

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный исследовательский
технический университет имени К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт им. О. А. Байконурова

На правах рукописи

УДК 528.48:551.243.13:004.91

Кенжехан Айгерим Абдіғалиқызы

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

На соискание академической степени магистра

Название диссертации

Геодезический анализ риска оползней в территории РК с
использованием ArcGIS

Направление подготовки

7M07306 – Геопространственная цифровая инженерия

Научный руководитель
к.т.н., профессор

К.Б. Рысбеков

«06» 01 2026 г.

Рецензент

PhD, ассоциированный профессор

К.Т. Картбаева

«06» 01 2026 г.

Норм контроль

PhD, ассоциированный профессор

Ш.К. Айтказинова

«06» 01 2026 г.

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
HAO «КазНИТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

«Маркшейдерское дело и геодезии»,

к.т.н., ассоциированный профессор

Мейрамбек Г.

«06» 01 2026 г.



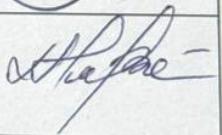
Алматы 2026

ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Аналитический обзор и теоретические основы геодезического анализа риска оползней.	01.09.2025 г.	-
Сбор и подготовка геопространственных данных.	29.09.2025 г.	-
Создание карт в ArcGIS Pro. Расчет крутизны (Slope) и экспозиции склонов (Aspect).	06.10.2025 г.	-
Моделирование и переклассификация.	10.11.2025 г.	-
Результаты и практические рекомендации.	08.12.2025 г.	-

Подписи

консультантов и норм контролера на законченную магистерскую диссертацию с указанием относящихся к ним разделов диссертации

Наименования разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Теоретическая часть	к.т.н., профессор Рысбеков К.Б.	01.09.2025	
Практическая часть	к.т.н., профессор Рысбеков К.Б.	06.10.2025	
Нормоконтролер	PhD, ассоциированный профессор Айтказина Ш.К.	06.01.2026	

Научный руководитель



Рысбеков К.Б.

Задание принял к исполнению обучающийся

Кенжекан А.А.

Дата

«08» 12 2025 г.

ОТЗЫВ

на магистерскую диссертацию Кенжехан Айгерим Абдіғалиқызы на тему:
«Геодезический анализ риска оползней в территории РК с использованием
ArcGIS» подготовленную для получения степени магистра по
образовательной программе 7М07306 – Геопространственная цифровая
инженерия

Магистерская диссертация, посвященная анализу факторов устойчивости склонов и картографированию зон риска, полностью отвечает современным научно-техническим стандартам. В ходе выполнения магистерской диссертации был проведён геодезический анализ риска оползней на территории северного склона Заилийского Алатау с использованием геоинформационных технологий ArcGIS. В результате исследования создан комплекс тематических карт, отражающих степень оползневой опасности. Разработаны практические рекомендации по снижению оползневых рисков и мониторингу территорий. В целом, магистерская диссертационная работа отвечает всем требованиям, предъявляемым к научно-исследовательским работам. Содержание работы раскрыто полностью, поставленные цели и задачи достигнуты, выводы являются четкими и обоснованными. Учитывая вышеизложенное, я оцениваю магистерскую диссертационную работу Кенжехан Айгерим на 95% («отлично») и делаю заключение, что автору может быть присуждена академическая степень магистра.

Научный руководитель:
к.т.н., профессор

К.В. Рысбеков
«5» января 2026 г.

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «КАЗАХСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени К.И. САТПАЕВА»

РЕЦЕНЗИЯ

На магистерскую диссертацию
(вид учебной работы)

Кенжехан Айгерим Абдігалиқызы
(Ф.И.О. обучающегося)

6B07306 – «Геопространственная цифровая инженерия»
(шифр и наименование образовательной программы)

Название диссертации: «Геодезический анализ риска оползней в
территорий РК с использованием ArcGIS»
(тема магистерской диссертации)

Выполнено:

- а) графическая часть — на 15 страницах
б) пояснительная часть — на 40 страницах

ПРИМЕЧАНИЕ

Работа выполнена в соответствии с установленными требованиями. В качестве рекомендаций следует отметить целесообразность оптимизации описательной части отдельных картографических материалов, а также более точной конкретизации ссылок на использованные источники. Высказанные замечания не оказывают существенного влияния на научную и практическую значимость проведённого исследования.

ОЦЕНКА РАБОТЫ

На основе всестороннего анализа представленного исследования и презентации можно сделать вывод, что диссертационная работа выполнена в полном соответствии с установленными требованиями. Использование ГИС-технологий и инструментов ArcGIS Pro для моделирования оползневой восприимчивости имеет особую значимость для обеспечения безопасности в сейсмически активных и высокогорных регионах. Магистерская диссертация, посвященная анализу факторов устойчивости склонов и картографированию зон риска, полностью отвечает современным научно-техническим стандартам. Успешно интегрированы морфометрические, геологические и климатические данные, что позволило получить высокоточные результаты зонирования. В целом работу можно оценить на **98 баллов — «отлично»**.

Рецензент

Казахская головная архитектурно-

строительная академия

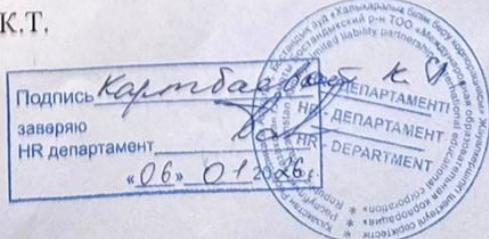
PhD, старший преподаватель

Картаев

Картбаева К.Т.

«22» декабря 2025 г.

КазНИТУ 706-17 У. Рецензия



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Кенжекан Айгерим Абдігалиқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Магистерская диссертация

Название работы: Геодезический анализ риска оползней в территории РК с использованием ArcGIS

Научный руководитель: Канай Рысбеков

Коэффициент Подобия 1: 2.8

Коэффициент Подобия 2: 1

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 0

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.**
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.**
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.**
- Обоснование:**

Дата
09.01.2021

Айгерим О.
проверяющий эксперт

Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Кенжекан Айгерим Абдігалиқзы

Тақырыбы: Геодезический анализ риска оползней в территории РК с использованием ArcGIS

Жетекшісі: Канай Рысбеков

1-ұқсастық коэффициенті (30): 2.8

2-ұқсастық коэффициенті (5): 1

Дәйексөз (35): 0.3

Әріптерді ауыстыру: 0

Аралыктар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Фылыми еңбекте табылған ұқсастықтар plagiat болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, корғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар plagiat болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және plagiatтың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бүрмаланыш plagiat белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс корғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

Күні

Кафедра менгерушісі

06.01.2026 ж.

АННОТАЦИЯ

В магистерской диссертации рассматривается проблемы оценки риска оползней на территории Республики Казахстан с использованием геоинформационных технологий.

Основное внимание уделяется применению программного комплекса ArcGIS для геодезического анализа, пространственного моделирования и картографирования опасных зон. Приведены методы исследование, включая сбор, обработку и анализ геопространственных данных, таких как цифровые модели рельефа, климатические параметры, геологические характеристики и антропогенные факторы.

АНДАТТА

Берілген магистрлік диссертацияда Қазақстан Республикасының аумағындағы жер көшкіні қаупін бағалау мәселелері геоқұпараттық технологияларды пайдалану арқылы қарастырылады.

Басты мақсат ArcGIS бағдарламалық кешенін геодезиялық талдау, кеңістіктік модельдеу және қауіпті аймақтарды картографиялау үшін қолдануға негізделген. Оның ішінде жер бедерінің цифрлық модельдері, климаттық параметрлер, геологиялық сипаттамалар және антропогендік факторлар сияқты геокеңістіктік деректерді жинау, өндөу және талдауды қамтитын зерттеу әдістері ұсынылған.

ANNOTATION

This master's thesis examines the challenges of landslide risk assessment in the Republic of Kazakhstan using geographic information technologies.

Particular emphasis is placed on the application of the ArcGIS software suite for geodetic analysis, spatial modeling, and mapping of hazardous zones. The research methods include the collection, processing, and analysis of geospatial data, such as digital elevation models (DEM), climatic parameters, geological characteristics, and anthropogenic factors.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение

1	Анализ состояния изученности вопроса о зонировании территории по степени оползнеопасности и его геодезическом обеспечении	8
1.1	Общие сведения об оползневых процессах	8
1.1.1	Определение оползневого процесса	8
1.1.2	Механизмы оползневого процесса	8
1.1.3	Факторы, критерии и причины оползневого процесса	10
1.2	Определение объекта и территории исследований	11
1.2.1	Общая информация о городе Алматы	11
1.2.2	Общая топографическая и геологическая характеристика	12
2	Анализ факторов риска оползней на территории Республики Казахстан	15
2.1	Географические и климатические особенности территории РК	15
2.2	Геологические условия, способствующие возникновению оползней	19
2.3	Оценка исторических данных о случаях оползней в РК	19
3	Методы и средства геодезического анализа в ArcGIS	31
3.1	Основные возможности ArcGIS для геодезического анализа	31
3.2	Сбор, обработка и анализ геодезических данных с использованием ArcGIS	31
4	Применение ArcGIS для анализа риска оползней на территории Республики Казахстан	33
4.1	Формирование базы геопространственных данных и предобработка цифровых моделей рельефа	33
4.2	Анализ крутизны и экспозиции склонов в среде ArcGIS Pro	35
4.3	Методика многокритериальной переклассификации и зонирования исследуемой территории	40
5	Рекомендации по снижению риска оползней и мероприятия по мониторингу	46
5.1	Разработка рекомендаций по предотвращению оползней в рисковых районах	46
5.2	Роль геодезических наблюдений и мониторинга для уменьшения рисков	47
5.2.1	Основные виды геодезического мониторинга	47
5.2.3	Значение геодезических данных для прогнозирования оползней	47
5.3	Применение ГИС для постоянного мониторинга состояния территорий	51
	Заключение	
	Список использованной литературы	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы: в настоящее время большая часть территории Республики Казахстан подвержена оползням. Геодезический мониторинг подобных деформационных процессов не только обеспечивает безопасность территорий, расположенных на склонах, но и решает задачи прогнозирования степени опасности оползней. Важнейшей характеристикой геодинамических объектов является их напряженно-деформированное состояние (НДС), так как при достижении некоторого критического значения напряжений может произойти резкое изменение структуры объекта, свойств и т.п., вызывающее нежелательные и даже катастрофические для людей последствия. Поэтому информация о движениях и НДС оползней, обусловленных экзогенными факторами, является важнейшей в аспекте прогноза смещений оползней. Вопросы о своевременном выявлении НДС грунта и оползневых деформаций на различных склоновых территориях и их влияния на здания и сооружения требуют настоящего изучения.

Цель работы: Анализ геодезического обеспечения оползневых процессов и риска на заданных территориях с использованием программы ArcGIS.

Основные задачи исследований:

1. Анализ текущего состояния проблемы геодезического обеспечения контроля деформационных процессов на заданных территориях с использованием программы ArcGIS.

2. При анализе динамики оползневых процессов разработать схематические результаты геодезических наблюдений, указывающие на опасность оползней.

3. На основе результатов анализа динамики оползневых процессов дать рекомендаций по их предотвращению и минимизации возможного ущерба.

Методы исследований:

В качестве теоретических методов исследований для оценки оползневой восприимчивости мной использовались: метод многокритериального анализа (МСЕ), статистическая обработка геопространственных данных и метод взвешенного наложения (Weighted Overlay). В качестве экспериментального метода я применила геоинформационное моделирование в программном комплексе ArcGIS Pro на основе анализа морфометрических, геологических и климатических факторов региона Республики Казахстан.

Научная новизна исследований:

- Уточнение весовых коэффициентов факторов оползневой опасности (экспозиции, крутизны и др.) применительно к специфическим геоморфологическим условиям исследуемого региона Казахстана.

- Анализ методики автоматизированного расчета индекса оползневой

восприимчивости в среде ArcGIS Pro с использованием инструментов переклассификации и анализа поверхности.

- Создание цифровых моделей и тематических карт, объединяющих разнородные геопространственные данные (DEM, климат, геология) в единую аналитическую систему.

Практическая значимость работы: Комплексный ГИС-анализ, объединяющий цифровые модели рельефа, показатели растительности, влажности и морфометрии склонов, доказал свою эффективность в задачах

диагностики склоновой нестабильности. Предложенный подход может быть масштабирован и адаптирован для других горных районов Алматы с целью формирования устойчивой системы мониторинга и предотвращения оползневых рисков.

Апробация работы.

Основные положения и результаты диссертационного исследования мной докладывались, обсуждались и получили одобрение на следующих научных площадках:

- Международная научно-практическая конференция «Сатпаевские чтения – 2025» (г. Алматы, Казахстан). По результатам выступления опубликована научная статья в сборнике трудов конференции, посвященная ГИС-моделированию оползневых процессов.

- Международная научная конференция «Research Reviews» (Чехия). Материалы исследования опубликованы в научном журнале, входящем в перечень изданий, освещающих современные вопросы геодезии и дистанционного зондирования Земли.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пять глав, заключения, списка использованной литературы. Работа содержит 54 страницы печатного текста, 7 таблицы, 27 рисунка. Список использованных источников включает 17 наименования.

1 Анализ состояния изученности вопроса о зонировании территорий по степени оползнеопасности и его геодезическом обеспечении

1.1 Общие сведения об оползневых процессах

1.1.1 Определение оползневого процесса

Для разработки геодезического обеспечения зонирования территорий по степени оползневой опасности необходимо привести описание понятие «оползень» и условий его формирования. Среди наиболее опасных геологических процессов и явлений одно из важных мест занимают оползни. Современное строительство инженерных сооружений из-за отсутствия свободных площадей зачастую выполняется у бровок склонов и на оползневых склонах, в результате чего активизируются старые оползни или развиваются новые оползневые деформации. Они являются основными показателями, развитие которых во времени характеризует собственно реализацию оползневого процесса.

Существует несколько определений понятия «оползень», и одно из таких определений сформулировал З. Кукал: «Оползень — смещение на более низкий уровень части пород, слагающих склон в виде скользящего движения, в основном, без потери контакта между движущимися и неподвижными породами». Оползень возникает вследствие нарушения равновесия склона и продолжается до достижения нового состояния равновесия. Таким образом, оползневой процесс — последовательное изменение состава, состояния и свойств оползня с момента его зарождения и перемещения на другой уровень, вплоть до полного затухания.

1.1.2 Механизмы оползневого процесса

По механизму оползневого процесса можно выделить следующие типы оползней:

- оползни сдвига (срезающие, консеквентные, срезающие-консеквентные);
- оползни выдавливания;
- оползни вязкопластичные (оползни-потоки, сплывины, оплывины);
- оползни гидродинамического выноса (суффозионные);

- оползни внезапного разжижения, возникающие вследствие разрушения структурных связей в слабоуплотненных глинистых породах;
- оползни сложного (комбинированного) механизма.

По скорости смещения склоновые процессы разделяют на следующие три категории:

- медленные смещения;
- смещения со средней скоростью;
- быстрые смещения.

По масштабу оползни бывают: очень мелкие (до 5 га), мелкие (5-50 га), средние (50-100 га), крупные (100-200 га), очень крупные (200-400 га), грандиозные (свыше 400 га).

В общем случае все оползни могут быть разделены на четыре основные группы.

1. Структурные оползни возникают в однородных связных глинистых породах (в основном, в искусственных земляных сооружениях с крутыми откосами, насыпях и т. п.). Причиной их возникновения могут быть чрезмерная крутизна склона, перегрузка верхней части (например, инженерными сооружениями), нарушение целостности пород; подрезка склона у его подошвы; увлажнение подошвы склона.

2. Контактные, срезающие и структурно-пластические оползни формируются в связных глинистых породах, залегающих в виде пластов. Причиной возникновения контактных оползней, наряду с указанными для первой группы, является смачивание контактных плоскостей напластования подземными водами. Контактные оползни образуются на естественных склонах возвышенностей и берегах рек, в откосах выемок. При большой высоте склона оползни этого типа переходят в обвалы.

3. Срезающие оползни образуются на склонах возвышенностей и в долинах рек, сложенных слоистыми породами, залегающими горизонтально или с уклоном в сторону, противоположную склону. В движение одновременно приходят целые группы пластов. Причины возникновения те же, что и для контактных оползней, но в условиях более глубоких нарушений горных пород трещинами и т. п. Причинами возникновения структурно-пластических оползней (или оползней выдавливания) являются неравномерная разгрузка горных пород, залегающая под пластичными глинами (на каналах, выемках, в долинах рек и т. п.), перегрузка склонов, увлажнение грунтов в основании. Оползни этого вида имеют место, когда в основании горных пород залегают мягкие пластичные глины. При этом в верхней части склона на поверхности земли образуются ярко выраженные оползневые террасы с глубокими трещинами.

4. Суффозионно-структурные, суффозионно-пластические, суффозионно-просадочные оползни обусловлены процессом вымывания твердых частиц породы подземными водами (суффозией). Суффозионно-структурные оползни формируются в связных глинистых грунтах, чередующихся со слоями водоносного песка. Основной причиной их

возникновения является вынос пылеватых и песчаных частиц породы подземными водами. В отличие от структурных оползней, смещение земляных масс в этих случаях происходит без выраженной поверхности скольжения в основании склона. Оторвавшиеся массы движутся скачками, иногда с очень большой скоростью. Суффозионно-пластичные и суффозионно-просадочные оползни образуются при тех же условиях, что и суффозионно-структурные, но со слабо выраженной поверхностью отрыва. Причины их возникновения те же, что и при образовании суффозионно-структурных оползней, а также интенсивное выветривание горных пород на склонах с формированием трещин, увлажнение и разупрочнение горных пород при замораживании и оттаивании. Причиной суффозионно-просадочных оползней может также быть вынос подземными водами частиц лессовых грунтов, если ими сложено основание.

Оползни автомагистральных и железнодорожных насыпей на устойчивом и неустойчивом основании. Оползни на устойчивом основании возникают при чрезмерной крутизне насыпи или обильном увлажнении ее поверхности в отсутствие водоотвода. Оползни на неустойчивом основании обычно образуются в насыпях, отсыпанных на болотах или в заболоченных поймах рек. Оползневые деформации в этом случае проявляются в виде отрыва частей насыпи друг от друга, оседания ее по достаточно крутой поверхности скольжения и выдавливании из-под нее мягких илистых грунтов основания.

1.1.3 Факторы, критерии и причины оползневого процесса

Оползни имеют широкое распространение и разнообразную природу образования. Основными причинами образования оползней являются:

- увеличение крутизны склона или откоса вследствие подрезания, подработки или подмыва его основания;
- ослабление прочности пород под действием процессов увлажнения, набухания, разуплотнения, выветривания, нарушения естественного сложения;
- изменение напряженного состояния горных пород на склонах и откосах;
- внешние воздействия - загрузка склона или откоса, микросейсмические и сейсмические колебания и др.

Условия оползнеобразования - совокупность природных и антропогенных факторов, нарушающих равновесие масс горных пород . Одним из важнейших условий, способствующих образованию оползней, является рельеф местности. Оползни наиболее широко распространены на участках с резко пересеченным рельефом, на высоких и крутых склонах речных долин, в горных районах и т. д. Характер рельефа местности обуславливает развитие оползневых явлений.

Геологическое строение оказывает большое влияние на устойчивость склона. В большинстве случаев оползни приурочены к местам выхода

глинистых отложений (слоем, прослойм), распространены в ослабленных зонах (слоях угля, сажи, зонах трещиноватости, тектонических нарушений и др.), наблюдаются в районах, где имеются места накопления элювиальных, делювиальных, пролювиальных образований.

Гидрогеологические условия, то есть режим влажности грунтовой толщи, определяют устойчивость склонов. Оползни чаще возникают на склонах, сложенных горными породами, имеющих в составе водонасыщенные горизонты и зоны постоянного или временного увлажнения и смачивания, нежели на склонах, хорошо дренируемых.

Оползни образуются при развитии сопутствующих геоморфологических процессов и явлений, таких как выветривание, подмыв и разрушение склонов, карстовые и суффозионные процессы, современные тектонические движения и землетрясения и др. Огромное влияние на развитие оползневых процессов оказывают физико-механические свойства горных пород, слагающих склоны. Именно они определяют соотношение сдвигающих и удерживающих сил в теле оползня. Плотность, удельное сцепление и угол внутреннего трения грунтов зависит от их гранулометрического и минерального состава, от количества влаги, а также от прочности структурных связей между частицами. Климатические особенности местности являются немаловажным фактором, влияющим на процесс оползнеобразования.

В периоды дождей или таяния снега образуются новые оползни и разнообразные подвижки. Увлажнение пород увеличивает их массу и, соответственно, действие на них гравитационных сил. При этом происходит ослабление прочности структурных связей в грунтах и изменение их консистенции до пластичной и текучей. Это все приводит к снижению прочностных свойств горных пород на склоне. Климатические условия оказывают также влияние на гидрологический режим водоемов.

Оползни активно развиваются на реках с паводковым режимом, с большими скоростями потока, а также на берегах морей с интенсивным развитием волноприбойных явлений. Подрезание склонов, крутое заложение откосов, нарушение поверхностного и подземного стока и другая деятельность человека зачастую приводят к возникновению и активизации оползней. Поэтому антропогенная деятельность должна основываться на знании закономерностей оползневых процессов, для чего необходимы всесторонний подход, комплексный анализ, учитывающие как региональные, так и местные условия.

Оползни весьма разнообразны по размерам, глубине захвата пород, форме и глубине залегания поверхности скольжения, характеру смещения земляных масс, их скорости, периодичности и т. д. Наиболее эффективной защитой от оползней является выбор места для строительства с учетом наименьшей оползневой опасности. Для оценки оползневой опасности существуют различные методы, освещаемые в научно-технической и нормативной литературе.

1.2 Определение объекта и территорий исследований.

1.2.1 Общая информация о городе Алматы

Город Алматы является административным районом Республики Казахстан, обладающим статусом особого города. Статус города определяется «Республиканским законом об особом статусе города Алматы», установленном в целях эффективного осуществления развития города Алматы, являющегося научным, культурным и экономическим центром Казахстана.

По данным на 1-го января 2006 года население города составляло примерно 1млн. 240тыс. человек, что составляло 10% от всего населения государства. Официальным языком является казахский язык. В государственных организациях и органах местного самоуправления наравне с казахским официально употребляется и русский язык. Южная часть города граничит с республикой Кыргызстан через горную систему Тянь-Шань с вершинами уровня 4000м, где сконцентрированы эпицентры землетрясений. Кроме этого, город является одним из важных транспортных узлов между Европой и Азией.

Город расположен в зоне типичного континентального климата, характеризующимся значительными перепадами температуры, что характерно для равнин в межгорье. В городе много зелени, которая украшает город и его благоустроенные улицы. В городе отмечается интенсивное транспортное движение, в утренние и вечерние часы пик на дорогах возникают пробки. В центральной части много средних и многоэтажных жилых и офисных зданий, тогда как по мере удаления в сторону пригородов всё больше появляется малоэтажных частных домов.

В последнее время Казахстан переживает экономический рост, в особенности в сфере добычи природных ресурсов, таких как нефть и уран. Численность городского населения растет, как за счет естественного прироста, так и за счет присоединения территорий Алматинской области. Город сохраняет своё экономическое положение. Законом РК он наделен особым статусом. Постановлением Правительства РК определен как финансовый центр. После обретения независимости и переходу страны на принципы свободной и рыночной экономики, меняется стиль жизни населения, но, с другой стороны, усугубляется разрыв между бедными и богатыми.

1.2.2 Общая топографическая и геологическая характеристика

В отчетах выполненных исследований топография и геология района Алматы в легко понятной форме обобщена на картах классификации склонов, на геологических картах и т.д. Согласно этим материалам, территория района

Алматы по своим топографическим и геологическим характеристикам, связанным с безопасностью склонов, в целом может быть подразделена на горную зону, зону предгорий и равнинную зону.

На рисунке 1 вышеуказанное зонирование показано как вид с птичьего полета, а на рисунке 2 – в форме геологического разреза. Особенности каждой зоны обобщены в таблице 1.

Таблица 1 - Топографические и геологические зоны, выделенные в связи с вопросом об устойчивости склонов

Горная зона	
Рельеф	<ul style="list-style-type: none"> Высота над уровнем моря – от 1600 м и выше, крайне неровный рельеф Свыше половины территории приходится на склоны с уклоном более 25° Местами встречаются склоны с уклоном более 45°
Геология	Скальные породы из прочных позднепалеозойских гранитов, имеющих кластерную структуру. На поверхности местами встречаются нелитифицированные отложения четвертичного периода кайнозойской эры, основным компонентом которых являются сравнительно неглубокие осыпи.
Неустойчивые участки, имеющие уклон	Обрушения и обвалы склонов, сложенных скальной породой; дезинтеграция и оползни на склонах, сложенных нелитифицированными осадочными породами.
Зона предгорий	
Рельеф	<p>Высота над уровнем моря – 1000~1600 м. сравнительно неровный. Эрозия почвы.</p> <p>Свыше половины территории занимают склоны с уклоном 10~25°</p>
Геология	Довольно плотные нелитифицированные отложения нижнечетвертичного периода кайнозойской эры, в основном образованные наносами. Хотя в большинстве случаев грунтовые воды залегают глубоко, там, где слой грунтовых вод залегает близко от поверхности и осадочные отложения являются влагонасыщенными, наблюдается снижение прочности грунта. • Грунты сравнительно легко подвержены эрозии под воздействием поверхностных вод.
Неустойчивые участки, имеющие уклон	Характерны обрушения и оползни нелитифицированных осадочных пород. На осваиваемых/застраиваемых территориях склоны часто приходят в неустойчивое состояние в результате ненадлежащей срезки грунта и/или сооружения земляных насыпей
Равнинная зона	
Рельеф	Высота над уровнем моря до 1000 м. Основную часть зоны занимают равнины. В местах протекания крупных рек встречаются крутые склоны, созданные речной эрозией.
	Очень слабо уплотненные нелитифицированные осадочные породы верхнечетвертичного периода кайнозойской эры. При достижении

Геология	влагонасыщения илистых или песчанистых грунтов прочность грунтов снижается. Грунты легко подвержены эрозии под воздействием поверхностных вод. Неустойчивые участки, имеющие уклон
Неустойчивые участки, имеющие уклон	Характерны обрушения нелитифицированных осадочных пород на крутых склонах вдоль рек.

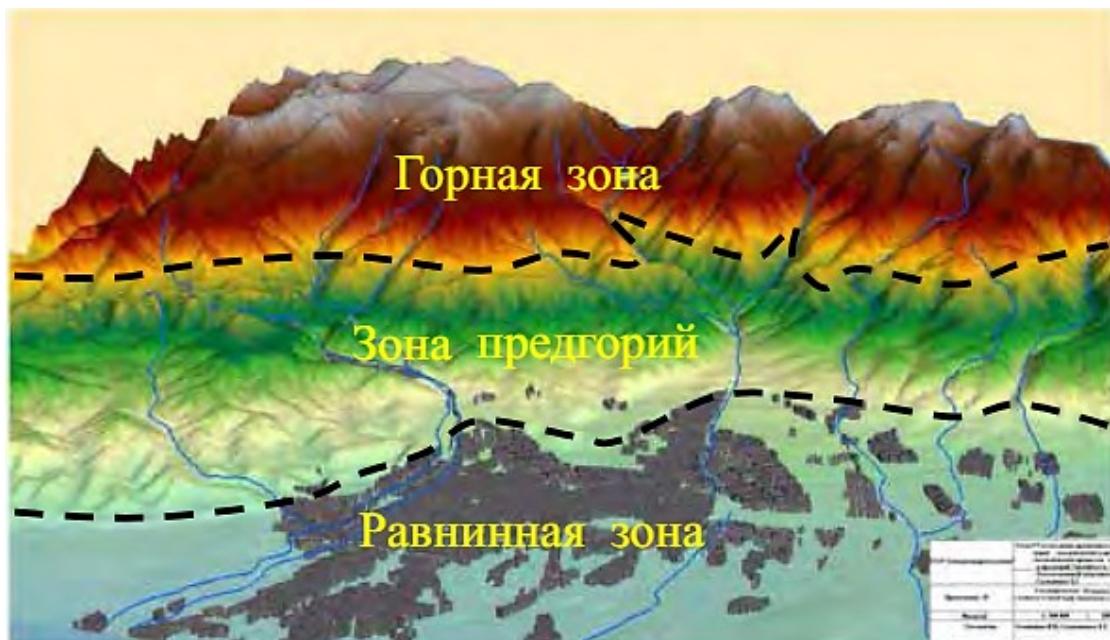
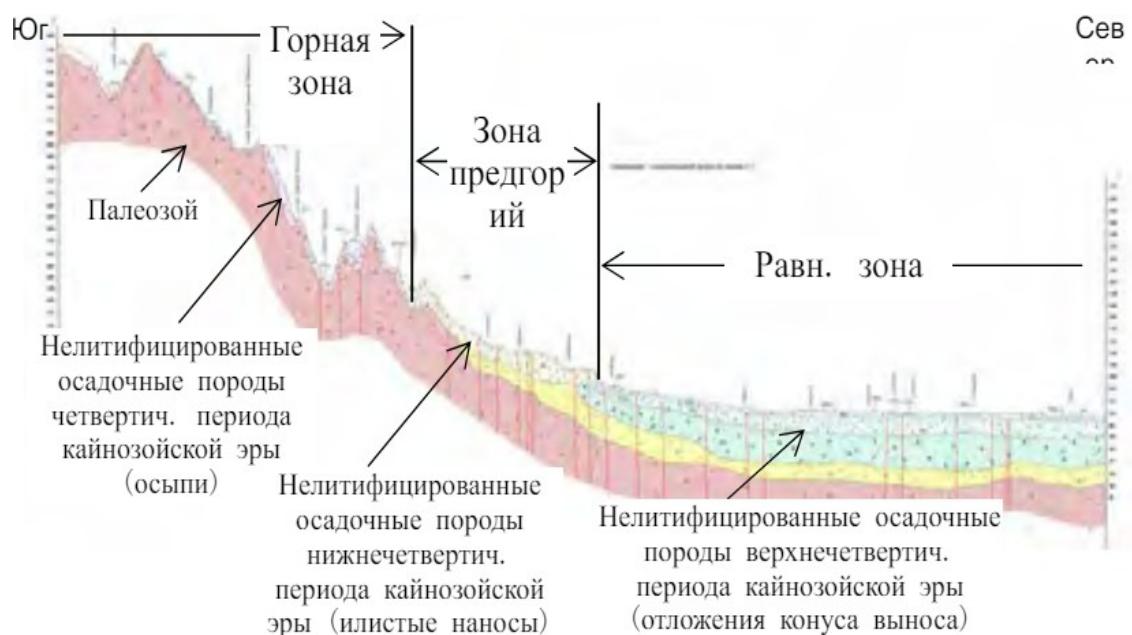


Рисунок 1- Топографическое и геологическое зонирование: вид с птичьего полета



**Рисунок 2- Топографическое и геологическое зонирование:
геологический разрез**

2 Анализ факторов риска оползней на территории Республики Казахстан

2.1 Географические и климатические особенности территории РК

Республика Казахстан расположен в центре континента Евразия и занимает девятое место в мире по площади - 2724,9 тыс. км². На северо-западе, севере и северо-востоке Казахстан граничит с Россией, на юго-востоке - с Китаем, на юге - с Кыргызстаном, Узбекистаном и Туркменистаном. Акваторию Каспийского моря делит с Ираном, Азербайджаном, Россией, Туркменистаном. Физико-географическая граница Казахстана проходит по акватории Каспийского моря, затем по Заволжским степям, Общему Сырту, Предуралью, пересекают южные отроги Уральских гор, и их продолжение Мугоджары. Далее на восток вдоль Западно-Сибирской равнины до Алтая.

Казахстан 9-я страна в мире по площади, у которой юридически оформлены границы, в том числе граница по Каспию. Общая протяжённость границ Казахстана составляет 13 394,6 км.

Страна обладает разнообразным рельефом, включая:

- Равнины и низменности (Сарыарка, Каспийская низменность, Туранская низина)

- Пустыни и полупустыни (Кызыл-Кум, Бетпак-Дала)

- Горные системы (Тянь-Шань, Алтай, Жетысуский Алатау)

Распределение рельефа на территории РК указано в таблице 2.

Таблица 2- Распределение рельефа на территории РК

Тип рельефа	Процент территории
Равнины	58%
Полупустыни и пустыни	33%
Горные территории	9%

Рельеф местности Казахстана разнообразен изображен на рисунке 3.

Ландшафтная структура Казахстана характеризуется преобладанием равнинных территорий, где 58 % площади занимают степи, 33 % — пустыни и полупустыни, и лишь 9 % приходится на горные массивы, при этом лесостепная зона на севере республики охватывает около 2 %. С точки зрения хозяйственного освоения 23 % земель пригодны для земледелия, в то время как 70 % территорий ориентированы на отгонное животноводство, что

обусловлено протяжённостью страны (2900 км с запада на восток и 1600 км с юга на север) и экстремальной амплитудой высот: от впадины Каракия на полуострове Мангыстау (132 метра ниже уровня моря) до пика Хан-Тенгри, достигающего высоты 6 995 метров.

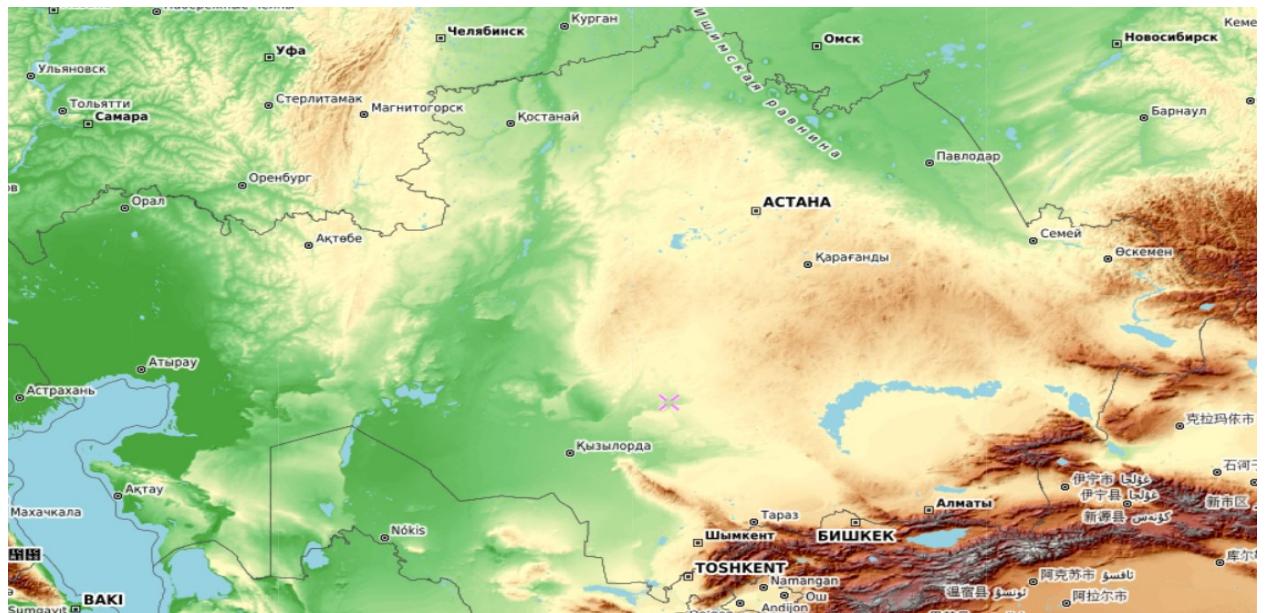


Рисунок 3 - Топографическая карта Казахстана

К особенностям климата, характеризующим его континентальность, относятся: большая амплитуда между зимними и летними температурами, сухость воздуха, незначительное количество атмосферных осадков на большей части республики, продолжительная суровая зима и короткое лето на севере, и короткая зима и продолжительное жаркое лето на юге.

Географическое положение Казахстана в широтном отношении соответствует странам Средиземноморья, имеющим влажный субтропический климат, и странам центральной Европы, отличающимся умеренно континентальным климатом. Так как Казахстан расположен в центре огромного материка Евразия, на значительном удалении (на тысячи километров) от океанов и морей, то их смягчающее влияние на климат незначительно.

Страна расположена в южной части умеренного климатического пояса. На её территории чётко выражены четыре времени года. Зимой властствуют сильные сибирские морозы. Летом господствуют тропические воздушные массы, формирующиеся над Казахстаном и Центральной Азией. Континентальность климата выражается в сезонных амплитудах летних и зимних температур.

Средняя температура зимы составляет от -4°C на юге до -19°C на севере, а летом диапазон варьируется от $+19^{\circ}\text{C}$ на севере до $+28^{\circ}\text{C}$ на юге.

Основные климатические факторы:

Осадки. Годовой объем осадков варьируется от 100 мм в пустынях до 600-

800 мм в горах.

Более детальную информацию о характере изменения режима осадков в Казахстане дает пространственное распределение значений коэффициента линейного тренда годовых, относительных аномалий сезонных и отдельно для каждого месяца сумм осадков. В соответствии с рисунком 4 полученные оценки по станционным времененным рядам годовых, сезонных и месячных аномалий количества осадков за период 1976- 2023 гг.

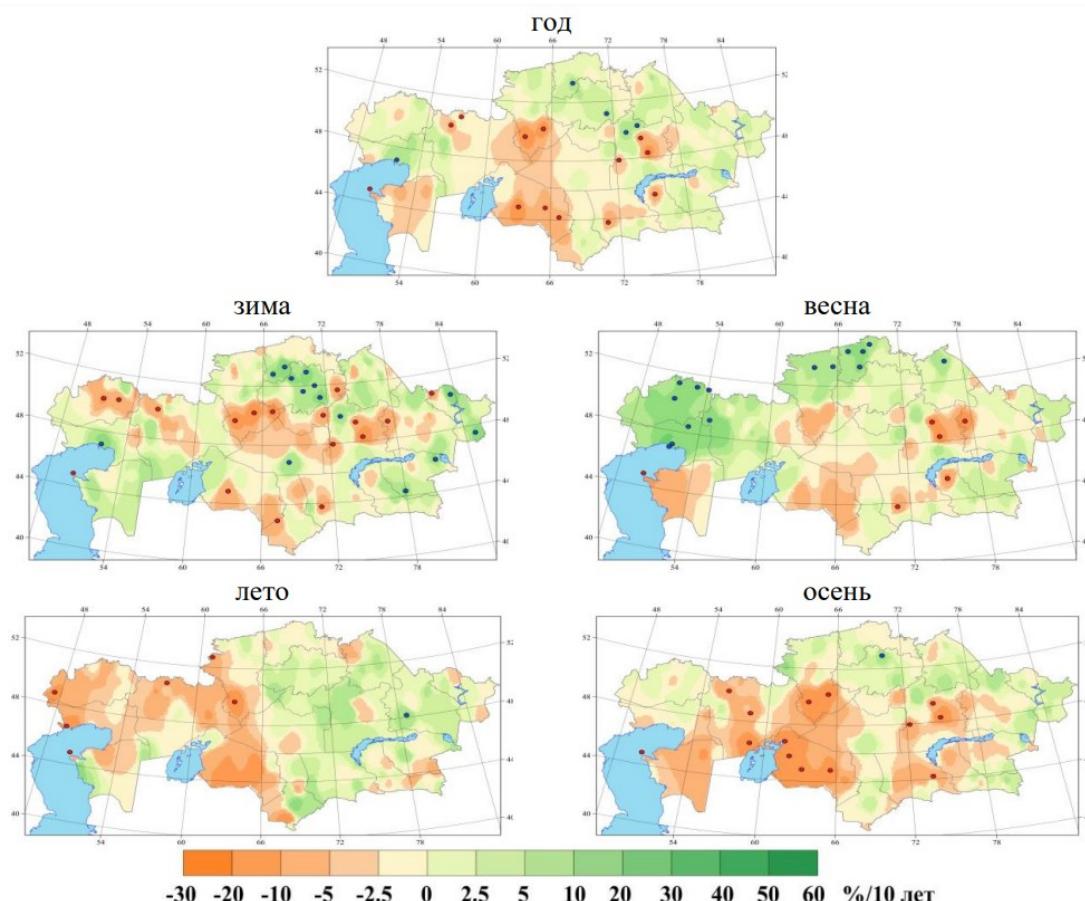


Рисунок 4 - Пространственное распределение значений коэффициента линейного тренда годовых и сезонных сумм осадков (%/10 лет), рассчитанных за период 1976 – 2023 гг.

Значимые положительные и отрицательные значения коэффициента линейного тренда выделены зеленым (увеличение осадков) и красным цветом (уменьшение осадков)

Сильные ветра отмечаются в полупустынных и пустынных районах. Вследствие аридизации климата на территории Казахстана распространены пыльные бури, наносящие большой вред сельскому хозяйству и ухудшающие обстановку регионов в целом. На рисунке 5 приведено районирование территории страны по климатическим предпосылкам опустынивания. По климатическим предпосылкам потенциально наиболее уязвимыми к опустыниванию Мангистауская, Кызылординская, Южно-Казахстанская и Жамбылская области и наименее подвержены Северо-Казахстанская,

Акмолинская, Восточно-Казахстанская, северные части Костанайской, Павлодарской и северо-западная часть Карагандинской области.



Рисунок 5- Карта «Районирование территории Казахстана по ГТК Селянинова и повторяемости пыльных бурь»

Оценка тенденций температуры приземного воздуха и количества осадков, средние величины аномалий метеорологических переменных приведены как по данным отдельных станций, так и в среднем по территории Казахстана в целом и по 17-ти его административно-территориальным областям. Средние для территории величины аномалий метеорологических переменных рассчитаны путем осреднения станционных данных об аномалиях. Границы административно-территориальных областей Казахстана представлены на рисунке 6.



Рисунок 6 - Схема административно-территориального деления Республики Казахстан

Комбинация весеннего таяния снегов, интенсивных ливней и горных пород создает предпосылки для оползней. К зонам наиболее риска относятся юго-восток и горные районы Тянь-Шаня и Жетысуского Алатау.

2.2. Геологические условия, способствующие возникновению оползней

Оползни представляют собой смещение масс горных пород или грунта вниз по склону под воздействием силы тяжести. Различные геологические условия могут способствовать их возникновению:

1. Геологическое строение местности:

Чередование водоносных и водоупорных слоев: Наличие водоносных пород над водоупорными (например, песков над глинами) может приводить к накоплению воды и снижению прочности склонов. Наклон слоистых пород в сторону склона: если слои пород наклонены в сторону склона, это облегчает их соскальзывание под действием силы тяжести.

2. Наличие трещин и зон дробления: Трещиноватость и зоны дробления в горных породах снижают их прочность и устойчивость, повышая вероятность оползней.

3. Геоморфологические особенности: Крутизна склонов: более крутые склоны имеют повышенную склонность к оползням из-за увеличенной силы тяжести, действующей на массы пород. Эрозионные процессы: Подмыв склонов реками или морскими волнами может приводить к их дестабилизации и последующему обрушению.

4. Гидрогеологические условия: Переувлажнение грунтов: Избыточная влага снижает сцепление частиц грунта, что может привести к их смещению. Подъем уровня грунтовых вод: Увеличение уровня грунтовых вод повышает поровое давление, снижая устойчивость склонов.

5. Выветривание: Механическое и химическое выветривание: Эти процессы ослабляют прочность пород, способствуя их разрушению и повышая вероятность оползней. Понимание этих геологических условий важно для оценки рисков оползней и разработки мер по их предотвращению.

2.3 Оценка исторических данных о случаях оползней в РК

Наибольшая активность оползней в Республике Казахстан наблюдается в следующих регионах:

- Алматинская область – горные районы Заилийского Алатау;
- Жамбылская область – предгорные и горные зоны;
- Туркестанская область – особенно в предгорьях Таласского Алатау.

Оползневые деформации выражены в основном такими типами, как оползни-обрушения, оползни-скольжения, оползни-потоки, сплывы и оплывины. Большинство значительных по размеру оползней и оплывин связано, как это отмечалось еще И.В.Мушкетовым в 1890 г. с высокой сейсмической активностью района (7-9 баллов по шкале MSK).

По данным Н.Ф.Колотилина объем пород, передвинутых на северном склоне Заилийского Алатау в радиусе до 30 км от г. Алматы, при землетрясении 1887 г. составил 440 млн.м³. Вдоль крупных обновленных разломов можно отметить некоторое сгущение оползней, свидетельствующее о приуроченности их к зонам тектонических нарушений рыхлых отложений с коренными попродами. Где усиливается эффект сейсмических ударов.

Кроме того, предпосылки к возникновению оползневых деформаций под воздействием сейсмических сил создают крупные склоны хребтов, характер их увлажнения и обилие рыхлых отложений.

Прямыми следствием Верненского (1887) и Кеминского (1911) землетрясений явилось возникновение крупных склоновых деформаций типа оползней-обрушений и оползней-скольжений (блоковых и смешанного типа) в глинистых и лёссовидных породах неоген-четвертичного возраста в зоне «прилавков» в бассейнах р.Тургень, Аксай, Кыргаулды, Б. и М. Алматинок.

Оползни обрушения по механизму развития, форме проявления соответствуют как оползням, так и обвалам. Процесс развивается два этапа: скольжение и обрушение. Крупные деформации объемом десятки и сотни тысяч кубометров возможны лишь при сильных землетрясениях.

Возникают на склонах выпукло-вогнутой формы со средней крутизной 30-45° и высотой 300-400 м, линия бровки отчленения тяготеет к узким водораздельным гребням или привершинным участкам склона крутизной 45° и более. Ниша отрыва прямоугольной формы, вытянута по фронту, скорость смещения измеряется в км/час.

Важнейшая особенность оползневого процесса – это его повторяемость во времени. Е.П. Емельянова выделяет два вида повторяемости оползневого процесса:

- проявление процесса на одном и том же участке (цикличность 1-го вида);
- закономерная массовая активизация оползней в пределах изучаемой территории (цикличность 2-го вида).

Цикличность первого вида, очевидно, связана с вышеуказанными «классическими» причинами возникновения, а цикличность второго вида, по-видимому, вызывается глобальными геодинамическими явлениями.

Значительная часть исследованных современных оползней образуется в зоне древних и старых оползневых цирков. Все эти обстоятельства позволяют говорить об обоснованности научных оценок селе-оползневой опасности.

Итоговая карта по северному склону Иле Алатау приведена на рис.7.

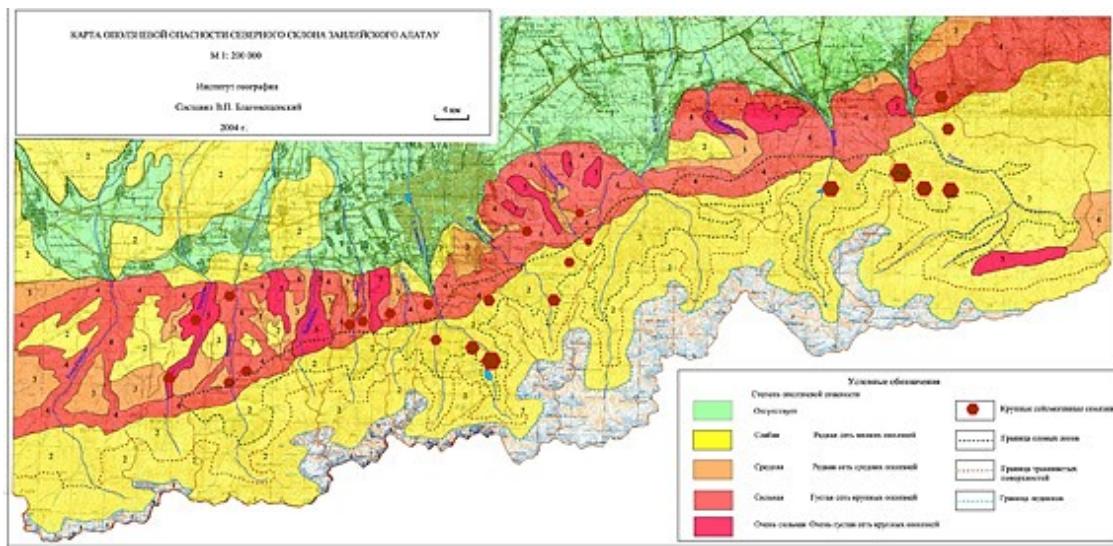


Рисунок 7- Карта оползневой опасности северного склона Заилийского Алатау

Оползневая опасность в Казахстане изучена недостаточно. В соответствии с рисунком 8 последним мощным и неожиданным был оползень-поток 14 марта 2004 г., унесший 29 человеческих жизней.



Рисунок 8 - Оползень-поток 14 марта 2004 г.

Последовавшее за этим распоряжение Президента Республики Казахстан от 19 марта 2004 года № 451 «О мерах по предотвращению чрезвычайных происшествий на территории республики» стимулировало серьезное изучение оползневой опасности северных склонов Заилийского Алатау. Автор непосредственно участвовал в исследовании оползневой опасности в качестве заказчика.

По генетическим признакам селевые явления на рассматриваемой территории в обобщенном плане распределяются в следующих соотношениях:

1. 70% это сели ливневого и дождевого генезиса, иногда в сочетании с интенсивным снеготаянием.

2. 20 % - гляциальные сели в различных модификациях.

3. 10 % - сели завально-прорывного характера, связанные с временными подпрудами, в том числе сейсмогенного происхождения.

Здесь же отмечается, что «в литературе и ведомственных обзорах по горным районам Казахстана приводится свыше 200 характеристик и различного рода описаний селей. Причем большинство из них по Иле Алатау, где зарождаются наиболее мощные по энергетическим параметрам селевые потоки. Всего в пределах упомянутой территории органами Казгидромета и ГУ «Казселезащита» учтено 788 селепроявлений по 300 селевым бассейнам. Из них более 400 в Иле, 114 в Жетысу, 142 в Таласском Алатау, 21 в Карагату, 7 в Киргизском хребте, 15 в Кунгей Алатау, 9 в Кетпене, 8 в Сауыр-Тарбагатае, 9 в Казахстанском Алтае, 3 в Шу-Илейских горах. На наш взгляд, приведенные цифры далеко не отражают реальных масштабов селевой деятельности, если принять во внимание неравномерность и подчас весьма слабую изученность селевых бассейнов, а в ряде случаев отсутствие по ним достаточно квалифицированных наблюдений. В монографии Т.А. Баймольдаева и В.Н. Виноходова отмечается, что за последние 80-90 лет были зафиксированы 800 случаев селевых потоков различного генезиса. Эти данные являются более реальными, если учесть, что в последние годы был зафиксирован ряд селевых потоков в Иле Алатау и других горных районах Юго-Восточного Казахстана».

На рисунке 9 приведем карты типизации селеопасности, выполненную Институтом географии, выполненные на очень высоком научно уровне и позволяющими достаточно точно оценить весь потенциал селеопасности мегаполиса Алматы и Алматинской области в целом, что может быть полезно населению и различным организациям. На рисунке 9 представлена детальная карта типизации селеопасности, разработанная Институтом географии, которая демонстрирует пространственное распределение угроз в мегаполисе Алматы и Алматинской области. Согласно легенде, территория классифицирована на семь основных категорий в зависимости от степени риска, где наиболее критической является зона I (выделена ярко-красным цветом). Данная зона характеризуется весьма высокой степенью опасности с возможностью зарождения катастрофических селей, где расходы (Q) могут достигать $1500 \text{ м}^3/\text{сек}$, а экстремальные расходы (Q_{extr}) — до $10\,000 \text{ м}^3/\text{сек}$. Высокогорные районы хребтов Иле-Алатау и Кунгей-Алатау попадают

именно в эту категорию, что обусловлено наличием ледникового питания и термокарстовых процессов в стадиях современной активизации. Картографический анализ показывает, что основные селевые очаги сосредоточены в бассейнах рек Киши и Улкен Алматы, создавая постоянную угрозу для густонаселенных предгорных массивов.

Пространственная дифференциация опасностей дополняется анализом типов селей по характеру водного питания, среди которых выделяются гляциальные, дождевые и смешанные типы. На рисунке отчетливо видны зоны II и III, имеющие потенциально высокую степень селеопасности, где активные процессы деструкции склонов находятся в стадии современной активизации. Использование таких параметров, как объемы выноса за один сель (B до 5 млн.м³) и энергетические классы потоков (K до 10), позволяет проводить точное инженерное моделирование для проектирования защитных сооружений. Важной особенностью данной карты является интеграция данных о сейсмичности региона (изосейсты 8 и 9 баллов), что позволяет учитывать риски возникновения сейсмоселей при сильных землетрясениях магнитудой M > 6.5. Таким образом, представленный материал объединяет геоморфологические, гидрологические и сейсмические факторы, формируя комплексную научную базу для мониторинга территорий.

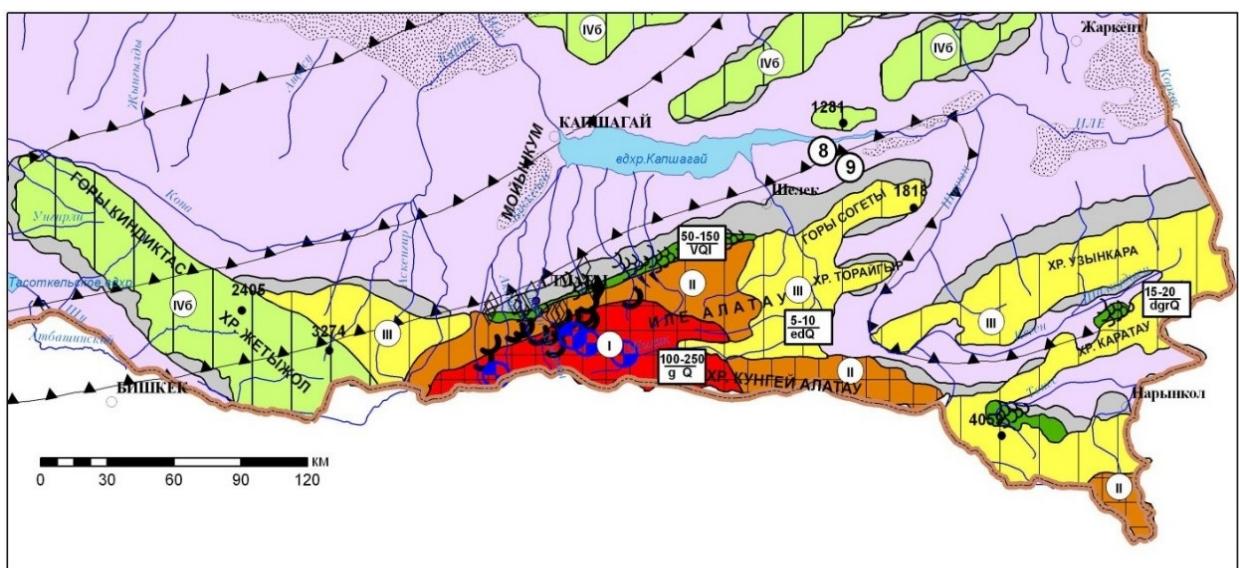


Рисунок 9- Карта типизации селеопасности Иле Алатау (составили А.Р. Медеу, Н.Ф. Колотилин), условные обозначения даны ниже

Условные обозначения к карте типизации селеопасности указаны на рисунке 10. Представляет собой комплексную классификацию, разделенную на пять основных блоков: категории опасности, технические параметры потоков, типы водного питания, морфологию очагов и дополнительные прогнозные реквизиты. Легенда детализирует семь зон риска, где для каждой указаны расчетные расходы воды и селевой массы (Q), объемы выноса (B),

повторяемость событий (Р) и энергетические классы (К), что позволяет количественно оценить разрушительный потенциал процессов. Особое внимание уделено генезису селей (гляциальные, дождевые, сейсмогенные) и стадиям современной активизации очагов, включая термокарстовые и обвально-оползневые механизмы. На карте также отображены изосейсты сейсмической активности (8–9 баллов) и шлейфы конусов выноса, что в совокупности с данными о мощности селеформирующих отложений обеспечивает научную базу для проектирования защитных сооружений и оперативного управления рисками в Алматинском регионе.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	
I. КАТЕГОРИЯ СЕЛЕОПАСНОСТИ	
	Зоны весьма высокой степени селеопасности с очаговым зарождением катастрофических селепроявлений: В до 5 и >; Q до 1500; Qextr до 5 000 - 10 000; Р-15-20 при Q < 100 и Р-2-5 при Q >> 100-500; К до 9-10.
	Зоны потенциально высокой степени селеопасности: В до 1,0; Вextr до 1,5; Q до 500; Q extr до 2000. Р < 1 - 2 при Q < 500 и >; К-7-8.
	то же, в стадии современной активизации
	Зоны средней степени селеопасности: В до 0,5; Q до 100; Р-5-15 при Q < 100; К-6.
Зоны относительно слабой степени селеопасности с преобладанием:	
	селях паводков: В < 0,5 (чаще < 0,3); Q до 70-80, Р до 30-50; К-4-5; Kextr-6
	водных паводков с повышенным твердым стоком: Q водн. до 20-50; Q водн. (extr) > 100 (локально при Р-5-10)
	эпизодических проявлений тальвежно-русловых выносов боковых логов. (Q < 20)
	Зоны возможного проявления сейсмоселей при сходе сейсмических оплывин: V до 100-500 в случае М до 6,5-7,3 и I ₀ = 9-10
II. ПАРАМЕТРЫ ВОЗМОЖНЫЕ	
В - объемы выносов за один сель (млн.м ³); Q- селевые расходы (м ³ /сек); Qextr - тоже, экстремум (м ³ /сек); Q водн.-паводковые расходы (м ³ /сек); Р- повторяемость (%); V - возможные объемы сейсмических оплывин (тыс. м ³); М - магнитуда землетрясений; I ₀ - сила землетрясений в баллах; К- энергетические классы селевых потоков (K=lgE), где E -кинетическая энергия потоков (Дж)	
III. ТИПЫ СЕЛЕЙ ПО ХАРАКТЕРУ ВОДНОГО ПИТАНИЯ	
	а) гляциальные, б) дождевые
	Смешанного питания: а) гляциальные с участием дождевых; б) дождевые с участием снеговых
IV ХАРАКТЕРНЫЕ ТИПЫ СЕЛЕВЫХ ОЧАГОВ В СТАДИИ СОВРЕМЕННОЙ АКТИВИЗАЦИИ	
	Термокарстовые, ледникового питания
	Преимущественно склоновые и русловые ливневого и смешанного питания
	Обвалы (а) и оплывины (б), преимущественно сейсмогенные
	Селевые отложения: а) современные; б) древние
V. ПРОЧИЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ	
	Неселеопасная территория
	Шлейфы конусов выноса
	Изосейсты и фоновая сейсмичность в баллах
	Мощность в м (числитель) и геолого-генетические типы поверхностных (селеформирующих отложений) (знаменатель)
	Основные типовые схемы комплекса противоселевой защиты
	Участки, требующие ускоренных специальных исследований

Рисунок 10- Условные обозначения к карте типизации селеопасности

Методология оценки оползневого риска с применением геоинформационных технологий, и в частности платформы ArcGIS, представляет собой комплекс взаимосвязанных этапов, направленных на выявление, анализ, моделирование и прогнозирование склоновых процессов в пределах определённой территории.

Использование ArcGIS позволяет интегрировать геодезические, геологические, климатические и пространственные данные в единую аналитическую среду, обеспечивая системный подход к изучению опасных природных процессов. Данная методология является универсальной и применяется в научных исследованиях, градостроительном планировании, инженерных изысканиях и природоохраных работах.

Первым этапом оценки оползневого риска является сбор и унификация разнообразных пространственных данных, являющихся основой для последующих вычислений. Для анализа склоновых процессов в Алматы необходимо учитывать комплекс факторов:

ЦМР является ключевым элементом модели, так как формирует морфометрические параметры уклона, экспозицию, форму поверхности, вертикальную расчленённость. В качестве источников применяются:

- SRTM (30 м),
- ALOS PALSAR (12,5 м),
- LiDAR-съёмка (при наличии),
- локальные ЦМР, созданные с использованием GNSS и тахеометрии.

ЦМР проходит этап фильтрации, устранения пробелов и выравнивания для получения корректных моделей склонов.

2. Геологические и инженерно-геологические данные. Сюда включаются карты литологии, зон выветривания, мощности рыхлых отложений, линии разломов, зоны сейсмотектонической активности. Лессовые и делювиальные породы Алматы являются потенциально опасными, поэтому их выделение крайне важно.

3. Геодезические данные наблюдений. Используются результаты нивелирования, GNSS-наблюдений, данные InSAR, а также результаты инженерных мониторингов на отдельных объектах. Эти данные позволяют выявлять активные деформации.

4. Гидрологические и климатические данные. Включают: интенсивность осадков, уровень грунтовых вод, влажность грунтов, расстояние до рек и оврагов, глубину водоупоров. В Алматы сильные осадки и снеготаяние – один из ключевых триггеров оползней.

5. Исторические карты оползней. Использование архивных данных позволяет выявить закономерности, определить наиболее опасные участки и провести калибровку модели.

6. Техногенные и инфраструктурные данные. Необходимо учитывать застройку, дороги, коммуникации, зоны выемок и насыпей, так как техногенное воздействие значительно увеличивает вероятность оползней в городской среде.

Все данные приводятся к единой системе координат, одинаковому разрешению и выравниваются для последующей обработки. На рисунке 11 представлено пространственное распределение уровней оползневого риска по регионам Республики Казахстан. Наибольшая активность оползней в Республике Казахстан наблюдается в следующих регионах:

Алматинская область – горные районы Заилийского Алатау;

Жамбылская область – предгорные и горные зоны;

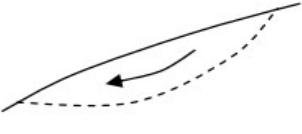
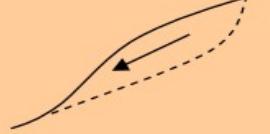
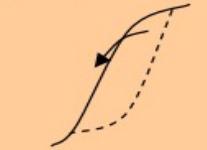
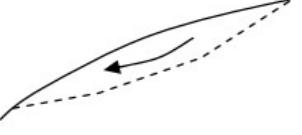
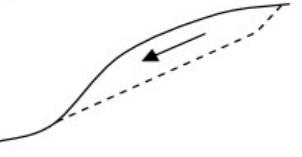
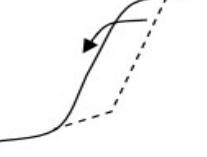
Туркестанская область – особенно в предгорьях Таласского Алатау.



Рисунок 11 - Пространственное распределение уровней оползневого риска по регионам Республики Казахстан

Виды бедствий на склонах. Для проведения эффективных мер в отношении неустойчивых склонов необходимо прояснить механизм формирования их неустойчивости. В этой связи была предпринята классификация бедствий на склонах, на основании 2 рубрик – угла наклона и геологического строения склона. При этом основное внимание было обращено на механизм формирования неустойчивости.

Таблица 3 - Классификация видов бедствий на склонах

Уклон Порода \	Небольшой (1)	Средний (2)	Большой (3)
Грунт (S)	Оползень (S1) 	Обрушение грунта (S2) 	Обвал грунта (S3) 
Скальная порода (R)	Сползание скальной породы (R1) 	Обрушение скальной породы (R2) 	Обвал скальной породы (R3) 

В районе Алматы сравнительно мало выходов скальной породы на поверхность, и широко распространены илистые грунты, имеющие довольно низкую вязкость. Поэтому на склонах чаще всего возникают такие бедствия, как обрушение грунта (S2) и обвал грунта (S3).

Для вынесения оценки о степени опасности бедствия необходимо, прежде всего, уяснить целевые объекты охраны. Такими объектами были заданы реки, жилые дома и дороги.

В качестве предрасполагающих топографических факторов было взято топографическое и геологическое зонирование, а также показатели уклона.

С учетом отчетов ранее предыдущих исследований, в качестве предрасполагающего геологического фактора рассматривалась геологическая структура склонов. С точки зрения геологии, подверженные бедствиям склоны относятся к типам «deg Q III-IV» (поверхностные слои горной зоны, сложенные осипными осадочными отложениями) и «fQ I» (илистые осадочные отложения верхнечетвертичного периода в зоне предгорий). В частности, при достижении влагонасыщения прочность обладающих низкой вязкостью илистых отложений предгорий (fQ I), снижается, что становится фактором перехода склона в неустойчивое состояние.

Были зарегистрированы высота, длина и ширина неустойчивых склонов, а также толщина неустойчивых массивов грунта. На основании этих данных был рассчитан вес предполагаемых массивов неустойчивого грунта. Размеры неустойчивого склона прямо связаны с масштабом бедствия и являются поэтому важным элементом оценки.

Инициирующие факторы были подразделены на природные и антропогенные, и было зарегистрировано содержание каждой группы факторов. Природными инициирующими факторами являются, в основном, следующие: крутизна склонов; слабость грунтов; подземные воды; поверхностные воды. В районе Алматы, в частности, во многих случаях инициирующим фактором является речная эрозия. Антропогенные факторы отличаются разнообразием и включают протечки водопроводов,

ненадлежащую выемку грунта, строительство обладающих недостаточным уплотнением земляных насыпей, и т.д. Причинами антропогенных факторов являются недостаточное понимание субъектами, ведущими застройку и хозяйственное освоением территории, рисков бедствий на склонах, а также изъяны в функционировании системы административного руководства реализацией проектов. Необходимо срочное принятие соответствующих коррекционных мер.

Для количественной оценки устойчивости склонов при землетрясении необходимо выполнить подробную топографическую съемку, вести наблюдение за уровнем подземных вод, рассчитать геологические константы (адгезионную способность, угол внутреннего трения, плотность), затем рассчитать устойчивость и т.д. Целью при этом ставилось определиться с дальнейшими контрмерами. Была выполнена оценка риска по каждому из следующих 3 факторов: предполагаемому масштабу бедствия; предполагаемой частоте возникновения бедствия; объектам охраны. На основе этих частных оценок была выведена комплексная оценка. Критерии оценки риска по каждому фактору и критерии комплексной оценки указаны в Табл. 4.1~4.4

Таблица 4.1 - Критерии оценки масштаба предполагаемого бедствия

Оценка	Предполагаемый масштаб бедствия
A	10 000 м ³ и более
B	1 000 м ³ ~ 10 000 м ³
C	менее 1 000 м ³

Таблица 4.2 - Критерии оценки частоты возникновения бедствия

Оценка	Частота возникновения бедствия (историческая)
a	Часто возникало в прошлом. Или же, случалось совсем недавно.
b	Случалось в прошлом.
c	Сведений о возникновении в прошлом не имеется.

Таблица 4.3 - Критерии оценки объектов охраны

Оценка	Объекты охраны
1	Участки, на которых имеются коммунальные объекты, важные объекты инженерно-коммунальной инфраструктуры; участки, на которых имеется много жилых домов
2	Участки, через которые проходят дороги; участки, на которых стоят несколько жилых домов
3	Реки, горные леса и т.д.; территории, на которых жилых домов мало, или где жилые дома отсутствуют

Таблица 4.4 - Матрица комплексной оценки

	A			B			C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
	1	Выс	Выс	Выс	Выс	Ср	Ср	Выс	Ср
2	Выс	Выс	Ср	Ср	Ср	Низ	Ср	Низ	Низ
3	Выс	Ср	Ср	Ср	Низ	Низ	Низ	Низ	Низ

На таблице 5 практически все аварийные склоны, оценка риска возникновения бедствия на которых высокая, приходили в неустойчивое состояние под воздействием антропогенных факторов.

Таблица 5 - Обзорная таблица (результаты исследования существующих материалов по оценке склонов; итоги дополнительных исследований)

а) Бассейн р. Большая Алматинка

№	а) Виды бедствий на склонах		б) Объект охраны	в) Топографические факторы		г) Геологические факторы	е) Масштаб				ж) Инициирующие факторы			Вынесение заключения о риске				
	Рельеф	Уклон (°)		Высота (м)	Длина (м)	Ширина (м)	Толщина слоя (м)	Размер массива грунта (м ³)	Природн.	Антропоген.	Сохрание	Масштаб склона	Частота возникновения	Объект охраны	Оценка риска			
1-1	S3	Обвал грунта	Река	Горный район	60	degQ III-IV	300	-	400	10	1 000 000	○	-	Речная эрозия	A	а	3	Выс.
1-2	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	18-25	-	80	3	6 000	○	-	Речная эрозия	B	а	3	Средн.
1-3	S2	Обвал грунта	Река	Район предгорий	20-30	fQ I	-	30	12	5-8	1 000	-	○	Протечка из водопровода	B	а	3	Средн.
1-4	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	-	100	50	0,5	2 500	○	-	Речная эрозия	B	а	3	Средн.
1-5	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	-	70-80	20-40	4-5	16 000 (1 500)	-	○	Протечка из водопровода	A	с	1	Выс.
1-6	S3	Обвал грунта	Река	Горный район	60-80	degQ III-IV	25-30	-	300	0,5	4 500	○		Речная эрозия, создание земляной насыпи	B	а	3	Средн.
1-7	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	35	fQ I	100	200	250	5	250 000 (100 000)	○		Выемка грунта на участке	A	б	1	Выс.
1-8	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	35	fQ I	200	450	400	5	900 000 (500 000)	○		Выемка грунта на участке	A	б	1	Выс.
1-9	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	20	100	30	0,5	1 500 (1-5)	○		Выемка грунта под дорогу	B	б	2	Средн.
1-10	S3	Обвал грунта	Дорога, река	Горный район	60-70	degQ III-IV	50	70	50	0,5	1 750	○	-	Речная эрозия	B	а	2	Средн.
1-11	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	20	50	30	0,5	750 (100)	○	-		C	б	2	Низкий
1-12	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60-70	degQ III-IV	20	50	30	0,5	750 (100)	○	-		C	б	2	Низкий
1-13	R2	Крушение скальной породы	Река	Горный район	60-70	degQ III-IV	250	250	100	0,5-1	25 000 (100-200)	○	-		B	б	3	Низкий
1-14	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	10	50	15	0,3	225 (100)	○		Выемка грунта под дорогу	C	б	2	Низкий
1-15	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	10	50	15	0,3	225 (1-5)	○		Выемка грунта под дорогу	C	б	2	Низкий
1-16	R2	Крушение скальной породы	Дорога	Горный район	60-70	degQ III-IV	30	50	15	0,3	225 (500)	○		Выемка грунта под дорогу	B	б	2	Средн.

б) Бассейн р. Малая Алматинка

№	а) Виды бедствий на склонах	б) Объект охраны	с) Топографические факторы		д) Геологические факторы	е) Масштаб				ф) Инициирующие факторы		Вынесение заключения о риске				
			Рельф	Уклон (°)		Высота (м)	Длина (м)	Ширина (м)	Размер массы грунта (м³)	Природн.	Антропоген.	Содержание	Масштаб склона	Частота возникновения	Объект охраны	Оценка риска
2-1	S2	Обвал грунта	Жилые дома, дорога	Район предгорий	35-40	fQ I	-	200 100 5	100 000	○	-		A	b	1	Выс.
2-2	S2	Обвал грунта	Река	Горный район	30-40	degQ III-IV	-	150 40 2-3	20 000	○		Речная эрозия	A	b	3	Средн.
2-3	S2	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	40-45	fQ I	18-20	- 30 2-3	1 000	○	-		B	b	2	Выс.
2-4	S2	Обвал грунта	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	30	- 5-7 1-2	1 000	-	○	Протечка из водопровода	B	a	1	Выс.
2-5	S2	Обвал грунта	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	-	40 10-12 4-6	1 200	-	○	Протечка из водопровода	B	a	1	Выс.
2-6	S1	Оползень	Дорога, жилые дома	Район предгорий	-	Земляная насыпь	-	60 30 -	1 500	-	○	Недостаточное уплотнение земляной насыпи	B	a	1	Выс.
2-7	S1	Оползень	Дорога, жилые дома	Район предгорий	-	Земляная насыпь	-	80 60 -	10 000	-	○	Недостаточное уплотнение земляной насыпи	A	a	1	Выс.
2-8	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	-	60 30 3-5	3 000				B	a	1	Выс.
2-9	S2	Обвал грунта	Жилые дома	Район предгорий	25-35	fQ I	-	50 10-12 2-3	1 000	-	○	Протечка из водопровода	B	a	1	Выс.
2-10	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	10 20 0,3	10	○	-		C	b	2	Наскок
2-11	S1	Оползень	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	10	- 30 0,5	10	○	-	Речная эрозия	C	b	2	Наскок
2-12	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	10 30 0,5	10	○		Выемка грунта под дорогу	C	b	2	Наскок
2-13	S1	Оползень	Река	Район предгорий	60	fQ I	-	20 10 0,5	200	○	-	Речная эрозия	C	b	3	Наскок
2-14	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	100	30 200 5	50 000				A	b	3	Средн.
2-15	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	10	30 20 0,5	100	○	-		C	b	3	Наскок
2-16	S1	Оползень	Река	Район предгорий	40	fQ I	200	500 700 10	1 000 000				A	b	3	Средн.
2-17	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	30	70 30 1	1 000				B	b	3	Наскок
2-18	S1	Оползень	Река	Район предгорий	60	fQ I	-	200 150 5	150 000	-			A	b	3	Средн.
2-19	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	400 150 5	300 000	-	○	Протечка из водопровода	A	c	2	Средн.
2-20	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	10 30 0,5	10	○		Выемка грунта под дорогу	C	c	2	Наскок
2-21	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	15 50 0,5	10	○		Выемка грунта под дорогу	C	c	2	Наскок
2-22	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	50 30 2	1 000	○		Выемка грунта под дорогу	B	c	2	Наскок
2-23	S1	Оползень	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	50	200 50 2	10 000	○		Выемка грунта под дорогу	A	c	2	Средн.
2-24	S3	Обвал грунта	Река	Горный район	60-70	degQ III-IV	20	30 300 0,5-1,5	1 000	○	-	Речная эрозия	B	a	3	Средн.
2-25	R3	Крушение скальной породы	Дорога	Горный район	60-70	degQ III-IV	10	15 30 0,5	20	○	-		C	b	2	Наскок
2-26	S2	Обвал грунта	Река	Горный район	35	degQ III-IV	150	200 10 0,5	500	○	-		C	a	3	Средн.
2-27	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	35	degQ III-IV	-	150 10 0,5	500	○	-		C	c	2	Наскок
2-28	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	40	degQ III-IV	-	30 10 0,3	100	○	-		C	b	2	Наскок
2-29	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	30	degQ III-IV	20	30 2-5 1-1,5	80	○	-		C	b	2	Наскок
2-30	S2	Обвал грунта	Река	Горный район	35-40	degQ III-IV	-	- - 1-1,5	-	○	-		C	a	3	Наскок

3 Методы и средства геодезического анализа в ArcGIS

3.1 Основные возможности ArcGIS для геодезического анализа

ArcGIS — это комплексная геоинформационная система (ГИС), разработанная компанией Esri, которая используется для сбора, анализа, визуализации и управления пространственными данными. В геодезии ArcGIS применяется для решения широкого спектра задач — от построения топографических карт до моделирования земной поверхности, анализа рельефа и мониторинга изменений местности. Современные методы геодезического анализа требуют точных, масштабируемых и визуализируемых решений, которые предоставляет платформа ArcGIS.

В Республике Казахстан ArcGIS активно используется в:

- Геодезическом обеспечении кадастра;
- Оценке оползневых рисков в предгорьях Алматы и Жамбылской области;
- Мониторинге береговой линии Каспийского моря;
- Проектировании инфраструктуры в горных и степных районах.

Система ArcGIS включает в себя несколько компонентов:

- ArcGIS Pro — основной настольный инструмент для работы с пространственными данными.
- ArcGIS Online — облачная платформа для совместной работы и публикации карт.
- ArcGIS Enterprise — корпоративная система для управления ГИС-данными на серверах.

Эти компоненты обеспечивают интеграцию различных источников данных, включая табличные данные, чертежи, облачные хранилища данных и другие форматы, обеспечивая включение различных наборов данных и форматов.

Один из важнейших аспектов геодезии — анализ рельефа. ArcGIS предоставляет инструменты для создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) из данных съемок или спутников. С помощью этих моделей можно выполнять анализ уклона, экспозиции, перегибов склонов и водосборных бассейнов. Также возможно построение профилей рельефа для инженерных проектов.

3.2 Сбор, обработка и анализ геодезических данных с использованием ArcGIS

Прогнозирование оползней и мониторинг требуют точного пространственного анализа и интерпретации геоданных. ArcGIS — одна из самых мощных ГИС-платформ, позволяющая комплексно исследовать риски оползней, объединяя различные источники данных, инструменты анализа и визуализации. Сбор геодезических данных.

Источники:

- Топографические карты и GPS-данные: используют для построения

цифровой модели местности.

- Данные дистанционного зондирования (ДЗЗ): спутниковые снимки (Sentinel, Landsat), аэрофотосъёмка, данные с дронов (UAV).
- Лидар (LiDAR): позволяет получить высокоточные облака точек и модели рельефа.
- Геологические и инженерные данные: для оценки состава пород, влажности и предыдущих оползней.
- Инструменты в ArcGIS:
- ArcGIS Pro: импорт растров и векторов, настройка системы координат.
- ArcGIS Field Maps: мобильный сбор геоданных в полевых условиях.

Методы предварительной обработки данных и построения ЦМР Процесс анализа начинается с формирования высокоточной цифровой модели рельефа (ЦМР/DEM). С использованием инструментов Raster to TIN и алгоритмов интерполяции создается основа для извлечения морфометрических параметров. На этом этапе ключевое значение имеет извлечение таких производных, как Slope (уклон), определяющий гравитационную составляющую, Aspect (экспозиция), влияющий на инсолацию и увлажнение, и Curvature (кривизна), позволяющая идентифицировать вогнутые формы рельефа, склонные к накоплению влаги. Для повышения точности модели применяется программная фильтрация и сглаживание, устраниющие артефакты и «шумы» в исходных данных.

Пространственный анализ и многокритериальное моделирование Центральным звеном методологии является многокритериальный анализ (MCE / Weighted Overlay). Этот метод позволяет интегрировать разнородные слои данных — геологическое строение, тип растительности, близость к дорожной сети и гидографическим объектам — путем присвоения им весовых коэффициентов на основе экспертных оценок. Дополнительно проводится буферизация (например, зон влияния рек и дорог в радиусе 200 м) и плотностной анализ. Применение инструментов Hot Spot Analysis и Kernel Density позволяет выявить кластеры исторических оползней, что в сочетании с расчетом индекса LSI (Landslide Susceptibility Index) обеспечивает высокую достоверность прогностической модели.

Визуализация и представление результатов исследования. Заключительный этап включает картографическую визуализацию результатов в среде ArcGIS. Для наглядности используются карты уклонов с градиентной шкалой (от зеленого до красного цветов) и схемы ЦМР с эффектом отмычки (затенения), подчеркивающие опасные формы рельефа. Итоговая растровая карта риска классифицирует территорию по уровням опасности: от низкого до экстремально высокого. Для обеспечения доступа к результатам мониторинга в реальном времени предусмотрена возможность публикации интерактивных веб-карт и аналитических панелей через ArcGIS Online или Dashboards, что делает данные доступными для служб экстренного реагирования.

4 Применение ArcGIS для анализа риска оползней на территории

Республики Казахстан

4.1 Формирование базы геопространственных данных и предобработка цифровых моделей рельефа

В рамках настоящего исследования была реализована методика оценки подверженности территории оползневым процессам на основе геоинформационного анализа с использованием программной среды ArcGIS Pro и метода взвешенного наложения (Weighted Overlay).

Подготовка исходных пространственных данных. Практическая часть началась с загрузки национального набора данных — цифровой модели рельефа (ЦМР) с пространственным разрешением 20 метров. В качестве исследуемой территории был выбран административный район северного склона Заилийского Алатау. На рисунке 12 используется инструмент Extract by Mask, вырезанный фрагмент ЦМР точно по границам исследуемой области для оптимизации дальнейших вычислений.

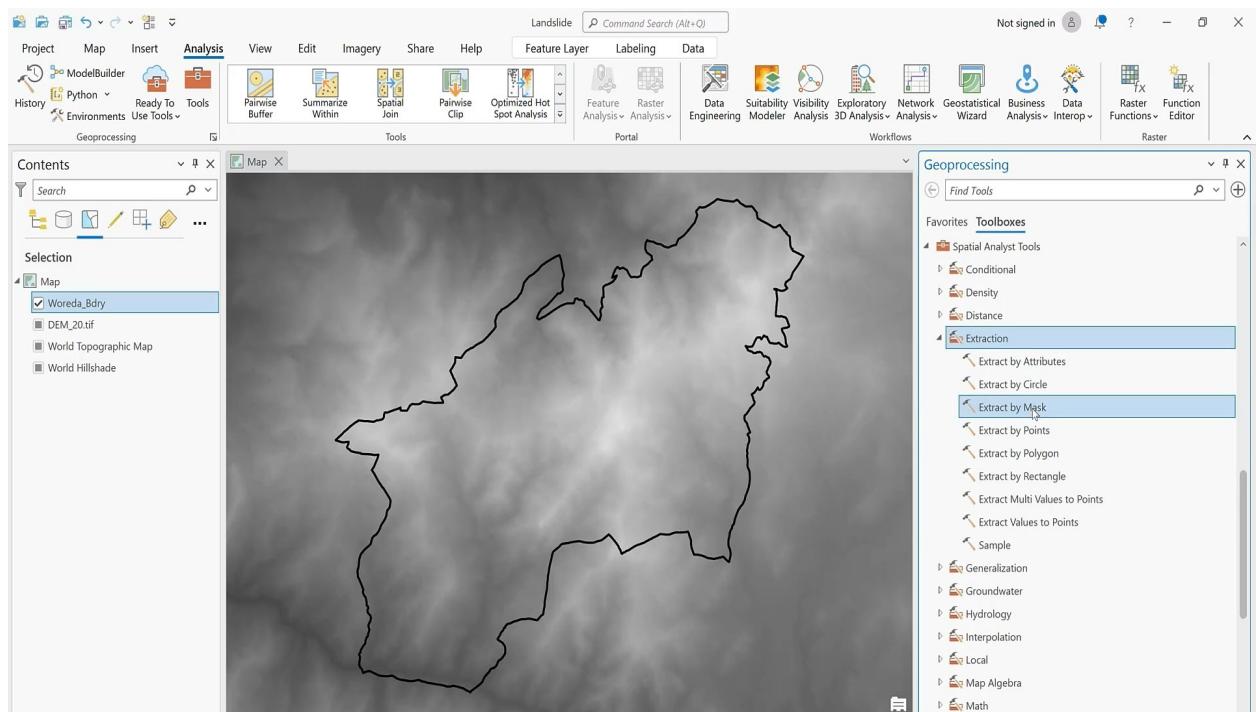


Рисунок 12 - Вырезание ЦМР точно по границам исследуемой области

Анализ фактора высоты (Elevation). Абсолютная высота является значимым фактором, так как в горных условиях она часто коррелирует с интенсивностью осадков и типом растительности.

Предварительная обработка: Перед анализом я применила инструмент Fill для коррекции ошибок в ЦМР. В результате минимальная высота скорректировалась с 947 до 952 метров, а максимальная составила 2897 метров над уровнем моря.

Переклассификация: На основе пороговых значений (согласно методике

Yalcin and Bulut, 2005), я разделила диапазон высот на классы. Поскольку минимальная высота в моей области выше 952 м, класс «0–500 м» был исключен, и я сформировала 4 итоговых класса табл. 6:

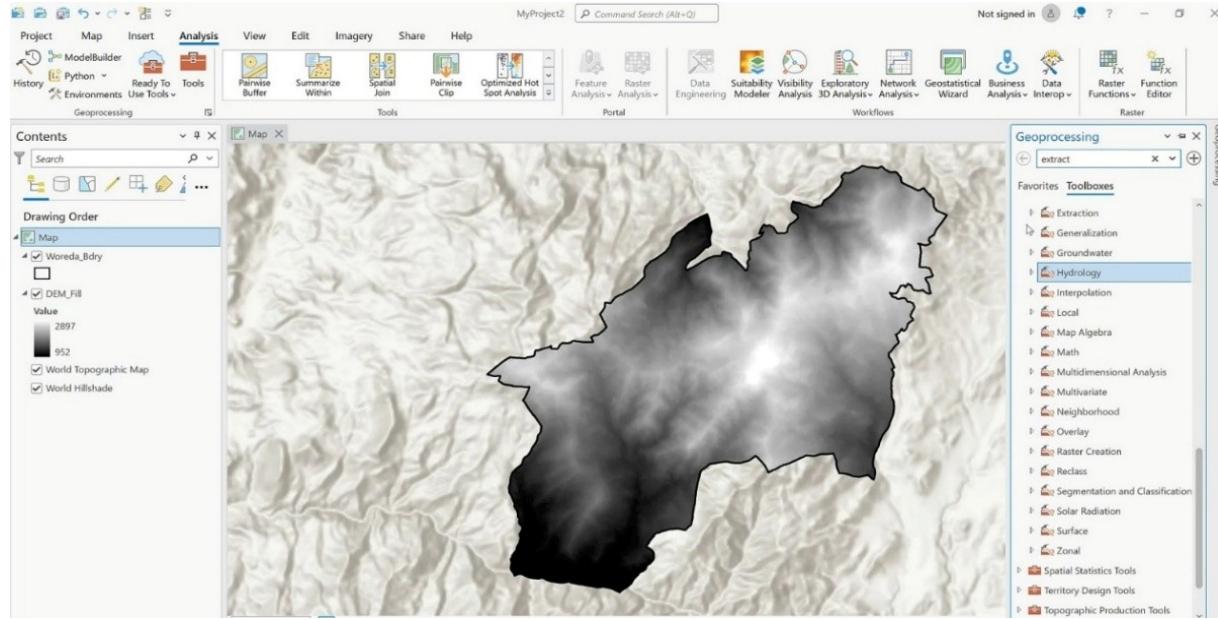
Таблица 6 – критерий оценки оползневой опасности

Критерий	Класс (Диапазон)	Качественная оценка (Вес)	Общий вес фактора
Высота (Elevation)	0–500 м 500–1000 м 1000–1500 м 1500–2000 м >2000 м	Очень низкая Низкая Средняя Высокая Очень высокая	10
Крутизна склона (Slope)	0°–5° 5°–15° 15°–25° 25°–35° >35°	Очень низкая Низкая Средняя Высокая Очень высокая	23
Экспозиция (Aspect)	Плоский (-1–0) Северная (337.5°–360° и 0°–45°) Восточная (45°–135°) Южная (135°–225°) Западная (225°–337.5°)	Очень низкая Низкая Средняя Высокая Очень высокая	5
Кривизна (Curvature)	Сильно выпуклая (> 0.10) Выпуклая (0.01–0.5) Плоская (-0.05 до 0.05) Вогнутая (-0.05 до -0.10) Сильно вогнутая (< -0.10)	Очень низкая Низкая Средняя Высокая Очень высокая	5
LS-фактор (длина и крутизна)	0–10 10–20 20–30 30–40 >40	Очень низкая Низкая Средняя Высокая Очень высокая	10

На рисунке 13 в атрибутивную таблицу растра было добавлено поле «Class» с качественными характеристиками. С помощью настройки Symbology я визуализировала карту: высокогорные районы (красный цвет) идентифицированы как зоны максимального риска, тогда как низменные участки в юго-западной части (зеленый цвет) характеризуются как наименее

язвимые в контексте высотного фактора.

а) Настройка инструмента Fill для коррекции ошибок в ЦМР



б) Полученная карта

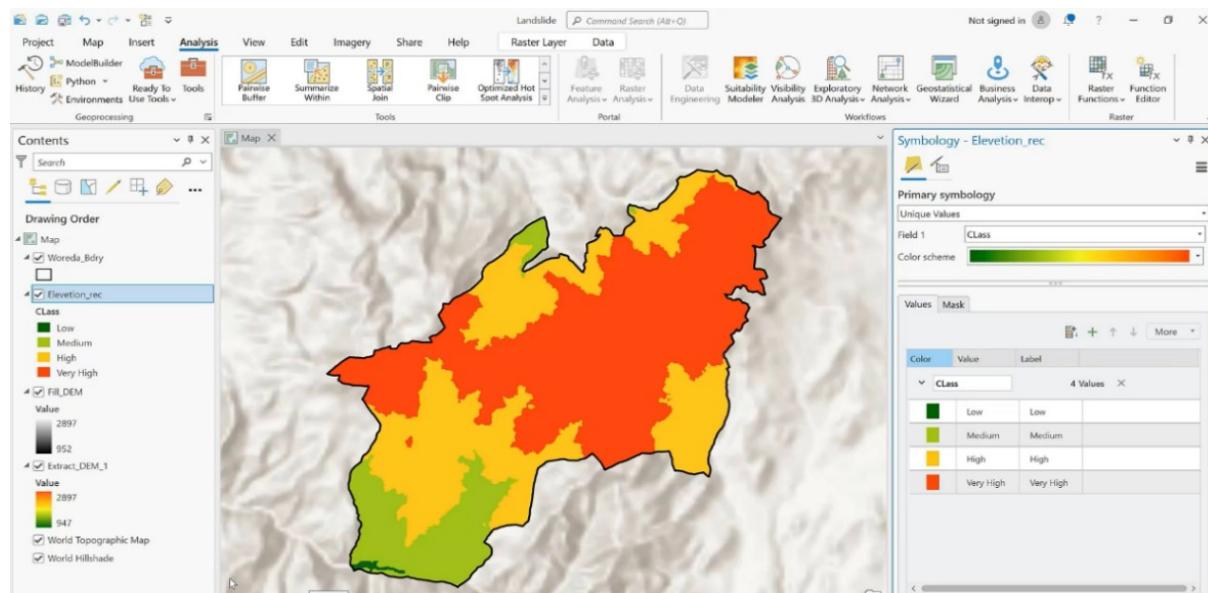


Рисунок 13 – Обеспечение высотной структуры исследуемой территории

На первом этапе были собраны и подготовлены исходные пространственные данные, необходимые для проведения анализа. В качестве базового источника информации о рельефе использовалась цифровая модель рельефа (DEM), обеспечивающая представление высотной структуры исследуемой территории. Все исходные данные были приведены к единой

системе координат и пространственному разрешению, что позволило обеспечить их корректную последующую обработку и сопоставимость.

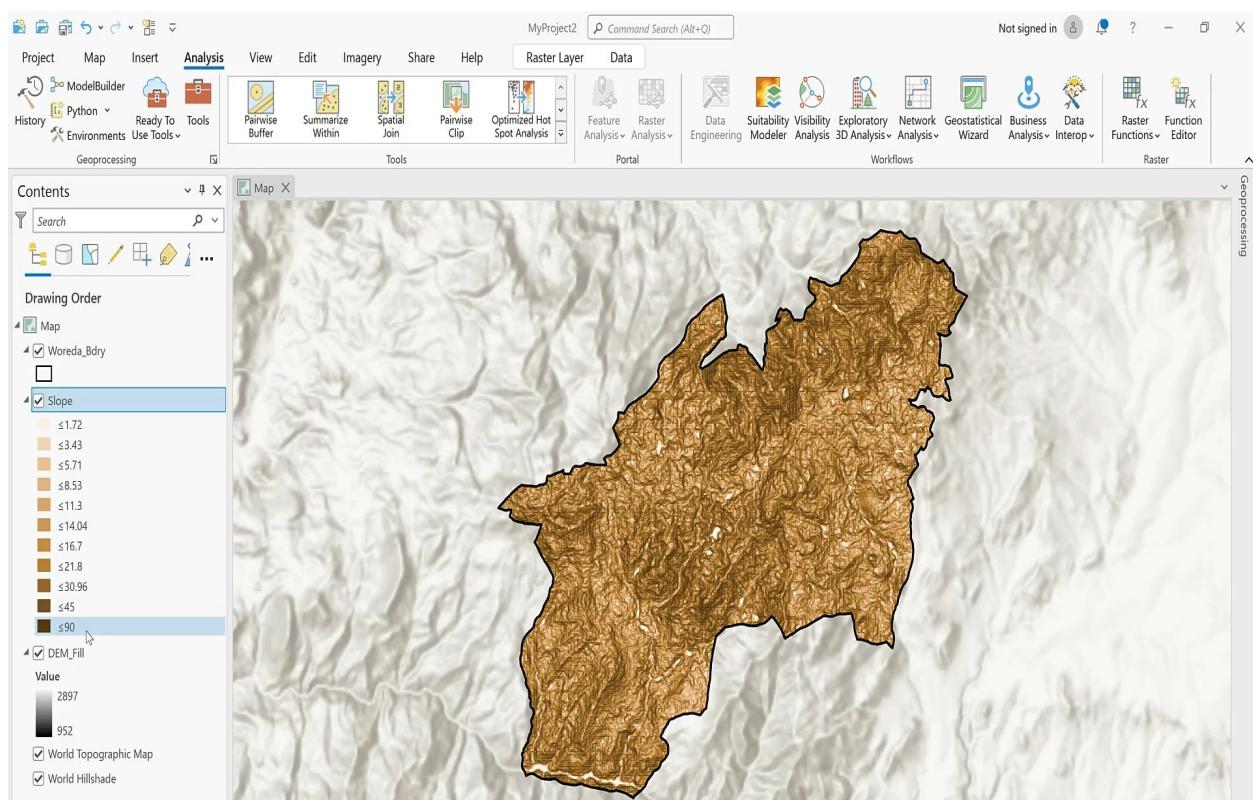
4.2 Анализ крутизны и экспозиции склонов в среде ArcGIS Pro

Анализ рельефа и построение слоя уклонов

На основе DEM с использованием инструмента Slope был рассчитан слой уклонов поверхности, отражающий пространственное распределение крутизны склонов. Уклон является одним из ключевых факторов, определяющих устойчивость склонов, поскольку увеличение угла наклона напрямую повышает вероятность возникновения оползневых процессов.

На рисунке 14 полученный слой уклонов был визуализирован с применением градуированной цветовой шкалы, что позволило наглядно выделить зоны с различной степенью крутизны склонов — от пологих до крутых и очень крутых.

а) Слой уклонов поверхности



б) Визуализированная карта с применением градуированной цветовой шкалы.

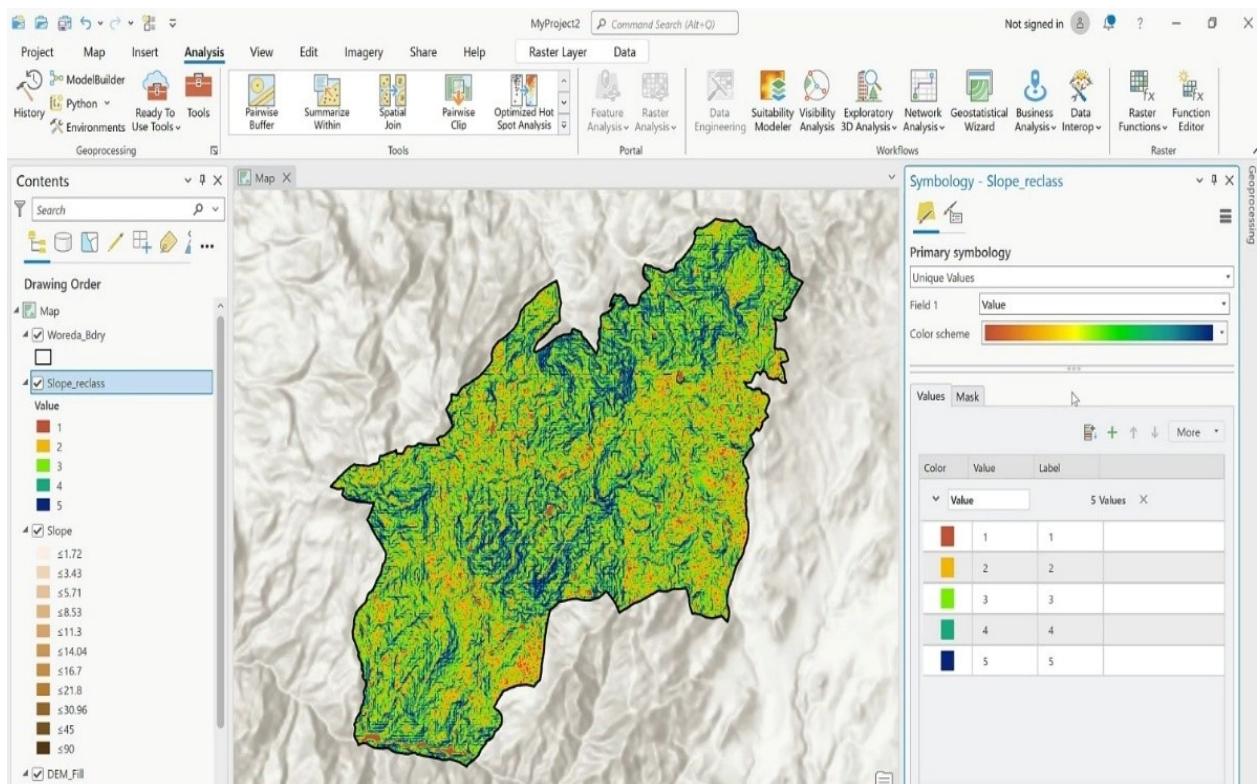


Рисунок 14 – Анализ рельефа и построение слоя уклонов

Реклассификация слоя уклонов

Для дальнейшего использования слоя уклонов в многокритериальной модели была выполнена его реклассификация. Непрерывные значения углов наклона были преобразованы в дискретные классы, соответствующие различным уровням оползневой опасности (очень низкий, низкий, средний, высокий и очень высокий). На рисунке 15 полученный этап позволил привести данные к унифицированной шкале оценок, необходимой для применения метода взвешенного наложения.

Я использовала инструмент Reclassify и установила пять основных категорий на основе пороговых значений:

1. $0^\circ - 5^\circ$: Равнинные участки (очень низкая восприимчивость).
2. $5^\circ - 15^\circ$: Пологие склоны (низкая восприимчивость).
3. $15^\circ - 25^\circ$: Средняя крутизна (умеренная восприимчивость).
4. $25^\circ - 35^\circ$: Крутые склоны (высокая восприимчивость).
5. Более 35° : Очень крутые склоны (очень высокая восприимчивость).

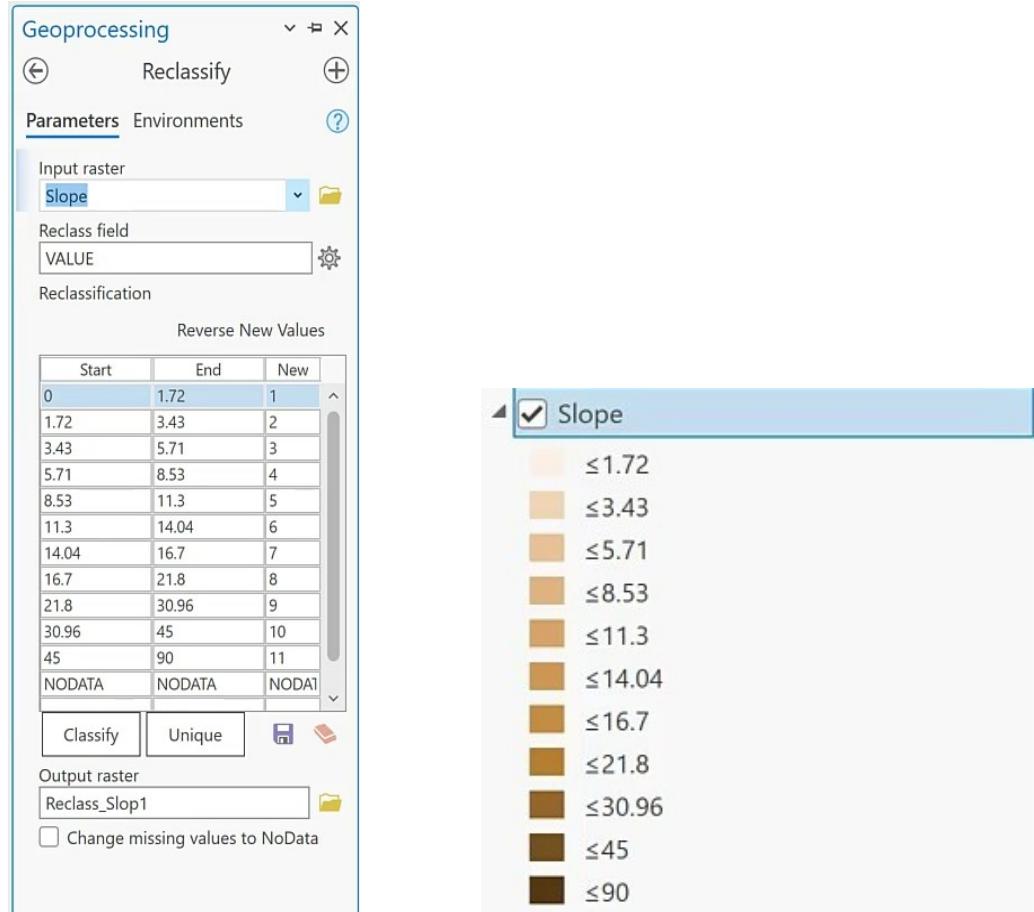


Рисунок 15 – Инструмент Reclassify и установление пять основных категорий на основе пороговых значений

4. Подготовка дополнительных факторов оползневой опасности

Помимо уклона поверхности, в исследовании были учтены и другие факторы, влияющие на формирование оползней (экспозиция склонов, геологические условия, землепользование, расстояние до гидрографической сети и транспортной инфраструктуры). Для каждого фактора были выполнены операции пространственного анализа, включая построение производных слоёв, их реклассификацию и приведение к единой оценочной шкале.

В завершение я настроила символогию (Symbology), используя цветовую шкалу от темно-зеленого (безопасные зоны) до ярко-красного (зоны максимального риска). На рисунке 16 можно увидеть полученную карту в результате настройки Symbology с цветовой шкалой.

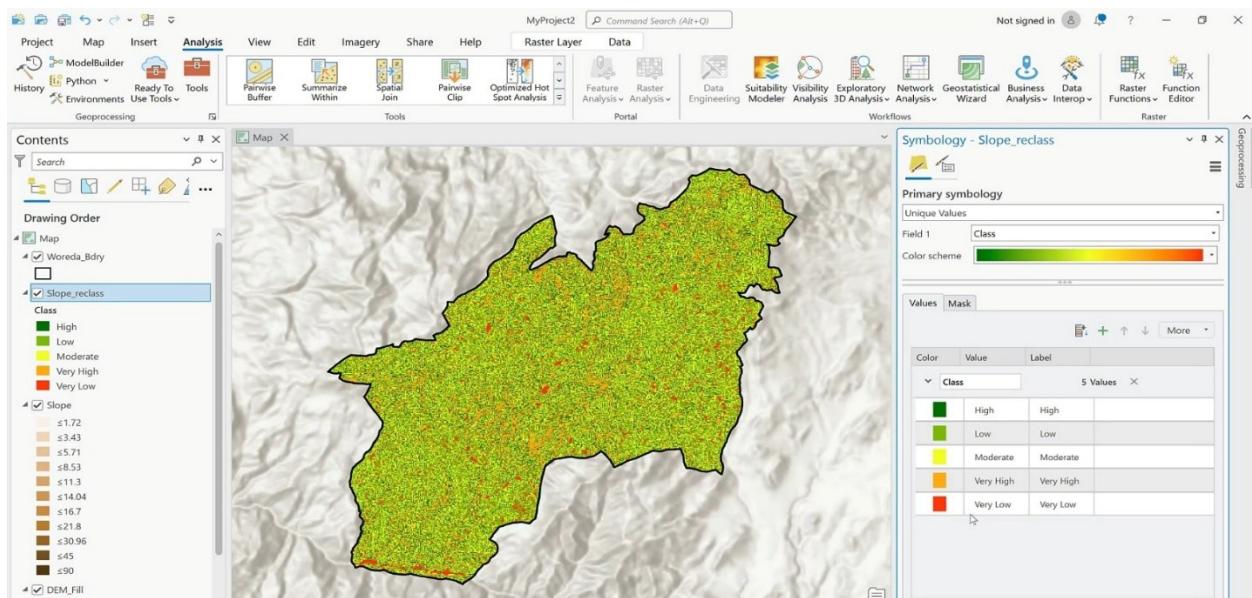


Рисунок 16 – Полученная карта в результате настройки Symbology с цветовой шкалой

5. Назначение весовых коэффициентов факторов

С целью определения относительной значимости каждого фактора в формировании оползневых процессов были заданы весовые коэффициенты, отражающие вклад соответствующего параметра в общую модель. Весовые значения определялись на основе анализа научных источников и экспертных оценок. Суммарное значение весов факторов составляло 100 %, что обеспечивало корректность применения метода взвешенного наложения. На рисунке 17 показано создание новое текстовое поле Class.

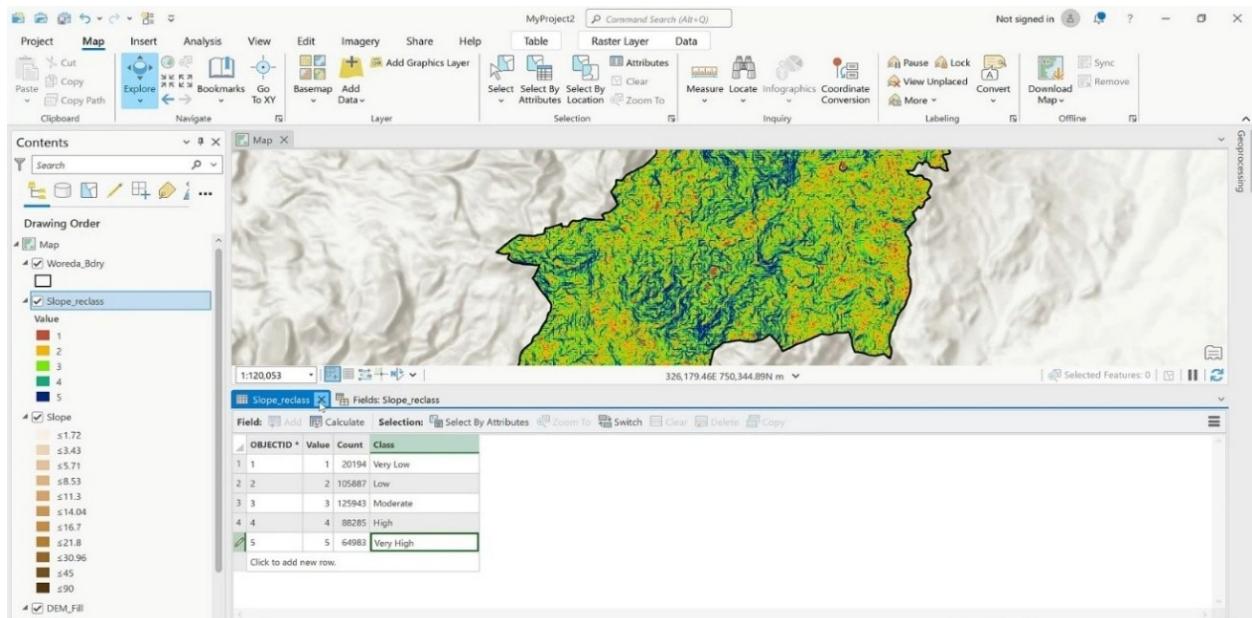


Рисунок 17 – Создание новое текстовое поле Class

6. Реализация модели взвешенного наложения

На следующем этапе была реализована модель Weighted Overlay, в рамках которой все переклассифицированные факторные слои были интегрированы в единую пространственную модель. Итоговая карта получена на рисунке 18. В результате взвешенного суммирования факторов была получена интегральная карта подверженности территории оползневым процессам.

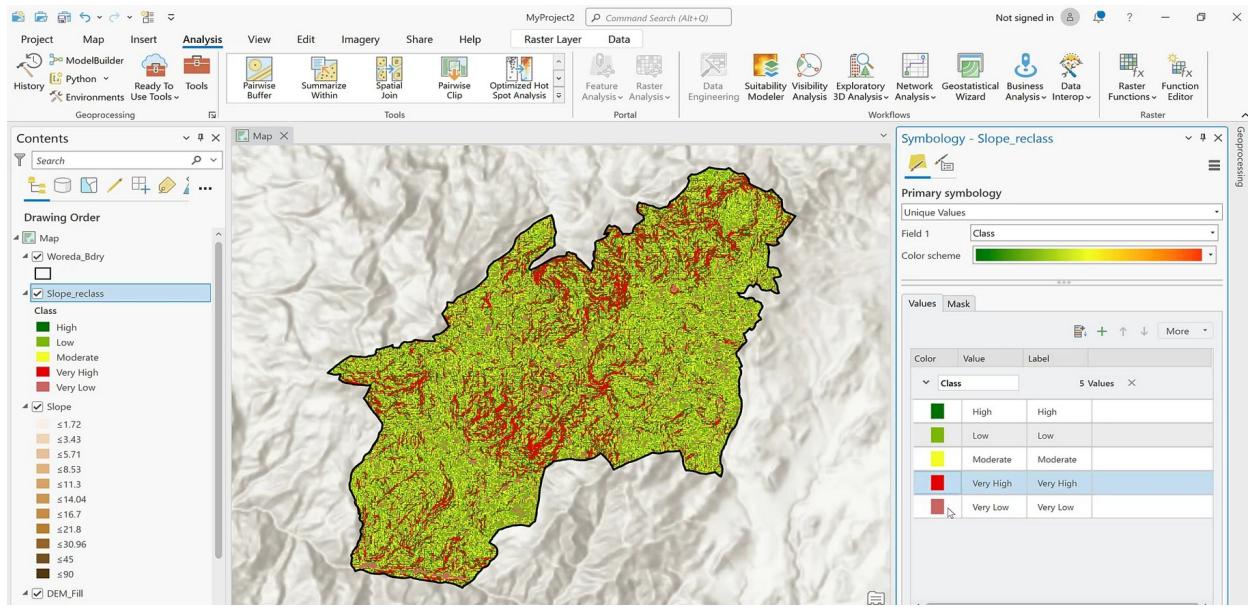


Рисунок 18 – Реализация модели Weighted Overlay

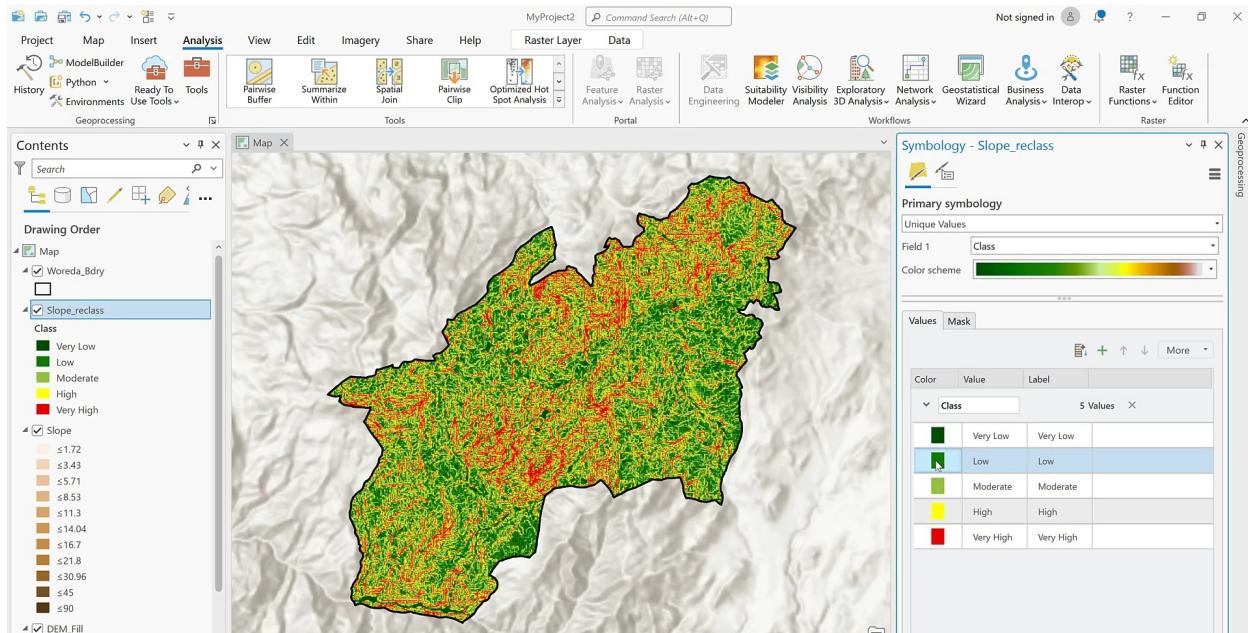


Рисунок 19 – Интегральная карта подверженности территории оползневым процессам

7. Классификация и интерпретация результатов

Итоговая карта подверженности была классифицирована на несколько уровней оползневой опасности (очень низкая, низкая, средняя, высокая и очень высокая). Полученные результаты были проанализированы с точки зрения пространственного распределения опасных зон и их приуроченности к участкам с определёнными геоморфологическими и антропогенными условиями.

4.3 Методика многокритериальной переклассификации и зонирования исследуемой территории

Для оценки достоверности полученной модели была проведена качественная верификация результатов путём сопоставления зон высокой оползневой опасности с известными оползневыми участками и данными предыдущих исследований. На рисунке 20 завершенная карта экспозиций исследуемой территории. К завершенной карте прилагается классификация экспозиций смотреть на рисунок 21.

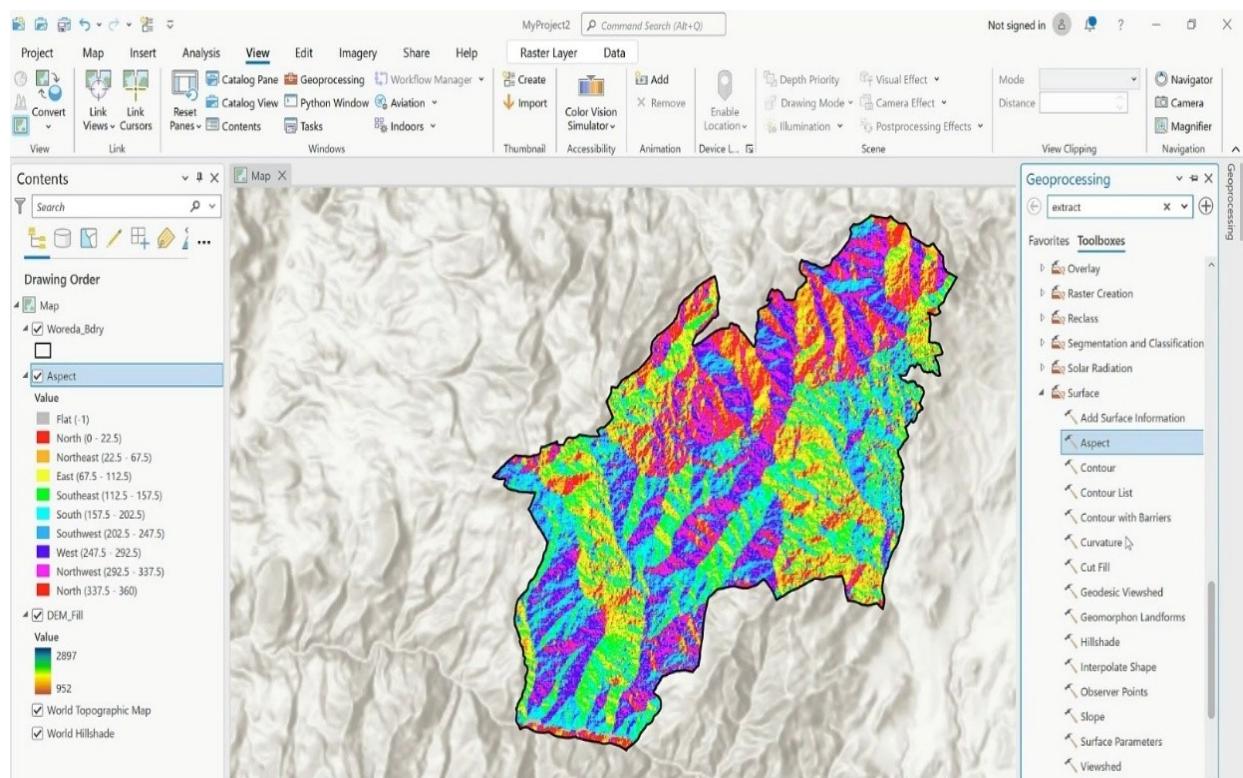


Рисунок 20 – Карта экспозиций исследуемой территории

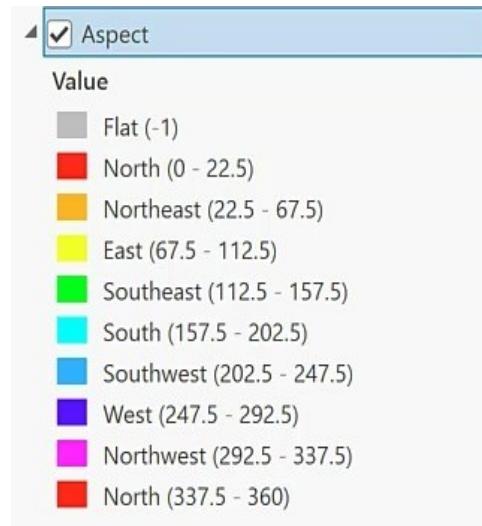


Рисунок 21 – Классификации экспозиции (Aspect)

Статистическая обработка и переклассификация. Поскольку сырье данные азимутов требуют интерпретации с точки зрения оползневой опасности, мной была выполнена переклассификация данных с помощью инструмента Reclassify. Я сопоставила направления склонов (север, северо-восток, восток и т.д.) с весовыми коэффициентами оползневой восприимчивости, зафиксированными в справочной таблице исследования. Мной была сформирована пятибалльная шкала смотреть на рисунке 22.

1 балл — очень низкая восприимчивость (плоские участки);
 5 баллов — очень высокая восприимчивость (наиболее опасные направления).

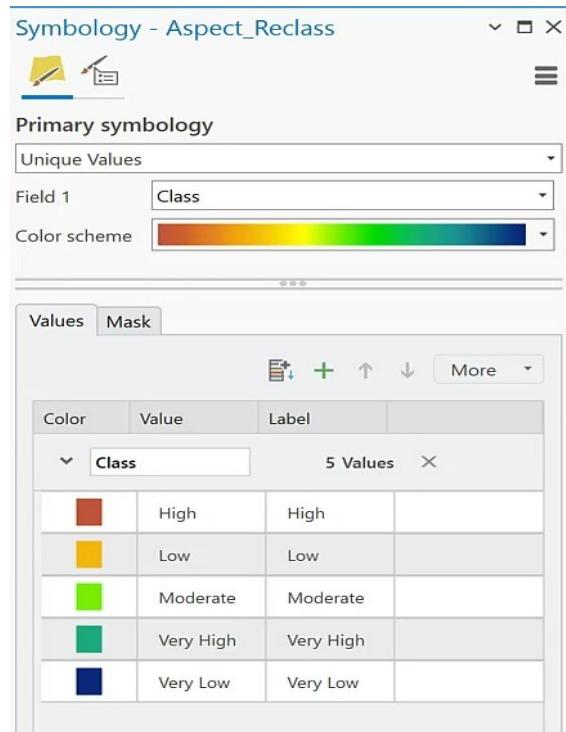


Рисунок 22 – Редактирование таблицы атрибутов

Атрибутивное оформление и визуализация. Для повышения информативности отчетной карты я провела редактирование таблицы атрибутов. Мной было создано новое текстовое поле Class, в которое я внесла качественные характеристики для каждого ранга (от «Very Low» до «Very High»). Для итоговой визуализации я подобрала контрастную цветовую шкалу в настройках символики (Symbology), что позволило наглядно дифференцировать зоны риска на карте.

В результате выполненных процедур мной была создана детализированная карта экспозиции склонов. Итоговая карта показана на рисунке 23. Полученные данные подтверждают неравномерное распределение зон потенциальной неустойчивости в зависимости от ориентации склонов. На рисунке 24 слой подготовлен мной для включения в матрицу мультикритериального анализа (МСА) наряду с картами крутизны склонов и литологического строения.

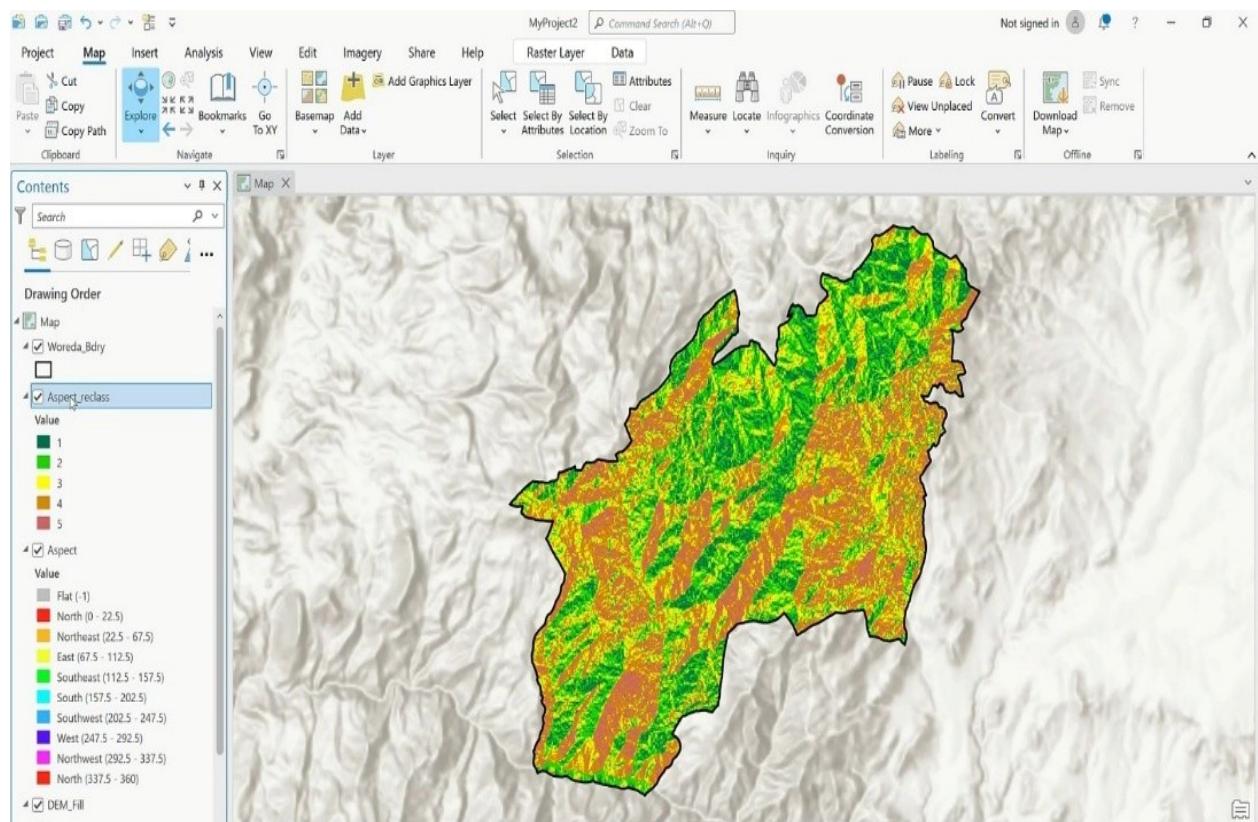


Рисунок 23– Детализированная карта экспозиции склонов

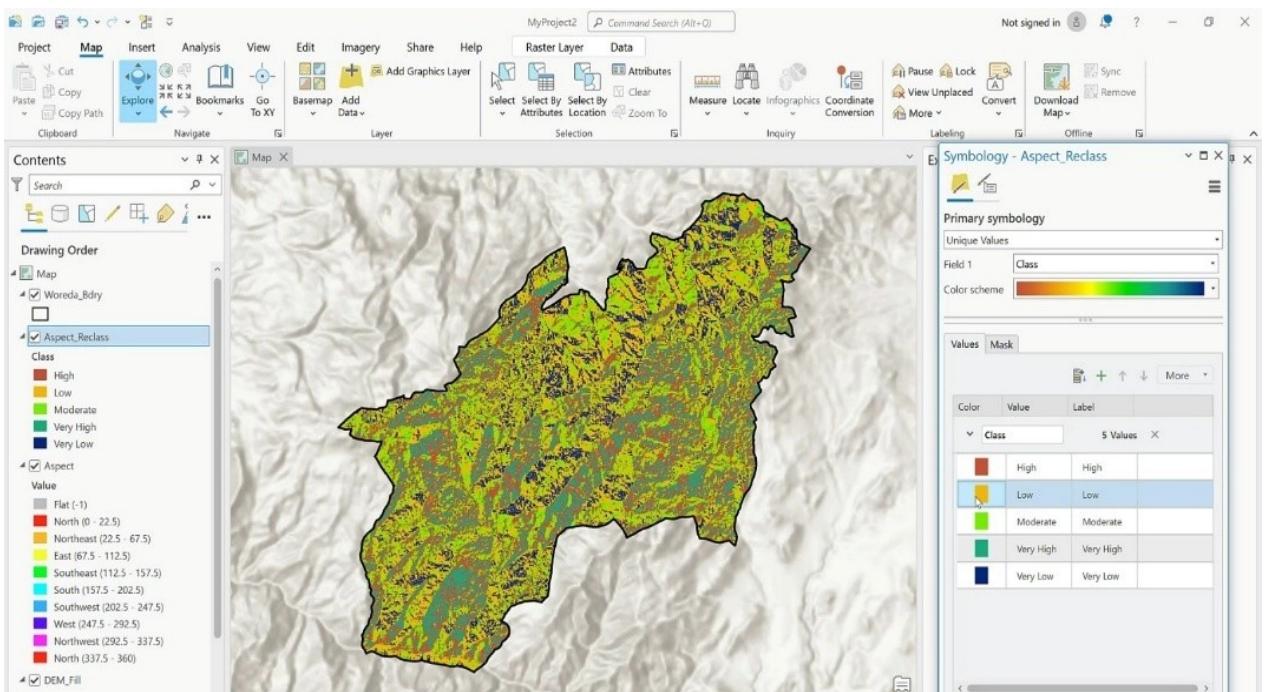


Рисунок 24 – Интегральный растровый слой Landslide Susceptibility (LS Factor)

Формирование интегрального фактора подверженности оползневым процессам (LS Factor). На данном этапе исследования была выполнена интеграция ранее подготовленных факторных слоёв с целью построения итоговой карты подверженности территории оползневым процессам. Все операции осуществлялись в программной среде ArcGIS Pro с использованием шаблона растровых функций (Raster Function Template, RFT).

1. Подготовка проекта и исходных данных. В начале работы был открыт проект ArcGIS Pro, содержащий предварительно подготовленные пространственные данные, отражающие основные природные факторы, влияющие на формирование оползней. В качестве входных параметров использовались растровые слои, характеризующие рельеф территории (Elevation), тип землепользования (Land Use), тип почв (Soil Types), а также расстояние до гидрографической сети (Distance to Rivers). Все слои были приведены к единому пространственному разрешению и системе координат, что обеспечило корректность их последующей интеграции.

2. Анализ и выбор факторов оползневой опасности. На следующем этапе был выполнен обзор используемых факторов и обоснование их включения в модель оценки подверженности оползням. Каждый из выбранных параметров оказывает существенное влияние на устойчивость склонов:

- тип почв определяет прочностные характеристики грунта;
- землепользование отражает антропогенное воздействие на территорию;
- рельеф оказывает прямое влияние на гравитационные процессы;
- близость к водотокам способствует увлажнению склонов и

снижению их устойчивости.

3. Использование шаблона растровых функций (RFT). Для автоматизации процесса пространственного анализа был использован шаблон растровых функций (Raster Function Template), представляющий собой заранее настроенную логическую схему обработки входных данных. Данный шаблон включает последовательность операций по реклассификации факторов, назначению весовых коэффициентов и их последующему комбинированию в единую модель подверженности оползням.

4. Настройка параметров шаблона и задание входных данных. На этапе настройки шаблона были указаны соответствующие входные растровые слои для каждого параметра модели. Для каждого фактора использовались предварительно обработанные и классифицированные данные, что позволило привести их к единой оценочной шкале. Это обеспечило сопоставимость факторов и корректность их использования в рамках многокритериального анализа.

5. Реализация модели расчёта LS Factor. После задания всех входных параметров был выполнен запуск шаблона растровых функций. В процессе выполнения модели осуществлялось взвешенное суммирование всех факторов с учётом их относительной значимости. В результате был сформирован интегральный растровый слой Landslide Susceptibility (LS Factor), отражающий степень подверженности территории оползневым процессам.

6. Визуализация и классификация итогового результата. Полученный слой подверженности оползням был визуализирован с использованием градуированной цветовой шкалы, позволяющей наглядно выделить зоны с различным уровнем риска. Итоговая карта была классифицирована на несколько категорий: очень низкая, низкая, средняя, высокая и очень высокая подверженность оползням, что существенно облегчило интерпретацию результатов и их дальнейший анализ.

7. Интерпретация пространственного распределения оползневой опасности. На заключительном этапе была выполнена интерпретация полученной карты. Были проанализированы пространственные закономерности распределения зон высокой и очень высокой подверженности, а также их связь с особенностями рельефа, типами почв и землепользования. Результаты моделирования показали, что наибольшая оползневая опасность приурочена к участкам с неблагоприятным сочетанием природных факторов.

8. Практическая значимость полученных результатов. Сформированная карта подверженности оползням может быть использована для задач территориального планирования, оценки природных рисков и принятия управлеченческих решений в области землепользования и инженерной защиты территорий. Применение шаблонов растровых функций позволило повысить воспроизводимость и эффективность пространственного анализа.

5 Рекомендации по снижению риска оползней и мероприятия по мониторингу

5.1 Разработка рекомендаций по предотвращению оползней в зонах повышенного риска

Результаты геодезического и геоинформационного анализа, представленные в предыдущих главах, позволяют сформулировать таблицу 7 комплекс практических рекомендаций, направленных на снижение риска возникновения и развития оползневых процессов в пределах исследуемой территории. Основу предлагаемых рекомендаций составляет дифференцированный подход к управлению территориями в зависимости от степени оползневого риска, определённой по итоговой карте зонирования.

Таблица 7 – Комплекс защитных мер и методов мониторинга в зависимости от уровня оползневой опасности

Рекомендации для зон высокого оползневого риска	Рекомендации для зон среднего риска	Рекомендации для зон низкого риска
<p>Зоны высокого риска характеризуются сочетанием круtyх склонов, неблагоприятных геологических условий, повышенной увлажнённости и значительной антропогенной нагрузки. Для таких участков рекомендуется:</p> <ul style="list-style-type: none">• ограничение или полный запрет нового капитального строительства;• пересмотр существующих градостроительных решений;• устройство противооползневых инженерных сооружений (подпорные стены, анкеровка склонов, террасирование);	<p>Зоны среднего риска требуют особого контроля, так как при изменении внешних условий (обильные осадки, землетрясения, техногенное воздействие) они могут перейти в категорию высокоопасных. Для данных участков рекомендуется:</p> <ul style="list-style-type: none">• регламентация землепользования и застройки;• обязательное проведение инженерно-геологических изысканий перед строительством;• контроль за состоянием водоотводных систем;• ограничение вырубки растительности;• внедрение систем локального мониторинга деформаций склонов.	<p>Зоны низкого риска характеризуются относительной устойчивостью, однако также требуют наблюдения. Для таких территорий целесообразно:</p> <ul style="list-style-type: none">• соблюдение норм рационального землепользования;• предотвращение неконтролируемого вмешательства в рельеф;• периодическое обновление карт оползневого риска. <p>Таким образом, система рекомендаций позволяет перейти от реактивного реагирования на оползни к превентивному управлению территорией.</p>

5.2 Роль геодезических наблюдений и мониторинга в снижении оползневых рисков

Геодезические наблюдения являются ключевым элементом системы мониторинга опасных геологических процессов. Они позволяют выявлять деформации земной поверхности на ранних стадиях и прогнозировать возможную активизацию оползней.

5.2.1 Основные виды геодезического мониторинга

Классификация методов геодезических наблюдений Для обеспечения безопасности территории РК применяется комплексный геодезический мониторинг, включающий как традиционные, так и инновационные технологии. Классические измерения (нивелирование и тахеометрия) обеспечивают высокую локальную точность на ключевых реперах, в то время как спутниковые методы (GNSS) позволяют отслеживать глобальные смещения в режиме реального времени. Особую значимость приобретают современные методы дистанционного зондирования, включая фотограмметрию и лазерное сканирование (LiDAR), которые позволяют создавать детализированные облака точек и цифровые модели местности для анализа труднодоступных горных участков.

5.2.2 Значение геодезических данных для прогнозирования оползней

Прогностическая роль геодезических данных Систематические измерения являются основой для количественной оценки динамики склоновых процессов. Получаемые данные позволяют не только фиксировать фактические смещения, но и вычислять вектор и скорость деформаций, что критически важно для определения стадии развития оползня. Выявление зон предельного напряжения на ранних этапах дает возможность оценить эффективность существующих инженерно-защитных сооружений и своевременно корректировать планы по минимизации последствий стихийных бедствий.

Интеграция мониторинга в среду ГИС Максимальный аналитический эффект достигается при конвергенции геодезических данных с инструментарием ГИС. Интеграция в единую информационную среду ArcGIS позволяет аккумулировать результаты многолетних наблюдений в пространственных базах данных, обеспечивая наглядную визуализацию

временных рядов (4D-моделирование). Такой подход трансформирует разрозненные замеры в динамические прогнозные модели, позволяя классифицировать типы бедствий на склонах и разрабатывать адресные мероприятия по снижению рисков в зависимости от категории выявленной опасности.

Мероприятия в соответствии с видом бедствия и оценкой риска. Для проведения эффективных мероприятий была выполнена классификация типов бедствий на склонах. При этом в центре внимания находился вопрос о механизме перехода склона в неустойчивое состояние. Хотя выбор конкретных мер должен осуществляться в соответствии с ситуацией на конкретном месте, можно указать следующий порядок для различных типов бедствий на склонах. Причем при проведении защитных инженерно-строительных работ следует выполнить обследования, которые необходимы для планирования и проектирования работ.

1) Тип S1 (оползни) Оползни часто возникают на сравнительно пологих склонах. Обычно для оползней характерна непрерывная и медленная динамика движения. Когда существует вероятность расширения масштабов бедствия/ущерба, а также когда степень опасности является высокой, необходимо немедленно предпринять контрмеры. При проведении защитных работ выполняют инженерно-строительные работы указано и создают объекты из числа перечисленных ниже, в соответствии с ситуацией на конкретном склоне: подпирающая земляная насыпь в нижней части склона; удаление части грунта в верхней части склона; вбивание противооползневых свай, анкерных болтов; отвод поверхностных вод; отвод подземных вод (водоулавливающие колодцы, дренажное бурение); защита поверхности грунта (высаживание растений; защита строительным раствором; защита рамочными конструкциями).

В других случаях (в частности, в случае крупных оползней, риск при которых является средним или низким) для избежания ущерба рекомендуется вести мониторинг, по результатам которого осуществлять такие меры, как эвакуацию, закрытие проезда и т.д. Особенности и рамки оползня (в частности, поверхность оползня) при мониторинге идентифицируют с помощью горизонтальной топографической съемки, профилирования, сейсмической разведки с использованием упругих волн, электрической разведки, разведочного бурения и т.д. На рисунке 25 показано инженерно-строительные меры борьбы с оползнями. Устанавливают аппаратуру, подходящую для каждого конкретного оползня: скважинные инклинометры, грунтовые инклинометры, тензометры, внутрискважинные указатели уровня воды, экстензометры, мобильные измерительные сваи, дождемеры и т.д.

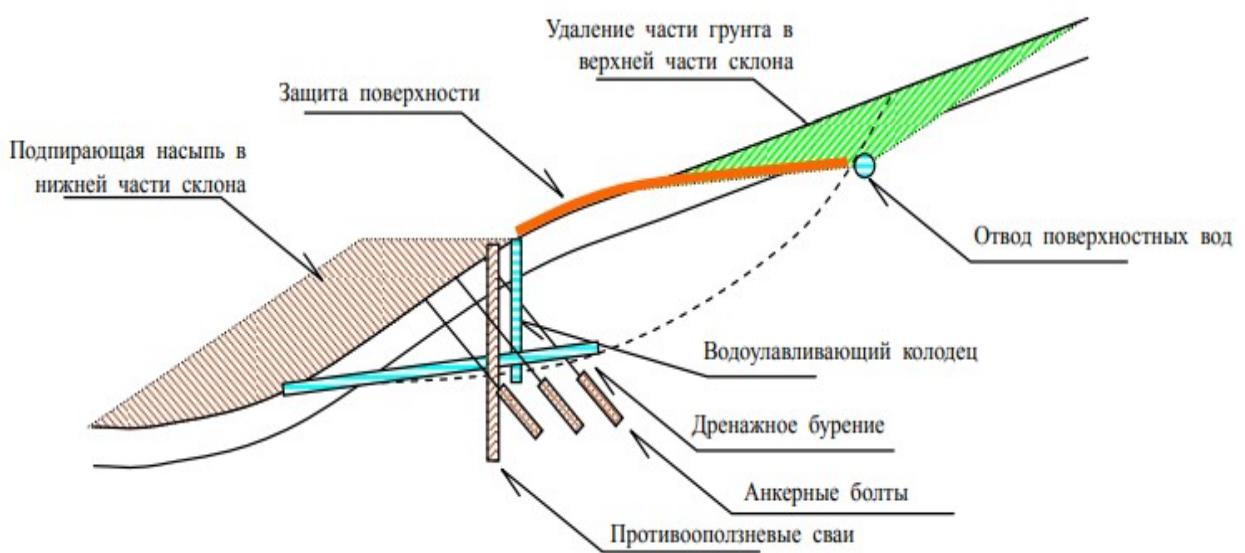


Рисунок 25– Инженерно-строительные меры борьбы с оползнями

2) Бедствия типа S2 (обрушения грунта) и R2 (обрушения скальной породы) Такие бедствия часто возникают на довольно крутых склонах. Динамика бедствий этих типов прерывистая, довольно стремительная. Когда существует вероятность расширения бедствия/ущерба, а также когда степень опасности высока, необходимо немедленно принимать контрмеры. В случае выполнения защитных инженерно-строительных работ производятся работы, сходные с указанными выше в отношении оползней и указанными ниже в отношении обвалов грунтовой породы. Решение о конкретных мерах принимается применительно к конкретной ситуации на месте. На крутых склонах эффект от подпирающих насыпей и удаления грунта в верхней части склона в некоторых случаях может быть незначительным. Когда степень опасности средняя или низкая, а вероятность расширения бедствия/ущерба отсутствует, ведут мониторинг с целью идентификации изменений склона. Для мониторинга используют экстензометры, тензометры, инклинометры и т.д. Когда скорость смещения неустойчивого склона высока, необходимо внедрить систему оповещения, позволяющую оперативно предпринять эвакуацию, перекрыть дороги и принять др. меры по предотвращению ущерба. Кроме того, необходимо проводить тренинги для обеспечения гладкого движения людей и автотранспорта при эвакуации.

3) Бедствия типа S3 (обвалы грунта) и R3 (обвалы скальной породы) Такие бедствия часто возникают на крутых склонах. Когда степень опасности таких бедствий высока, необходимо немедленно принимать контрмеры. При проведении защитных инженерно-строительных мероприятий выполняют работы из следующего перечня, соответственно ситуации на конкретном склоне: удаление неустойчивой части склона, укрепление склона анкерными

болтами, отвод поверхностной воды со склона, отвод подземных вод (бурение дренажных скважин), защита поверхности склона (строительным раствором; анкерной сеткой; рамными конструкциями). Когда степень опасности средняя или низкая, а вероятность расширения бедствия/ущерба отсутствует, ведут мониторинг с целью идентификации изменений склона указано на рисунке 26.

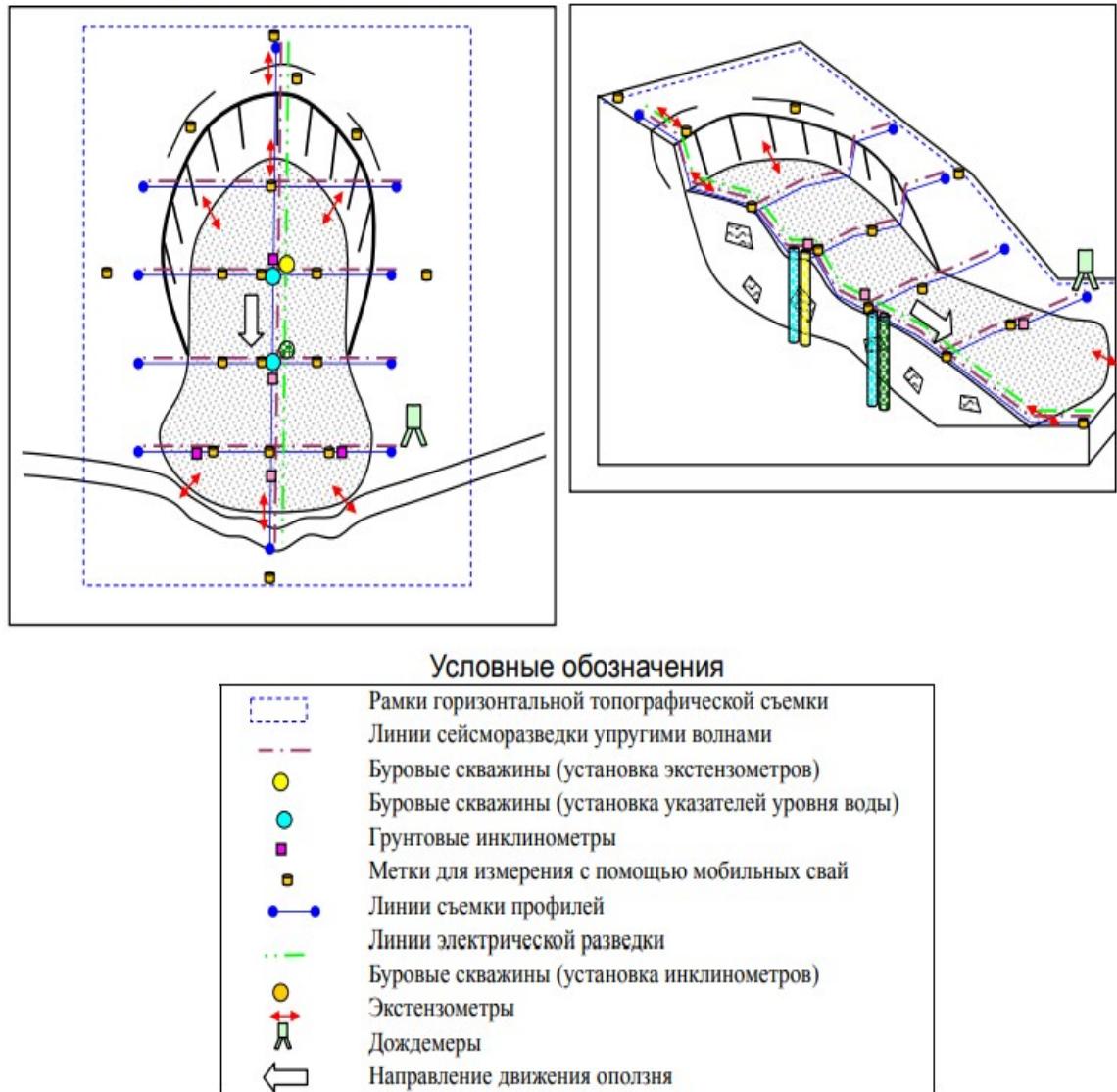


Рисунок 26– Мониторинг оползней

Для мониторинга используют экстензометры, тензометры, инклинометры и т.д. В случае стремительного и неожиданного обвала можно не успеть с организацией эвакуации и перекрытием дорожного движения, поэтому эвакуацию и перекрытие дорог следует выполнять в соответствии с количеством выпавших осадков. На рисунке 27 можно увидеть пример инженерно-строительные меры борьбы с обвалами грунта.

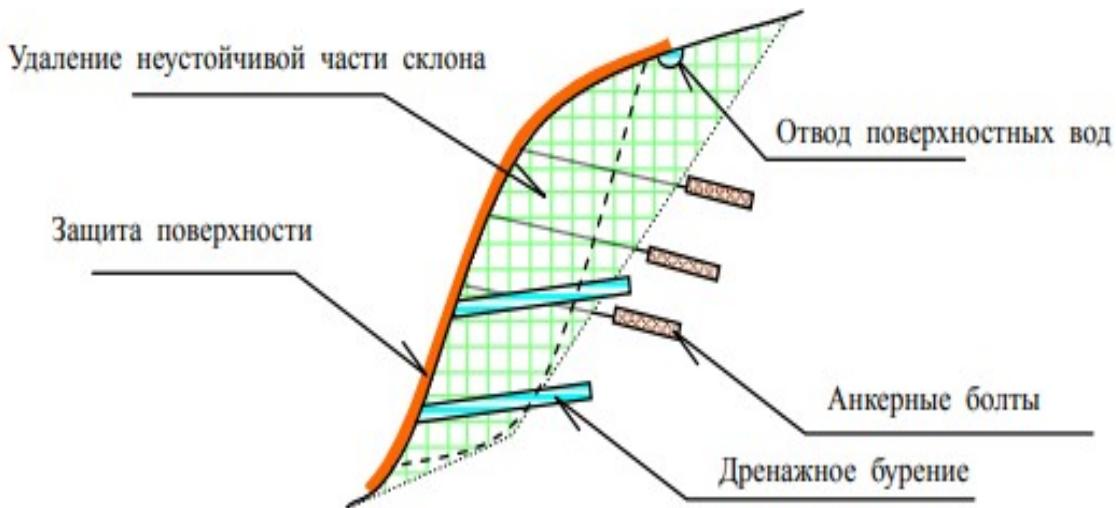


Рисунок 27– Инженерно-строительные меры борьбы с обвалами грунта

5.3 Применение ГИС-технологий в системе непрерывного мониторинга территорий

Роль ArcGIS в интеграции и автоматизации данных Геоинформационные системы, в частности программный комплекс ArcGIS, выступают в качестве платформенного решения для создания единой системы мониторинга оползневой активности. ГИС-технологии позволяют конвертировать разнородные данные — от высокоточных геодезических измерений и материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) до оперативных сведений из открытых источников. Автоматизация обновления пространственных баз данных обеспечивает возможность непрерывного анализа временных рядов, что критически важно для идентификации динамических изменений в зонах риска и моделирования прогнозных сценариев развития опасных процессов.

Использование альтернативных источников оперативной информации Инновационным аспектом мониторинга является использование краудсорсинговых данных и информации из социальных медиа как вспомогательного инструмента оперативного реагирования. Анализ фото- и видеоматериалов с геопривязкой позволяет в режиме реального времени фиксировать новые экзогенные события, уточнять границы локальных оползневых тел и оперативно передавать данные в службы ЧС. Верификация таких данных и их последующая интеграция в ГИС-среду значительно повышают актуальность мониторинговых карт и сокращают время принятия управлеченческих решений в условиях чрезвычайных ситуаций.

Перспективные направления развития системы мониторинга Дальнейшее совершенствование системы мониторинга оползневых процессов в Казахстане связано с внедрением алгоритмов глубокого машинного обучения (Machine Learning) для автоматической детекции деформаций по спутниковым снимкам. Приоритетными направлениями являются разработка облачных Веб-ГИС сервисов для органов государственного управления и интеграция прогностических моделей с автоматизированными системами раннего оповещения. Подобная цифровая трансформация обеспечит переход от констатации фактов к превентивному управлению геологическими рисками на региональном и республиканском уровнях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения магистерской диссертации был проведён геодезический анализ риска оползней на территории северного склона Заилийского Алатау с использованием геоинформационных технологий ArcGIS.

В результате исследования:

- проанализированы основные факторы формирования оползневых процессов;
- разработана методика оценки риска оползней на основе взвешенного анализа;
- создан комплекс тематических карт, отражающих степень оползневой опасности;
- обоснована целесообразность использования данных социальных сетей;
- разработаны практические рекомендации по снижению оползневых рисков и мониторингу территорий.

Полученные результаты имеют практическую значимость и могут быть использованы при территориальном планировании, мониторинге опасных геологических процессов и разработке мероприятий по снижению риска оползней в Республике Казахстан.

В дальнейшем планируется более широкое применение методов дистанционного зондирования и методов ГИС-анализа, машинного обучения, нейронных сетей, использующих глобальные наборы данных с открытym доступом и сопутствующие метаданные для прогнозирования опасностей. Платформа ГИС позволяет манипулировать наборами данных, которые формируют первоначальную оценку региона и сужают полевое исследование до конкретных областей интереса только в случае крайней необходимости, экономя затраты.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ayalew L., Yamagishi H. GIS-based landslide susceptibility mapping: multivariate analysis // *Geomorphology*. 2005. № 3. P. 22–35.
- 2 Lee S., Pradhan B. Probabilistic landslide hazards and GIS mapping // *Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27. P. 15–21.
- 3 Pourghasemi H. R. Landslide susceptibility spatial modeling via ArcGIS // *Int. Conf. Materials*. 2012. P. 45–50.
- 4 Ван Вестен К. Д. Применение геоинформационных систем в управлении рисками природных катастроф. Энсхеде: ITC, 2006. 150 с.
- 5 Инструкция по выполнению топографических съемок в зонах распространения опасных геологических явлений. Нур-Султан: Комитет геодезии и картографии, 2019.
- 6 Атлас природных и техногенных рисков и опасностей ЧС в Республике Казахстан / под ред. А. Р. Медеу. Алматы, 2010. 264 с.
- 7 Благовещенский В. П., Медеу А. Р., Ранова С. У. Принципы районирования северного склона Заилийского Алатау по уровню оползневой угрозы // *Вестник КазНУ. Серия географическая*. 2005. № 2 (21). С. 87–92.
- 8 Захаров В. С., Симонов Д. А., Коптев А. И. Сейсмогенные оползневые смещения: методы компьютерного моделирования // ГЕОразрез: электрон. науч. изд. 2009. Вып. 1 (3).
- 9 Сейсмическая опасность горных регионов Казахстана / А. К. Курскеев [и др.]. Алматы: Эверо, 2006. 294 с.
- 10 Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика / под ред. Е. А. Сорочана. М.: Стройиздат, 1985. 479 с.
- 11 Бреннинг А. Анализ пространственного прогнозирования оползневых рисков: региональный обзор для Центральной Азии в рамках программы УФУУСРБ. 2019.
- 12 Северский И. В. Прогноз лавинной и оползневой активности в Заилийском Алатау. Алматы: Институт географии РК, 2005.
- 13 Медеу А. Р. Мониторинг и управление селевыми процессами в Юго-Восточном Казахстане. Алматы, 2011.
- 14 Баймолдаев Т. А., Исаков Н. Оползневая опасность в предгорьях Заилийского Алатау: защитные мероприятия. Алматы: Казселезащита, 2015.
- 15 Жандаев М. Ж. Природа и морфология Заилийского Алатау. Алма-Ата: Казахстан, 1978.
- 16 Рысбеков К.Б., Кенжехан А.А. «Геодезический анализ риска оползней в территории РК с использованием ArcGIS» Труды МНПК Сатпаевские чтения – 2025: «Искусственный интеллект в инженерных и производственных системах: решения для оптимизации и автоматизации процессов». Алматы: КазНИТУ, 2025. С. 25–31.
- 17 Рысбеков К.Б., Кенжехан А.А. Research on landslide susceptibility mapping using GIS // *Research Reviews (Czech Republic)*. – 2025. – No. 4. – Pp. 112–120.

А.А.Кенжехан, К.Б.Рысбеков

Satbayev University, г.Алматы,Казахстан

«Геодезический анализ риска оползней в территории РК с использованием ArcGIS»

Аннотация: В статье рассмотрены проблема оценки риска оползней на территории Республики Казахстан с использованием геоинформационных технологий. Основное внимание уделяется применению программного комплекса ArcGIS для геодезического анализа, пространственного моделирования и картографирования опасных зон. Приведены методы исследования, включая сбор, обработку и анализ геопространственных данных, таких как цифровые модели рельефа, климатические параметры, геологические характеристики и антропогенные факторы.

Ключевые слова: карьер «Коксу», наблюдательная станция, маркшейдерские работы, устойчивость бортов, нивелирование, тригонометрическое измерение.

Введение: В настоящее время большая часть территории Республики Казахстан подвержена оползням. Геодезический мониторинг подобных деформационных процессов не только обеспечивает безопасность территорий, расположенных на склонах, но и решает задачи прогнозирования степени опасности оползней. Оползни представляют собой одно из наиболее опасных геодинамических явлений, угрожающих безопасности населения и инфраструктуры. В Республике Казахстан, особенно в горных и предгорных районах, риск возникновения оползней остается высоким вследствие сложных геологических условий, климатических факторов и антропогенной деятельности. Для эффективного мониторинга и прогнозирования оползневых процессов необходимо применять современные технологии, такие как геоинформационные системы (ГИС). Использование современных геоинформационных технологий, таких как ArcGIS, позволяет проводить комплексный анализ и моделирование зон риска. Это особенно важно для обеспечения безопасности в районах с высокой плотностью населения и активным развитием инфраструктуры.

В отчетах выполненных исследований топография и геология района Алматы в легко понятной форме обобщена на картах классификации склонов, на геологических картах и т.д. Согласно этим материалам, территория района Алматы по своим топографическим и геологическим характеристикам, связанным с безопасностью склонов, в целом может быть подразделена на горную зону, зону предгорий и равнинную зону. Особенности каждой зоны обобщены в Табл 1.

Табл.1 Топографические и геологические зоны, выделенные в связи с вопросом об устойчивости склонов

Горная зона	
Рельеф	<ul style="list-style-type: none"> Высота над уровнем моря – от 1600 м и выше, крайне неровный рельеф Свыше половины территории приходится на склоны с уклоном более 25° Местами встречаются склоны с уклоном более 45°
Геология	<ul style="list-style-type: none"> Скальные породы из прочных позднепалеозойских гранитов, имеющих кластерную структуру. На поверхности местами встречаются нелитифицированные отложения четвертичного периода кайнозойской эры, основным компонентом которых являются сравнительно неглубокие осыпи.
Неустойчивые участки, имеющие уклон	<ul style="list-style-type: none"> Обрушения и обвалы склонов, сложенных скальной породой; дезинтеграция и оползни на склонах, сложенных нелитифицированными осадочными породами.
Зона предгорий	
Рельеф	<ul style="list-style-type: none"> Высота над уровнем моря – 1000~1600 м. сравнительно неровный. Эрозия почвы. Свыше половины территории занимают склоны с уклоном 10~25°
Геология	<ul style="list-style-type: none"> Довольно плотные нелитифицированные отложения нижнечетвертичного периода кайнозойской эры, в основном образованные наносами Хотя в большинстве случаев грунтовые воды залегают глубоко, там, где слой грунтовых вод залегает близко от поверхности и осадочные отложения являются влагонасыщенными, наблюдается снижение прочности грунта. Грунты

	сравнительно легко подвержены эрозии под воздействием поверхностных вод.
Неустойчивые участки, имеющие уклон	<ul style="list-style-type: none"> Характерны обрушения и оползни нелитифицированных осадочных пород На осваиваемых/застраиваемых территориях склоны часто приходят в неустойчивое состояние в результате ненадлежащей срезки грунта и/или сооружения земляных насыпей
Равнинная зона	
Рельеф	<ul style="list-style-type: none"> Высота над уровнем моря до 1000 м. Основную часть зоны занимают равнины. В местах протекания крупных рек встречаются крутые склоны, созданные речной эрозией.
Геология	<ul style="list-style-type: none"> Очень слабо уплотненные нелитифицированные осадочные породы верхнечетвертичного периода кайнозойской эры Основным компонентом осадочных отложений являются илистые наносы. Часто содержатся характерные для конуса выноса галька и песок . При достижении влагонасыщения илистых или песчанистых грунтов прочность грунтов снижается. Грунты легко подвержены эрозии под воздействием поверхностных вод. Неустойчивые участки, имеющие уклон
Неустойчивые участки, имеющие уклон	<ul style="list-style-type: none"> Характерны обрушения нелитифицированных осадочных пород на крутых склонах вдоль рек.

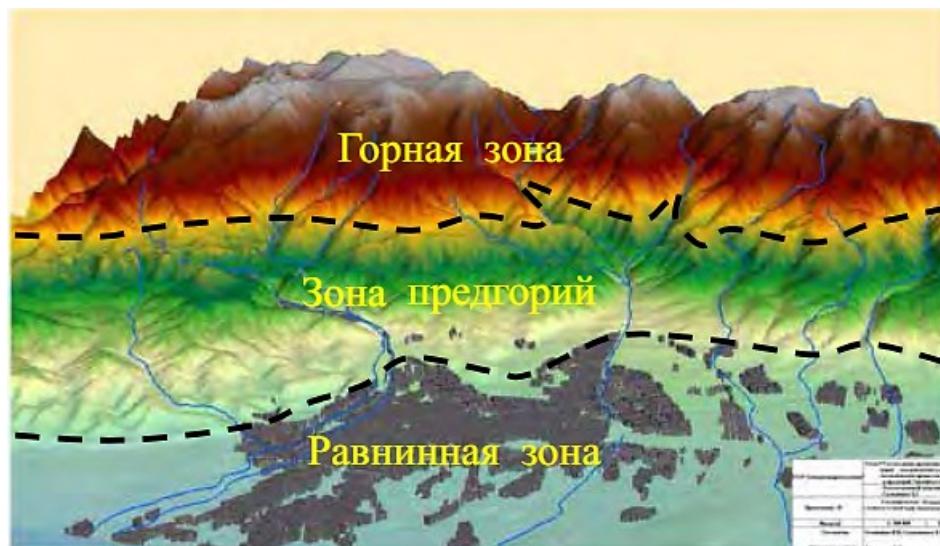


Рис.1 Топографическое и геологическое зонирование: вид с птичьего полета

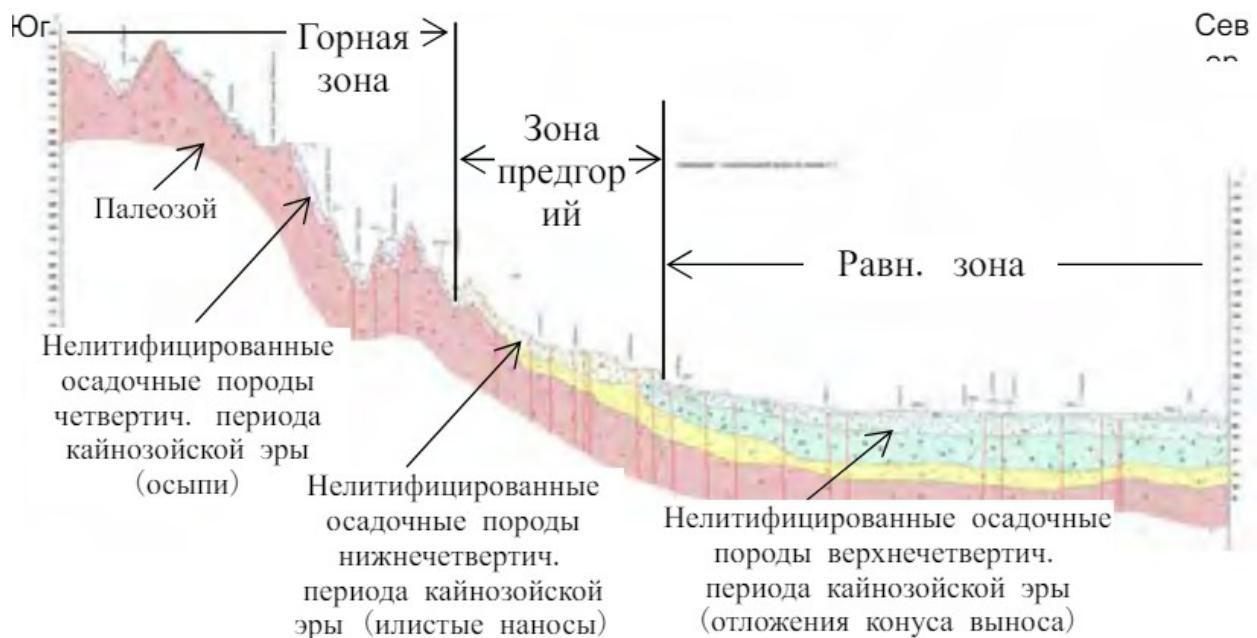


Рис.2 Топографическое и геологическое зонирование: геологический разрез

На Рис. 1 вышеуказанное зонирование показано как вид с птичьего полета, а на Рис.2 – в форме геологического разреза.

Республика Казахстан расположен в центре континента Евразия и занимает девятое место в мире по площади - 2724,9 тыс. км². На северо-западе, севере и северо-востоке Казахстан граничит с Россией, на юго-востоке - с Китаем, на юге - с Киргизстаном, Узбекистаном и Туркменистаном. Акваторию Каспийского моря делит с Ираном, Азербайджаном, Россией, Туркменистаном. Физико-географическая граница Казахстана проходит по акватории Каспийского моря, затем по Заволжским степям, Общему Сырту, Предуралью, пересекают южные отроги Уральских гор, и их продолжение Мугоджары. Далее на восток вдоль Западно-Сибирской равнины до Алтая. На юго-

востоке граница проходит по хребтам Тарбагатая и Джунгарии, на юге — по горам Тянь-Шаня, Туранской низменности, по плато Устюрту до Каспийского моря. Казахстан 9-я страна в мире по площади, у которой юридически оформлены границы, в том числе граница по Каспию. Общая протяжённость границ Казахстана составляет 13 394,6 км.

Страна обладает разнообразным рельефом, включая:

- Равнины и низменности (Сарыарка, Каспийская низменность, Туранская низина)
- Пустыни и полупустыни (Кызыл-Кум, Бетпак-Дала)
- Горные системы (Тянь-Шань, Алтай, Жетысуский Алатау)

Рельеф местности Казахстана разнообразен (рис.3). 58 % территории занимают степи; пустыни и полупустыни — 33%; 9% — горы. На севере республики преобладают лесостепи (2 %). 23 % территории страны пригодны для земледелия (лесостепи и холодная степь), 70 % — для отгонного животноводства (жаркая степь и полупустыни на аллювиалах). Протяжённость страны с запада на восток 2900км, с юга на север 1600км. Самая низкая точка Казахстана — впадина Каракия на полуострове Мангыстау — 132 метров ниже уровня мирового океана. Самая высокая — пик Хан-Тенгри — 6 995 м.

Таблица 1. Распределение рельефа на территории РК

Тип рельефа	Процент территории
Равнины	58%
Полупустыни и пустыни	33%
Горные территории	9%

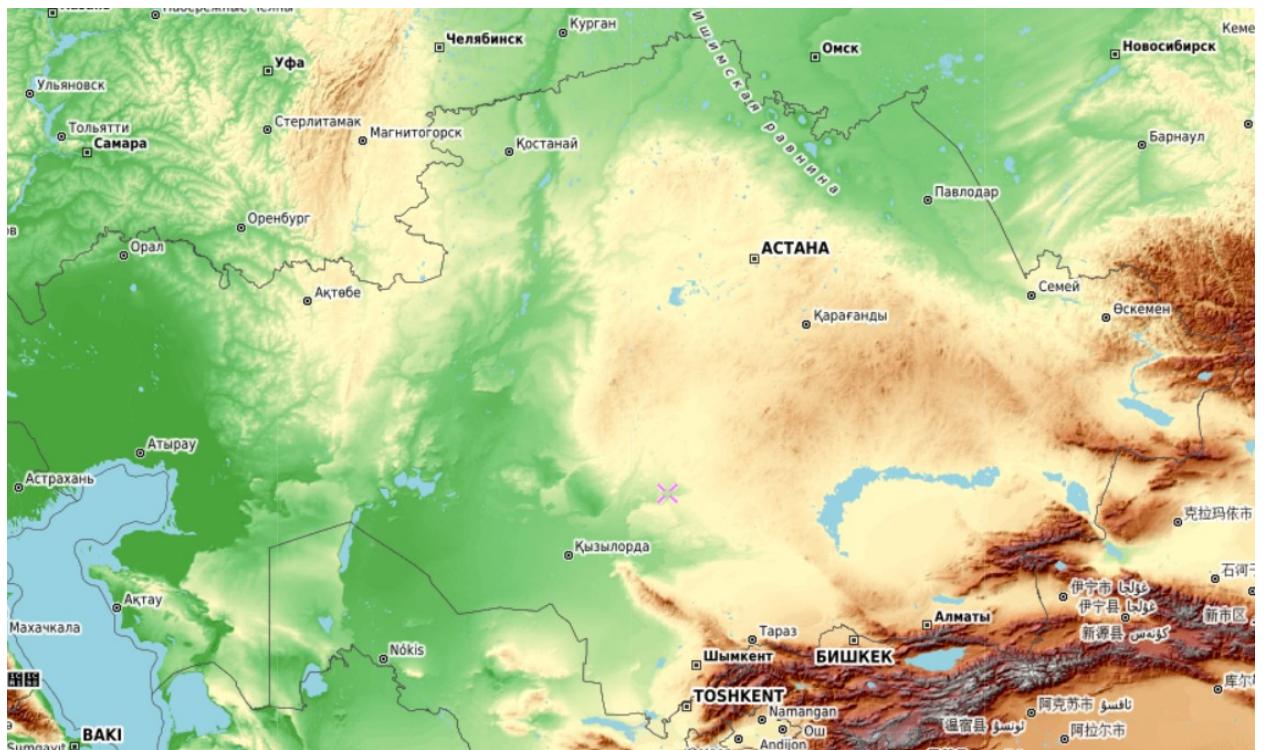


Рисунок 3. Топографическая карта Казахстана

2. Климатические особенности

К особенностям климата, характеризующим его континентальность, относятся: большая амплитуда между зимними и летними температурами, сухость воздуха, незначительное количество атмосферных осадков на большей части республики, продолжительная суровая зима и короткое лето на севере, и короткая зима и продолжительное жаркое лето на юге.

Географическое положение Казахстана в широтном отношении соответствует странам Средиземноморья, имеющим влажный субтропический климат, и странам центральной Европы, отличающимся умеренно континентальным климатом. Так как Казахстан расположен в центре огромного материка Евразия, на значительном удалении (на тысячи километров) от океанов и морей, то их смягчающее влияние на климат незначительно.

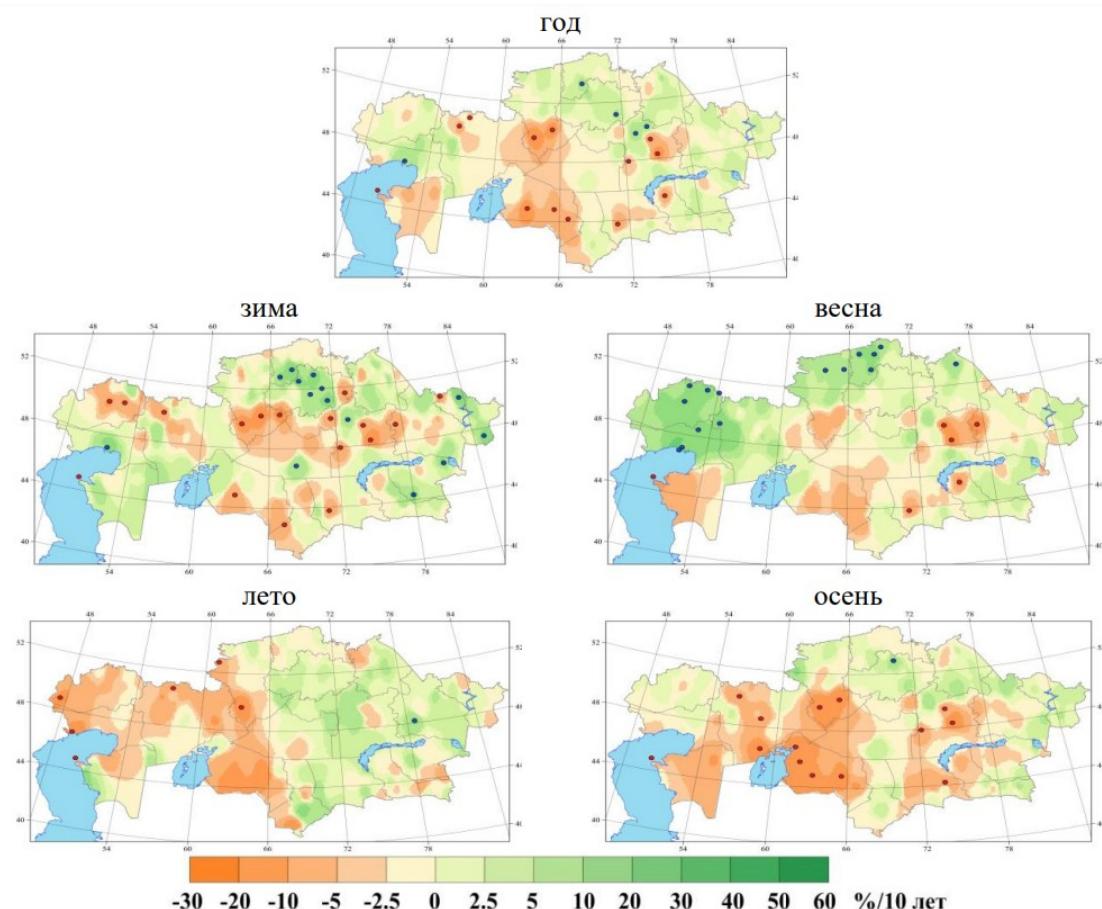
Страна расположена в южной части умеренного климатического пояса. На её территории чётко выражены четыре времени года. Зимой властствуют сильные сибирские морозы. Летом господствуют тропические воздушные массы, формирующиеся над Казахстаном и Центральной Азией. Континентальность климата выражается в сезонных амплитудах летних и зимних температур.

Средняя температура зимы составляет от -4°C на юге до -19°C на севере, а летом диапазон варьируется от $+19^{\circ}\text{C}$ на севере до $+28^{\circ}\text{C}$ на юге.

Основные климатические факторы:

- Осадки. Годовой объем осадков варьируется от 100 мм в пустынях до 600-800 мм в горах.

Более детальную информацию о характере изменения режима осадков в Казахстане дает пространственное распределение значений коэффициента линейного тренда годовых, относительных аномалий сезонных и отдельно для каждого месяца сумм осадков (% нормы/10 лет), представленных на рисунках 4. Оценки получены по станционным времененным рядам годовых, сезонных и месячных аномалий количества осадков за период 1976- 2023 гг.



значимые положительные и отрицательные значения коэффициента линейного тренда выделены зеленым (увеличение осадков) и красным цветом (уменьшение осадков)

Рисунок 4 . – Пространственное распределение значений коэффициента линейного тренда годовых и сезонных сумм осадков (%/10 лет), рассчитанных за период 1976 – 2023 гг.

- Ветер. Сильные ветра отмечаются в полупустынных и пустынных районах.

Вследствие аридизации климата на территории Казахстана распространены пыльные бури, наносящие большой вред сельскому хозяйству и ухудшающие обстановку регионов в целом. На рисунке 3 приведено районирование территории страны по климатическим предпосылкам опустынивания. По климатическим предпосылкам потенциально наиболее уязвимыми к опустыниванию Мангистауская, Кызылординская, Южноказахстанская и

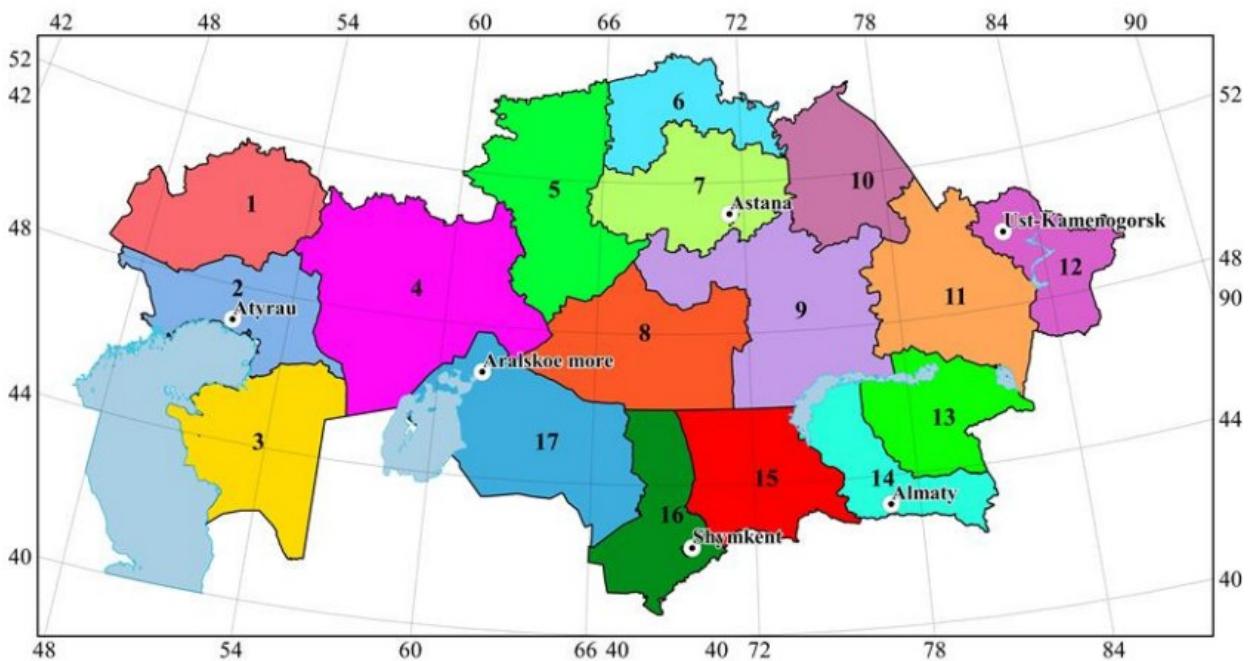
Жамбылская области и наименее подвержены Северо-Казахстанская, Акмолинская, Восточно-Казахстанская, северные части Костанайской, Павлодарской и северо-западная часть Карагандинской области.



Рис 3. Карта «Районирование территории Казахстана по ГТК Селянина и повторяемости пыльных бурь»

3. Климат и оползни

Оценка тенденций температуры приземного воздуха и количества осадков, средние величины аномалий метеорологических переменных приведены как по данным отдельных станций, так и в среднем по территории Казахстана в целом и по 17-ти его административно-территориальным областям. Средние для территории величины аномалий метеорологических переменных рассчитаны путем осреднения станционных данных об аномалиях. Границы административно-территориальных областей Казахстана представлены на карте-схеме ниже.



- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| 1 Западно-Казахстанская обл. | 10 Павлодарская обл. |
| 2 Атырауская обл. | 11 обл. Абай |
| 3 Мангистауская обл. | 12 Восточно-Казахстанская обл. |
| 4 Актюбинская обл. | 13 Алматинская обл. |
| 5 Костанайская обл. | 14 обл. Жетысузу |
| 6 Северо-Казахстанская обл. | 15 Жамбылская обл. |
| 7 Акмолинская обл. | 16 Туркестанская обл. |
| 8 обл. Ульятау | 17 Кызылординская обл. |
| 9 Карагандинская обл. | |

Рис 4. Схема административно-территориального деления Республики Казахстан

Комбинация весеннего таяния снегов, интенсивных ливней и горных пород создает предпосылки для оползней. К зонам наиболее риска относятся юго-восток и горные районы Тянь-Шаня и Жетысуского Алатау.

2.2. Геологические условия, способствующие возникновению оползней

Оползни представляют собой смещение масс горных пород или грунта вниз по склону под воздействием силы тяжести. Различные геологические условия могут способствовать их возникновению:

6. Геологическое строение местности:

- о Чередование водоносных и водоупорных слоев: Наличие водоносных пород над водоупорными (например, песков над глинами) может приводить к накоплению воды и снижению прочности склонов.

- о Наклон слоистых пород в сторону склона: Если слои пород наклонены в сторону склона, это облегчает их соскальзывание под действием силы тяжести.

7. Наличие трещин и зон дробления:

- о Трещиноватость и зоны дробления в горных породах снижают их прочность и устойчивость, повышая вероятность оползней.

8. Геоморфологические особенности:

- о Крутизна склонов: Более крутые склоны имеют повышенную склонность к оползням из-за увеличенной силы тяжести, действующей на массы пород.
- о Эрозионные процессы: Подмыв склонов реками или морскими волнами может приводить к их дестабилизации и последующему обрушению.

9. Гидрогеологические условия:

- о Переувлажнение грунтов: Избыточная влага снижает сцепление частиц грунта, что может привести к их смещению.
- о Подъем уровня грунтовых вод: Увеличение уровня грунтовых вод повышает поровое давление, снижая устойчивость склонов.

10. Выветривание:

- о Механическое и химическое выветривание: Эти процессы ослабляют прочность пород, способствуя их разрушению и повышая вероятность оползней.

Понимание этих геологических условий важно для оценки рисков оползней и разработки мер по их предотвращению.

Заключение

Оползневой процесс изучается уже не одно столетие. Несмотря на это до сих пор не выработано единого взгляда на основные аспекты оползневедения. Данный факт проявляется в большом количестве существующих вышеперечисленных определений, классификаций, представлений о причинах, факторах и критериях процесса, механизмах его развития.

Согласно этим материалам, в первой главе научной работы исследуются территория района Алматы по своим топографическим и геологическим характеристикам, связанным с безопасностью склонов, которая подразделена на горную зону, зону предгорий и равнинную зону. Особенности каждой зоны обобщены с информацией топографических и геологических зон, выделенные в связи с вопросом об устойчивости склонов.

Региональное прогнозирование оползневых процессов может быть как качественным так и количественным и строиться, как на вероятностном, так и на детерминированном подходах. Перспективным направлением является использование технологий основанных на геоинформационных системах (ГИС) позволяющих выполнить комплексный прогноз региональной оползневой опасности. Разработка методики районирования территории по степени сейсмогенной оползневой опасности на основе современных спутниковых технологий и численного моделирования имеет значительные перспективы и актуальность.

А.А.Кенжекан, К.Б.Рысбеков

Satbayev University, г.Алматы,Казахстан

«Геодезический анализ риска оползней в территории РК с использованием ArcGIS»

Аннотация: Горные территории Казахстана характеризуются активным проявлением опасных процессов, которые в районах с высокой плотностью населения формируют высокий риск человеческого и материального ущерба. Наиболее репрезентативным способом изучения локальных оползней является использование сочетания традиционного полевого метода и дистанционного зондирования и ГИС. Методика оценки оползневого риска основана на использовании мирового опыта исследований. Конечным результатом является таблица, объединяющая все рекомендации для каждого оползнеопасного участка.

Ключевые слова: оползни, оценка оползневого риска, чрезвычайная ситуация, полевые исследования, защитные мероприятия, ГИС.

Введение: Практика показывает, что снижение риска оползней наиболее эффективно при осуществлении на местном (отдельный склон, местность) или региональном уровне. В локальном масштабе разработка мер по снижению риска, например системы раннего оповещения, может основываться на ряде оптимальных сценариев и состоит из чётких шагов – начиная с оценки вероятности их возникновения, оценки объема и масштаба оползня, оценки потерь, сравнения оцененного риска с критериями принятия риска/толерантности к риску, реализации соответствующих мер по снижению риска при необходимости. На практике такого уровня строгости придерживаются при управлении риском оползней в развитых странах. Однако в развивающихся странах системы раннего предупреждения и меры по смягчению последствий минимальны. Во многих странах, где есть районы с высокой опасностью оползней, отсутствуют необходимые законы и правила для определения приоритетов и реализации плана по снижению риска оползней. Часто утверждается, что «нужна катастрофа, чтобы получить ответную политику», и тематические исследования управления рисками оползней в разных странах показывают связь между частотой бедствий и прогрессом и сдвигами в управлении рисками оползней. Бедствия могут катализировать моменты изменения целей, политики и практики управления рисками. Все чаще процессы принятия решений органами власти, отвечающими за снижение риска оползней и других опасностей, переходят от «экспертных» решений к включению общественности и других заинтересованных сторон. Горные регионы, обрамляющие юго-восток Казахстана, имеют территории с высокой оползневой уязвимостью. Густонаселенные районы в низкогорной и предгорной части, где природные и антропогенные условия способствуют возникновению опасности проявления оползней, являются более уязвимыми в плане материального и человеческого ущерба. Так же, как и во многих странах мира, где есть районы с высокой опасностью оползней, в Казахстане наблюдается несовершенство законодательной базы, систем раннего предупреждения и мер по смягчению ущерба, а также застройка опасных территорий без соблюдения элементарных защитных стандартов. Это может приводить к фатальным последствиям.

Методология оценки оползневого риска с использованием ArcGIS

Методология оценки оползневого риска с применением геоинформационных технологий, и в частности платформы ArcGIS, представляет собой комплекс взаимосвязанных этапов, направленных на выявление, анализ, моделирование и прогнозирование склоновых процессов в пределах определённой территории. Использование ArcGIS позволяет интегрировать геодезические, геологические, климатические и пространственные данные в единую аналитическую среду, обеспечивая системный подход к изучению опасных природных процессов. Данная методология является универсальной и применяется в научных исследованиях, градостроительном планировании, инженерных изысканиях и природоохраных работах.

Первым этапом оценки оползневого риска является сбор и унификация разнообразных пространственных данных, являющихся основой для последующих вычислений. Для анализа склоновых процессов в Алматы необходимо учитывать комплекс факторов:

1. Цифровая модель рельефа (ЦМР)

ЦМР является ключевым элементом модели, так как формирует морфометрические параметры — уклон, экспозицию, форму поверхности, вертикальную расчленённость. В качестве источников применяются:

- SRTM (30 м),
- ALOS PALSAR (12,5 м),
- LiDAR-съёмка (при наличии),
- локальные ЦМР, созданные с использованием GNSS и тахеометрии.

ЦМР проходит этап фильтрации, устранения пробелов и выравнивания для получения корректных моделей склонов.

2. Геологические и инженерно-геологические данные

Сюда включаются карты литологии, зон выветривания, мощности рыхлых отложений, линии разломов, зоны сейсмотектонической активности. Лессовые и делювиальные породы Алматы являются потенциально опасными, поэтому их выделение крайне важно.

3. Геодезические данные наблюдений

Используются результаты нивелирования, GNSS-наблюдений, данные InSAR, а также результаты инженерных мониторингов на отдельных объектах. Эти данные позволяют выявлять активные деформации.

4. Гидрологические и климатические данные

Включают:

- интенсивность осадков,
- уровень грунтовых вод,
- влажность грунтов,
- расстояние до рек и оврагов,
- глубину водоупоров.

В Алматы сильные осадки и снеготаяние – один из ключевых триггеров оползней.

5. Исторические карты оползней

Использование архивных данных позволяет выявить закономерности, определить наиболее опасные участки и провести калибровку модели.

6. Техногенные и инфраструктурные данные

Необходимо учитывать застройку, дороги, коммуникации, зоны выемок и насыпей, так как техногенное воздействие значительно увеличивает вероятность оползней в городской среде.

Все данные приводятся к единой системе координат, одинаковому разрешению и выравниваются для последующей обработки.

Наибольшая активность оползней в Республике Казахстан наблюдается в следующих регионах (Рис.1):

Алматинская область – горные районы Заилийского Алатау;

Жамбылская область – предгорные и горные зоны;

Туркестанская область – особенно в предгорьях Таласского Алатау.

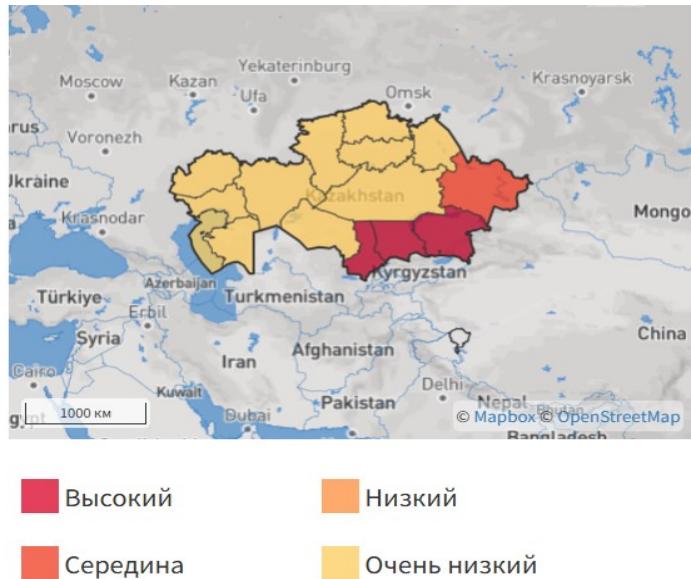


Рисунок 1. Пространственное распределение уровней оползневого риска по регионам Республики Казахстан

Виды бедствий на склонах

Для проведения эффективных мер в отношении неустойчивых склонов необходимо прояснить механизм формирования их неустойчивости. В этой связи была предпринята классификация бедствий на склонах, на основании 2 рубрик – угла наклона и геологического строения склона. При этом основное внимание было обращено на механизм формирования неустойчивости (Табл. 1 Классификация видов бедствий на склонах)

Уклон Порода	Небольшой (1)	Средний (2)	Большой (3)
Грунт (S)	Оползень (S1) 	Обрушение грунта (S2) 	Обвал грунта (S3)
Скальная порода (R)	Сползание скальной породы (R1) 	Обрушение скальной породы (R2) 	Обвал скальной породы (R3)

(Таблица 1. Классификация видов бедствий на склонах)

В районе Алматы сравнительно мало выходов скальной породы на поверхность, и широко распространены илистые грунты, имеющие довольно низкую вязкость. Поэтому на склонах чаще всего возникают такие бедствия, как обрушение грунта (S2) и обвал грунта (S3). Распределение видов бедствий, возникающих на склонах, показано на Рис.5.6.3 (Карта распределения видов бедствий, возникающих на склонах).

2) Объекты охраны

Для вынесения оценки о степени опасности бедствия необходимо, прежде всего, уяснить целевые объекты охраны. Такими объектами были заданы реки, жилые дома и дороги.

3) Предрасполагающие топографические факторы

В качестве предрасполагающих топографических факторов было взято топографическое и геологическое зонирование (см. предыдущий пункт), а также показатели уклона.

4) Предрасполагающие геологические факторы

С учетом отчетов ранее предыдущих исследований, в качестве предрасполагающего геологического фактора рассматривалась геологическая структура склонов. С точки зрения геологии, подверженные бедствиям склоны относятся к типам «*deg Q III-IV*» (поверхностные слои горной зоны, сложенные осыпными осадочными отложениями) и «*fQ I*» (илистые осадочные отложения верхнечетвертичного периода в зоне предгорий). В частности, при достижении влагонасыщения прочность обладающих низкой вязкостью илистых отложений предгорий (*fQ I*), снижается, что становится фактором перехода склона в неустойчивое состояние.

5) Масштабы

Были зарегистрированы высота, длина и ширина неустойчивых склонов, а также толщина неустойчивых массивов грунта. На основании этих данных был рассчитан вес предполагаемых массивов неустойчивого грунта. Размеры неустойчивого склона прямо связаны с масштабом бедствия и являются поэтому важным элементом оценки.

6) Инициирующие

Инициирующие факторы были подразделены на природные и антропогенные, и было зарегистрировано содержание каждой группы факторов. Природными инициирующими факторами являются, в основном, следующие: крутизна склонов; слабость грунтов; подземные воды; поверхностные воды. В районе Алматы, в частности, во многих случаях инициирующим фактором является речная эрозия. Антропогенные факторы отличаются разнообразием и включают протечки водопроводов, ненадлежащую выемку грунта, строительство обладающих недостаточным уплотнением земляных насыпей, и т.д. Причинами антропогенных факторов являются недостаточное понимание субъектами, ведущими застройку и хозяйственное освоение территории, рисков бедствий на склонах, а также изъяны в функционировании системы административного руководства реализацией проектов. Необходимо срочное принятие соответствующих коррекционных мер.

Оценка рисков бедствий на склонах

Для количественной оценки устойчивости склонов при землетрясении необходимо выполнить подробную топографическую съемку, вести наблюдение за уровнем подземных вод, рассчитать геологические константы (адгезионную способность, угол внутреннего трения, плотность), затем рассчитать устойчивость и т.д. Хотя подробные данные для расчета устойчивости склонов собраны не были, исходя из соображения об отсутствии больших относительных различий между рисками при землетрясении и рисками в нынешних условиях, была произведена оценка рисков на настоящий момент. Целью при этом ставилось определиться с дальнейшими контрмерами. Была выполнена оценка риска по каждому из следующих 3 факторов: предполагаемому масштабу бедствия; предполагаемой частоте возникновения бедствия; объектам охраны. На основе этих

частных оценок была выведена комплексная оценка. Критерии оценки риска по каждому фактору и критерии комплексной оценки указаны в Табл. 2.1~2.4

Таблица 2.1 Критерии оценки масштаба предполагаемого бедствия

Оценка	Предполагаемый масштаб бедствия
A	10 000 м ³ и более
B	1 000 м ³ ~ 10 000 м ³
C	менее 1 000 м ³

Таблица 2.2 Критерии оценки частоты возникновения бедствия

Оценка	Частота возникновения бедствия (историческая)
a	Часто возникало в прошлом. Или же, случалось совсем недавно.
b	Случалось в прошлом.
c	Сведений о возникновении в прошлом не имеется.

Таблица 2.3 Критерии оценки объектов охраны

Оценка	Объекты охраны
1	Участки, на которых имеются коммунальные объекты, важные объекты инженерно-коммунальной инфраструктуры; участки, на которых имеется много жилых домов
2	Участки, через которые проходят дороги; участки, на которых стоят несколько жилых домов
3	Реки, горные леса и т.д.; территории, на которых жилых домов мало, или где жилые дома отсутствуют

Таблица 2.4 Матрица комплексной оценки

	A			B			C		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	Выс	Выс	Выс	Выс	Ср	Ср	Выс	Ср	Низ
2	Выс	Выс	Ср	Ср	Ср	Низ	Ср	Низ	Низ
3	Выс	Ср	Ср	Ср	Низ	Низ	Низ	Низ	Низ

Как видно из Табл. 3, практически все аварийные склоны, оценка риска возникновения бедствия на которых высокая, приходили в неустойчивое состояние под воздействием антропогенных факторов. Поэтому для того, чтобы деятельность по освоению и застройке склонов не приводила к бедствиям, в дальнейшем наряду с реализацией мер по приведению склонов в устойчивое состояние следует добиваться более глубокого понимания субъектами застройки и хозяйственного освоения склонов существующих здесь рисков, а также добиваться надлежащего функционирования системы контроля за реализацией проектов.

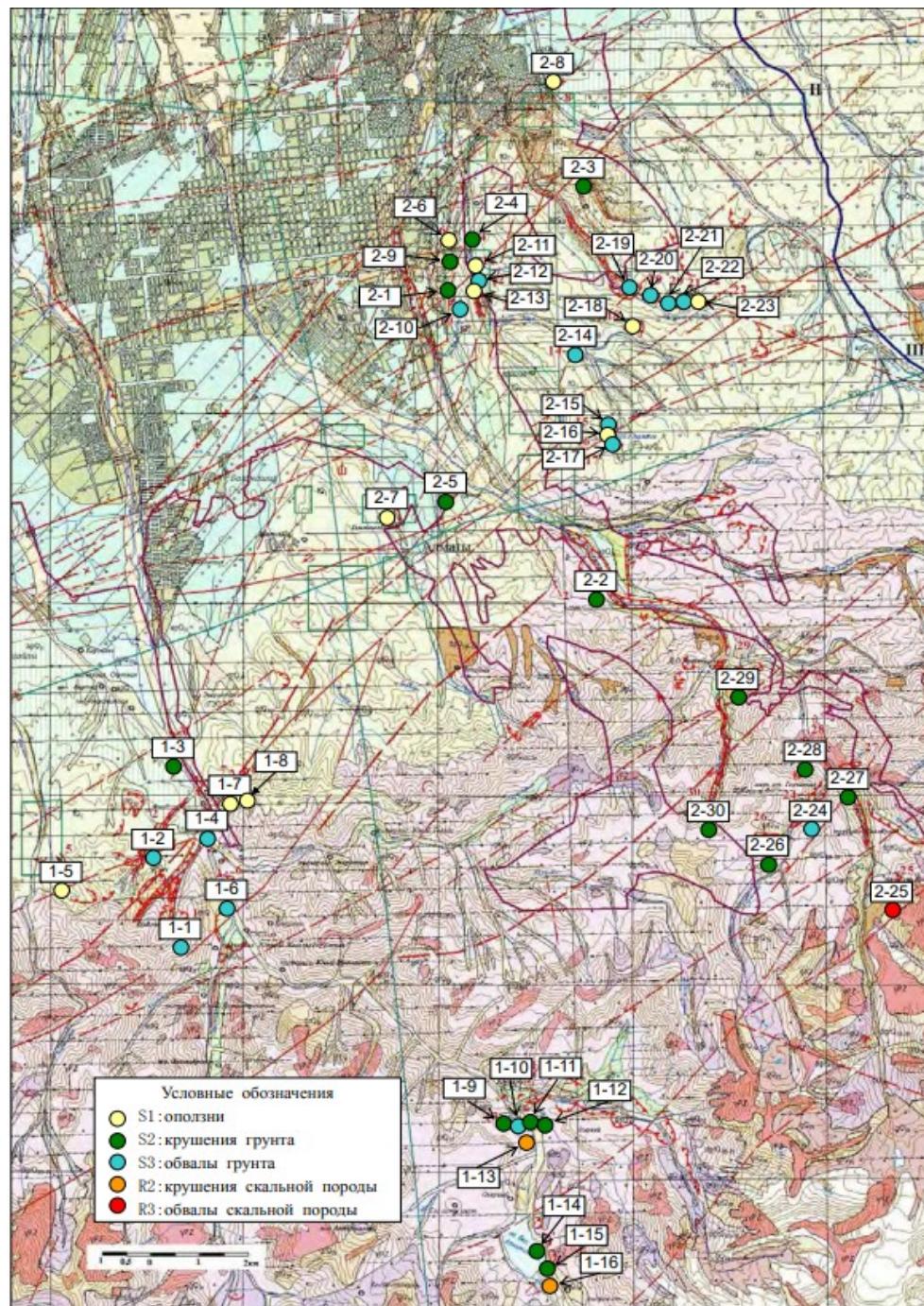


Рисунок 2. Карта распределения бедствий на склонах, с разбивкой по видам бедствий

Таблица 3. Обзорная таблица (результаты исследования существующих материалов по оценке склонов; итоги дополнительных исследований)

Бассейн р. Большая Алматинка

№	а) Виды бедствий на склонах	б) Объект охраны	с) Топографические факторы		д) Геологические факторы	е) Масштаб				ф) Инициирующие факторы		Вынесение заключения о риске						
			Рельеф	Уклон (°)		Высота (м)	Длина (м)	Ширина (м)	Толщина слоя (м)	Размер массива грунта (м³)	Природн.	Антропоген.	Содержание	Масштаб склона	Частота возникновения	Объект охраны	Оценка риска	
1-1	S3	Обвал грунта	Река	Горный район	60	degQ III-IV	300	-	400	10	1 000 000	○	-	Речная эрозия	A	a	3	Выс.
1-2	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	18-25	-	80	3	6 000	○	-	Речная эрозия	B	a	3	Средн.
1-3	S2	Обвал грунта	Река	Район предгорий	20-30	fQ I	-	30	12	5-8	1 000	-	○	Протечка из водопровода	B	a	3	Средн.
1-4	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	-	100	50	0,5	2 500	○	-	Речная эрозия	B	a	3	Средн.
1-5	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	-	70-80	20-40	4-5	16 000 (1 500)	-	○	Протечка из водопровода	A	c	1	Выс.
1-6	S3	Обвал грунта	Река	Горный район	60-80	degQ III-IV	25-30	-	300	0,5	4 500	○		Речная эрозия, создание земляной насыпи	B	a	3	Средн.
1-7	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	35	fQ I	100	200	250	5	250 000 (100 000)	○		Выемка грунта на участке	A	b	1	Выс.
1-8	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	35	fQ I	200	450	400	5	900 000 (500 000)	○		Выемка грунта на участке	A	b	1	Выс.
1-9	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	20	100	30	0,5	1 500 (1-5)	○		Выемка грунта под дорогу	B	b	2	Средн.
1-10	S3	Обвал грунта	Дорога, река	Горный район	60-70	degQ III-IV	50	70	50	0,5	1 750	○	-	Речная эрозия	B	a	2	Средн.
1-11	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	20	50	30	0,5	750 (100)	○	-		C	b	2	Низкий
1-12	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60-70	degQ III-IV	20	50	30	0,5	750 (100)	○	-		C	b	2	Низкий
1-13	R2	Крушение скальной породы	Река	Горный район	60-70	degQ III-IV	250	250	100	0,5-1	25 000 (100-200)	○	-		B	b	3	Низкий
1-14	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	10	50	15	0,3	225 (100)	○		Выемка грунта под дорогу	C	b	2	Низкий
1-15	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	60	degQ III-IV	10	50	15	0,3	225 (1-5)	○		Выемка грунта под дорогу	C	b	2	Низкий
1-16	R2	Крушение скальной породы	Дорога	Горный район	60-70	degQ III-IV	30	50	15	0,3	225 (500)	○		Выемка грунта под дорогу	B	b	2	Средн.

Бассейн р. Малая Алматинка

№	а) Виды бедствий на склонах	б) Объект охраны	с) Топографические факторы		д) Геологические факторы	е) Масштаб				ж) Инициирующие факторы			Вынесение заключения о риске					
			Рельф	Уклон (°)		Высота (м)	Длина (м)	Ширина (м)	Толщина слоя (м)	Размер массива грунта (м³)	Природн.	Антропоген.	Содержание	Масштаб склона	Частота возникновения	Объект охраны	Оценка риска	
2-1	S2	Обвал грунта	Жилые дома, дорога	Район предгорий	35-40	fQ I	-	200	100	5	100 000	○	-		A	b	I	Выс.
2-2	S2	Обвал грунта	Река	Горный район	30-40	degQ III-IV	-	150	40	2-3	20 000	○		Речная эрозия	A	b	3	Средн.
2-3	S2	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	40-45	fQ I	18-20	-	30	2-3	1 000	○	-		B	b	2	Выс.
2-4	S2	Обвал грунта	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	30	-	5-7	1-2	1 000	-	○	Протечка из водопровода	B	a	1	Выс.
2-5	S2	Обвал грунта	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	-	40	10-12	4-6	1 200	-	○	Протечка из водопровода	B	a	1	Выс.
2-6	S1	Оползень	Дорога, жилые дома	Район предгорий	-	Земляная насыпь	-	60	30	-	1 500	-	○	Недостаточное уплотнение земляной насыпи	B	a	1	Выс.
2-7	S1	Оползень	Дорога, жилые дома	Район предгорий	-	Земляная насыпь	-	80	60	-	10 000	-	○	Недостаточное уплотнение земляной насыпи	A	a	1	Выс.
2-8	S1	Оползень	Жилые дома	Район предгорий	25-30	fQ I	-	60	30	3-5	3 000				B	a	1	Выс.
2-9	S2	Обвал грунта	Жилые дома	Район предгорий	25-35	fQ I	-	50	10-12	2-3	1 000	-	○	Протечка из водопровода	B	a	1	Выс.
2-10	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	10	20	0,3	10	○	-		C	b	2	Низкий
2-11	S1	Оползень	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	10	-	30	0,5	10	○	-	Речная эрозия	C	b	2	Низкий
2-12	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	10	30	0,5	10	○		Выемка грунта под дорогу	C	b	2	Низкий
2-13	S1	Оползень	Река	Район предгорий	60	fQ I	-	20	10	0,5	200	○	-	Речная эрозия	C	b	3	Низкий
2-14	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	100	30	200	5	50 000				A	b	3	Средн.
2-15	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	10	30	20	0,5	100	○	-		C	b	3	Низкий
2-16	S1	Оползень	Река	Район предгорий	40	fQ I	200	500	700	10	1 000 000				A	b	3	Средн.
2-17	S3	Обвал грунта	Река	Район предгорий	60	fQ I	30	70	30	1	1 000				B	b	3	Низкий
2-18	S1	Оползень	Река	Район предгорий	60	fQ I	-	200	150	5	150 000	-			A	b	3	Средн.
2-19	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	400	150	5	300 000	-	○	Протечка из водопровода	A	c	2	Средн.
2-20	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	10	30	0,5	10	○		Выемка грунта под дорогу	C	c	2	Низкий
2-21	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	15	50	0,5	10	○		Выемка грунта под дорогу	C	c	2	Низкий
2-22	S3	Обвал грунта	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	-	50	30	2	1 000	○		Выемка грунта под дорогу	B	c	2	Низкий
2-23	S1	Оползень	Дорога	Район предгорий	60	fQ I	50	200	50	2	10 000	○		Выемка грунта под дорогу	A	c	2	Средн.
2-24	S3	Обвал грунта	Река	Горный район	60-70	degQ III-IV	20	30	300	0,5-1,5	1 000	○	-	Речная эрозия	B	a	3	Средн.
2-25	R3	Крушение скальной породы	Дорога	Горный район	60-70	degQ III-IV	10	15	30	0,5	20	○	-		C	b	2	Низкий
2-26	S2	Обвал грунта	Река	Горный район	35	degQ III-IV	150	200	10	0,5	500	○	-		C	a	3	Средн.
2-27	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	35	degQ III-IV	-	150	10	0,5	500	○	-		C	c	2	Низкий
2-28	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	40	degQ III-IV	-	30	10	0,3	100	○	-		C	b	2	Низкий
2-29	S2	Обвал грунта	Дорога	Горный район	30	degQ III-IV	20	30	2-5	1-1,5	80	○	-		C	b	2	Низкий
2-30	S2	Обвал грунта	Река	Горный район	35-40	degQ III-IV	-	-	-	1-1,5	-	○	-		C	a	3	Низкий

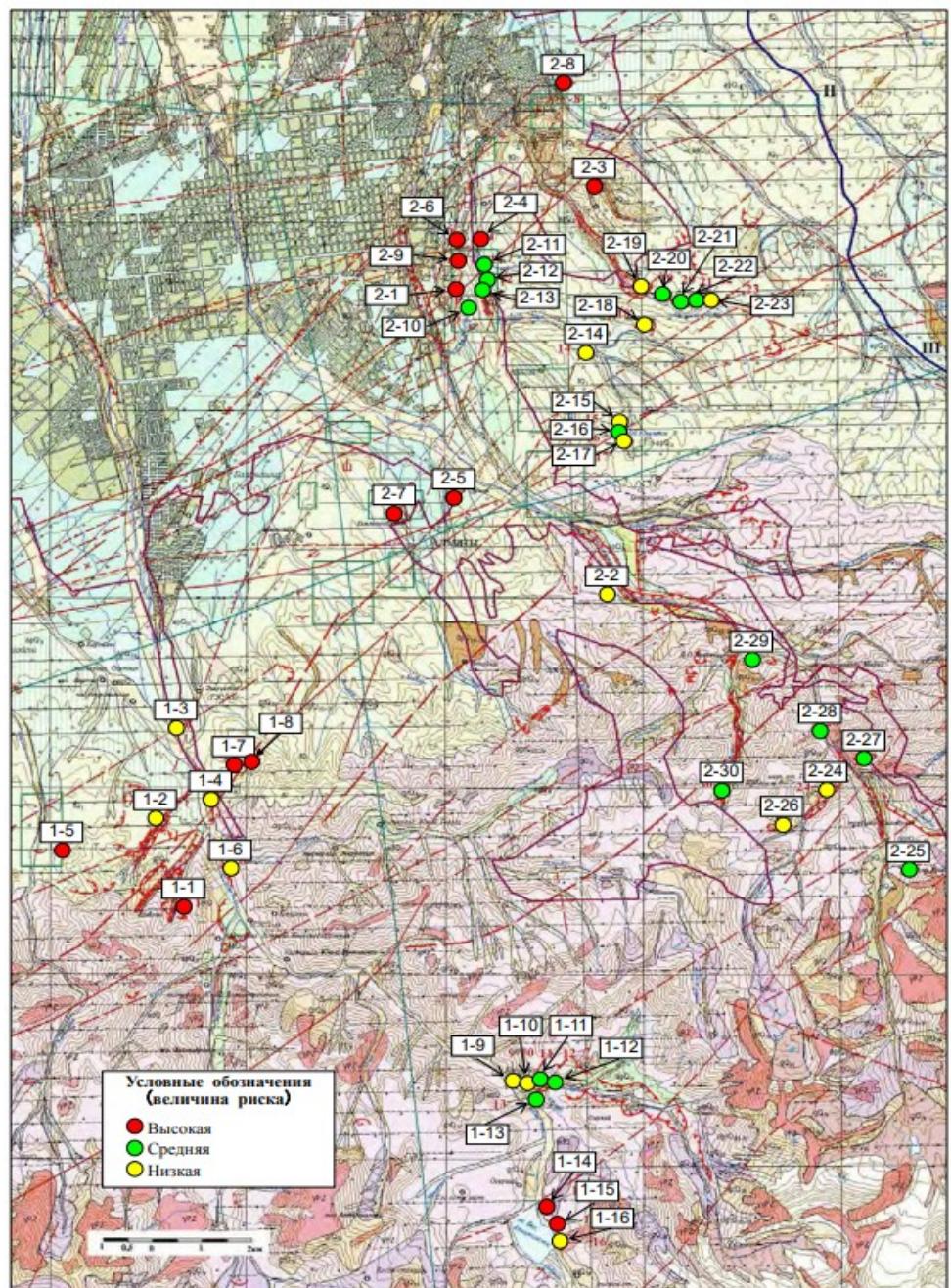


Рисунок 3. Результаты оценки риска на аварийных склонах

Заключение

Большинство задокументированных оползней в Казахстане произошли в густонаселенных районах с хорошо развитой инфраструктурой и были тяжелыми или катастрофическими по масштабу. Из-за пересеченной местности и удаленности многих регионов записи об оползнях отсутствуют для 80% территории страны. Хотя полевые исследования всё ещё актуальны для локальных исследований в крупных горных и предгорных районах для конкретизации защитных мер, они остаются достаточно дорогостоящими.

В дальнейшем планируется более широкое применение методов дистанционного зондирования и методов ГИС-анализа, машинного обучения, нейронных сетей, использующих глобальные наборы данных с открытым доступом и сопутствующие метаданные для прогнозирования опасностей. Платформа ГИС позволяет манипулировать наборами данных, которые формируют первоначальную оценку региона и сужают полевое исследование до конкретных областей интереса только в случае крайней необходимости, экономя затраты.

Важно, чтобы меры по предотвращению опасности осуществлялись в тесном сотрудничестве научных учреждений, государственных органов и местных жителей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment. 3. Landslide Hazard and Risk Assessment. UNISDR, 2017.
https://www.unisdr.org/files/52828_03landslidehazardandriskassessment.pdf
- [2] Capobianco, V., Choi, C. E., Crosta, G. et al. Effective landslide risk management in era of climate change, demographic change, and evolving societal priorities. *Landslides* (2025).
<https://doi.org/10.1007/s10346-024-02418-2>
- [3] Norwegian Geotechnical Institute (2012). SafeLand project. R&D program Safeland. Abstract available from www.ngi.no/eng/Projects/SafeLand
- [4] Scolobig A., Thompson M., Linnerooth-Bayer J. Compromise not consensus: designing a participatory process for landslide risk mitigation // *Natural Hazards*. - 2016. - Vol. 81, supplement 1. - P. 45-68.
- [5] Aldabergen U., Blagoveshchensky V., Ranova S., Kamalbekova A. Application of unmanned aerial vehicles to obtain morphometric characteristics of landslides // *RT&A. Special Issue No 5(75)*. - Vol. 18. - 2023. - P. 656-662.
- [6] Airbus WorldDEM4Ortho in ArcGIS Living Atlas of the World. Доступно на сайте: <https://www.esri.com/arcgisblog/products/arcgis-living-atlas/imagery/airbus-worlddem4ortho-in-arcgis-living-atlas-of-the-world/> (Accessed: 3 February 2025).
- [7] Силачева Н. В., Кульбаева У. К., Кравченко Н. А. Вероятностная оценка сейсмической опасности Казахстана и г. Алматы по пиковым ускорениям грунта // Геодезия и геодинамика. - 2018. - Т. 9, вып. 2. - С. 131-141.
<https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.11.002>
- [8] Ахметов А. Ж., Жакулина А. А., Елиусизов Р. Н. Особенности структурно-неустойчивых грунтов южного региона Казахстана // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XX Международного симпозиума. - Томск, 2016. - С. 517-518.
- [9] Справочник по климату Казахстана: Многолетние данные. Раздел 1-2. Вып. 13. - Алматы: РГП «Казгидромет», 2004. - С. 295

REFERENCES

- [1] Words into Action Guidelines: National Disaster Risk Assessment Hazard Specific Risk Assessment. 3. Landslide Hazard and Risk Assessment. UNISDR, 2017.
https://www.unisdr.org/files/52828_03landslidehazardandriskassessment.pdf
- [2] Capobianco, V., Choi, C. E., Crosta, G. et al. Effective landslide risk management in era of climate change, demographic change, and evolving societal priorities. *Landslides* (2025).
<https://doi.org/10.1007/s10346-024-02418-2>
- [3] Norwegian Geotechnical Institute (2012). SafeLand project. R&D program Safeland. Abstract available from www.ngi.no/eng/Projects/SafeLand
- [4] Scolobig A., Thompson M., Linnerooth-Bayer J. Compromise not consensus: designing a participatory process for landslide risk mitigation // *Natural Hazards*. 2016. Vol. 81, supplement 1. P. 45-68.
- [5] Aldabergen U., Blagoveshchensky V., Ranova S., Kamalbekova A. Application of unmanned aerial vehicles to obtain morphometric characteristics of landslides // *RT&A. Special Issue No 5 (75)*. Vol. 18. 2023. P. 656-662.
- [6] Airbus WorldDEM4Ortho in ArcGIS Living Atlas of the World. Available at:
<https://www.esri.com/arcgisblog/products/arcgis-living-atlas/imagery/airbus-worlddem4ortho-in-arcgis-living-atlas-of-the-world/> (Accessed: 3 February 2025).
- [7] Silacheva N. V., Kulbayeva U. K., Kravchenko N. A. Probabilistic seismic hazard assessment of Kazakhstan and Almaty city in peak ground accelerations // *Geodesy and Geodynamics*. Vol. 9, Issue 2. March 2018. P. 131-141.
<https://doi.org/10.1016/j.geog.2017.11.002> (in Russ.).
- [8] Akhmetov A. Zh., Zhakulina A. A., Eliusizov R. N. Features of structurally unstable soils of the southern region of Kazakhstan // *Problems of Geology and Subsoil Development. Proceedings of the 20th International Symposium*. Tomsk, 2016. P. 517-518 (in Russ.).
- [9] Climate Handbook of Kazakhstan. Long-term data. Sections 1-2. Issue 13. Almaty: RSE «Kazhydromet», 2004. 295 P. (in Russ.)

ArcGIS бағдарламасын пайдаланып Қазақстан Республикасының аумақтарындағы көшкін қаупіне геодезиялық талдау

Аннотация. Қазақстанның таулы аумақтары халық тығыздығы жоғары болғандықтан адамдық және материалдық шығынның жоғары қаупін тудыратын қауіпті процестердің

белсенді дамуымен сипатталады. Жоспарлау және басқару жұмыстарын жүзеге асыруда локальді көшкіндерді зерттеудің ең репрезентативті әдісі – дәстүрлі далалық әдістер және қашықтықтан зондтау мен ГАЖ комбинациясы. Соңғы нәтиже ретінде әрбір көшкін қаупі жоғары участкеге арналған барлық ұсыныстарды біріктіретін кесте ұсынылады.

Түйін сөздер: жер көшкіні, жер көшкіні қаупін бағалау, төтенше жағдайлар, далалық зерттеулер, қорғау шаралары, ГАЖ.

Geodetic analysis of landslide risk in Kazakhstan using ArcGIS

Abstract. The mountainous regions in southeastern Kazakhstan are characterized by high landslide susceptibility. High populated areas in the low and foothill zones, where natural and anthropogenic conditions increase the occurrence of landslides, are particularly vulnerable to damage with human loss. The use of a combination of the traditional field-oriented method and the application of remote sensing and GIS to assist planning and management processes is considered as the most representative way to study local landslides. The final result is a table that consolidates all recommendations for each landslide-prone area.

Keywords: landslides, landslide risk assessment, emergency, field survey, protective measures, GIS.

Литература

1. Замай В.И. Проблемы мониторинга селевой опасности горных районов Казахстана // Проблемы автоматики и управления. – 2014. – № 2. – С. 31-40.
2. – С. 31-40. 29. Замай В.И. Методы и технические средства мониторинга селевой опасности горных территорий // Проблемы автоматики и управления. – 2015. – № 1. – С. 148-157
3. Горбунов А.П., Северский Э.В. Сели окрестностей Алматы: Взгляд в прошлое. – Алматы, 2001. – 80 с.