

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/388085778>

THE METHODOLOGY OF FORECASTING THE WATER CONTENT OF THE RIVERS OF THE KYRGYZ REPUBLIC BASED ON WEAP (USING THE EXAMPLE OF THE NARYN RIVER)

Article in *Vestnik of the Kyrgyz-Russian Slavic University* · January 2024

DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-8-27-35

CITATIONS

0

READS

8

1 author:



Kalashnikova Olga

Central-Asian Institute for Applied Geosciences

26 PUBLICATIONS 252 CITATIONS

SEE PROFILE

УДК 556.06:004.45(575.2)
DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-8-27-35

**МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВОДНОСТИ РЕК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ НА ОСНОВЕ WEAP (НА ПРИМЕРЕ Р. НАРЫН)**

О.Ю. Калашикова

Аннотация. Для получения качественного прогноза водности р. Нарын и притока воды в Токтогульское водохранилище на вегетационный период предложено использовать программное обеспечение WEAP. Составлена методика с использованием WEAP для речного бассейна, которая основана на применении данных наземных наблюдений за метеопараметрами, водностью рек, сбросе и объеме воды в водохранилищах. Данные метеопараметров для высотных зон были интерполированы с использованием температурного градиента и градиента осадков. Результаты калибровки модели WEAP для Нарынского бассейна за 2004–2020 гг. показали «хорошую» категорию качества методики (коэффициент корреляции R выше 0,8). Тестирование модели на независимых годах (2001, 2002, 2021 и 2022) также показало возможность применения WEAP в системе гидрометеослужб ($R = 0,89–0,96$). Методика передана для апробации и внедрения в систему оперативного гидрологического прогнозирования Кыргызгидромета.

Ключевые слова: водные ресурсы; прогноз водности рек; программное обеспечение WEAP; Нарын; Кыргызская Республика.

**КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН ДАРЫЯЛАРЫНЫН СУУЛАРЫНЫН
НЕГИЗИНДЕ WEAP БОЛЖОЛДОО МЕТОДИКАСЫ
(НАРЫН ДАРЫЯСЫНЫН МИСАЛЫНДА)**

О.Ю. Калашикова

Аннотация. Вегетациялык мезгилдеги Нарын дарыясынын жана Токтогул суу сактагычына суунун агып киришинин жогорку сапаттагы божомолун алуу үчүн WEAP программалык камсыздоосун колдонуу сунушталды. Дарыя бассейни үчүн WEAP программалык камсыздоосун пайдалануу менен түзүлгөн методика метеоропараметрлерге, дарыялардын суусуна, суу сактагычтардагы суунун агызылышына жана көлөмүнө жер бетиндеги байкоолордун маалыматтарын колдонууга негизделген. Бийиктик зоналары үчүн метеопараметр маалыматтары температура градиентин жана жаан-чачын градиентин колдонуу менен интерполяцияланган. 2004–2020-жылдары Нарын бассейни үчүн WEAP моделин калибрлөө натыйжалары методдун сапатынын «жакшы» категориясын көрсөттү (корреляция коэффициенти R 0,8 ден жогору). Моделди көз карандысыз жылдар (2001, 2002, 2021 жана 2022) аралыгында тесирлөөдө WEAPди гидрометеорологиялык кызматтар системасында ($R = 0,89–0,96$) колдонуу мүмкүнчүлүгүн көрсөттү. Даярдалган методика Кыргызгидрометтин оперативдүү гидрологиялык болжолдоо системасына сыноо жана киргизүү үчүн өткөрүлүп берилди.

Түйүндүү сөздөр: суу ресурстары; дарыялардын айлар аралыгында көлөмүн болжолдоо; WEAP программалык камсыздоосу; Нарын; Кыргыз Республикасы.

**THE METHODOLOGY OF FORECASTING THE WATER CONTENT
OF THE RIVERS OF THE KYRGYZ REPUBLIC BASED ON WEAP
(USING THE EXAMPLE OF THE NARYN RIVER)**

O. Yu. Kalashnikova

Abstract. Using the WEAP software in the Hydrometeorological Service (Kyrgyzhydromet) under the MES of the Kyrgyz Republic, it will allow to obtain a high-quality forecast of the water content of the Naryn River and the inflow to the Toktogul reservoir for the growing season. The compiled in WEAP methodology for the river basin is based

on the application of ground-based observations of meteorological parameters, inflow, outflow and volume of water in reservoirs. The data of meteorological parameters for high-altitude zones were interpolated using a temperature gradient and a precipitation gradient. The results of calibration of the WEAP model for the Naryn basin for the period from 2004-2020 showed the quality of the methodology "good" (correlation coefficient R above 0.8). Testing of the model in independent years (2001, 2002, 2021 and 2022) also showed the possibility of using WEAP in the system of hydrometeorological services ($R = 0.89-0.96$). The prepared methodology was transferred for testing and implementation into the Kyrgyz Hydrometeorological operational forecasting system.

Keywords: water resources; forecast of water content of rivers; WEAP software; Naryn; Kyrgyz Republic.

Введение. В целях улучшения обслуживания потребителей гидрологической информацией, национальные гидрометеорологические службы Центральной Азии внедряют и адаптируют современные и эффективные методы гидрологического прогнозирования, главной составляющей которых является прогноз водности рек на вегетационный период.

Основная цель создания данной методики – разработка расчетного алгоритма и имитационной водохозяйственной модели с использованием программного обеспечения WEAP (с элементами LEAP) и их внедрение в практику работы Гидрометеорологической службы (Кыргызгидромет) при Министерстве чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики. Это необходимо для прогнозирования водности р. Нарын на вегетационный период, изменений объема Токтогульского водохранилища и выработки гидроэлектроэнергии, которые в свою очередь влияют на количество воды, используемой для целей ирригации. Данный прогноз обеспечит необходимой информацией сотрудников, принимающих решения на вегетационный период.

Предлагаемая методика предназначена для ее использования в оперативной практике гидрологического прогнозирования в Кыргызгидромете, с последующей передачей результатов прогноза во все заинтересованные ведомства: Министерство сельского хозяйства КР, Департамент водных ресурсов, Министерство энергетики, ОАО “Электрические станции”, МЧС, органы по предупреждению ЧС, правительственные организации, гидрометслужбы соседних государств (Казгидромет и Узгидромет) и др.

Внедрение современного программного обеспечения WEAP в практику оперативного прогнозирования позволит получить гибкий инструмент по оценке текущего и будущего состояния водных ресурсов (речного стока и водохранилищ), использовать различные климатические сценарии, а также позволит повысить эффективность и надежность выпускаемой гидрологической продукции.

1. Краткая характеристика объекта. Сток р. Нарын формируется на территории Кыргызстана в горах Тянь-Шаня и протекает по Ферганской долине в Узбекистан, где, сливаясь с р. Карадарья, образует реку Сыр-Дарья. Река Нарын принадлежит к бассейну Аральского моря, являясь крупнейшим притоком р. Сырдарья, а также одной из основных гидроэнергетических и водохозяйственных артерий Кыргызской Республики. В хозяйственных целях вода р. Нарын используется для орошаемого земледелия – для этих нужд от нее проложены Большой Ферганский и Северный Ферганский каналы. Река также обладает значительными гидроэнергетическими ресурсами, на ней расположены Токтогульское и Курпсайское водохранилища и каскады ГЭС: Токтогульский, Таш-Кумырский, Учкурганский, Курпсайский, Шамалдысайский и Камбаратинский (рисунок 1).

Суммарная площадь водосбора р. Нарын до ее слияния с р. Карадарья составляет 59 900 км², общая протяженность реки 807 км, ресурсы поверхностных вод оцениваются в 13,7 км³/год [1]. Территория бассейна включает 1369 км² ледников [2], высотные отметки бассейна изменяются в пределах 0,7–5,1 км. Средняя высота бассейна по данным В.Е. Шульца – 2800 м [3], по расчетам, произведенным в ГИС – 2970 м н.у.м.

2. Исходные данные для моделирования. В таблице 1 приведены источники исходных данных, использованных для построения модели бассейна р. Нарын. Список исходных данных аналогичен данным, использованным SEI (Stockholm Environment Institute's U.S. Center) при построении комплексной водно-энергетической модели для всего бассейна р. Сырдарья, при этом SEI использовали доступные открытые источники данных о стоке рек и режиме водохранилищ за 1981–1995 гг. В разработанной

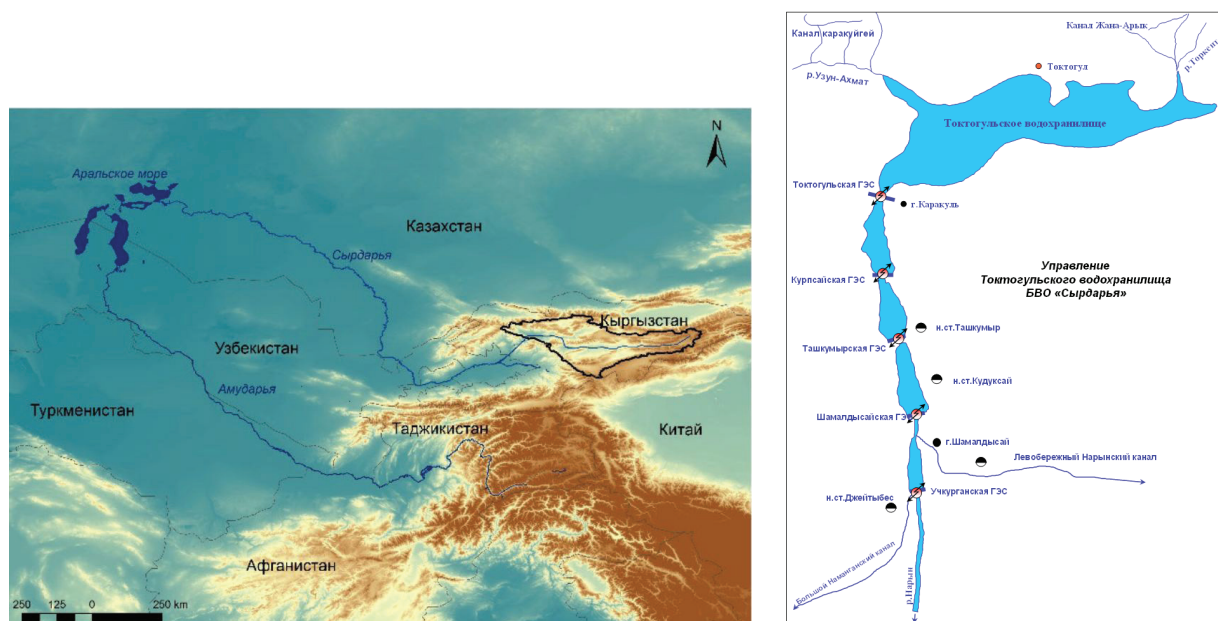


Рисунок 1 – Местоположение водосбора р. Нарын в Центральной Азии в бассейне Аральского моря и схема расположения водохранилищ и ГЭС в Нарынском бассейне

Таблица 1 – Источники данных, используемые SEI для моделирования бассейна реки Нарын

Вид данных	Источники, используемые SEI
Цифровая модель рельефа	HydroSHEDS с пространственным разрешением 500 м
Площадь ледников /Glacier	Randolph Glacier Inventory 6.0 (2017)
Протяженность ледников /Glacier	Европейское космическое агентство
Землепользование / Land Use	Европейское космическое агентство
Климат / Climate	Принстонская исследовательская климатическая группа
Сток рек (расходы воды) и водохранилища / Dis-charge and Reservoir	http://cawater-info.net/

методике данные ГИС и Европейского космического агентства остались без изменений, но были использованы данные основных метеопараметров за период с 2000 по 2022 г. по метеостанциям Кыргызгидромета, находящимся в бассейне р. Нарын на разной высоте – Тянь-Шань, г. Нарын и Токтогул [4]. Динамика стока рек Нарынского бассейна изучалась за тот же период наблюдений по данным гидропостов Кыргызгидромета [5].

Основным источником поступления воды в р. Нарын является талая вода от сезонного снеготаяния и грунтовые воды [2, 3]. Питание реки за счет дождевого стока составляет около 4 %, талого ледникового – 5,6–10 %, для верховьев реки Нарын – 23,2 % от годового речного стока [2, 7]. Половодье на притоках р. Нарын начинается в середине апреля с максимальными расходами воды в июне-июле. Основной сток реки наблюдается в апреле-сентябре, составляя 70–80 % годового стока. Уровень залегания грунтовых вод различный. В Суусамырской, Ат-Башинской и некоторых других межгорных впадинах происходит выклинивание на поверхность грунтовых вод, образуя сазовые болота. Грунтовые воды межгорных впадин Внутреннего Тянь-Шаня, наоборот, бедны и находятся на большой глубине [8].

3. Методология. Основным методологическим подходом для моделирования гидрологии в WEAP является *метод определения влажности почвы (МВП)*. Этот метод использует одномерное уравнение, рассчитывающее водный баланс для поверхностного почвенного профиля (верхний ковш – зона неглубоких почв – $z1$) и глубокого почвенного профиля (нижний ковш – зона глубокого залегания почвы – $z2$) (таблицы 2 и 3) [9, 10].

Таблица 2 – Общая формула для метода определения влажности почвы в WEAP для поверхностного почвенного профиля – зоны неглубоких почв (верхний ковш)

Изменение запасов почвенной воды	Осадки	Эвапотранспирация	Прямой поверхностный сток	Поток почвенной воды к ручью	Поток почвенной воды в грунтовые воды
$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt}$	$P_e(t)$	$PET(t)k_{z,j}(t)(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3})$	$P_e(t)z_{1,j}^{RRF_j}$	$f_j k_{z,j} z_{1,j}^2$	$(1 - f_j)k_{z,j} z_{1,j}^2$

Таблица 3 – Общая формула для метода определения влажности почвы в WEAP для глубокого почвенного профиля – зоны глубокого залегания почвы (нижний ковш)

Изменение запасов почвенной воды	Перколяция (просачивание) из всех подземных ответвлений и полостей в пределах водосбора	Сток в реку (т. е. базовый сток)
$S_{max} \frac{dz_2}{dt}$	$\left(\sum_{j=1}^N (1 - f_j) k_{z,j} z_{1,j}^2 \right)$	$k_{z,2} z_2^2$

Метод рассматривает влияние водоудерживающей способности почвы на сток, эвапотранспирацию (ЭТ), промежуточный сток, перколяцию (просачивание) и базовый сток. Каждый водосбор разбивается по видам землепользования, типов почв, топографии. Автоматическое разграничение водосбора разделяет водосборы на основе видов землепользования и высоты над уровнем моря. Вид землепользования и климатические параметры в методе определения влажности почвы в совокупности определяют, сколько воды просачивается в землю, испаряется или стекает в реку.

WEAP выделяет несколько зон работы водохранилищ, представленных на рисунке 2.

4. Процедура применения: шаги и этапы, последовательность действий в WEAP. Моделирование в WEAP включает несколько основных этапов:

1. Подготовка картографических, гидрологических и климатических данных для речного бассейна (водосбора). Ввод и корректировка данных в модель WEAP.
2. Калибровка модели для речного бассейна.
3. Верификация (валидация) или тестирование модели с заданными параметрами калибровки для проверки качества методики / работы модели.
4. Создание сценариев для будущего прогностического периода.
5. Тестирование (адаптация, внедрение) модели для использования в оперативной прогностической практике в системе Кыргызгидромета.

Первый этап. Подготовка картографических, гидрологических и климатических данных для речного бассейна (водосбора). Ввод и корректировка данных в модель WEAP.

Для территории Нарынского бассейна в целях оценки потребностей в воде были выделены несколько водосборных бассейнов, разделенных по высотным зонам (через 250 м) и использованию земель, размещенных в соответствующем порядке в базе данных. При разработке данной методики для ее применения в Кыргызгидромете для целей прогнозирования притока воды и режима работы Токтогульского водохранилища, а также оценки выработки гидроэлектроэнергии (элементы LEAP),

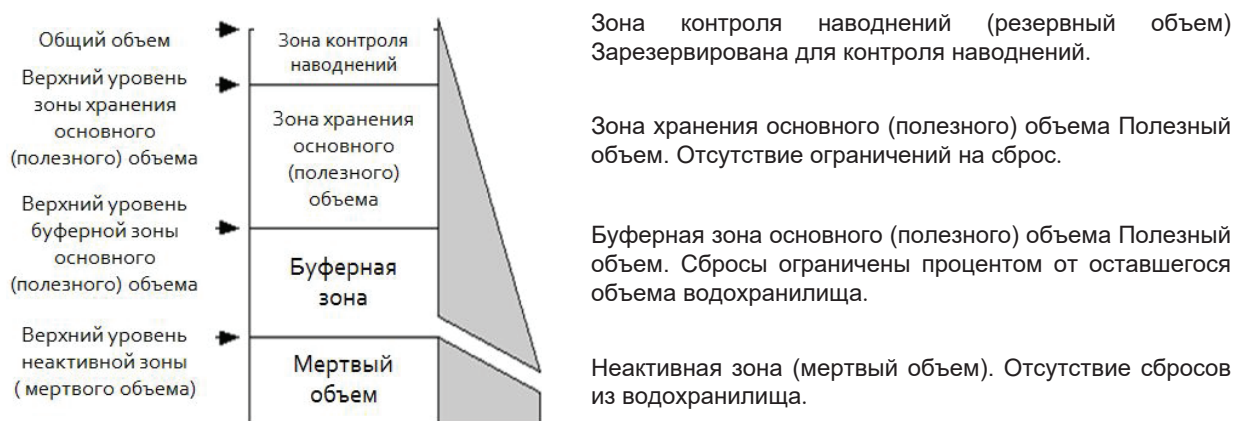


Рисунок 2 – Зоны работы водохранилищ в WEAP

были использованы актуальные гидрологические и метеорологические данные за современный период (2000–2022 гг.).

Для построения модели были использованы два вида исходных данных:

- данные из общей водно-энергетической модели для всего бассейна р. Сырдарья, построенной SEI, которые возможно использовать в методике без изменения;
- дополнительные данные Кыргызгидромета, которые были внесены в целях адаптации данной модели для р. Нарын.

Второй этап. Калибровка модели для речного бассейна. Для калибрования модели использовался метод автоматической калибровки PEST, при необходимости проводилась ручная калибровка основных параметров (оптимизации) модели WEAP для речного водосбора.

Включены следующие параметры для калибровки модели:

K_s (R_d) – определяет потери воды в атмосферу (т. е. эвапотранспирация) Water Capacity / Влажность почвы – влияет на уровень влажности почвы.

Runoff Resistance Factor – коэффициент сопротивления стоку – эквивалент шероховатости поверхности. Также зависит от уклона.

Preferred Flow Direction / Предпочтительное направление потока – определяет, течет ли почвенная вода к грунтовым или поверхностным водам.

Root Zone Conductivity / Проводимость корневой зоны – определяет, насколько быстро вода перетекает из почвы в грунтовые или поверхностные воды.

Deep Water Capacity / Глубоководная емкость – общий объем воды, который может сохраняться в глубокой почве.

Deep Conductivity Глубинная проводимость – определяет скорость потока из глубокого слоя (базовый сток).

Модель была откалибрована для следующих значений:

А. Ежемесячные временные ряды для наблюдаемого и смоделированного стока. Эта диаграмма позволяет нам наблюдать, насколько хорошо смоделированный поток соответствует базовому потоку для диапазона засушливых и влажных лет.

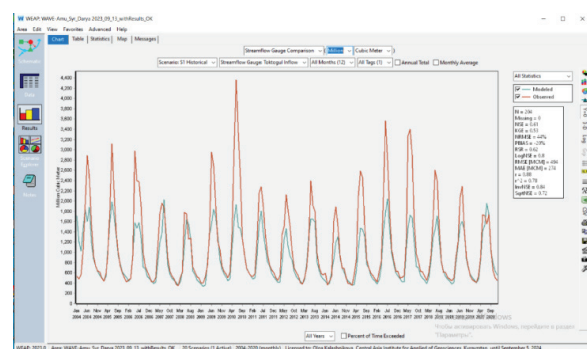
В. Годовой итог наблюдаемого и смоделированного стока. Годовой итог дает хорошее представление об общем соответствии модели с течением времени и о том, насколько хорошо смоделированный общий годовой объем стока соответствует наблюдаемым значениям.

С. Среднемесячное значение наблюдаемого и смоделированного стока. Среднемесячное значение показывает, как смоделированные значения стока отклоняются от исторических данных в среднем в каждом годовом цикле.

Д. Вероятность превышения для наблюдаемого и смоделированного стока. Диаграмма вероятности превышения ранжирует каждое измерение расхода по значению, самое низкое справа и самое высокое слева, как для смоделированного, так и для наблюдаемого потока. Значения на оси X показывают процент потоков, превышающих значения расхода. Смоделированный и наблюдаемый сток должен показать близкое совпадение процентов превышения для двух записей стока.

На рисунке 3 и в таблице 4 приведены результаты калибровки модели и показаны значения калибровки между смоделированным и наблюдаемым стоком R, как «очень хорошее» и NSE – «желаемое».

Третий этап. Оптимизация модели. Верификация (валидация) или тестирование модели с заданными параметрами калибровки для проверки качества методики / работы модели. На рисунке 4 и в таблицах 5 и 6 представлены результаты тестирования, которые показали хорошую совместимость между смоделированным и наблюдаемым стоком за 2001, 2002 (многоводный), 2021 и 2022 гг., экспортированные в Excel из программы WEAP.



А



В



С



Д

Рисунок 3 – А – сравнение смоделированного и фактического гидрографов стока;

В – сравнение смоделированного и фактического годового итога стока;

С – сравнение среднемесячного значения смоделированного и фактического стока;

Д – диаграмма вероятности превышения (синий цвет – смоделированные, красный цвет – наблюдаемые)

Таблица 4 – Результаты калибровки модели WEAP для притока воды
в Токтогульское водохранилище на периоде 2004–2020 гг.

Streamflow Gauge (Гидропост)	Toktogul Inflow (Приток в Токтогульское водохр.)	
Time Period (Временной период)	2004-2020	
N (число значений)	204	
Missing (число потерянных значений)	0	
NSE – эффективность Нэша-Сатклиффа	0.61	Идеальное значение 1; >0.5 приемлемое; > 0.6 – желаемое; >0.7 – хорошее; > 0.8 – очень хорошее
PBIAS – процентное смещение	–20 %	Идеальное значение = 0; +/-25 % приемлемый результат
RSR – отношение средневквдратичной ошибки к средневквдратичному отклонению	0.62	Идеальное значение = 0; < 0.7 – хорошо
r – коэффициент корреляции	0.88	Идеальное значение 1; > 0.6 – желаемый; >0.7 – хорошо; > 0.8 – очень хорошо
r ² – коэффициент корреляции в квадрате	0.78	Идеальное значение 1; > 0.36 – желаемый результат



А



В



С



D

Рисунок 4 – Среднемесечные расходы воды, смоделированные и наблюдаемые за годы:
А – 2001, В – 2002, С – 2021, D – 2022 (синий цвет – смоделированные, красный цвет – наблюдаемые)

Таблица 5 – Сравнение смоделированного и наблюдаемого среднегодового расхода воды за проверочные годы (в м³/с)

Statistic (Статистические данные)	2001 г.	2002 г.	2021 г.	2022 г.
Modeled (смоделированный)	354	396	355	352
Observed (наблюденный)	405	547	368	421

Таблица 6 – Параметры валидации модели WEAP для Нарынского бассейна для проверочных 2001, 2002, 2021, 2022 лет

Streamflow Gauge (Гидропост)	Toktogul Inflow (Приток в Токтогульское водохрани.)			
Time Period (временной период)	2001 г.	2002 г.	2021 г.	2022 г.
N (количество данных)	12	12	12	12
Missing (количество потерянных данных)	0	0	0	0
NSE - эффективность Нэша-Сатклиффа	0.73	0.47	0.88	0.76
PBIAS процентное смещение	-13%	-27%	-3.50 %	-16 %
RSR – отношение среднеквадратичной ошибки к среднеквадратичному отклонению	0.5	0.7	0.33	0.47
r – коэффициент корреляции	0.94	0.89	0.96	0.96
r ² – коэффициент корреляции в квадрате	0.89	0.79	0.92	0.92

Таблица 7 – Определение года по водности в модели WEAP и для Нарынского бассейна (притока воды в Токтогульское водохранилище)

Определение года по водности в WEAP	Определение года по водности для притока воды в Токтогульское водохрани.
Очень маловодный (Very Dry) 0.7	2004–2007 – нормальный (normal)
Маловодный (Dry) 0.8	2008 – маловодный (dry)
Нормальный (Normal) 1.0	2009 – нормальный (normal)
Многоводный (Wet) 1.3	2010 очень многоводный (very wet)
Очень многоводный (Very Wet) 1.4	2011–2013 – нормальный (normal)
	2014 – очень маловодный (very dry)
	2015–2016 – нормальный (normal)
	2017 – многоводный (wet)
	2018–2020 – нормальный (normal)

Четвертый этап. Создание сценариев для будущего прогностического периода. В данном методическом руководстве мы использовали «Метод водного года» (*Water Year Method*). Метод водного года – это простой способ представления вариаций климатических данных, таких как речной сток, осадки и пополнение подземных вод. Сначала метод предполагает определение того, как различные климатические режимы (например, очень сухой, сухой, очень влажный) соотносятся с нормальным годом, которому присваивается значение 1. Сухие годы имеют значение меньше 1, очень влажные – больше 1. В таблице 7 представлено определение года по водности в WEAP.

Для создания сценариев был использован метод года-аналога. Для этого выбраны годы с маловодным, средним по водности и многоводным стоком и сценарии для многоводного или среднего по водности года. При составлении прогноза водности на вегетационный период, в зависимости от текущей ситуации в накоплении осадков за холодный период (октябрь-март), будет выбран сценарий для среднего, маловодного или многоводного года и подготовлены метеоданные (климатические нормы) на месяцы вегетации. Следующим шагом будет проведен расчет ожидаемого притока, сброса воды по Токтогульскому водохранилищу и объем воды, накопленный в течение периода вегетации.

Таблица 8 – Тестирование откалиброванной модели WEAP
(Statistic – временной период, modeled – смоделированный, observed – наблюдаемый)

Streamflow Gauge Comparison (Cubic Meters per Second) (Сравнение показателей расходов воды (кубические метры в секунду))														
2021 г.														
Statistic	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Вегетация	Год
Modeled	190	182	182	268	578	689	692	438	332	267	226	198	500	354
Observed	154	183	162	272	850	745	677	458	313	234	181	166	553	366
Отклонение	36	-1	20	-4	-272	-56	15	-20	19	33	45	32	-53	-13

Пятый этап. Тестирование (адаптация, внедрение) модели для использования в оперативной прогностической практике в системе Кыргызгидромета. Проводится также как в этапе 5.3 «Тестирование (валидация) модели». В таблице 8 приведены результаты тестирования модели WEAP на независимом 2021 г., экспортированная из WEAP в Excel.

Основные выводы. Заблаговременный прогноз маловодья в целях проведения превентивных мероприятий по рациональному использованию воды водохозяйственными и энергетическими компаниями является наиболее важным. Данный прогноз, с использованием разработанной методики и программного обеспечения WEAP, показывает «очень хорошее» качество.

Прогноз водности с использованием программного обеспечения WEAP будет составляться на период заблаговременности 183 дня и передаваться в начале апреля каждого текущего года, что позволит министерствам и ведомствам планировать мероприятия по водопользованию на вегетационный период, а также своевременно проводить превентивные мероприятия по предупреждению последствий маловодья (нехватки воды, гидрологической засухи) и многоводья (селевых паводков/наводнений).

В ближайшие два-три года будет необходима адаптация подготовленной методологии в оперативном прогнозировании в отделе гидропрогнозов Кыргызгидромета и апробация «метода водного года» как сценарного подхода для прогнозирования.

Благодарности. Материалы к статье были подготовлены благодаря поддержке Регионального проекта USAID по водным ресурсам и окружающей среде.

Поступила: 10.07.24; рецензирована: 24.07.24; принята: 26.07.24.

Литература

1. Вторая оценка трансграничных рек, озер и подземных вод ЕЭКООН: Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. Женева: ООН, 2011. 430 с.
2. Долгушин Л.Д. Ледники / Л.Д. Долгушин, Г.Б. Осипова. М.: Мысль, 1989. 448 с.
3. Шульц В.Л. Реки Средней Азии / В.Л. Шульц. Л.: ГИМИЗ, 1965. 680 с.
4. Книжки и таблицы для записи метеорологических наблюдений (КМ-1) с 2000 по 2022 годы // Фонды Кыргызгидромета. Л. 23.
5. Гидрологические ежегодники за 2000–2022 годы // Фонды Кыргызгидромета. Л. 23.
6. Щеглова О.П. Питание рек Средней Азии / О.П. Щеглова. Ташкент: СамГУ, 1960. 245 с.
7. Коновалов В.Г. Таяние и сток с ледников в бассейнах рек Центральной Азии / В.Г. Коновалов. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 237 с.
8. Ильясов А.Т. Формирование стока рек в горной части Средней Азии и роль снеговых, ледниковых и грунтовых вод в этом процесс / А.Т. Ильясов // Тр. III Всес. гидрологич. съезда. Л.: Гидрометеониздат. 1960. Т. 5. 422 с.
9. Пособие пользователя WEAP. URL: <https://weap21.org/index.asp?action=208> (дата обращения: 15.07.2024).
10. Комплексное водно-энергетическое моделирование для бассейна реки Сырдарья. URL: https://www.riverbp.net/community_of_practice/hub/weap_leap/ (дата обращения: 15.07.2024).