реки Нарын;

2. Исследование изменения компонентов стока в условиях глобального потепления и сокращения оледенения;
3. Применение наземных данных о высоте снежного покрова и переходе суточной температуры воздуха через 0 °С в сторону положительных температур для гидрологического прогнозирования.
4. Применение спутниковой информации для долгосрочного прогноза стока реки Нарын и основных ее притоков на период вегетации и его месяцы для интегрированного управления водными ресурсами и предупреждения опасных гидрологических явлений (гидрологических засух и наводнений).

Научная новизна работы. Разработанные автором диссертации методы долгосрочного гидрологического прогнозирования на основе данных снимков MODIS, данных наземных наблюдений о высоте и продолжительности залегания снежного покрова, а также использования моделирования в R-program, модели гидрологической засухи являются **инновационными** и ранее в Кыргызстане не применялись.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования:

1. Методика была внедрена в систему оперативного гидрологического прогнозирования Кыргызгидромета в марте 2015г. В период с 2015 по 2019 годы методика успешно прошла апробацию и принята к работе, что позволяет Кыргызгидромету проводить качественное гидрологическое обеспечение на научной основе и на современном мировом уровне.

2. Результаты расчетов по составленным автором методикам направляются в правительственные организации, Министерство энергетики КР, ОАО «Электрические станции», Департамент водного хозяйства и областные водные хозяйства, что позволяет им эффективно решать вопросы планирования использования водных ресурсов как между трансграничными республиками, так и внутри республики, между водохозяйственными объектами, а также решать вопросы разработки режима каскада ГЭС на реке Нарын.

3. Решаются вопросы своевременности и эффективности обслуживания и гидрометобеспечения как местных потребителей гидрологической продукции, так и соседних национальных гидрометслужб.

Экономическая значимость результатов диссертационного исследования:

1. Обеспечение и содержание наземной сети наблюдений Кыргызгидромета требует больших финансовых затрат, поэтому необходимо использование альтернативных источников информации, таких как находящиеся в бесплатном и свободном доступе в интернете спутниковые снимки MODIS, примененные в разработанных автором методиках.

2. Сбор информации о накоплении осадков в горах республики занимает достаточно много финансовых затрат на ее доставку в Управление связи Кыргызгидромета, т.к. многие пункты наблюдений находятся в труднодоступных горных районах на значительном расстоянии от услуг сотовой связи и доступа к

интернету, в отличие от спутниковой информации, которая поступает в Кыргызгидромет по интернету ежедневно и по всей территории республики.

3. Значительный ущерб населенным пунктам, сельхозугодьям, дорогам, каналам и т.д. приносят опасные гидрологические явления. Разработанная соискателем эффективная методика позволяет заблаговременно предупреждать об ожидаемых опасных гидрологических явлениях, многоводье или маловодье соответствующие организации (МЧС КР, водохозяйственные и гидротехнические компании) для своевременного принятия ими превентивных мер по уменьшению степени воздействия и последствий негативных экологических явлений.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Влияние на изменение стока реки Нарын основных климатических факторов (площади, продолжительности и максимальной высоты снежного покрова, даты перехода температуры воздуха через 0 °С, осадков за холодный период и температуры воздуха за осенний и весенний периоды).

2. Вклад талого снегового и ледникового, а также грунтового питания в сток реки Нарын в современный период.

3. Применение данных наземных наблюдений за максимальной высотой и продолжительностью снежного покрова для долгосрочного прогноза водности.

4. Применение информации о снежном покрове спутниковых снимков MODIS, статистического анализа в R-program и модели гидрологической засухи для разработки инновационных методов долгосрочного гидрологического прогнозирования и рационального водопользования.

Личный вклад соискателя.

Соискателем самостоятельно решены следующие задачи:

- проведение анализа климатических факторов, и их влияния на средний многолетний и средний за вегетационный период сток реки Нарын на его внутригодовое изменение и изменение в его компонентах за весь имеющийся ряд наблюдений со дня открытия метеостанций и гидропостов по 2018 год;

- определение качественного и количественного состава предикторов для составления надежных, своевременных и эффективных прогнозов водности рек Нарынского бассейна;

- разработка методики прогноза водности рек Нарынского бассейна на вегетационный период и его месяцы на основе данных наземных наблюдений (о высоте и продолжительности снежного покрова);

- разработка методики долгосрочного гидрологического прогнозирования на реках Нарынского бассейна на основе данных снежного покрова спутниковых снимков MODIS;

- использование статистической модели GFZ, разработанной в R-program и модели гидрологической засухи для прогнозирования водности реки Нарын;

- внедрение перечисленных методик в систему оперативного гидрологического прогнозирования Кыргызгидромета, проведение обучающего тренинга по их использованию, оказание методической помощи в освоении методик в период апробации с 2015 по 2019 годы.

Апробация результатов исследований. Основные результаты работы докладывались на научных конференциях и симпозиумах: «Горные угрозы - 2013» (с. Бостери, Кыргызстан 2013 г.); «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии» (Бишкек, Кыргызстан, 2014 г.); Симпозиуме по Гляциологии в Высокогорной Азии, в (г. Катманду, Непал, 2015 г.); тренинге по применению методики прогноза стока рек Нарынского бассейна на основе снимков MODIS в оперативной практике Кыргызгидромета (2015 г.); 16-ом Гляциологическом Симпозиуме (г. Санкт-Петербург, Россия, 2016 г.); Международном Семинаре, организованном проектом САВа (г. Ташкент, Узбекистан, 2106 г.); Международном семинаре и рабочей встрече по проекту САВа (г. Алматы, 2016 г.); 14-ой Всероссийской ежегодной открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, природных и антропогенных объектов)» (РАН, г. Москва, 2016 г.); «Snow Hydrology» (г. Гейдельберг, Германия, 2018 г.); 17-ой Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (ИКИ РАН, г. Москва, Россия 2019 г.); «Snow Hydrology» (г. Болзано, Италия, 2020 г.).

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По теме диссертации была опубликована 21 статья из них: 3 входят в базу Скопус, 14 входят в базу РИНЦ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа содержит 4 главы, введение, выводы, практические рекомендации и приложения. Объем работы 157 страниц, включая 26 таблиц, 43 рисунка, 1 приложение и список использованных источников из 134 наименований.

Благодарности. Автор выражает признательность координаторам проекта САВа А.А. Гафурову и К. Унгер-Шаесте, а также специалистам Кыргызгидромета Э.А. Оморовой и Ж.К. Абдыкеримовой за помощь в реализации Соглашения по проекту. Также автор выражает благодарность к.г.н., доценту С.К. Аламанову и секретарю гидрологического совета, к.ф.-м.н. Т.В. Тузовой за помощь в подготовке материала диссертации.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении раскрывается актуальность темы диссертации, изложены основные положения, выносимые на защиту, а также их научная новизна, практическая значимость и личный вклад автора.

В первой главе приводится краткий обзор и анализ литературных источников. Анализ работ предшествующих исследователей показал, что физико-географические и климатические условия, гидрография и гидрогеология Нарынского бассейна хорошо были изучены в 1960-1980-ые годы.

Оценка современного состояния водных ресурсов Кыргызстана была изучена по работам Д.М. Маматканова, Л.В. Бажановой и В.В. Романовского (2006).

Методы оценки влияния метеопараметров на сток и расчета основных компонентов стока были использованы из работ В.Л. Шульца (1965), О.П. Щег-

ловой (1960), А.О. Кеммериха (1972), С.К. Аламанова (1977), А.А. Эргешева (1992) и Л.В. Бажановой (2017, 2018). Соискатель также ознакомился с опытом исследователей, применявших другие методы к оценке ледникового стока, как например, А.Н. Диких (1999) и В.Г. Коновалов (1985, 1993, 2015).

Методы долгосрочного гидрологического прогнозирования для рек Центральной Азии, в том числе и для Нарынского бассейна, были изучены по работам В.М. Мухина (1982), Т.С. Абальян (1956), Л.Н. Боровиковой (1972, 1977), Р.М. Денисова (1965, 2000), Н.А. Агальцевой (2000), Е.Н. Гирник (1971), Л.В. Бажановой (1979) и С.К. Аламанова (1977), а также по учебникам и руководствам по гидрологическим прогнозам.

Применение спутниковой информации в гидрологическом прогнозировании и моделировании было изучено соискателем по работам А. Rango (1977), D. Yang (2003), N. Delbart (2015), M. McGuire (2015), A. Tahir (2011) и других исследователей, которые показали целесообразность и эффективность использования спутниковой информации в гидрологическом прогнозировании и моделировании.

Разработка в 2009-2013 году А.А.Гафуровым программы MODSNOW (2009, 2016) по удалению облачного покрова со снимков MODIS, позволила использовать спутниковую информацию о снежном покрове для разработки методов долгосрочного гидрологического прогнозирования в оперативном гидрологическом прогнозировании.

Опыт использования водных ресурсов Центрально-Азиатского региона с применением принципов КИОВР и ИУВР для их рационального использования, показывает, что адаптивный и научно-обоснованный подход невозможен без учета влияния климатических изменений на сток рек. Качественный мониторинг водных ресурсов и снежного покрова необходим для эффективного планирования, прозрачной водной политики и справедливого распределения водных ресурсов в странах Центральной Азии.

Вторая глава посвящена объекту и методам исследования.

Река Нарын принадлежит к бассейну Аральского моря, являясь крупнейшим притоком реки Сырдарья, а также основной гидроэнергетической и водохозяйственной артерией республик Центральной Азии. В 1974г. на реке было построено Токтогульское водохранилище (проектный объем 19,5 млрд.м³), являющееся одним из главных водопотребителей. Ниже по течению реки расположен каскад из нескольких водохранилищ – энергетического, ирригационного и регулирующего назначения. Площадь орошаемых пахотных земель в кыргызской части бассейна составляет около 115 тыс. –120 тыс. га. Исследуемая в диссертации область – территория бассейна реки Нарын до Токтогульского каскада ГЭС с водосборной площадью около 58 000 км².

Анализ изменения основных метеопараметров был проведен за период с 1945 по 2015 годы по метеостанциям Кыргызгидромета, находящимся в верховье реки Нарын – Тянь-Шань и г.Нарын, на правобережных притоках реки – Ит-Агар, Тюя-Ашуу, Суусамыр и Чаек, и на левобережных притоках – Ат-Башии Баетово. В работе использованы данные о высоте и продолжительности зале-

гания снежного покрова в бассейне реки Нарын, которые проводятся по постоянным рейкам на метеостанциях Тянь-Шань, Нарын, Ит-Агар, Чаек, Тюя-Ашуу и Суусамыр. Динамика стока рек Нарынского бассейна изучалась за период наблюдений со дня открытия гидропостов и по 2019 год по данным Кыргызгидромета. Расположение метеостанций и гидропостов на территории Нарынского бассейна обозначено на рисунке 1.

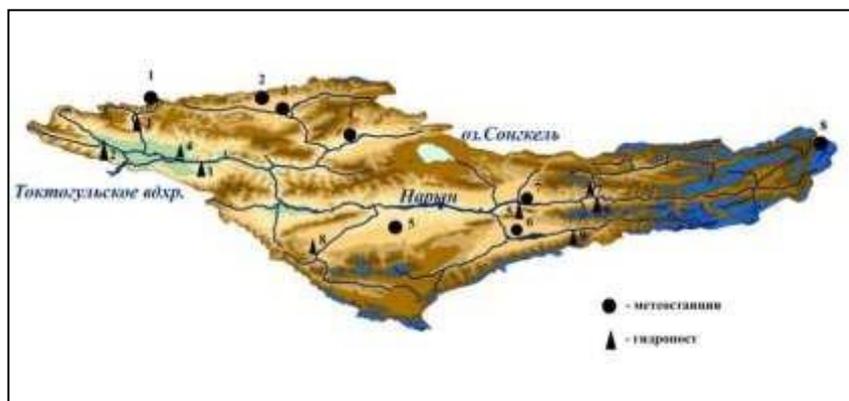


Рис. 1. Схема расположения гидрометнаблюдений в Нарынском бассейне. Метеостанции и метеопосты: 1- Ит-Агар, 2- Тюя-Ашуу, 3- Суусамыр, 4- Чаек, 5- Баетово, 6- Ат-Баши, 7- г.Нарын, 8- Тянь-Шань. Гидропосты: 1- р.Нарын- с.Уч-Терек, 2- р.Узун-Акмат- устье р.Уста-Сай, 3- р.Чычкан- устье р.Бала-Чычкан, 4- р.Торкент- кишл.Торкент, 5- р.Нарын- г.Нарын, 6- р.Большой Нарын- устье, 7- р.Малый Нарын-устье, р.Алабуга- кишл.Кош-Дебео, р.Ат-Баши- устье Ача-Команды.

Орография Нарынского бассейна и значительные различия в высоте местности определяет его основные климатические особенности и разнообразие бассейна. В целом климат характеризуется суровостью, континентальностью и сухостью, можно отметить также, что летние осадки преобладают над зимними, а весной наблюдается усиление циклонической деятельности. Наиболее водоносные правобережные притоки реки Нарын, где бассейн открыт для северо-западного и западного переноса влагонесущих масс, менее водоносны левобережные притоки.

Площадь оледенения в Нарынском бассейне сократилась на 17%, при этом количество ледников, имеющих размеры менее 1 км² увеличилось почти в три раза. Площадь оледенения в верховье реки Нарын сократилась на 20%, при этом количество ледников, имеющих размеры менее 0,1 км² увеличилось почти в два раза.

Учитывая все разнообразие климатических условий Нарынского бассейна, сделан вывод, что необходимо учитывать информацию об изменениях метеопараметров во всех частях Нарынского бассейна.

Для проведения анализа влияния различных климатических факторов на сток реки Нарын был выбран метод построения корреляционной матрицы, ко-

торый позволяет выделить наиболее эффективные метеопараметры по вкладу в изменение стока реки Нарын.

Для оценки вклада в годовой сток основных источников питания (грунтового стока, талого снегового и ледникового) и их изменения использовался метод расчленения гидрографа.

Так как основным источником питания реки Нарын являются запасы сезонного снега в горах, информация об условиях накопления снега за холодный период времени является основным аргументом при разработке методик долгосрочного гидрологического прогнозирования. Для бассейна реки Нарын с его обширной территорией, широким высотным диапазоном и разнообразием климатических условий, наземных точечных данных о высоте снежного покрова и количестве осадков за холодный период редкой наблюдательной сети Кыргызгидромета недостаточно. Получение пространственной информации о площади снега в бассейне реки Нарын и на его основных притоках по данным спутниковых снимков является надежным источником для оценки условий накопления снега.

Для составления методик долгосрочного прогноза водности реки использовались физико-статистические методы гидрологического прогнозирования и данные снимков MODIS, обработанных в программе MODSNOW (программа по удалению облачного покрова) и ArcGIS®.

Учитывая влияние грунтового питания на сток рек Нарынского бассейна в период половодья, а также значительные талую снеговую и ледниковую составляющие, для расчета стока за вегетационный период и его месяцы мы использовали уравнения множественной линейной корреляции. В качестве аргументов в методиках были использованы расходы воды за предшествующий прогнозу месяц и данные о площади снежного покрова со снимков MODIS за 2000-2015 годы. Для подбассейнов со значительной ледниковой составляющей, зависящей от температуры воздуха и ее аномалий в высокогорной зоне, был использован дополнительный индикатор – температура воздуха за летний период.

Уравнения для прогноза водности рек Нарынского бассейна и притока воды в Токтогульское водохранилище имеют следующий общий вид:

$$Q_t = aS_{sn} + bQ_{t-1} + c \quad (1)$$

$$Q_t = aS_{sn} + bQ_{t-1} + dT_{6-8} + c \quad (2)$$

$$Q_t = aS_{sn} + bQ_{t-1} + dT_{nd} + c \quad (3)$$

где Q_t – расход воды за прогнозируемый период;

Q_{t-1} – расход воды за месяц (декаду), предшествующий прогнозу;

S_{sn} – площадь снежного покрова (в %) по отношению к общей площади бассейна;

T_{6-8} – температура воздуха за летний период;

T_{nd} – дата перехода температуры воздуха через 0 °C в сторону положительных температур (количество дней от 1 января).

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

Чтобы рассмотреть пространственную и временную изменчивость снежного покрова в бассейне, был введен индекс снежного покрова (SCI), который представляет собой суммарную площадь снежного покрова для гидрологического года:

$$SCI_t = \sum_{n=1}^{n=365/366} SCA_i \quad (4)$$

где SCI_t - индекс снежного покрова (Snow Cover Index) за год t;

SCA_i – площадь снежного покрова (Snow Cover Area) для дней n, начиная с 1 сентября по 31 августа.

Кроме уравнений множественной линейной регрессии с перечисленными выше предикторами, для прогноза стока рек Нарынского бассейна, использовано статистическое моделирование в R-program с открытым кодом, которое широко применяется для анализа различных рядов метеорологических и гидрологических данных. Модель в автоматическом режиме проводит подбор линейных зависимостей на основе корреляционного анализа предикторов (площади снежного покрова, суммы осадков и температуры воздуха за холодный период и предшествующего стока за период межени) и предиктанта (средний расход воды за вегетационный период) и предлагает наилучшие линейные уравнения для прогноза стока рек.

Как дополнительный метод в оценке экстремального количества осадков и определения зимне-весенних аномалий осадков в начале октября, для территории Нарынского бассейна применена методика гидрологической засухи, разработанная в инструментах R-program.

В главе 3 представлены результаты исследования влияния изменения климата на сток реки Нарын и ее притоков.

С целью выявления особенностей многолетнего хода величины годового стока реки Нарын, была построена разностная интегральная кривая на основании данных Кыргызгидромета, на которой прослеживается два цикла изменения водности, как в верховье реки Нарын по данным гидропоста г.Нарын, так и в нижнем течении по створу с.Уч-Терек. Период с 1939 по 1992г. характеризуется постепенным понижением водности, а с 1993 по 2015 гг. – стабильным повышением водности. Среднемноголетний расход воды на реке Нарын – г.Нарын за период с 1993 по 2015 гг. составил 106 м³/с или 121% от значений за период с 1939 по 1992 гг. (87,1 м³/с), по притоку в Токтогульское водохранилище расходы воды за период с 1993 по 2015гг. составили 431 м³/с или 113% от значений за период с 1950 по 1992 гг. (382 м³/с).

Река Нарын в своем верхнем течении (г. Нарын) относится к ледниково-снеговому, а в нижнем – к снегово-ледниковому питанию и в период половодья имеет два пика водности, первый – в период таяния сезонного снега (апрель-июнь) и второй в период таяния ледников (июль-сентябрь).

Для выявления тесноты зависимости среднегодового и среднего за вегетационный период стока реки Нарын с метеопараметрами была использована корреляционная матрица, составленная для верховьев реки Нарын и притока в Токтогульское водохранилище. В качестве аргументов были использованы данные о количестве осадков за холодный период (октябрь-апрель), температура воздуха за сезоны (зима, весна, лето, осень), даты перехода температуры воздуха в сторону положительных температур.

Наибольший коэффициент корреляции – 0,60-0,78 – между среднегодовым (средневегетационным) стоком и метеопараметрами выявлен с осадками за холодный период времени, причем в нижнем течении реки Нарын (с. Уч-Терек и приток в Токтогульское водохранилище) связь с осадками наиболее тесная, в сравнении с верхним течением (г. Нарын).

Коэффициенты корреляции с температурой воздуха за весенний и осенний периоды равны 0,30-0,48. Несколько меньше коэффициент корреляции 0,30-0,35 между стоком в верховье реки Нарын (г. Нарын) и температурой воздуха за летний период, вероятно из-за того, что от нее зависит интенсивность таяния ледников в высокогорной зоне. Между расходами воды в нижнем течении реки Нарын и температурой воздуха в зимний период корреляция характеризуется коэффициентами 0,30-0,32, что связано с влиянием зимних температур (суровости зимы) на условия снегонакопления.

Зависимость оказалась тесной между датами перехода температуры воздуха через 0 °С в сторону положительных температур и стоком – 0,60-0,73. Однако такая связь была получена лишь с метеостанцией Тянь-Шань, данные же других метеостанций оказались не репрезентативными.

Полученные результаты позволили провести анализ метеопараметров по репрезентативным станциям.

На формирование стока реки Нарын наибольшее влияние оказывают осадки за холодный период времени (октябрь - апрель). Проведенный нами анализ данных о суммарном количестве осадков за холодный период года в бассейне реки Нарын показывает повышение значений на 5-12 % за период с 1994 по 2015 гг. в сравнении с периодом с 1945 (1966г.) по 1993 гг.

Соискателем был проведен анализ по данным наиболее репрезентативных метеостанций Ит-Агар и Нарын. По сравнению с периодом 1945 – 1973 гг. (1978, 1988, 1993), повышение температуры воздуха отмечалось: в зимний период (1978-2015 гг.) – на 1,3-1,9; в летний период (1973-2015 гг.) – на 0,8-1,1; в весенний период (1993-2015 гг.) – на 1-1,2; в осенний период (1988-2015 гг.) – на 0,8-1,5 °С.

Значительное влияние на изменение стока оказывает увеличение теплого периода, оказывающее влияние на таяние сезонного снега и ледников в горах. Так, по данным метеостанции Нарын, сумма положительных температур воздуха, рассчитанная как среднее по десятилетиям с 1945 по 2015 гг., увеличилась с 2500 до 3000 °С. По данным метеостанции Нарын, имеющей непрерывный ряд наблюдений, за период 1945-2015гг., переход суточных температур воздуха че-

рез 0 °С в сторону положительных температур происходит на 10 дней раньше, а в сторону отрицательных температур – на 15 дней позже.

При такой тенденции внутригодовой режим реки Нарын будет меняться, и следует ожидать, что пики паводков будут смещаться на более ранние сроки, а также будет меняться тип питания в верхнем и в нижнем течении реки. При этом более значительную роль будет иметь сезонное снеготаяние.

Учитывая глобальное потепление с начала 1975-ых годов и деградацию оледенения в бассейне реки Нарын, водные ресурсы имеют наиболее важное значение в летний засушливый период, когда сток реки формируется за счет талых ледниковых вод. Нами было проведено исследование динамики основных компонентов стока методом расчленения гидрографа в верховьях реки Нарын за период изменения с 1992 по 2016 годы.

Метод расчленения гидрографа для оценки изменения основных источников питания (грунтового, талого снегового и ледникового стока) был применен для створа р.Нарын – г.Нарын к последнему периоду стабильного повышения водности с 1993 по 2016 гг. Сравнительные графики расчленения гидрографов стока за 1992 и 2016 годы показаны на рис. 2. В таблице 1 представлены результаты расчетов объемов стока от основных источников питания (в млн.м³) и в процентах от общего стока, даты начала и окончания периода таяния сезонного снега и ледников за эти 1992 и 2016 годы.

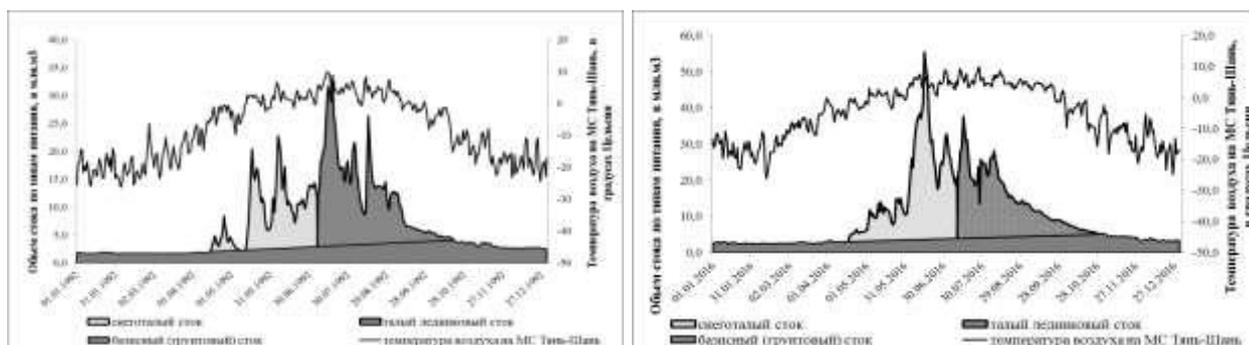


Рис. 2. График расчленения гидрографа по типам питания на р.Нарын– г.Нарын за 1992 г. (слева) и 2016 г. (справа).

Таблица 1. Объем стока основных источников питания и период таяния сезонного снега и ледников на р.Нарын– г.Нарын

Годы	Объем стока основных источников питания					
	Грунтовое питание		Талый снеговой сток		Талый ледниковый сток	
	в млн.м ³	в %	в млн.м ³	в %	в млн.м ³	в %
1992	969	39	562 (15.04-06.07)	23	940 (7.07-19.10)	38
2016	1290	35	1289 (17.04-09.07)	35	1120(10.07-26.10)	30

Анализ гидрографов стока показал, что начало половодья в верховьях реки Нарын, связанное с таянием сезонного снежного покрова, в 2016 г. и в 1992 г. началось в одни и те же даты в середине апреля и закончилось также в конце октября. Даты начала таяния ледников приходятся на 10 июля в 2016 г., что на

3 дня позже, чем в 1992 г. Анализ изменения объема годового стока показал, что в 2016 г. он составил 150 % от значений 1992 года, по типам питания стока счет таяния ледников составил 119 %, талого снегового стока – 230 %, грунтового стока – 133 % от значений 1992 г. Такие изменения связаны с более высокой температурой воздуха и сложившимися условиями накопления снегозапасов в бассейне реки Нарын. Так по данным метеостанции Нарын, сумма осадков за холодный период (октябрь-апрель) 2016 года превысила значения 1992 года в 1,5 раза.

Метод расчленения гидрографа был также применен для расчета компонентов стока в нижнем течении реки Нарын в створе с.Уч-Терек. Графики расчленения гидрографов стока по типам питания за 1992 и 2016 годы показаны на рис 3. В таблице 2 представлены результаты расчетов доли стока по типам питания (в млн.м³) и в процентах от общего стока, даты начала и окончания периода таяния сезонного снега и ледников в 1992 и 2016 гг.

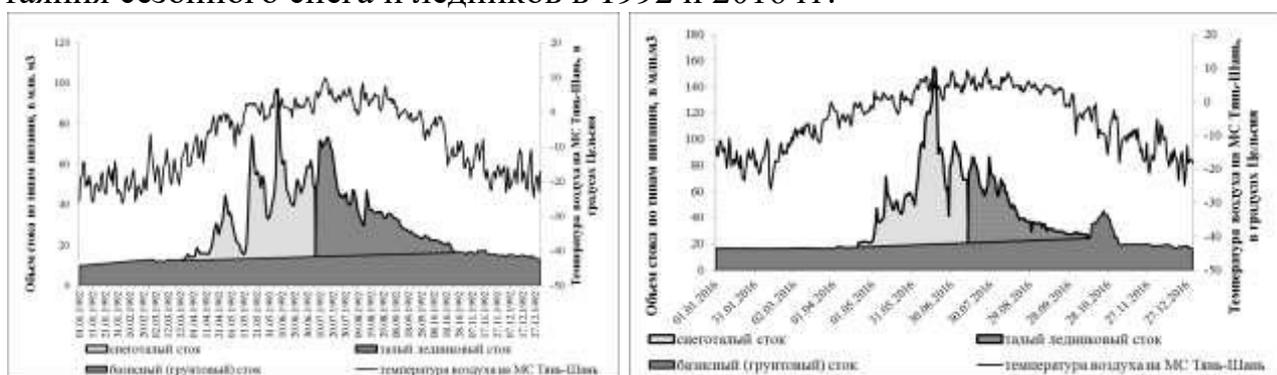


Рис. 3. График расчленения гидрографа по типам питания на р.Нарын – с.Уч-Терек за 1992 г. (слева) и 2016 г. (справа).

Таблица 2. Объем стока основных источников питания и период таяния сезонного снега и ледников на р.Нарын – с.Уч-Терек

Годы	Объем стока основных источников					
	Грунтовое питание		Талый снеговой сток		Талый ледниковый сток	
	в млн.м ³	в %	в млн.м ³	в %	в млн.м ³	в %
1992	5091	51	2536 (24.03-06.07)	26	2311 (07.07-25.10)	23
2016	7297	54	3954 (17.04-11.07)	30	2120 (12.07-06.11)	16

Анализ гидрографов стока показал, что половодье в створе с. Уч-Терек в 2016 г. по сравнению с 1992 г. началось почти на месяц (на 25 дней) позже, закончилось также в конце сентября. Но следует отметить, что с 2010 г. по настоящее время, из-за ввода в эксплуатацию каскадов ГЭС Камбараты-2, находящихся выше гидропоста Уч-Терек, суточный ход гидрографа реки Нарын имеет небольшие изменения, поэтому анализ дат начала половодья и окончания половодья затруднен. Так, например, на гидрографе реки в октябре 2016 г. наблюдается скачок водности, тогда как при естественном стоке таких подъемов на реке в период октябрь - февраль не наблюдается (рис. 4 (справа)). Однако в течение

года объем стока выравнивается, т.к. объем воды в водохранилище Камбарата-2 небольшой (70 млн. м³) и речной поток в основном проходит транзитом.

Даты начала таяния ледников приходятся на 12 июля в 2016 г., т.е. на 5 дней позже по сравнению с 1992 г. Анализ изменения годового объема стока, показал, что в 2016 г. он составил 135 % от значений 1992 года, при этом объем стока за счет таяния ледников составил 92 %, талого снегового стока – 156 %, грунтового стока – 143 % от значений 1992 года. Как и в створе г. Нарын, связаны с более высокой температурой воздуха и накоплением снега в 2016 г. по сравнению с 1992 г.

Сравнение полученных результатов расчета основных компонентов стока реки Нарын по методу генетического вертикального расчленения гидрографа с результатами других исследователей, которые производили расчеты стока с использованием моделирования и установленных зависимостей с температурой воздуха, показало его эффективную применимость для верховьев реки Нарын, где площадь бассейна составляет 10,5 тыс. км². Для всего бассейна реки Нарын до створа с.Уч-Терек с площадью 58,0 тыс. км², этот метод не эффективен, т.к. различный уровень залегания грунтовых вод в бассейне реки, различная степень оледенения в верховьях основных притоков, не дают достоверной оценки в первую очередь ледникового, а также талого снегового и, зависящего от них, грунтового питания реки.

Одним из наиболее важных факторов, оказывающих непосредственное и наибольшее влияние на сток, является снежный покров. Автором был проведен анализ данных по снежному покрову за последние 15 лет (2000 – 2015 годы) по постоянным рейкам на метеостанциях Нарынского бассейна, который показывает его основные особенности. Годы с наибольшими значениями высоты и продолжительности залегания снежного покрова (многоснежные) соответствуют многоводным годам, и, наоборот, годы с наименьшими значениями высоты и продолжительности залегания снежного покрова (малоснежные) – маловодным годам (рис. 4).

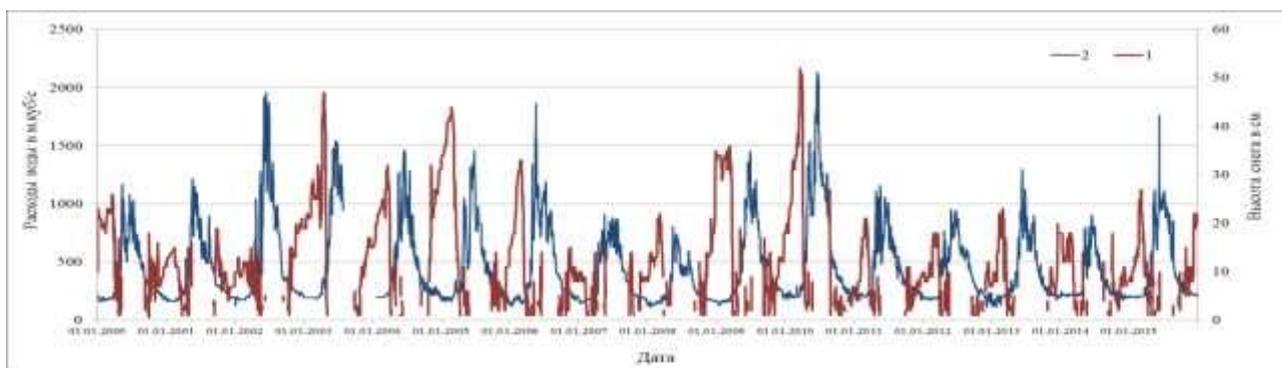


Рис. 4. График совмещенных данных суточного хода высоты снега на метеостанции Тянь-Шань (1) и гидрографа стока реки Нарын (2).

Для выявления репрезентативных станций, имеющих высокую тесноту зависимости характеристик снежного покрова с водностью рек в период половодья, была построена корреляционная матрица. Наибольшая теснота зависимости (или статистически значимая) между расходами воды на гидропостах Уч-

Терек, г.Нарын, Чычкан и притоком воды в Токтогульское водохранилище с высотой и продолжительностью залегания снежного покрова наблюдалась с данными МС Тянь-Шань, $R=0,66-0,84$.

В главе 4 приведены результаты по разработке инновационной методики долгосрочного прогноза водности рек Нарынского бассейна и притока воды в Токтогульское водохранилище.

Продолжительность и максимальная высота снежного покрова по данным репрезентативной метеостанции Тянь-Шань оказывает непосредственное влияние на сток рек в период половодья. С помощью статистического анализа в Excel были рассчитаны уравнения линейной зависимости стока рек на период половодья от количества дней со снежным покровом за холодный период (сентябрь-апрель) представленные в таблице 3.

Таблица 3. Прогностические уравнения для рек Нарынского бассейна на период май-сентябрь с данными метеостанции Тянь-Шань.

№	Название объекта	Расчетное уравнение	R	S/σ
1	Приток в Токтогульскоевдхр.	$6,02 * N_{sn} - 417$	0,82	0,58
3	р.Нарын – с.Уч-Терек	$4,94 * N_{sn} - 329$	0,84	0,54
5	р.Нарын – г. Нарын	$1,6 * N_{sn} - 101$	0,81	0,59
6	р.Чычкан – устье р.Бала-Чычкан	$0,25 * N_{sn} - 14,3$	0,66	0,75

Примечание: N_{sn} - количество дней со снежным покровом за холодный период (сентябрь-апрель) по данным метеостанции Тянь-Шань, R– коэффициент корреляции, S/σ –критерий применимости качества прогнозов.

Недостатком предложенных уравнений при использовании в оперативном гидрологическом прогнозировании является применение в качестве аргумента данных о снежном покрове лишь одной, оказавшейся наиболее репрезентативной, высокогорной метеостанции Тянь-Шань. Таким образом, достоверность составленного прогноза зависит от качества данных, регулярности наблюдений и технической исправности этой метеостанции. Данные о снежном покрове других метеостанций не могут использоваться для получения достоверного прогноза, т.к. не являются репрезентативными.

В качестве предиктора для составления прогноза стока на реках Нарынского бассейна на период половодья были использованы данные спутниковых снимков MODIS, обработанные в программе MODSNOW-Tool.

По формуле 1 были рассчитаны уравнения множественной линейной регрессии с двумя предикторами: с площадью снежного покрова и с предшествующим стоком. Использовался также третий предиктор по формуле 2 – температура воздуха за летний период в расчетных уравнениях для верховьев реки Нарын – г.Нарын, имеющей значительную долю ледникового питания. Расчеты стока на период вегетации и его месяцы с использованием спутниковых снимков MODIS нами были произведены по формулам 1 и 2. Для прогноза притока воды в Токтогульское водохранилище использовалась информация о площади снежного покрова, рассчитанная в программе MODSNOW-Tool, получаемая

ежедневно. Для прогноза водности рек остальных водосборов использовалась программа ArcMap 10.1 и пакет программ Spatial Analyzed Tool.

Результаты расчетов спрогнозированного стока рек Нарынского бассейна и притока воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период и на период май-сентябрь с использованием уравнений множественной линейной регрессии с площадью снежного покрова по данным снимков MODIS и предшествующим стоком представлены на рис.5 и 6.

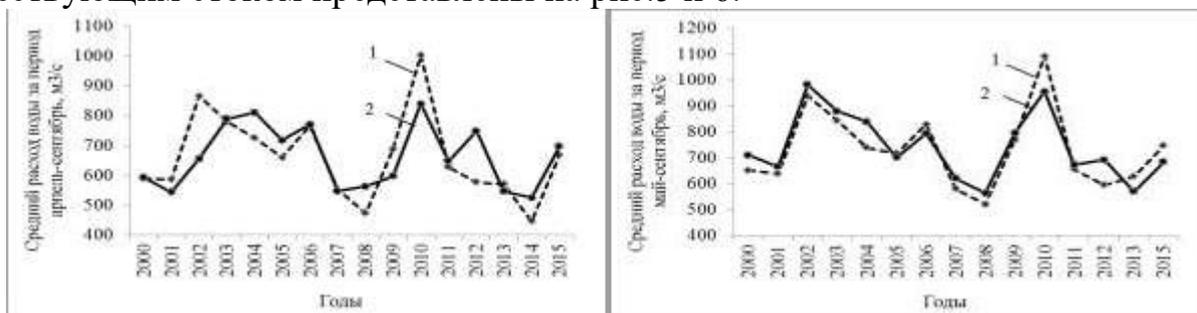


Рис. 5. График фактического (1) и спрогнозированного (2) по уравнению 1 расхода воды по притоку воды в Токтогульское водохранилище.

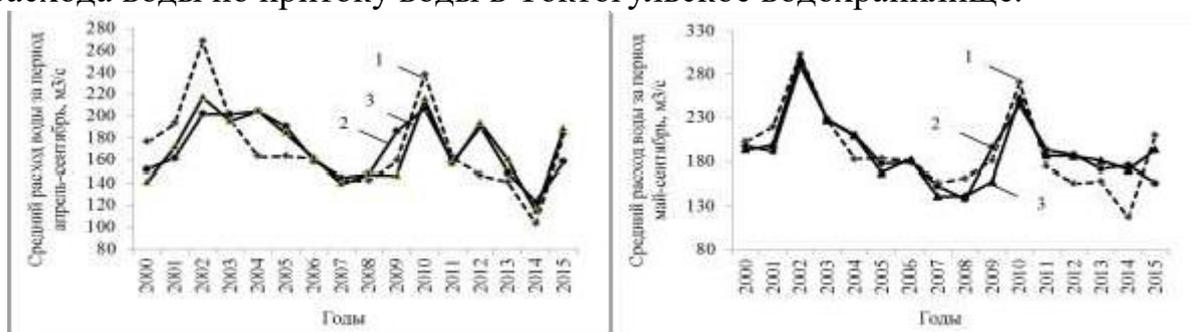


Рис. 6. График расхода воды фактического (1) и спрогнозированного (2) по уравнению 1 и (3) по уравнению 2 на реке Нарын – г. Нарын.

Коэффициент корреляции составил 0,73-0,92 (для периода май-сентябрь) и 0,60-0,76 (для периода апрель-сентябрь), критерий применимости и качества прогнозов S/σ - 0,39-0,68 (для периода май-сентябрь) и 0,65 - 0,80 (для периода апрель-сентябрь). Разработанные уравнения соответствуют критериям качества методики хорошая и удовлетворительная. Обеспеченность допустимой погрешности за 2000 – 2015 гг. составила для периода май-сентябрь 75-88 %, исключение река Чычкан – 64 % и 75-81 % для периода апрель-сентябрь.

Преимущество использования спутниковой информации заключается в получении пространственной характеристики снежного покрова всего речного бассейна, тогда как информация по данным метеостанции характеризует условия снегонакопления лишь в одной точке. В условиях, когда в бассейнах отсутствует репрезентативная метеостанция, составление методики прогноза стока рек возможно только на основе данных о снежном покрове со спутниковых снимков.

Для проверки методики для последующих проверочных лет (2017, 2018 и 2019 гг.) в ГИС инструментах были проведены расчеты площади снежного снежного покрова на 30 марта по данным снимков MODIS, обработанных в

программе MODSNOW-Tool (рис. 7). В таблице 4 расчеты, проведенные за последние эти проверочные годы с оправдываемостью прогнозов 100 %.

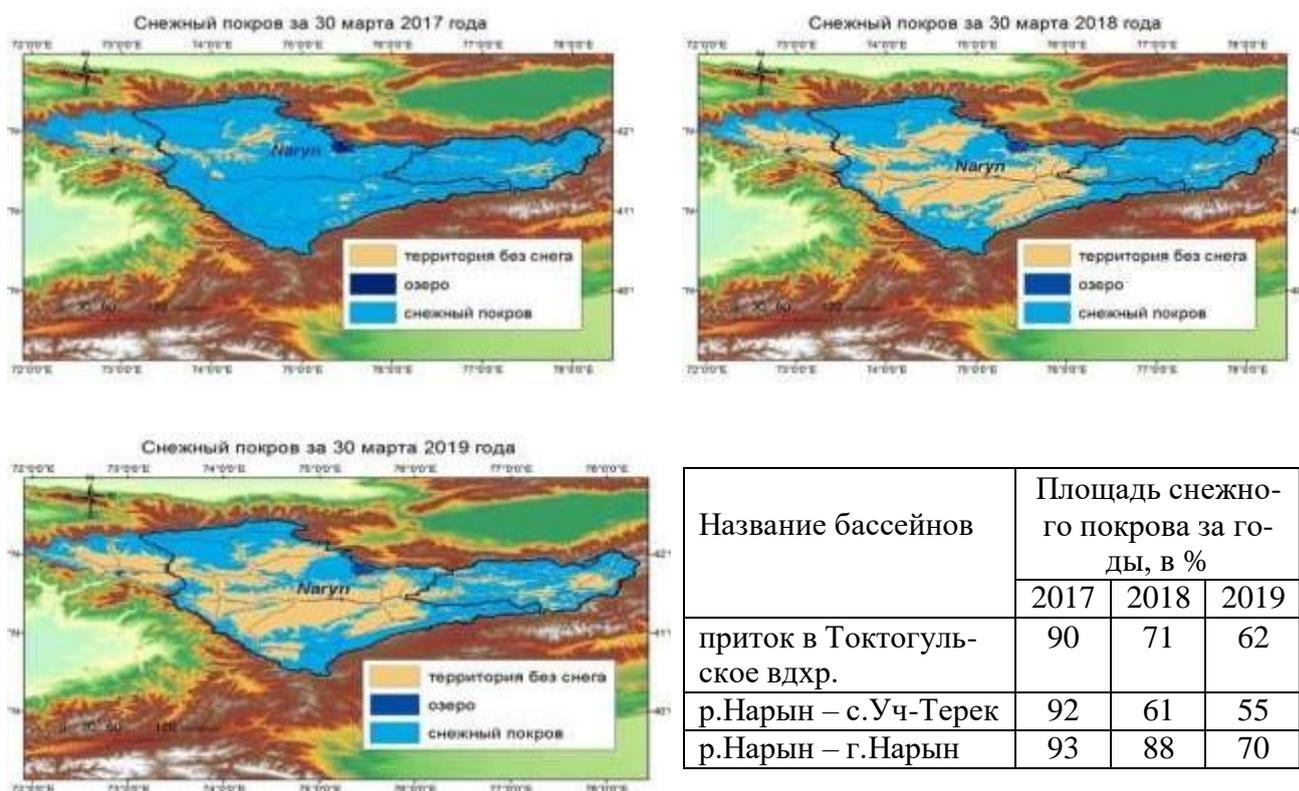


Рис. 7. Снежный покров за 30 марта 2017-2019 гг. по данным MODIS.

Таблица 4. Прогноз расхода воды на вегетационный период 2017 – 2019 проверочные годы, рассчитанный по уравнению 2.11.

Название реки - гидророста	Фактический расход воды, в м ³ /с	Спрогнозированный расход воды, в м ³ /с	Допустимая погрешность прогнозов	Оправдываемость
За 2017 год				
Приток в Токтогульское вдхр.	831	817	100,0	оправдался
р.Нарын – с.Уч Терек	712	688	92,6	оправдался
р.Нарын – г.Нарын	190	208	26,0	оправдался
За 2018 год				
Приток в Токтогульское вдхр.	642	724	100,0	оправдался
р.Нарын – с.Уч Терек	581	562	92,6	оправдался
р.Нарын – г.Нарын	161	186	26,0	оправдался
За 2019 год				
Приток в Токтогульское вдхр.	590	663	100,0	оправдался
р.Нарын – с.Уч Терек	485	533	92,6	оправдался
р.Нарын – г.Нарын	175	166	26,0	оправдался

Метод, использующий данные о площади снежного покрова MODIS для прогнозирования водности притоков реки Нарын, на которых отсутствуют наблюдения за стоком с 1990-ых годов, показал хорошие результаты ($R^2 = 0,62-0,77$). Проведенные нами исследования показали, что предложенный здесь метод может быть применен как для рек снегово-ледникового питания, сток рек которых формируется в основном за счет талых вод сезонного снега, так и для рек ледниково-снегового питания, со значительной долей талого ледникового стока. Так, одними из важных объектов в исследуемом бассейне являются основные притоки реки Нарын – Ат-Башы, Алабуга и Торкент, на которых наблюдения были прекращены в 1995-1997 годах. Однако, информация об ожидаемом стоке на период половодья, является крайне важной, т.к. подтопления, наводнения и гидрологические засухи в экстремальные по водности годы приносят ущерб сельскому хозяйству, населенным пунктам, автодорогам и т.д.

Одним из основных преимуществ метода является возможность прогнозирования стока рек, расположенных в высокогорных бассейнах (на высоте 2,4-3,7 км в данном исследовании), где получение информации о снегонакоплении или осадках в зимний период проблематично без использования спутниковых данных. ГИС позволяет интерпретировать информацию, полученную с помощью дистанционного зондирования, для дальнейшего применения в различных подбассейнах.

Использование операционной системы R-program расширяет возможности применения различных методологий для составления качественного и надежного гидрологического прогноза на вегетационный период. Программное обеспечение R-program было внедрено в систему Кыргызгидромета в марте 2017 г. и прошло апробацию в течение 2017-2019 годов, но работы по усовершенствованию R-программы продолжают и в настоящее время.

В программе были рассчитаны 20 наиболее эффективных моделей для прогноза стока реки Нарын – г.Нарын и притока в Токтогульское вдхр. (Рис.8).

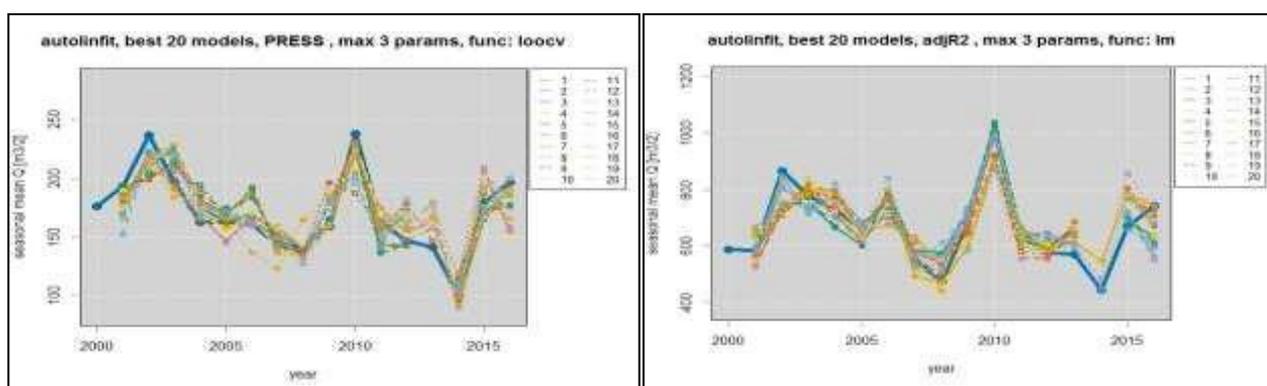


Рис. 8. Графики фактического (синий цвет) и спрогнозированного по 20 моделям расходов воды по створу г.Нарын (слева) и притоку воды в Токтогульское водохранилище (справа).

Входящими данными для расчета прогнозов являются переменные: среднемесячная температура воздуха и месячная сумма осадков по опорным (репрезентативным) метеостанциям, средние месячные расходы воды по притоку в

Токтогульское водохранилище, створам Уч-Терек и г.Нарын, суточные данные площади снежного покрова для Нарынского бассейна, взятые из программы MODSNOW-Tool.

Прогнозы на экстремальные по водности годы маловодные и многоводные оправдались, но в некоторые годы со средней водностью (2004, 2012, 2013) результаты расчетов были хуже. Проверочные прогнозы на 201-2019 годы оправдались на 100 %. Коэффициент корреляции (R^2) составил 0,70-0,84, критерий применимости и качества прогнозов S/σ - 0,30-0,47. Программа имеет один недостаток – для реализации расчетов в программе требуется подготовка суточной информации о площади снежного покрова с 2000 г. по текущую дату.

Прогноз гидрологической засухи на зимне-весенний период, составленный в ноябре, дает предпосылки для оценки возможной экстремальной водности заранее, что повышает эффективность гидрологических прогнозов.

Для прогноза количества атмосферных осадков в зимний и зимне-весенний период в Нарынском бассейне необходимо учитывать их зависимость от Арктической / Северо-Атлантической осцилляции, западного переноса воздушных масс, Высокой Сибири, Эль-Ниньо Южной осцилляции, температуры поверхности моря, и, в меньшей степени, муссонов. Для расчета корреляционных зависимостей количества осадков в зимний период от перечисленных факторов был введен индекс SPI (Standard Precipitation Index), расчеты основаны на глобальных данных аномалий CRU за период 1968 – 2010 годы (рассчитанной для 2,5 градусов широты/долготы). Расчеты производятся в R-program, куда загружаются данные с интернета, находящиеся в свободном бесплатном доступе.

Спутниковая информация о снежном покрове снимков MODIS также была использована для разработки методики прогноза водности рек на месяцы вегетации. В качестве предикторов для прогноза стока на май использовались два параметра – предшествующий сток и площадь снежного покрова в нижнем течении реки, температура воздуха на май и площадь снежного покрова в верхнем течении. Удовлетворительное качество методики прогноза на май S/σ было в пределах 0,67 – 0,79, обеспеченность допустимой погрешности 63-68 %. Для прогноза стока реки на июнь использовались три предиктора – предшествующий сток, площадь снежного покрова и число дней с положительной температурой воздуха, как в нижнем, так и в верхнем течении реки Нарын. Хорошее качество методики прогноза на июнь S/σ было в пределах 0,42 – 0,72, обеспеченность допустимой погрешности 56-88 %. Для прогноза стока реки на июль в верхнем и нижнем течении использовались два предиктора – площадь снежного покрова и предшествующий сток, для верхнего течения реки Нарын дополнительно использовалась температура воздуха за прошедший месяц (июнь). Хорошее качество методики прогноза на июль S/σ было в пределах 0,47 – 0,72, обеспеченность допустимой погрешности – 81-100 %.

Кроме площади снежного покрова для прогноза водности реки Нарын был использован индекс снежного покрова (SCI – snow cover index), который оказался значительно эффективнее, но более трудоемкий в расчетах. Были использованы данные снежного покрова снимков MODIS, обработанных в про-

грамме MODSNOW-Tool и рассчитана за каждые сутки площадь снежного покрова в процентном соотношении к площади бассейна (SCA, snow cover area) для высотных зон с интервалом в 500 метров. Наиболее высокие коэффициенты корреляции средних месячных расходов воды с индексом SCI, $R = 0,70-0,80$, для реки Нарын в створе с.Уч-Терек были в месяцы июнь, июль, август и сентябрь, в створе г.Нарын – в июне и июле. В апреле и мае для обоих створов и в августе и сентябре для створа г.Нарын коэффициенты корреляции были ниже, $R = 0,50-0,64$. Наибольшие коэффициенты корреляции средних месячных расходов воды с индексом SCI были с высотными зонами 3000-4500 м.н.у.м., на сентябрь – 4500-5000, на май – 500-1000 м.н.у.м. (в створе с.Уч-Терек). Рассчитанные уравнения показали высокую эффективность для прогноза стока реки Нарын в створах г.Нарын и с.Уч-Терек на месяцы с июня по сентябрь.

Проведенные исследования позволяют сделать выводы о степени влияния климатических изменений на сток реки Нарын и эффективности использования наземных и спутниковых данных о метеопараметрах для долгосрочного гидрологического прогнозирования.

Выводы

1. Составленная матрица корреляции среднегодовых и средних за вегетационный период расходов воды с метеопараметрами показала, что наибольшее влияние на сток оказывают атмосферные осадки за холодный период времени, температура воздуха за весенний и осенний периоды и даты перехода температур воздуха через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сторону положительных значений.

2. За многолетний период 1945 по 2015 годы проведен анализ влияния климатических изменений на сток реки Нарын. Было доказано, что повышение стока реки Нарын на 113-121 % и изменение его водного режима внутри года связано с изменениями климатических параметров. Так, за период с 1973 по 2015 годы в сравнении с периодом за 1945-1972 годы, температура воздуха за весенний и осенний периоды повысилась на $0,8-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а суммарное количество осадков за холодный период времени – на 5-12 %. Даты перехода температуры воздуха через $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сторону положительных температур отмечаются на 10 дней раньше, а в сторону отрицательных – на 15 дней позже, повысилась также сумма положительных температур воздуха с 2500 до 3000 $^{\circ}\text{C}$. Можно ожидать, что при сложившейся тенденции паводки на реке Нарын будут проходить на 10-15 дней раньше, и более значительную роль в питании реки будут иметь сезонные запасы снега.

3. Этот факт подтверждает также проведенное исследование компонентов стока по методу расчленения гидрографа. Так за период 1992 по 2016 годы доля талого ледникового стока понизилась на 7-8 %, а талого снегового стока увеличилась на 5-12 % в годовом стоке. Объем талого снегового стока увеличился в 1,6-2,3 раза, что связано как с общей тенденцией увеличения осадков за холодный период, так и с условиями накопления снеготопливных запасов за холодный период, в частности в 2016 году по сравнению с 1992 годом. Объем талого ледникового

стока за тот же период увеличился на 20 % в верховье реки Нарын, но понизился на 8 % в нижнем течении реки Нарын. Увеличение меженного стока реки на 30-40 % связано также с увеличением поступления талых вод сезонного снега и ледников, а также с увеличением продолжительности теплого периода.

4. Впервые для прогноза стока рек Нарынского бассейна и притока воды в Токтогульское водохранилище был проведен его корреляционный анализ с продолжительностью залегания и максимальной высотой снежного покрова по данным метеостанций Кыргызгидромета. Уравнения линейной зависимости стока рек Нарынского бассейна с количеством дней со снежным покровом за холодный период по выявленной репрезентативной метеостанции Тянь-Шань, позволяют составлять достоверный долгосрочный гидрологический прогноз.

5. Разработанная методика прогноза водности рек Нарынского бассейна и притока воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период и на период май-сентябрь по данным снежного покрова снимков MODIS соответствует критериям качества хорошая и удовлетворительная. Результаты расчета проверочных прогнозов для многоводных и маловодных лет, а также для проверочных 2017-2019 годов показали высокую – 100 % оправдываемость. Хорошее качество методики на месяцы вегетации, составленной на основе данных о площади и продолжительности залегания снежного покрова снимков MODIS, было выявлено: на май – июль с учетом площади, и июнь-сентябрь с учетом продолжительности залегания снежного покрова. Оправдываемость проверочных прогнозов за 2018 г. составила 75 %. Методика эффективна для рационального использования водных ресурсов в ИУВР.

6. Метод, использующий данные о площади снежного покрова MODIS для прогнозирования водности притоков реки Нарын, на которых отсутствуют наблюдения за стоком с 1990-ых годов Ат-Башы, Алабуга и Торкент, показал хорошие результаты для оценки ожидаемых опасных гидрологических явлений (наводнений или гидрологической засухи). Предупреждение опасных гидрологических явлений, таких как наводнения или гидрологическая засуха являются важными для уменьшения экологических рисков и принятия мер по предотвращению их последствий или сокращению степени их воздействия.

7. Использование операционной системы R-program показало свою эффективность в прогнозировании стока реки Нарын для составления качественного надежного гидрологического прогноза на вегетационный период. Качество составленной методики соответствует критериям хорошей. Оправдываемость прогнозов в экстремальные по водности, а также в проверочные (2017-2019) годы составила 100 %.

8. Прогноз гидрологической засухи на зимне-весенний период, составленный в инструментах R-program, в ноябре, дает возможность прогноза экстремальной водности на вегетационный период с большой заблаговременностью.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. **Калашникова, О.Ю.** К вопросу о гидрологических прогнозах горных рек на весенне-летний период [Текст] / О.Ю. Калашникова // Метеорология и гидрология в Кыргызстане: сб. науч. тр. – Бишкек: КРСУ. – 2003. – с.14-22.
2. **Карамолдоев, Ж.Ж.** Прогноз притока воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период [Текст] / Ж.Ж. Карамолдоев, О.Ю. Калашникова. – Бишкек: Изд-во БГУ, – 2012. – №3 (23). – С.25-31.
3. **Калашникова, О.Ю.** Изменение многолетних климатических характеристик и стока в верховьях реки Нарын в вегетационный период [Текст] / О.Ю. Калашникова // Материалы международной конференции «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии». – Бишкек: КРСУ. – 2014. С. 312-322.
4. **Калашникова, О. Ю.** К разработке методов долгосрочного прогноза стока горных рек и притока воды в водохранилище на примере реки Нарын [Текст] / О.Ю. Калашникова // Наука и новые технологии и инновации Кыргызстана. - Бишкек. – 2015. - №5. С. 100-103.
5. **Молдобеков, Б.Д.** Исследование тенденции изменения климата в Кыргызстане [Текст] / [Б.Д. Молдобеков, А.Н. Мандычев, О.Ю. Калашникова и др.] // Вестник МУК. – 2016. – №1 (29). – С. 38–46.
6. **Gafurov, A.** MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data [Text] / [A.Gafurov, S.Lüdtke, K.Unger-Shayesteh at other] // Environmental Earth Science. – 2016. – № 14. 75:1078. Doi: 10.1007/s 12665-016-5869-x
7. **Kalashnikova, O.** Water availability forecasting in Naryn basin using MODIS snow cover data [Text] / O.Kalashnikova, A.Gafurov// Vestnik KSUSTA. - Bishkek. – 2016. - №3 (53). – С. 134-140.
8. **Калашникова, О.Ю.** Влияние климатических изменений на динамику стока реки Нарын [Текст] / О.Ю. Калашникова // Результаты современных научных исследований и разработок: сборник статей Международной научно-практической конференции. Пенза: МЦНС Наука и Просвещение. – 2017. – М-133. – С. 192-198.
9. **Vobushev, T.** Climate change and adaptive management: the dynamics of natural and socio-economic risks and sustainable development of rural communities in the kyrgyz republic [Text] / T. Vobushev, J. Qi, O. Kalashnikova // Reforma. – 2017. -Vol.3, Issue 75.–P.6-14. <http://dergipark.org.tr/en/pub/reforma/issue/40380/483016>
10. **Калашникова, О.Ю.** Использование наземных и спутниковых данных о снежном покрове для прогноза стока реки Нарын [Текст] / О.Ю. Калашникова, А.А. Гафуров // Лед и Снег М.: Наука. Т. 57, №4. – 2017. – С. 507-5017. <http://dx.doi.org/10.15356/2076-6734-2017-4-507-517>
11. **Гафуров, А.** Оценка водных ресурсов в Центральной Азии методами дистанционного зондирования [Текст] / А. Гафуров, А. Нурбацина, О. Калашникова // Монография Новые методы и результаты исследований

- ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири. М. - 2018. - Т. 2. DOI: 10.25680/9340.2018.70.35.184
12. **Коновалов, В.Г.** Вопросы моделирования и прогноза стока рек снегово-ледникового типа питания в современных условиях [Текст] / [В.Г. Коновалов, В.А.Рудаков, О.Ю. Калашникова и др.] // Журнал Вопросы географии. М.: Кодекс. - 2018.- №145. – С. 123-143.
 13. **Apel, H.** Statistical forecast of seasonal discharge in Central Asia using observational records: development of a generic linear modelling tool for operational water resource management [Text] / [H. Apel,., Z.Abdykerimova, , M. Agalhanova et al] // Hydrology Earth System Sciences. – 2018. – 22, 2225-2254. <https://doi.org/10.5194/hess-22-2225-2018>.
 14. **Калашникова, О.Ю.** Предупреждение экологических рисков, связанных с подтоплениями и наводнениями в бассейнах рек Ат-Баши и Алабуга [Текст] / О.Ю. Калашникова// Наука и новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2018. – № 11. – С. 51-55.
 15. **Ниязов, Дж.Б.** Использование снимков MODIS в оценке экологических рисков, связанных с опасными гидрологическими явлениями [Текст]/ Дж.Б. Ниязов, О.Ю. Калашникова// Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. – 2018. – № 11. – С. 56-60.
 16. **Ниязов, Дж. Б.** Влияние климатических изменений на сток реки Гунт (приток реки Пяндж, бассейн реки Амударья, Таджикистан) за период 1940-2016гг. [Текст] / Дж. Б. Ниязов, О.Ю. Калашникова, С.О. Мирзохонова // Известия АН Республики Таджикистан. – № 3, 2019г.
 17. **Ниязов, Дж. Б.** Влияние метеопараметров на сток и прогноз половодья на реке Гунт (приток реки Пяндж, бассейн реки Амударья, Таджикистан) [Текст] / [Текст] / [Дж. Б. Ниязов, О.Ю. Калашникова, С.О. Мирзохонова и др.] // Материалы Международной научной конференции, посвященной 15- летию со дня образования ЦАИИЗ. Дистанционные и наземные исследования в Центральной Азии. – Бишкек. – 2019. – С. 178-186.
 18. **Ниязов, Дж. Б.** Динамика стока и прогноз половодья на реке Варзоб по данным наземных наблюдений [Текст] / Дж. Б. Ниязов, О.Ю. Калашникова // Гидрометеорология и экология. – №1. – Алматы. – 2020. – С. 163-175.
 19. **Ниязов, Дж. Б.** Оценка водных ресурсов Памиро-Алая методами дистанционного зондирования (на примере рек Кафирниган и Гунт) [Текст] / Дж. Б.Ниязов, О.Ю. Калашникова, А.А. Гафуров // Вестник КРСУ. – Бишкек. – 2020. – Т.20. №4. С 152-157.
 20. **Калашникова О.Ю.** Оценка динамики компонентов стока рек ледникового питания в горах Тянь-Шаня в условиях изменения глобального климата (на примере реки Нарын) [Текст] / О.Ю. Калашникова, С.К. Аламанов, Р.А.Усубалиев // Наука и новые технологии и инновации Кыргызстана. – Бишкек. – 2020. – № 3. – С. 8-13.
 21. **Калашникова, О.Ю.** Изменение объемов составляющих стока на реке Нарын за многолетний период 1964-2017гг. [Текст] / О.Ю. Калашникова,

- Р.А.Усубалиев, С.К. Аламанов // Известия ВУЗ-ов Кыргызстана. – Бишкек. – 2020. – № 2. – С. 8-13.
22. **Калашникова, О.Ю.** Прогноз водности реки Нарын на месяцы вегетационного периода на основе снимков MODIS [Текст] / О.Ю. Калашникова, А.А. Гафуров, Э.А.Оморова// Наука и новые технологии и инновации Кыргызстана. - 2020. – № 3. – С. 14-18.
23. **Калашникова, О.Ю.** Методика долгосрочного прогноза притока воды в Токтогульское водохранилище на основе статистического моделирования в R-program [Текст] / О.Ю. Калашникова// Электронный журнал ВАК. – 2021. – № 3.

Калашникова Ольга Юрьевнанын 25.00.27 - кургактыктын гидрологиясы, суу ресурстары жана гидрохимия адистиги боюнча «Нарын бассейниндеги дарыялардын агын сууларынын пайда болушуна климаттык факторлордун таасирин изилдөө жана алардын узак мөөнөттүү божомолу» темасындагы диссертациясынын кыскача РЕЗЮМЕСИ

Негизги сөздөр: дарыя сууларынын прогнозу, MODIS спутниктик сүрөттөрү, гидрометеорологиялык маалымат, кар катмары, статистикалык моделдөө, Нарын дарыясы, Токтогул суу сактагычы, Кыргызстан.

Изилдөө объектиси: Нарын бассейни.

Изилдөө предмети: Нарын бассейнинин сууларынын климаттын таасиринен өзгөрүүлөрү.

Изилдөөнүн максаты: Климаттын өзгөрүшүнүн Нарын дарыясынын агымына тийгизген таасирин изилдөө жана узак мөөнөттүү гидрологиялык прогноздоонун натыйжалуу ыкмаларын иштеп чыгуу, анын ичинде спутниктен зонддоо маалыматтарына таянуу.

Изилдөө методдору жана жабдуулары: дарыянын агымына климаттык параметрлердин таасирин корреляциялык талдоо, гидрографты азыктануу булактарынын түрлөрү боюнча бөлүү, узак мөөнөттүү гидрологиялык прогноздоонун физикалык жана статистикалык методдорун, спутниктен жана жер үстүнөн алынуучу маалыматтарды колдонуп моделдөө. Талапкер диссертациялык ишинде мурунку изилдөөчүлөрдүн тажрыйбасын колдонуп, спутниктик сүрөттөрдүн негизинде Нарын бассейнинин дарыяларынын агымын узак мөөнөттүү гидрологиялык прогноздоо ыкмаларын иштеп чыккан.

Алынган натыйжалар жана жаңылык: Илимий негизде пайдаланууну пландаштыруу үчүн 1940-2015-жж. аралыгындагы байкоо жүргүзүү мезгилинде Нарын дарыясынын агымындагы термелүүлөрдүн мейкиндик-убакыт боюнча өзгөчөлүктөрүнө климаттык өзгөрүүлөрдүн таасирин баалоо жүргүзүлдү. Нарын бассейнинин дарыялары үчүн биринчи жолу MODIS сүрөттөрүнүн маалыматтарынын, кар катмарларынын калыңдыгы жана жер бетин каптап жатуу узактыгы боюнча жер үстүндөгү байкоо маалыматтарынын, ошондой эле R-программасында статистикалык моделдөө колдонуунун негизинде узак мөөнөттүү гидрологиялык прогноздоо ыкмалары иштелип чыкты. Мындай ыкмалар Кыргызстанда инновациялык мүнөзгө ээ.

Колдонуу даражасы же пайдалануу боюнча сунуш: Нарын бассейниндеги дарыя сууларынын көлөмүн прогноздоо методикасы 2015-ж. Кыргызгидромет системасына киргизилген жана кийинки 2016-2019 жж. текшерүү жылдарында сыноодон ийгиликтүү өткөн. Методологиянын сапаты жана прогноздордун ишенимдүүлүгү суунун абалын оперативдүү режимде прогноздоого мүмкүндүк берет. Берилген прогноздор мамлекеттик органдарга, кызыкдар болгон суу-чарба уюмдарына, энергетикалык компанияларга жана Өзгөчө кырдаалдар министрлигине жөнөтүлөт. Бул суу ресурстарын илимий негизде жана өз убагында интеграциялык башкаруу маселелерин чечүүгө жана суунун күтүлгөн экстремалдуу абалына карата алдын-алуу чараларын көрүүгө мүмкүндүк берет (келе жаткан вегетация мезгилинде жана айларында суунун деңгээлинин жогорулашы же азайышына карата). Узак мөөнөттүү гидрологиялык прогноздоо ыкмалары Сыр-Дарыя жана Аму-Дарыя бассейндери үчүн сыналган. Иштин жыйынтыгын Борбордук Азиянын гидрометеорологиялык кызматынын ыкчам гидрологиялык прогнозунда колдонууга болот. Методиканы колдонуу курсу жогорку окуу жайларынын магистратура жана докторантура программасына киргизилген.

Колдонуу чөйрөсү: узак мөөнөттүү гидрологиялык прогноздоо, кооптуу гидрологиялык кубулуштардын алдын алуу, суу ресурстарын башкаруу.

РЕЗЮМЕ

диссертации Калашниковой Ольги Юрьевны на тему: «Исследование влияния климатических факторов на формирование стока рек Нарынского бассейна и их долгосрочный прогноз» по специальности 25.00.27 – гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия

Ключевые слова: прогноз водности рек, спутниковые снимки MODIS, гидрометеорологическая информация, снежный покров, статистическое моделирование, река Нарын, Токтогульское водохранилище, Кыргызстан.

Объект исследования: Нарынский бассейн.

Предмет исследования: климатические изменения вод Нарынского бассейна.

Цель исследования: изучение влияния климатических изменений на сток реки Нарын и разработка эффективных методов долгосрочного гидрологического прогнозирования, в том числе на основе данных спутникового зондирования.

Методы исследования и аппаратура: корреляционный анализ влияния климатических параметров на сток рек, расчленение гидрографа по типам питания, физико-статистические методы долгосрочного гидрологического прогнозирования и моделирования с использованием спутниковых и наземных данных. В диссертационной работе соискатель использовал опыт предыдущих исследователей для разработки методов долгосрочного гидрологического прогнозирования рек Нарынского бассейна на основе спутниковых снимков.

Полученные результаты и их новизна. Проведена оценка степени воздействия климатических изменений на пространственно-временные особенности колебания стока реки Нарын за период наблюдений с 1940 по 2015 годы для научно обоснованного планирования их использования. Впервые для рек Нарынского бассейна разработаны методы долгосрочного гидрологического прогнозирования на основе данных снимков MODIS, данных наземных наблюдений о высоте и продолжительности залегания снежного покрова, а также использования статистического моделирования в R-program. Подобные методы являются инновационными в Кыргызстане.

Степень использования или рекомендации по использованию. Методика прогнозов водности рек Нарынского бассейна внедрена в систему Кыргызгидромета в 2015 году и прошла успешное тестирование на последующих проверочных 2016-2019 годах. Качество методики и достоверность прогнозов позволяют составлять прогнозы водности в оперативном режиме. Составленные прогнозы направляются в правительственные структуры, заинтересованным водохозяйственным организациям, энергетическим компаниям и МЧС, что позволяет им научно обоснованно и своевременно решать задачи интегрированного управления водными ресурсами и принимать превентивные мероприятия по предупреждению экстремальной водности (многоводья или маловодья предстоящего вегетационного периода и его месяцы). Методы долгосрочного гидрологического прогнозирования апробированы для бассейнов рек Сырдарьи и Амударьи. Результаты работы могут использоваться в оперативном гидрологическом прогнозировании гидрометслужб Центральной Азии. Курс по применению методики был внедрен в преподавательскую программу «Высшей школы магистратуры и Докторантуры».

Область применения: долгосрочное гидрологическое прогнозирование, предупреждение опасных гидрологических явлений, управление водными ресурсами.

SUMMARY

of the dissertation of Olga Yurevna Kalashnikova on the theme: "Research of the influence of climatic factors on the formation of river runoff in the Naryn basin and their long-term forecast" on the specialty 25.00.27 - land hydrology, water resources and hydrochemistry.

Key words: forecast of water availability in the rivers, MODIS satellite images, hydrometeorological data, snow cover, statistical modeling, Naryn river, Toktogul reservoir, Kyrgyzstan.

The research object: Naryn basin.

The research subject: climatic changes in the waters of the Naryn basin.

The aim of the research: to study the impact of climate change on the runoff of the Naryn River and develop effective methods for long-term hydrological forecasting, including those based on satellite sensing data.

Research methods and equipment: correlation analysis of the influence of climatic parameters on river runoff, dismemberment of the hydrograph by types of feeding, physical and statistical methods of long-term hydrological forecasting and modeling using satellite and ground-based data. In her dissertation work, the applicant used the experience of previous researchers to develop methods for long-term hydrological forecasting of the rivers of the Naryn basin based on satellite images.

The obtained results and their novelty. The assessment of the impact of climatic changes on the spatio-temporal features of fluctuations in the Naryn river runoff over the observation period from 1940 to 2015 was carried out for scientifically based planning of their use. For the first time for the rivers of the Naryn basin, methods of long-term hydrological forecasting have been developed based on the data from MODIS images, ground-based observation data on the height and duration of snow cover, as well as the use of statistical modeling in the R-program. Such methods are innovative in Kyrgyzstan.

Degree of use or recommendations for use. The methodology for forecasting the water availability of the rivers of the Naryn basin was introduced into the Kyrgyzhydromet system in 2015 and was successfully tested in the subsequent verification years 2016-2019. The quality of the methodology and the reliability of the forecasts make it possible to forecast water availability on an on-going basis. The forecasts are sent to government agencies, interested water management organizations, energy companies and the Ministry of Emergency Situations, which enables them to solve the problems of integrated water resources management and take preventive measures to prevent extreme water availability (high water or low water in the coming vegetation period and its months) scientifically and timely. Long-term hydrological forecasting methods have been tested for the Syr Darya and Amu Darya river basins. The results of the work can be used in the operational hydrological forecasting of the hydrometeorological services of Central Asia.

Field of application: long-term hydrological forecasting, prevention of hazardous hydrological phenomena, water resources management.

Калашникова Ольга Юрьевна

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА
ФОРМИРОВАНИЕ СТОКА РЕК НАРЫНСКОГО БАСЕЙНА И ИХ
ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ**

Подписан к печати 31.12.2020 г. Формат бумаги 60x84/16.
Бумага офс. Печать офс. Тираж 50 экз.
Отпечатано в экспресс типографии «Kaktus»,
г.Бишкек, ул.Турусбекова 124
тел.0312909842