



НИЦ МКВК

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной
водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

20
ВЫПУСК

**Сборник научных
трудов НИЦ МКВК**

Ташкент 2025

**Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной
водохозяйственной комиссии Центральной Азии
(НИЦ МКВК)**



Сборник научных трудов

Выпуск 20

Ташкент 2025

Изложены результаты научно-исследовательских работ, выполненных специалистами Научно-информационного центра МКВК и партнерских организаций в 2024 году.

Под редакцией Зиганшиной Д.Р.

Сборник подготовили к печати:

Муминов Ш.Х., Назарий А.М., Беглов И.Ф., Галустян А.Г., Дегтярева А.С.

СОДЕРЖАНИЕ

Прогноз водности рек Заравшан, Вахш и Нарын на вегетационный период с использованием программы MODSNOW Л.В. Сычугова, И.И. Рузиев, А.Г. Сорокин	4
Изучение современного гидрологического и гидрохимического режима реки Амударьи М.Н. Рахимова	15
Экологические попуски в законодательстве и практике Республики Узбекистан и меры по их совершенствованию З.Р. Яруллина	26
Определение средней скорости потока воды в открытых ирригационных каналах относительно поверхностной скорости потока А.И. Долидудко	42
Интерактивные базы данных как инструмент оценки межсекторального управления ресурсами в странах Центральной Азии А.Г. Галустян, Д.К. Абасова, И.Ф. Беглов.....	66

Прогноз водности рек Заравшан, Вахш и Нарын на вегетационный период с использованием программы MODSNOW

Л.В. Сычугова, И.И. Рузиев, А.Г. Сорокин

Введение

Для прогнозирования водности в реках в НИЦ МКВК используется алгоритм поиска водности по годам-аналогам. Суть метода заключается в выборке стока 2-х леток, наблюдаемых в прошлом в наибольшем приближении к текущей ситуации. Годы-аналоги, выбираются из имеющихся в НИЦ МКВК ретроспективных данных. Водность рек, прошлых лет (продолжение года аналога) проектируется (как ожидаемые сценарии) на перспективу. Данный инструмент используется для подготовки аналитических записок по прогнозированию стока рек бассейнов Сырдарья и Амударья на предстоящий сезон. Планируется методику данных расчетов усовершенствовать, добавив к ней фактор снежного покрова зоны формирования стока.

Прогнозирование водности рек на вегетационный период является ключевой задачей для обеспечения рационального использования водных ресурсов в сельском хозяйстве, энергетике и других отраслях экономики. Вегетационный период характеризуется высоким спросом на воду, что делает необходимым точное планирование ее использования. Программа MODSNOW, основанная на спутниковых снимках MODIS, а также на метеорологических и гидрологических данных, представляет мощный инструмент для прогнозирования водности.

В НИЦ МКВК установлена программа MODSNOW Ver. II, которая позволяет выполнять мониторинг снежного покрова в зоне формирования стока рек. В связи с развитием спутниковой информации, в настоящее время ведутся работы по созданию различных методов для прогноза стока рек на основе информации о снежном покрове полученных по спутниковым снимкам. В работе [1] проведен анализ с использованием спутниковых снимков MODIS для гидрологического прогнозирования для р. Нарын на основе индекса снежного покрова. Наилучшие результаты были получены в период снеготаяния (июнь-сентябрь), коэффициент корреляции составил (R) 0,70-0,80.

С появлением программы MODSNOW, которая в автоматическом режиме производит расчеты площади снежного покрова для различных речных бассейнов, появилась возможность получать данные о динамике снежного покрова ежесуточно [2]. В работе [3] показаны результаты применения программы MODSNOW для определения пространственной характеристики запасов сезонного снежного покрова в высокогорных бассейнах рек Варзоб и Тар. В результате были разработаны прогностические уравнения, которые имеют практическое значение для составления своевременных и качественных прогнозов водности рек на декады.

Целью исследования является составление гидрологического прогноза на вегетационный период 2024г. стока рек Заравшан, Вахш и Нарын.

Области исследования

Река Заравшан

Заравшан (в верховьях — Матча) река в Узбекистане и Таджикистане — длина 877 км., площадь бассейна 17,7 тыс.км². Средний расход воды 162 м³/с. Берет начало с Зеравшанского ледника в горном узле между Туркестанским и Зеравшанским хребтами. Реку питают в основном ледники и снега. Поэтому наибольший сток в ней приходится на лето (июль, август), в холодный период года Зеравшан несет мало воды. В пределах Таджикистана Зеравшан принимает три больших притока — Фандарью, Кштутдарью и Магиандарью, стекающих с Гиссарского хребта, и более 100 мелких. Близ Самарканда русло Зеравшана разделяется на два рукава — Акдарью и Карадарью [4].

Гидрологический прогноз на вегетационный период 2022 г. в реке Заравшан проводился по зоне формирования стока до створа Дупули, а данные по реке были взяты по гидроузлу Раватхуджа.

На рис. 1 представлен ежедневный отчет о состоянии снежного покрова в бассейне реки Заравшан. Ежедневный отчет программы MODSNOW по состоянию на 14 декабря 2022 г. показал, что площадь поверхности, покрытой снегом, составляла 80,48% от общей территории наблюдаемого региона. Этот показатель являлся максимальным значением за 2022 год.

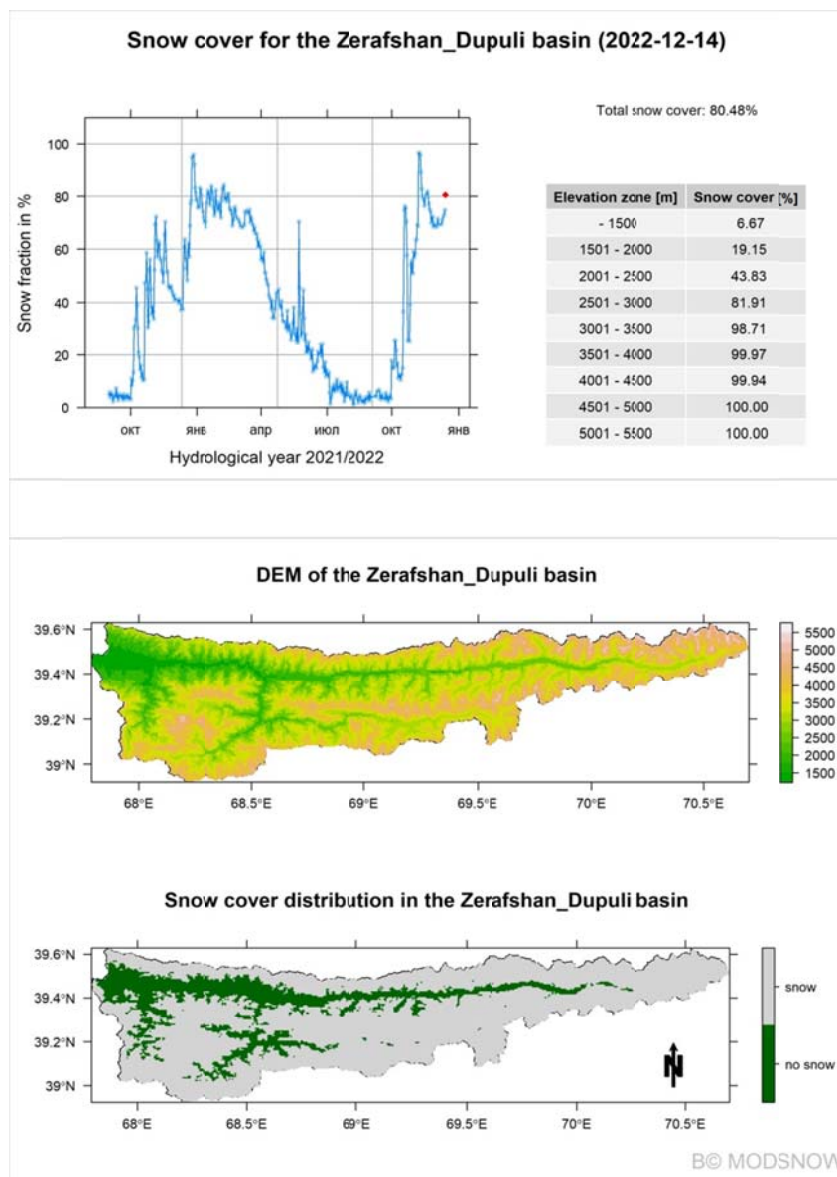


Рис. 1. Ежедневный отчет о состоянии снежного покрова в бассейне реки Заравшан на 14 декабря 2022 г.

Река Вахш

Река Вахш является основной рекой Таджикистана, которая сливаясь с рекой Пяндж, формирует трансграничную реку Амударья. Река Вахш образуется слиянием рек Сурхоб и Обихингоу, где водосборная площадь расположена в самых высоких отметках Центральной Азии в Памиро – Алайских горных хребтах и равна 39100 км², длина 690 км, питание ледниково-снеговое.

Гидрологический прогноз на вегетационный период 2024 г. в реке Вахш проводился по приток к Нурекскому водохранилищу.

На рис. 2 представлен ежедневный отчет о состоянии снежного покрова в бассейне реки Вахш. Ежедневный отчет по состоянию на 21 ноября

2024 г. показал, что площадь поверхности, покрытой снегом в бассейне реки Вахш, составила 89,36%, что стало максимальным значением за 2024 год.

Река Нарын

Река Нарын является крупнейшим притоком реки Сырдарья. Длина 807 км, площадь бассейна 59,1 тыс.км². Средний расход воды 429 м³/сек. Нарын — образуется от слияния Большого и Малого Нарына, берущих начало во Внутреннем Тянь-Шане. Главная составляющая Большого Нарына — река Кум-Тор — вытекает из ледника Петрова (массив Акшийрак), спускающегося до 3786 м над уровнем моря и представляющего собой мощный ледяной поток длиной до 16,8 км. Река Бурхан – главная составляющая Малого Нарына — образуется из многочисленных речек, вытекающих из ледников северного склона хребта Джетимбель. Расход воды у слияния Большого и Малого Нарына равен 90 м³/сек. В верхнем течении Нарын относится к рекам ледниково-снегового питания с характерным для этого типа высоким летним стоком. Ниже по течению, в связи со снижением высоты водосбора и изменением условий питания, внутригодовое распределение стока постепенно меняется [4].

Гидрологический прогноз на вегетационный период 2024 г. в реке Нарын проводился по притоку к Токтогульскому водохранилищу.

На рис. 3 представлен ежедневный отчет о состоянии снежного покрова в бассейне реки Нарын. Ежедневный отчет по состоянию на 21 января 2024 г. показал, что площадь поверхности, покрытой снегом в бассейне реки Нарын, составила 97,26%, что стало максимальным значением за 2024 год.

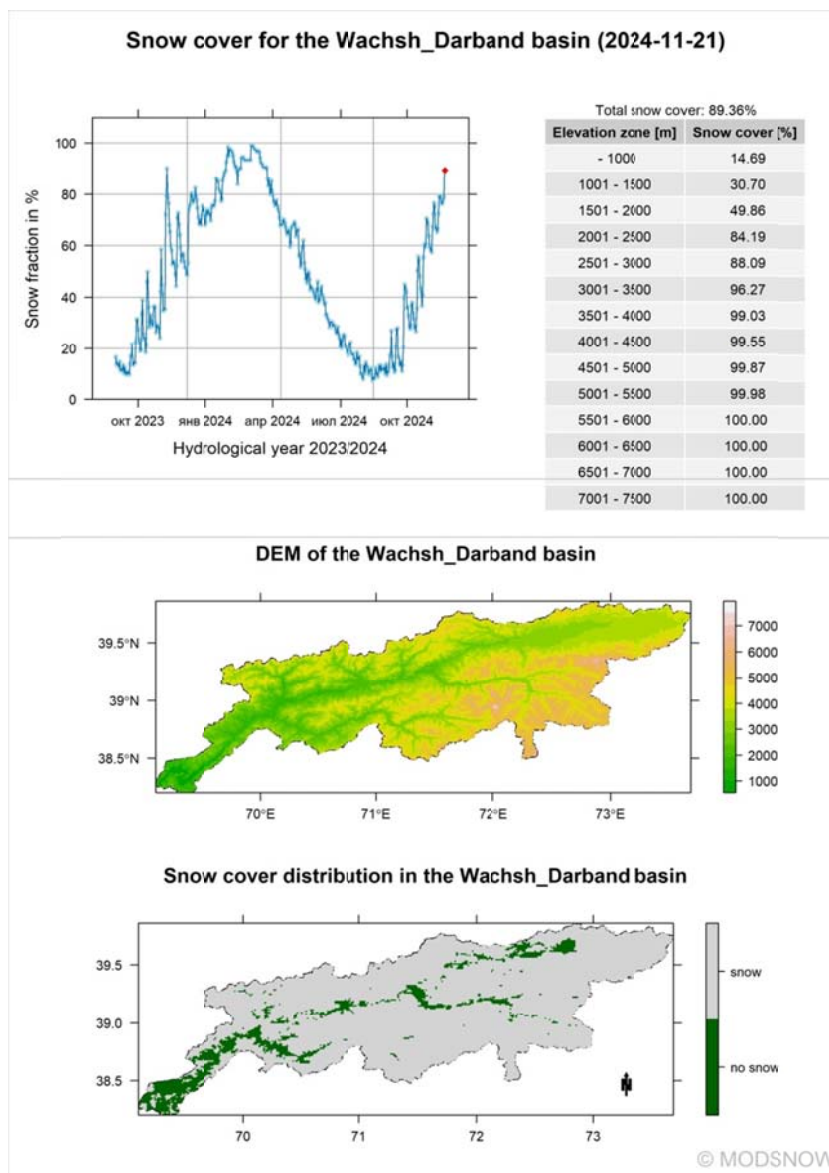


Рис. 2. Ежедневный отчет о состоянии снежного покрова в бассейне реки Вахш на 21 ноября 2024 г.

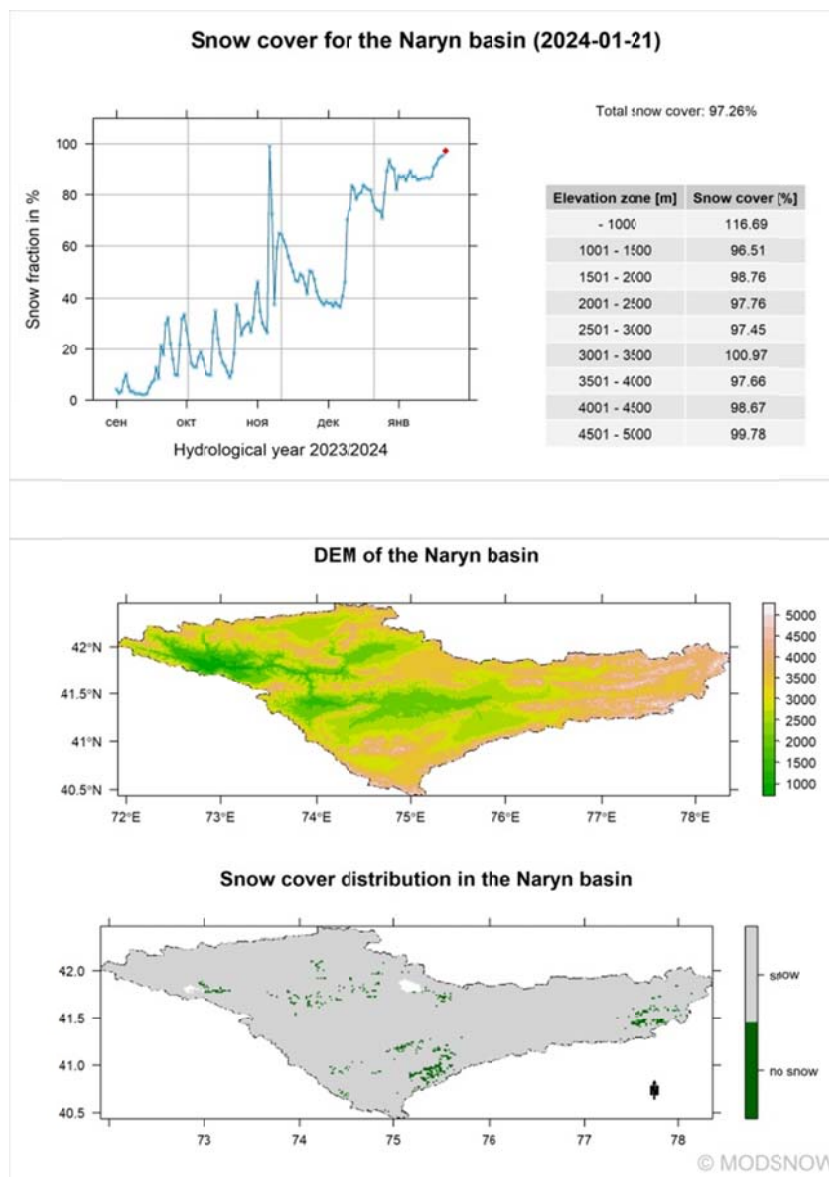


Рис. 3. Ежедневный отчет о состоянии снежного покрова в бассейне реки Нарын на 21 января 2024 г.

Метод исследования

Метод прогнозирования водности рек в программе MODSNOW основывается на интеграции спутниковых данных, метеорологических наблюдений и гидрологических моделей для оценки текущего состояния снежного покрова и прогнозирования его влияния на водность рек. Этот подход позволяет моделировать гидрологический цикл и прогнозировать объемы стока с учетом пространственно-временной изменчивости снежного покрова.

Спутниковые снимки MODIS используются для определения площади снежного покрова, динамики изменений снежного покрова во времени, а также для расчета объема воды, который может быть получен из снежного запаса. Программа MODSNOW предоставляет безоблачные карты снежного покрова и ежедневный отчет, который включает пространственно-временную статистику снега по отдельным бассейнам рек.

Карты строятся на основе ежедневных данных снежного покрова снимков MODIS с пространственным разрешением 500 м. Обработка в программе MODSNOW состоит из 7 этапов: загрузка доступных данных MODIS с сервера NSIDC (National Snow and Ice Data Center); загрузка данных о радиации со станций CAWa; оценка снежного покрова с использованием данных о радиации; преобразование исходных файлов HDF в формат GeoTIF; преобразование файлов GeoTIF в формат ASCII, включая маскирование бассейна; удаление облаков; постобработка статистики по картам снега [2].

В выбранных нами областях исследования снежный покров играет важную роль, поскольку с октября по начало апреля снежный покров накапливается и начинает таять с ранней весны и напрямую формирует речной сток. Поэтому снежный покров считается основным предиктором модели гидрологического прогноза в данном исследовании.

На основе статистических моделей прогноза, разработанные с использованием ежедневных данных о снежном покрове, ежемесячных данных о расходе воды в реках, данных о среднемесячной температуре воздуха и ежемесячных данных об общем количестве осадков, программа строит линейные уравнения, связывающие параметры снежного покрова с объемом стока. Эти модели адаптируются под конкретные речные бассейны с учетом их климатических и топографических особенностей. На основе текущего состояния снежного покрова и климатических прогнозов программа оценивает объемы водности рек на предстоящий период (оценка стока в вегетационный период и выявление возможных рисков).

В программе MODSNOW используется коэффициент корреляции (R) для определения степени взаимосвязи между ключевыми предикторами и выходным параметром. Например, можно измерить, насколько сильно площадь снежного покрова влияет на объем весеннего стока. На этапе построения модели коэффициент корреляции помогает определить, какие параметры наиболее значимы для прогнозирования водности рек.

Результаты и их обсуждение

Для построения гидрологических прогнозных моделей использовался подход множественной линейной регрессии (с учетом 4х предикторов):

$$Q = a * SCA + b * Q_{prev} + c * Prec + d * Temp, \quad (1)$$

где Q – прогнозируемый расход ($\text{м}^3/\text{с}$), a, b, c, d – коэффициенты регрессионной модели, SCA – площадь снежного покрова в MODSNOW (% снежного покрова относительно площади речного бассейна), Q_{prev} – предшествующий расход ($\text{м}^3/\text{с}$), $Prec$ – суммарное количество осадков до периода прогнозирования (мм), $Temp$ – среднемесячная температура до периода прогнозирования ($^{\circ}\text{C}$).

На рис. 4-6 показаны линейные модели для гидрологического прогноза на вегетационный период на реках Заравшан, Вахш, Нарын. В прогнозных моделях снежный покров, расход воды и осадки использовались в качестве основных предикторов для прогнозирования расхода воды в реках.

В таблице приведены рассчитанные гидрологические модели и их результаты в сравнении с прогнозными данными, полученными в НИЦ МКВК, а также с фактическими результатами за вегетационный период. Для р. Заравшан расход воды за вегетационный период по фактическим данным отсутствует.

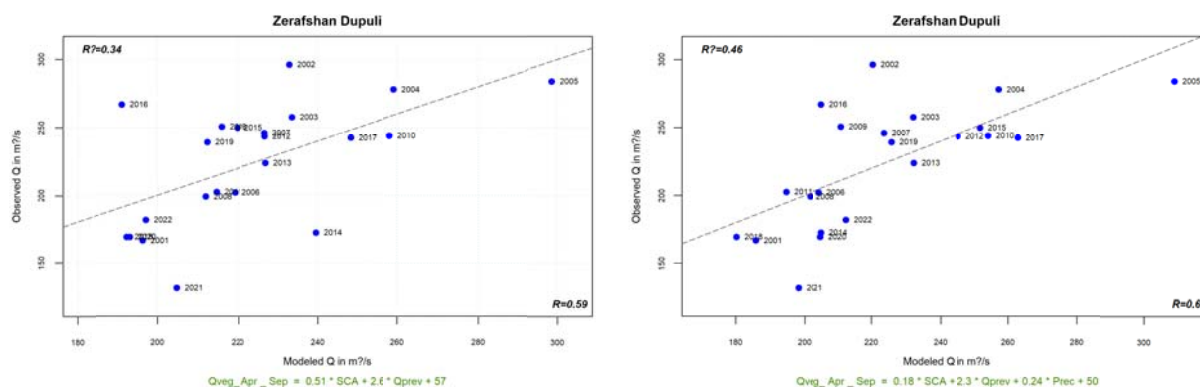


Рис. 4. Гидрологические прогнозные модели за вегетационный период расхода воды на реке Заравшан

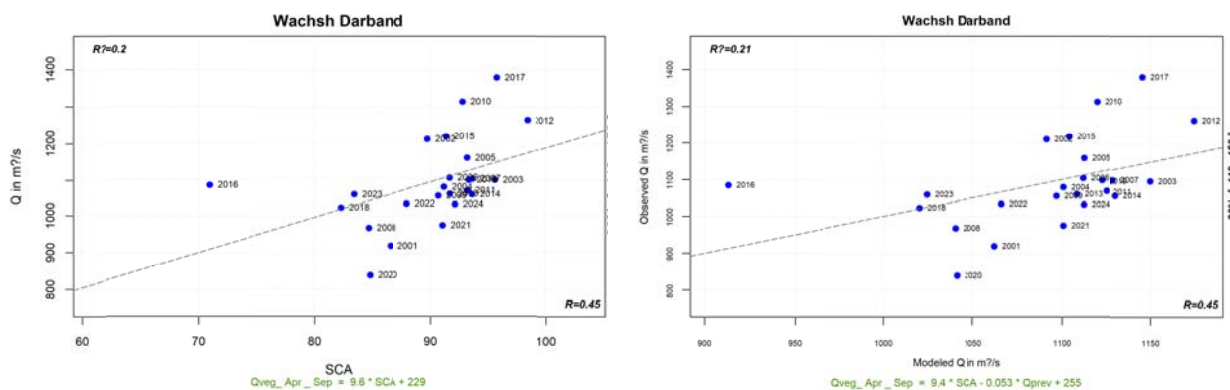


Рис. 5. Гидрологические прогнозные модели за вегетационный период расхода воды на реке Вахш

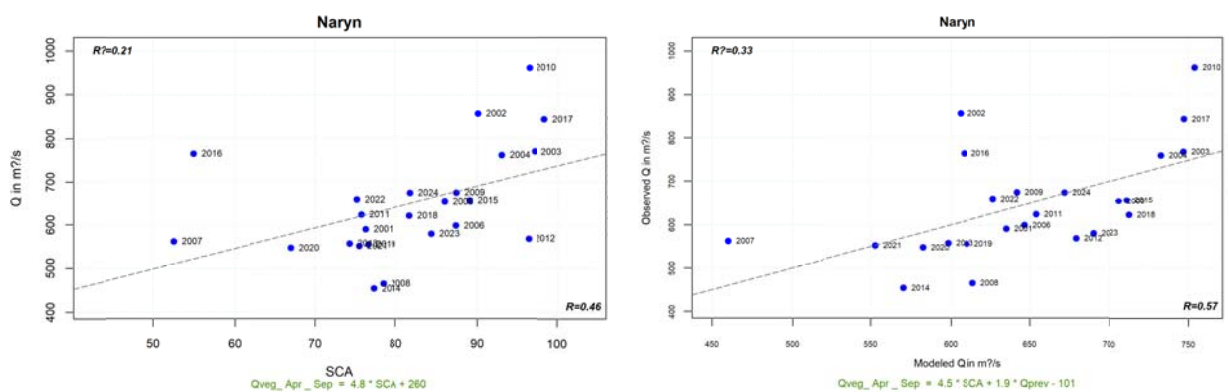


Рис. 6. Гидрологические прогнозные модели за вегетационный период расхода воды на реке Нарын

Для построения прогнозных моделей для рек Вахш и Нарын использовались два предиктора снежный покров и расход воды. Эти параметры были выбраны с учетом их коэффициентов корреляции (приблизительно 0,5 и 0,6), а также их близким расчетным значением с фактическими результатами за вегетационный период. По результатам прогноза проводимых в НИЦ МКВК на вегетационный период было получено, что водность р. Вахш на вегетацию составляет $1037 \text{ м}^3/\text{с}$, а для р. Нарын – $676 \text{ м}^3/\text{с}$. В случае р. Заравшан с учетом добавления в модель предиктора осадков коэффициент корреляции увеличивается (приблизительно 0,7), расход воды в моделях варьируется от 210 до $217 \text{ м}^3/\text{с}$.

По результатам сравнения фактической водности с прогнозами выполненными методом алгоритма поиска водности по годам-аналогам и MODSNOW установлено, что по р. Вахш отклонение факта от прогноза НИЦ МКВК составляет 35%, а от прогноза MODSNOW 9 – 10 %. По р. Нарын наблюдается 25 % отклонения факта от прогноза НИЦ МКВК, и только 2-3 % отклонения от MODSNOW.

Таблица

Гидрологические прогнозные модели на вегетационный период

№	Расчетное уравнение	R	Результат прогноза, (м ³ /с)	Прогноз НИЦ МКВК, (м ³ /с)	Итого за вегетацию, (м ³ /с)	Отклонение прогноза Факт-НИЦ МКВК (%)	Отклонение прогноза Факт-MODSNOW (%)
Р. Вахш							
1	$9.6*SCA+229$	0.45	1148	1592	1037	35	10
2	$9.4*SCA-0.053*Q_{prev}+255$	0.45	1143				9
Р. Нарын							
3	$4.8*SCA+260$	0.46	688.24	958.50	676.27	29	2
4	$4.5*SCA+1.9*Q_{prev}-101$	0.57	695.6				3
Р. Заравшан							
5	$0.51*SCA+2.6*Q_{prev}+57$	0.59	210.05				
6	$0.18*SCA+2.3+Q_{prev}+0.24*Pr_{ec}+50$	0.68	217.97				

Рекомендации

Для усовершенствования данного метода в MODSNOW, рекомендуется включения в алгоритм расчета расходов воды ледовой составляющей (отсутствующей в первых версиях).

Заключение

Для улучшения точности прогнозов стока и минимизации отклонений между фактическими данными и расчетами НИЦ МКВК, предлагается усовершенствование методики за счет включения фактора снежного покрова в зонах формирования стока.

Поэтому основной целью данного исследования было составление гидрологического прогноза на вегетационный период 2024г. стока рек Заравшан, Вахш и Нарын с использованием специализированного программного обеспечения MODSNOW. Для достижения этой цели были созданы гидрологические прогнозные модели с использованием трех предикторов. Самым высоким коэффициентом корреляции прогнозных моделях была для р. Заравшан. Для рек Вахш и Нарын коэффициент корреляции был

значительно ниже, но расчетные значения по прогнозным моделям были близки к фактическим данным.

Модель MODSNOW, использующая данные спутникового мониторинга снежного покрова MODIS, демонстрирует значительно меньшие отклонения (9–10% для Вахша и 2–3% для Нарына) по сравнению с традиционными методами НИЦ МКБК.

Прогностические модели для рек Заравшан, Вахш и Нарын, построенные в программе MODSNOW, основаны на трех ключевых предикторах на снежном покрове, расходе воды и осадках. Эти параметры обеспечивают точность прогнозов, так как отражают основные процессы, формирующие сток в горных бассейнах. Такой подход позволяет оперативно и надежно прогнозировать водность рек в условиях сложной топографии и климатических изменений.

НИЦ МКБК поддерживает постоянную связь с разработчиками MODSNOW. Планируется провести тренинг и установить в НИЦ последнюю версию данной программы, учитывающую ледовую составляющую.

Литература

1. Калашникова О.Ю., Гафуров А.А., Оморова Э.А. Прогноз водности реки Нарын на месяцы вегетации на основе снимков MODIS, Наука, Новые технологии и инновации Кыргызстана, №3, 2020, стр. 14-18. DOI:10.26104/NNTIK.2019.45.557
2. A. Gafurov, S. Ludtke, K. Unger-Shayesteh, S. Vorogushyn, T. Schone, S. Schmidt, O. Kalashnikova, B. Merz. MODSNOW-Tool: an operational tool for daily snow cover monitoring using MODIS data, Environ Earth Sci (2016) 75:1078, pp 1 – 15. DOI 10.1007/s12665-016-5869-x
3. Ниязов Дж. Б., Калашникова О. Ю., Гафуров А. А. Методика прогноза водности высокогорных рек Центральной Азии на основе снимков MODIS, Центральноазиатский журнал исследований воды (2020) 6(2), стр. 26-37. doi: 10.29258/CAJWR/2020-R1.v6-2/26-37.rus
4. База знаний по использованию земельных и водных ресурсов бассейна Аральского моря // Реки // [Электронный ресурс]. Режим доступа http://cawater-info.net/bk/water_land_resources_use/docs/rivers.html (дата обращения: 29.11.2024)

Изучение современного гидрологического и гидрохимического режима реки Амударьи

М.Н. Рахимова

Введение

В мире глобальное изменение климата привело к сокращению запасов пресной чистой воды, в связи с этим большое внимание уделяется эффективному и рациональному использованию водных ресурсов. В связи с этим, в шестой цели устойчивого развития ООН «Обеспечение наличия и рациональное использование водных ресурсов и санитария для всех»¹ отмечается, что «доступ к безопасной воде и рациональное использование пресноводных экосистем имеет огромное значение для здоровья человека и экологической безопасности». Это требует учета и анализа количества и качества поверхностных вод в аридных регионах в условиях постоянного увеличения потребности в пресной воде.

По всему миру и в Центральной Азии особое внимание уделяется исследованиям в этом направлении, в том числе, многолетнему изменению водности рек, изменению гидрологического и гидрохимического режимов как речных, так и коллекторно-дренажных вод, анализу водно-солевых балансов орошаемой территории, определению современных характеристик химического состава и качества коллекторов. В связи с этим, научные исследования, направленные на выявления современных гидрологических и гидрохимических режимов речного и коллекторного стоков *являются актуальными.*

Изученность вопроса исследования

Научно-методические и теоретические основы различных аспектов исследования гидрологических и гидрохимических особенностей речного и коллекторно-дренажного стоков, оценки их качества и методов их очистки рассмотрены в исследованиях ученых как О.А.Алекин, Е.М.Видинеева, И.Н.Степанов, Ю.Н. Иванов, Ф.Э.Рубинова, В.Е.Чуб, В.А.Духовный, Э.И.Чембарисов, М.А.Якубов, А.Б. Насрулин.

¹Цели в области устойчивого развития до 2030 года,
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/sustainable-development-goals/>

Е.М.Видинеева, изучая формирование химического состава различных водохранилищ Узбекистана, рассмотрела изменение качества вод некоторых рек региона. А.Б. Насрулин, исследуя закономерности пространственно-временного распределения загрязняющих веществ в воде Амударьи, рассмотрел динамику изменения некоторых химических ингредиентов. Ф.Э. Рубинова и Ю.Н. Иванов, изучая изменение минерализации и ионного состава речных вод бассейна Аральского моря, выделяют на его территории 13 гидрохимических районов.

Общая характеристика бассейна Амударьи

С севера на юг бассейн Амударьи протягивается на 1000 км, а с востока на запад почти на 1500 км. На севере бассейн Амударьи граничит с бассейном Сырдарьи, на востоке – с бассейном р. Тарим и на юге с бассейнами рек Инд и Гильменд. Границы бассейна четко определяются только в пределах горной области; в равнинной области водораздельная линия выражена неясно, поэтому общая площадь бассейна не может быть определена точно. Для створа, расположенного ниже устья его последнего притока р. Шерабад, площадь бассейна составляет 226 800 км². Водосборная (горная) часть бассейна, включая водосборы рек Зеравшан и Кашкадарья, занимает площадь 227 800 км², а без – 199 350 км². В пределах горного рельефа границами бассейна являются на севере Алайский, Туркестанский и Нуратинский хребты, на юге хребет Гиндукуш и на востоке Сырыкольский хребет (Чембарисов Э. и Баллиев А, 2023). Минерализация воды реки Амударья в 1970–1975 гг. изменялась 0,60-1,2 г/л к устью рек минерализация воды повышалась, при этом состав воды был хлоридно-натриевый, а в 1985-1990 гг. 0,67-1,23 г/л, состав воды был сульфатно-хлоридно-кальциево-натриевый (Чембарисов Э., 2015; Эшчанов О., 2021).

Методы исследования

В научной записке применены методы гидрологических и гидрохимических расчетов и оценок, включая методы водно-математической статистики, гидрологическое обобщение, графоаналитический метод.

Тип питания реки Амударьи

Сток этой реки в основном (68-69%) формируется стоком рек Пяндж и Вахш. Лишь несколько возрастает подземное питание, да в незна-

чительной степени на режим и характер питания Амударьи оказывают влияние ее правые притоки Кафирниган и Сурхандарья (их суммарный сток не превышает 11 % стока Амударьи) и левый приток Кундуздарья (около 4%), несколько уменьшая в общем питании реки долю питания за счет таяния ледников и высокогорных снегов. Таким образом, Амударья является представительницей рек ледниково-снегового питания; основная масса ее стока обеспечивается снеговым питанием, причем роль таяния высокогорных снегов, снежников и ледников, в особенности первых, в ее питании значительна (Чембарисов Э. и др, 2019).

Анализ формирования речного стока в бассейне р. Амударьи

Годовой гидрологический цикл для горных рек бассейна Амударьи отчетливо делится на два периода: весенне-летнее половодье и межень. Осенью, зимой и ранней весной большая часть рек пребывает в состоянии межени. Уровень и расходы воды в них в этот период изменяются весьма незначительно, так как в это время по рекам стекают только грунтовые и частично дождевые воды. Затем в феврале—мае на реках начинаются весенне-летние паводки и половодье.

Согласно проведенным расчетам были также определены различия величин средних годовых расходов воды ($Q_{\text{ср.мес}}, \text{м}^3/\text{с}$) у створа Келиф в многоводные, средние по водности и маловодные годы по сравнению с средним многолетним расходом. При этом определено, что в многоводные годы проходит в среднем $2100 \text{ м}^3/\text{с}$, в средние по водности годы $1700 \text{ м}^3/\text{с}$, в маловодные годы $1300 \text{ м}^3/\text{с}$.

На рис.1 показаны многолетние изменения средних годовых расходов воды ($Q_{\text{ср.год}}, \text{м}^3/\text{с}$) за 1990 – 2022 гг. на створах р.Амударьи на постах: а) Келиф, Атамурат, Бир-Ата; б) Туямуюн, Кипчак, Саманбай. Из графика видно, что наиболее многоводными годами являются 1992, 1994, 1998, 2005, 2010, 2012 а наиболее маловодными: 1997, 2000, 2001, 2008, 2011. Эта же закономерность прослеживается не только на створе Келиф, но и на других перечисленных створах.

В створе Келиф наибольшие величины расходов воды наблюдались в 1998 г. – $2560 \text{ м}^3/\text{с}$ и в 1992 г. – $2524 \text{ м}^3/\text{с}$, наименьшие в 2008 г. – $1070 \text{ м}^3/\text{с}$ и в 2001 г. – $1320 \text{ м}^3/\text{с}$, в остальные годы величины расходов воды изменялись от $1360 \text{ м}^3/\text{с}$ (2011 г.) до $2422 \text{ м}^3/\text{с}$ (1994 г.).

В створе Атамурат наибольшие величины расходов воды наблюдались в 1998 г. – $2021 \text{ м}^3/\text{с}$ и в 1992 г. – $1994 \text{ м}^3/\text{с}$, наименьшие в 2009 г. – $668 \text{ м}^3/\text{с}$ и в 2001 г. – $883 \text{ м}^3/\text{с}$, в остальные годы величины расходов воды изменялись от $929 \text{ м}^3/\text{с}$ до $1891 \text{ м}^3/\text{с}$.

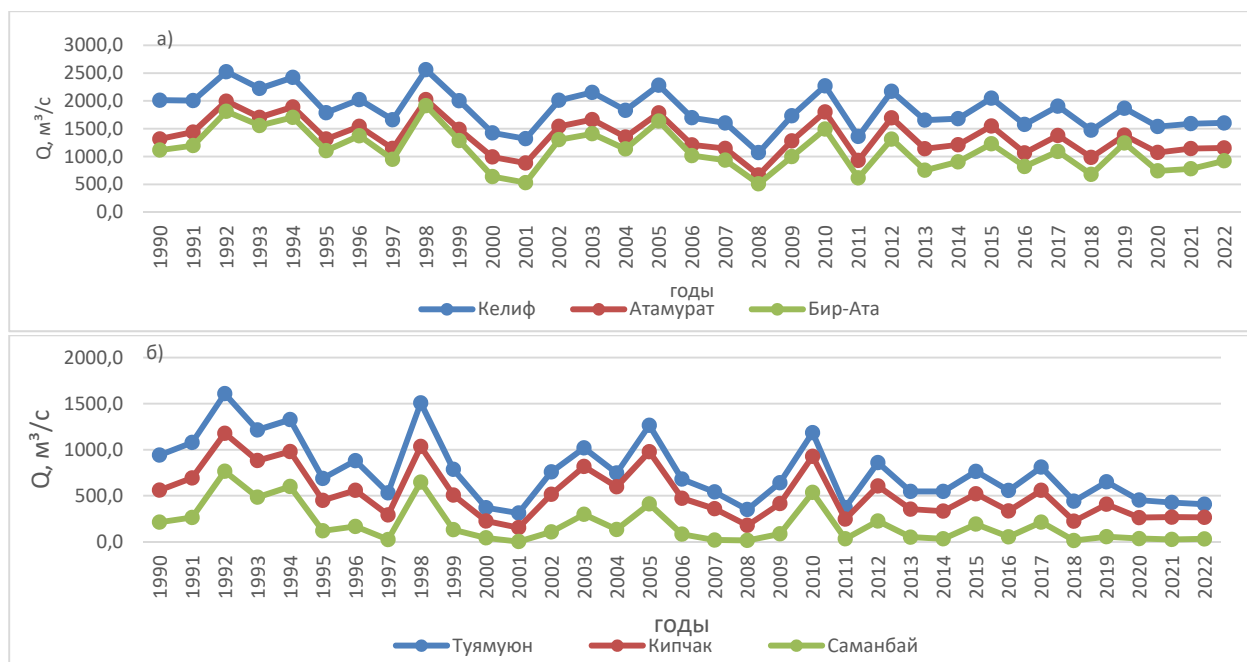


Рис. 1. Многолетние колебания средних годовых расходов воды бассейна р.Амударьи на постах: а) Келиф, Атамурат, Бир-Ата; б) Туямююн, Кипчак, Саманбай

В створе Бирата наибольшие величины расходов воды наблюдались в 1998 г. – 1913 м³/с и в 1992 г. – 1811 м³/с, наименьшие в 2008 г. – 509 м³/с и в 2001 г. – 529 м³/с, в остальные годы величины расходов воды изменялись от 614 м³/с до 1704 м³/с.

В створе Туямююн наибольшие величины расходов воды наблюдались в 1992 г. – 1607 м³/с и в 1998 г. – 1508 м³/с, наименьшие в 2001 г. – 312 м³/с и в 2008 г. – 350 м³/с, в остальные годы величины расходов воды изменялись от 370 м³/с до 1326 м³/с.

В створе Саманбай наибольшие величины расходов воды наблюдались в 1992 г. – 765 м³/с и в 1998 г. – 648 м³/с, наименьшие в 2001 г. – 3,0 м³/с и в 2018 г. – 14 м³/с, в остальные годы величины расходов воды изменялись от 15 м³/с до 600 м³/с.

Средний многолетний расход воды Амударьи в створе Атамурат (Керки) за период 1911-1960 годы составил 2010 м³/с, а за 1990-2022 годы 1359,8 м³/с. В период март-сентябрь - 2800 м³/с, в период декабрь-февраль - 898 м³/с, и соответственно март-сентябрь - 1822 м³/с, декабрь-февраль - 741 м³/с.

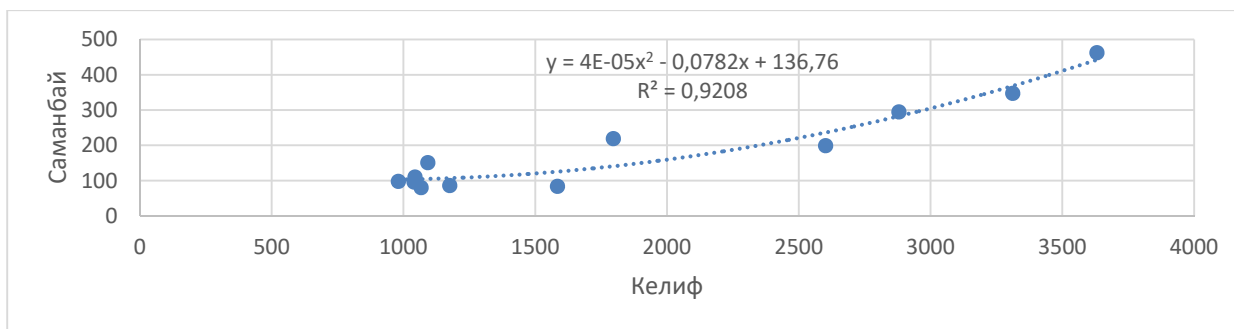


Рис. 2. График связи средних месячных расходов воды реки Амударья на гидростворах Келиф и Саманбай за 1991-2022 гг.

Приведенные данные позволяют также проследить за изменением водности р.Амударья по течению реки от створа Келиф до створа Саманбай: практически по всем годам водность реки на расстоянии названных створов уменьшается, это объясняется большим забором воды (каналы Каракум, Карши, Аму-Бухара), работой Нурекского водохранилища в гидроэнергетическом режиме, а также работой Туямуюнского водохранилища.

Был также построен график зависимости между средними многолетними средними месячными расходами воды для створа Келиф и створа Саманбай (рис.2). Данная зависимость получилась достаточно тесной ($R^2=0,92$) и ею можно пользоваться в практических расчетах, когда по известному расходу у створа Келиф можно судить о ожидаемой величине расходов воды в створе Саманбай.

Современный гидрологический и гидрохимический режим реки Амударья

Современные данные о гидрологическом и гидрохимическом режимах р.Амударья в створах Келиф, Атамурат, Бир-Ата, Туямуюн, Кипчак, Саманбай приведены в табл. и рис.3.

Как видно из графиков, в створах Келиф и Атамурат, в течение года наблюдаются резкие изменения расходов воды, если в летние месяцы они были равны соответственно 1170-3600 м³/с и 700-2900 м³/с то в осенне-зимний период они понижаются до 980-1100 м³/с и 650-760 м³/с. Главной причиной такого резкого понижения расходов воды следует считать водозаборы в оросительные каналы для полива сельскохозяйственных культур.

Величина минерализации на обоих створах в течение года изменялась незначительно: на створе Келиф от 420 до 753 мг/л, на створе Атамураг – от 440 до 800 мг/л, хотя тенденция увеличения ее величин при понижении расходов воды все же наблюдается.

В створах Бирата и Кипчак наблюдается обратно пропорциональная зависимость между водным и гидрохимическим режимом, когда с уменьшением расходов воды ее минерализация повышается, это объясняется подземным типом питания реки в эти месяцы, известно, что минерализация подземных вод обычно выше, чем минерализация речных вод.

Таблица

**Среднее многолетнее внутригодовое распределение стока и минерализации
в створах среднего течения р.Амударья за 1991-2022 гг.**

Показатели	месяца												Ср. годовой
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Келиф													
Q, м ³ /сек	1044,6	1067,4	1176,3	1584,9	2602,3	3312,2	3631,8	2880,5	1797,2	1093,2	981,6	1040,6	1851,0
W, млн.м ³	2799,6	2604,3	3152,4	4105,0	6974,0	8578,6	9733,1	7719,8	4654,8	2929,8	2542,2	2788,7	58374,5
%	4,8	4,5	5,4	7,0	11,9	14,7	16,7	13,2	8,0	5,0	4,4	4,8	100
M, мг/л	689,4	753,0	717,9	622,0	521,8	450,8	421,3	428,8	498,7	579,2	621,5	682,0	582,2
Атамурат													
Q, м ³ /сек	748,1	735,5	759,3	1066,8	1988,8	2613,9	2887,1	2176,4	1259,2	696,2	648,0	738,1	1359,8
W, млн.м ³	2005,0	1794,6	2034,8	2762,9	5330,0	6770,1	7737,5	5832,9	3261,5	1865,9	1678,3	1978,1	42882,4
%	4,7	4,2	4,7	6,4	12,4	15,8	18,0	13,6	7,6	4,4	3,9	4,6	100
M, мг/л	712,7	793,6	792,9	665,6	545,2	443,9	458,8	465,9	529,0	606,7	691,2	683,4	615,7
Бир-Ата													
Q, м ³ /сек	621,6	566,8	563,0	810,3	1605,5	2105,6	2442,2	1801,4	1037,4	599,2	546,8	645,9	1112,1
W, млн.м ³	1665,8	1382,9	1508,9	2098,6	4302,7	5453,5	6545,1	4827,9	2686,8	1605,7	1416,2	1731,1	35072,4
%	4,7	3,9	4,3	6,0	12,3	15,5	18,7	13,8	7,7	4,6	4,0	4,9	100
M, мг/л	944,6	1077,6	1136,0	1062,4	822,2	627,5	623,8	614,4	773,1	854,0	838,3	864,6	853,2
Кипчак													
Q, м ³ /сек	274,9	287,0	397,2	304,8	629,3	920,2	1162,7	916,3	520,9	282,1	215,4	327,2	519,8
W, млн.м ³	736,7	700,3	1064,6	789,4	1686,6	2383,3	3115,9	2455,7	1349,3	756,1	557,8	876,8	16393,5
%	4,5	4,3	6,5	4,8	10,3	14,5	19,0	15,0	8,2	4,6	3,4	5,3	100
M, мг/л	970,1	1076,2	1124,3	1160,0	1044,6	875,8	861,7	848,4	905,3	950,8	969,3	1054,2	986,7
Саманбай													
Q, м ³ /сек	109,7	79,8	85,7	83,3	198,5	346,9	462,2	294,5	218,5	150,5	97,4	95,3	185,2
W, млн.м ³	293,9	194,6	229,6	215,8	532,1	898,5	1238,7	789,3	565,8	403,4	252,3	255,5	5840,2
%	5,0	3,3	3,9	3,7	9,1	15,4	21,2	13,5	9,7	6,9	4,3	4,4	100,5
M, мг/л	1024,8	1087,6	1170,4	1185,1	1134,2	925,3	952,5	887,3	888,4	995,5	1020,5	994,5	1022,2

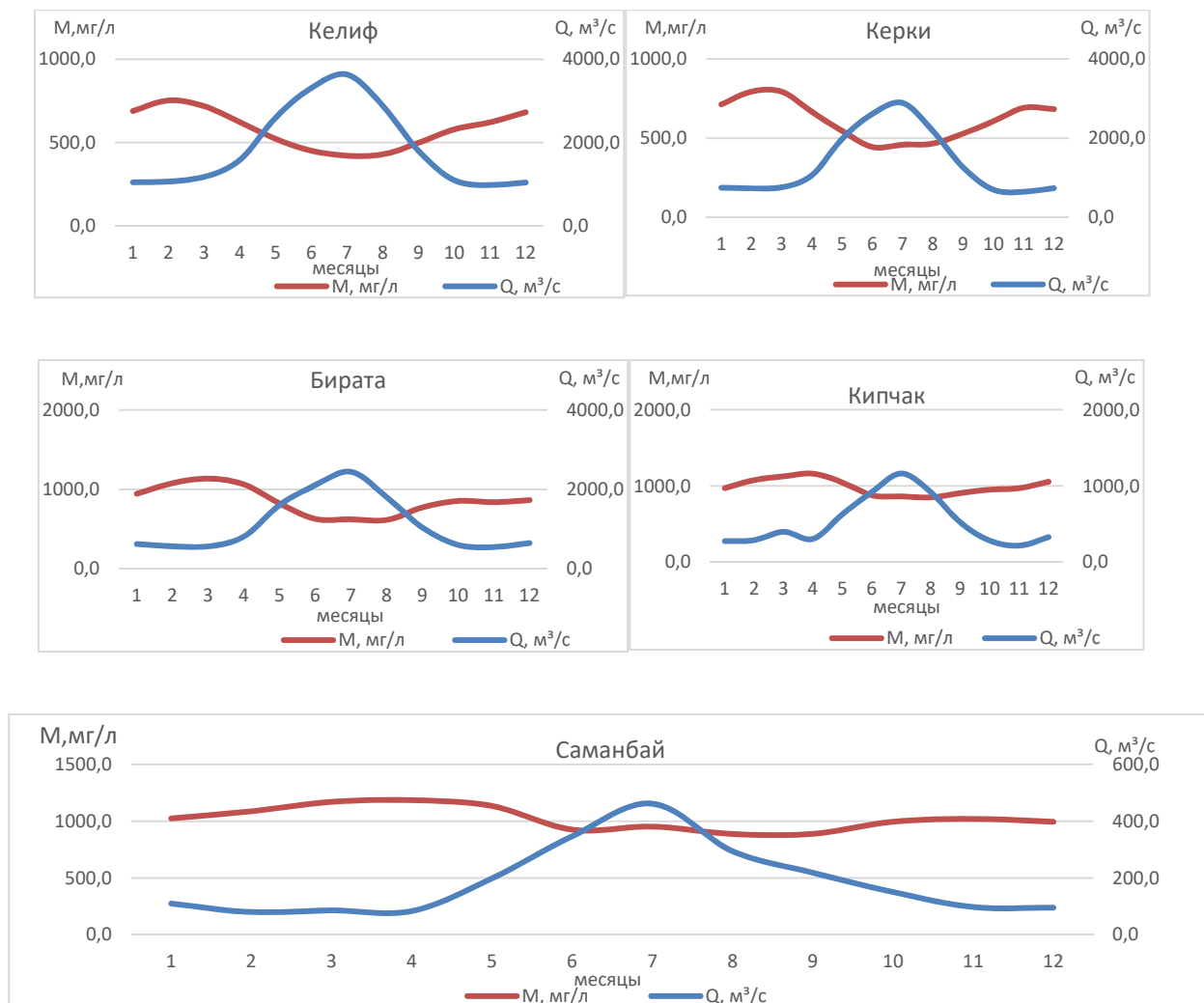


Рис. 3. Внутригодовое изменение расходов воды ($Q_{\text{ср.мес}}, \text{м}^3/\text{с}$) и минерализации ($M, \text{мг}/\text{л}$) реки Амударьи за 1990-2022 гг.: Келиф, Атамурат, Бир-Ата, Туямуюн, Кипчак, Саманбай

На обоих створах в течение года наблюдаются резкие изменения расходов воды, если в летние месяцы они были равны соответственно $800-2400 \text{ м}^3/\text{с}$ и $300-1160 \text{ м}^3/\text{с}$ то в осеннее-зимний период они понижаются до $540-650 \text{ м}^3/\text{с}$ и $215-400 \text{ м}^3/\text{с}$, а величина минерализации изменялась в следующем порядке: на створе Бирата от 615 до 1140 мг/л, на створе Кипчак – от 850 до 1160 мг/л.

В створе Саманбай расходов воды изменяется в летние месяцы $100-470 \text{ м}^3/\text{с}$, а в осеннее-зимний период были равны $80-150 \text{ м}^3/\text{с}$, величина минерализации изменялась от 890 до 1185 мг/л. Таким образом, можно сделать вывод о том, что у всех створов р.Амударьи в течение всего рассматриваемого периода (1990-2022 гг.) наблюдается обратно пропорцио-

нальная зависимость между гидрологическим и гидрохимическим режимом.

В верхней части бассейна наблюдается тенденция к уменьшению минерализации речных вод с ростом ее расходов. Как правило, у створов, расположенных в среднем и нижних течениях рек, изменение минерализации по месяцам протекает сложнее. Здесь наблюдается несколько ее подъемов и спадов, объясняющихся поступлением в русло рек возвратных вод с орошаемых полей во время их промывок и поливов. В реке Амударья возвратные воды коллекторов ГЛК, Парсанкульский, Дарганатинский, Самоучный Фарабий и др. непосредственно влияют на увеличении минерализации в воде.

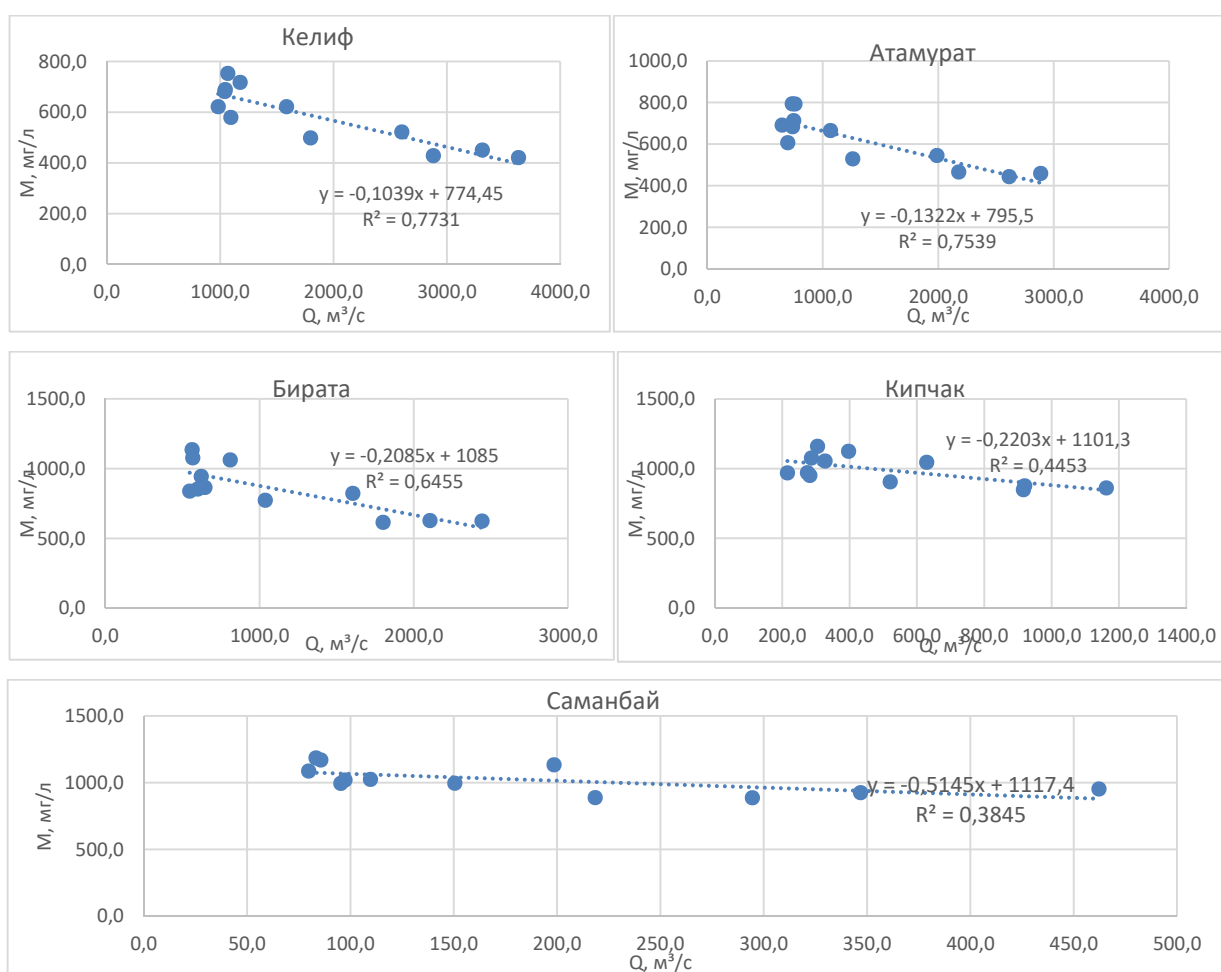


Рис. 4. Зависимости средних многолетних месячных величин минерализации (M, мг/л) от средних многолетних величин месячных расходов воды ($Q_{\text{ср.год}}, \text{м}^3/\text{с}$) реки Амударья за 1990-2022 гг: а) Келиф, б) Атамурат, в) Бирата, г) Кипчак, д) Саманбай.

Наличие обратно пропорциональной зависимости между водными гидрохимическим режимами свидетельствует о том, что на графиках между средними многолетними месячными величинами минерализации и средними многолетними месячными расходами воды будет достаточно тесная связь (рис.4).

Как видно из графиков в створах Келиф, Атамурат и Бирата эта связь оказалось достаточно тесной (коэффициент корреляции 0,81-0,88), а в створах Кипчак и Саманбай этот коэффициент корреляции был равен 0,62-0,67. Эти графики можно использовать в практических расчетах, когда при известной величине расходов воды ($Q, \text{м}^3/\text{с}$) можно определить величину минерализации ($M, \text{мг/л}$).

Выводы

Гидрологический и гидрохимический режимы реки Амударья оценивались путем анализа данных за 1990-2022 гг. пяти пунктов наблюдения. По результатам исследования наблюдается обратно пропорциональная зависимость между гидрологическим и гидрохимическим режимом. Средняя годовая средняя многолетняя величина минерализации у створа Келиф в среднем за 1991-2022 гг. равна 582 мг/л (внутри года изменяется от 421 до 753 мг/л), у створа Атамурат она равна 615 мг/л (внутри года изменяется от 443 до 793 мг/л), Бир-Ата она равна 853 мг/л (внутри года изменяется от 614 до 1136 мг/л) и у створа Саманбай она равна 1022 мг/л (внутри года изменяется от 887 до 1185 мг/л).

Все собранные гидрологические данные по величинам средних годовых расходов воды у створа Келиф были разделены на три группы с учетом величин модульного коэффициента (K_0): а) маловодные годы – 7 лет; б) годы средней водности – 17 года; в) многоводные годы – 9 лет. Анализ внутригодового гидрологического и гидрохимического режимов речной воды по данным выше указанных створов, показал, что в реке Амударья, наибольшее количество стока (до 80%) проходит в реке за май-сентябрь месяцы. Причиной данного процесса является ледниково-снеговое питание реки Амударья.

В результате исследования было выявлено, что влияние антропогенных факторов (забор воды из источников в большом количестве, сброс не очищенных сточных вод из разных отраслях экономики) увеличивается и на определенном уровне рациональное использование водных ресурсов невозможно без достоверных знаний об изменениях в гидрологическом и гидрохимическом режимах территории и стоке рек под их воздействием. Однако, начиная с водозаборов в Каракумский, Каршинский, Аму-

Бухарский каналы и так до гидропоста Саманбай сток по стволу реки многократно сокращаются и теперь редко наполняет её протоки.

Интенсивно возрастающее использование в отраслях экономики водных ресурсов приводит к существенным изменениям стока рек, гидрологического и гидрохимического режимов. Для улучшения водной обстановки необходимо рациональное использования водных ресурсов: внедрять водосберегающие технологии во всех секторах экономики, соблюдать экологические попуски по всей длине реки, предотвратить сброс сточных вод промышленности и сельского хозяйства без предварительной очистки (механическая, физико-химическая, биологическая очистка, ультрафильтрация, нанофильтрация, обратный осмос, опреснение), изучать гидроэкологические параметры водных объектов.

Литература

1. Чембарисов Э.И., Бахритдинов Б.А. Гидрохимия речных и дренажных вод Средней Азии. – Ташкент: «Укитувчи», 1989. – 232 с.
2. Чембарисов Э.И., Мирзакабулов Ж.Б., Рахимова М.Н. Гидроэкологический мониторинг качества речных вод бассейна реки Амударьи в пределах Узбекистана // Экология и строительство. – 2019. - №1. –С.12-17.
3. Чембарисов Э.И., Баллиев А.И. Современное изменение водоносности и минерализации реки Амударьи // Центральноазиатский журнал географических исследований. – 2023. - №3-4. – С.83-92.

Экологические попуски в законодательстве и практике Республики Узбекистан и меры по их совершенствованию

З.Р. Яруллина

Введение

Вода для Узбекистана является приоритетным и жизненно важным ресурсом, обеспечивающим условия проживания населения и экономическое развитие общества. При этом в отношении обеспечения водными ресурсами Узбекистан находится в наиболее неблагоприятных природных условиях.

Поверхностные водные ресурсы Республики Узбекистан складываются из водных ресурсов, поступающих по рекам из горных областей соседних государств, и в связи с этим актуальным вопросом является регулирование использования трансграничных водотоков.

Руководителями водохозяйственных ведомств государств Центральной Азии в 1992 году (18.02.1992 г.) в г. Алматы было подписано «Соглашение о сотрудничестве в сфере совместного управления использованием и охраной водных ресурсов межгосударственных источников», что подтвердило стремление к соблюдению положений и установок норм, предусмотренных «Схемами» 1983-1984 годов. Нукусской декларацией по проблемам устойчивого развития бассейна Аральского моря, подписанной Президентами всех пяти Центральноазиатских государств (20.01.1995 г.) также было подтверждено стремление придерживаться установленных норм.

Согласно «Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна реки Амударья» и «Схеме комплексного использования и охраны водных ресурсов бассейна реки Сырдарья», годовой лимит водозабора для Узбекистана составляет 68 млрд. м³. При этом в 1980-х годах годовое водопотребление составляло порядка 64 млрд.м³.

Ежегодный объем используемых Узбекистаном трансграничных водных ресурсов за последние годы составляет в среднем 53,0 км³/год, что указывает на значительное сокращение (на 17,5 %) суммарного доступного водозабора, обусловленное естественным уменьшением водности рек и источников под воздействием изменения климата, а также проблемами трансграничного водопользования.

В зависимости от водности и периода года наблюдаются случаи полного отсутствия воды в естественных водных объектах (реки). Например, по реке Чирчик, в вегетационный период **2020 года** (апрель-сентябрь), только во второй декаде апреля сброс воды в реку из Верхнечирчикского водного гидроузла производился в объёме **2,9 м³/с**, а в период межвегетации **2020 года** (октябрь-декабрь) попуски в реку Чирчик производились только во второй и третьей декаде ноября в объёмах **2 м³/с** и **1,6 м³/с** соответственно и в третьей декаде декабря в объёме **26,3 м³/с²**.

Дефицит водных ресурсов оказывает отрицательное воздействие на состояние водных экологических систем. Это проявляется, в частности, в следующих факторах:

- расширение русла рек за счёт обрушения берегов в результате неравномерного стока и бессистемной добычи песчано-гравийной смеси;
- деградация или полное исчезновение многолетних насаждений по берегам рек;
- деградация видового состава животного мира и водной фауны;
- ухудшение качества вод ввиду отсутствия достаточного объёма воды для разбавления сточных вод, сбрасываемых в водные объекты промышленными и коммунальными объектами;
- понижение уровня воды в эксплуатационных скважинах питьевого водоснабжения;
- изменение природного ландшафта, и др.

В связи с этим, в последние годы всё чаще возникают вопросы о необходимости обеспечения рек санитарными и экологическими попусками для сохранения и восстановления их экологической системы.

В данном обзоре выполнен анализ национального законодательства и международной практики Узбекистана по экологическим попускам и представлены предложения по его совершенствованию на основе практики зарубежных стран.

Законодательная база Узбекистана по экологическим попускам

В действующем законодательстве конкретные нормы, предусматривающие необходимость и процедуру регулирования экологических попусков не предусмотрены. Вместе с тем, в отдельных статьях нормативно-

² <http://cawater-info.net/chirchik/index.htm>

правовых документов необходимость соблюдения экологических стоков или попусков подразумевается.

Например, статьёй 19 «Условия пользования водами и водоёмами» Закона Республики Узбекистан «Об охране природы»³ предусмотрено, что поверхностные, подземные и морские воды на территории Республики Узбекистан используются **при условии сохранения в естественном обороте необходимого количества воды**, обеспечения ее нормативной чистоты, сохранения водной флоры и фауны, недопущения загрязнения водоемов, сохранения в них экологического равновесия и непричинения ущерба водоему как элементу ландшафта.

В Законе Республики Узбекистан «О воде и водопользовании» так же предусматривается ряд статей не прямого действия.

В частности, при размещении, проектировании, строительстве, реконструкции, ремонте, восстановлении и вводе в эксплуатацию предприятий, сооружений и других объектов, влияющих на состояние вод и водных объектов предусматривается **необходимость обеспечения сохранения благоприятных природных условий и ландшафтов** (ст. 11). Также предусматривается мероприятия, обеспечивающие **компенсацию ущерба, наносимого рыбным запасам, другим водным животным и растениям, и условиям для их сохранения, восстановления и воспроизводства** (ст. 12). Кроме этого предприятия, учреждения и организации, эксплуатирующие плотины, дамбы, водопропускные и водозаборные сооружения, гидроэнергетические комплексы и другие сооружения на водохранилищах, обязаны соблюдать режим наполнения и сработки водохранилищ, установленный с учетом правил эксплуатации и интересов водопользователей, водопотребителей, собственников земельных участков, землевладельцев и землепользователей, находящихся в зонах влияния водохранилищ. Водохранилища создаются в целях **регулирувания поверхностного стока для удовлетворения потребности различных водопользователей и водопотребителей в воде** (ст. 78).

Законодательством также предусмотрено, что все воды (водные объекты) подлежат охране от загрязнения, засорения и истощения, которые могут причинить вред здоровью населения, а также повлечь уменьшение рыбных запасов, ухудшение условий водоснабжения и другие неблагоприятные явления вследствие изменения физических, химических, биологических свойств вод, **снижения их способности к естественному очищению, нарушения гидрологического и гидрогеологического режима вод** (ст. 97).

³ Закон Республики Узбекистан от 9 декабря 1992 г. № 754-ХII «Об охране природы»

Генеральные и бассейновые (территориальные) схемы комплексного использования и охраны вод определяют основные водохозяйственные и другие мероприятия, подлежащие осуществлению для удовлетворения перспективных потребностей в воде населения и отраслей экономики, а также для **охраны вод** и предупреждения их вредного воздействия (ст. 111).

В свою очередь, законодательством Республики Узбекистан предусмотрены нормы, регламентирующие государственный учёт вод, планирование использования и охрану вод, ведение государственного водного кадастра, составление водохозяйственных балансов и схем комплексного использования и охраны вод, а также мониторинг вод.

Несмотря на отсутствие в законах термина «экологический попуск», в Положении о порядке водопользования и водопотребления в Республике Узбекистан, утверждённым постановлением Кабинета Министров Республики Узбекистан 19.03.2013 г. № 82⁴ была включена норма касательно экологических стоков. В частности,

Лимиты водозабора устанавливаются всем водопользователям и водопотребителям в следующем порядке приоритетности (пункт 19):

- питьевое, лечебное и коммунально-бытовое хозяйство;
- промышленность;
- сельское хозяйство;
- **санитарные и природоохранные попуски.**

Кроме этого, Концепция развития водного хозяйства РУ на 2020-2030 г., утверждённая Указом Президента № УП-6024 от 10.07.2020 г.⁵, определяет приоритетные направления в сфере управления водными ресурсами, способствующие улучшению ситуации:

- совершенствование **прогнозирования и ведения учета** водных ресурсов, системы формирования и обеспечения прозрачности базы данных;

- внедрение принципов интегрированного управления водными ресурсами, гарантированное обеспечение населения водой, стабильное водоснабжение отраслей экономики, улучшение качества воды и **сохранение экологического баланса окружающей среды.**

В соответствии с концепцией в настоящее время осуществляется разработка водного кодекса. В проект водного кодекса включены вопросы санитарных и экологических попусков.

⁴ Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан 19.03.2013 г. № 82 «Об утверждении Положения о порядке водопользования и водопотребления в Республике Узбекистан»

⁵ Концепция развития водного хозяйства РУ на 2020-2030 гг.

В соответствии с законодательством управление и охрана водных ресурсов входит в компетенцию ряда министерств и ведомств республики.

Государственное управление в области использования вод осуществляется Кабинетом Министров Республики Узбекистан, органами государственной власти на местах, а также специально уполномоченными органами государственного управления по регулированию использования вод непосредственно или через бассейновые (территориальные) управления и иными государственными органами.

Специально уполномоченными органами государственного управления в области регулирования использования вод являются Министерство водного хозяйства Республики Узбекистан (поверхностные воды), Министерством горно-добывающей промышленности и геологии (подземные воды) в пределах их компетенций.

Государственный контроль за использованием и охраной вод осуществляют органы государственной власти на местах, Министерство экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан, Министерство горно-добывающей промышленности и геологии Республики Узбекистан, Инспекция по контролю за агропромышленным комплексом при Кабинете Министров Республики Узбекистан, Министерство здравоохранения Республики Узбекистан, Министерство водного хозяйства Республики Узбекистан, Инспекция по контролю за использованием питьевой воды при Министерстве строительства и жилищно-коммунального обслуживания Республики Узбекистан в порядке, установленном законодательством.

Вместе с тем, **конкретные процедуры и ответственные ведомства по установлению и соблюдению норматива объёма стока для удовлетворения экологических потребностей водных объектов, ввиду отсутствия такого понятия, действующим законодательством не предусмотрены.**

Для устранения данных пробелов в проекте Водного кодекса Республики Узбекистан дано определение понятий «санитарные» и «экологические» попуски, они определены как приоритетные направления водопользования и устанавливаются в рамках водохозяйственных балансов и планов водопользования в зависимости от водности года. Проектом также предусмотрен ответственный орган за разработку методологии по установлению параметров и режима санитарных и экологических попусков и определено, что санитарные и экологические попуски обеспечивают соблюдение нормативов качества воды, благоприятные условия водопользования, а также поддержание экосистем водно-болотных угодий, озёр и прибрежных зон при конкурентном водопользовании и регулировании стока.

Экологические попуски в международных договоренностях и практике вододеления в бассейне Аральского моря

В международных договорах, стороной которых Узбекистан является, предусматривается справедливое вододеление трансграничных водотоков, в том числе учтены вопросы осуществления экологических попусков. В частности, Соглашением между Республикой Казахстан, Кыргызской Республикой, Республикой Узбекистан, Республикой Таджикистан и Туркменистаном «О сотрудничестве в сфере совместного управления использованием и охраной водных ресурсов межгосударственных источников» (г. Алма-Ата, 18 февраля 1992 г.) предусмотрены следующие нормы:

«Стороны обязуются совместно проводить работы для решения экологических проблем, связанных с усыханием Аральского моря, а также **устанавливать объемы санитарного попуска на каждый конкретный год**, исходя из водности межгосударственных источников. В исключительно маловодные годы по вопросам водообеспечения остродефицитных районов принимается специальное отдельное решение» (ст. 4).

В соответствии с этим Соглашением была создана Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия Центральной Азии (МКВК), в функции которой, в соответствии с положением, также входит решение вопросов экологического характера, например:

- определение водохозяйственной политики в регионе, разработка ее направлений с учетом **нужд всех отраслей народного хозяйства**, комплексного и рационального использования водных ресурсов, перспективной программы водообеспечения региона и мер по ее реализации;
- разработка и утверждение лимитов водопотребления ежегодно для каждой из республик и региона в целом, соответствующих графиков режимов работы водохранилищ, корректировка их, по уточненным прогнозам, в зависимости от фактической водности и складывающейся водохозяйственной обстановки (ст. 8);
- неукоснительное соблюдение **режима попусков** и лимита водопотребления;
- выполнение мер по рациональному и экономному использованию водных ресурсов, **пропуску санитарных расходов** по стволам всех рек и оросительным системам (где они предусмотрены), подачу в дельты рек и Аральское море **гарантированного объема водных ресурсов** с целью **оздоровления экологической обстановки**, соблюдение качества воды в соответствии с достигнутыми соглашениями (ст. 10).

Вместе с тем, по факту, согласованный членами МКВК порядок использования водных ресурсов не всегда соблюдается, либо объёмы санитарных и экологических попусков не учитываются при составлении и согласовании лимитов вододачи.

Например, в 2000-2003 годах НИЦ МКВК совместно с голландской компанией «Ресурс анализ» выполнил работы по уточнению объемов воды, необходимых для экологического поддержания дельты реки Амударья, особенно озерных систем. В рамках проекта было определено, что необходимые объемы воды для поддержания экологически устойчивого профиля дельты реки Амударья и подпитки озерных систем требуют для многоводных лет **8 км³ воды**, для среднего года **4,6 км³**, а для маловодных, чтобы сохранить экологическую стабильность в дельте, как минимум **3,5 км³ воды**.

Кроме этого, согласно результатам изучения данного вопроса специалистами НИЦ МКВК, представленными в публикации «Экологическое состояние низовьев рек Амударья и Сырдарья и необходимость экологических попусков по ним»⁶ при определении величин санитарных попусков за расчетный, был принят расход 95% обеспеченности естественного стока реки. Считается, что он в состоянии поддерживать процессы самоочищения. Например, если за основу принять годовые расходы рек 95% обеспеченности, то санитарные попуски составят: (1) для реки Вахш (створ Туткаул) **500 м³/с**, (2) реки Амударья естественный сток (условный Керки) **1700 м³/с**. Согласно другого подхода - санитарные попуски можно устанавливать исходя из величин минимальных расходов, наблюдаемых по реке в период ее естественного существования. Например, по Шульцу наименьший расход у г. Керки до 60-х годов был зафиксирован равным **410 м³/с**, а у г. Нукуса **170 м³/с**.

В соответствии с расчётами, для стабильного поддержания озер и водохранилищ попуски по реке Амударья в створе Саманбай должны быть порядка **5000 млн. м³/год (158,5 м³/с)**. Данная оценка не затрагивает возможные варианты стабилизации уровня воды в восточной и западной части Большого Аральского моря. В особо маловодные годы, при дефиците воды в Южное Приаралье до **3000 млн. м³/год (95 м³/с)**, но не более, чем на период двух лет.

⁶ Экологическое состояние низовьев рек Амударья и Сырдарья и необходимость экологических попусков по ним, НИЦ МКВК

Однако, фактически ⁷, в низовье реки Амударья, за период 2019-2022 годы поступало **3977, 2090, 1473, 1127 млн. м³ воды** соответственно.

Потребность дельты Сырдарьи по последним данным определяются: в средний по водности год **1690 млн. м³ в год** (53,5 м³/с), плюс попуск **3000 млн. м³/год** (95 м³/с) на поддержание Северного Аральского моря и **2700 млн. м³/год** (85,6 м³/с) в многоводный год.

По реке Сырдарье за период 2019-2022 годы поступало **2078, 1641, 1025, 4426 млн. м³ воды** соответственно.

Методы определения экологических попусков в мире⁸

Для определения потребности в экологических попусках применяются различные методы, которые могут быть классифицированы на 4 категории: 1. Справочные таблицы (Look-up tables) 2. Настольный анализ (Desk top analysis) 3. Функциональный анализ (Functional analysis) 4. Моделирование среды обитания (Habitat modelling).

Справочные таблицы, это практические методы, основанные на простых показателях, сведенных в справочные таблицы. Специалисты по управлению водой используют гидрологические показатели при управлении водой и установлении компенсационных попусков ниже водохранилищ и плотин. Эти показатели основаны на статистических свойствах режима естественного стока.

Преимуществом всех справочных методов является то, что применение однажды разработанных основных процедур требует относительно мало ресурсов в дальнейшем. К сожалению, не подтверждается, что обычные гидрологические показатели, передаваемые между различными регионами, становятся быстрыми. Даже после повторной калибровки они не учитывают местных условий. Показатели, основанные только на гидрологических данных, легче повторно калибруются для любого региона, но не имеют экологической обоснованности и таким образом, остаются сомнения в достижении хороших результатов. Показатели, основанные на экологических данных, имеют явно большую обоснованность, но экологические данные могут быть дорогостоящими и требующими больших временных затрат для их сбора. В основном, справочные таблицы подходят для ситуаций с низким уровнем разногласий. Они также рассматриваются как превентивные.

⁷ <http://cawater-info.net/>

⁸ Публикации Тренингового центра МКВК. Выпуск 1

Настольный анализ сфокусирован на анализе, с использованием имеющихся данных, таких, как речной сток от гидрометрических станций и/или данных о рыбах по регулярно проводимым исследованиям. В случае необходимости, некоторые данные могут быть собраны, в частности, непосредственно на реке для дополнения имеющейся информации. Методы настольного анализа могут быть подразделены на основанные исключительно на гидрологических данных; использующие гидравлическую информацию (такую, как форма русла); и использующие экологические данные.

Функциональный анализ, метод, основанный на понимании функциональных связей между всеми аспектами гидрологии и экологии речной системы. Этот метод базируется на данных гидрологического анализа, гидравлической оценки и данных по биоразнообразию.

Моделирование среды обитания, метод, использующий данные по среде обитания, для выявления видов и определения потребностей в экологических популяциях. При рассмотрении состояния окружающей среды, необходимой для обитания отдельных пресноводных видов, одним из аспектов является интенсивность воздействия на них изменения режима стока. Взаимосвязи между стоком, средой обитания и видами могут быть описаны связями физических свойств реки, например, глубиной и скоростью течения, в различных измеряемых или смоделированных популяциях, с физическими условиями, которые необходимы для ключевых видов животных и растений. Когда определены функциональные взаимосвязи между физическим местом обитания и стоком, они могут быть связаны со сценариями речного стока.

Вместе с тем, все больше методов в настоящее время избирают **целостный подход**, который подразумевает оценку всей экосистемы со связанными с ней водно-болотными угодьями, подземными водами и эстуариями. Они также принимают во внимание все виды, которые чувствительны к стоку, такие, как беспозвоночные, растения и животные, а также рассматривают все аспекты гидрологического режима, в том числе паводки, засухи и качество воды. Основным принципом является поддержание естественной изменчивости стока. Описанный выше метод функционального анализа представляет собой хороший пример целостного подхода. Однако, исследования моделирования среды обитания могут также включать оценку ряда видов, динамику стока и участие всех заинтересованных лиц. В целом, во всех методах оценки экологических популяций все больше выявляются элементы целостного подхода. Целостные методы призваны охватывать всю систему гидрология-экология-заинтересованные лица.

Применение того или иного метода применения экологического популяций зависит от существующей ситуации и потребности в решении опре-

делённой цели. Ниже приведены некоторые примеры международной практики.⁹

В Национальной политике обеспечения экологической и социальной устойчивости в гидроэнергетическом секторе **Лаоса** определены три важных принципа устойчивого развития гидроэнергетического сектора страны: экономическая, социальная и **экологическая ответственность**. В частности, предусмотрено, что экологическая устойчивость обеспечивается путем недопущения **необратимого негативного воздействия** на окружающую среду (утрата биоразнообразия, накопление стойких загрязнителей, нарушение экологических циклов), включая необходимость комплексного подхода к управлению бассейнами рек в целях исключения или уменьшения кумулятивного (накопленного) **отрицательного воздействия**, а также создания механизма взаимодействия водопользователей и других заинтересованных сторон.

В США предусмотрена программа добровольной сертификации ГЭС. Программа сертификации представляет собой процесс определения степени влияния ГЭС на окружающую среду, включая биоразнообразие, оцениваемый по 8-ми научно обоснованным критериям:

- Наличие экологических попусков в нижний бьеф;
- Качество воды;
- Наличие условия для прохождения мигрирующих видов рыб вверх по течению;
- Наличие условия для прохождения мигрирующих видов рыб вниз по течению и мероприятия по ее защите;
- Защита водораздела и береговой линии;
- Защита редких и исчезающих видов;
- Защита культурного и исторического наследия;
- Рекреационные ресурсы.

В случае несоответствия гидроэнергетического объекта какому-либо критерию он не может быть сертифицирован как оказывающий низкое влияние на окружающую среду.

В Японии, касательно экологических попусков имеется свой подход. В частности, методом постоянного многолетнего мониторинга прибрежных и речных экосистем был определён оптимальный расход экологического попуска для сохранения приемлемого состояния окружающей среды реки Симанто, сток которой был зарегулирован плотиной Тсуга. Результа-

⁹ Примеры ниже приведены из «Сборника инновационных решений по сохранению биоразнообразия для энергетического сектора» <http://www.rushydro.ru>

ты мониторинга показали эффективность принятых решений по организации экологических попусков.

Другим положительным примером может послужить практика применения компенсационных попусков на реке Арита, где также осуществлялись многолетние наблюдения за состоянием реки. В частности, программа мониторинга включала в себя следующие исследования: 1) ихтиологические (два раза в год, весной и осенью), 2) водный режим реки, 3) качество воды, 4) оценка состояния биоразнообразия прибрежных территорий. Результаты мониторинга показали значительное увеличение количества рыбы в реке — с 1997 до 2000 гг. было обнаружено восемь семейств и двадцать восемь видов рыб, также увеличилось число видов рыб, мигрирующих на нерест. Осуществление компенсационного попуска позволило увеличить расход воды в реке, что способствовало бурному росту прибрежной растительности и увеличению мест для нереста рыб. Также были обнаружены некоторые виды рыб, которые не встречались до начала реализации компенсационных попусков. Результаты исследований прибрежных территорий показали увеличение видов животных к 2000 г. Следует отметить увеличение популяций четырех видов насекомых, включенных в Красную книгу Японии как исчезающие виды. Полученные результаты **4-летнего мониторинга** показали эффективность осуществления компенсационных попусков в нижний бьеф, что подтверждается количественным и качественным улучшением состояния окружающей среды и восстановлением прибрежных экосистем.

Во Франции, зарегулирование стока привело к сильному скоплению наносов в русле р.Дюранс. С целью уменьшения процессов заиления русла и восстановления функциональности реки для популяций рыб и беспозвоночных в нижнем бьефе для имитации паводков обеспечено увеличение минимального экологического попуска в 1,5–2 раза в 4 из 8 плотин.

Определенного прогресса в области методологии нормирования экологического стока достигли Российская Федерация, Республика Казахстан, Китайская Народная Республика.¹⁰

В Российской Федерации разработана и реализуется Методика установления экологического стока и нормативов безвозвратного изъятия

¹⁰ Примеры ниже приведены из регионального отчёта по экологическим попускам в системе управления речными бассейнами и сохранения экосистем, подготовленного в рамках проектов «Устойчивое распределение водных ресурсов в трансграничном контексте» и «Экологический сток – основа сохранения экологической системы», выполненного в соответствии с программой работ на 2019-2021 годы Конвенции по трансграничным водам, принятой Совещанием Сторон на восьмой сессии (Нур-Султан, 10-12 октября 2018 года).

речного стока¹¹, где основным условием расчета является определение значений гидрологических параметров, характеризующих оптимальные, нормальные и критические условия функционирования водных и околоводных экосистем. Особое внимание уделяется критическим для воспроизводства организмов и функционирования экосистем гидрологическим условиям, где при расходах и объемах воды, близких и ниже критических, происходит катастрофическое ухудшение естественного размножения ценных, промысловых и других видов рыб, околоводных животных и растений, а также нарушается процесс руслоформирования.

Для установления расчетных параметров нормативов экологического стока используются многолетние наблюдения за естественным водным стоком в расчетном створе, данные по его внутригодовому распределению для лет со стоком различной обеспеченности. При отсутствии гидрологических рядов привлекаются реки-аналоги и данные гидрологических карт.

Методика¹² установления нормативов экологического стока в **Казахстане** содержит следующие принципиальные положения:

- экологический сток изменяется в зависимости от водности года, а не остается постоянным;
- экологический сток не может быть меньше минимальных расходов воды, наблюдаемых в данном створе за многолетний период;
- качество речных вод соответствует нормам установленной категории водопользования (рыбохозяйственное, рекреация, орошение, промышленность и др.).

Для установления экологического стока и стока, разрешенного к изъятию применяются, следующие характеристики речного стока:

- интенсивность подъема и спада уровней весенне-летнего половодья, обеспечивающая необходимые условия своевременного захода и ухода рыбы с пойм;
- затопление поймы на определенное время с соответствующим слоем воды для обеспечения нереста, инкубации икры и нагула мальков, поддержания условий обитания водоплавающей и околоводной фауны и воспроизводства кормов для нее, влагозарядки пойменных почв;

¹¹ Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты (Приказ Минприроды РФ №328 от 12.12.2007 г.)
<https://meganorm.ru/Data2/1/4293834/4293834223.htm>

¹² Бурлибаев М.Ж., Бурлибаева Д.М. Концептуальные основы нормирования экологического и свободного стока рек Казахстана. <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-normirovaniya-ekologicheskogo-i-svobodnogo-stoka-rek-kazahstana>.

- продолжительность стояния воды определенных уровней в летне-осенний период, обеспечивающих миграцию проходных и полупроходных рыб на нерестилища;
- температурный режим воды;
- газовый режим в течение всего года и особенно в зимний период и во время ледостава;
- скоростной режим на нерестовых участках рек.

В проекте нового водного кодекса Республики Казахстан одним из принципов является признание воды как неотъемлемой части окружающей среды, основы жизнедеятельности населения и экономического развития. Кроме этого, вопросы экологического стока определены в отдельной статье, которой определены понятия, приоритеты и порядок определения объёма экологического стока. Также следует отметить, что в новом законодательстве Казахстана конкретизирована процедура установления лимитов: «Лимиты водопользования рассчитываются в пределах объема воды, оставшегося после определения экологического стока (потенциально-свободный сток) согласно правилам расчёта лимитов водопользования, утвержденным уполномоченным органом».

В Китайской Народной Республике уделяется много внимания разработке методологических основ нормирования экологического стока, при этом в основу всех методик закладываются параметры рек, бассейнов, состояние водных ресурсов реки, реальная потребность в экологической защите, водный баланс, экологический уровень и др. показатели.

Главной целью установления экологических стоков рек является сохранение экологического базового стока, применяются различные алгоритмы расчета установления экологических стоков.

Экологический сток расчетным путем устанавливается для каждой реки отдельно с учетом ее специфических параметров.

Установленные для рек Хуанхэ и Хуай методики определения ЭС показали применимость и эффективность определения и реализации нормативов ЭС для этих и близлежащих рек.

Поскольку основные реки Китая являются трансграничными, ни одна страна не может в одностороннем порядке определять свои экологические стоки на основе своих внутренних законодательств или нормативных актов, поэтому необходимо применять совместное установление экологических стоков на трансграничных реках.

Предложено при установлении нормативов экологического стока на трансграничных реках Китая, в основу методики принять три принципа:

поддержание хорошего качества для воды и наносов, хорошего качества воды, хорошей экологии.

Выводы и рекомендации

В практике Узбекистана и зарубежных странах накоплен положительный опыт в назначении и применении экологических попусков. В проект нового Водного кодекса включено определения экологических попусков и приоритетность их назначения и исполнения. Для дальнейшего совершенствования регулирования вопросов сохранения водных и околоводных экосистем Узбекистана предлагается:

- утвердить в нормативно–правовых актах требования нормирования и реализации экологических попусков;
- разработать или (обновить) нормативно-правовую, методологическую базу для осуществления экологических попусков;
- переработать правила использования водохранилищ, которые являются главными техническими регуляторами осуществления и обеспечения «попусков» различного назначения.

При планировании внутригосударственной водохозяйственной деятельности и осуществлении мер по совместному использованию трансграничных водных объектов рекомендуется учитывать следующие принципы:

- рассматривать реку как целостную природно-географическую систему;
- управлять водными ресурсами комплексно с учетом потребностей всех отраслей и стран;
- отдавать приоритет экологическим попускам над удовлетворением потребностей отраслей экономик;
- рассчитывать величины экологических попусков от устья к истоку реки (снизу вверх), обеспечивая потребности речной системы в каждом створе, а также отдельно учитывать потребности русла и поймы реки, и дельты и конечных замкнутых водоемов;
- при определении параметров экологических попусков поддерживать экологическую устойчивость всей речной системы, включающей не только сами реки и озера (поверхностные воды), но и подземные воды;
- обеспечивать, чтобы внутригодовое распределение экологических попусков по возможности максимально отражало внутригодовое распределение стока при естественном режиме;
- учитывать возможные изменения режима источников питания за счет антропогенного изменения на водосборе и воздействия изменения климата;

- применять современные системы моделирования для правильного установления необходимых параметров экологических попусков;
- обеспечить надлежащий мониторинг распределения водных ресурсов, учитывающий изменчивость речного стока и потребности в воде как водных и околосводных экосистем, так и отраслей экономики;
- проводить на регулярной основе совместные научные и научно прикладные исследования.

Литература

1. Региональная информационная система по использованию водно-земельных ресурсов в бассейне Аральского моря CAWater-IS http://cawater-info.net/data_ca/
2. Закон Республики Узбекистан «Об охране природы»
3. Закон Республики Узбекистан «О воде и водопользовании»
4. Постановление Кабинета Министров Республики Узбекистан 19.03.2013 г. № 82 «Об утверждении положения о порядке водопользования и водопотребления в Республике Узбекистан»
5. Указ Президента Республики Узбекистан «Об утверждении концепции развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020-2030 гг.» № УП-6024 от 10.07.2020 г.
6. Соглашение между Республикой Казахстан, Республикой Кыргызстан, Республикой Узбекистан, Республикой Таджикистан и Туркменистаном «О сотрудничестве в сфере совместного управления использованием и охраной водных ресурсов межгосударственных источников»
7. Публикация НИЦ МКВК «Экологическое состояние низовьев рек Амударьи и Сырдарьи и необходимость экологических попусков по ним»
8. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты (Приказ Минприроды РФ №328 от 12.12.2007 г.) <https://meganorm.ru/Data2/1/4293834/4293834223.htm>
9. Концептуальные основы нормирования экологического и свободного стока рек Казахстана М.Ж. Бурлибаев, Д.М. Бурлибаева <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptualnye-osnovy-normirovaniya-ekologicheskogo-i-svobodnogo-stoka-rek-kazahstana>
10. Публикации Тренингового центра МКВК. Выпуск 1
11. Сборник инновационных решений по сохранению биоразнообразия для энергетического сектора. Проект ПРООН/ГЭФ - Минприроды

России «Задачи сохранения биоразнообразия в политике и программах развития энергетического сектора России <http://www.rushydro.ru>

Определение средней скорости потока воды в открытых ирригационных каналах относительно поверхностной скорости потока

А.И. Долидудко

Введение

Надежная оценка расхода, проходящего через канал, в значительной степени зависит от распределения скорости в определенном поперечном сечении. Однако измерение скорости по всей глубине сечения канала является сложной задачей для высоких потоков. Метод индекса скорости или отношения поверхностной скорости (SVR) является стандартным методом преобразования поверхностной скорости в среднюю скорость для оценки расхода в открытом канале (Patel, 2023).

В гидротехнической практике точное определение средней скорости потока воды в открытых каналах играет ключевую роль при проектировании и эксплуатации ирригационных систем. Средняя скорость является важнейшим параметром, который используется при расчете водоотдачи, управлении водными ресурсами и обеспечении эффективного распределения воды по ирригационным каналам. Однако в реальных условиях измерения скорости потока зачастую производятся только на поверхности, что может приводить к значительным погрешностям при оценке общего водного расхода.

Разница между поверхностной и средней скоростями обусловлена различными факторами, такими как шероховатость дна канала, форма поперечного сечения, уклон канала и турбулентные явления в потоке. Для повышения точности расчетов средней скорости потока важно учитывать эти параметры и применять соответствующие методики корректировки на основе известных эмпирических и теоретических моделей.

В последние годы все большее распространение получают расходомеры дистанционного измерения, такие как доплеровские и ультразвуковые приборы, которые позволяют определять скорость потока без непосредственного контакта с водой. Эти технологии значительно упрощают процесс измерений, особенно на крупных каналах и в труднодоступных местах.

Такие меры направлены на повышение точности и надежности водочета, оптимизацию водопотребления и водоотведения, а также на улучшение управления водными ресурсами в условиях меняющегося климата и возрастающей антропогенной нагрузки. Применение современных технологий позволяет более эффективно решать задачи управления водными ресурсами, снижать потери воды и обеспечивать устойчивое развитие водохозяйственных комплексов.

В связи с этим широкое применение в определении расхода воды находят ультразвуковые и электромагнитные расходомеры. Расходомеры этого типа дополнены передатчиками ультразвуковых и электромагнитных сигналов. Скорость прохождения сигнала от передатчика до приемника меняется каждый раз при движении воды. Если сигнал идет по направлению потока, то время уменьшается, если против – увеличивается. По разности времени прохождения сигнала по потоку и против него и рассчитывается объемный расход воды.

К преимуществам данных расходомеров относятся:

- Высокая точность измерений с погрешностью $\pm 1-2\%$ (относительная погрешность гидрометрических вертушек 6-12 %);
- Выполнение замеров расхода воды по физическим свойствам по методу «скорость-площадь»;
- Возможность монтажа на различные конструкции, находящиеся над поверхностью воды (гидропосты, гидрометрические мостики, пешеходные, автомобильные, ж/д мосты и т.д.);
- Оперативное получение данных.

К основным недостаткам данных устройств можно отнести:

- Повышенная чувствительность к вибрациям, т.е. при установке оборудования на автомобильных и ж/д мостах, вибрации от проезжающего транспорта могут влиять на точность измерений;
- Восприимчивость к осадкам, поглощающим либо отражающим ультразвук, т.е. в дождливую погоду ультразвуковые сигналы могут отражаться от капель и давать погрешность в измерениях;
- Сложность и высокая стоимость приборов, которая при прочих равных условиях в несколько раз превышает стоимость традиционных методов расчета;
- Необходим доступ к постоянному источнику энергии и связи;
- Измерение на основании поверхностной скорости потока, которая отличается от средней.

Для решения последнего недостатка и направлено данное исследование по определению коэффициента для перехода от измеренных поверхностных скоростей к средней скорости по сечению потока.

Актуальность исследования

Одним из важных аспектов водоучета является понимание и моделирование распределения скоростей в открытых ирригационных каналах. Это необходимо для точного прогнозирования гидродинамического поведения потока, учета водных ресурсов, а также проектирования гидротехнических сооружений. Несмотря на множество существующих методик и технологий, задача повышения точности расчета средней скорости потока и определения переходного коэффициента от поверхностной скорости к средней остается актуальной.

Метод индекса скорости или отношения поверхностных скоростей (SVR) является стандартным методом преобразования поверхностной скорости в среднюю скорость для оценки расхода в открытом канале, хотя предыдущие исследования предлагали постоянное значение $SVR \approx 0,85$ для определения средней скорости, что не учитывает изменчивость распределения скорости на разных участках канала (Patel, 2023). Поэтому в настоящем исследовании предлагается регрессионная связь между отношением поверхностной скорости, соотношением сторон и относительной шероховатостью канала для объяснения несоответствия в оценке скорости расходомерами.

Настоящая работа посвящена изучению распределения скоростей в открытых ирригационных каналах, а также расчету средней скорости относительно поверхностной скорости потока. Исследование направлено на анализ существующих методик, определение переходного коэффициента и проведение сравнительного анализа для различных гидравлических условий.

Целью исследования является изучение распределения скоростей в открытых ирригационных каналах, а также определение переходного коэффициента от поверхностной скорости к средней скорости потока.

Задачи исследования:

1. Анализ существующих методологий расчета скорости потока в открытых каналах.

2. Определение логарифмического профиля скорости для потоков воды в открытом русле.

3. Вычисление средней скорости потока, используя интеграцию профиля скорости.

4. Расчет переходного коэффициента от поверхностной скорости к средней скорости воды в канале.

5. Проведение сравнительного анализа результатов для каналов с разной глубиной и шероховатостью.

Методика исследования

В данном исследовании использованы общепринятые законы гидравлики и гидродинамики. Расчеты основаны на регрессионном анализе, классических законах гидродинамики, теории и методах расчета скорости в открытых каналах, включая логарифмическое распределение скорости для турбулентного потока и методы интегрирования профиля скорости для определения средней скорости.

Анализ существующих методик

Анализ скорости потока в открытых каналах является важной задачей в гидравлике, так как точное определение скорости необходимо для расчетов расхода воды, проектирования гидротехнических сооружений и управления водными ресурсами. Существуют различные методики расчета скорости потока, каждая из которых имеет свои особенности, преимущества и ограничения.

Выбор метода зависит от конкретных условий потока, доступных данных и требуемой точности. Логарифмический закон скорости и эмпирические методы широко используются в инженерной практике благодаря своей простоте и надежности. Современные численные методы и методы измерений обеспечивают высокую точность, но требуют дополнительных ресурсов и тщательной калибровки.

Рассмотрим существующие методики расчета скорости потока в открытых каналах.

1. Логарифмический закон скорости

Для расчета распределения скоростей и средней скорости в открытых каналах и реках используются несколько моделей, наиболее распространенной из которых является профиль скорости в турбулентном потоке. Открытые каналы и реки обычно имеют турбулентный поток, и поэтому часто используют логарифмический закон скорости для описания их профиля.

Логарифмический профиль скорости является классическим методом, основанным на теории турбулентного потока. Этот метод описывает распределение скорости в зависимости от глубины потока и используется для вычисления средней скорости.

$$u(y) = \frac{u_*}{\kappa} \ln\left(\frac{y}{y_0}\right)$$

где

$u(y)$ – скорость на расстоянии y от дна канала,

u_* – скорость трения,

κ – константа Кармана ($\approx 0,41$),

y_0 – параметр, характеризующий шероховатость дна.

Закон изменения скорости от дна канала к поверхности воды в зависимости от глубины и гидравлических характеристик потока приводится в работах ученых с середины XX века. В работах ученых описывается использование логарифмического закона скорости для турбулентных потоков и методы интегрирования для нахождения средней скорости (Henderson, 1966); приводится описание профиля скорости в турбулентном потоке и использование логарифмического профиля для расчета средней скорости (Chow, 1959); дается детальное объяснение логарифмического закона скорости и применение его для расчета средней скорости в турбулентных потоках (Graf, 1984); приводится описание методов анализа турбулентного потока и использования логарифмического профиля скорости (Yalin, 1972).

В последние годы в исследованиях (Smart & Biggs, 2020) использовали логарифмический закон для улучшения методов дистанционного измерения скорости потока, особенно с применением неинвазивных методов, таких как лазерные и акустические измерители. В этих исследованиях изу-

чаются и корректируются модели для реальных условий, таких как каналы с шероховатым дном и турбулентные потоки

Исследования применения логарифмического закона для потоков с различными характеристиками, включая потоки с измененной шероховатостью дна (Khuntia, 2018) подтверждают, что логарифмический закон остается важным инструментом для предсказания распределения скорости в турбулентных потоках, особенно при необходимости учета неоднородности дна.

Преимуществами данного метода является то, что он полезен для моделирования потоков в реках и каналах, поскольку он учитывает изменение скорости потока с глубиной; подходит для анализа турбулентных потоков, а также хорошо описывает распределение скорости в большинстве реальных каналов.

Но также имеет свои недостатки – требует знания параметра шероховатости дна (y_0) и скорости трения (u_*) которые не всегда легко определить, а также меньше подходит для сильно изменяющихся или нестационарных условий потока.

2. Уравнение Шези

Уравнение Шези является одним из наиболее распространенных эмпирических методов расчета скорости потока в открытых каналах. Оно основано на предположении, что скорость потока зависит от уклона канала, гидравлического радиуса и коэффициента Шези, который учитывает шероховатость дна канала:

$$u = C\sqrt{RS}$$

где

u – средняя скорость потока,

C – коэффициент Шези,

R – гидравлический радиус (отношение площади поперечного сечения потока к его смоченному периметру),

S – уклон канала.

Одно из применений уравнения Шези заключается в расчете распределения скоростей на различных глубинах канала. В этом случае поверх-

ность воды имеет наибольшую скорость, и по мере приближения к дну скорость уменьшается (Chen, 2019). Уравнение Шези использовано для оценки скорости потока в каналах с различной шероховатостью дна, определяя изменение скорости в зависимости от глубины потока. Важно отметить, что коэффициент Шези изменяется в зависимости от структуры русла, что позволяет учитывать местные условия потока.

В исследованиях, посвященных дистанционным методам измерения скорости (например, использованием радаров и акустических датчиков), уравнение Шези часто применяется для расчета средней скорости потока на основе измеренной поверхностной скорости. Исследования ученых (Haueit и др., 2018) показали, что средняя скорость потока может быть получена путем корректировки измеренной поверхностной скорости с использованием коэффициента Шези, что особенно важно в условиях высокой турбулентности или при сложных профилях потока. Эти данные помогают повысить точность гидравлических расчетов в реальных условиях.

В современных условиях, когда растет использование дистанционных методов измерения скорости потока, таких как спутниковые радары, уравнение Шези может играть одну из ключевых ролей. Исследование (Smart & Biggs, 2020) показало, что для корректного определения средней скорости потока необходимо учитывать шероховатость русла и другие факторы, влияющие на коэффициент Шези. Это позволяет получить точную оценку средней скорости, основываясь на поверхностных измерениях, что особенно важно в случаях, когда прямое измерение всей глубины потока затруднено.

Преимуществами данного метода является простота использования и применения в различных условиях, а также широкое распространение и известность среди инженеров.

Но также имеет свои недостатки – коэффициент Шези C зависит от многих факторов и требует калибровки для каждого конкретного случая, а также не учитывает все нюансы распределения скорости в поперечном сечении потока.

3. Уравнение Маннинга

Уравнение Маннинга также является широко используемым эмпирическим методом для расчета средней скорости потока:

$$u = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$$

где

u – средняя скорость потока,

n – коэффициент шероховатости Маннинга,

R – гидравлический радиус,

S – уклон канала.

Одним из особенностей уравнения Маннинга является его способность адаптироваться к разнообразным условиям естественных каналов, включая реки с неровными руслами и различной степенью шероховатости дна. Однако, современные исследования продолжают уточнять значения коэффициента Маннинга для различных типов русел (Dingman, 2002). В таких исследованиях уравнение Маннинга используется для преобразования измеренной поверхностной скорости в среднюю, что позволяет повысить точность гидравлических расчетов.

Преимуществами данного метода является простота и практичность в инженерных расчетах, а также коэффициент Маннинга n имеет таблицы значений для различных типов покрытий и условий канала.

Но также имеет свои недостатки – требует точного определения коэффициента Маннинга n , который может варьироваться в зависимости от условий и не всегда точно отражает сложные потоки с изменяющимися условиями.

4. Метод Железнякова

Метод Железнякова основан на эмпирических данных и предназначен для расчета средней скорости потока в каналах. Основное уравнение имеет вид:

$$u = \alpha(R^{\frac{2}{3}}S^{\frac{1}{2}})$$

где

u – средняя скорость потока,

α – эмпирический коэффициент, который зависит от гидравлических характеристик канала,

R – гидравлический радиус,

S – уклон канала.

Первые работы по структуре потока в сложном открытом русле, определяющие передачу импульса между основным руслом и пойменными потоками, принадлежат Селлину и Железнякову (Fernandes, 2015). Они включает взаимодействие вихрей с вертикальными и горизонтальными осями, влияющее на продольные скорости и пропускную способность или транспортную способность русла.

Дополнительное сопротивление потоку, обусловленное существованием вихрей, впервые было отмечено Г.В. Железняковым, который назвал его «кинематическим эффектом» (Proust, 2019). Начиная с первых работ Селлина (1964) и Железнякова (1965), структура однородных потоков в прямых составных каналах была исследована в лабораторных условиях (Nicollet & Uan, 1979; Knight & Demetriou, 1983; Knight & Shiono, 1990; Tominaga & Nezu, 1991; Nezu, Onitsuka & Iketani, 1999; Soldini et al. 2004; Ikeda & McEwan, 2009; Stocchino & Brocchini, 2010; Stocchino et al. 2011; Besio et al. 2012; Fernandes, Leal & Cardoso, 2014; Azevedo, Roja-Solórzano & Bento Leal, 2017; Dupuis et al. 2017; Truong, Uijttewaal & Stive, 2019).

Преимуществами данного метода является учет широкого диапазона условий потока и гидравлических характеристик. Кроме того эмпирический коэффициент α может быть адаптирован для конкретных условий канала.

Основным недостатком методики является определение коэффициента α , который может изменяться в зависимости от условий, а также меньшая известность и распространенность по сравнению с уравнениями Шези и Маннинга.

5. Методы численного моделирования. Методы измерений и калибровки

Современные численные методы, такие как CFD (Computational Fluid Dynamics), позволяют моделировать распределение скорости и другие параметры потока в каналах с высокой точностью. А методы измерений, такие как использование расходомеров, позволяют получать данные о скорости потока непосредственно на месте. Современные приборы, такие как доплеровские расходомеры, позволяют измерять скорость потока на различных глубинах и интегрировать эти данные для расчета средней скорости.

Преимуществами данных методов является высокая точность, детализация результатов, возможность моделирования сложных и нестационарных условий, а также подходят для различных условий потока и типов каналов.

Но также имеют свои недостатки – требует значительных вычислительных ресурсов и времени, сложность настройки и калибровки модели и приборов, а также необходимо регулярно проводить измерения для учета изменяющихся условий.

В связи с тем, что данное исследование является инструментально-аналитическим и основано на минимуме полевых измерений данные методы не рассматриваются.

Материалы и методы исследования

Исходя из проведенного анализа существующих методик расчета скорости потока в открытых каналах, воспользуемся методикой Г.В. Железнякова, т.к. данная методика учитывает широкий диапазон условий потока и гидравлических характеристик, а также основана на логарифмический законе скорости, включает в себя коэффициент Шези и уравнение Маннинга.

Методика, описанная Г.В. Железняковым, является важным вкладом в гидравлические расчеты, особенно для анализа скоростей течений в открытых каналах. Основной принцип методики заключается в эмпирическом определении распределения скоростей потока в каналах с различной степенью шероховатости дна и боковых стенок. Основные параметры методики включают использование специальных коэффициентов, характеризующих структуру и плотность руслового потока, что позволяет учитывать влияние как шероховатости дна, так и формы поперечного сечения канала.

Для начала рассмотрим распределение скоростей в живом сечении потока для определения средней скорости воды на вертикали. Для выполнения гидравлических расчетов потоков воды в канале необходимо выделить характерные скорости: среднюю и максимальную скорость на вертикали; среднюю скорость по сечению, среднюю поверхностную скорость.

Абсолютное значение скоростей, направление, распределение в потоке зависит от степени шероховатости дна и откосов, их формы, водной растительности, ледяного покрова и ветра, а также рельефа дна в плане.

В природе практически не встречаются естественные русла с установившимся режимом движения, при котором глубина и скорости остаются неизменными. Кинематика естественных потоков непосредственно связана с проблемой гидрологических сопротивлений (Корпачев, 2009). Поэтому исследование закономерностей распределения скоростей в естественных потоках базируется на схематизации естественных потоков, т.е. создании вначале абстрактной модели потока, разработке теории и, наконец, экспериментальной проверке с определением параметров уравнений на основе обобщения гидрометрических данных.

Для определения средней скорости на вертикали воспользуемся математической моделью расхода потока воды. Площадь, ограниченная кривой $u=u(y)$, дном потока, поверхностью воды и линией глубины h (рис. 1), представляет собой по размерности расход воды q на единицу ширины потока и называется расходом воды на вертикали. Таким образом, расход воды на вертикали равен:

$$q = \int_0^h u dy = \int_0^1 u d\eta \quad (1)$$

где

h – глубина волны на вертикали;

$\eta = \frac{y}{h}$ – относительная глубина на вертикали, изменяющаяся от нуля до единицы. При этом при значении $\eta = 0$ местная осредненная во времени скорость u равна донной скорости u_d , а при $\eta = 1,0$ $u = u_{\max}$, то есть равна наибольшей скорости на поверхности воды.

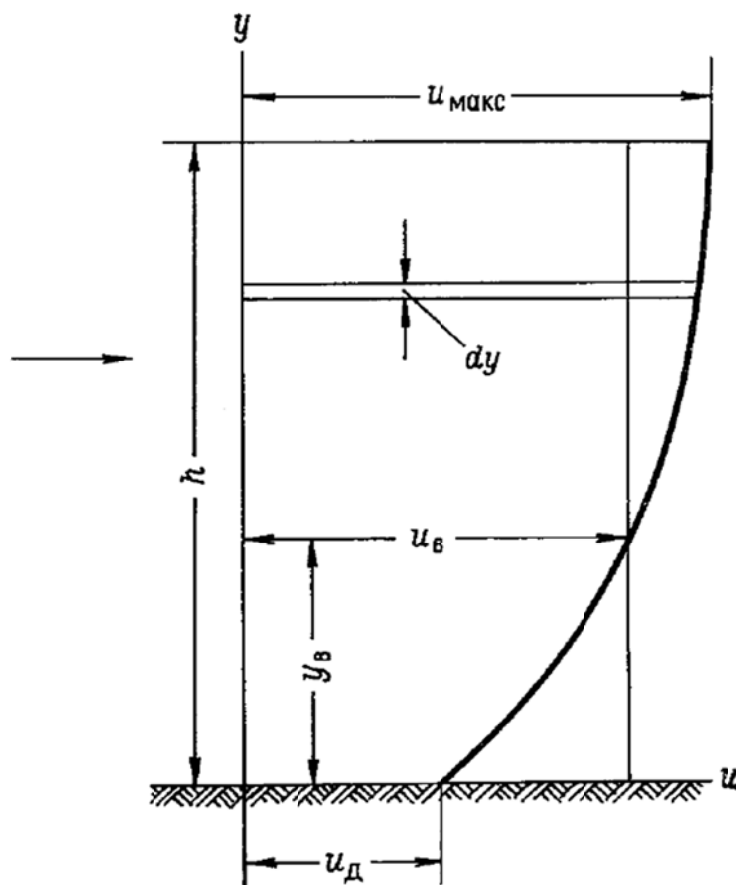


Рис. 1. Профиль скоростей безнапорного потока

Средняя скорость на вертикали представляет отношение расхода воды на вертикали q к глубине потока h , т.е.

$$u_b = \int_0^h u d\eta = \frac{q}{h} \quad (2)$$

Таким образом, аппроксимирующее уравнение для расхода воды, записанное для профиля скоростей (рис. 1) будет иметь следующий вид:

$$Q = \int_0^B q db \quad (3)$$

где

q – расход воды на вертикали, численно равный площади ограниченной эпюрой $q = q(b)$;

B – ширина потока;

db – элементарная ширина.

Интеграл (3) численно равен площади ограниченной эпюрой $q = q(b)$ и линией поверхности воды. Поэтому среднюю скорость потока можно определить из выражения

$$u = \frac{1}{\omega} \int_0^B q db = \frac{1}{\omega} \int_0^B u_B h db \quad (4)$$

Исходя из этого, средняя поверхностная скорость определится из выражения

$$u_{\text{пов}} = \frac{1}{\omega} \int_0^B u_{\text{max}} h db \quad (5)$$

Для практических расчетов соотношение между средней по сечению скоростью u и средней (по ширине потока) поверхностной скоростью $u_{\text{пов}}$ по исследованиям Г.В.Железнякова, выражается так:

$$\frac{u}{u_{\text{пов}}} = K_1 = \frac{(2,3\sqrt{g}+0,3C)C}{(3,3\sqrt{g}+0,3C)+g} \quad (6)$$

Данное соотношение широко пользуются в гидрометрии для перехода от измеренных поверхностных скоростей к средней скорости по сечению.

Для упрощения расчетов формулу (6) аппроксимируем в виде:

$$K_1 = 0,61(C^*)^{0,125} \quad (7)$$

где

$C^* = \frac{C}{\sqrt{g}}$ – безразмерный коэффициент Шези.

Для каналов $R < 3 \div 5$ м коэффициент Шези C можно принимать по формуле Н.Н. Павловского:

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (8)$$

где

n – коэффициент шероховатости;

R – гидравлический радиус;

y – переменный показатель степени, равный

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10) \quad (9)$$

Однако, применение формулы Н.Н. Павловского при больших гидравлических радиусах и других значениях коэффициентов шероховатости в гидравлических расчетах может привести к грубым ошибкам. В связи с этим Г.В. Железняков для определения коэффициента Шези рекомендует использовать следующую формулу:

$$C = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0,13} (1 - \lg R) \right] + \sqrt{\frac{1}{4} \left[\frac{1}{n} - \frac{\sqrt{g}}{0,13} (1 - \lg R) \right]^2 + \frac{\sqrt{g}}{0,13} \left(\frac{1}{n} + \sqrt{g} \lg R \right)}$$

Достоинство формулы Г.В. Железнякова состоит в том, что она может применяться при любых значениях n и R . Данная формула справедлива и для речных потоков, при этом можно принять $R \approx h_{cp}$. Ввиду сложного вида этой формулы возможно использование таблицы (табл.) для определения C в зависимости от n и R .

Коэффициенты Шези C по формуле Г.В. Железнякова

$R (h_{cp}), м$	n							
	0,015	0,02	0,025	0,03	0,04	0,05	0,08	0,1
0,1	49,2	34,5	26,0	20,5	14,1	10,5	5,47	3,92
0,2	54,3	38,7	29,7	23,8	16,8	12,7	7,00	5,20
0,3	57,3	41,4	32,1	26,0	18,6	14,3	8,09	6,13
0,4	59,5	43,4	33,9	27,6	20,0	15,5	8,98	6,89
0,5	61,2	44,9	35,3	28,9	21,1	16,5	9,73	7,54
0,6	62,6	46,2	36,5	30,0	22,7	17,4	10,4	8,12
0,7	63,8	47,4	37,6	31,0	22,9	18,1	11,0	8,65
0,8	64,9	48,3	38,4	31,8	23,7	18,8	11,5	9,13
0,9	65,8	49,2	39,3	32,6	24,4	19,4	12,0	9,58
1,0	66,7	50,0	40,0	33,3	25,0	20,0	12,5	10,0
1,2	68,2	51,4	41,3	34,5	26,1	21,0	13,3	10,8
1,4	69,4	52,6	42,4	35,6	27,1	21,9	14,1	11,4
1,6	70,5	53,6	43,4	36,5	27,9	22,7	14,8	12,1
1,8	71,5	54,5	44,3	37,4	28,7	23,4	15,4	12,6
2,0	72,4	55,4	45,1	38,1	29,4	24,1	16,0	13,2
2,5	74,3	57,1	46,8	39,8	31,0	25,6	17,2	14,4
3,0	75,8	58,6	48,2	41,1	32,2	26,8	18,3	15,4
3,5	77,1	59,9	49,4	42,3	33,3	27,8	19,3	16,3
4,0	78,3	61,0	50,5	43,3	34,3	28,8	20,2	17,1
4,5	79,3	61,9	51,4	44,2	35,2	29,6	20,9	17,9
5,0	80,2	62,8	52,2	45,1	36,0	30,4	21,6	18,6
5,5	81,0	63,6	53,0	45,8	36,7	31,1	22,3	19,2
6,0	81,8	64,4	53,7	46,5	37,4	31,7	22,9	19,8
6,5	82,5	65,0	54,4	47,2	38,0	32,2	23,5	20,4
7,0	83,1	65,6	55,0	47,8	38,6	32,9	24,0	21,0
7,5	83,7	66,2	55,6	48,3	39,1	33,4	24,5	21,4
8,0	84,3	66,8	56,1	48,8	39,6	33,9	25,0	21,9
8,5	84,8	67,3	56,6	49,4	40,1	34,4	25,4	22,3
9,0	85,4	67,8	57,1	49,8	40,6	34,8	25,9	22,7

$R (h_{cp}), \text{ м}$	n							
	0,015	0,02	0,025	0,03	0,04	0,05	0,08	0,1
9,5	85,8	68,3	57,6	50,3	41,0	35,3	26,3	23,1
10,0	86,3	68,7	58,0	50,7	41,4	35,7	26,7	23,5
11,0	87,1	69,5	58,8	51,5	42,2	36,4	27,4	24,2
12,0	87,9	70,3	59,5	52,2	42,9	37,2	28,1	24,9
13,0	88,6	71,0	60,2	52,9	43,6	37,8	28,7	25,5
14,0	89,3	71,6	60,9	53,5	44,2	38,4	29,3	26,1
15,0	89,9	72,2	61,5	54,1	44,8	39,0	29,9	26,7
16,0	90,5	72,8	62,0	54,6	45,3	39,5	30,4	27,2
17,0	91,0	73,3	62,5	55,2	45,8	40,0	30,9	27,7
18,0	91,6	73,8	63,0	55,7	46,3	40,5	31,4	28,2
19,0	92,0	74,3	63,5	56,1	46,8	40,9	31,8	28,6
20,0	92,5	74,8	64,0	56,6	47,2	41,4	32,2	29,0

Примечание: Погрешность значений коэффициента Шези между расчетной формулой и таблицей составляет 0,06%.

Коэффициенты шероховатости n каналов и естественных водотоков принимаем согласно ШНК 2.06.03-12 «Оросительные системы. Нормы проектирования» (Приложение).

Результаты и обсуждение исследования

Ирригационные каналы в основном делятся на каналы в земляном русле, из бетона, железобетона (монолитного или сборного), а также применяют различные экраны из полимерных плёнок¹³. Так как в мировой практике, в основном, используют каналы с бетонной облицовкой и каналы в земляном русле (Enrique B. G.), в качестве примера рассмотрим данные два условия.

Для начала при расчете значения переходного коэффициента от поверхностной скорости к средней скорости потока необходимо определить коэффициент шероховатости. Используя ШНК 2.06.03-12 (Приложение) коэффициент шероховатости принимаем $n = 0,015$ – для каналов с бетонной облицовкой и $n = 0,025$ – для каналов в земляном русле со свободным течением, незасоренных, прямых в плане.

¹³ Распределительные проводящие каналы // <http://www.cawater-info.net/bk/4-2-1-2-4.htm>

Имея коэффициент шероховатости n , находим коэффициент Шези C (из табл.) для каждой глубины канала $h_{ср}$. Подставляя имеющиеся значения в формулу (7) составляем график зависимости $K_1 = f(h)$ (рис. 2, 3). В результате получаем переходный коэффициент K_1 от поверхностной скорости к средней скорости потока для каждой глубины канала.

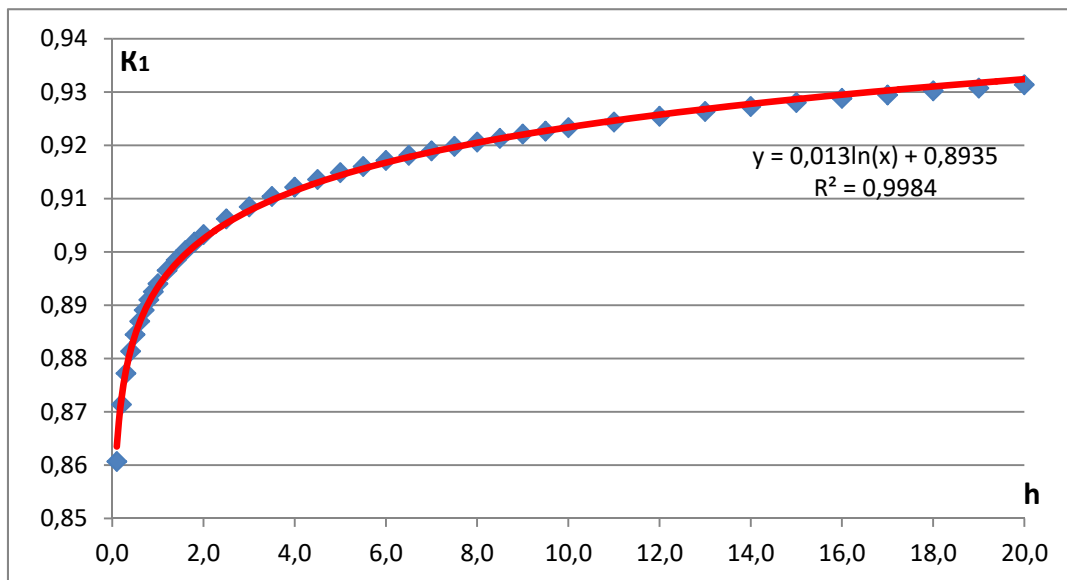


Рис. 2. График зависимости $K_1 = f(h)$ при $n = 0,015$ для $h = 0,1 \div 20,0$ м

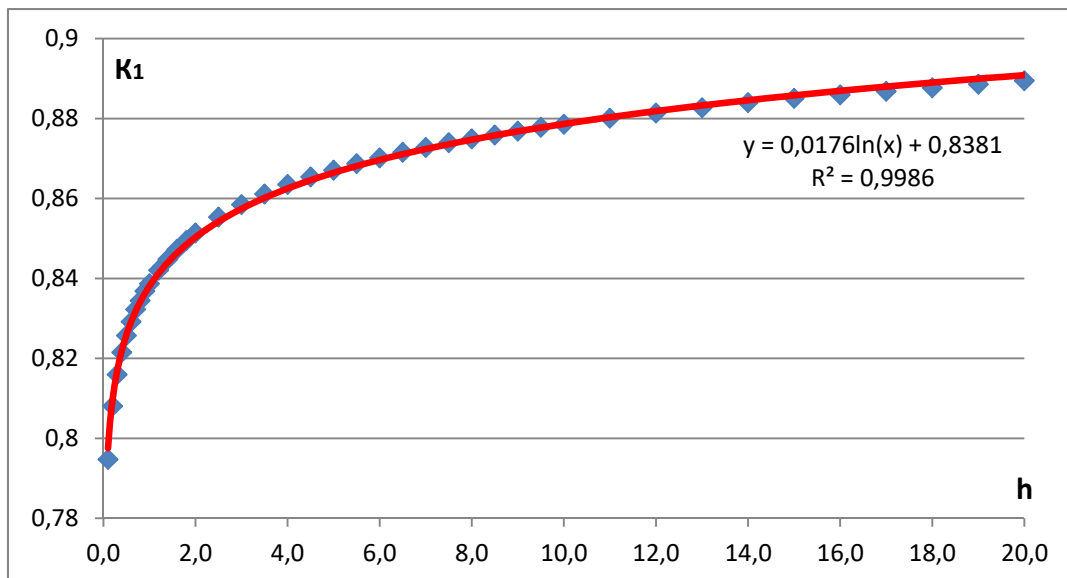


Рис. 3. График зависимости $K_1 = f(h)$ при $n = 0,025$ для $h = 0,1 \div 20,0$ м

Как видно по графикам при изменении глубин от 0,1 м до 20,0 м величина переходного коэффициента изменяется в пределах 0,86–0,93 для каналов с бетонной облицовкой и 0,79÷0,89 – для каналов в земляном русле.

Но так как глубина каналов в основном не превышает 5 м составляем график зависимости $K_1 = f(h)$ в пределах $h = 0,1 \div 5,0$ м (рис. 4, 5).

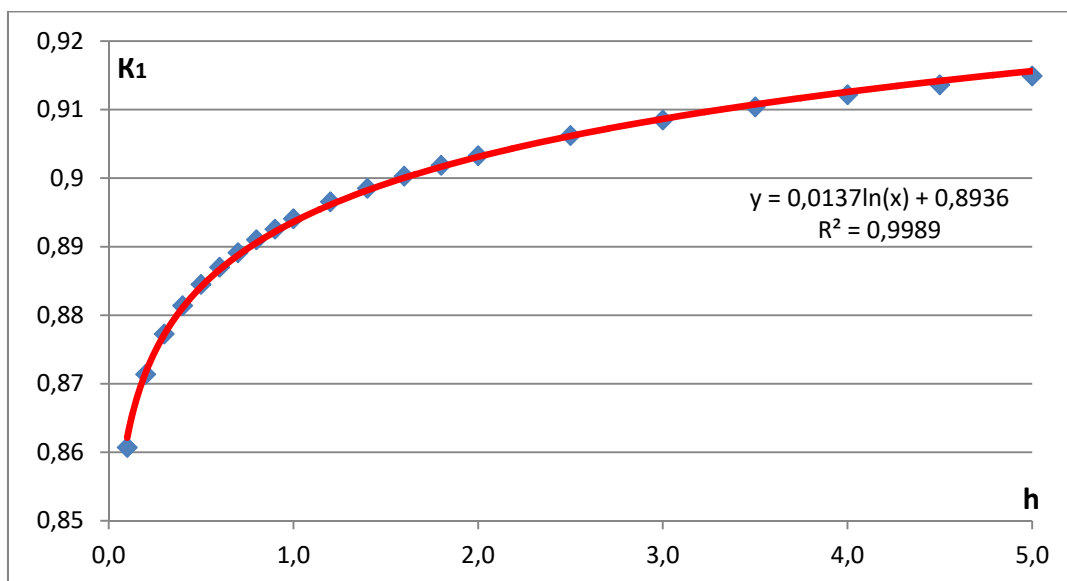


Рис. 4. График зависимости $K_1 = f(h)$ при $n = 0,015$ для $h = 0,1 \div 5,0$ м

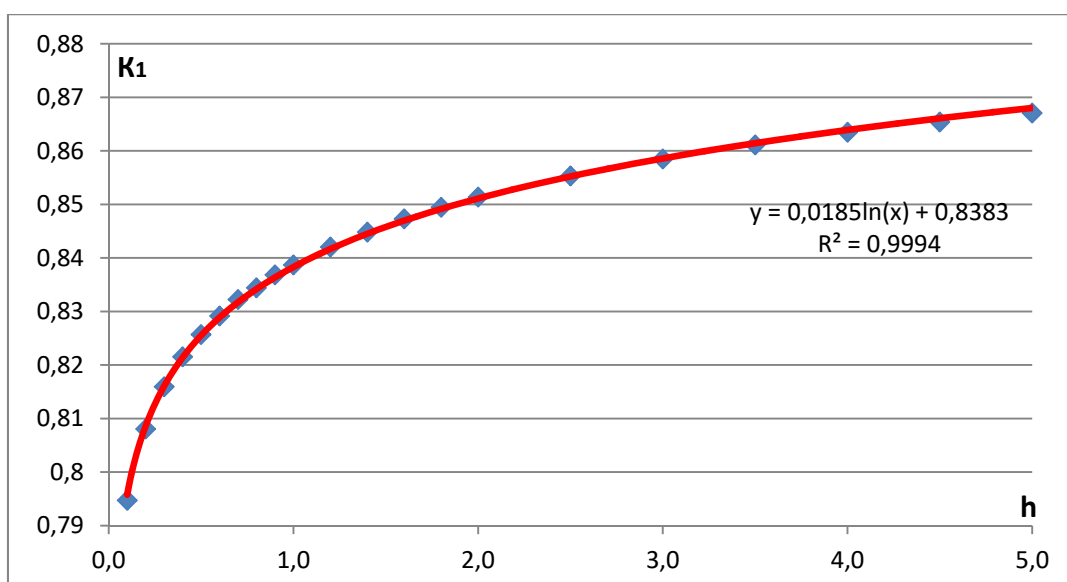


Рис. 5. График зависимости $K_1 = f(h)$ при $n = 0,025$ для $h = 0,1 \div 5,0$ м

Как показывают графики, при изменении глубин от 0,1 м до 5,0 м величина переходного коэффициента изменяется в пределах $0,86 \div 0,915$ для каналов с бетонной облицовкой и $0,79 \div 0,867$ – для каналов в земляном русле.

Данные расчеты можно применить для различных типов ирригационных каналов. Для расчета необходимо будет выбрать подходящий коэффициент шероховатости русла канала и построить график зависимости $K_I = f(h)$ для рассматриваемого канала.

Выводы и предложения

1. Предлагаемый метод определения переходного коэффициента от поверхностной скорости к средней скорости потока является инструментально-аналитическим. Он основан на минимуме полевых измерений и предполагает большую аналитическую работу по изучению распределения скоростей в живом сечении потока.

2. Особое внимание следует уделить применению переходного коэффициента от поверхностной скорости к средней скорости потока K_I при использовании ультразвуковых и электромагнитных расходомеров, измеряющих поверхностную скорость. Расход воды при измерении только поверхностных скоростей необходимо рассчитывать по формуле $Q = K_I V_{\text{поверх}} \omega$, м³/с. Корректировка данных с помощью переходного коэффициента позволяет значительно повысить точность водоучета.

3. Учитывая тот факт, что средняя глубина большинства ирригационных каналов составляет от 1,0 до 2,0 метров, значение переходного коэффициента для каналов с бетонной облицовкой можно принимать $K_I = 0,9$; для каналов в земляном русле $K_I = 0,85$.

4. Современные численные методы и методы измерений обеспечивают высокую точность, но требуют дополнительных ресурсов и тщательной калибровки. В связи с этим, особое внимание следует уделить необходимости проведения реальных замеров скорости потока в открытых ирригационных каналах для сравнения теоретически полученных результатов с фактическими данными. Такие измерения позволят оценить точность выбранных методик и при необходимости корректировать эмпирические коэффициенты, используемые в расчетах.

Литература

1. Chen, Y., Zhang, X., Li, J., & Wang, L. (2019). *Application of Manning and Chezy equations for flow velocity estimation in channels with vegetated beds*. *Journal of Hydraulics and Water Resources*, 45(2), 124-130.
2. Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*.
3. Dingman, Stanley & Bjerklie, David & Bolster, C. & Clarner, P.. (2002). What is the Constitutive Equation for One-Dimensional Open-Channel Flow. AGU Fall Meeting Abstracts.
4. Enrique Bonet Gil. (2018). *Experimental Design and Verification of a Centralized Controller for Irrigation Canals*. ISTE Press – Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2017-0-01444-1>
5. Fernandes, Joao & Leal, Joao & Cardoso, António. (2015). Assessment of stage-discharge predictors for compound open-channels. *Flow Measurement and Instrumentation*. 45. 10.1016/j.flowmeasinst.2015.04.010.
6. Graf, W. H. (1984). *Hydraulics of Sediment Transport*.
7. Hauet, A., Moatar, F., & Chauveau, M. (2018). *Calibration of flow measurement systems using remote sensing and Chezy equation*. *Water Resources Management*, 32(6), 1112-1130.
8. Henderson, F. M. (1966). *Open Channel Flow*. Macmillan Publishing Co.
9. Khuntia, J.R., Devi, K. & Khatua, K.K. Prediction of depth-averaged velocity in an open channel flow. *Appl. Water Sci.* 8, 172 (2018). <https://doi.org/10.1007/s13201-018-0812-9>
10. Patel, P., Kar, R., Sarkar, A. (2023). Estimation of Velocity Index for Flow Calculation in Open Channels Using Geometric and Hydraulic Characteristics. *Fluid Mechanics and Hydraulics. HYDRO 2021. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 314. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-9151-6_19
11. Proust S, Nikora VI. Compound open-channel flows: effects of transverse currents on the flow structure. *Journal of Fluid Mechanics*. 2020; 885:A24. doi:10.1017/jfm.2019.973.
12. Sellin, R. H. J. 1964 A laboratory investigation into the interaction between the flow in the channel of a river and that over its flood plain. *La Houille Blanche* 7, 793–802.
13. Smart, Graeme & Biggs, Hamish. (2020). Smart, G. & Biggs, H. (2020). Remote gauging of open channel flow: Estimation of depth aver-

aged velocity from surface velocity and turbulence. Proceedings of River Flow 2020, Delft, Netherlands.

14. Yalin, M. S. (1972). Mechanics of Sediment Transport.
15. Железняков Г.В. «О расчете удельной кинетической энергии речного потока». –Изв. АН СССР, «Энергетика и транспорт», №5. М.–1965.
16. Железняков Г.В. «Теория гидрометрии». Л.: Гидрометеиздат, 1976. –344 с.
17. Карасев И.Ф., Савельева А.В., Ременюк В.А. «Расход воды на реках и каналах». Методика выполнения измерений методом «скорость-площадь». Методические указания. МИ 1759-87. Издательство стандартов. М. –1987.
18. Корпачев В.П. «Теоретические основы водного транспорта леса» М.-2009.
19. Мазур Г.С. Определение расходов воды речных потоков при минимуме полевых измерений. Серия «Науки о Земле» 2009. Том 1, № 1. С. 93–106
20. Шараев Г.И. Водный транспорт леса: курс лекций для студентов специальности 250401.65 Лесоинженерное дело, направления 250300 Технология и оборудование лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств очной и заочной форм обучения. / Шараев Г.И. – Лесосибирск: Лф СибГТУ, 2011. –222 с.
21. ШНК 2.06.03-12. «Оросительные системы. Нормы проектирования». Госархитектстрой РУз. Ташкент, 2012.

**Коэффициенты шероховатости «n» каналов
и естественных водотоков**

Таблица 1

Расход воды в канале, м ³ /с	Коэффициенты шероховатости «n» оросительных каналов в земляном русле	
	в связных и песчаных грунтах	в гравелисто-галечниковых грунтах
Более 25	0,0200	0,0225
1-25	0,0225	0,250
Менее 1	0,0250	-
Каналы постоянной сети периодического действия	0,0275	-
Оросители	0,0300	-

Примечания:

1. Для каналов водосборно-сбросной сети значение коэффициента шероховатости повышается на 10% по сравнению со значением того же коэффициента для оросительных каналов и округляется до ближайшего принятого в таблице значения.
2. Для каналов, выполняемых взрывным способом, значение коэффициента шероховатости повышается на 10-20% в зависимости от размеров принимаемой доработки сечений канала.

Таблица 2

Характеристика поверхности ложа канала	Коэффициенты шероховатости «n» каналов в скале
Хорошо обработанная поверхность	0,02-0,025
Посредственно обработанная поверхность без выступов	0,03-0,35
То же, с выступами	0,04-0,045

Таблица 3

Облицовка	Коэффициенты шероховатости «n» каналов с облицовкой
Бетонная хорошо отделанная	0,012-0,014
Бетонная грубая	0,015-0,017
Сборные железобетонные лотки	0,012-0,015
Покрытия из асфальто-битумных материалов	0,013-0,016
Одернованное русло	0,03-0,035

Таблица 4

Характеристика русла	Коэффициенты шероховатости «n» естественных водотоков	Характеристика русла	Коэффициенты шероховатости «n» естественных водотоков
Естественное русло в благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное земляное, со свободным течением)	0,025-0,033	Заросшие участки рек с очень медленным течением и глубокими промоинами	0,05-0,08
То же, с камнями	0,03-0,04	Заросшие участки рек болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и пр.)	0,075-0,15
Периодические потоки (большие и малые) при хорошем состоянии поверхности и формы ложа	0,033	Поймы больших и средних рек, сравнительно разработанные, покрытые растительностью (травы, кустарники)	0,05
Земляные русла сухих логов в относительно благоприятных условиях	0,04	Значительно заросшие поймы со слабым течением и большими глубокими промоинами	0,08
Русла периодических водотоков, несущих во время паводка заметное количество наносов крупно-галечниковых или покрытым растительностью ложем, пе-	0,05	То же, с неправильным косоструйным течением и большими заводьями и др.	0,1

Характеристика русла	Коэффициенты шероховатости «n» естественных водотоков	Характеристика русла	Коэффициенты шероховатости «n» естественных водотоков
риодические водотоки, сильно засоренные и извилистые			
Чистое извилистое ложе с небольшим числом промоин и отмелей	0,033-0,045	Поймы лесистые со значительными мертвыми пространствами, местными углублениями, озерами и др.	0,133
То же, но слегка заросшее и с камнями	0,035-0,05	Глухие поймы, сплошные заросли (лесные, таежного типа)	0,2

Интерактивные базы данных как инструмент оценки межсекторального управления ресурсами в странах Центральной Азии

А.Г. Галустян, Д.К. Абасова, И.Ф. Беглов

Идеология взаимосвязи «водные ресурсы-энергетика-продовольствие-экология» (WEFE-Nexus) в последние годы активно продвигается в странах Центральной Азии и находит практическое воплощение в проектах международных организаций. Интегрированный подход к управлению ресурсами становится всё более актуальным для региона, характеризующегося засушливым климатом, трансграничными водными ресурсами и неравномерным распределением энергетических ресурсов.

В настоящей статье представлены результаты исследования, проведенного НИЦ МКВК в рамках проекта «Региональные механизмы для низкоуглеродной и климатоустойчивой трансформации взаимосвязи энергии, воды и земли в Центральной Азии». Проект финансируется Федеральным министерством окружающей среды, охраны природы, ядерной безопасности и защиты прав потребителей Германии (BMUV) через Международную климатическую инициативу (IKI) и реализуется ОЭСР в партнерстве с ЕЭК ООН, НИЦ МКВК, ЕБРР и ФАО.

Целью данной работы является создание прозрачных, интерактивных баз данных по действующим и завершённым инициативам, а также по ключевым участникам (стейкхолдерам) в сфере управления водными, энергетическими и земельными ресурсами. Это позволит повысить эффективность межсекторального управления, упростить поиск информации, содействовать вовлечению заинтересованных сторон в процессы устойчивого развития.

Методология

Методология исследования основана на кабинетном исследовании (Desk Research), которое включает сбор, обработку, анализ и компоновку информации из открытых источников. Были использованы материалы веб-сайтов государственных учреждений, международных организаций и проектов развития.

Созданы две базы данных:

1. База данных национальных и региональных проектов и программ, содержащая сведения о названии, географии, источниках финансирования, сроках реализации, участниках, тематиках и результатах;
2. База данных заинтересованных сторон, включающая классификацию по типу организаций, географии деятельности, тематикам, а также контактной информации.

Данные структурированы в табличной форме (Excel) и адаптированы для отображения в цифровом интерфейсе с функциями фильтрации и поиска.

Результаты исследования

База данных «Национальные и региональные проекты/программы по вопросам взаимосвязи водных, энергетических и земельных ресурсов, реализованным/реализуемым в странах Центральной Азии»

В рамках исследования сформирована база данных, содержащая информацию о 80 проектах и 7 программах, реализованных/реализуемых в странах ЦА проектов по состоянию на 1 сентября 2024 г.

По каждому проекту/программе собраны данные по следующим показателям: страна; тематическое направление; бюджет и источник финансирования; организация исполнитель; сроки реализации; краткое описание (цели, задачи, результаты), бенефициары, контактная информация (если доступна) и ссылки на официальные веб-страницы/источники информации.

Для удобства использования базы в таблице предусмотрен фильтр, позволяющий сортировать проекты по различным параметрам: страна, тематическое направление, финансирующие организации и др. Например, задавая страну *Казахстан* в столбце «*страна*» выходит перечень проектов, реализуемых только в Казахстане (национальные проекты).

Из представленных в Базе проектов и программ:

- 1) в Казахстане реализуется 35 проектов (из них 7 национальных), в Кыргызстане – 36 (7 национальных), в Таджикистане – 39 (13 национальных), в Туркменистане – 29 (6 национальных) и в Узбекистане – 41 (14 национальных);
- 2) 16 проектов и 4 программы – региональные, в которых задействованы страны ЦА;

3) 1 проект и 1 программа – для стран ЦА и Афганистана и 1 проект – для стран ЦА, Афганистана и Азербайджана;

4) 1 проект – охватывает пять трансграничных речных бассейнов и связанных с ними стран: Бассейн Аральского моря: Узбекистан, Таджикистан, Туркменистан, Кыргызстан, Казахстан; Бассейн Ганга: Непал, Индия; Бассейн Инда: Пакистан; Бассейн Голубого Нила: Эфиопия, Судан; Бассейны Лимпопо и Инкомати: Ботсвана, Мозамбик, Южная Африка, Зимбабве

Страны	Тематическое направление	Наименование проекта	Источники финансирования	Организация-исполнитель	Бюджет (€/\$/CHF)	Начало	Конец
16 KAZ	Водные ресурсы, Изменение климата	Поддержка перехода Казахстана к модели зеленой экономики	Европейский Союз	ПРООН в партнерстве с ЕЭК ООН; Комитет водных ресурсов Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан	€ 7100 000	2015	2018
45 KAZ	Сельское хозяйство, рыболовство, лесное хозяйство, управление водными ресурсами, окружающая среда	Второй проект "Реконструкция ирригационной и дренажной систем"	Всемирный банк/Международный банк реконструкции и развития	Комитет по водным ресурсам Министерства экологии, геологии и природных ресурсов	\$343 310 000	2013	2021
62 KAZ	ЦУР	Партнерство для создания Национальной платформы ЦУР	ПРООН, АБР	ПРООН, Министерство Национальной экономики Республики Казахстан	\$700 837	2019	2020

Рис. 1. База проектов в Excel

Национальные и региональные проекты/программы, реализованные или реализуемые в странах ЦА, охватывают такие сферы, как «водные ресурсы–сельское хозяйство», «водные ресурсы–энергетика», «окружающая среда–водные ресурсы», «сельское хозяйство–энергетика», «водные ресурсы–окружающая среда–изменение климата» и т.д.

Из приведенного перечня только три проекта рассматривают системную взаимосвязь «вода – энергия – продовольствие»: (1) «Центрально-Азиатский диалог по использованию возможностей многосекторального финансирования путем усиления взаимосвязи «вода-энергия-продовольствие» (NEXUS)»¹⁴; (2) «Региональные механизмы для низкоуглеродной и климатостойчивой трансформации взаимосвязи энергии, воды и земли в Центральной Азии»; (3) «Преимущества NEXUS: реализа-

¹⁴ при финансовой поддержке ЕС, реализован РЭЦА в сотрудничестве с Международным союзом охраны природы при поддержке ИК МФСА, 2016-2019 гг.

ция многочисленных преимуществ в области воды, энергии, продовольствия и экосистем»¹⁵.

База данных проектов позволяет выявить, на какие ключевые направления было обращено наибольшее внимание в проектах/программах с финансированием партнеров по развитию, степень вовлеченности ключевых стейкхолдеров в данную работу и ляжет в основу выполнения работ по межрегиональному анализу текущих и прошлых инициатив по вопросам взаимосвязи и управления трансграничными природными ресурсами в Центральной Азии (результат деятельности П.1).

Реализация

База по проектам, изначально созданная в Excel, была переведена в веб-формат (рис. 2-5). Созданный интерактивный инструмент обладает широкими возможностями: поиск организации производится посредством ряда фильтров – по странам, секторам экономики, источникам финансирования, исполнителям проектов и годам.

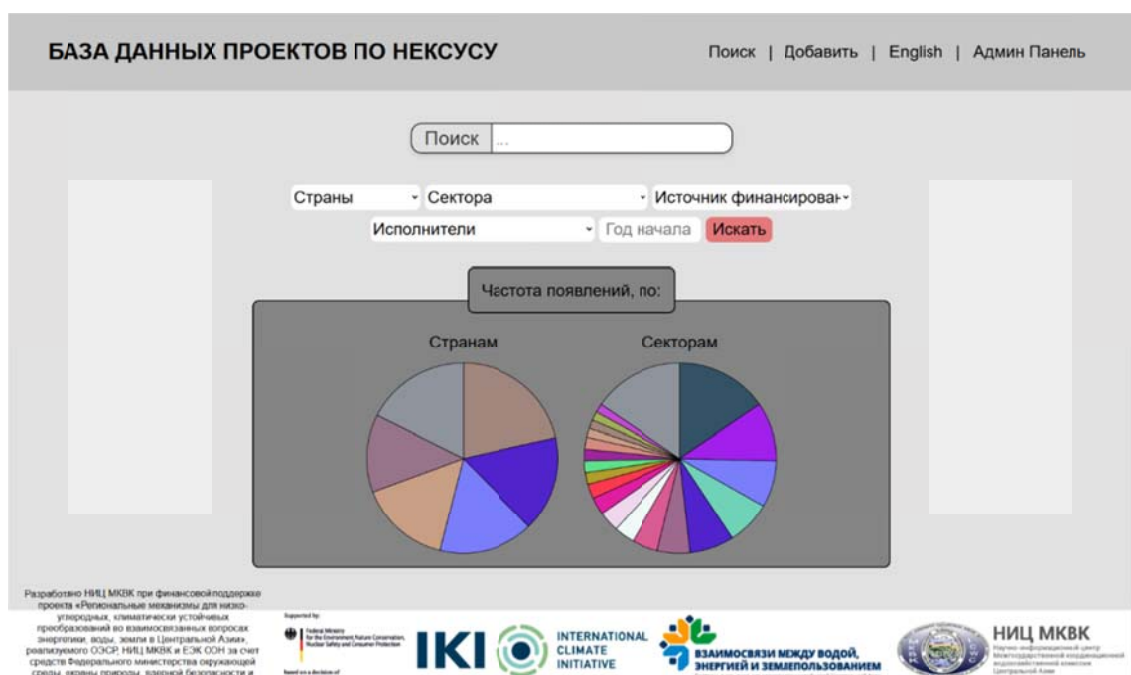


Рис. 2. Главная страница базы данных

¹⁵ финансируется Тростовым фондом CGIAR, реализуется Международным институтом управления водными ресурсами (IWMI) и Международным институтом исследований продовольственной политики, 2022-2023 гг.

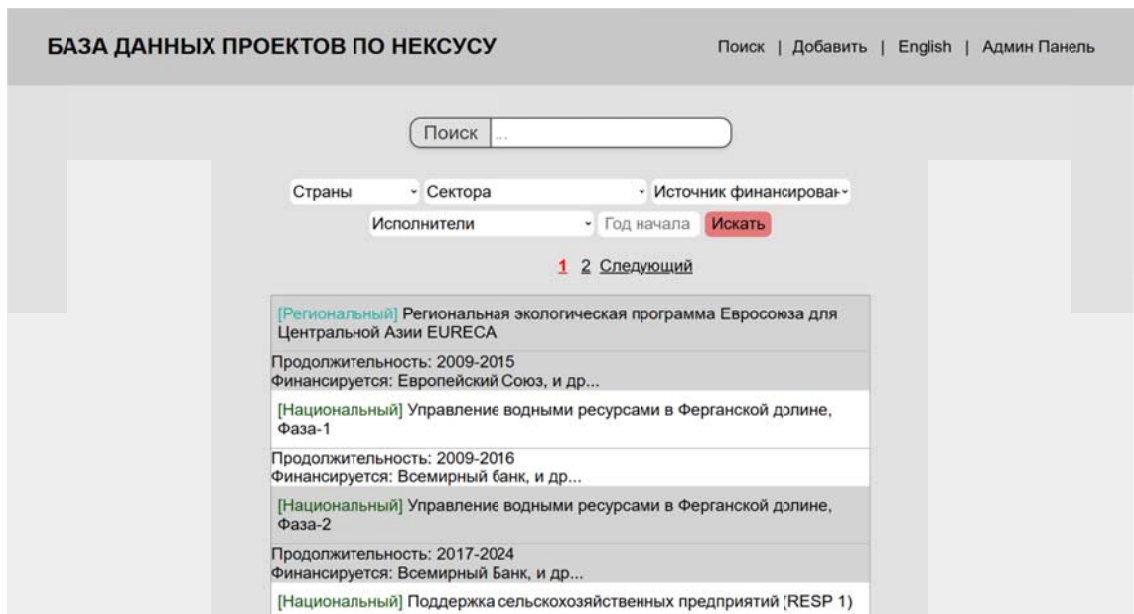


Рис. 3. Пример выдачи по запросу «Вода»

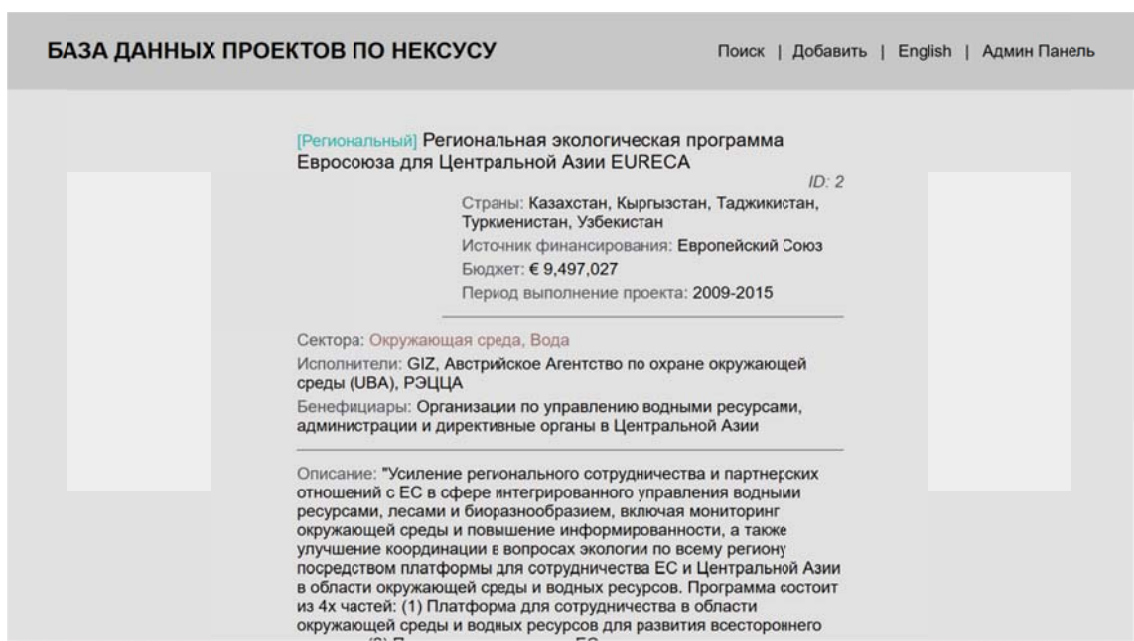


Рис. 4. Пример страницы проекта

Рис. 5. Страница ввода данных

База данных «Ключевые заинтересованные стороны по вопросам использования водных, энергетических и земельных ресурсов Центральной Азии»

База данных стейкхолдеров была сформирована НИЦ МКВК в ходе подготовительной фазы проекта ИКИ (2022 г.) и обновлена в рамках данного задания по состоянию на 25.10.2024 г.

В ходе формирования базы данных был определен и согласован с ОЭСР перечень из 11 тематических направлений, имеющих отношение к системной взаимосвязи использования водных, энергетических и земельных ресурсов (таблица 1), а также определены ключевые заинтересованные стороны по обозначенным направлениям и сгруппированы по 10 категориям, в зависимости от типа организации (таблица 2).

По каждой группе заинтересованных сторон в разрезе стран ЦА в созданной базе уточнены следующие данные: название организации, основные функции, тематическая направленность, руководитель, почтовый адрес, веб-сайт, электронная почта, номера телефонов и контактное лицо. По итогам в Базу включена информация о 256 организациях.

Таблица 1

**Тематические направления,
имеющие отношение к системной взаимосвязи использования водных,
энергетических и земельных ресурсов**

вода	энергетика	охрана окружающей среды и биоразнообразия
сельское хозяйство, ирригация и мелиорация	лесное хозяйство	геология, гидрогеология и гидрометеорология
гидротехнические сооружения, безопасность плотин	экономика, финансы, инвестиций, зеленая экономика	политика в области изменения климата
международные отношения	другое	

Таблица 2

Ключевые группы заинтересованных сторон

парламент (19) KAZ 4, KYR 3, TAJ 2, TKM 3, UZB 7	министерства и ведомства (71) KAZ 16, KYR 14, TAJ 12, TKM 10, UZB 19	высшее образование и тренинг (19) KAZ 4, KYR 3, TAJ 3, TKM 4, UZB 5
научно-исследовательские институты (социальные науки и анализ политики) (7) KAZ 2, KYR 1, TAJ 1, TKM 1, UZB 2	научно-исследовательские институты (естествознание, инновации и инженерные) (44) KAZ 11, KYR 7, TAJ 4, TKM 3, UZB 19	организации гражданского общества (19) KAZ 4, KYR 2, TAJ 4, TKM 5, UZB 4
региональные организации (20) KAZ 6, KYR 3, TAJ 4, TKM 3, UZB 4	двусторонние донорские агентства (19) KAZ 4, KYR 4, TAJ 4, TKM 3, UZB 4	финансовые учреждения (банки, фонды) (12) KAZ 3, KYR 2, TAJ 2, TKM 2, UZB 3
международные организации (нефинансовые) (26) KAZ 6, KYR 5, TAJ 5, TKM 5, UZB 5		

В базе также предусмотрено использование фильтров, что позволяет быстро искать необходимую информацию по всем изначально заданным параметрам, как-то страна, тематическая направленность, группы заинтересованных сторон, руководитель организации и т.п. Например, задавая

страну (н-р, Таджикистан в столбце «страна»), тематическая направленность (н-р, энергетика), группы (н-р, министерства или государственные ведомства) выходит перечень организаций (столбец 2), имеющих отношение к заданным параметрам с информацией о выполняемых функциях, руководителе организации и другими контактными данными. Для определения перечня организаций, задействованных, например, в секторе энергетика по двум или более странам, в столбце «страны» делается выбор по соответствующим странам.

country	thematic area	name of company	group	functions
Kazakhstan	Others	Parliament of the Republic of Kazakhstan	Parliament	Parliament of the Republic of Kazakhstan is a supreme republican body exercising legislative power. It consists of two chambers - Senate (Upper) and Majilis (Lower)
Kazakhstan	Agriculture, irrigation and land reclamation	Committee on agrarian issues, nature management and rural development Senate of the Parliament of the Republic of Kazakhstan	Parliament	
Kazakhstan	Environmental protection and biodiversity conservation	Committee on agrarian issues, nature management and rural development Senate of the Parliament of the Republic of Kazakhstan	Parliament	
Kazakhstan	Agriculture, irrigation and land reclamation	Committee on Agrarian issues of Mazhilis of Parliament of the Republic of Kazakhstan	Parliament	
Kazakhstan	Environmental protection and biodiversity conservation	Committee on ecology and nature management of Mazhilis of Parliament of the Republic of Kazakhstan	Parliament	
Kazakhstan	Agriculture, irrigation and land reclamation	Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan	Ministries and government agencies	Ministry of Agriculture of Kazakhstan is a central executive body responsible for governance of agroindustry, irrigated agriculture and land reclamation, land resources, and, within the powers granted by law, for intersectoral coordination of state bodies in the area of its competence

Рис. 6. База данных в Excel

База данных будет служить источником информации для всех партнеров проекта. Данные по функциональным задачам и тематической направленности по ключевым заинтересованным сторонам лягут в основу выполнения работ по оценке межсекторального управления в области планирования взаимодействия как на национальном, так и региональном уровнях и выявления проблем, связанных с механизмами управления (результат деятельности II.2), а также исходной информацией для реализации работ в рамках деятельности III.4 и другим.

Реализация

На основе «Атласа водохозяйственных и экологических организаций стран Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии» создан интерактивный инструмент с широкими возможностями: поиск организации может производиться визуально на карте или выбором по стране / типу организации в боковом меню.

Были добавлены поле «Положение (устав) организации, англоязычная часть и возможность поиска по нексус-подходу (вода, энергетика, сельское хозяйство и т п)



Ключевые заинтересованные стороны по вопросам использования водных, энергетических и земельных ресурсов

База данных Об Атласе Управление Выйти English

Карта Спутник

Легенда

- Узбекистан
- Казахстан
- Туркменистан
- Таджикистан
- Кыргызстан
- Беларусь
- Украина
- Молдова
- Армения
- Азербайджан
- Грузия
- Россия

Поиск в базе данных

Страна
Все

Тип организации
Все

Виды деятельности
Все

Получить результаты

Результаты поиска

Показаны записи 1-10 из 118.

« 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 »

Рис. 7. Внешний вид онлайн базы данных

The figure displays four screenshots of a web-based search interface for a database, titled "Поиск в базе данных". Each screenshot shows a different state of the filter dropdown menus.

Top Left Screenshot: Shows the initial state where all three filters are set to "Все" (All). A yellow button labeled "Получить результаты" (Get results) is visible at the bottom.

Top Right Screenshot: Shows the "Страна" (Country) dropdown menu open, displaying a list of countries: Все, Азербайджан, Армения, Беларусь, Грузия, Казахстан, Кыргызстан, Молдова, Россия, Таджикистан, Туркменистан, Узбекистан, and Украина.

Bottom Left Screenshot: Shows the "Тип организации" (Organization Type) dropdown menu open, displaying a list of organization types: Все, Региональные, Международные, Неправительственные, Научно-исследовательские, Речные бассейновые, Органы государственного управления, Учебные заведения, Проектные, and Коммерческие.

Bottom Right Screenshot: Shows the "Виды деятельности" (Activity Types) dropdown menu open, displaying a list of activity types: Все, Водные ресурсы, Энергетика, Сельское хозяйство, земельные ресурсы, ирригация и мелиорация, Лесное хозяйство, Охрана окружающей среды и биоразнообразия, Геология, гидрогеология, Климатическая политика, гидрометеорология, Гидротехнические сооружения, безопасность плотин, Экономика, финансы, инвестиции, зеленая экономика, Международные отношения, and Другое.

Рис. 8. Фильтры базы данных

База данных Об Атласе Управление Выйти English

Карта Спутник

Республиканское государственное учреждение «Тобол-Торгайская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов»

Поиск в базе данных

Страна: Все

Тип организации: Все

Виды деятельности: Все

Получить результаты

Легенда

- Узбекистан ● Казахстан ● Туркменистан ● Таджикистан ● Кыргызстан ● Беларусь
- Украина ● Молдова ● Армения ● Азербайджан ● Грузия ● Россия

Рис. 9. Выбор на карте организации: всплывающее окно



Ключевые заинтересованные стороны по вопросам использования водных, энергетических и земельных ресурсов

База данных Об Атласе Управление Выйти English

Республиканское государственное учреждение «Тобол-Торгайская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов»

Тип организации	Речные бассейновые
Страна	Казахстан
Основная деятельность	Республиканское государственное учреждение «Тобол-Торгайская бассейновая инспекция по регулированию использования и охране водных ресурсов» Комитет по водным ресурсам Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан является территориальным органом, в пределах своей компетенции осуществляющим реализационные и контрольные функции в области регулирования использования и охраны водного фонда.
Акроним	Тобол-Торгайская БИ
Контакты	110000, г. Костанай, ул. Горького, 75 Тел: +7 (7142) 501109 Эл адрес: kostanay_bvi@mail.ru

Рис. 10. Страница вывода информации об организации

Заключение

Проведенное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. В странах Центральной Азии реализуется значительное количество проектов и программ, связанных с использованием водных, энергетических и земельных ресурсов, однако интегрированный подход к нексусу «вода-энергия-продовольствие-экология» пока не получил широкого распространения.

2. В регионе существует разветвленная сеть организаций, потенциально способных обеспечить межсекторальное взаимодействие, однако требуется дальнейшее развитие механизмов координации между различными секторами.

3. Создание и публикация интерактивных баз данных позволили систематизировать разбросанную по источникам информацию и выполняют несколько функций:

- обеспечивают доступ пользователей к аналитическим данным
- выявляют пробелы и дублирование в проектной деятельности
- помогают определить потенциальных партнеров для реализации новых инициатив
- являются важным инструментом для повышения эффективности планирования и реализации проектов в области устойчивого развития в Центральной Азии

Созданные инструменты полезны как для исследователей, так и для государственных структур и международных партнеров.

4. Необходимо дальнейшее продвижение нексусного подхода через разработку соответствующих политик, стратегий и проектов, а также укрепление потенциала заинтересованных сторон.

5. Разработанные информационные базы представляют собой шаг к формированию единого аналитического пространства и могут быть масштабированы для других регионов и направлений устойчивого развития.

Аналитический потенциал созданных ресурсов будет использован для сравнительного анализа стран региона, разработки индикаторов эффективности управления ресурсами и формирования институциональных рекомендаций. Исследование продолжится в рамках проекта «Региональные механизмы для низкоуглеродной и климатоустойчивой трансформации взаимосвязи энергии, воды и земли в Центральной Азии».

Список литературы

1. Связь между водой, энергией, продовольствием и экосистемой / https://international-partnerships.ec.europa.eu/policies/climate-environment-and-energy/water-energy-food-ecosystem-nexus_en
2. Что такое Нексус и почему это важно знать? / https://uploads.water-energy-food.org/resources/Что-такое-Нексус-и-почему-это-важно-знать_compressed.pdf

Верстка и дизайн: Беглов И., Дегтярева А.

Подготовлено к печати
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,
г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11А

sic.icwc-aral.uz