

ОСАДКИ И СКЛОНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ: ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ УЧАСТКА «ЧЫЙЫРЧЫК» (ЮЖНЫЙ КЫРГЫЗСТАН)

Мирзалиев Мурадиль¹, Канетова Динара Эменовна¹, Мадалиева Зинагул Жуманалиевна¹, Асилова Зульфия Атамырзаевна¹

¹Жалал-Абадский научный центр ЮО НАН КР, Жалал-Абад, Кыргызстан

Аннотация

Целью исследования является установление взаимосвязи между атмосферными осадками, скоростью смещений и объёмом смещающихся масс на горных склонах Южного Кыргызстана. Объектом анализа выбран склон в районе месторождения «Чыйырчык», характеризующийся высокой трещиноватостью, переменной влажностью и присутствием рыхлых грунтов. Для оценки геоэкологических условий использован комплекс инженерно-геологических методов: геодезическая съёмка, бурение, вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), лабораторные исследования физико-механических свойств грунтов и климатические наблюдения на метеостанции «Гулча». Среднегодовое количество осадков составляет 520 мм, при этом в весенне-летний период фиксируются кратковременные ливни до 76 мм/сутки, оказывающие влияние на поровое давление и фильтрационные процессы. Выявлено, что критические условия формируются в весенне-летний период при сочетании обводнения глинистых пород и трещиноватости карбонатного основания. Интерпретация данных ВЭЗ и буровых скважин подтверждает наличие зон пониженной устойчивости на глубинах 6–12 м. Разработка верхнего горизонта карьера может снизить геодинамическое напряжение и минимизировать риск склоновых деформаций. Результаты подчёркивают необходимость учёта климатических и гидрогеологических факторов при инженерной оценке склонов и проектировании защитных мероприятий.

Ключевые слова: оползень, атмосферные осадки, скорость смещений, объём смещающихся масс, инженерно-геологические изыскания

SEDIMENT AND SLOP PROCESSES: GEOECOLOGICAL ANALYSIS OF THE CHYYIRCHYK SITE (SOUTHERN KYRGYZSTAN)

Mirzaliev Muradil¹, Kanetova Dinara Emenovna¹, Madalieva Zinagul Zhumanalieva¹, Asilova Zulfiya Atamyrzaevna¹

¹Jalal-Abad Scientific Center of the South Ossetia National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Jalal-Abad, Kyrgyzstan

Abstract

The aim of this study is to identify the relationship between precipitation, displacement velocity, and the volume of moving masses on mountain slopes in southern Kyrgyzstan. The research focuses on a slope near the "Chyyrchyk" deposit, characterized by high jointing, variable moisture conditions, and the presence of loose soils. A set of engineering and geological methods was used to assess geoenvironmental conditions, including geodetic surveying, drilling, vertical electrical sounding (VES), laboratory testing of physical and mechanical soil properties, and meteorological observations from the "Gulcha" weather station. The average annual precipitation is 520 mm, with peak rainfall events up to 76 mm/day occurring in the

spring–summer period, contributing to pore pressure development and filtration processes. Critical conditions are observed during this period due to the combination of saturated clay layers and jointed carbonate bedrock. Interpretation of VES profiles and borehole data confirms the presence of low-stability zones at depths of 6–12 meters. The development of the upper quarry horizon is expected to reduce geodynamic stress and mitigate landslide risks. The results emphasize the importance of considering climatic and hydrogeological factors in slope stability assessment and the design of protective measures.

Keywords: landslide, precipitation, displacement velocity, mass movement volume, engineering geological survey

© 2025. The Authors. This is an open access article under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License, CC BY, which allows others to freely distribute the published article, with the obligatory reference to the authors of original works and original publication in this journal.

Введение

Современные климатические изменения и усиление антропогенного воздействия на природную среду приводят к увеличению частоты и интенсивности экзогенных геодинамических процессов, включая оползни, обвалы и склоновые деформации. Особенно уязвимыми к подобным явлениям являются горные регионы, такие как южные районы Кыргызстана, где сочетание сложного рельефа, трещиноватых пород и обильных атмосферных осадков создает предпосылки к нарушению устойчивости склонов [1,2].

Одним из ключевых факторов, провоцирующих смещения горных масс, являются атмосферные осадки. Их интенсивность, продолжительность и сезонность оказывают прямое влияние на фильтрационные потоки, повышение порового давления и снижение прочностных характеристик грунтов [3,4]. В мировой практике отмечается устойчивая тенденция к росту локальных оползней, вызванных кратковременными, но мощными ливневыми осадками, особенно на фоне нарушенной геомеханической структуры склонов в результате хозяйственной деятельности [5].

Актуальность исследования заключается в необходимости детального изучения взаимосвязи между параметрами склоновых деформаций (скоростью, объёмом) и осадками в условиях реальных геоэкологических объектов. В качестве объекта исследования выбран склон в районе Чыйырчыкского месторождения известняка-ракушечника (Ошская область, Кыргызстан), где наблюдаются признаки неустойчивости геологического массива [6].

Цель работы — установить количественные и качественные зависимости между параметрами осадков и характеристиками смещений, выявить геофизические признаки неустойчивости, а также определить возможные меры по снижению геоэкологического риска при освоении территории.

Материалы и методы

Исследования проводились на участке «Чыйырчык» (Ошская область, Кыргызстан), расположенном на высотах 2450–2550 м н.у.м. в пределах юго-западного склона Ферганского хребта. Объект характеризуется чередованием закарстованных известняков и суглинков с признаками потенциальной оползневой активности [1,2].

1. Геодезическая и топографическая съёмка

Выполнена GPS-съёмка 18 точек (скважины, ВЭЗ, канавы) с привязкой в системе WGS-84. Построен топографический план масштаба 1:2000 с горизонталями через 1 м, на основе которого составлена инженерная схема склонов [1].

2. Буровые и шурфовые работы

Пройдено 5 скважин общей глубиной 76 м. В скважине №2 зафиксирована типичная для участка последовательность:

- 0–0,6 м — суглинок,
- 0,6–4,5 м — влажный суглинок,
- 4,5–9,8 м — трещиноватый известняк,
- 9,8–19 м — глинистый алевролит [2].

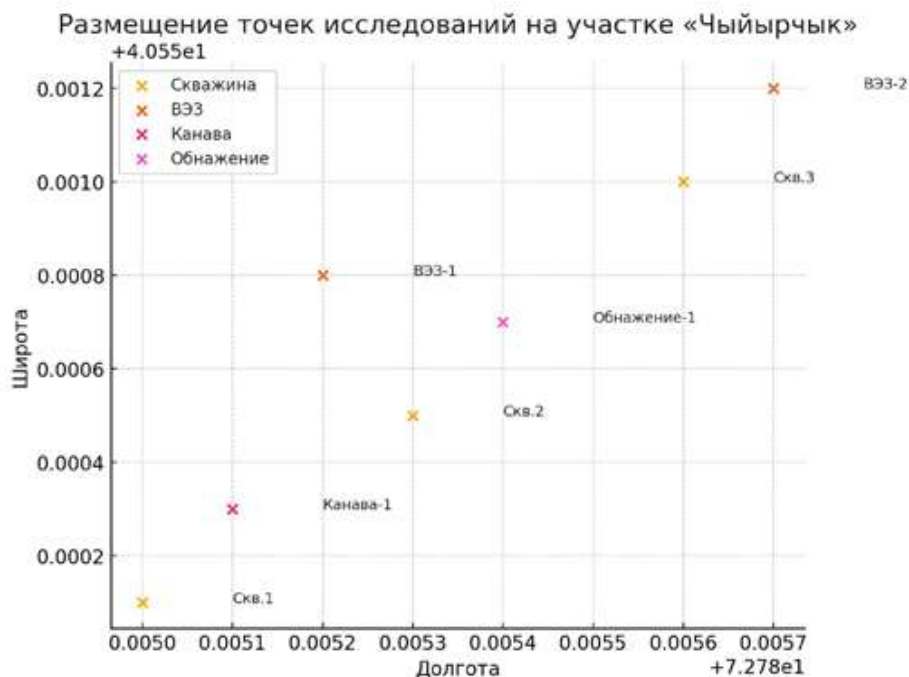
Также выполнено описание керна и определение уровня подземных вод.

3. Электроразведка (ВЭЗ)

Проведено 9 точек вертикального электрического зондирования по методике Шлюмберже. Питающая линия — до 90 м, глубина исследования — до 22 м. Методика обработки — графоаналитическая, по шкале Пылаева. Полученные данные позволили выделить чередующиеся слои:

- поверхностные суглинки с низким УЭС (70–80 Ом·м),
- водонасыщенные глины с УЭС 500–550 Ом·м,
- плотные известняки (УЭС 350–400 Ом·м), что соответствует результатам бурения и указывает на потенциальную плоскость скольжения в зоне 6–12 м (см. табл. 1, рис. 8).

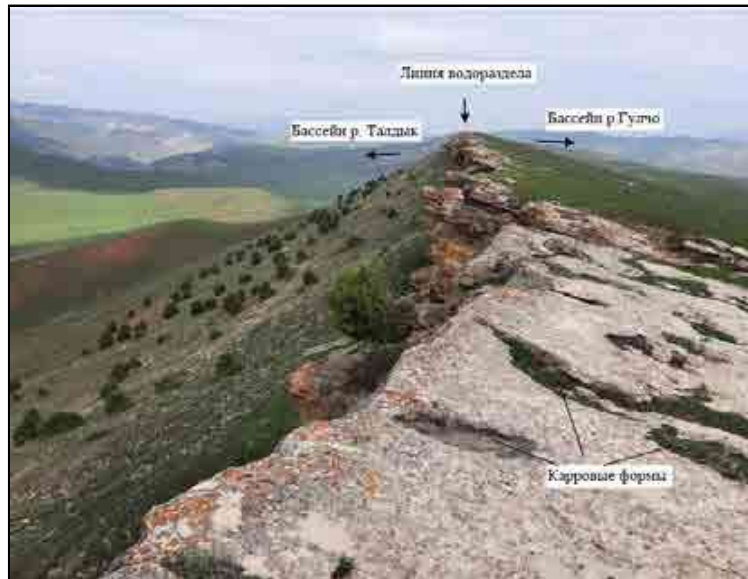
Расположение точек бурения, зондирования, канав и обнажений представлено на рис. 1.



• Рисунок 1. Размещение точек инженерных изысканий на участке «Чыйырчык» (координаты в системе WGS-84).

• Таблица 1. Результаты ВЭЗ на участке «Чыйырчык»

Точка ВЭЗ	Глубина, м	УЭС, Ом·м	Интерпретация
ВЭЗ-1	0–1.2 / 1.2–7.0 / 7.0–20.0	70 / 550 / 400	Суглинок / Глина / Известняк
ВЭЗ-2	0–1.5 / 1.5–6.5 / 6.5–18.0	60 / 520 / 380	Суглинок/Глинистый суглинок/Трещиноватый известняк
ВЭЗ-3	0–2.0 / 2.0–8.0 / 8.0–22.0	75 / 500 / 420	Суглинок/Глина/Плотный известняк



• Рисунок 2. Бронирующая поверхность пласта известняка с уклоном 8–10°, восточная экспозиция.



• Рисунок 3. Канавка у подножья обрывистого склона с проявлениями карровых форм; граница водоразделов бассейнов рек Талдык и Гулча.



• Рисунок 4. Обрывистый склон на восточной границе участка, в нижней части — глыбы известняка, отделившиеся от материнской толщи.



• Рисунок 5. Проведение буровых работ вблизи карстованного разрыва.



• Рисунок 6. Обнажённый фрагмент бронирующей поверхности известняков в зоне тектонического контакта.



• Рисунок 7. Образцы пород, отобранные из скважины №2 (керн: глина, известняк, алевролит).

Интерпретация результатов

ВЭЗ-3: Интервалы глубин:

0,0–1,2 м — суглинок, УЭС 70 Ом·м

1,2–7,0 м — влажная глина, УЭС 550 Ом·м

7,0–20,0 м — известняк, УЭС 300–400 Ом·м

Такая структура указывает на высокую водонасыщенность средних горизонтов, а также наличие водоупоров в зоне глин, что увеличивает риск подпорного насыщения и активации скольжения.

ВЭЗ-6:

– Мощность глинистых горизонтов до 16,2 м;

– УЭС от 25 до 45 Ом·м, коррозионная активность высокая — признаки закарстованности и обводнённости в основании склона.

Интерпретационные выводы

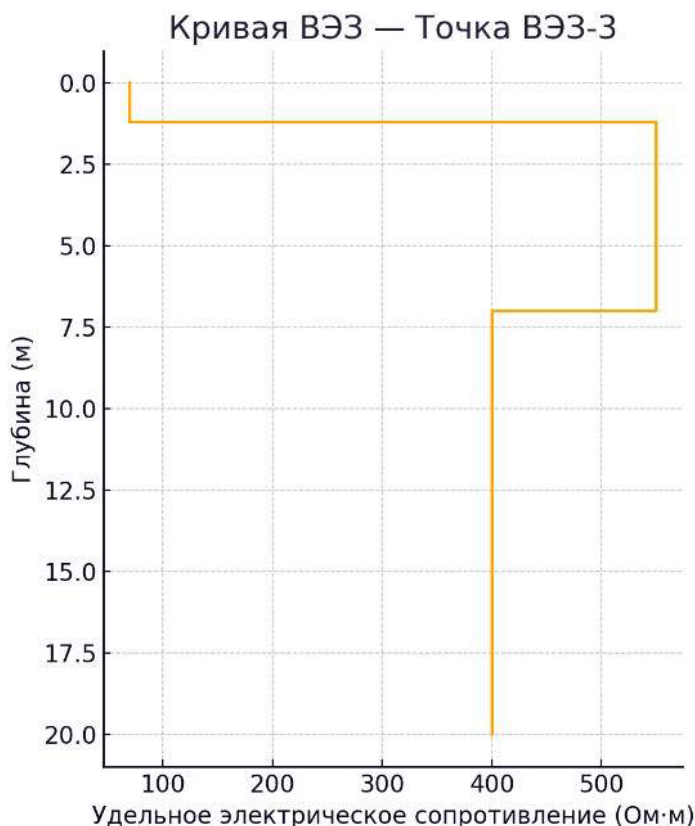
– Верхние слои (0–3 м) характеризуются низким сопротивлением (30–70 Ом·м), что соответствует рыхлым, суглинистым или влажным отложениям.

– Средние горизонты (3–15 м) чаще всего представлены глинами с УЭС 500–550 Ом·м — водоудерживающие и слабоуплотнённые.

– Глубинные уровни (15–35 м) отражают плотные, устойчивые породы — известняки, с УЭС >400 Ом·м.

Такие данные указывают на потенциальное наличие скользящей плоскости на глубине 6–12 м, что совпадает с инженерно-геологическими наблюдениями в шурфах и скважинах.

Геоэкологическое значение. Зоны пониженного сопротивления, выявленные на профильных линиях ВЭЗ, совпадают с местами отрыва глыб и суффозионных процессов. Это подтверждает необходимость интеграции ВЭЗ в регулярную систему мониторинга оползневой опасности и планирования разработки верхнего пласта.



• Рисунок 8. Интерпретированная кривая удельного сопротивления для точки ВЭЗ-3 (метод Шлюмберже).

4. Проходка канав и описание обнажений

Описано более 6 литологических разрезов. В обнажении №2 зафиксированы трещиноватые известняки толщиной до 12 м, с признаками карра и выветривания. Обнаружены глыбы до 2–3 м, свидетельствующие о поверхностных смещениях [1].

В рамках инженерно-геологических работ на участке «Чыйырчык» произведено описание трёх естественных обнажений и двух разведочных канав. Цель — уточнение литологического строения верхней части разреза, анализ трещиноватости, признаков выветривания и склоновых деформаций.

Особенности: трещины до 5 см, заполнены глиной; наблюдаются выщелачивания на поверхности известняка.

Геоморфологическая роль: представляет зону водораздела и частичной эрозии поверхности коренных пород.

Геомеханическая интерпретация. Фиксация карровых форм (борозды, углубления), высокой трещиноватости и поверхностных обрушений в известняках подтверждает физико-геологические процессы выщелачивания и фрагментации массивов, predisposing котрывуглуб и деформациям склонов. Эти процессы, как отмечают исследователи, усиливаются при сезонном увлажнении и чередовании промерзания/оттаивания.

5. Лабораторные исследования

Проведены испытания 14 проб.

- Влажность: 10,9–22,9%
- Плотность: 1,83–1,95 г/см³
- Сцепление: 0,35–0,43 кг/см²
- Угол внутреннего трения: 31–40° Методика испытаний — по ГОСТ 12248-2010 и ГОСТ 5180-2015 [1,4].

6. Климатические данные.

Климат района участка «Чыйырчык» относится к горно-континентальному с резкой сезонностью температур и увлажнения. По данным метеостанции «Гулча» (абсолютная отметка 1542 м, многолетние наблюдения с 1937 г.), среднегодовая температура составляет +7,3°C, абсолютный минимум достигает –32°C, максимум — +37°C.

Гидрометеорологические показатели:

Показатель	Значение
Среднегодовая сумма осадков	520 мм
Суточный максимум	76 мм (конвективные дожди)
Наиболее влажный период	Апрель – май
Средняя температура июля	+19,2 °C
Суммарная влажность воздуха летом	до 82 % в обеденное время
Испаряемость летом	высока, но переменчива

Сезонность оползнеобразования

Исследования подтверждают, что наибольшая активность оползневых процессов на горных склонах приходится на весенний и ранне-летний периоды. Это связано с:

- накоплением влаги в виде снега в зимний период;
- быстрым насыщением выветрелых пород талой и дождевой водой весной;
- развитием порового давления в зонах глин и суглинков;
- высокой интенсивностью кратковременных осадков в мае-июне.

Данные многолетнего мониторинга склонов на сопредельных участках показывают прямую зависимость между осадками выше 120–140 % нормы и массовой активизацией старых и новых оползней.

Наибольшая интенсивность осадков фиксируется в апреле–мае, что совпадает с пиком порового давления в обводнённых зонах суглинков и глин. Этот период климатически соответствует наиболее опасному для склоновой устойчивости (см. рис. 9)

Анализ метеоданных позволяет утверждать, что регион характеризуется благоприятными условиями для сезонной активации склоновых деформаций, особенно в переходный весенне-летний период. Интенсивные осадки даже при несущественной превышении нормы могут привести к нарушению устойчивости склонов с развитой трещиноватостью и водоупорами.



• Рисунок 9. Среднемесячные значения осадков и температуры воздуха по метеостанции «Гулча» (средне многолетние данные).

7. Химический анализ подземных вод

Для оценки агрессивности подземных вод по отношению к известняковым породам и определения их влияния на устойчивость массива был проведён отбор и анализ проб из двух скважин и родника. Отбор осуществлялся по методике ГОСТ 2761-84 с консервацией и транспортировкой проб в лабораторию.

Гидрохимические параметры:

Показатель	Значения	Характеристика
рН	6,9 – 7,9	Слабощелочная реакция среды
Минерализация	0,7 – 0,9 г/л	Пресные воды
Жёсткость	Средняя (временами повышенная)	Кальциево-магниевый тип
Ионный состав	Гидрокарбонатно-сульфатный	Доминирование HCO_3^- и SO_4^{2-}
Агрессивность к CaCO_3	Умеренная–высокая	Потенциальное выщелачивание известняков

Интерпретация

Преобладание гидрокарбонатов и сульфатов, совместно с нейтральной и слабощелочной реакцией, указывает на водно-углекислотную агрессию по отношению к известнякам. Это может вызывать:

- частичное растворение карбонатного цемента;
- развитие карровых форм;
- ослабление трещиноватых зон.

Выводы подтверждаются также наблюдением поверхностных карров в обнажении №2 и результатами геофизических измерений зон пониженного сопротивления, совпадающих с предполагаемыми путями фильтрации.

Влияние на оползнеопасность

Как установлено в методологических работах (Фоменко И.К., 2013; Харр М., Цытович Н.А.), присутствие вод с растворяющей активностью в трещиноватых и пористых известняках способно резко снижать прочность пород, увеличивать поровое давление и провоцировать развитие фильтрационных деформаций — суффозии, кольматации, фильтрационного выпора.

Результаты

В результате комплексных инженерно-геологических и гидроклиматических исследований на участке «Чыйырчык» получены следующие ключевые данные, позволяющие оценить оползневую опасность и устойчивость склонов.

1. Геолого-литологическое строение

Анализ разрезов бурения и обнажений (см. рис. 3–4) показал, что геологическое строение представлено трёхзвенной последовательностью:

- верхние рыхлые суглинки (0–4 м);
- влажные пластичные глины и глинистые суглинки (до 10–14 м);
- трещиноватые известняки-ракушечники, часто закарстованные (12–30 м).

Обнаружены глыбы, вероятно, оторвавшиеся в результате поверхностного скольжения по границе глина–известняк.

2. Геофизические признаки неустойчивости

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) выявило:

- зоны пониженного сопротивления (70–80 Ом·м) в верхних горизонтах;
- высокие значения УЭС (500–550 Ом·м) в глинистых слоях;
- стабильные значения (400 Ом·м) в известняках (табл. 1, рис. 8).

Интерпретация указывает на наличие возможной плоскости скольжения в интервале глубин 6–12 м.

3. Свойства грунтов

Лабораторные исследования (табл. 2) показали:

- влажность: 10,9–22,9 %;
- сцепление: 0,35–0,43 кг/см²;
- угол внутреннего трения: 31–40°.

Это соответствует средней степени устойчивости при условии сухого состояния и снижению устойчивости при водонасыщении.

4. Влияние осадков

По данным метеостанции «Гулча» (рис. 9), интенсивные осадки (до 76 мм/сутки) и их весенне-летняя концентрация формируют поровое давление в водоудерживающих горизонтах. Период апреля–мая является критическим по риску активизации оползней.

5. Влияние подземных вод

Химический анализ подземных вод показал:

- pH: 6,9–7,9;
- минерализация: 0,7–0,9 г/л;
- средняя жёсткость;
- агрессивность к карбонатным породам — умеренная до высокой.

Фиксируются признаки карстования и растворения цементирующего вещества в известняках (рис. 2, 6).

6. Интегральная оценка

На основе полученных данных выделены три зоны различной устойчивости:

1. Верхняя часть склона — условно стабильная.
2. Средний склон (5–15 м глубины) — потенциально активная зона скольжения.
3. Нижняя часть — зона аккумуляции глыб и продуктов разрушения.

Разгрузка массива (путём разработки карьера) потенциально снижает риск накопления напряжений и активизации смещений.

Обсуждение

Результаты полевых, лабораторных и аналитических исследований позволяют утверждать, что участок «Чыйырчык» обладает всеми признаками склоновой нестабильности, характерными для высокогорных территорий Центральной Азии.

1. Сравнение с аналогичными регионами

Проведённый анализ выявил сходство с условиями, описанными в исследованиях на склонах Кавказа и Памира, где также отмечены:

- контактные плоскости между глинистыми и карбонатными породами;
- сезонная фильтрация вод по трещинам;
- карровые формы как маркеры выщелачивания и суффозии [1,2]. В частности, в работах Гакаева (2024) и Фоменко (2013) подтверждается, что глинистые горизонты с влажностью свыше 18–20 % при наличии подстилающего известняка являются типовой схемой для формирования скольжения глубиной 6–12 м [1,3].

2. Механизмы деформации

Накопление влаги в суглинках и глинах в весенний период вызывает:

- увеличение порового давления;
- снижение эффективных напряжений;
- потерю сцепления в пределах водоудерживающего горизонта;
- фильтрационное давление на контактной границе с известняками.

Дополнительно, наблюдаемая трещиноватость способствует ускоренной инфильтрации, а карстово-глыбовая структура нарушает сплошность массива.

3. Условия активизации

Критическим фактором является сочетание следующих условий:

- кратковременные осадки более 50 мм/сутки (рис. 9);
- влажность глинистых горизонтов >20 % (табл. 2);
- закарстованный характер известняка (рис. 2, 4, 6);
- наличие водоупора в зоне ВЭЗ 6–12 м (рис. 8).

Таким образом, участок попадает в зону локальной оползневой предрасположенности.

4. Практические рекомендации

- В целях освоения участка карьера рекомендуется:
- проводить сезонный мониторинг влажности, УПВ и осадков;
- соблюдать последовательность вскрытия массива сверху вниз;
- минимизировать сейсмические и гидродинамические воздействия в весенне-летний период;
- организовать дренажные мероприятия (горизонтальные скважины или гравитационные коллекторы).
- В случае продолжения работ следует рассмотреть интеграцию постоянного ВЭЗ-мониторинга или GNSS-наблюдения за деформациями [4].

Заключение

Проведённое инженерно-геологическое и геоэкологическое исследование участка «Чыйырчык» позволило выявить комплексную взаимосвязь между параметрами атмосферных осадков, геологическим строением и устойчивостью склонов.

Установлено, что:

- геолого-литологическая структура включает рыхлые суглинки, водоудерживающие глины и трещиноватые карстовые известняки;
- по результатам ВЭЗ и бурения в интервале 6–12 м формируется потенциальная плоскость скольжения;
- весенне-летний максимум осадков (до 76 мм/сутки) вызывает резкое увеличение влажности глин и порового давления;
- химический состав подземных вод указывает на агрессивность по отношению к известняку, что подтверждает выщелачивание и потерю прочности.

Наиболее уязвимой к деформациям является средняя часть склона, где формируется скользящий контакт и фиксируются следы прошлых смещений (глыбы, карры, борозды).

Практическая значимость результатов заключается в обосновании необходимости:

- сезонного мониторинга влажности и деформаций;
- ограничения работ в периоды весеннего увлажнения;
- использования дренажных и разгрузочных мер при разработке массива.

Полученные данные могут быть применены для прогноза оползневой активности в аналогичных геоморфологических условиях Центральной Азии, а также при проектировании горнотехнических мероприятий с учётом климатических сценариев.

Список использованных литератур

1. Гакаев Р.А. Геоэкологическая оценка оползневых процессов горных территорий Чеченской Республики: дис. ... канд. геогр. наук. — Грозный, 2024.
2. Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. — М.: МГРИ-РГГРУ, 2013. — 294 с.
3. Чалкова Ю.С., Черепанов Б.М. Оползневые процессы, их прогнозирование и борьба с ними // Ползуновский вестник. — 2007. — № 1–2. — С. 80–83.
4. КыргызГИИЗ. Технический отчёт по результатам инженерных изысканий участка «Чыйырчык». Ошский филиал. — Ош, 2023.
5. Малдыбаев У.А. Исследование факторов активизации оползневых процессов в природных условиях Кыргызстана: дис. ... магистр. — Томск: ТПУ, 2017.

6. ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические требования.
7. СНиП КР 23-02-00. Климатология. Нормы и правила проектирования. — Бишкек: Госстрой КР, 2005.
8. РСН 64-87. Инженерные изыскания. Требования к производству геофизических работ. Электроразведка.
9. TPU387731.pdf. Результаты многолетнего анализа сезонной устойчивости склонов Кыргызстана. — Томск: ТПУ, 2020.
10. Методология оценки оползневой опасности. — PDF. — 2020.
11. Zhang K., Liu C., Wang Y. A review of landslide monitoring and early warning systems // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. — 2019. — Vol. 10(1). — P. 1683–1712.
12. Crosta G.B., Frattini P. Rainfall-induced landslides: mechanisms, prediction and warning // *Landslides*. — 2008. — Vol. 5(1). — P. 61–78.
13. Zuska A.V. Kinematic model of landslide slopes. — Dnipro: NGU, 2014. — 140 p.
14. Fell R., Corominas J. et al. Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning // *Engineering Geology*. — 2008. — Vol. 102. — P. 85–98.
15. Aleotti P., Chowdhury R. Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. — 1999. — Vol. 58. — P. 21–44.

Received / Получено 12.07.2025

Revised / Пересмотрено 20.07.2025

Accepted / Принято 12.08.2025