

КОМПЛЕКС ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОКА РЕКИ ОТ НАНОСОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

К.Л. Иноятова, А.А. Гулахмадзода

Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана, Душанбе, Таджикистан

В работе исследованы проблемы эрозии и заиления в бассейне трансграничной реки Зарафшан (Таджикистан, Узбекистан), обусловленные климатическими изменениями, сокращением ледникового стока и ростом концентрации наносов. Проанализировано негативное влияние наносов на водохозяйственную инфраструктуру: выявлено, что они ускоряют износ оборудования, снижают пропускную способность каналов и повышают риски аварий. Исследованы эрозионные процессы с применением моделей RUSLE и SWAT: установлено, что пик концентрации наносов приходится на весенне-летний период, а наиболее уязвимы участки среднего и нижнего течения реки. Определены ограничения традиционных методов очистки стока: обосновано, что они недостаточно эффективны в высокогорных условиях и не предусматривают дальнейшего использования извлечённых наносов. Предложен комплекс гидротехнических сооружений для узкого створа реки: разработана конструкция низконапорной плотины с системой трубопроводов и затворов, позволяющей перехватывать наносы и направлять их на переработку. Обоснована эффективность решения: расчёты подтверждают снижение концентрации взвешенных наносов на 23 %, рост полезного расхода воды, увеличение выработки электроэнергии на ГЭС ниже по течению и экономическую целесообразность использования наносов в горной промышленности.

Ключевые слова: Зарафшан, гидротехнические сооружения, очистка стока, наносы, горная промышленность, устойчивое водопользование, ресурсное использование наносов.

МАЧМЎАИ ИНШООТҲОИ ГИДРОТЕХНИКӢ БАРОИ ТОЗАКУНИИ МАЧРОИ ДАРӢ АЗ ОБОВАРДҲО ВА ИСТИФОДАИ ОНҲО ДАР САНОАТИ КӢҲҚОРӢ

К.Л. Иноятова, А.А. Гулахмадзода

Институти масъалаҳои об, гидроэнергетика ва экологияи АМИТ, ш. Душанбе, Тоҷикистон

Дар мақола масъалаҳои эрозия ва таҳшиншавии таҳшинҳо дар ҳавзаи дарёи фаромарзии Зарафшон (Тоҷикистон, Ўзбекистон) таҳқиқ карда шудаанд, ки бо тағйирёбии иқлим, камшавии ҷараёни оби пирахҳо ва афзоиши консентратсияи таҳшинҳо вобаста мебошанд. Таъсири манфии таҳшинҳо ба инфрасохтори ҳоҷагии об таҳлил карда шуд: муайян гардид, ки онҳо фарсудашавии таҷҳизотро тезонида, қобиляти гузаронандагии каналҳоро коҳиш медиҳанд ва хавфи ба вучуд омадани ҳолатҳои садамавиро зиёд менамоянд. Равандҳои эрозионӣ бо истифода аз моделҳои RUSLE ва SWAT таҳқиқ карда шуданд: муайян гардид, ки қуллаи баландтарини консентратсияи таҳшинҳо ба давраи баҳору тобистон рост меояд ва қитъаҳои осебпазиртарини дарё қисми миёна ва поёни маҷрои он мебошанд. Маҳдудиятҳои усулҳои анъанавии тозакунии ҷараёни об муайян карда шуданд: асоснок гардид, ки онҳо дар шароити баландкӯҳ самаранокии кофӣ надоранд ва истифодаи минбаъдаи таҳшинҳои хориҷшударо пешбинӣ намеkunанд. Маҷмӯи иншооти гидротехникӣ барои қитъаи танги маҷрои дарё пешниҳод гардид: конструксияи сарбанди пастфишор бо низоми кубурҳо ва дарвозаҳои танзимкунанда таҳия карда шуд, ки имкон медиҳад таҳшинҳо боздошт шуда, барои коркарди минбаъда равона карда шаванд. Самаранокии қарор асоснок карда шуд: ҳисобҳо коҳиш ёфтани консентратсияи таҳшинҳои ченшуда то 23 %, зиёдшавии сарфи муфиди об, афзоиши истеҳсоли нерӯи барқ дар НБО-ҳои поёноб ва самаранокии иқтисодии истифодаи таҳшинҳоро дар саноати кӯҳӣ тасдиқ менамоянд.

Калидвожаҳо: Зарафшон, иншооти гидротехникӣ, тоза кардани ҷараёни об, таҳшинҳо, истихроҷи маъдан, истифодаи устувори об ва истифодаи захираҳои таҳшинҳо.

HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURE COMPLEX FOR RIVER RUNOFF CLEANING AND USE IN THE MINING INDUSTRY

K.L. Inoyatova, A.A. Gulakmadzoda

Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan, Dushanbe, Tajikistan

This study investigates erosion and siltation issues in the transboundary Zerafshan River basin (Tajikistan, Uzbekistan) driven by climate change, reduced glacial runoff, and rising sediment concentration. The negative impact of sediment on water infrastructure was analyzed, revealing that it accelerates equipment wear, reduces canal capacity, and increases the risk of operational accidents. Soil erosion processes were modeled using the RUSLE and SWAT frameworks; the results indicate that sediment concentration peaks during the spring-summer period, with the middle and lower reaches of the river being the most vulnerable. The limitations of conventional runoff treatment methods were identified, demonstrating their low efficiency in high-altitude conditions and their failure to provide for the subsequent utilization of recovered sediment. To address these issues, a complex of hydraulic structures designed for a narrow river reach is proposed, featuring a low-head dam with a system of pipelines and gates to intercept sediment and route it for recycling. The effectiveness of this solution was validated: calculations confirm a 23% reduction in suspended sediment concentration, an increase in beneficial water discharge, higher electricity generation at

downstream hydropower plants (HPPs), and the economic viability of utilizing the recovered sediment in the mining industry.

Keywords: *Zarafshan, hydraulic structures, runoff treatment, sediment, mining, sustainable water use, and resource utilization of sediment.*

Введение

Бассейн реки Зарафшан является трансграничной рекой и находится на территориях стран Республики Таджикистан и Узбекистан. На сегодняшнее время река сталкивается с острой проблемой ускоренной эрозии в верховьях горной части и критическим заилением наносами ирригационных систем и русла в средней и нижней части течения реки. Наблюдения за ледниками Тянь-Шаня показывают, что происходящее потепление климата приводит к их устойчивому сокращению и уменьшению их ледниковых коэффициентов, что в свою очередь приводит к сокращению стока реки. Причины возникновения данной проблемы заключаются в природных и антропогенных факторах. Последствиями возникшей проблемы считается снижение емкости ирригационных каналов, водохранилищ и водозаборных сооружений за счет заиливания. Ухудшение качества воды и состояния окружающей среды. Угроза критической инфраструктуре за счет береговой эрозии и селевых потоков. Износ эксплуатируемых сооружений как насосные агрегаты, гидротурбины входящих в состав гидроузлов. Проблема загрязнения речного стока наносами является одной из ключевых задач гидротехнической и экологической инженерии на сегодняшнее время. Особенно это ощущается в горных районах, где интенсивные процессы эрозии и выноса твердых частиц существенно влияют на качество водных ресурсов [1, 2].

Образующиеся наносы в стоке реки характерных для Зарафшана аридных и семиаридных зонах расположения региона представляют собой ценный природный ресурс, который может быть использован в горной промышленности. Как известно, название реки Зарафшан в переводе с персидского означает «золотоносная». В частности, для бассейна реки актуален вопрос комплексного использования гидротехнического строительства и промышленных отраслей. Добыча и переработка ценных компонентов, очистка стока реки от наносов приобретает двукратную значимость – экологическую и экономическую для страны.

Снижение мутности реки путём очистки от взвешенных частиц и очистка стока от реки от наносов представляют собой важное направление в обеспечении устойчивого функционирования гидротехнической отрасли. Содержание взвешенных частиц в водном потоке приводит к ускоренному износу конструктивных и рабочих элементов оборудования, снижению пропускной способности и ухудшению эксплуатационных характеристик. На насосных станциях и гидроэлектростанциях накопление твердых наносов в каналах и резервуарах снижает эффективность работы оборудования. Традиционные методы очистки требуют больших затрат и часто не обеспечивают стабильного удаления осадков. В условиях интенсивного использования водных ресурсов для ирригации и энергетики поддержание оптимального качества воды становится ключевым фактором долговечности инженерных объектов [3, 4].

В мировой практике применяются различные методы очистки стока – отстойники, фильтрационные системы, гидроциклоны, однако их эффективность в условиях высокогорных бассейнов остаётся ограниченной. Существующие методы, такие как простые отстойники, часто работающие в периодическом режиме (требуют отключения для очистки), не справляются с большим объёмом мелкофракционных наносов (образованных за счет таяния ледников), характерных для Зарафшана. А также, исходя их характерной геологии местности, актуален вопрос комплексного использования гидротехнических сооружений в горном деле при добыче полезных ископаемых металлов и минералов, в частности золота и ценных редких металлов, содержащиеся в составе формирующихся наносов.

Большинство существующих решений не предусматривает комплексного подхода к дальнейшему использованию извлечённых наносов (в виде ила или песка). Целью настоящего исследования считается разработка и обоснование комплекса гидротехнических сооружений, обеспечивающего эффективную очистку стока реки от наносов и их рациональное использование в горной промышленности. Для достижения поставленной цели следует разработать инженерные решения по их эффективному извлечению, оценить возможности применения очищенных наносов в промышленности и определить экологическую и экономическую целесообразность предложенного комплекса.

Научная новизна исследования заключается в интеграции процессов очистки и повторного использования наносов, что позволяет повысить устойчивость водохозяйственных систем и снизить нагрузку на окружающую среду. Актуальным вопросом является создание благоприятных условий для строительства и эксплуатации комплекса гидротехнических сооружений, обеспечение

эффективной борьбы с донными и поверхностными наносами перед водоприемниками водозаборных сооружений, бесперебойной работы гидротехнических сооружений и насосных станций (гидроустановок и насосных агрегатов), увеличения срока службы, а также комплексного использования с рядом смежных отраслей промышленности. Техническим результатом исследования является уменьшение количества донных и поверхностных наносов, содержащихся в стоке реки с возможностью дальнейшего их использования в переработке ценного компонента металлоносных песков с сокращением затрат на водоподготовку и водообеспечение обогатительного процесса.

Нетрадиционный способ возведения и использования гидротехнического сооружения в совокупности с горнодобывающей промышленностью, в частности к разработке россыпных месторождений и техногенных накоплений минерального сырья с последующим использованием создает благоприятную среду для увеличения забора воды в жестких природных условиях. Данное сооружение может быть использовано на головных водозаборных узлах, ирригационных отстойниках, головных регуляторах для автоматизации промыва их от донных и поверхностных наносов. Известно, что добыча и переработка металлоносных песков из россыпей включает в себя возведение гидротехнических сооружений в виде дамб, плотин, руслоотводных канав, выемку исходных песков, их транспортирование к месту переработки, классификацию, подачу классифицированных песков и воды на обогатительное оборудование типа шлюза для промывки в гидродинамическом потоке, удаление хвостов и концентрата. Известные комплексы для переработки песков, включающие выемочное, транспортирующее, классифицирующее устройства исходных песков, систему подачи воды, обогатительное устройство в виде шлюза, оборудование для удаления хвостов переработки и концентрата. Недостатками этих решений являются высокие затраты на водоподготовку и водообеспечение обогатительного процесса, удаление хвостов промывки, а при переработке металлоносных песков в горных или предгорных районах на транспортировку исходных песков из мест периодической добычи в специально-учрежденный комплекс переработки [5, 6].

Предлагаемый комплекс гидротехнических сооружений есть модульное, многоуровневое решение, фокусирующееся на максимальном перехвате донных и поверхностных наносов с перенаправлением их в современные системы промывки золотоносных песков в самом узком створе реки Зарафшан. Система сооружений включает возведение дамбы на самом узком створе реки с образованием накопителя воды, установку устройства напорных трубопроводов в основание тела дамбы с обратным клапаном, а также холостым водосбросом с возможностью переброса воды в нижний бьеф вниз по течению реки, выемку песков и иловых отложений, их транспортирование на поверхность дамбы с подачей в обогатительное устройство с последующим использованием.

Материалы и методы исследования

Методологическая основа работы опирается на комплексный подход, сочетающий лабораторные исследования и математическое моделирование гидродинамических процессов. Такой подход обеспечивает воспроизводимость результатов и позволяет оценить эффективность проектируемого комплекса гидротехнических сооружений в реальных условиях эксплуатации.

Объектом исследования является бассейн реки Зарафшан (см. рис. 1), в частности участок реки с самым узким створом до створа предполагаемого проектирования Яванской ГЭС, характеризующийся интенсивным выносом наносов вследствие эрозионных процессов. Полученные данные из моделей RUSLE и SWAT позволили классифицировать участки с наибольшим риском и образованием наносов. Для оценки эффективности очистки стока применялись гидравлические модели, основанные на уравнениях движения взвешенных частиц в потоке. Использовались программные комплексы ArcGIS, SWAT и HEC-RAS, позволяющие моделировать пространственное распределение наносов и прогнозировать их осаждение в проектируемых сооружениях. Моделирование проводилось в условиях различных гидрологических сценариев, что обеспечило комплексную оценку устойчивости системы [7, 8].

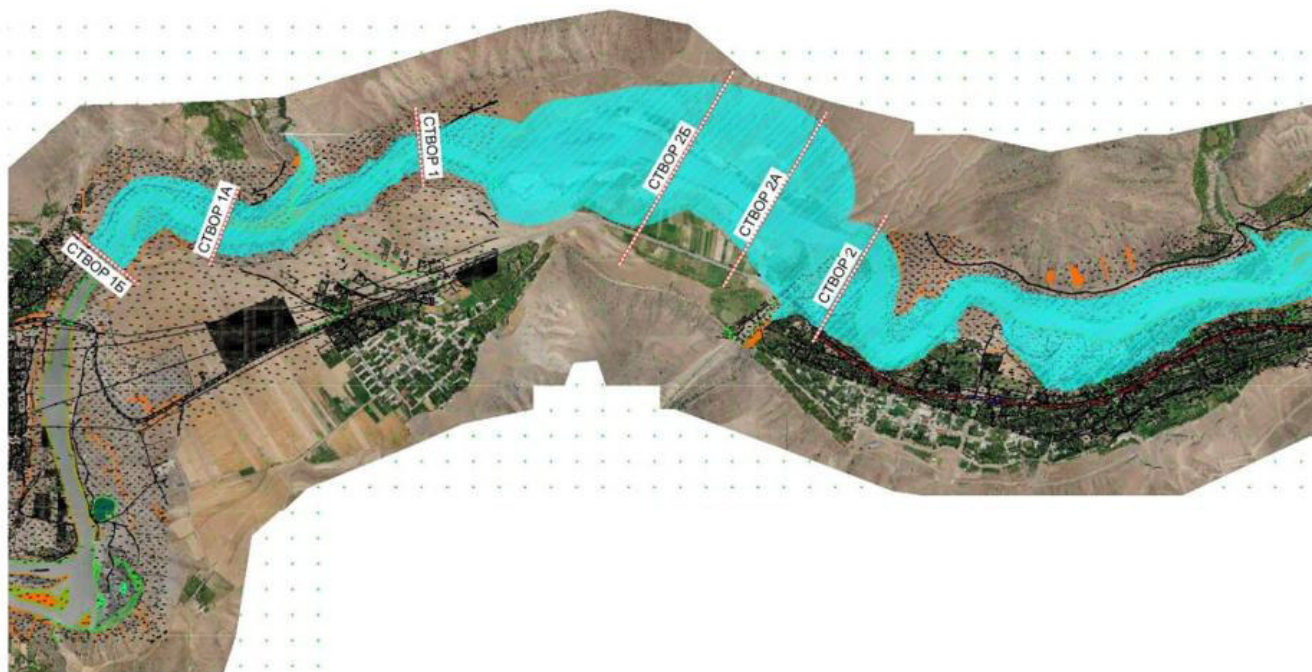


Рисунок 1 – Обиций план исслeдуемoгo участка реки Зарафшан. Порядoк рассмoтрения створoв назнaчен по течению реки – oт нижнего к верхнему

Figure 1 – General plan of the studied section of the Zerafshan River. The order of cross-section evaluation is assigned along the river flow – from downstream to upstream

На основе анализа данных предлагается решение возведения нетрадиционного комплекса гидротехнических сооружений, целью которого является разработка конструкции по управлению водным потоком, увеличению пропускной способности путем уменьшения концентрации донных и поверхностных наносов в стоке реки с возможностью их дальнейшей переработки по извлечению ценных компонентов металлоносных песков, а также увеличению выработки электроэнергии на ГЭС. Поставленная цель достигается проектированием и строительством сооружения в виде низконапорной бетонной плотины, в теле которой монолитно установлены напорные трубопроводы, оснащенной такими функциональными устройствами как сороудерживающие решетки, плоские металлические и аварийно-ремонтные затворы, водоподводящий, водоотводящий и сбросной каналы, напорные трубопроводы и насосные агрегаты.

Для каждого элемента комплекса определены технические параметры: объём, скорость осаждения, коэффициент очистки. Особое внимание уделялось интеграции сооружений в существующую водохозяйственную инфраструктуру и минимизации экологических рисков. Эффективность предлагаемого комплекса оценивается по совокупности следующих показателей: уровень снижения концентрации наносов в стоке реки, экономическая целесообразность использования извлеченных из воды материалов в горной промышленности. А также экологическая сторона аспекта устойчивости предложенных решений. Сравнение полученных результатов исследования с нормативными показателями качества воды позволяет подтвердить целесообразность предлагаемого комплекса сооружений современным требованиям водохозяйственной практики.

В исследовании приведена оценка влияния эрозии грунта и склонов на возникновение наносов в стоке реки. Как выявлено, после осушения около 50% общей площади бассейна эрозивные процессы переходят в дренажную зону и приводят к деградации сельскохозяйственных земель. Наиболее пострадавшими районами и участками от влияния эрозийных процессов считаются участки среднего и нижнего течения реки. Если рассмотреть общую картину, то можно увидеть что наблюдается рост средней эрозии грунта. Согласно созданной эмпирической модели эрозии RUSLE и оценке эрозивности можно увидеть участки, подаваемые воздействию эрозии (см. рис.2). Факторы, влияющие на процесс эрозии согласно наблюдениям за период 2000–2024 годов, максимальное значение среднегодового количества осадков составляло 603,905 мм, что соответствует юго-западной части бассейна. Как правило, наименьшее количество осадков наблюдалось в средней

части по течению бассейна в южных и юго-восточных районах бассейна. В исследуемой области коэффициент растворимости почвы (К) варьировался от 0,018 до 0,021; Как правило, 0 означает воду и водоёмы. Почвы бассейна содержали песок (58,9%), ил (29,9%) и глину (43,4%). Значения потенциальной деградации почвы и факторов риска (%) LS категорий склонов (< 5, 5–20, 21–40, 41–70, > 70) были связаны с вершинами гор высотой до 4299 м. Землепользование и покрытие земель в исследуемой зоне были классифицированы на 7 типов, при этом наибольшая доля (60,1%) приходилась на участок без земельного покрова. Следует отметить, что исследуемая территория расположена в гористой местности. Пахотные земли (16,7%), леса (0,2%), голые (60,1%), луга (10,9%), постоянный ледниковый снег (6,7%), водоём (0,1%), и кустарники (5,3%). Согласно некоторым исследованиям, плотность фактора С постепенно увеличивалась от нижних к верхним районам, а наибольшая плотность наблюдалась в густых лесах на горах. С-фактор в объекте исследования варьировался от 0 до 0,9 [9, 10, 11].

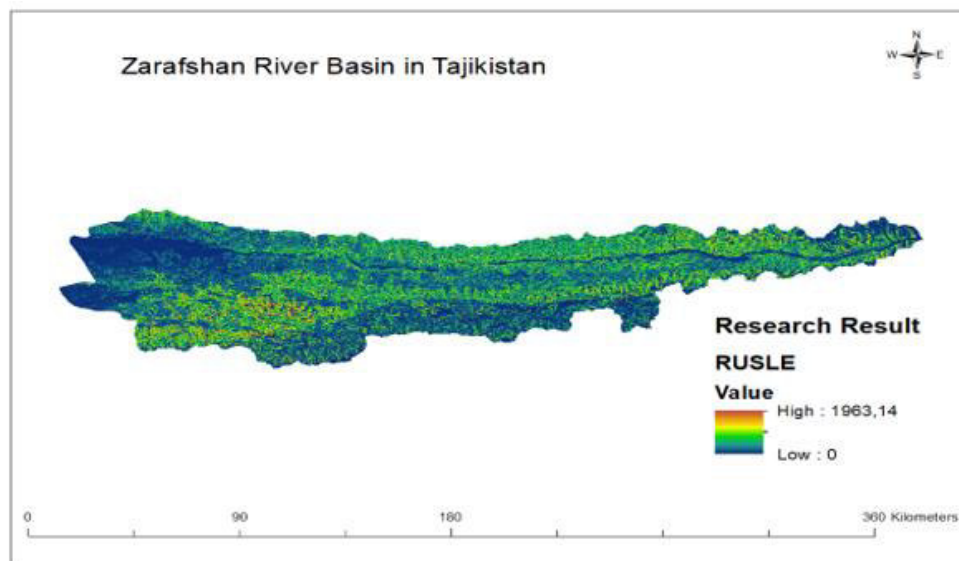


Рисунок 2 – Эмпирическая модель RUSLE бассейна реки Зарафшан
Figure 2 – Empirical RUSLE model of the Zeravshan River basin

Конечным результатом созданной модели RUSLE определяется, что бассейн реки Зарафшан можно разделить на 5 участков, где эрозия грунта очень низкая, умеренная, сильная и экстремальная.

В исследовании была разработана расчётно-аналитическая схема, предназначенная для моделирования процессов осаждения и транспортировки наносов в условиях горных рек. Модель основана на сочетании гидравлических уравнений движения взвешенных частиц и эмпирических зависимостей, полученных в ходе полевых наблюдений. В её структуру включены блоки для оценки гранулометрического состава наносов, расчёта скорости осаждения в отстойниках, а также прогнозирования распределения твёрдых частиц по длине русла. Применение данного метода позволило интегрировать результаты в единую систему, обеспечивающую воспроизводимость расчётов и возможность адаптации модели к различным гидротехническим сценариям и конвертации анализа в число наносов.

Наиболее близким по технической сущности является сооружение для приема воды из горных и предгорных рек для малых ГЭС, состоящее из водозаборного сооружения и паводкового водосброса. Водозабор поверхностного стока выполнен в виде заглубленной галереи, частично перекрытой заборными решетками. Сооружение на пролеты разделяется бычками, железобетонными полами с решетками в верхней части стенок или металлическим каркасом с металлическими щитами с напорной стороны. Водозабор для подрусловых вод выполнен в виде труб для забора подруслового потока, расположенных ниже уровня земли. При этом входная часть защищена обратным фильтром. На выходе (в галерее) трубы перекрываются заслонкой, которая

может быть выполнена в виде задвижки, регулируемой запорной арматурой из смотрового колодца, расположенного в непосредственной близости, или обратным клапаном, работающим в автоматическом режиме.

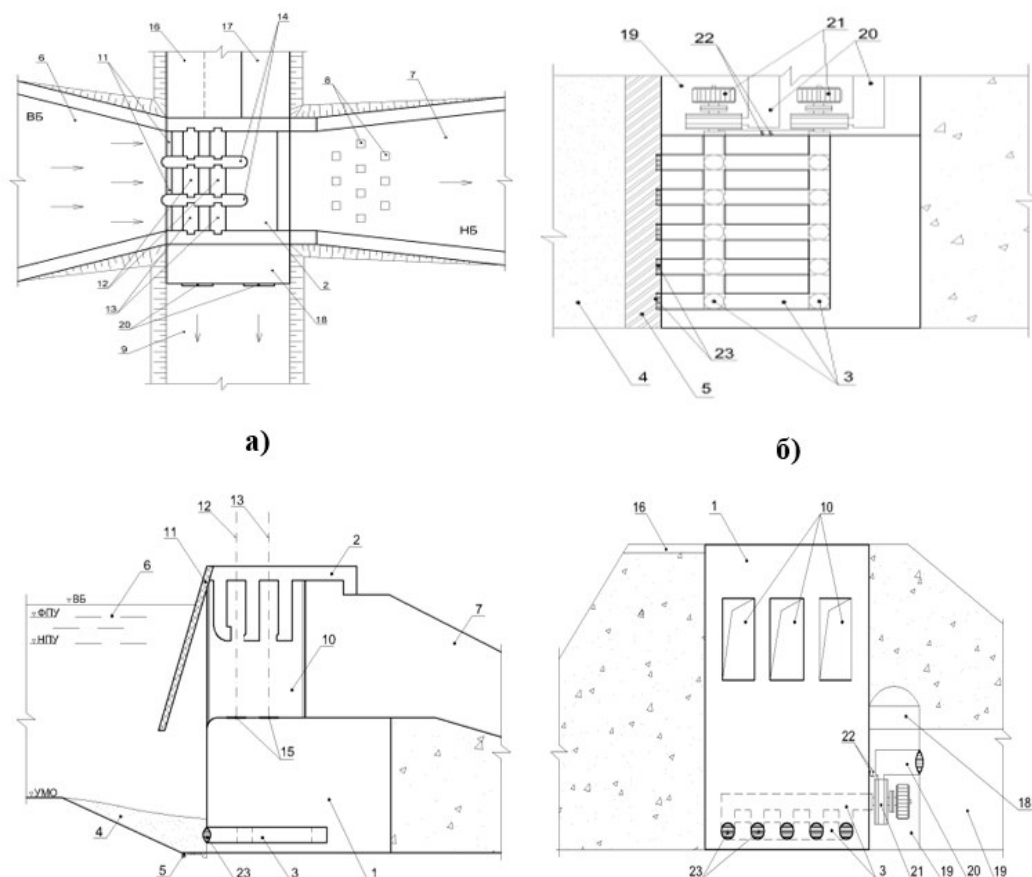


Рисунок 3 – а) план водозаборного сооружения, где ВБ – верхний бьеф, НБ – нижний бьеф, б) продольный разрез водозаборного сооружения, где УМО - уровень мертвого объема, ФПУ - форсированный подпорный уровень, НПУ - нормальный подпорный уровень, в) схема расположения труб и соединения с напорным трубопроводом (вид сверху), г) поперечный разрез водозаборного сооружения.

1) низконапорная бетонная плотина; 2) холостой водосброс; 3) трубы; 4) призма наносов; 5) понур; 6) водоподводящий канал; 7) водоотводящий канал; 8) водобойные колодцы; 9) сбросной канал; 10) камеры; 11) сороудерживающие решетки; 12) металлические плоские затворы; 13) аварийно-ремонтные затворы; 14) железобетонные бычки; 15) пазы затворов; 16) автодорога; 17) монтажная площадка; 18) смотровой колодец; 19) галерея; 20) напорные трубопроводы; 21) насосный агрегат; 22) запорная арматура; 23) обратный клапан.

Figure 3 – a) Plan of the water intake structure, where HW – headwater, TW – tailwater, б) longitudinal section of the water intake structure, where DSL – dead storage level, MWL – maximum water level, FSL – full supply level, c) layout of pipes and connection to the pressure pipeline (top view), d) cross-section of the water intake structure.

Legend: 1) low-head concrete dam; 2) auxiliary spillway (or service spillway); 3) pipes; 4) sediment prism; 5) upstream apron (or fore-apron); 6) water inlet canal (or intake canal); 7) water outlet canal; 8) stilling basins; 9) discharge canal; 10) chambers; 11) trash racks; 12) flat metal gates (or slide gates); 13) emergency-repair gates (or bulkhead gates); 14) reinforced concrete piers; 15) gate slots (or gate grooves); 16) roadway; 17) service platform (or assembly area); 18) inspection manhole; 19) gallery; 20) pressure pipelines; 21) pumping unit; 22) valves (or shut-off valves); 23) check valve (or non-return valve).

Для поднятия уровня грунтовых вод и направления их в трубопровод от сооружения предусмотрена шпунтовая стенка. Недостатком такой конструкции является большой вес, материалоемкость, сложность устройства, а также ограничение по забору только поверхностного стока, что не позволяет использовать максимальный потенциал водотока [12].

Вход в трубы для забора водного потока с содержанием донных наносов (призма наносов) на 0,5 м выше отметки понурной плиты, осуществляющей защиту от подмыва грунта под низконапорной плотиной и которым оснащен водоподводящий канал. На дне водоотводящего канала установлены (рис. 3) несколько водобойных колодцев, служащих гасителями энергии водного потока. С боковой стороны сооружения предусматривается сбросной канал, выполняющий роль сброса наносов и транспортировки их для дальнейшего использования в горной промышленности. Водоподводящий канал выполнен с уклоном и осуществляет плавный подвод и концентрацию водного объема перед плотиной. В верхней части плотины с холостым водосбросом перед камерами пропуска воды установлены сороудерживающие решётки, металлические плоские затворы и аварийно-ремонтные затворы, разделенные на пролеты железобетонными бычками. Железобетонные бычки служат опорной стенкой для установления пазов затворов и разделительными устоями с напорной стороны сооружения. Количество пролетов зависит от ширины реки и расходов потока. Размеры плоских затворов подбираются исходя из ширины пролета, величины напора и удобства маневрирования. Сбоку к плотине подведена автодорога для обслуживающего транспорта, рядом с которой расположена монтажная площадка, необходимая для маневрирования, монтажа/демонтажа оборудования или перемещения плавающего мусора и крупных поверхностных наносов. Смотровой колодец, расположенный смежно с галереей, обеспечивает доступ к напорным трубопроводам для перекачки донных наносов, присоединенным к насосным агрегатам и запорной арматуре, установленным в данной галерее с выходом в сбросной канал. Входы труб для забора водного потока оснащены обратными клапанами.

Гидротехническое сооружение размещается в пределах поймы и поперек русла реки и функционирует следующим образом. Через отверстия труб водный поток с помощью насосного агрегата попадает в напорные трубопроводы, откуда выкачивается в сбросной канал. Откачанная вода с наносами далее направляется в россыпные месторождения для дальнейшей переработки на предмет извлечения полезных ископаемых. Удаление наносов перед плотиной осуществляется путем создания высоких придонных скоростей воды за счет кинетической энергии водного потока. Плоские и аварийно-ремонтные затворы в случае аварийных ситуаций или ремонтных работ позволяют регулировать горизонты и расход воды. Для маневрирования, монтажа/демонтажа оборудования, перемещения плавающего мусора и крупных взвешенных поверхностных наносов служит монтажная площадка, а также автодорога для проезда к сооружению.

Регулирование распределения расходов между сбросом и водозабором осуществляется в автоматическом режиме. Во время паводков трубы для забора водного потока, защищенные от обратного течения при помощи обратных клапанов, перекрываются запорной арматурой, расположенной в галерее. Открываются плоские затворы и осуществляется забор поверхностного стока. В меженный период поверхностный сток уменьшается, в некоторых районах он проходит в виде тонкого ручья. В период маловодья закрываются плоские металлические затворы и открываются трубы для забора водного стока с донными наносами. На данном этапе происходит очистка стока реки от донных наносов в виде ила или песка. Аварийно – ремонтные затворы остаются постоянно открытыми и используются они только в случае аварийных ситуаций, ремонта и обслуживания плоских металлических затворов.

Результаты исследования

Периодическая очистка стока реки от наносов, снижение мутности воды и очистка от взвешенных частиц в виде мусора способствуют бесперебойной эксплуатации насосных станций и гидроэлектростанции. В свою очередь это позволяет уменьшить их воздействие на составляющую часть оборудования, повышает эффективность работы, уменьшает затраты на техническое обслуживание и повышает срок службы рабочих механизмов. Таким образом, результатом исследования следует, что мероприятия по строительству комплекса гидротехнических сооружений в совокупности с горным делом оказывают благоприятное воздействие на надежность и экономичность гидротехнической и ирригационной инфраструктуры страны в целом.

В ходе проведённых исследований полученные данные позволяют оценить эффективность проектируемого комплекса гидротехнических сооружений для очистки стока реки от наносов и их дальнейшего использования в горной промышленности.

Данная конструкция позволяет увеличить полезный расход воды, очищенной от донных и поверхностных наносов за счет забора как поверхностного стока, так и грунтовых вод, имеет низкую себестоимость, простату в ремонте, устойчивость и длительное время воспринимает воздействие потока, не теряя своей работоспособности. Хорошо вписывается в ландшафт местности, ограничивая попадание склонной эрозии грунта и мусора в напорную деривацию. Обеспечивает бесперебойную эксплуатацию насосных агрегатов в насосных станциях, увеличивает выработку электроэнергии в гидроэлектростанциях, расположенных ниже по течению реки. При этом откачанный донный и поверхностный нанос направляется на объект по подготовке и переработке на предмет извлечения ценных компонентов.

Применение данной конструкции позволяет получить несложное в изготовлении, надежное в эксплуатации водозаборное сооружение, способное увеличить расход воды за счет забора и очищения воды от поверхностных и донных наносов, а также взвешенных частиц в виде мусора.

Анализ многолетних наблюдений гидрологических показателей указывает, что максимальная концентрация донных и поверхностных наносов приходится на весенне-летний период, совпадающий с интенсивным таянием ледников и снегов, сезонными паводками. Создание эмпирических моделей эрозии SWAT и RUSLE показало, что предложенный комплекс сооружений обеспечивает снижение концентрации взвешенных наносов в очищенной воде на 23%. Экономический аспект работы указывает, что переработка извлеченных взвешенных наносов виде ила и песка могут обеспечить дополнительным сырьем для горного дела при разработке полезных природных ископаемых. Внедрение комплекса гидротехнических сооружений с горной промышленностью способствует уменьшению заилению водохранилищ и ирригационных каналов, улучшает качество и количество водного объема, а также уменьшает нагрузку на системы. Все материалы и результаты научной работы подтверждают эффективность предложенного комплекса системы гидротехнических сооружений в совокупности с горной промышленностью как с инженерной, так и с экономической точки зрения.

Заключение

Результатом проведенных работ подтверждается эффективность предлагаемого нетрадиционного комплекса системы гидротехнических сооружений для очистки стока реки от наносов и их дальнейшего использования в горной промышленности. Новизна исследования заключается в комплексном использовании гидротехнической и горной отрасли, результат которого позволяет рационально использовать природные ресурсы (водных масс и полезных ископаемых). Строительство данного комплекса обеспечит бесперебойно и энергетически эффективно эксплуатировать насосные станции, являющиеся неотъемлемой частью ирригационных систем. Уменьшить абразивное воздействие на рабочие элементы оборудования, что в свою очередь уменьшает механические потери и повышает коэффициент полезного действия насосных агрегатов. Это прямо пропорционально снижению электроэнергии при работе. Все перечисленные моменты напрямую отражаются на экономической стороне эксплуатации всей энергосистемы страны. Очищенная вода обеспечит стабильный гидравлический режим, уменьшит риск аварийных остановок или ремонтных работ и способствует оптимизации графика работы насосных станций. Возникают условия для рационального использования энергетических ресурсов в ирригационной и горной инфраструктуре.

Уменьшение концентрации взвешенных частиц и мутности воды в качестве наносов на 23% указывает на высокую надежность предлагаемого комплекса сооружений. Способность системы функционировать в условиях сезонных колебаний свидетельствует еще об одном положительном результате работы. Как указано выше, сравнение с аналогичными исследованиями показывает, что традиционные методы очистки обеспечивают лишь частичное или временное удаление наносов и не предусматривают их дальнейшего применения. Предложенный нетрадиционный комплекс гидротехнических сооружений в отличие от этого создает возможность ресурсосбережения. Это

соответствует современным тенденциям устойчивого водопользования в условиях изменения климата. Как известно, в настоящее время существует необходимость интеграции очистных сооружений с промышленными технологиями переработки сырья в бассейнах рек Центральной Азии. Однако практические решения в данном направлении считаются ограниченными.

Интегрированное применение современных инструментов математического моделирования и прогнозирования позволяет целесообразно проектировать меры по предотвращению эрозионных процессов. В свою очередь создание расчетно-аналитических моделей SWAT и RUSLE позволяет прогнозировать эффективность очистки стока к различным гидрологическим сценариям в условиях изменения климата. Данная разработка расширяет возможности применения и воплощения в жизнь результатов. Обоснованный подход для поиска решения очистки наносов снижает нагрузку на окружающую среду и формирует дополнительный ресурсный поток для промышленности. Из всего этого следует, что результат исследовательской работы усиливает практическую значимость.

Рецензент: Носиров Н.К. — д.т.н., проф. главный научный сотрудник Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана

Литература

1. Аламанов, С. Изменение климата и водные проблемы в Центральной Азии / С. Аламанов, В. М. Лелевкин, О. А. Подрезов, А. О. Подрезов; Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП), Всемирный фонд дикой природы (WWF). – Москва/Бишкек: ЮНЕП, WWF, 2006. – С. 104–108.
2. Любимцева, Э. Изменение климата и окружающей среды в засушливой Центральной Азии: последствия, уязвимость и адаптации / Э. Любимцева, Г. М. Хенебри // Journal of Arid Environments. – 2009. – Т. 73. – С. 963–977. – DOI: 10.1016/j.jaridenv.2009.04.022.
3. Хохлов, А. В. Removal of Solid Sediments at Pumping and Hydroelectric Power Stations by Jet Pumps / А. В. Хохлов, В. А. Хохлов, Ю. О. Титова, Н. В. Хохлов // Power Technology and Engineering. – 2024. – Т. 57. – С. 719–723. – DOI: 10.1007/s10749-024-01725-x.
4. Абдураимов, М. Ф. Problemy Zarafshanskogo gidrograficheskogo basseyna [Проблемы Зарафшанского гидрографического бассейна] / М. Ф. Абдураимов. – ННО «Защита бассейна реки Зарафшан», 2017. – 120 с.
5. Шорохов, С. М. Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений / С. М. Шорохов. – М.: Недра, 1973. – С. 124–134.
6. Шорохов, С. М. Разработка россыпей / С. М. Шорохов. – М.: Металлургиздат, 1948. – С. 81–87.
7. Ghimire, S. Spatial Sediment Erosion and Yield Using RUSLE Coupled with Distributed SDR Model / S. Ghimire, U. Singh, S. Adhikari, P. Bhattarai // Water. – 2024. – Vol. 16, No. 24. – P. 3549. – DOI: 10.3390/w16243549.
8. Juliev, M. A Comprehensive Review of Soil Erosion Research in Central Asian Countries (1993–2022) Based on the Scopus Database / M. Juliev, M. Kholmurodova, B. Abdikairov, J. Abuduwaili // Soil and Water Research. – 2024. – Vol. 19, No. 4. – Pp. 244–256. – DOI: 10.17221/82/2024-SWR.
9. Dou, X. Risk Assessment of Soil Erosion in Central Asia Under Global Warming / X. Dou, X. Ma, C. Zhao, J. Li, Y. Yan, J. Zhu // CATENA. – 2022. – Vol. 212. – Art. 106056. – DOI: 10.1016/j.catena.2022.106056.
10. Influencing Factors and Prediction of Turbine Sediment Abrasion in Pumped-Storage Power Stations // Energies. – 2023. – Vol. 16, No. 12. – MDPI.
11. Евдокимова, И. М. Плотины из армированного грунта / И. М. Евдокимова, Е. Б. Фонсов, Б. Х. Хамдамов // Натурные и лабораторные исследования гидротехнических сооружений. – М.: МГМИ, 1987. – С. 76–81.
12. Патент Российской Федерации № 2518634. Устройство для регулирования русловых процессов: E02B9/04 / 2014.

Reference

1. Alamanov, S. Climate Change and Water Problems in Central Asia / S. Alamanov, V. M. Lelevkin, O. A. Podrezov, A. O. Podrezov; United Nations Environment Programme (UNEP), World Wildlife Fund (WWF). – Moscow/Bishkek: UNEP, WWF, 2006. – Pp. 104–108.
2. Lyubimtseva, E. Climate and Environmental Change in Arid Central Asia: Impacts, Vulnerability, and Adaptation / E. Lyubimtseva, G. M. Henebry // Journal of Arid Environments. – 2009. – Vol. 73. – Pp. 963–977. – DOI: 10.1016/j.jaridenv.2009.04.022.
3. Khokhlov, A. V. Removal of Solid Sediments at Pumping and Hydroelectric Power Stations by Jet Pumps / A. V. Khokhlov, V. A. Khokhlov, Yu. O. Titova, N. V. Khokhlov // Power Technology and Engineering. – 2024. – Vol. 57. – Pp. 719–723. – DOI: 10.1007/s10749-024-01725-x.

4. Abduraimov, M. F. Problemy Zarafshanskogo gidrograficheskogo basseyna [Problems of the Zarafshan Hydrographic Basin] / M. F. Abduraimov. - NGO "Protection of the Zarafshan River Basin", 2017. - 120 p.
5. Shorokhov, S. M. Technology and integrated mechanization of placer deposit development / S. M. Shorokhov. - Moscow: Nedra, 1973. - Pp. 124-134.
6. Shorokhov, S. M. Placer development / S. M. Shorokhov. - Moscow: Metallurgizdat, 1948. - Pp. 81-87.
7. Ghimire, S. Spatial Sediment Erosion and Yield Using RUSLE Coupled with Distributed SDR Model / S. Ghimire, U. Singh, S. Adhikari, P. Bhattarai // Water. - 2024. - Vol. 16, No. 24. - P. 3549. - DOI: 10.3390/w16243549.
8. Juliev, M. A Comprehensive Review of Soil Erosion Research in Central Asian Countries (1993–2022) Based on the Scopus Database / M. Juliev, M. Kholmurodova, B. Abdikairov, J. Abuduwaili // Soil and Water Research. – 2024. – Vol. 19, No. 4. – Pp. 244–256. – DOI: 10.17221/82/2024-SWR.
9. Dou, X. Risk Assessment of Soil Erosion in Central Asia Under Global Warming / X. Dou, X. Ma, C. Zhao, J. Li, Y. Yan, J. Zhu // CATENA. – 2022. – Vol. 212. – Art. 106056. – DOI: 10.1016/j.catena.2022.106056.
10. Influencing Factors and Prediction of Turbine Sediment Abrasion in Pumped-Storage Power Stations // Energies. – 2023. – Vol. 16, No. 12. – MDPI.
11. Evdokimova, I. M. Reinforced Soil Dams / I. M. Evdokimova, E. B. Fonsov, B. Kh. Khamdamov // Field and Laboratory Studies of Hydraulic Structures. – Moscow: MGMI, 1987. – Pp. 76–81.
12. Patent of the Russian Federation No. 2518634. Device for regulating channel processes: E02B9/04 / 2014.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ - МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФОН- INFORMATION ABOUT AUTHORS

TJ	RU	EN
Иноятова Комола Лавзаровна	Иноятова Комола Лавзаровна	Inoyatova Komola Lavzarovna
докторанты PhD Института массалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон	докторант PhD Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана	PhD student at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
Института массалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана	Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: kamola.ikl@gmail.com		
Orcid: https://orcid.org/0009-0002-9178-0825		
TJ	RU	EN
Гулаҳмадзода Аминҷон Абдучаббор	Гулаҳмадзода Аминҷон Абдуджаббор	Gulakhmadzoda Aminjon Abdujabbor
доктори илмҳои техникӣ директор Института массалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон	доктор технических наук, директор Института водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана	Doctor of Technical Sciences Director at the Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
Института массалаҳои об, гидроэнергетика ва экология Академияи миллии илмҳои Тоҷикистон	Институт водных проблем, гидроэнергетики и экологии НАН Таджикистана	Institute of Water Problems, Hydropower and Ecology of the National Academy of Sciences of Tajikistan
E-mail: agulakhmadov@gmail.com		
Orcid: https://orcid.org/0000-0002-7289-8310		