

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY TA'LIM, FAN VA INNOVATSIYALAR VAZIRLIGI

FARG'ONA DAVLAT UNIVERSITETI

**FarDU.
ILMIY
XABARLAR**

1995-yildan nashr etiladi
Yilda 6 marta chiqadi

6-2025
TABIIY FANLAR

**НАУЧНЫЙ
ВЕСТНИК.
ФерГУ**

Издаётся с 1995 года
Выходит 6 раз в год

J.Y.Hasanov, E.A.Fayziev	
Inson va tabiat uyg'unligini landshaftlarda ekologik turizm rivojlantirishdagi roli	404
X.U.Usmanova, B.M.Murodov, Z.A.Smanova, X.Sh.Bobojonov	
Конституционные основы экологической безопасности и устойчивого развития Узбекистана: от права к реальным действиям	409
X.U.Usmanova, Z.A.Smanova, X.Sh.Bobojonov	
Галлий: экологические риски, методы анализа и перспективы применения	414
M.E.Djurayev, A.A. Kenjayev, I.K.Aripov, C.İsa	
Zamonaviy gis texnologiyalaridan foydalanib, O'zbekistonda havo sifatini baholash	426
I.K.Aripov	
Ekologik monitoringni gat (GIS) yordamida tashkil etish.....	429

TUPROQSHUNOSLIK


M.I.Aktamov, M.T. Isag'aliyev, B.M. Qo'chqorov	
Sug'oriladigan o'tloqi saz tuproqlarining agrokimyoviy xususiyatlari va meliorativ holati	432
Y.A.Usmanova, O.X.Ergasheva	
Iqlim o'zgarishi sharoitida sanoatlashgan hudud atrofida tarqalgan tuproqlarning unumdorlik holati va ulardan samarali foydalanish	436
D.M.Xoldarov, D.F.Karimova, U.B.Mirzayev, A.O.Sobirov	
Sug'oriladigan o'tloqi saz tuproqlarining galogenetik xususiyatlari.....	441

ILMIY AXBOROT

Б.Р.Махкамов	
Анализ зарубежных инновационных разработок в области оценки и снижения селе-паводковых рисков	448
Ch.S.Abdujabborova	
Аллоксан диабет sharoitida kalamush jigar mitoxondriyasi yuqori o'tkazuvchan porasiga "As Lupinus" ning va glikorazmulining qiyosiy ta'siri	452
A.Q.Nuritdinov, O.G.Abdullayev	
Neft shlamdan yoqilg'i olish texnologiyasi.....	457
O.M.Umarova	
Sachratqi o'simligi ildiz va barglarida suvda eruvchi vitaminlar, flavonoidlarni yuqori samarali suyuqlik xromatografiyasi yordamida tahlil qilish.....	460
B.M.Sheraliyev, D.E.Urmonova	
So'x daryosi baliqlarining uzunlik-og'irlik munosabatlari hamda to'yinganlik indeksi.....	467

UO'K: 556.535.6:627.51

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНЫХ ИННОВАЦИОННЫХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ ОЦЕНКИ И СНИЖЕНИЯ СЕЛЕ-ПАВОДКОВЫХ РИСКОВ**SEL-TOSHQIN XAVFLARINI BAHOLASH VA KAMAYTIRISH SOHASIDAGI XORIJIY INNOVATSION ISHLANMALAR TAHLILI****ANALYSIS OF FOREIGN INNOVATIVE DEVELOPMENTS IN THE ASSESSMENT AND MITIGATION OF DEBRIS-FLOW AND FLOOD RISKS**

Махкамов Бехзоджон Ровшан угли 
ГУП "UzYolLoyiha LQI", соискатель

Аннотация

В статье анализируются зарубежные инновации в области защиты от селей и паводков по ключевым научным и патентным источникам 2010-2024 гг. Выявлен сдвиг от традиционной инфраструктуры к комплексным системам, включающим мониторинг, риск-информированное проектирование и гибкие модульные барьеры. Ключевые тренды – системный риск-менеджмент, дата-центричность, вероятностное проектирование и технологичность. Обоснована необходимость комплексного, научно-обоснованного подхода к снижению рисков.

Annotatsiya

Maqolada 2010–2024-yillardagi asosiy ilmiy va patent manbalari asosida sel va toshqinlardan himoya qilish sohasidagi xorijiy innovatsiyalar tahlil qilingan. An'anaviy infratuzilmadan monitoring, xavfga asoslangan loyihalash va egiluvchan modulli to'siqlarni o'z ichiga olgan kompleks tizimlarga o'tish aniqlangan. Asosiy tendensiyalar tizimli risk-menejment, ma'lumotlarga yo'naltirilganlik, ehtimoliy loyihalash va texnologiklikni o'z ichiga oladi. Xavflarni kamaytirish uchun kompleks, ilmiy asoslangan yondashuv zarurligi asoslab berilgan.

Abstract

The article analyzes foreign innovations in protection against debris flows and floods based on key scientific and patent sources from 2010-2024. A shift from traditional infrastructure to integrated systems is identified, which include monitoring, risk-informed design, and flexible modular barriers. Key trends include systemic risk management, data-centricity, probabilistic design, and technological advancement. The necessity of a comprehensive, science-based approach to risk reduction is substantiated.

Ключевые слова: селевой поток, паводок, оценка риска, противоселевая защита, инновации, гибкие барьеры, мониторинг, численное моделирование, системный подход, управление рисками.

Kalit so'zlar: sel oqimi, toshqin, xavfni baholash, seldan himoya qilish, innovatsiyalar, egiluvchan to'siqlar, monitoring, sonli modellashirish, tizimli yondashuv, xavflarni boshqarish.

Key words: debris flow, flood, risk assessment, debris-flow protection, innovations, flexible barriers, monitoring, numerical modeling, systems approach, risk management.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема защиты от селевых потоков и катастрофических паводков приобретает особую актуальность в условиях глобальных климатических изменений и усиливающейся антропогенной нагрузки на горные и предгорные территории Узбекистана [1]. Учащение экстремальных гидрометеорологических явлений ведёт к повышению интенсивности опасных процессов, угрожая населению и инфраструктуре [2, 3]. Это требует разработки и внедрения новых, более эффективных и экономически оправданных методов оценки рисков и технологий защиты.

Степень изученности проблемы достаточно высока, однако она отличается разнообразием подходов. Значительный вклад в понимание динамики селевых потоков и проектирование защитных сооружений внесли такие исследователи, как С. Вендлер, обобщивший многолетний опыт натурных испытаний гибких барьеров [4], и А. Арманини, разрабатывающий гидродинамические основы расчёта щелевых плотин [5]. В области оценки рисков и классификации событий выделяются работы А. Круцкевич и его соавторов по созданию индексов для идентификации паводков на основе анализа больших данных [6]. Вопросы эко-

номической эффективности и роли неструктурных мер системно рассмотрены в работах Е. Дженовезе и Т. Талер [3]. Несмотря на обилие исследований, остаётся актуальной задача систематизации и комплексного анализа наиболее перспективных инновационных решений.

Целью настоящей статьи является проведение информационно-аналитического анализа ключевых зарубежных инновационных разработок в области оценки, мониторинга и инженерной защиты от селе-паводковых рисков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование основано на систематическом анализе и обобщении данных из 13 целенаправленно отобранных зарубежных и международных источников, опубликованных в период с 2015 по 2025 гг. Информационная база включает рецензируемые научные статьи из ведущих журналов («Frontiers in Earth Science», «Remote Sensing», «Water» и др.) и ключевую патентную документацию, описывающую принципиально новые технические решения.

Методология исследования включала несколько этапов:

1. Отбор и извлечение данных: из предоставленного корпуса документов были отобраны наиболее репрезентативные источники, отражающие передовые разработки. Для каждого источника были извлечены и структурированы ключевые данные.

2. Тематическая классификация: все проанализированные инновации были сгруппированы в три основные категории: системы мониторинга и оценки рисков; инженерно-технические решения; интегрированные подходы к управлению рисками.

3. Синтез и анализ: на основе классификации был проведён сравнительный анализ и выявлены ключевые тенденции и перспективные направления развития в рассматриваемой области.

РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Инновации в мониторинге и оценке рисков

Современные подходы характеризуются переходом к пространственно-распределённым системам и моделям, использующим большие данные.

Ключевой инновацией является разработка интегральных индексов риска. А. Круцкевич и др. предложили Индекс уверенности во вспыхивающих паводках (FFCI), который формируется путём анализа текстов из отчётов о чрезвычайных ситуациях, и Индекс предрасположенности (FFSI), основанный на анализе геофизических данных (рельеф, гидросеть, почва) [6]. Их комбинация позволяет с высокой достоверностью идентифицировать опасные события и приоритезировать превентивные меры.

В области наземного мониторинга появляются принципиально новые технические решения. Патент CN114114327A описывает систему, состоящую из плавающего буя с GNSS-приёмником, который устанавливается в русле и работает в режиме RTK относительно базовой станции на берегу [7]. Такая конфигурация позволяет напрямую измерять 3D-траекторию, скорость и уровень селевого потока, предоставляя уникальные данные для калибровки моделей и систем раннего оповещения.

Перспективным направлением является Распределённое акустическое зондирование (DAS). Л. Шенато и др. экспериментально доказали, что стандартный оптоволоконный кабель, уложенный в русле, может функционировать как непрерывная цепь из тысяч виртуальных сейсмодатчиков [8]. Система DAS позволяет с высоким пространственным и временным разрешением отслеживать прохождение фронта потока, его скорость и даже оценивать крупность твёрдой фазы по спектру регистрируемого акустического сигнала.

2. Инновационные инженерно-технические решения

В области защитных сооружений доминируют тренды на модульность, снижение материалоемкости и разработку конструкций, адаптированных к природным процессам.

Гибкие барьеры из высокопрочной стальной сетки стали эффективной и широко применяемой альтернативой массивным железобетонным плотинам. Как показано в фундаментальной работе С. Вендлер, их ключевые преимущества – малый вес, высокая скорость монтажа и доказанная в натурных условиях надёжность [4]. Практический опыт их применения, в том числе на объектах в Сочи, подтвердил способность таких барьеров выдерживать проектные нагрузки и простоту их последующего обслуживания (требуется лишь очистка и

замена недорогих энергопоглощающих элементов) [9]. Современное проектирование гибких барьеров уходит от использования фиксированных коэффициентов запаса. М. Маркелли и С. Деанджели предложили вероятностный подход, который позволяет рассчитывать конструкцию на заданную годовую вероятность отказа с учётом локальной кривой «частота–магнитуда» для опасных событий [10].

Щелевые и проницаемые плотины предназначены для селективного задержания крупных фракций селя при пропуске воды и мелкозёма. Это позволяет сохранять аккумулирующую ёмкость сооружения для редких катастрофических событий. Лабораторные исследования (Х. Се и др.) позволили выработать детальные рекомендации по их проектированию с учётом взаимодействия с крупной древесиной (LW) [11]. В частности, показано, что для минимизации риска образования заторов из брёвен соотношение их длины (L) к ширине щели (b) должно находиться в диапазоне $1.0 \leq L/b \leq 2.0$ [11]. Численное моделирование используется для оптимизации геометрии щелей (например, подрезки центральных стоек) с целью управления переносом наносов и минимизации размывов ниже по течению [12]. Инновационной разработкой является запатентованная А. Арманини конструкция плотины с горизонтальной донной щелью. Её работа основана на гидродинамическом задержании потока, а не на механической фильтрации, что обеспечивает высокую способность к самоочищению [5].

Для особо опасных участков предлагаются каскадные системы, последовательно гасящие энергию потока. Патент CN110004882A описывает трёхуровневую структуру: гибкая сеть для валунов, свайно-решётчатая стена для средних фракций и проницаемая плотина для мелкозёма [13]. Для оперативного реагирования разработаны модульные мобильные барьеры, например, полимерные пустотелые блоки «Muscle Wall», которые быстро монтируются и заполняются водой на месте, создавая устойчивое ограждение [14].

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ отобранных инноваций позволяет выделить несколько ключевых тенденций, определяющих современное развитие систем защиты от селе-паводковых явлений.

Во-первых, это переход к системному и интегрированному подходу. Наибольшая эффективность достигается не за счёт отдельных сооружений, а при создании комплексных систем защиты, объединяющих структурные и неструктурные меры. Территория и система защиты всё чаще рассматриваются как единая социо-экологическая система (SES), где инженерные решения должны быть гармонично встроены в природный и социальный ландшафт.

Во-вторых, это дата-центричность и риск-информированное проектирование. Современные подходы основаны на сборе и анализе больших объёмов данных. Системы мониторинга становятся всё более комплексными и распределёнными, а в проектировании на смену детерминированным методам приходит вероятностный подход, позволяющий создавать сооружения с заданной надёжностью.

В-третьих, это технологичность и адаптивность инженерных решений. Гибкие барьеры, проницаемые плотины и модульные конструкции являются примерами технологий, которые не просто пассивно противостоят стихии, а управляют потоком, адаптируются к локальным условиям и минимизируют воздействие на окружающую среду.

В заключение можно констатировать, что парадигма защиты от селей и паводков смещается от пассивного «сопротивления» к проактивному, адаптивному и интегрированному управлению рисками. Будущее этой области лежит в синергии точного мониторинга, риск-информированного проектирования, технологичных инженерных решений и эффективной коммуникации с обществом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дергачёва И. В., Салимова Б. Д. Исследование селевой активности в горных и предгорных районах Республики Узбекистан // Проблемы современной науки и образования. – 2022. – №. 9 (178). – С. 48-52.
2. Iqigabel M., Diab Y., Yates M. Exploring Methodological Approaches for Strengthening the Resilience of Coastal Flood Protection System // Frontiers in Earth Science. 2022. – Т. 9. – С. 756936.

ILMIY AXBOROT

3. Genovese E. et al. The benefits of flood mitigation strategies: effectiveness of integrated protection measures //AIMS Geosciences. – 2020. – Т. 6. – №. 4. – С. 459-472.
4. Wendeler, C. Debris-Flow Protection Systems for Mountain Torrents: Basic Principles for Planning and Calculation of Flexible Barriers. Birmensdorf: WSL (WSL Berichte; 44), 2016. 279 с.
5. Armanini, A. Stream debris restraining structure: патент США US10767330B2. Заявл. 25.07.2018; опубл. 08.09.2020.
6. Kruczkiewicz A. et al. Development of a flash flood confidence index from disaster reports and geophysical susceptibility //Remote Sensing. – 2021. – Т. 13. – №. 14. – С. 2764.
7. Wang, H.; Zhou, C.; Lin, G.; Guo, W. A debris flow monitoring system, method, electronic device and storage medium: патент Китая CN114114327B. Заявл. 06.12.2021; опубл. 14.10.2022.
8. Schenato, L.; Tecca, P. R.; Deganutti, A. M.; et al. Distributed acoustic sensing of debris flows in a physical model //Optical Fiber Sensors. – Optica Publishing Group, 2020. – С. Th4. 27.
9. Баринов А. Ю. Защита от селевых потоков «гибкими» барьерами: опыт Сочи //ГеоРиск. – 2013. – №. 4. – С. 56-58.
10. Marchelli M., Deangeli C. A time-independent reliability based design approach for debris flow flexible barriers //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2023. – Т. 415. – С. 07010.
11. Xie X. et al. Regulation effect of slit-check dam against woody debris flow: Laboratory test //Frontiers in Earth Science. – 2023. – Т. 10. – С. 1023652.
12. Chen S. C., Tfwala S. Evaluating an optimum slit check dam design by using a 2D unsteady numerical model //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 40. – С. 03027.
13. Xiao, S.; Qi, Y. Debris flow multi-level dissipative retaining structure: пат. заявка КНР CN 110004882 A; заявл. 19.04.2019; опубл. 12.07.2019.
14. Taylor, J. Water containment barriers, systems, and methods of using the same: патент США № US 9,004,815 B2. Заявл. 12.11.2012; опубл. 14.04.2015.