

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«Российский государственный геологоразведочный университет имени
Серго Орджоникидзе» (МГРИ-РГГРУ)**

на правах рукописи



НГУЕН ЧУНГ КИЕН

**НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕГИОНАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ
РИСКА ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ (НА ПРИМЕРЕ
РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЛАОКАЙ ВЬЕТНАМА)**

Специальность 25.00.08 – Инженерная геология,
мерзлотоведение и грунтоведение

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук
профессор Пендин В.В.

Научный консультант:
доктор геолого-минералогических наук
Фоменко И.К.

Москва – 2018

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОПОЛЗНЕВЕДЕНИЯ.....	9
1.1. Определение объекта и предмета исследований теоретического оползневедения.....	9
1.2. Определение оползневого процесса.....	9
1.3. Механизмы оползневого процесса.....	15
1.4. Факторы, критерии и причины оползневого процесса	20
1.5. Динамика оползневых процессов.....	22
1.6. Прогноз оползневой опасности	23
1.7. История изучения оползневого процесса во Вьетнаме.....	25
Выводы:	39
ГЛАВА 2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЛАОКАЙ ...	41
2.1. Геологическое строение, тектонические особенности и сейсмическая активность	42
2.2. Геоморфологические условия.....	45
2.3. Строение и свойства оползнеопасных отложений	50
2.4. Гидрогеологические условия	52
2.5. Современные экзогенные процессы.....	52
2.6. Климатические условия.....	57
2.7. Гидрография	59
2.8. Растительность	59
2.9. Хозяйственное освоение территории и техногенное воздействие.....	60
2.10. Проявление оползневых процессов в районе северо-западный Лаокай	62
Выводы	63
ГЛАВА 3. РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЛАОКАЙ.....	64
3.1. Методические основы региональной оценки и прогноза оползневых процессов.....	65
3.2. Методика оценки оползневой опасности для района северо-западный Лаокай	77
3.3. Региональная оценка оползневой опасности района северо-западный Лаокай на основе модифицированного МАИ.....	84

3.4. Оценка надежности полученных результатов, на основе отношения правдоподобия	96
Выводы	98
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ОПОЛЗНЕВОГО ПРОЦЕССА	100
4.1. Последствия активизации оползневых процессов.....	101
4.2. Основные решения по инженерной защите от оползневых процессов.....	107
Выводы	112
ГЛАВА 5. ОЦЕНКА РИСКА ОТ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЛАОКАЙ.....	113
5.1. Основные понятия и определения.....	114
5.2. Оцениваемые виды риска.....	118
5.3. Методика исследований	119
5.4. Оценка интенсивности оползневых процессов.....	119
5.5. Оценка уязвимости и ущерба от оползневого процесса.....	124
5.6. Оценка риска от оползневого процесса.....	126
Выводы:	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	132
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	135

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования:

Анализ и оценка риска от стихийных бедствий (далее - оценка риска) является составной частью его управления. Оценка риска заключается в систематическом использовании всей доступной информации для идентификации природных опасностей и оценки вероятности возможных нежелательных событий. Полученные результаты используются при перспективном территориальном планировании развития территорий и осуществлении мероприятий по снижению риска от природных и техногенных процессов. В практике оценки рисков, осложняющим фактором является то, что, несмотря на наличие большого количества литературы по рассматриваемой проблеме, в науке и практике не сформировалось единого подхода к определению сущности и содержания понятийной базы по риск-анализу. Это, в свою очередь, является существенным фактором, ограничивающим его использование, что особенно негативно проявляется при международном научном сотрудничестве.

Оценка риска от оползневых процессов достаточно сложна по своей природе в сравнении с другими природными угрозами такими как, например, наводнения или землетрясения. Это связано с тем, что хотя оползневая опасность может рассматриваться, как имеющая площадной характер, экстенсивность оползневого процесса крайне неоднородна и сложно предсказуема. Данный факт определяет трудности, как в моделировании оползневой опасности, так и в оценке уязвимости и элементов риска.

Оползни во Вьетнаме являются одним из наиболее широко развитых опасных геологических явлений. Они встречаются во всех горных районах страны. Вместе с тем территория северо-западной части провинции Лаокай считается одной из наиболее подверженных оползневым процессам, где они стали причиной существенных социальных и экономических потерь. С 2005 по 2015 год в данном регионе был идентифицирован 641 активный оползень.

Проблема оценки рисков от оползневых процессов в провинции Лао Кай стала особенно актуальной в последнее десятилетие, в связи с началом ее

комплексного освоения. На основании доклада [69], ущерб от оползней в исследуемой области, за период с 1965 по 2006 г. составил 150 человеческих жертв и свыше 360 разрушенных зданий.

Таким образом, актуальность выбора темы диссертационной работы объясняется тем, что грамотное планирование хозяйственного освоения территории, основанное на концепции оценки рисков с целью минимизации возможного ущерба – задача первостепенной важности для экономики Вьетнама, решить которую можно только на основе современных методов.

Цель и задачи:

Целью настоящей диссертационной работы является разработка научно-методических основ по региональной оценке рисков от оползневых процессов и их реализация для региона северо-западный Лаокай (Вьетнам) на основе ГИС технологий.

Основные задачи исследований:

- Определить условия и причины активизации оползневых процессов в районе северо-западный Лаокай.
- Осуществить районирование региона Лаокай по оползневой опасности.
- Выполнить оценку ущерба и риска от оползневых процессов в районе северо-западный Лаокай.
- Оценить надежность полученных результатов.

Научная и методическая новизна:

Научная и методическая новизна работы заключается в следующем:

1. Выявлены и проанализированы основные факторы оползнеобразования на исследуемой территории.
2. Разработана методика по оценке значимости выявленных факторов в активизации оползневого процесса.
3. Разработана и апробирована модифицированная методика оценки оползневой опасности, основанная на методе анализа иерархий (МАИ).
4. Выполнена оценка риска от оползневых процессов на базе метода анализа ущерба и потерь.

Методы исследования:

В развитие существующих методик оценки региональной оползневой опасности, автором данной диссертационной работы был разработан и апробирован подход, базирующийся на ГИС технологиях – модифицированный метод анализа иерархий (МАИ). Оценка риска от оползневых процессов была реализована на основе метода анализа ущерба и потерь.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Модифицированный метод анализа иерархий, реализованный в среде ГИС, может быть рекомендован к применению для оценки региональной оползневой опасности.

Выполненная в диссертационной работе оценка рисков от оползневых процессов может быть использована при разработке планов комплексного освоения территории - северо-западный Лаокай.

Теоретические и методологические положения работы и выводы по оценке оползневой опасности и риску от оползневых процессов могут быть использованы в учебных и научно-исследовательских целях.

Положения, выносимые на защиту:

1. Исследование оползнеобразующих факторов и выявление взаимосвязей между ними дает возможность построить модель оценки оползневой опасности. Основными параметрами оползневого процесса, определяющими активизацию оползней региона северо-западной Лаокай являются:

- 1) крутизна склонов;
- 2) горизонтальное расчленение рельефа;
- 3) вертикальное расчленение рельефа;
- 4) литологические разности грунтов;
- 5) гидрогеологические условия;
- 6) расстояние от активных разломов;
- 7) количество осадков;
- 8) тип растительности.

2. Предложенная автором модификация метода анализа иерархий (МАИ), позволяет избавиться от субъективности экспертных оценок, присущей МАИ в классической постановке при оценке региональной оползневой опасности территорий. Основным критерием для определения значимости параметра является форма функции распределения выявленных оползней по информационным классам. Параметр, имеющий большую дисперсию, является менее значимым в сравнении с параметром, имеющим меньшую дисперсию;

3. Выполненная региональная оценка риска от оползневых процессов района северо-западный Лаокай, с использованием метода анализа ущерба и потерь (АУП) показала высокую надежность, что было доказано на основе отношения правдоподобия полученных результатов.

Фактический материал:

В качестве исходных данных были использованы материалы дистанционного зондирования региона северо-западный Лаокай в сочетании с материалами традиционных полевых исследований, полученные автором при выполнении работ в составе Института геологических наук Вьетнамской академии наук и технологии.

Теоретическую основу исследований составили работы вьетнамских ученых Та Дук Тхинх, Нгуен Куок Тхань, Нгуен Чонг Ием, Фам Ван Ти, Зыонг Мань Хунг, Чан Ань Туан и других.

Достоверность научных положений и выводов обосновывается высоким качеством исходной геологической информации об объекте исследований, строгостью исходных построений используемых при решении поставленных задач, а также применением современных методов моделирования в среде ГИС.

Личный вклад автора:

Диссертационная работа выполнялась автором, начиная с 2016 года, на кафедре инженерной геологии Гидрогеологического факультета Российского государственного геологоразведочного университета им. С. Ордженикидзе (МГРИ-РГГРУ) во время обучения в аспирантуре. В основу диссертации положены материалы, полученные лично автором за 5-летний период работы в

Институте геологических наук Вьетнамской академии наук и технологии. Автором выполнено инженерно-геологическое картирование оползней изучаемой территории, проведен комплекс полевых работ и экспериментальных лабораторных исследований для прогнозного моделирования оползневой опасности, исследованы факторы оползневого процесса, выполнены оценка оползневой опасности и риска для территории северо-западный Лоакай.

Научная апробация и публикации:

По теме диссертации опубликовано 2 статьи в рецензируемых журналах из перечня ВАК, а также 1 статья в материалах конференции: «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации». (Москва, 2017г.); 1 статья в материалах конференции: «Тектоника зоны разломов Красной реки и геологии Северного Вьетнама» (Ханой, 2009г.).

Структура и объём работы:

Диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, она содержит 152 страницы текста, сопровождается 27 таблицами, 69 рисунком и списком литературы из 185 наименований.

Благодарности:

Автор выражает благодарность научному руководителю д. г-м. н., проф. В.В. Пендину за формирование научных взглядов, общее руководство над работой и полезные идеи. Научному консультанту д. г-м. н. И.К. Фоменко за возможность заниматься выбранной темой и помощь в выборе верного направления в работе. А так же к.г-м.н О.В. Зеркалю за ценные советы и всему профессорско-преподавательскому составу кафедры инженерной геологии РГГРУ-МГРИ за консультации в процессе написания работы.

ГЛАВА 1. ОСНОВЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ОПОЛЗНЕВЕДЕНИЯ

1.1. Определение объекта и предмета исследований теоретического оползневедения

Изучение оползневых процессов является приоритетным направлением целого ряда наук, и в первую очередь геологического, географического и геотехнического циклов. Поэтому, несмотря на различие решаемых задач, для получения полного представления об оползневом процессе необходим синтез различных знаний. Без всестороннего понимания причин развития оползней прогноз их активизации невозможен. Это обстоятельство подсказывает необходимость выделения специального научного направления – оползневедения [27].

В соответствии с определением теории какого-либо геологического процесса И.В. Поповым [101] теорию оползневых процессов можно определить как систему основных законов и закономерностей, определяющих их физическую сущность, возможность и условия возникновения, этапов активизации и затухания (протекание процесса во времени) в зависимости от взаимодействия с окружающей средой.

Объектом теоретического оползневедения является оползневой процесс или оползень. Предметом теоретического оползневедения является оценка оползневой опасности. Под оползневой опасностью, в рамках данной работы, понимается вероятность активизации оползневого процесса, в отличие от риска под которым понимается вероятность нанесения ущерба.

1.2. Определение оползневого процесса

Вначале необходимо определить понятия «склон» и «откос». По Е.П. Емельяновой склоном называется наклонный участок поверхности литосферы, формирующийся под действием рельефообразующих процессов [27]. Характер склона определяется составом и залеганием слагающих его пород, абсолютными и относительными отметками местности и характером склоновых процессов, зависящих от следующих особенностей – климата, экспозиции склона, растительности и других компонентов природной среды.

Простой склон состоит из собственно склона (BC), бровки склона (B), подошвы склона (C) и его подножия (CD) (рис 1.1) [27], [93].

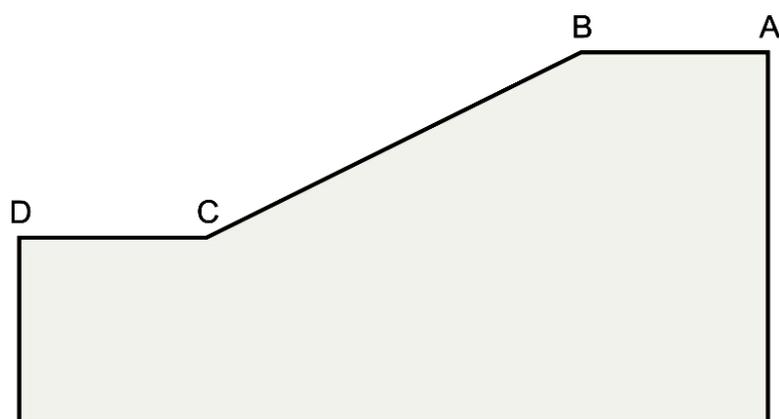


Рис. 1.1. Схема профиля простого склона по Е.П. Емельяновой [27].

Для оценки степени устойчивости все склоны подразделяются на три группы [55]: склоны сноса; склоны обрушения (в частности склоны подмыва) и склоны накопления.

Откос – искусственно созданная поверхность, которая ограничивает природный грунтовый массив, выемку или насыпь. Откосы образуются при возведении различных насыпей (дорожного полотна, земляных плотин и т.д.), выемок (котлованы, каналы, карьеры и т.п.) или при перепрофилировании территорий. При определённом сочетании различных факторов грунтовый массив, ограниченный откосом или склоном, может выйти из состояния равновесия, что может стать причиной развития оползневого процесса. Одной из основных геотехнических характеристик склона является его устойчивость.

Оползни являются экзогенными геологическими процессами. Экзогенный геологический процесс – движение приповерхностной геосистемы в физическом времени, обусловленное её взаимодействием с внешними средами или взаимодействием между элементами литосистемы [5]. Оползневой процесс имеет достаточно много определений. Они были собраны Н.Ф. Петровым в книге «Оползневые системы. Простые оползни» [95]. В таблице 1.1, дополненной авторами, в хронологическом порядке приведены наиболее известные определения оползней, которые были даны различными учёными, начиная с первой половины прошлого века.

Различные определения оползневого процесса [93]

№ п/п	Автор, источник	Определение оползня
1	Погребов Н.Ф., 1935	Движение масс горных пород вниз по склону под действием силы тяжести, часто при участии поверхностных и подземных вод
2	Попов И.В., 1959, с. 124	Скользящее смещение горных пород, слагающих склон, под действием их веса
3	Емельянова Е.П., 1972, с. 55, 57	Как процесс, «это смещение на более низкий уровень части горных пород, слагающих склон (а иногда также его основание, подножие и территорию за его бровкой) в виде скользящего движения, в основном без потери контакта между движущимися и неподвижными породами». Горные породы, оползающие в рассматриваемый момент или периодически, также называют оползнем
4	Геологический словарь, 1973, т. 2, с. 33	Отрыв земляных масс и перемещение их по склону под влиянием силы тяжести
5	Бранэден Д., 1973, с. 45	Термин «оползень» обычно означает движение вниз по склону рыхлых или скальных масс, которое происходит в основном в результате образования трещин отрыва на границах движущейся массы. Эти движения включают, как механизм оползания, так и механизм течения

6	Ломтадзе В.Д., 1977, с. 245	Оползнем следует называть массу горных пород, сползшую или сползающую вниз по склону или откосу (искусственный склон) под влиянием силы тяжести, гидродинамического давления, сейсмичности и некоторых других сил. Оползень есть результат геологического оползневого процесса, проявляющегося в вертикальном и горизонтальном смещениях масс горных пород вследствие нарушения их устойчивости – равновесия
7	Белый Л.Д., Попов В.В., 1978, с. 196	Под оползнем в общем смысле понимают смещение земляных масс по склону, причем различной морфологии, строения и динамики
8	Варнес Д, 1978, с. 32	По существу, оползень представляет собой совокупность склоновых движений масс пород, в процессе которых происходит разрушение и сдвиг вдоль одной или нескольких характерных поверхностей. Термин «оползень» широко применяется и будет, несомненно, использоваться в дальнейшем как общее понятие почти для всех видов склоновых процессов, включая и те движения, в которых мало скольжения или вообще его нет
9	Сергеев Е.М., 1978, с. 223	В общем представлении оползень – это скользящее смещение горных пород на склонах под действием силы тяжести при участии поверхностных или подземных вод

10	Кюнтцель В.В. 1980, с. 15	Целесообразно под оползнем понимать часть геологической среды, ограниченной земной поверхностью и поверхностью смещения, по которой без потери контакта с неподвижным основанием происходит ее перемещение на новый, как правило, более низкий гипсометрический уровень. Тогда под оползневым процессом следует понимать последовательное изменение состава, состояния и свойств оползня с момента его зарождения и перемещения на другой уровень, вплоть до полного затухания, проявляющееся в деформациях, слагающих его горных пород
11	Инженерно-геологические изыскания. 1980, с. 191	Смещение горных пород, слагающих склон, представляющее собой скользящее движение вследствие механического разрушения или течения пород склона или его основания без потери контакта между смещающейся и неподвижной частью склона
12	Золотарев Г.С., 1983, с. 197-198	Оползнями называются такие смещения на склонах горных пород разного состава, сложения и объёмов, в которых преобладает механизм скольжения их по имеющейся или формируемой в процессе движения поверхности или зоне, когда сдвигающие усилия больше прочности пород
13	Петров Н.Ф., 1988 г, с. 28	Оползень – это процесс отделения и смещения части горных пород, слагающих склон (откос), с образованием стенки отрыва и сохранением материальной связи со средой

14	Кюнтцель В.В., 1992 г., с. 48	Оползень или оползневый процесс – смещение части горных пород (грунтов) под влиянием прежде всего силы тяжести на более низкий гипсометрический уровень при сохранении контакта с неподвижным основанием. Нередко под термином «оползень» также понимают оползневое тело, т.е. геологическое тело, которое сформировано в оползневом процессе и ограничено снизу поверхностью или зоной смещения, а сверху земной поверхностью
15	Опасные экзогенные процессы, 1999, с. 99.	Под гравитационными склоновыми процессами (ГСП) понимают денудационно-аккумулятивные экзогенные геологические процессы на естественных склонах и искусственных откосах, проявляющиеся в виде смещенного грунтового материала на более низкие гипсометрические уровни под действием силы тяжести без существенного влияния каких-либо транспортирующих агентов
16	Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б., 2001, с. 263	Оползневые явления (оползни) – движение больших масс горных пород вниз со склона или откоса по поверхности (или поверхностям) скольжения под влиянием различных гравитационных сил (веса пород, давления воды, сейсмического воздействия, техногенной нагрузки)

Анализируя таблицу, можно сделать вывод, что все авторы по-своему определяют понятие оползня. Не смотря на это, все имеют следующие общие позиции [93]:

1. оползневой процесс – смещение масс горных пород вниз по склону;
2. основная движущая сила – вес смещающихся пород;
3. движение оползневых масс по склону происходит в виде скольжения или, в отдельных случаях, течения;

4. смещение оползневого тела происходит без потери контакта с неподвижным основанием.

Следует учитывать, что под оползнем понимают и оползневой процесс и оползневое тело. В настоящей работе термин «оползень» используется в обоих смыслах.

1.3. Механизмы оползневого процесса

Под механизмом оползневого процесса вслед за Е.П. Емельяновой [27] будем понимать последовательность или совокупность промежуточных состояний и элементарных процессов взаимодействия отдельных частей оползня и неподвижного ложа, посредством которых оползень переходит из одного состояния в другое и тем самым осуществляется протекание оползневого процесса [95, 6].

В одних случаях происходит оползание блока или блоков горных пород (структурные оползни), в других перемещение масс горных пород осуществляется в виде течения, подобно вязкой жидкости (пластические оползни). Вязкое течение характеризует развитие пластических или хрупко-пластических деформаций в объеме оползневых масс, тогда как при образовании структурных оползней такие деформации развиваются только по поверхностям и зонам ослабления [51].

В ходе изучения данного процесса помимо его определений создавались различные классификации. В 1935 году Ф.П. Саваренский выделил три типа оползней – асеквентные, инсеквентные и консеквентные [110]. В 1958 году Д. Варнес выделил оползни скольжения и оползни течения [12]. В 1959 году М.К. Рзаева выделила оползни блоковые, срезающие, соскальзывания, сползания, выдавливания (одесского типа), суффозионные, выплывания, просадочные, потоки (течения, оползания), норвежского типа [104].

В 1970 году Г.С. Золотарев выделил оползни соскальзывания (консеквентные), выдавливания (детрузивные), выплывания, суффозионные, потоки и сплывы, разжижения [12]. В том же году В.В. Кюнтцель и К.А. Гулакян предложили классификацию, в которой выделили следующие типы оползней:

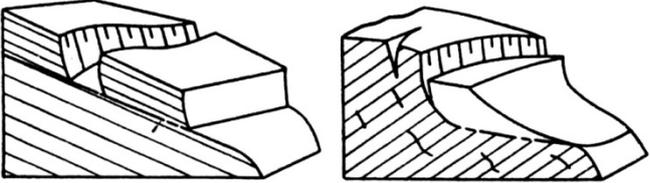
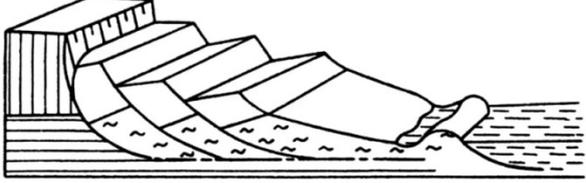
оползни скольжения, выдавливания, выплывания, проседания, течения и разжижения [13].

В 1978 Д. Варнес году к собственной классификации (оползни скольжения и течения) добавил оползни выдавливания [12].

В 1980 году В.В. Кюнтцель предложил классификацию, которая несколько отличается от предложенной им и К.А. Гулакяном. В новой классификации выделяются оползни скольжения, сдвига (выдавливания), выплывания, проседания, оползни-потоки (течения) и оползни разжижения [49].

В 1987 году Н.Ф. Петров выделил следующие виды оползней: оползни скольжения, выдавливания, проседания («особенные»), выплывания (суффозионные), проседания, течения, оседания («особенные»), и разжижения [92].

В.В. Кюнтцель (рис.1.2) [49] по механизму оползневого процесса выделяет шесть типов оползней. Каждый из этих типов может быть разделен на классы, устанавливаемые по составу, возрасту и генезису пород основных деформирующихся горизонтов (ОДГ), с которыми связаны оползни. Под ОДГ понимается такое геологическое тело, деформации которого приводят к нарушению естественного залегания и деформациям всего комплекса геологических тел в пределах оползневой зоны. Деформационное поведение пород ОДГ во многом обуславливает особенности механизма оползневого процесса.

№	Название типа оползня по его механизму	Типовые схемы
1	Скольжения	
2	Выдавливания	

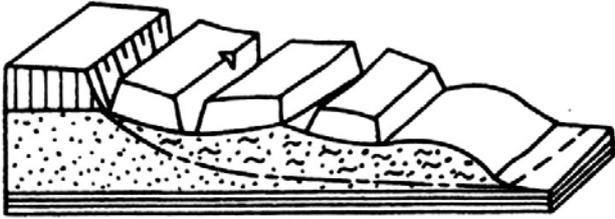
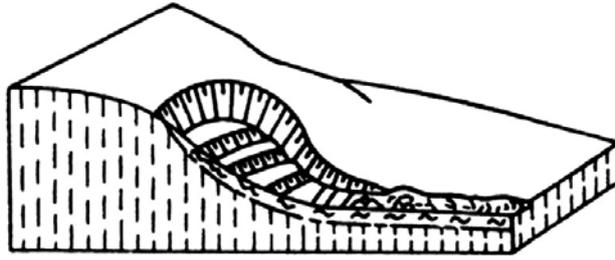
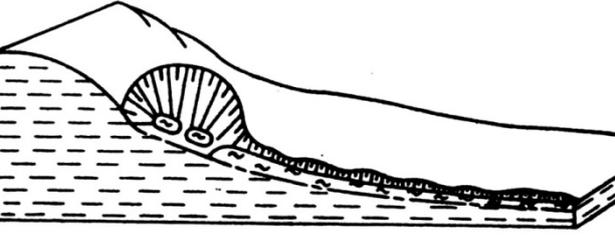
3	Выплывания	
4	Течения	
5	Проседания	
6	Разжижения	

Рис.1.2. Классификация типов оползней (по В.В.Кюнтцелю [49])

Ниже приводится краткое описание типов механизмов оползневых процессов.

Оползни скольжения - По В.В. Кюнтцелю, под термином «оползни скольжения» следует понимать скольжение блоков пород или рыхлых масс вследствие мгновенной потери прочности (хрупкого разрушения) или развития ползучести, переходящей в срез [12]. Среди оползней скольжения выделяют два типа –консеквентные и инсеквентные (по Ф.П. Саваренскому). В консеквентных смещение блоков происходит по плоскостям напластования, а в инсеквентных – по зонам ослабления, секущим грунтовый массив.

В зарубежной практике [162] в зависимости от соотношения и вида поверхностей ослабления, отчленяющих тело оползня, различают три главные группы оползней скольжения по механизму образования:

- первая – с явно выраженной одной поверхностью скольжения;
- вторая – с двумя поверхностями скольжения, падающими навстречу друг другу и вниз по склону, когда смещение оползневого блока происходит в направлении, совпадающим с их линией пересечения, типа «клин»;
- третья – с круглоцилиндрической поверхностью скольжения (рис 1.3).

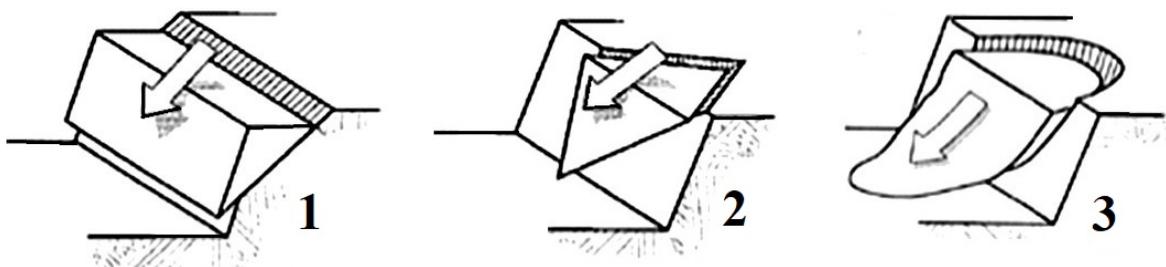


Рис. 1.3. Типы нарушения устойчивости скальных склонов. Обрушение скального блока пород: 1- по одной поверхности скольжения; 2- по двумя поверхностями скольжения; 3–по круглоцилиндрической поверхности скольжения [162].

Оползни выдавливания:

Оползни выдавливания образуются в склонах, сложенных осадочными, интрузивными и эффузивными породами, когда вес вышележающих горных пород превышает прочность подстилающих. Основным условием развития оползней выдавливания является присутствие в основании склона выдержанных горизонтов пород, обладающих очень низкой прочностью, и перекрытых сверху относительно прочными породами значительной мощности [93].

Оползни выплывания образуются в результате выпора плавунных пород, вовлекающих в движение породы перекрывающей толщи. Исследования последних лет показали, что нередко в качестве ОДГ выступают пылеватые песчаные грунты, содержащие в своем составе органо-минеральные коллоиды. Нарушение коллоидных связей в грунте, например в результате повышения порового давления приводит к значительным деформациям и переходу их в плавунное состояние [93].

Оползни-потоки — Оползни потоки встречаются как в платформенных, так и в горно-складчатых областях и сложены, как правило, водонасыщенными глинистыми, пылеватыми и обломочно-глинистыми массами. Они возникают при увлажнении их образующих пород дождевыми, снеговыми, подземными или хозяйственными водами, в результате чего, из-за снижения прочности, обломочно-глинистые массы начинают под действием силы тяжести двигаться как вязко-пластическое тело по заранее подготовленным или сформированным в процессе смещения поверхностям [93].

Оползни проседания : Особенности механизма во многом редуцируются деформационным поведением лессовых пород, которые при увлажнении обладают способностью лавинного разрушения первичной структуры, сопровождающимся просадочными явлениями. Просадочные деформации в верхней, наиболее пористой части массива лессов, связаны с проникновением в него атмосферных осадков. Нижняя же часть массива лессовых пород увлажняется преимущественно за счет выклинивания подземных вод на склоне. В результате неравномерности просадки образуются трещины, облегчающие доступ атмосферным водам в более глубокие слои, что приводит к отчленению оползневых масс от склона [93].

Оползни разжижения распространены в областях развития молодых глинистых отложений, преимущественно морского генезиса, характерным свойством которых является высокая чувствительность. Высокочувствительные глины обладают способностью внезапно разжижаться и переходить в текучее состояние при нарушении их первичной структуры. Причиной этого считают постоянное выщелачивание солей из глинистых пород в течение длительного периода времени, что приводит к снижению их прочности до 30%. Уменьшение концентрации солей в поровых растворах вызывает снижение активности глинистых минералов и отсюда происходит увеличение чувствительности глин [93].

Кроме простых оползней, в инженерной практике сталкиваются с более сложно структурированными оползнями. Сложные оползни состоят из двух и

более генетически связанных оползневых тел, развитие одного из которых вызывает активизацию соседних. Различаются многоярусные или многоэтажные оползневые системы, состоящие из оползней одного или нескольких генетических типов [95].

1.4. Факторы, критерии и причины оползневого процесса

Оползни являются вторичными экзогенными геологическими процессами (ЭГП), то есть подготовка к их формированию осуществляется первичными ЭГП, развивающимися на контакте различных сред. [6]. Для развития любого экзогенного геологического процесса необходимы причины и факторы развития.

Причины образования оползней можно свести в три основных группы [93]:

1) *Изменение формы и высоты склона.* К этой группе относится подрезка склона, вызванная как антропогенной деятельностью, так и природной за счет подмыва склона постоянными водными потоками, морской абразией склона.

2) *Изменение строения, состояния и свойств пород, слагающих склон.* Эта группа объединяет процессы, изменяющие породы, их физико-механические свойства. Это физическое и химическое выветривание, увлажнение пород атмосферными и подземными водами. Суффозионные и карстовые процессы.

3) *Дополнительная нагрузка на склон.* Это различные дополнительные нагрузки, такие как сейсмические, гидродинамические, гидростатические, искусственное статическое или динамическое воздействие.

Е.П. Емельянова под фактором оползневого процесса понимала любое обстоятельство, которое влияет на устойчивость склонов и, следовательно, может способствовать возникновению или повторному смещению оползня [27].

Достаточно большое количество работ было посвящено определению факторов развития оползневого процесса. По мнению автора, наиболее полной является классификация по виду влияния факторов на коэффициент устойчивости и на режим устойчивости склона. Она основана на подходах, предложенных Е.П. Емельяновой [27] и И.П. Ивановым [39]. По ней факторы оползнеобразования можно разделить на две различные группы:

1. Группа факторов, которая объединяет условия оползнеобразования (среднюю величину коэффициента устойчивости):

- рельеф местности;
- геологическое строение склонов и откосов;
- особенности физико-механических свойств горных пород;
- гидрогеологические условия;
- современные и новейшие тектонические движения и сейсмические явления;
- климатические особенности района;
- гидрологический режим водоёмов и рек для береговых оползневых участков;
- развитие сопутствующих экзогенных геологических процессов и явлений;
- инженерная деятельность человека.

2. Группа факторов, которая объединяет процессы, изменяющие величину коэффициента устойчивости. Её, в свою очередь можно разделить на следующие подгруппы:

1) Подгруппа факторов изменяющих состав, состояние, строение и свойства горных пород, которые слагают склон или откос, а в итоге влияющих на их прочность и деформируемость. Она включает:

- процессы выветривания;
- увлажнение грунтов дождевыми, талыми, подземными и хозяйственными водами;
- процессы промерзания и оттаивания грунтов;
- процессы длительной ползучести грунтов;
- процессы выщелачивания и суффозии.

2) Подгруппа факторов, изменяющих напряжённое состояние массива горных пород склона или откоса, которая включает:

- процессы эрозии и абразии;
- изменение базиса эрозии;

- изменение уровня грунтовых вод и связанные с этим эффекты гидростатического взвешивания грунтов и гидродинамического давления фильтрационного потока;

- аккумуляцию аллювиальных и делювиальных отложений, пригрузку склонов обвальными массами;

- техногенное воздействие, связанное с подрезкой, пригрузкой и изменением профиля склона;

- сейсмическое воздействие.

Переход от отдельных факторов оползневого процесса, которые можно рассматривать как инструмент качественной оценки устойчивости склонов, к критериям делает возможным оценивать устойчивость склонов и делать прогноз ее изменения приближенно-количественным. Г.С. Золотарев [34] выделял следующие группы критериев, позволяющих проводить приближенно-количественный анализ:

- литологический критерий,

- структурно-трещинный критерий

- критерии новейших и современных тектонических движений

- морфологический критерий,

- гидрологический и гидрогеологический критерии

- геомеханический критерий

1.5. Динамика оползневых процессов

Динамика оползневых процессов характеризуется определенными закономерностями их развития во времени. В динамике формирования каждого оползня можно различать три этапа:

1) этап подготовки оползня, как правило, постепенного уменьшения устойчивости масс горных пород;

2) этап фактического образования оползня, как правило, сравнительно быстрой или резкой потери устойчивости массами горных пород;

3) этап существования — стабилизации оползня, восстановления устойчивости масс горных пород.

Такая схема развития оползневой процесса рассматривалась многими исследователями, среди которых Ф.П. Саваренский [109], И.В. Попов [100], Е.П. Емельянова [27], В.Д. Ломтадзе [51], Г.С. Золотарев [34] и другие.

И.П. Иванов и Ю.Б.Тржцинский [40] также выделяется три этапа развития оползневой процесса, названные стадиями (Табл 1.2):

- **подготовительная:** Начало или активизация воздействия природных или техногенных факторов, монотонно уменьшающих степень устойчивости склона или откоса.

- **появления оползня:** Движение пород вниз по склону (откосу) с большой скоростью в твердых породах и небольшой в глинистых отложениях, находящихся в зоне сдвига.

- **затухания оползневой процесса:** Быстрое затухание движения оползневых масс скальных пород или в случае наличия контрафорса (противоположного берега, борта карьера, подпорного сооружения).

Основные особенности развития оползневой процесса во времени можно охарактеризовать следующими положениями [27]:

1. Оползневой процесс является нестационарным, в нем можно выделить определенные этапы, стадии и фазы развития.

2. Оползень возникает при коэффициенте устойчивости склона или откоса, равном единице.

3. Смещение оползня в каждом цикле является законченным.

4. Повторение процесса возможно после достижения неустойчивого равновесия при некотором воздействии старого или нового фактора.

5. Оползневой процесс является необратимым.

1.6. Прогноз оползневой опасности

Под прогнозом геологических процессов и явлений понимается (по определению А.И. Шеко [140]) «научное, основанное на анализе закономерностей развития, предсказание места, времени, характера, (типа) и масштаба проявления тех или иных процессов, а также подверженности территории и объектов народного хозяйства их воздействию».

Прогноз оползневой опасности [98] представляет собой предсказание возможности появления (или степени распространения) активных оползней на рассматриваемых склонах при последующих вероятных изменениях природных условий и воздействий (в результате намечаемого хозяйственного освоения территории и влияния природных процессов). Известно достаточно большое число методических решений и приемов прогнозирования оползневых процессов. К.А. Гулакян, В.В. Кюнтцель и Г.П. Постоев [14] предложили иерархическую классификацию методов прогнозирования оползневых процессов (рис. 1.4).

В данной схеме в зависимости от целей, достигаемых на различных стадиях инженерно-геологических исследований, выделяются две основные группы методов: региональные и локальные. Каждая группа по форме представления результатов прогноза делится на два типа: качественное и количественное. В свою очередь количественные методы прогноза в зависимости от методологии подхода разделяются на два класса: детерминированные и вероятностные. И, наконец, для каждого из классов указаны примеры конкретных методов прогноза оползневых процессов.

На современном этапе, целесообразно доработать рассмотренную выше классификацию с учетом постоянно развивающихся и совершенствующихся методов прогнозирования оползневой опасности. Вариант классификации методов прогнозирования региональной оползневой опасности будет рассмотрен во третьей главе.



Рис. 1.4. Классификация методов прогнозирования оползневых процессов (по К.А. Гулакяну, В.В.Кюнтцелю и Г.П.Постоеву [14]).

1.7. История изучения оползневого процесса во Вьетнаме

Оползни во Вьетнаме являются одним из наиболее широко распространенных опасных геологических процессов и встречаются во всех горных районах страны. Вместе с тем территория северо-западной части провинции Лаокай считается одной из наиболее подверженных оползневым процессам, где они стали причиной существенных социальных и экономических потерь [69]. С 2005 по 2015 год, в этом районе был идентифицирован 641 активный оползень. По механизму развития большинство из них относятся к оползням скольжения. Анализ полученных данных показал, что самый большой оползень занимает площадь около 65,5 тыс. м², минимальный размер оползневых проявлений составляет 417 м². Наиболее крупные оползни (> 10 000 м²) составляют 11% от общего числа выявленных оползней, на средние (1 000-10 000 м²) приходится 65,6%, а на оползни с размерами менее 1 000 м² - 23,4% [150]. Существенные экономические и социальные потери, связанные с активизацией оползневых процессов, привели к пониманию необходимости их системного изучения и, начиная с 90-х годов прошлого столетия к решению проблемы по минимизации рисков от оползневых процессов были привлечены ведущие профильные центры в области исследования оползней: Институт геологических

наук Вьетнама, Институт географии (Вьетнамская академия наук и технологий), Национальный центр гидрометеорологического прогнозирования, Институт геологии и минералов, Ханойский университет науки (Вьетнамский национальный университет, Ханой), Ханойский университет горного дела и геологии.

Основные этапы изучения оползневых процессов во Вьетнаме

До 2000 годов направления исследований были, в основном сосредоточены на ситуационном анализе и разработке типовых решений по противооползневой защите. К наиболее значимым исследованиям данного периода следует отнести работы по изучению оползневой опасности в районе Лайчау, в частности: «Оценка и прогноз оползневой опасности в городе Сон Ла» с целью прогнозирования оползневой опасности при разработке планов перспективного развития территории и предложение мероприятий по противооползневой защите.

После 2000 года началось систематическое исследование оползней при дорожном строительстве. На этом этапе, были проанализированы геологические, геоморфологические и техногенные факторы активизации оползневого процесса. Типичным примером работ на данном этапе является следующие [135]:

- Изучение оползней вдоль автотрассы Шапа – Бакха, с разработкой комплекса противооползневых мероприятий;
- Оценка геологических условий, тектоники и связанных с ней геологических процессов вдоль некоторых участков шоссе Хо Ши Мина;
- Изучение геоморфологических особенностей оползнеобразования на дорогах провинции Куанг-Бин;
- Инвентаризация и оценка оползневой опасности на дорогах в районе Као Банг.

В это же время изучение оползневых процессов приобретает региональный характер. Составлена карта районирования Вьетнама по оползневой опасности (рис.1.5). Выполненные исследования показали, что из 16 северных провинций Вьетнама, 12 характеризуется высокой оползневой опасностью [69]. На работы по оползневой тематике начинает выделяться существенное финансирование.

Примерами успешно выполненных региональных работ по оценке оползневой опасности и рискам от оползневых процессов являются:

- Оценка риска от оползней в горных районах Северного Вьетнама, с целью принятия решений по их минимизации;
- Изучение катастрофических оползневых процессов в северных горных провинциях и разработка профилактических мероприятий по минимизации последствий;
- Исследование оползней в бортах гидроэнергетического водохранилища Сон Ла;
- Исследование и прогнозирование стихийных бедствий в Хоа Бинь;
- Оценка геологических опасностей в прибрежных и центральных провинциях от Куанг Бинь до Фу Йен [133].

В настоящее время при решении задач по оценке и прогнозу оползневой опасности во Вьетнаме активно разрабатываются и внедряются в практику исследований методы дистанционного зондирования и анализ на основе геоинформационных систем (ГИС).

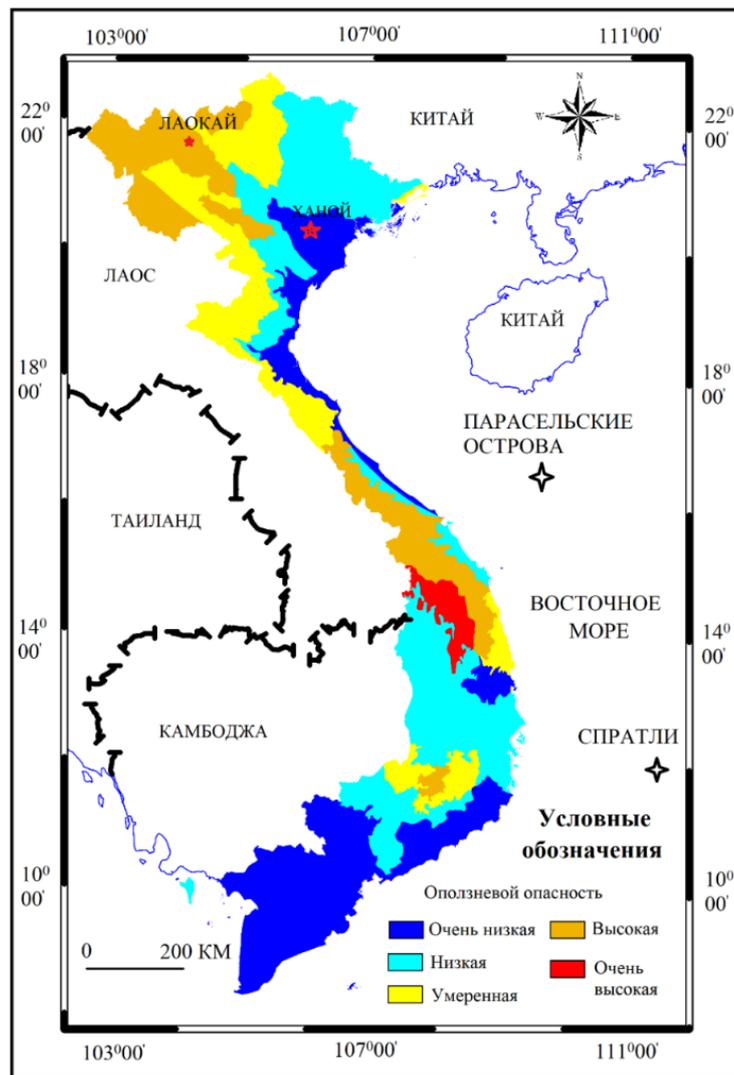


Рис 1.5. Карта районирования Вьетнама по оползневой опасности [69].

Современные методы оценки региональной оползневой опасности во Вьетнаме

Одно направление исследований, которое в настоящее время разрабатывается, и которое играет важную роль в анализе и оценке опасностей, - это применение географических информационных систем (ГИС). При использовании ГИС можно выделить две группы методов оползневых исследований:

- (i) группу методов, основанных на математических уравнениях, которые имитируют физическую природу оползней;
- (ii) группу статистических методов, основанных на анализе факторов оползнеобразования.

Примерами использования технологий, основанных на ГИС при оценке оползневой опасности являются карты чувствительности территорий к оползневому процессу, разработанные для северных районов Вьетнама [135].

Применение методов, основанных на математических уравнениях, которые имитируют физическую природу оползней.

Метод регионального прогноза оползневой опасности по индексу стабильности (SINMAP)

С целью регионального прогноза оползнеопасности по параметру близкому по сути к коэффициенту устойчивости для района Ха Лонг - Кам Фа на северо-востоке Вьетнама был использован метод районирования территории по индексу стабильности [37].

Данный метод (Stability INdex MAPping - картирование по индексу стабильности) был разработан в Университете штата Юта (США) в сотрудничестве с консалтинговой фирмой Terratech Consulting Ltd, организацией C.N. Goodwin Fluvial System Consulting, U.S. Forest Service, Rocky Mountain Research Station (США) и организацией Forest Renewal British Columbia (Канада). В его основе лежит расчет устойчивости склонов по схеме бесконечного откоса с учетом влияния подземных вод, которая определяет коэффициент устойчивости склона как отношение между удерживающими (stabilizing forces) и сдвигающими (destabilizing forces) силами, согласно зависимости (1.2).

$$FS = \frac{\text{stabilizing forces}}{\text{destabilizing forces}} = \frac{C_r + C_s + \cos^2 \theta [\rho g(D - D_w) + g(\rho - \rho_w)D_w] \tan \phi}{D \rho g \sin \theta \cos \theta} \quad (1.1)$$

где FS - коэффициент устойчивости склона; C_r – вегетативное сцепление $[N/m^2]$; C_s - сцепление грунтов $[N/m^2]$; θ - угол наклона склона $[градусы]$; ρ - плотность грунтов $[kg/m^3]$; ρ_w - плотность воды $[kg/m^3]$; g - ускорение свободного падения $[9.81 m/s^2]$; D – мощность слоя грунтов $[m]$; D_w - высота уровня грунтовых вод $[m]$; ϕ - угол внутреннего трения грунтов $[о]$. На рисунке 1 показана геометрия, предполагаемая в уравнении (1.2).

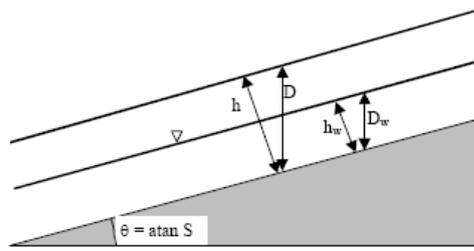


Рис 1.6. Модель схемы бесконечной устойчивости склона

Зависимость (1.1) может быть преобразована к следующему виду (1.2):

$$FS = \frac{C + \cos\theta(1-wr)\tan\phi}{\sin\theta} \quad (1.2)$$

где FS - коэффициент устойчивости склона; $C = (C_r + C_s)/(h \cdot r \cdot s \cdot g)$ - безразмерное комбинированное сцепление; $w = D_w/D = h_w/h$ - относительная влажность; $r = \rho_w/\rho$ - отношение плотности воды к плотности грунтов.

Из практики инженерно-геологических исследований известно, что влажность грунтов тесно связана с гидрологическими особенностями территории. Используя гидрологический критерий, авторы SINMAP предлагают определить относительную влажность следующим образом (1.3):

$$w = \text{Min} \left[\frac{Ra}{T \sin\theta}; 1 \right] \quad (1.3)$$

Где R - коэффициент эффективного питания подземных вод приходящийся на единицу площади поверхности; T - коэффициент водопроницаемости грунтов; $a = A/b$ - удельная площадь водосбора, рассчитываемая на единицу длины топографического профиля (рис 1.7)

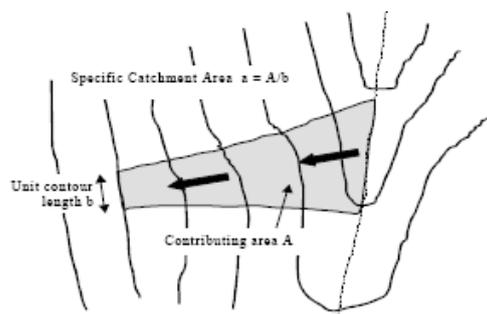


Рис 1.7. Определение удельной площади водосбора

Объединяя расчет устойчивости склонов по схеме бесконечного откоса (1.2) с гидрологическим подходом (1.3) получим следующую зависимость для FS (1.4):

$$FS = \frac{C + \cos\theta \left[1 - \min \left(\frac{R}{T} \frac{a}{\sin\theta}, 1 \right) r \right] \tan\phi}{\sin\theta}, \quad (1.4)$$

При прогнозировании оползневой опасности важно понимать изменчивость, дискретность, по существу, случайность имеющихся в нашем распоряжении рядов значений физико-механических характеристиках грунтов, полученных в ходе инженерно-изыскательских работ. Учитывая широкий спектр колебаний таких характеристик, связанный, кроме всего прочего, с прогнозом их изменения, авторы модели SINMAP ввели понятие индекса стабильности склона (SI) определив его следующим образом для «неблагоприятного» и «благоприятного» сочетания:

- Неблагоприятное сочетание (минимальные прочностные характеристики грунтов, максимальные осадки)

$$SI = FS_{min} = \frac{c_1 + \cos\theta \left(1 - \min\left[\frac{R_1}{T_1 \sin\theta}, 1\right] r\right) \tan\varphi_1}{\sin\theta} \quad (1.5)$$

- Благоприятное сочетание (максимальные прочностные характеристики грунтов, минимальные осадки)

$$SI = FS_{max} = \frac{c_2 + \cos\theta \left(1 - \min\left[\frac{R_2}{T_2 \sin\theta}, 1\right] r\right) \tan\varphi_2}{\sin\theta} \quad (1.6)$$

Значения φ , C и T/R для «благоприятного» и «неблагоприятного» и сочетания параметров при расчете индекса стабильности склонов в регионе Ха Лонг-Кам Фа приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2.

Значения φ , C и T/R для «благоприятного» и «неблагоприятного» и сочетания параметров при расчете индекса стабильности склонов в регионе Ха Лонг-Кам Фа

Сочетание параметров	Возраст оползнеопасных отложений	g (m/s ²)	ρ_w (kg/m ³)	ρ (kg/m ³)	φ (о)	C	T/R
благоприятное	$T_3 n-r$ hg	9.81	1000	1982	15.2 ÷ 30.3	0.011 ÷ 0.340	527 ÷ 2494

неблагоприятное	Q	9.81	1000	1846	6.5 ÷ 29.3	0.010 ÷ 0.260	1212 ÷ 2813
-----------------	-----	------	------	------	------------------	---------------------	-------------------

В широком смысле индекс стабильности понятие вероятностное, которое связано с коэффициентом устойчивости следующим образом (1.7):

$$SI = Prob(FS > 1) \quad (1.7)$$

Важным преимуществом регионального прогноза оползневой опасности по индексу стабильности метод SINMAP является его реализация в программном обеспечении ArcGIS. Это позволяет максимально автоматизировать процесс районирования по индексу стабильности.

Результатом регионального прогноза по индексу стабильности (SI) является карта районирования (рис. 1.8).

Для определения устойчивости склонов на основе SI использовалась классификация, приведенная в таблице 1.3.

Таблица 1.3.

Определение устойчивости склонов на основе индекса стабильности SI

Классификация	Индекс стабильности склонов
Стабильный - Stable	$SI > 1.5$
Умеренно стабильный - Moderately Stable	$1.25 < SI \leq 1.5$
Квази-стабильным - Quasi-stable	$1.0 < SI \leq 1.25$
Нижний порог нестабильности - Lower Threshold (для потери устойчивости необходимо неблагоприятное сочетание параметров)	$0.5 < SI \leq 1.0$
Верхний порог стабильности - Upper Threshold (для сохранения стабильности необходимо благоприятное сочетание параметров)	$0.0 < SI \leq 0.5$

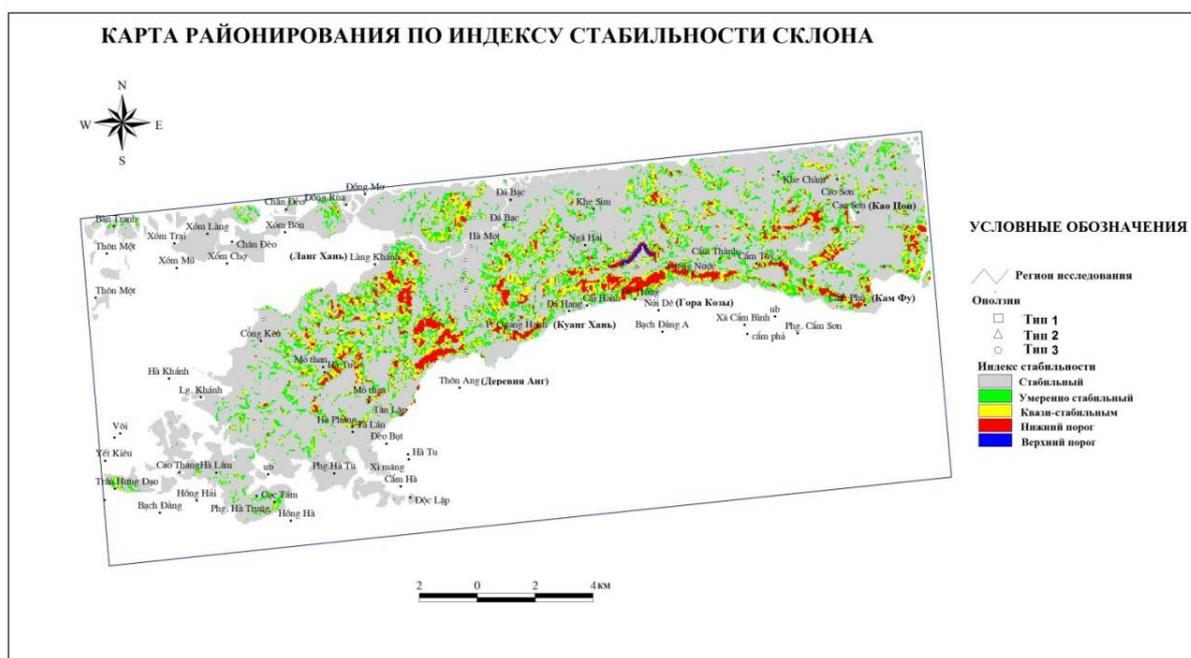


Рис 1.8. Карта районирования по индексу стабильности склона SI региона Ха Лонг - Кам Фа [37].

Применение статистических методов, основанных на анализе факторов оползнеобразования

Метод оценки оползневой опасности на основе создания искусственных нейронных сетей

Искусственные нейронные сети (ИНС) — общие нелинейные функции, которые широко используются для решения многих проблем — подтверждения значений весов и классификации при помощи обработки, топологии сети, а также тренировочных правил.

Многослойный персептрон¹, как наиболее часто используемая нейронная сеть включает входной слой, выход и один или более скрытых слоев. Количество используемых нейронов на входе и выходе, как правило, регулируется при разработке модели. Их количество определяется путем длительного подбора. Обработка данных с помощью искусственных нейронных сетей включает три этапа — обучение, подтверждение весовых коэффициентов и классификация. На первом этапе данные, поступившие на входные нейроны, обрабатываются

¹ Персептрон или перцептрон (англ. perceptron от лат. perceptio — восприятие; нем. Perzeptron) — математическая или компьютерная модель восприятия информации мозгом (кибернетическая модель мозга), предложенная Ф. Розенблаттом в 1957 г. и впервые реализованная в виде электронной машины «Марк-1» в 1960 г. Персептрон стал одной из первых моделей нейросетей, а «Марк-1» — первым в мире нейрокомпьютером.

в скрытом слое сети и поступают на выходной слой. Значения, получаемые на выходе нейронной сети можно выразить следующим образом:

$$net_j = \sum_{i=1}^t w_{ij} p_i \quad (1.8)$$

где: w_{ij} — вес между нейроном i входа и нейроном j скрытого слоя; p — входные данные; t — количество входных слоев.

Например, если на вход сети подается несколько факторов — литология, градиентный аспект (углы уклона), свойства почв, растительный покров, сейсмическая активность, то схематически нейронная сеть будет иметь вид, как на рис. 1.9 [46].

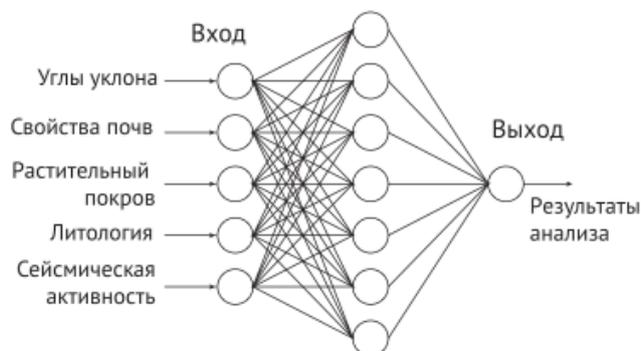


Рис. 1.9. Структура искусственной нейронной сети, применяемой для анализа оползневой чувствительности [46].

Обучение алгоритму предполагает два прохода по всем слоям сети - прямого и обратного. При прямом проходе входной вектор подается на входной слой нейронной сети, после чего распространяется по сети от слоя к слою. В результате генерируется набор выходных сигналов, который и является фактической реакцией сети на данный входной образ. Во время прямого прохода все синаптические веса сети фиксированы. Во время обратного прохода все синаптические веса настраиваются в соответствии с правилом коррекции ошибок, а именно: фактический выход сети вычитается из желаемого, в результате чего формируется сигнал ошибки. Этот сигнал впоследствии распространяется по сети в направлении, обратном направлению синаптических связей. Синаптические веса настраиваются с целью максимального приближения выходного сигнала сети к желаемому [48].

Этот метод был впервые применен во Вьетнаме в 2012 году [147, 148, 149]. Карта районирования оползневой опасности района провинции Хоа Бинь на основе метода искусственных нейронных приведена на рис. 1.10.

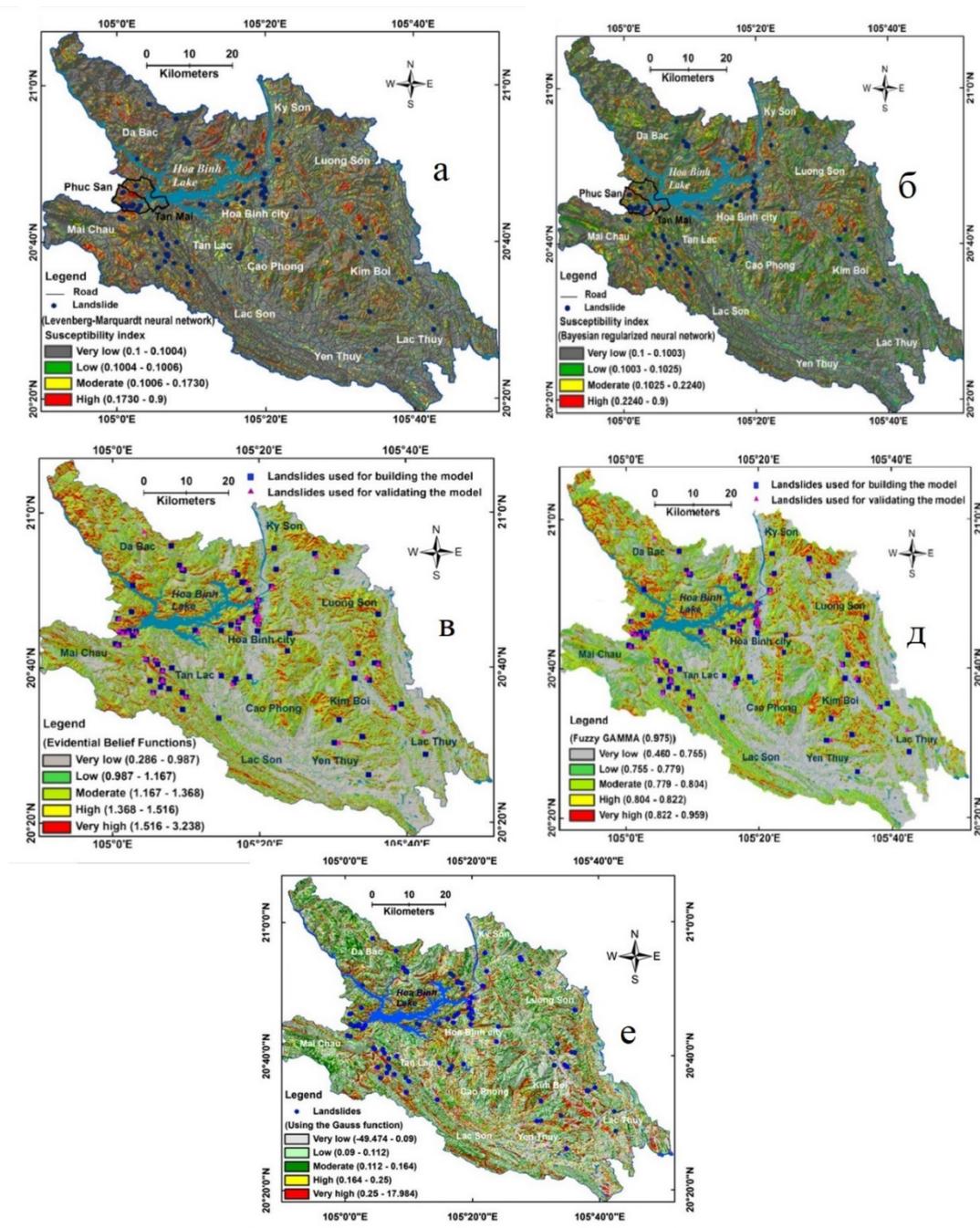


Рис 1.10. Карта районирования оползневой опасности района провинции Хоа Бинь (Вьетнам) на основе метода искусственных нейронных сетей а) Метод Левенберга — Марквардта; б) Байесовская нейронная сеть; в) evidential belief functions; д) Нечёткая логика; е) Нейро-нечёткие системы [147, 148, 149].

Оценка оползневой опасности на основе метода опорных векторов (англ. SVM, support vector machine).

Метод опорных векторов - набор алгоритмов обучения, использующихся для задач классификации и регрессионного анализа. Он принадлежит семейству линейных классификаторов и может также рассматриваться как специальный случай регуляризации по Тихонову. Особым свойством метода опорных векторов является непрерывное уменьшение эмпирической ошибки классификации.

Этот метод был впервые применен во Вьетнаме в 2016 году для оценки оползневой опасности на северо-западе провинции Лаокай и в Центральном Вьетнаме (Рис 1.11.) [150-151].

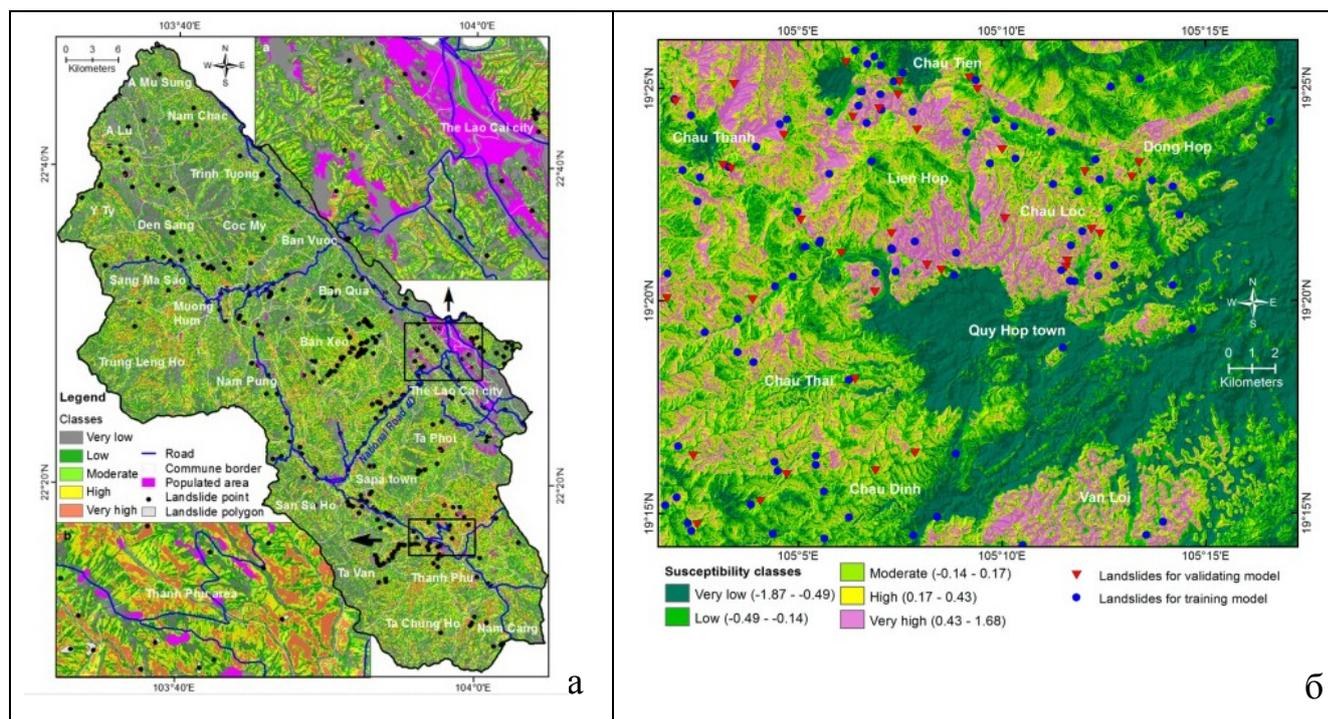


Рис 1.11. Карта районирования по оползневой опасности района: а - северо-западный Лаокай [150]; б - в Центральном Вьетнаме [151].

Оценка оползневой опасности на основе метода наивного байесовского классификатора

Классификатор Байеса, основанный на применении теоремы Байеса, использует статистическую гипотезу о том, что все значения числовых атрибутов независимы и нормально распределены в каждом классе.

Во Вьетнаме данный метод был впервые применен в 2016 году для оценки оползневой опасности в районе Люк Йен провинции Йен Бай [176] (рис 1.12).

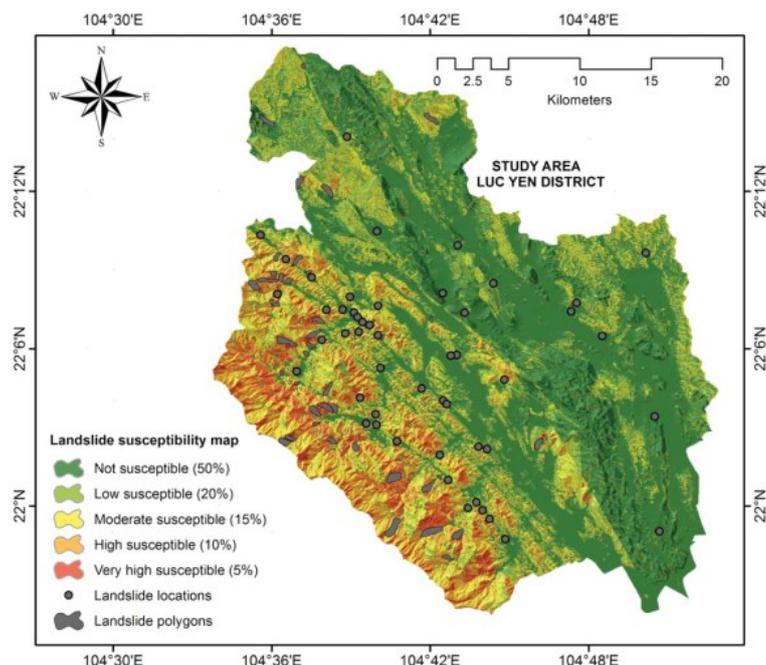


Рис 1.12. Карта районирования по оползневой опасности района Люк Йен провинции Йен Бай (Вьетнам) [176].

Мониторинг оползневых процессов во Вьетнаме

Одновременно с внедрением ГИС анализа при изучении оползневых процессов во Вьетнаме начали разрабатывать системы мониторинга опасных геологических процессов (СМОГП).. Создание СМОГП включает в себя работы и услуги по обслуживанию, изготовлению и поставке, монтажу и пуско-наладке, гарантийному обслуживанию и научно-методическому сопровождению системы мониторинга.

Примерами разработанных и успешно функционирующих систем мониторинга за оползневыми процессами являются:

- СМОГП на оползне Нам Зан (провинция Ха Зианг) [158];
- СМОГП на оползне Города Хоа Бинь (провинция Хоа Бинь) [75];
- СМОГП на оползне Кок Пай (провинция Ха Зианг). [134].

Пример системы раннего предупреждения и мониторинга для оползня Нам Зан (провинция Ха Зианг), показан на рис 1.13. Предлагаемая система состоит из шести сенсорных узлов, которые используются для обработки данных в реальном

времени Контролируемыми параметрами являются: количество осадков, влажность грунтов, давление поровой воды, оползневые деформации.

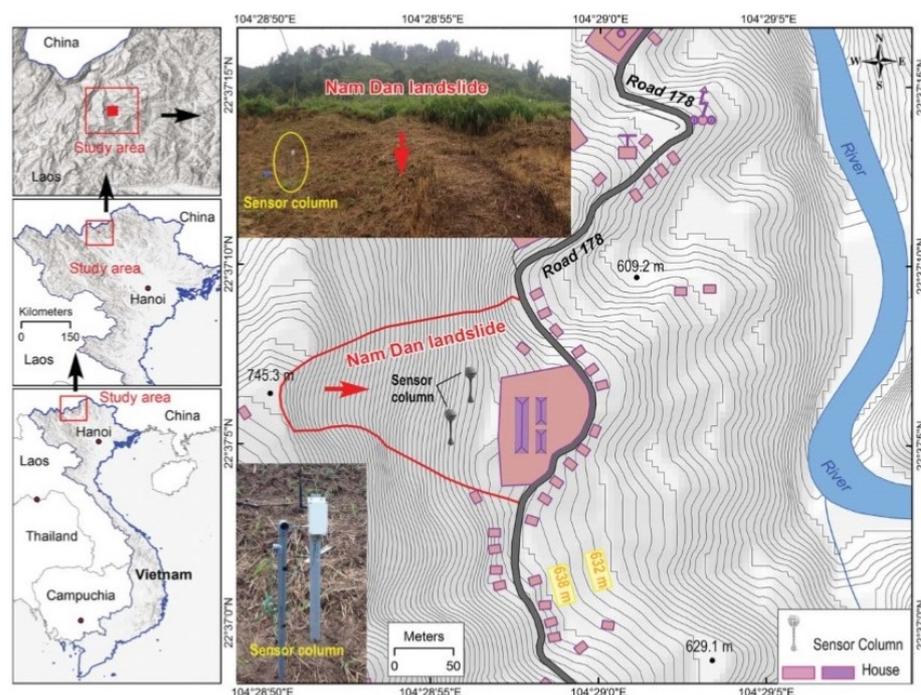


Рис 1.13. Оползень Нам Зан с элементами запроектированной системы мониторинга [158].

Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий установил системы мониторинга оползней в провинции Хоа Бинь в 2008 году и в провинции Ха Зианг в 2010 году (рис. 1.14).



Рис 1.14. Оползневой мониторинг: а – провинция Хоа Бинь [75], б – провинция Ха Зианг [134].

Выводы:

Под основами теоретического оползневедения, в рамках данной работы, понимается определение следующих понятий:

- Объекта и предмета исследований
- Факторов, определяющих развитие оползневого процесса.
- Механизмов оползневого процесса
- Динамики развития оползневого процесса
- Оценки оползневой опасности

Автор пользуется классификацией оползней В.В. Кюнтцеля, понятиями о причинах, факторах и критериях процесса по И.П. Иванову и Ю.Б. Тржицинскому.

Рост активности оползневых процессов во Вьетнаме вследствие вырубки лесов при лесозаготовках, а так же за счет увеличения техногенного воздействия на оползнеопасных территориях в процессе расширения инфраструктуры из-за быстрого роста населения, стал причиной развития методик и подходов к их изучению. В новейшей истории Вьетнама можно выделить следующие этапы:

- До 2000 годов направления исследований были, в основном сосредоточены на ситуационном анализе и разработке типовых решений по противооползневой защите.

- После 2000 года началось систематическое исследование оползней при дорожном строительстве. На этом этапе, были проанализированы геологические, геоморфологические и техногенные факторы активизации оползневого процесса. В это же время изучение оползневых процессов приобретает региональный характер.

В настоящее время при решении задач по оценке и прогнозу оползневой опасности во Вьетнаме активно разрабатываются и внедряются в практику исследований методы дистанционного зондирования и анализ на основе геоинформационных систем (ГИС), среди которых следует отметить использование в оценке оползневой опасности таких методов как: *метод регионального прогноза оползневой опасности по индексу стабильности*

(SINMAP); метод оценки оползневой опасности на основе создания искусственных нейронных сетей; метод опорных векторов; метод наивного байесовского классификатора; модифицированный метод анализа иерархий.

Одновременно с внедрением ГИС анализа при изучении оползневых процессов во Вьетнаме начали разрабатывать системы мониторинга опасных геологических процессов.

Использование широкого комплекса передовых методик при оценке оползневой опасности, внедрение систем мониторинга за оползневыми процессами позволяет сделать вывод о том, что данное направление исследований во Вьетнаме соответствует современному уровню достижений мировой науки в данной области знаний.

Перспективным направлением совершенствования методологии оценки и прогноза оползневой опасности во Вьетнаме является расширение международного сотрудничества.

ГЛАВА 2. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЛАОКАЙ

Район исследования расположен в северо-западной части провинции Лаокай (север Вьетнама) на границе с Китаем и удален от г. Ханоя на 300 км. Он занимает площадь около 1.950 км² и образован тремя административными единицами: городом Лаокай и округами Шапа и Батсат (рис. 2.1).

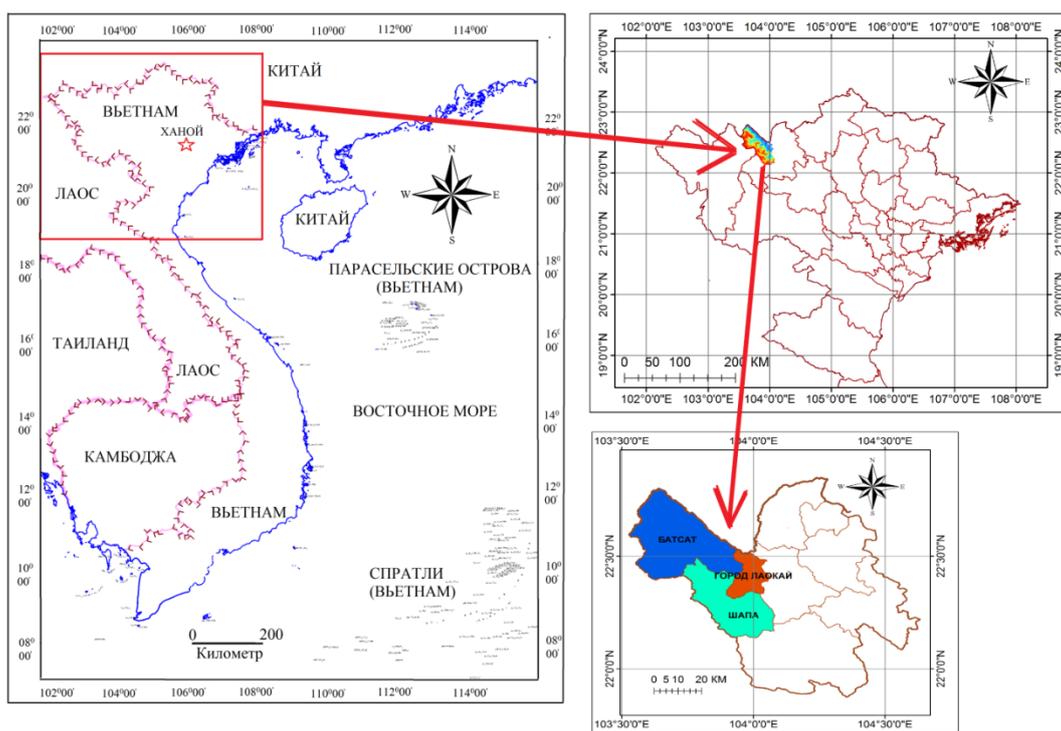


Рис. 2.1. Расположение района исследований

Оползневые процессы могут характеризоваться внезапностью и высокой скоростью протекания, иногда приобретая катастрофический характер. Они существенно изменяют рельеф земной поверхности, уничтожают расположенные на них угодья, нарушают устойчивость целых комплексов сооружений: зданий, дорог, разрушают их, вызывая природные катаклизмы с огромным материальным ущербом и человеческими жертвами. Существенные риски от активизации оползневых процессов делают необходимым выполнение исследований по выявлению оползнеопасных участков и определение причин развития оползневых процессов на изучаемой территории.

Целью данной главы является определение условий оползнеобразования.

Под условиями оползнеобразования следует понимать всю совокупность природных и антропогенных факторов, нарушающих равновесие масс горных пород. В качестве «основных», для региона северо-западный Лаокай, на основе опыта региональных оценок оползневой опасности территории Вьетнама, были выбраны следующие:

- Геологическое строение, тектонические особенности и сейсмическая активность
- Геоморфологические условия;
- Строение и свойства оползнеопасных отложений;
- Гидрогеологические условия;
- Современные экзогенные процессы.
- Климатические условия;
- Гидрография;
- Растительный покров;
- Хозяйственное освоение территории и техногенное воздействие;

Провинция Лаокай обладает значительными перспективами экономического развития. Однако успешное освоение рассматриваемой территории ограничивается сложными инженерно-геологическими условиями и, в первую очередь, активным проявлением оползневых процессов [53, 69].

2.1. Геологическое строение, тектонические особенности и сейсмическая активность

Геологическое строение района исследований:

Северная часть Вьетнама образована следующими крупными тектоническими единицами – Катазиатской складчатой системой, подвижной частью Южно-Китайской платформы, Восточно-Индокитайской (Северо-Вьетнамской) складчатой системой. Особенности геологического строения позволяют подразделить территорию на 2 области.

Северо-восточный Бакбо относится к подвижной окраине Южно-Китайской платформы и юго-западному окончанию Катазиатской системы. Образования древнего фундамента платформы (гнейсы, кварцы, кристаллические сланцы,

мраморы, гранитоиды) перекрыты верхнепротерозойскими и палеозойскими терригенно-карбонатными отложениями. Вдоль северо-восточного побережья залива Бакбо (юго-запад Катазиатской системы) терригенно-эффузивные отложения кембрия, ордовика и силура сильно смяты с образованием складчатого комплекса нижнего палеозоя. Мезозойские вулканогенно-осадочные и терригенные толщи выполняют отдельные прогибы и впадины. Позднепалеозойские и мезозойские интрузии кислого и основного состава связаны с разломами.

Северо-западный Бакбо характеризуется особыми пермо-триасовыми офиолитовыми образованиями, превращенными в глыбово-складчатую зону Индосинийского комплекса.

В целом, на изучаемой территории преобладают геологические комплексы, сложенные магматическими и метаморфическими породами (слагают 86,8% от общей площади исследования) (Рис 2.2).

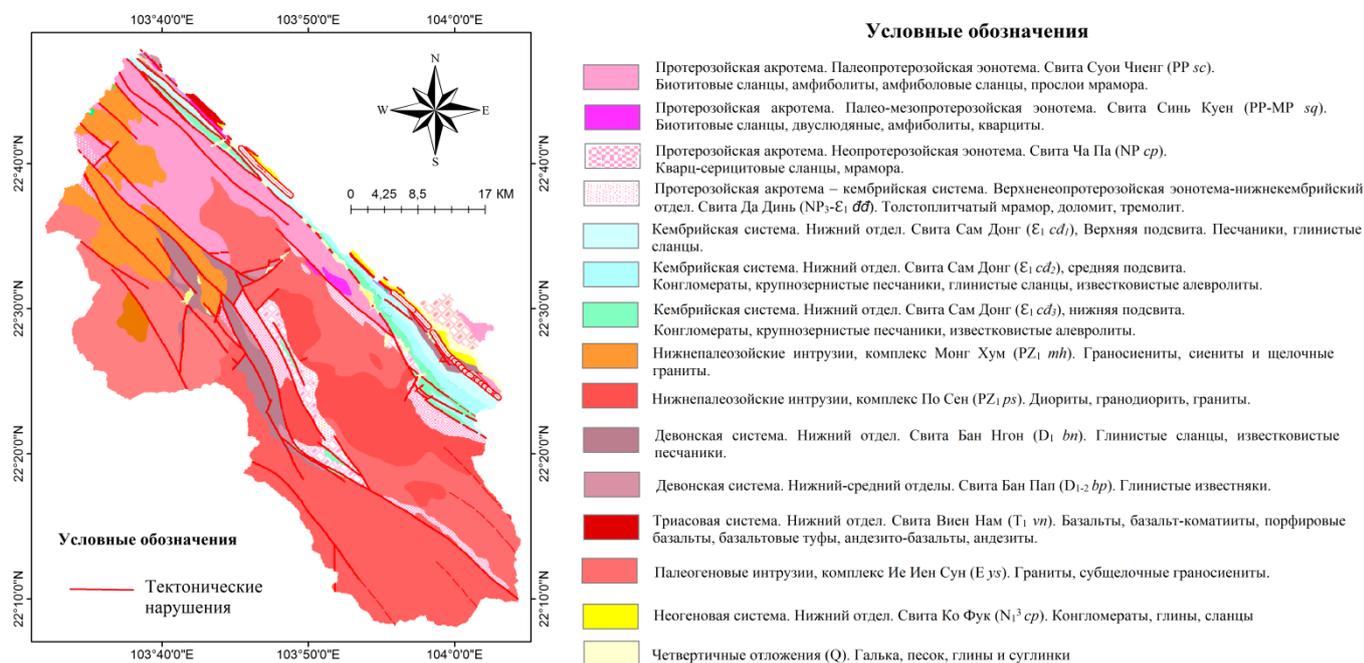


Рис 2.2. Геологическое строение северо-западной части провинции Лаокай.

Использованы индексы геохронологической шкалы ICS-2017 и стратиграфические подразделения Вьетнама [180]

Тектонические особенности и сейсмическая активность

Тектоническая зона «реки Красная» - несколько южнее рассматриваемой территории располагается одна из крупнейших тектонических зон Юго-Восточной Азии протяженностью более 900 км, уходящая под Ханойский неогеновый прогиб. Она расположена между двумя глубинными разломами «Красная река» на северо-западе и «река Чай» на юго-востоке и является границей между Южно-Китайской платформой и Индокитаем (рис 2.3).

На основе анализа цифровой модели рельефа (рис 2.4) в районе Северо-Западного Лаокая можно выделить две системы разломов:

- первая с направлением простирания северо-запад - юго-восток;
- вторая с направлением простирания северо-восток - юго-запад.

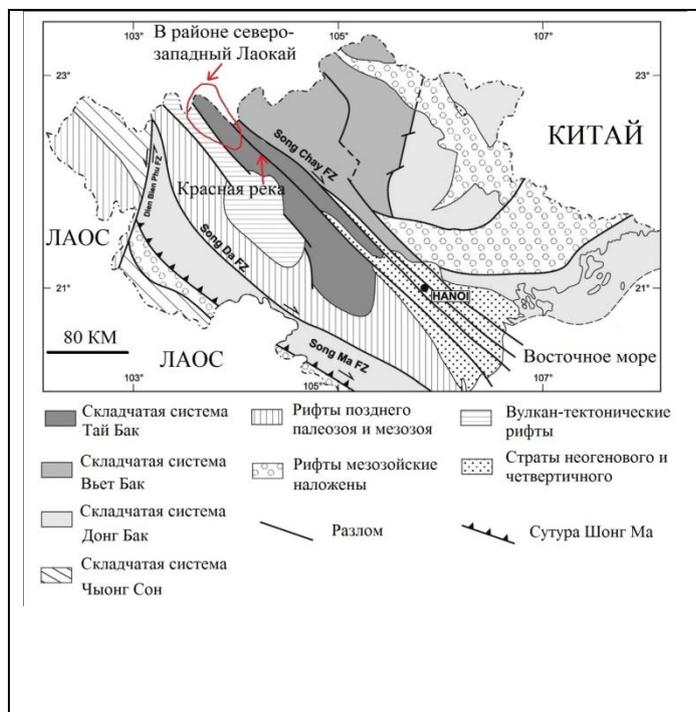


Рис 2.3. Тектоническая карта северного Вьетнама [165]

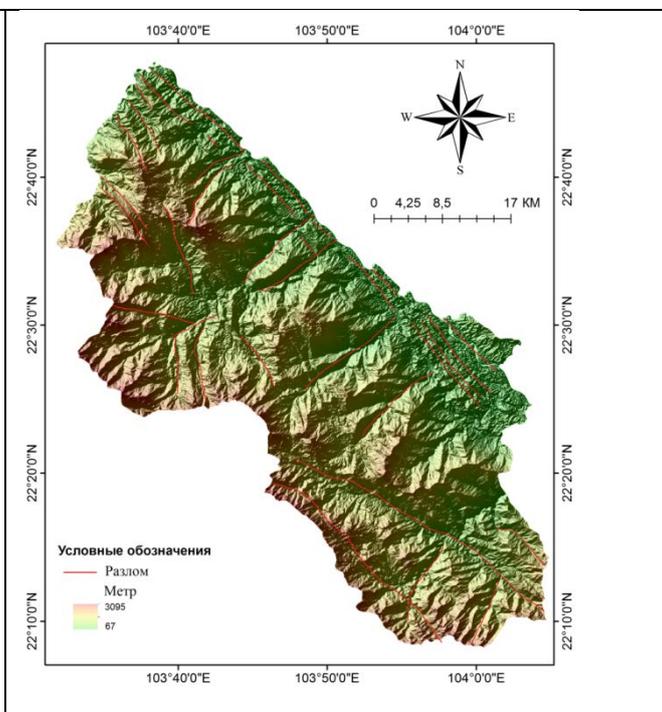


Рис 2.4. Карта разломов Северо-Западного Лаокая.

Зоны с высокой оползневой опасностью приурочены к массивам грунтов, сложенных глинистыми сланцами, песчаниками и алевролитами, находящихся в зоне влияния активных тектонических разломов. Основными факторами активизации оползневых процессов являются низкие прочностные свойства грунтов массивов, наличие разрывных нарушений, а также высокая энергия рельефа.

Сейсмичность Северо-Западного Вьетнама изучалась многими научно-исследовательскими коллективами [52, 165]. Существует представление о связи сейсмичности с крупномасштабными сдвиговыми перемещениями литосферных плит по разломам реки Красной [165]. Расположение эпицентров землетрясений на территории Северного Вьетнама [52] показано на рис 2.5.

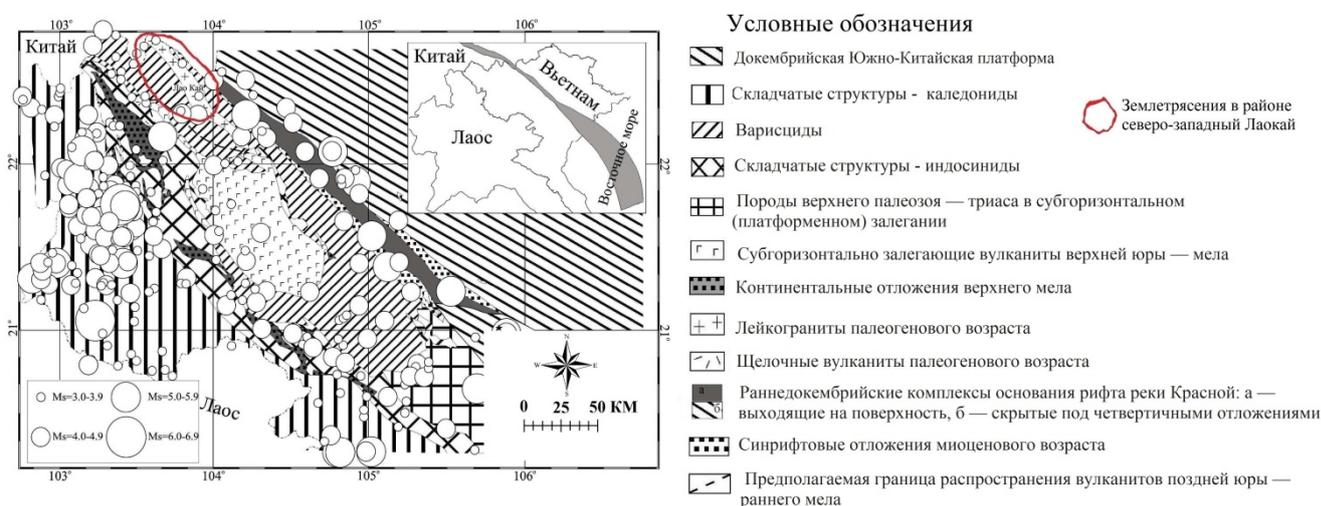


Рис. 2.5. Расположение эпицентров землетрясений (с указанием магнитуды (Ms)) на территории Северного Вьетнама и их приуроченность к тектоническим структурам [52].

Анализ информации по сейсмической активности исследуемой территории показывает, что максимальная сила землетрясений достигает магнитуды 7 по Шкала Рихтера.

2.2. Геоморфологические условия

Рельеф рассматриваемой территории является сильно расчлененным с уклонами от 15 до 35°. Абсолютные отметки высот изменяются от 200 м в долине р. Тхао до 3 000 м и выше в пределах горного хребта Хоанг Льен Син. Расположенная в пределах этого хребта гора Фансипан (3 143 м) считается высочайшей точкой на полуострове Индокитай.

В данном исследовании, уровни рельефа были определены с использованием классификации по методу естественных границ (рис 2.6). В результате были выделены следующие области (высота местности уменьшается с юго-запада на северо-восток):

- С отметками высот менее 326м. Данная область занимает 22,64% исследуемой территории.
- С отметками высот от 326 до 906м. Данная область занимает 28,4% исследуемой территории.
- С отметками высот от 906 до 1992м. Данная область занимает 39,43% исследуемой территории.
- С отметками высот более 1992м. (9,53%). Данная область занимает 9,53% исследуемой территории, при этом, следует отметить отсутствие проявлений оползневых процессов в данной области.

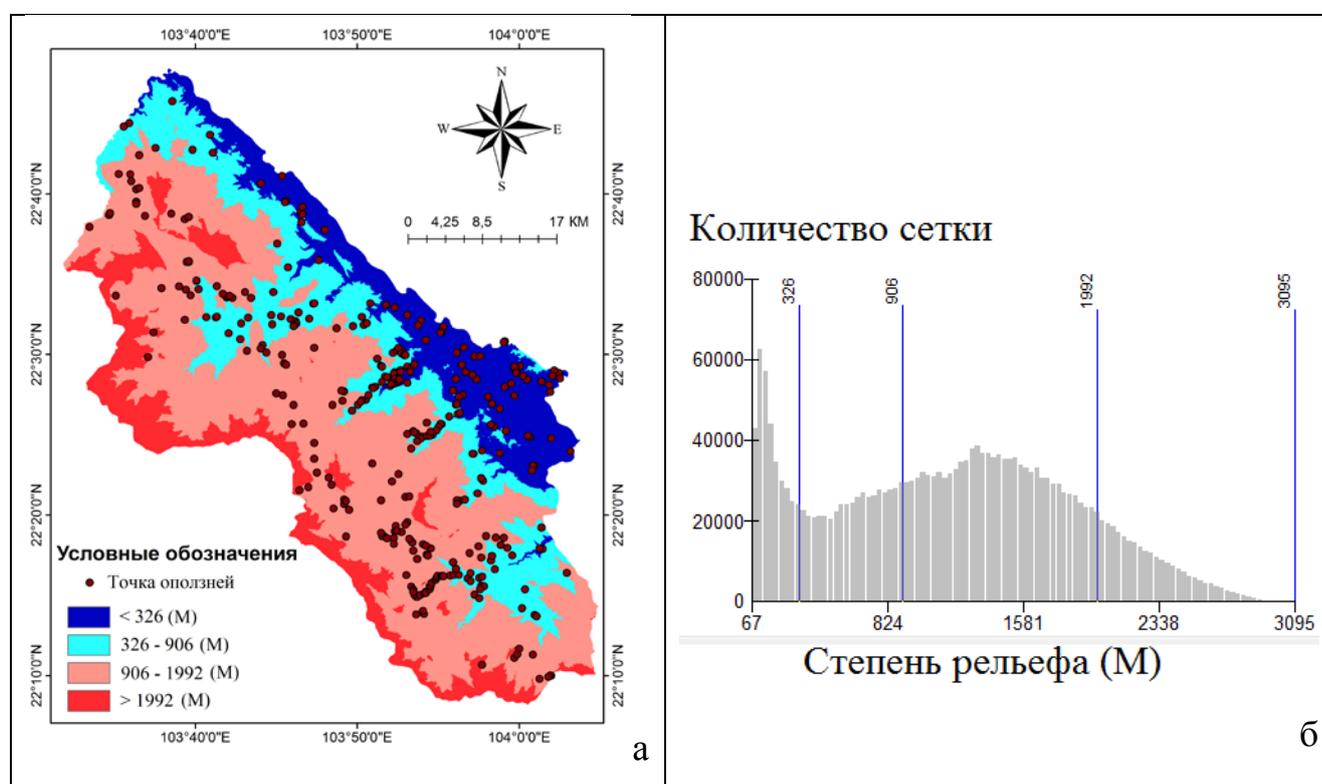


Рис 2.6. (а) . Совмещенная карта уровней рельефа и проявлений оползневых процессов. (б) График распределения уровней рельефа для классификации по методу естественных границ района Северо-западной Лаокай

Экспозиция склона - одна из морфометрических характеристик рельефа, характеризующая пространственную ориентацию направления уклона. Она влияет на влажность грунтов, их степень выветрелости, преобладающий на

склоне тип растительности местности, так как определяет количество осадков и солнечного излучения попадающих на склон.

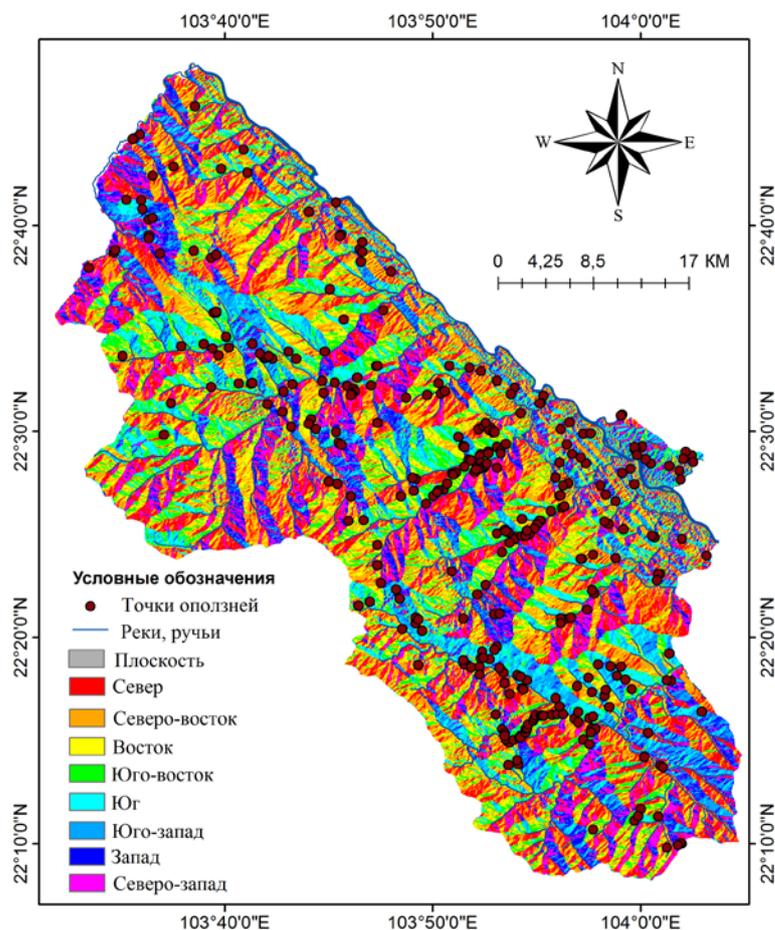


Рис 2.7. Совмещенная карта экспозиции склона и проявлений оползневых процессов.

Анализ совмещенной карты экспозиции склона и проявлений оползневых процессов (рис.2.7) показывает, что оползни происходят главным образом на востоке, северо-востоке и юго-востоке от исследуемого района.

Одним из важнейших факторов развития оползневого процесса является крутизна склонов. Характеристика крутизны склонов исследуемой территории приведена в таблице 2.1. Анализ совмещенной карты углов наклона склонов и проявлений оползневых процессов (рис.2.8) показывает, что оползни происходят главным образом в районах со склонами крутизной менее 35 градусов (Рис 2.8).

Таблица 2.1

Характеристика крутизны склонов района северо-западный Лаокай.

Крутизна склонов (градусы)	<15	382,1883	Северо-запад, северо-восток
	15-35	1207,622	Северо-запад, юго-запад, северо-восток, юго-восток
	>35	360,4799	Северо-запад, юго-запад, северо-восток, юго-восток

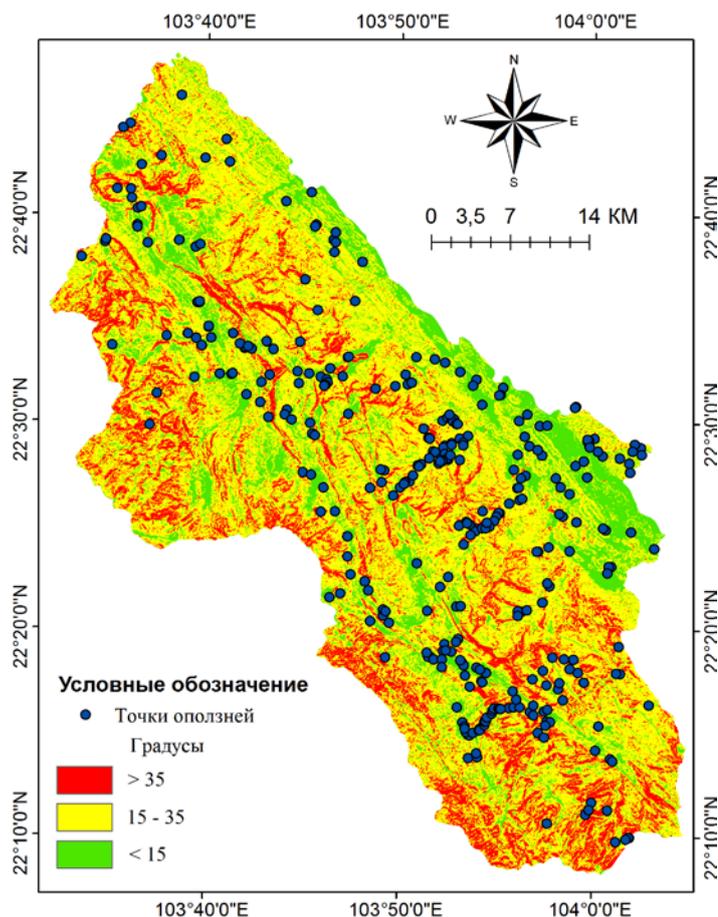


Рис 2.8. Совмещенная карта уклонов и проявлений оползневых процессов.

Горизонтальная расчлененность - плотность всех линейных эрозионных форм постоянных и временных водотоков. Она может быть определена как суммарная длина линейной эрозии на единицу площади.

Вертикальная расчлененность рельефа определяется по разности высот водоразделов к глубине эрозионных врезов [59].

Характеристика вертикальной и горизонтальной расчлененности рельефа для исследуемой территории приведена в таблице 2.2 и показана на рис. 2.9.

Таблица 2.2.

Характеристика горизонтальной и вертикальной расчлененности рельефа района северо-западный Лаокай.

Геоморфологические условия	Классы	Площадь (км ²)	Район
Горизонтальная расчлененность рельефа (км/км ²)	< 0.3	546,25	Северо-запад, юго-запад
	0.3-0.78	1207,618	Северо-запад, юго-запад, северо-восток, юго-восток
	>0.78	196,426	Юго-запад, северо-восток, юго-восток
	Сумма	1950	
Вертикальная расчлененность рельефа (км/км ²)	<600	287,698	северо-восток, восток
	600-1250	1436,242	Северо-запад, юго-запад, северо-восток, юго-восток
	>1250	226,362	Север, юго-запад
	Сумма	1950	

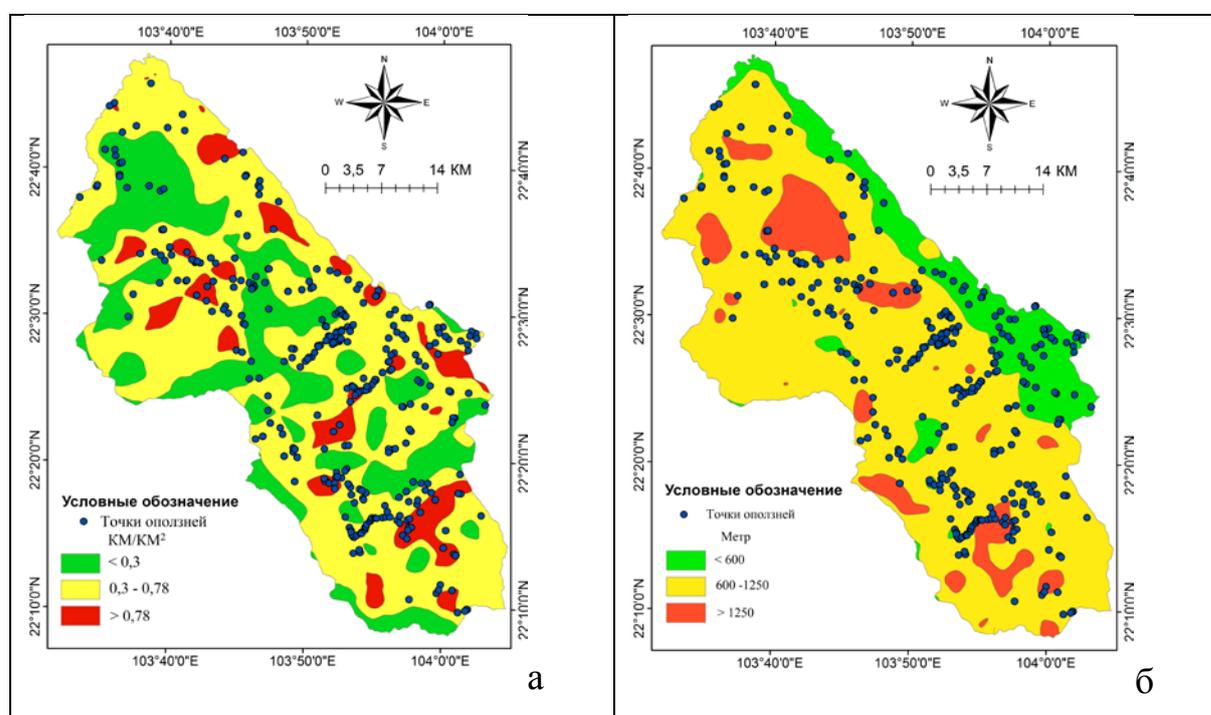


Рис 2.9. Совмещенные карты: а - горизонтальной расчлененности рельефа ; б - вертикальной расчлененности рельефа и проявлений оползневых процессов в районе Северо-западный Лаокай.

2.3. Строение и свойства оползнеопасных отложений

Огромное влияние на развитие оползневых процессов оказывают особенности физико-механических свойств горных пород, слагающих склоны [51]. Понимание закономерностей формирования оползнеопасных отложений является необходимым условием при выполнении оценки оползневой опасности.

В качестве примера рассмотрим строение и свойства отложений оползня в районе моста Монг Сен (рис.2.10)



Рис 2.10. Фотография оползня в районе моста Монг Сен оползень в Чунг Чаи, Шапа (2012 г.) [77].

По результатам инженерно-геологических изысканий в геологическом строении склона были выделены 4 инженерно-геологических элемента (ИГЭ) рис. 2.11 и рис. 2.12 [77]:

ИГЭ 1: Почвенный покров, мощностью 0,7 м.

ИГЭ 2: Гравий в суглинистом заполнителе мягкой и тугопластичной консистенции – пролювиально-делювиального генезиса. Вскрыт на глубинах 0,7 - 5м. Один нарушенный образец был взят для тестирования физических и механических параметров. Свойства грунта: плотность твердой фазы $\gamma_s = 2,76$ г/см³; Число пластичности $I_p = 6,5\%$;

ИГЭ 3: Супеси, желтовато-серого цвета, с включениями песка и дресвы, твердой консистенции - элювиального генезиса. Вскрыт на глубинах от 5 до 20,7м. Свойства грунта: естественная плотность γ - 1,81 г/см³; плотность твердой

фазы γ_s - 2,70 г/см³; естественная влажность W - 19,7%; сцепление - 0,29 кгс/см²; угол внутреннего трения ϕ - 25°31'.

ИГЭ 4: Гранито-гнейсы, зеленовато-серого цвета, очень прочные. Вскрат на глубине более 20,7м. встречается на глубине от 20,7 м. Подуровень 4а: горная порода, из глубины 20.7-22.7м. Подуровень 4б: горная порода, встречается на глубине от 22.7м. Свойства грунта: Прочность на сжатие в сухом состоянии Мра - 60,3; Прочность на сжатие при водонасыщении МРа - 46,1; Коэффициент размягчаемости К - 0,71.



Рис 2.11. Геологический профиль через оползень в районе моста Монг Сен.

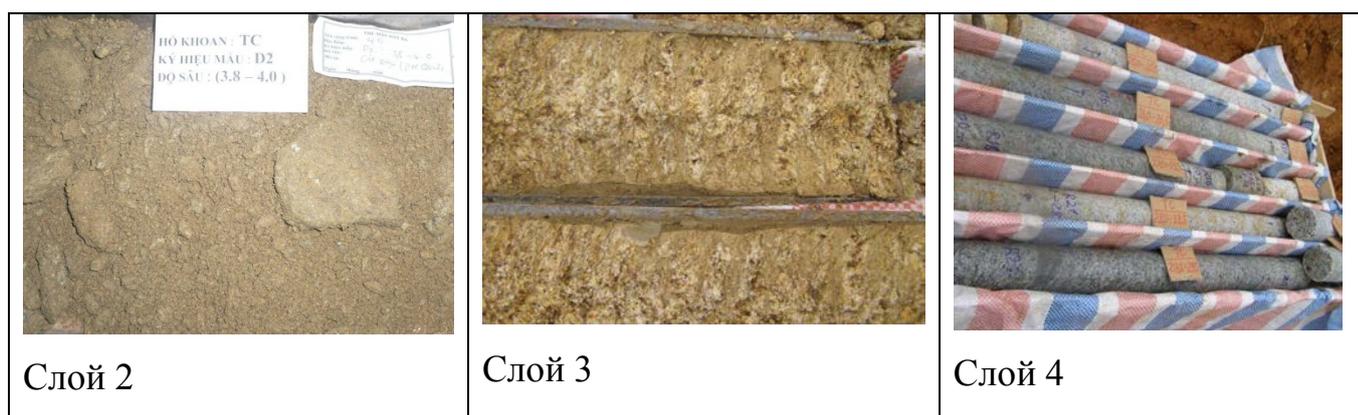


Рис 2.12. Образцы грунта отобранные при бурении

Анализ данных инженерно-геологических изысканий позволяет сделать вывод, что мощность оползнеопасных отложений определяется интенсивностью процесса выветривания и для данного склона составляет 20,7 м.

2.4. Гидрогеологические условия

По условиям залегания, составу вмещающих пород и гидравлическим связям в регионе севера Вьетнама выделяются следующие основные водоносные комплексы [69]:

- 1) Мало-обводненные массивы грунтов
- 2) Средне-обводненные массивы грунтов
- 3) Сильно-обводненные массивы грунтов
- 4) Очень-сильно обводненные массивы грунтов

В районе северо-западного Лаокая распространены мало, средне и сильнообводненные массивы грунтов (Рис 2.13).

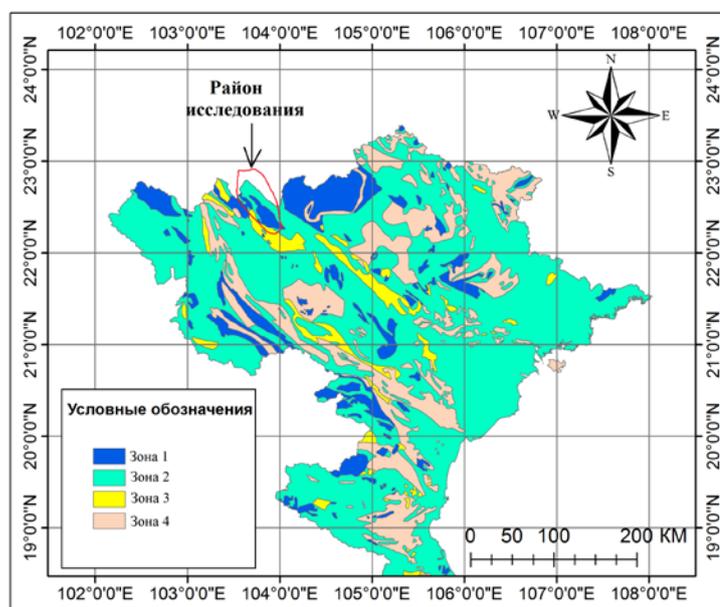


Рис 2.13. Карта обводненные массивы грунтов в районе севера Вьетнама
Наибольшее влияние на активизацию оползневых процессов на рассматриваемой территории оказывает водоносный горизонт в элювиально-делювиальных отложениях.

2.5. Современные экзогенные процессы

Геологическое строение и климатические условия северо-западного Вьетнама благоприятны для развития разнообразных геологических процессов, таких, как выветривание, эрозия, оползни, осыпи, обвалы, сели и др. Каждый год эти процессы наносят значительный ущерб народному хозяйству, разрушая

мосты, железные и автомобильные дороги, нарушая нормальные условия хозяйственной деятельности.

Выветривание

Выветривание, являясь первичным геологическим процессом [6] оказывает огромное влияние на активизацию и развитие вторичных, в том числе и гравитационных процессов.

Процесс выветривания горных пород в условиях тропического климата северо-западного Вьетнама в целом и региона северо-западный Лаокай в частности существенно отличается от выветривания горных пород в умеренной полосе. В условиях умеренного климата под действием изменения температур с переходом их через нуль происходит главным образом физическое разрушение пород, при этом мощность коры выветривания, как правило, не превышает глубины сезонных колебаний температур. В условиях тропического климата изменение горных пород при выветривании происходит за счет химических процессов, развитию которых благоприятствуют климатические условия.

Характер пространственной изменчивости мощности коры выветривания определяется рядом факторов: условиями формирования, составом и структурно-текстурными особенностями пород; раздробленностью последних в пределах зон тектонических нарушений, ландшафтом местности, от которого зависят условия инфильтрации поверхностных вод и поверхностного сноса материала. Одним из основных факторов, определяющих мощность выветрелых пород, является исходный состав материнских пород.

С одной стороны, степень выветрелости пород, как упоминалось ранее определяет мощность потенциально оползневых отложений, с другой, мощность и минеральный состав коры выветривания определяются ее типом. В районе исследования распространены следующие типы кор выветривания. (рис 2.14).

+ Кора выветривания феросиалитовая: каолинит - гётит - монтмориллонитовая.

+ Кора выветривания сиалферитовая: гётит - каолинит - гидрослюдисто - монтмориллонитовая.

+ Кора выветривания сиалитовая: каолинит – гидрослюдистая.

+ Кора выветривания сапролитовая: продукт незавершенного выветривания, состоящая из химически неизменных или слабо измененных обломков исходной породы.

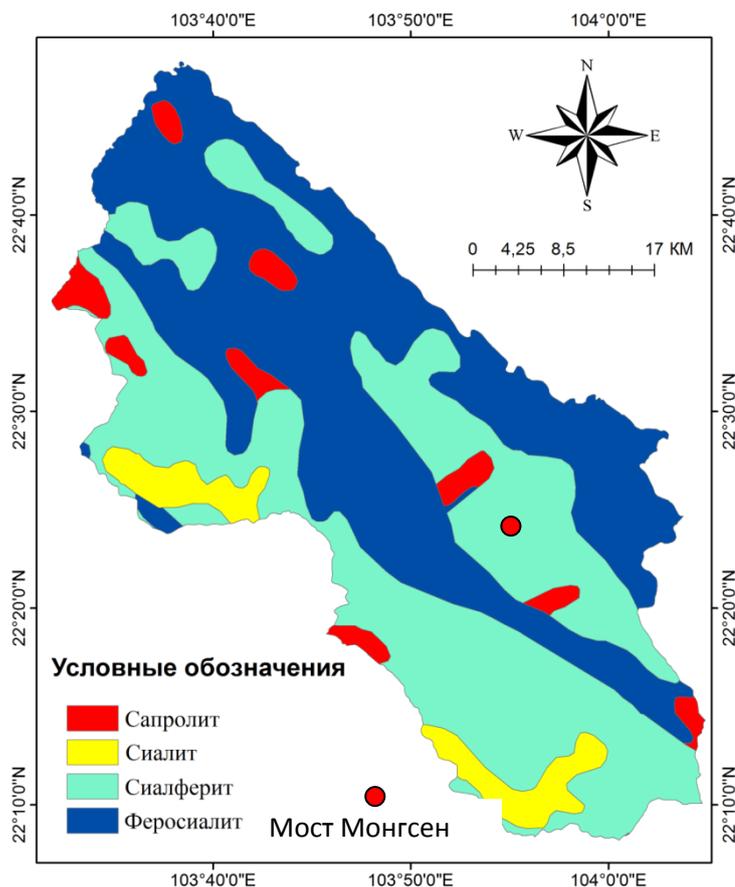


Рис 2.14. Карта типы кор выветривания в районе северо-западный Лаокай.

Эрозионные процессы

Процессы плоскостной и линейной эрозии развиты на склонах, где вследствие процесса выветривания происходит накопление рыхлого обломочного материала. Во время сильных и продолжительных дождей эти отложения материал насыщается водой и сносится в долину ручьев и рек. Эрозионные каналы достигают глубины от нескольких до десятков метров в длину и от 0,5 до 2÷3м в глубину. Эрозионный процесс определяет горизонтальную расчлененность рельефа и, в перспективе, способствует активизации оползневых процессов.

В районе провинции Лаокай так же распространена боковая эрозия. Ее результатом является подмыв и разрушение речных берегов (Рис 2.15). И хотя

экономический ущерб, вызванный этим непосредственно этим явлением, менее значителен в сравнении с ущербом от гравитационных процессов (табл. 2.3), следует отметить, что боковая эрозия часто является причиной активизации оползней.



Рис 2.15. Эрозия берегов реки в районе Ван Бан в 2013 году

Таблица 2.3.

**Статистика об оползнях, сели и эрозии берегов реки в 2013 году
в районе провинции Лаокай [53]**

Район	оползней	сели	эрозия берегов реки
Бак ха	85	1	-
Бао Тханг	34	-	-
Бао Иен	55	1	2
Батсат	88	-	1
Г. Лаокай	10	-	-
Мьонг Кхьонг	80	-	-
Ван Бан	129	2	2
Шапа	53	3	-
Сумма	534	7	5

Селевые процессы

Селями называются внезапные горные потоки, насыщенные твердым обломочным материалом и глинистой фракцией, формирующиеся в некоторых речных бассейнах в результате ливневых дождей либо при интенсивном снеготаянии. Чаще всего они проявляются в узких каньонообразных долинах и ущельях гор, имеющих значительное падение. Сели обладают огромной разрушительной силой и приносят большой материальный ущерб, а зачастую приводят к катастрофам, сопровождающимся человеческими жертвами [6].

Катастрофичность разрушительной деятельности селевых потоков во многом связана с их внезапным проявлением, когда достаточно сильного ливня в верховьях горной реки, чтобы сформировался сель. Смесь воды, грязи и камней, быстро спускаясь вниз по реке, сносит мосты, дороги, жилые и промышленные здания, а в местах выхода на равнину, где формируется конус выноса, заваливает камнями и затапливает грязью сады, посевы, пастбища, различные сооружения. Разрушительная способность селевых потоков объясняется их высокой плотностью и большой скоростью передвижения [6].

Исследователь Н.С. Дюрнбаум (1949) приводит такие данные, усредненно характеризующие селевые потоки (Н.В. Коломенский, 1956): скорость движения 6-7 м/с, продолжительность 4-6 часов, плотность 1,8 т/м³, содержание твердого материала 0,8 т/м³, радиус действия 20-30 км [6].

Основной внешней причиной процесса является движение вод постоянных и временных водотоков. Источниками поступления воды, формирующей водную составляющую селей, являются сильные ливни, интенсивное таяние снегов и льда в верховьях рек, прорывы конечно-моренных образований и перемычек современных водоемов, спуск приледниковых озер. К внутренним причинам процесса относятся развивающиеся на склонах экзогенные геологические процессы, такие как выветривание, оползни, обвалы и осыпи [6].

Активизация селевых процессов в районе северо-западной провинции Лао-Кай с 2000 по 2013 год привела к разрушению 50 домов и гибели 31 человека (Табл. 2.4, рис 2.16).

**Ущерб, причиненный селевыми в период с 2000 по 2013 годы
в районе северо-западный Лаокай [53]**

Район	Дата	Количество разрушенных зданий	Протяженность разрушенных дорог	Социальный ущерб (число погибших и пострадавших)
Шапа	16.07.2000	38 дома	-	16 погиб
Батсат	29.07.2000	2 дома	-	2 погибли
Город Лаокай	03.06.2001		-	2 погиб
Шапа	04.09.2013	10 дома	-	11 погибли
Сумма		50 дома		31 погибли



Рис 2.16. Проявления селевых процессов на территории исследований:
а – в районе Бан Хоанг (Шапа) (04.09.2013) ; б – в районе города Лаокай
(5 августа 2016).

2.6. Климатические условия

Годовое количество осадков в предгорьях хребта Хоанг Льен Сын составляет 2 000–3 600 мм, при этом 80–85% от их общего количества приходится на летний период. Осадки не равномерно распределены в пространстве и времени: в горах, на высоте более 1000 м., количество осадков превышает 2400мм в год, в районах

речных долин, среднее количество осадков составляет 2000 мм в год. (Рис 2.17, 2.18) [69].

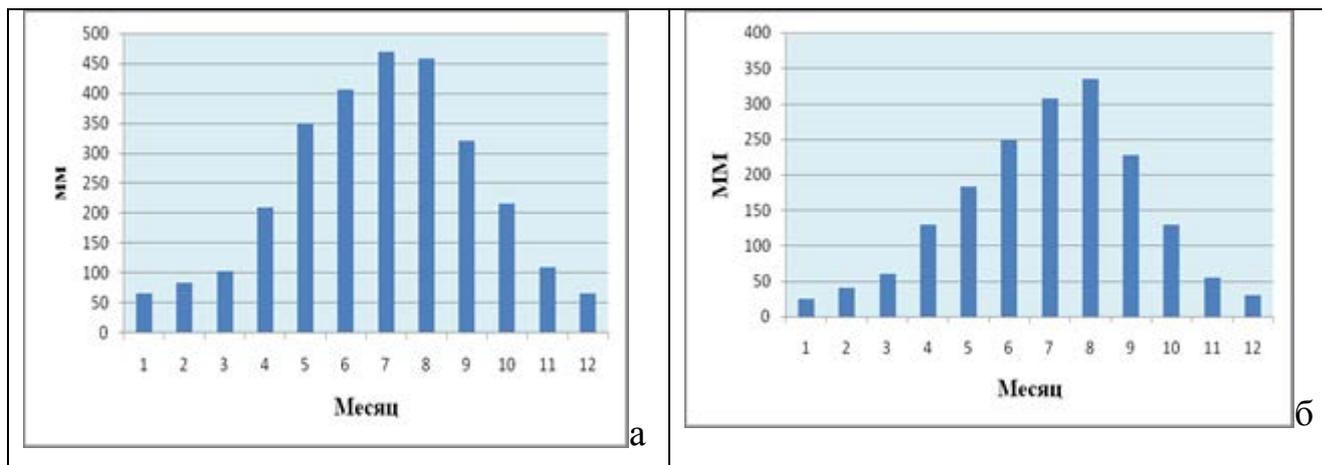


Рис 2.17. Диаграмма среднегодового количества осадков в районе:

а – Шапа; б – Г. Лаокай [69].

В процессе исследований отмечено, что периоды образования новых оползней совпадают с периодами дождей. Это в первую очередь связано с изменением состояния и свойств грунтов, слагающих склоны в процессе их избыточного увлажнения, а также с подъемом уровня грунтовых вод, и как следствие, с возрастанием порового давления.

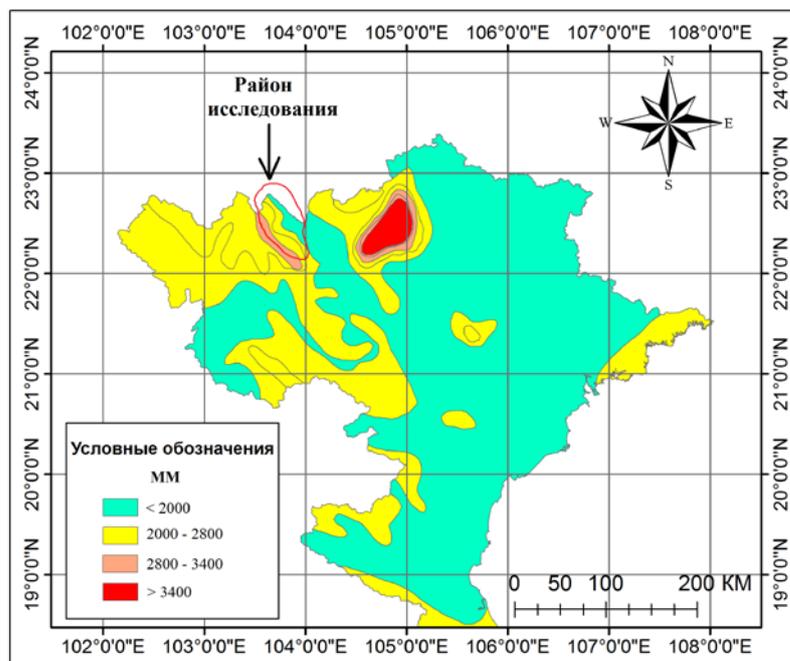


Рис 2.18. Карта среднегодового количества осадков в районе севера Вьетнама [69].

Количество выпадающих осадков так же оказывает огромное влияние на

гидрологический режим водоемов и рек, который в свою очередь, определяет интенсивность эрозионных процессов, являющимися одним из основных факторов активизации оползней на береговых участках.

2.7. Гидрография

В районе Северо-западного Лаокая, длина рек и ручьев составляет 856.29 км, а плотность речной сети достигает 0,44 км/км². Самой крупной рекой с площадью 1.547 км², длиной около 70 км, в исследуемом районе является Красная река. (Рис 2.19 - 2.20).

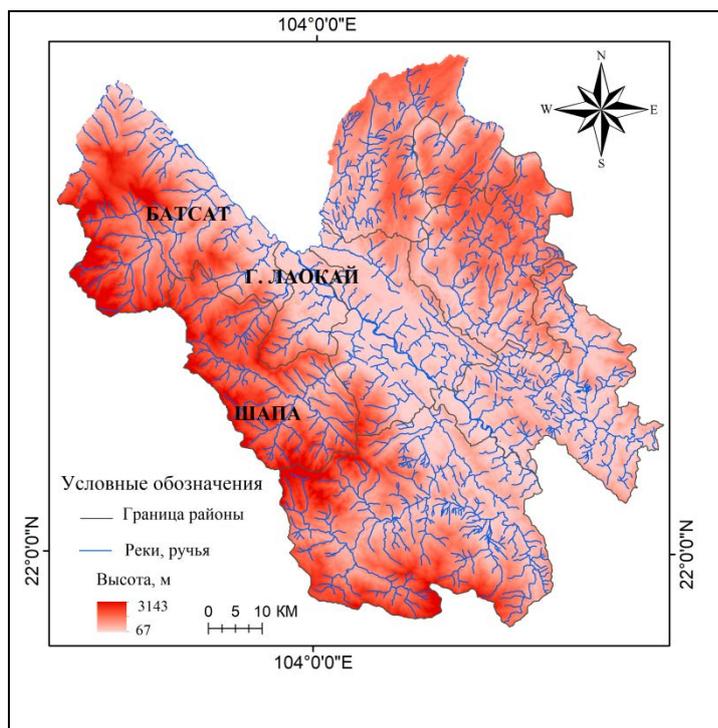


Рис 2.19. Карта систем реки, ручьи в районе провинции Лаокай

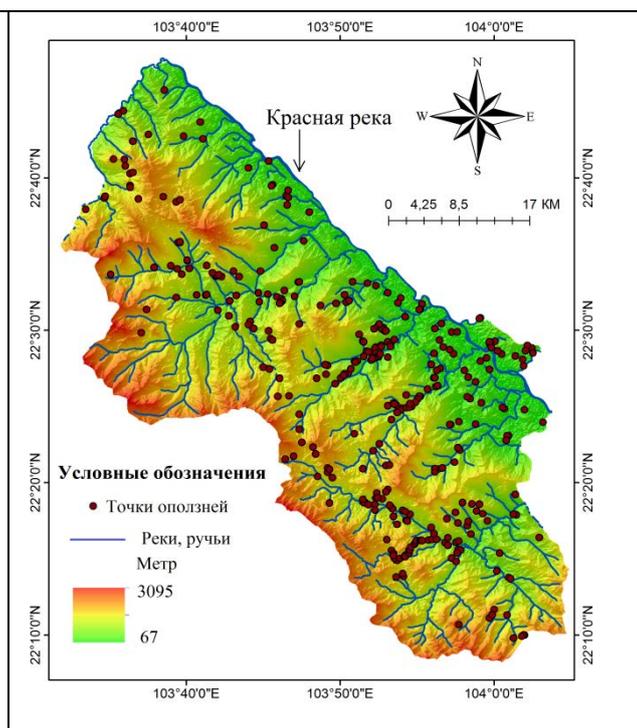


Рис 2.20. Совмещенная карта речной сети и проявлений оползневых процессов в районе северо-западный Лаокай

Анализ рис. 2.20, позволяет сделать вывод, что большинства проявлений оползневых процессов приурочено к речным долинам. Это доказывает, что гидрологическая система является одним из важных факторов активизации оползневого процесса в районе исследования.

2.8. Растительность

В рассматриваемом районе были выделены следующие типы растительности (рис. 2.21):

- лесные массивы и лесопосадки;
- земли хозяйственного назначения
- древесная растительность практически отсутствует.

Растительный покров увеличивает устойчивость склонов за счет армирующего эффекта корневой системы на грунты, а также ограничивает развитие эрозионных процессов и контролирует избыточное переувлажнение грунтов на склоне.

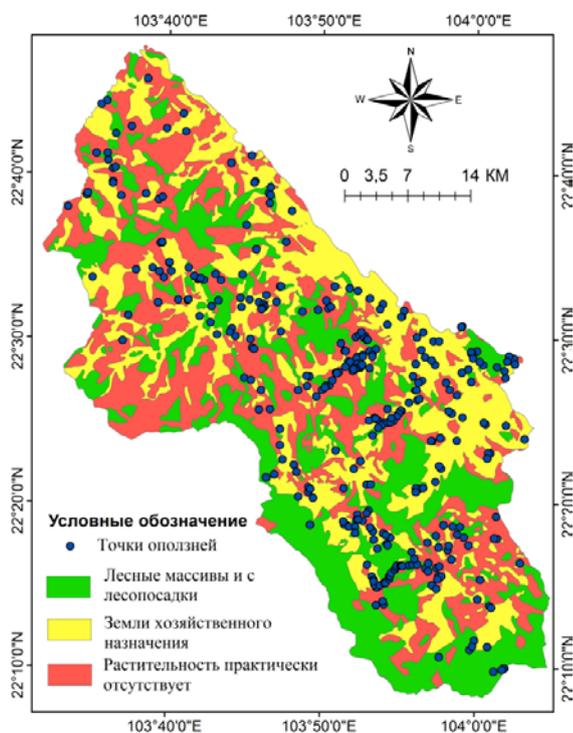


Рис 2.21. Карта растительности района Северо-западный Лаокай

Анализ рисунка 2.21, показывает, что в лесных массивах и лесопосадках оползневой процесс менее активен, в сравнении с землями хозяйственного освоения и участками лишенными древесной растительности, что является доказательством значимости данного параметра при оценке оползневой опасности.

2.9. Хозяйственное освоение территории и техногенное воздействие.

Хозяйственное освоение территории изначально определяется естественными условиями жизни и хозяйственной деятельностью людей, т. е. экологическим и ресурсным потенциалом.

Оползневые процессы, с одной стороны существенно снижают экологический потенциал при освоении территорий, с другой стороны, возрастающая техногенная нагрузка при интенсивном хозяйственном освоении является фактором активизации оползневых процессов.

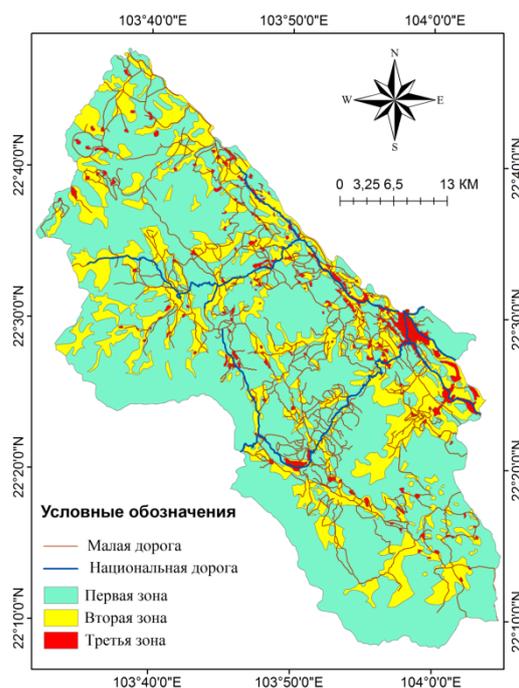


Рис 2.22. Карта природных условий хозяйственного освоения территории Северо-западный Лаокай.

Карта природных условий хозяйственного освоения территории Северо-западный Лаокай может быть разделен на 3 зоны с различным уровнем хозяйственного освоения и, как следствие, различным уровнем техногенной нагрузки (рис 2.22):

Первая зона: с плотностью населения менее 50 чел/км². Она характеризуется низким экономическим развитием и наименьшим техногенным воздействием.

Вторая зона: с плотностью населения от 50 чел/км² до 200 чел/км². Она характеризуется средним экономическим развитием и умеренным техногенным воздействием.

Третья зона: с плотностью населения более 200 чел/км². Это области с быстрорастущей экономикой и сильным техногенным воздействием.

2.10. Проявление оползневых процессов в районе северо-западный Лаокай

Оползни во Вьетнаме являются одним из наиболее широко развитых опасных геологических процессов и встречаются во всех горных районах страны. Вместе с тем территория северо-западной части провинции Лаокай, считается одной из наиболее подверженных оползневым процессам, где они стали причиной существенных социальных и экономических потерь [53, 69, 137].

По механизму развития большинство из них относятся к оползням скольжения. Самый большой оползень занимает площадь около 65,5 тыс. м², минимальный размер оползневых проявлений составляет около 417 м². Наиболее крупные оползни (> 10 000 м²) составляют 11% от общего числа выявленных оползней, на средние (1000 – 10 000 м²) приходится 65,6%, а на оползни с размерами менее 1 000 м² - 23,4% [150].

Оползни региона формируются в разнообразных комплексах горных пород, но наиболее часто (~200) они приурочены к отложениям кор выветривания, формирующихся по интрузивным образованиям (диоритам, гранодиоритам, гранитам, субщелочным граносиенитам). До трети выявленных оползней (>100) развивается в областях распространения сланцевых толщ, представленных биотитовыми, двуслюдяными и графитовыми сланцами.

С 2005 г. по 2015 г. в районе исследований в процессе полевых исследований было идентифицировано проявление 641 оползня (рис 2.23).

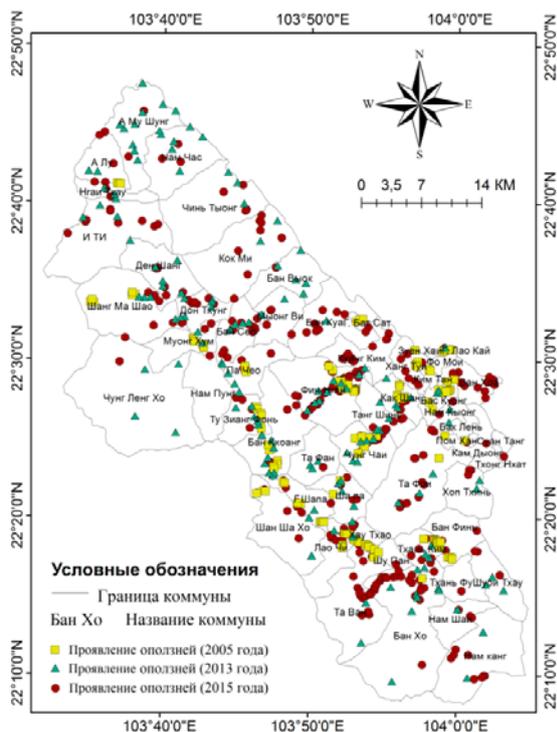


Рис. 2.23. Карта проявления оползней в регионе северо-западного Лаоса

Из всех геологических процессов оползни являются причиной наибольшего ущерба в районе Северо-западный Лаоса.

Выводы

Основными параметрами, влияющими на образование оползней, являются:

- Геологическое строение, тектонические особенности и сейсмическая активность
- Геоморфологические условия;
- Строение и свойства оползнеопасных отложений;
- Гидрогеологические условия;
- Современные экзогенные процессы.
- Климатические условия;
- Гидрография;
- Растительный покров;
- Хозяйственное освоение территории и техногенное воздействие;

ГЛАВА 3. РЕГИОНАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЛАОКАЙ

Научно – обоснованный прогноз реакций литосферы на различные виды естественных и искусственных взаимодействий и составление на этой основе карты оползневой опасности даёт возможность правильно спланировать мероприятия по управлению состоянием региональных, локальных и элементарных литотехнических систем (ЛТС), обосновать пространственно – временную структуру мониторинга ЛТС, создать инженерно–геологическую основу для разработки плана народно – хозяйственного освоения территорий [6].

За последние годы в разных странах и разными исследователями были разработаны новые методы комплексного анализа ЛТС с целью прогнозирования развития оползней различного генезиса. Так как большинство методов прогнозирования оползневой опасности требуют комплексного анализа значительных массивов данных, все большее применение находят методики, основанные на использовании геоинформационных систем (ГИС). С внедрением ГИС, моделирование оползневой опасности стало доступным, удобным и возможным как при научном анализе, так и при экономической оценке прогнозного освоения территорий [71].

В России наибольшее распространение получил метод «оползневого потенциала» [14], относящийся к группе методов взвешенных произведений. Он основан на определении вероятности возникновения оползней в зависимости от величин вероятностей воздействия факторов оползнеобразования ($P_1P_2, P_3... P_n$). Исходную вероятность определенного фактора P_k авторы метода принимали равной отношению площади активных оползней к площади распространения фактора.

В последнее время, в практике региональной оценки оползневой опасности начал активно применяться метод анализа иерархий [108], например, с определенными упрощениями он был использован в работе [114].

Целью данного исследования являлась региональная оценка оползневой опасности региона северо-западный Лаокай с использованием модифицированного метода анализа иерархий.

3.1. Методические основы региональной оценки и прогноза оползневых процессов

3.1.1. Общие положения

Региональный прогноз оползневых процессов предполагает определение возможности возникновения и интенсивности их развития, а также взаимодействие с сооружениями в пределах значительного района. При региональных прогнозах обычно не представляется возможным указать конкретные типы, места и иные показатели оползневых процессов, дается их фоновая характеристика с общими закономерностями развития.

Региональное прогнозирование оползневых процессов может быть как качественным так и количественным и строиться, как на вероятностном, так и на детерминированном подходах. В основе региональных прогнозов, лежит специальное районирование территории, характеризующее распространение оползней или условия их проявления.

3.1.2. Классификация методов регионального прогноза оползневой опасности

В настоящее время существует достаточно много подходов к оценке региональной оползневой опасности. Попытки создания их классификации предпринимались как отечественными и зарубежными учеными. На рис. 3.1 представлена классификация методов прогноза региональной оползневой опасности, разработанная авторами работы. Описание предложенной классификации приведено ниже.

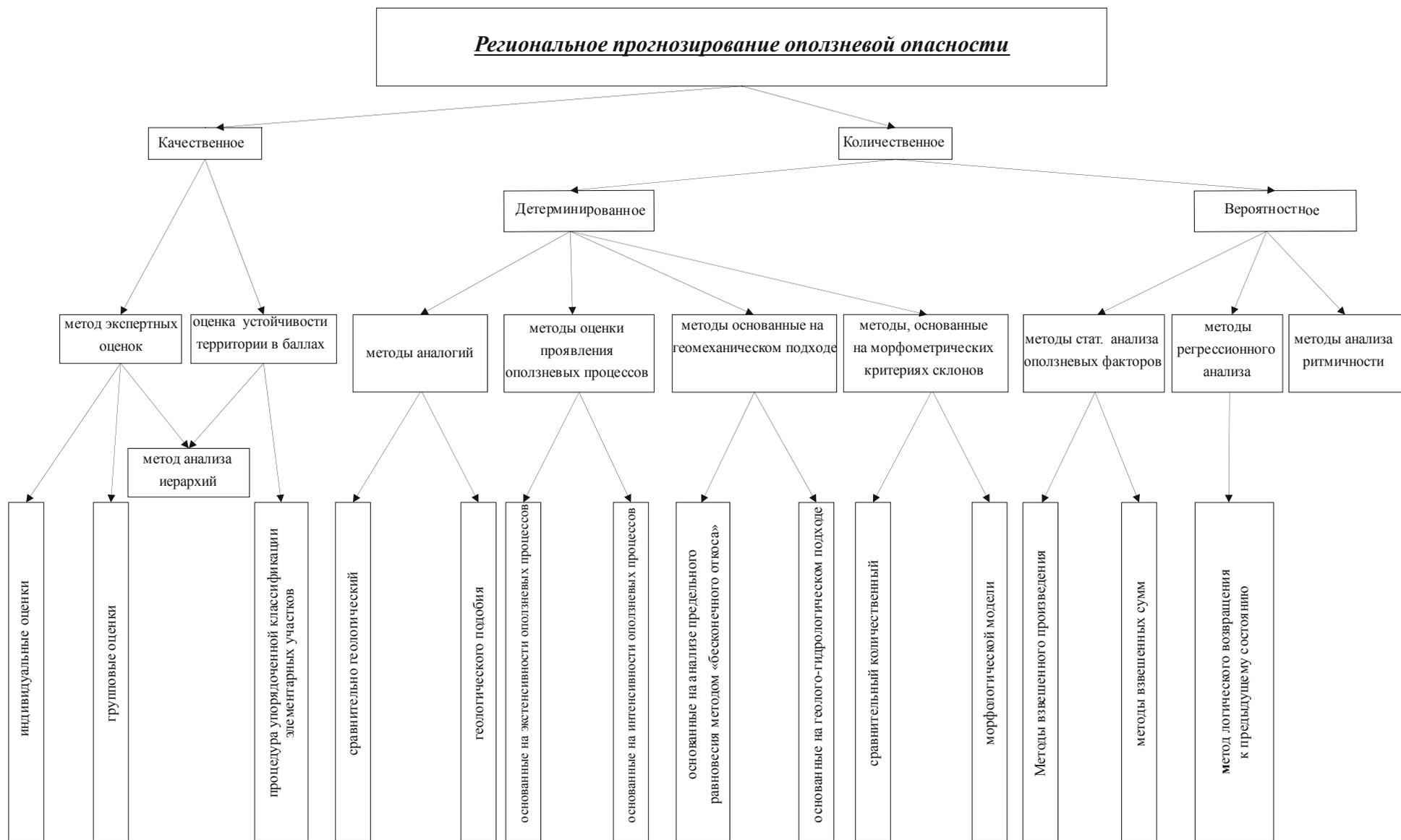


Рис. 3.1 Классификация методов прогноза региональной оползневой опасности [126]

3.1.3. Качественный региональный прогноз оползневой опасности

К данному классу методов относятся: методы прогноза оползней, основанные на экспертных оценках и методы оценки устойчивости территории в баллах.

Следует иметь в виду, что имеется принципиальная возможность перевода всей качественной информации в количественную форму. Существуют три основных способа количественного представления геологической информации: а) балльные оценки; б) булевы переменные; в) численное выражение [92].

Методы оценки устойчивости территории в баллах.

Базируются на качественном анализе условий проявления оползневого процесса и присвоения тому или иному участку соответствующей балльной оценки. Этот метод в значительной мере носит субъективный характер и позволяет получать самые приблизительные оценки развития оползневых процессов [6]. Балльные оценки, по сути своей, не являются количественными. Им свойственны все недостатки, присущие качественным признакам, а именно, субъективизм, как в отображении, так и в восприятии информации [92].

Примером балльной оценки оползневой опасности является процедура упорядоченной классификации элементарных участков предрасположенных к развитию оползневых процессов. Процедура заключается в том, что дифференцированная характеристика подверженности территории оползневому процессу может быть представлена совокупностью состояний в пространстве признаков, характеризующих компоненты инженерно-геологических условий. Упорядоченные последовательности классов сходных состояний оцениваются по шкале, которая позволяет сравнивать классы по обобщенной (интегральной) характеристике. Место, занимаемое в упорядоченной последовательности определенным классом, соответствует степени его подверженности оползневому процессу, измеренной в порядковой шкале, по которой строится оценочная карта районирования территории.

Методы прогноза оползней, основанные на экспертных оценках.

В случаях чрезвычайной сложности проблемы, недостаточности имеющейся информации, невозможности математической формализации процесса решения приходится обращаться к рекомендациям компетентных специалистов, прекрасно знающих проблему, - к экспертам. Их решение задачи, аргументация, формирование количественных оценок, обработка последних формальными методами получили название метода экспертных оценок [87].

Методы экспертных оценок включает в себя три составляющие. Первая - интуитивно-логический анализ задачи. Строится на логическом мышлении и интуиции экспертов и основан на их знании и опыте. Вторая - решение и выдача полуколичественных или качественных оценок. Эта процедура представляет собой завершающую часть работы эксперта. Им формируется решение по рассматриваемой проблеме и дается оценка ожидаемых результатов. Третья - обработка результатов решения. Полученные от экспертов оценки должны быть обработаны с целью получения итоговой оценки проблемы.

Экспертные оценки могут быть: индивидуальными, основанными на использовании мнения отдельных экспертов, независимых друг от друга и коллективными - основанными на использовании коллективного мнения экспертов. Совместное мнение обладает большей точностью, чем индивидуальное мнение каждого из специалистов. Наибольшее распространение при экспертной оценке оползневой опасности получили следующие способы прогноза: ассоциаций – основанный, на сравнении схожего по свойствам объекта с другим объектом; фокальных объектов – основанный, на перенесении признаков аналогов на исследуемый объект.

Методы анализа иерархий.

Метод анализа иерархий (МАИ, АНР) предоставляет экспертам относительно простой и эффективный способ измерения объективных и субъективных факторов посредством попарных относительных сравнений и вычисления соответствующих приоритетов шкалы отношений. Он в определенной степени находится на стыке метода

экспертных и бальных оценок. Эксперт определяет относительную важность, или предпочтение.

Шкала или масштаб сравнения относительных весов факторов, предложенная Т. Саати **Указан недопустимый источник.** в рамках МАИ, состояла из словесных определений «равное значение», «слабое преимущество», «сильное преимущество», «очень сильное преимущество», и «абсолютное преимущество». Интенсивность этих определений может быть выражена числовыми значениям 1, 3, 5, 7 и 9 соответственно. В отличие от числовых и графических процедур, в других методах экспертного сравнения, данные определения относятся не к интервалам либо коэффициентам, а к порядковой (ординальной) шкале.

В основе методики анализа иерархий при прогнозировании оползневой опасности заложено уравнение следующего вида:

$$M = \sum_{i,j=1}^n w_j x_{ij} \quad (3.1)$$

Где М – чувствительность оползневого процесса; w_i – вес фактора i на рассматриваемом участке территории; x - вес класса i фактора j , д.ед.

На основе приведенной модели может быть построена карта оползневой опасности. Для определения уровня опасности чувствительность оползневого процесса “М” делится на четыре класса на основе таблицы 3.1.

Таблица 3.1.

Критерии оценки оползневой опасности в методе иерархий

Уровень чувствительность территории к оползневому процессу (класс М)	Значение М	Оползневая опасность
1	0-25	Низкая
2	25-50	Умеренная
3	50-75	Высокая
4	75-100	Очень высокая

Таким образом, решение проблемы с помощью метода анализа иерархий есть процесс поэтапного установления приоритетов или построения иерархии. На первом этапе выявляются наиболее важные элементы проблемы, на втором - оценка элементов, следующим этапом может быть переосмысление выбранной модели и оценка ее качества.

3.1.4. Количественный прогноз оползневой опасности

Количественный прогноз оползневой опасности включает два подкласса методов: детерминированные и вероятностные.

а) Подкласс детерминированных методов.

К методам прогноза оползневой опасности основанных на детерминированных моделях относятся следующие группы: методы оценки проявления оползневых процессов, методы аналогий и методы основанные на геомеханическом подходе.

Методы оценки проявления оползневых процессов.

Все количественные показатели, используемые для оценки проявления экзогенных геологических процессов, могут быть разделены на две большие подгруппы [6]:

- показатели характеризующие экстенсивность оползневых процессов (их распространенность).
- показатели, характеризующие интенсивность оползневых процессов (их временную изменчивость).

Экстенсивность проявления оползневых процессов может быть охарактеризована коэффициентами линейной, площадной и частотной пораженности.

Коэффициент линейной пораженности рассчитывается по формуле:

$$K_n = l/L \quad (3.2),$$

где l – протяженность территории, занятой проявлением оползневого процесса; L – общая протяженность.

Коэффициент площадной пораженности рассчитывается по формуле:

$$Kn = f/F \quad (3.3),$$

где f - площадь, занятая оползновыми явлениями, F – общая площадь участка.

Коэффициент частотной пораженности определяется по формуле:

$$Kч = n/F \quad (3.4),$$

где n – число проявлений процесса на данном участке; F – площадь данного участка.

Этим коэффициентом пользуются в том случае, если площадь отдельных проявлений процесса не может быть выражена в масштабе карты, например при оценке оползневой опасности крупных регионов. По коэффициенту частотной пораженности может быть определен коэффициент площадной пораженности. Для этого необходимо установить среднюю площадь проявлений оползней (f_n), тогда:

$$K_n = K_ч a_m = m a_m A \quad (3.5).$$

Под интенсивностью проявления оползневого процесса целесообразно понимать скорость его развития в физическом времени. Рассчитывается такой показатель следующим образом:

$$a = (V_1 - V_2)/t \quad (3.6),$$

где V_1 – скорость развития процесса за предыдущий год, V_2 – скорость развития процесса в рассматриваемом году, t – время между замерами скорости процесса, a – активизация процесса.

Методы аналогий.

Данная группа методов основана на изучении геологического строения, истории формирования и закономерностей развития оползней и склонов, на установлении характерных показателей, систематизации данных и на сопоставлении их для разных существующих оцениваемых и прогнозируемых склонов. В зависимости от количества и объективности исходных данных и используемого

метода прогноза оценка оползневой опасности склона может быть приближенно количественной или количественной.

Методы, основанные на морфометрических критериях склонов

Данная группа методов включает следующие типы: а) сравнительный количественный [28] и б) морфологической модели [184].

Сравнительный количественный метод основан на сопоставлении между собой различных склонов и их основных, наиболее существенных для устойчивости характеристик. Е.П. Емельянова [28] ввела следующие количественные показатели, характеризующие основные параметры оползней:

1. Индекс удлинённости $I_{дл}$:

$$I_{дл} = \frac{L}{b_{max}} \quad (3.7),$$

где L - длина оползня, b_{max} - максимальная ширина оползня;

2. Индекс глубины захвата $I_{гл}$:

$$I_{гл} = \frac{h_{max}}{L} \quad (3.8),$$

где h_{max} - максимальная мощность оползня, L - длина оползня;

3. Индекс уплощённости $I_{пл}$:

$$I_{пл} = \frac{h_i}{b_i} \quad (3.9),$$

где h_i - мощность оползня в каком-либо поперечном сечении, b_i - ширина оползня в том же поперечном сечении;

4. кривизна склона $I_{кр}$:

$$I_{кр} = \frac{H}{R} \quad (3.10),$$

где H - высота склона, R - радиус кривизны подошвы склона в плане.

Метод построения морфологической модели.

Вычислительная модель оценки оползневой опасности SMORPH основана на предположении, что морфологические особенности склонов (то есть градиент наклона и форма кривизны поверхности) являются важнейшими факторами при

развитии мелких оползней. При этом, градиент наклона определяет с одной стороны соотношение удерживающих и сдвигающих сил, а с другой - влияет на мощность оползневых отложений и совместно с формой кривизны склона на гидрологические процессы (скорость движения поверхностных вод), что, как следствие, определяет степень водонасыщения грунтов. Таким образом, модель оценки оползневой опасности SMORPH отражает восприимчивость рельефа к оползневому процессу [93].

Методы, основанные на геомеханическом подходе

Данная группа методов включает следующие типы: а) основанные на анализе предельного равновесия методом «бесконечного откоса»; б) основанные на геолого-гидрологическом подходе.

Метод «бесконечного откоса».

В данном методе оползневые тела рассматриваются в виде блоков залегающих на наклонной плоской поверхности. Для удобства проведения расчётов можно рассмотреть фрагмент единичной длины. То есть фрагмент, опирающийся на участок поверхности скольжения длиной 1 м. Расчёт устойчивости таких тел представляет собой классическую задачу [164]. Схема для решения такой задачи представлена на рис. 3.2.

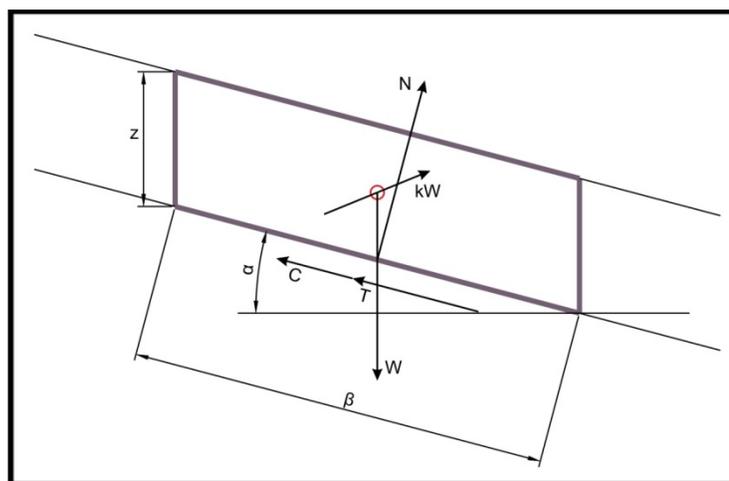


Рис. 3.2. Фрагмент оползневого тела и силы, действующие на него.

W – вес фрагмента массива грунта, z – глубина от поверхности дна до расчётной поверхности скольжения, α – наклон поверхности скольжения и рельефа, β – длина основания фрагмента, N – нормальная реакция опоры, C – сила сцепления, T – сила трения, kW – сейсмическая сила.

В статических условиях для оценки оползневой опасности исследуемой территории может быть использовано следующее соотношение:

$$K_y = \frac{c' \cdot \beta + W \cdot \cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \varphi'}{W \cdot \sin \alpha}, \quad (3.11)$$

где K_y – коэффициент устойчивости склона, W – вес блока; β – длина основания отсека, м; α – наклон основания фрагмента, град.; φ' – эффективный угол внутреннего трения грунта, град.; c' – удельное сцепление грунта, Па.

Анализ региональной оползневой опасности на основе геолого-гидрологического подхода.

Широкое применение в зарубежной практике оценки региональной оползневой опасности нашли геолого-гидрогеологические методы [182,179].

Прогнозирование оползней, основанное на данном подходе, производится на базе модели бесконечного склона с привлечением аналитических методов оценки устойчивости склонов. Эти методы требуют вычисления предельных значений устойчивости склонов, что требует определения параметров устойчивости, мощности грунтов, вовлекаемых в процесс оползания, гидродинамических условий, и т.д., причем для каждой точки исследуемого района.

Б) Подкласс вероятностных методов.

К методам прогноза оползневой опасности, основанных на вероятностных моделях, относятся следующие группы [93]:

- Методы статистического анализа оползневых факторов
- Метод регрессионного анализа
- Метод анализа ритмичности

Методы статистического анализа оползневых факторов.

Анализ оползневых факторов может проводиться с использованием либо методов взвешенных произведений, либо методов взвешенных сумм [146, 163]. Каждый тип методов имеет свои достоинства и ограничения, поэтому в анализе рекомендуется использовались оба подхода, а затем окончательное распределение совокупных значений, сравнивать для установления соответствия.

Методы взвешенного произведения в классической формулировке могут быть описаны следующим выражением:

$$\text{Значение опасности оползнеобразования} = (W_1C_1 \times W_2C_2 \times \dots \times W_nC_n) / 1000, \quad (3.12)$$

где W_n – вес фактора n ; C_n – класс значения фактора n ; n – количество независимых факторов.

Его основная идея заключается в определении вероятности проявления оползней в зависимости от величин вероятностей воздействия факторов оползнеобразования ($P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$), причем величина воздействия каждого фактора принимается независимой от влияния других факторов оползнеобразования.

Методы взвешенных сумм в классической формулировке могут быть описаны следующим выражением: :

$$\text{Значение опасности оползнеобразования} = (W_1C_1 + W_2C_2 + \dots + W_nC_n), \quad (3.13)$$

где W_n – пропорциональный вес фактора n ; C_n – класс значения фактора n ; n – количество независимых факторов.

К данному типу может быть отнесен метод восприимчивости территории к оползневому процессу [37].

Методы регрессионного анализа.

Тип методов регрессионного анализа [98] основан на определении статических зависимостей какого-либо показателя (применительно к региональному прогнозу оползней — коэффициентов пораженности оползнями, частоты оползней и пораженности активными оползнями от количественных характеристик воздействия факторов оползнеобразования и получения так называемых стохастических

(регрессионных) уравнений первой степени и более высоких степеней (обычно не выше второй степени).

Логистическая модель регрессии описывается следующим уравнением:

$$P = \frac{1}{1+e^{-z}} \quad (3.14)$$

где P – вероятность активизации оползневой процесс; z – линейная комбинация предикторов ($x_1, x_2, x_3 \dots x_n$):

$$z = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n \quad (3.15)$$

где b_0 - отрезок, отсекаемый на координатной оси; b_1, \dots, b_n - коэффициенты регрессии.

Метод анализа ритмичности оползневой процесс.

Метод анализа ритмичности оползневой процесс основан на выявлении периодичности активизаций оползневой процесс и ее связи с ритмами солнечной активности, выпадением осадков и другими метеорологическими параметрами.

Обычно прослеживается достаточно четкая связь количества оползней с солнечной активностью и менее тесная связь - с атмосферными осадками.

3.1.5. Использование ГИС при региональной оценке оползневой опасности

За последние годы были разработаны различные методы комплексного анализа геологической среды с целью прогнозирования оползней различного генезиса. Так как большинство методов требуют комплексного анализа значительных массивов данных, все большее число исследователей внедряют свои методики в среду ГИС (геоинформационная система), зачастую разрабатывая при этом специфическое ГИС-ориентированное программное обеспечение.

На базе ГИС-технологий в последние годы составляется значительное число карт [152], непосредственно связанных с прогнозированием оползней. К наиболее крупным группам таких карт можно отнести карты инвентаризации оползней, на которых отображается положение и контуры уже известных оползней. К следующей крупной группе относятся карты прогноза оползней, или карты, на которых отражается возможность схода оползней в какой-либо период времени для какой-

либо определенной территории. Еще одна крупная группа карт — карты прогноза ущерба, наносимого оползнями.

В основе всех без исключения ГИС методов оценки оползневой опасности лежит цифровая модель рельефа (DEM).

К существующим методикам прогнозирования оползней, опирающимся, в основном, на стандартные инструменты современных ГИС относятся такие методики, как методика прогнозирования оползней на базе ГИС с помощью метода логического возвращения к предыдущему состоянию [157], а так же сходная методика, с дополнительным привлечением ROC (receiver operating characteristic curve analysis) анализа [160]. Данные методики характеризуются тем, что среда ГИС используется не только для сбора данных и вывода результирующих карт. Часть расчетов производится также стандартными инструментами развитых ГИС. В обязательный набор данных, собираемых в среде ГИС при использовании данных методик можно отнести литологические характеристики пород, текстура, водонасыщаемость и эффективная мощность грунтов, крутизна склонов, экспозиция склонов, общая расчлененность рельефа, и др. В ряде случаев [169] для проведения расчетов используются не только стандартные средства ГИС, но и создаются небольшие приложения.

Помимо технологий прогноза оползней использующих, главным образом, встроенный математический аппарат ГИС, в которых те необходимые вычисления, которые невозможно провести встроенными средствами, производятся с помощью внешних приложений, существуют ГИС-ориентированные методики прогноза с разработанными специально для них, и интегрированными в ГИС расчетными модулями.

3.2. Методика оценки оползневой опасности для района северо-западный Лаокай

3.2.1. Алгоритм классической формулировки МАИ для оценки региональной оползневой опасности

Региональная оценка оползневой опасности выполняется на основе разделения изучаемой территории на группы участков (зон), отличающихся между собой по природным условиям формирования оползней, а также по интенсивности и характеру влияния инженерно-хозяйственной деятельности. При этом в обязательном порядке должны учитываться: основные литолого-генетические комплексы пород, слагающих склоны; крутизна склонов, интенсивность основных природных оползнеобразующих процессов и др. [121].

Метод анализа иерархий (МАИ) [108] предоставляет экспертам относительно простой и эффективный способ измерения объективных и субъективных факторов посредством попарных относительных сравнений и вычисления соответствующих приоритетов шкалы отношений. Он, в классическом понимании, находится на стыке метода экспертных и балльных оценок.

Первый шаг МАИ — построение иерархической структуры, объединяющей цель выбора, критерии, альтернативы и другие факторы, влияющие на выбор решения.

Иерархическая структура МАИ (рис.3.3) — это графическое представление проблемы в виде перевернутого дерева, где каждый элемент, за исключением самого верхнего, зависит от одного или более, выше расположенных элементов. Система представляет собой строгую иерархию, если допустимы связи только между соседними уровнями от верхнего к нижнему.

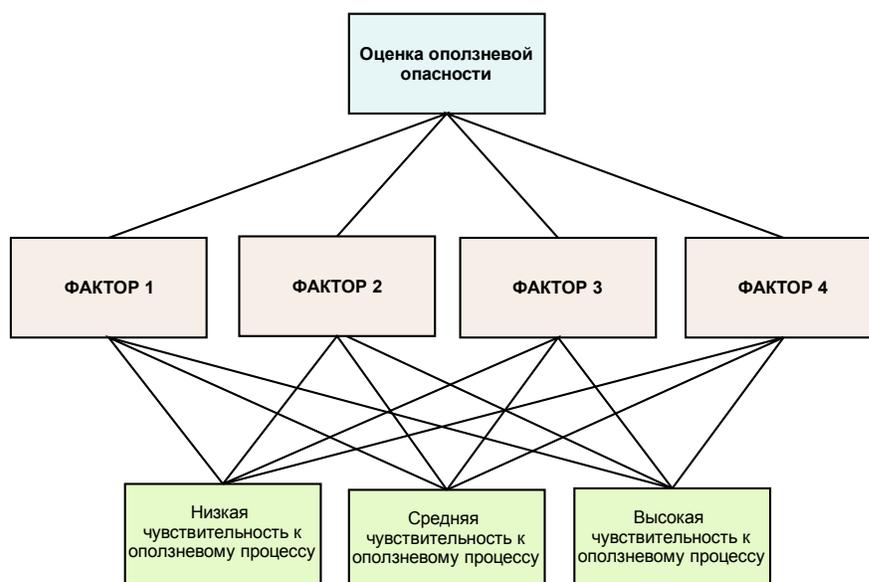


Рис.3.3. Простейшая иерархия МАИ при оценке оползневой опасности

Приоритеты - это числа, которые связаны с узлами иерархии. Они представляют собой относительные веса элементов в каждой группе. Подобно вероятностям, приоритеты - безразмерные величины, которые могут принимать значения от нуля до единицы. Чем больше величина приоритета, тем более значимым является соответствующий ему элемент. Сумма приоритетов элементов, подчиненных одному элементу выше лежащего уровня иерархии, равна единице. Приоритет цели по определению равен 1.0.

Шкала или масштаб сравнения значимости факторов, предложенная Т. Саати в рамках МАИ, состоит из словесных определений «одинаковая значимость», «слабая значимость», «сильная значимость» и т.д. Интенсивность этих определений может быть выражена числовыми значениями 1, 3, 5, 7 и 9 соответственно (таблица 3.2.).

Таблица 3.2.

Шкала сравнения значимости факторов по Т. Саати

Степень важности	Определение значимости	Пояснения
1	Одинаковая значимость	Два действия вносят одинаковый вклад в достижение цели

3	Некоторое преобладание значимости одного действия перед другим (слабая значимость)	Опыт и суждение дают лёгкое предпочтение одному действию перед другим
5	Существенная или сильная значимость	Опыт и суждение дают сильное предпочтение одному действию перед другим
7	Очень сильная или очевидная значимость	Предпочтение одного действия перед другим очень сильно. Превосходство практически явное.
9	Абсолютная значимость	Свидетельство в пользу предпочтения одного действия другому в высшей степени предпочтительны
2, 4, 6, 8	Промежуточные значения между соседними значениями шкалы	Ситуация, когда необходимо компромиссное решение
Обратные величины приведённых выше чисел	Если действию i при сравнении с действием j приписывается одно из приведённых выше чисел, то действию j при сравнении с i приписывается обратное значение	Обоснованное предположение

На основе описанной выше шкалы строится матрица парных коэффициентов корреляции (таблица 3.3).

Таблица 3.3.

Матрица парных коэффициентов корреляции

	A_1	A_2	A_3	A_n
--	-------	-------	-------	-------	-------

A ₁	1	a ₁₂	a ₁₃	a _{1n}
A ₂	a ₂₁	1	a ₂₃	a _{2n}
A ₃	a ₃₁	a ₃₂	1		a _{3n}
...
A _n	a _{n1}	a _{n2}	a _{n3}		1

Величина парных коэффициентов корреляции определяется следующим образом:

$$a_{ij} = \frac{I_i}{I_j} \quad (3.16); \quad \text{где: } I - \text{ уровень значимости (определяемый по шкале Т.Саати).}$$

$$\text{Соответственно: } a_{11} = \frac{I_1}{I_1} \quad (3.17); \quad a_{12} = \frac{I_1}{I_2} \quad (3.18); \quad a_{13} = \frac{I_1}{I_3} \quad (3.19); \quad \dots; \quad a_{nn} = \frac{I_n}{I_n} \quad (3.20).$$

В свою очередь, веса факторов могут быть найдены из следующего выражения:

$$W_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (3.21)$$

Где: W_i - Вес фактора A_i ; m_i – среднее геометрическое значение i строки, определяемое согласно следующим формулам:

$$m_1 = \sqrt[n]{\frac{I_1}{I_1} * \frac{I_1}{I_2} * \frac{I_1}{I_3} * \dots * \frac{I_1}{I_n}} = I_1 * \sqrt[n]{\frac{1}{I_1 * I_2 * I_3 * \dots * I_n}} \quad (3.22)$$

$$m_2 = \sqrt[n]{\frac{I_2}{I_1} * \frac{I_2}{I_2} * \frac{I_2}{I_3} * \dots * \frac{I_2}{I_n}} = I_2 * \sqrt[n]{\frac{1}{I_1 * I_2 * I_3 * \dots * I_n}} \quad (3.23)$$

.....

$$m_n = \sqrt[n]{\frac{I_n}{I_1} * \frac{I_n}{I_2} * \frac{I_n}{I_3} * \dots * \frac{I_n}{I_n}} = I_n * \sqrt[n]{\frac{1}{I_1 * I_2 * I_3 * \dots * I_n}} \quad (3.24)$$

Веса факторов оползнеобразования (оценка вектора приоритетов), соответственно будут равны:

$$W_1 = \frac{I_1 * \sqrt[n]{\frac{1}{I_1 * I_2 * I_3 * \dots * I_n}}}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n) * \sqrt[n]{\frac{1}{I_1 * I_2 * I_3 * \dots * I_n}}} = \frac{I_1}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} \quad (3.25)$$

$$W_2 = \frac{I_2 * \sqrt[n]{\frac{1}{I_1 * I_2 * I_3 * \dots * I_n}}}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n) * \sqrt[n]{\frac{1}{I_1 * I_2 * I_3 * \dots * I_n}}} = \frac{I_2}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} \quad (3.26)$$

.....

$$W_n = \frac{I_n * \sqrt[n]{\frac{1}{I_1 * I_2 * I_3 * \dots * I_n}}}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n) * \sqrt[n]{\frac{1}{I_1 * I_2 * I_3 * \dots * I_n}}} = \frac{I_n}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} \quad (3.27)$$

$$\text{При этом } W_1 + W_2 + \dots + W_n = 1 \quad (3.28)$$

А интегрированный показатель восприимчивости территории к оползневому процессу (по способу взвешенных сумм):

$$S = \frac{I_1}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} * X_1 + \frac{I_2}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} * X_2 + \dots + \frac{I_n}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} * X_n \quad (3.29)$$

При этом, полагая что $X_i = \frac{A_{ij}}{A_{ij \max}}$ (3.30) если $X_i \leq 1$ и $X_i = \frac{A_{ij}}{A_{ij \max}} * N$ (3.31) если

$X_i > 1$ (где N - любое натуральное число, отличное от 0), окончательно получаем:

$$S = \frac{I_1}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} * \frac{A_{1j}}{A_{ij \max}} + \frac{I_2}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} * \frac{A_{2j}}{A_{ij \max}} + \dots + \frac{I_n}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} * \frac{A_{nj}}{A_{ij \max}} \quad (3.32)$$

$$S = \frac{I_1 * A_{1j} + I_2 * A_{2j} + \dots + I_n * A_{nj}}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n) * A_{ij \max}} \quad (3.33) \text{ (если } X_{ij} \leq 1)$$

$$S = \frac{I_1 * A_{1j} + I_2 * A_{2j} + \dots + I_n * A_{nj}}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n) * A_{ij \max}} * N \quad (3.34) \text{ (если } X_{ij} > 1)$$

3.2.2. Модифицированный алгоритм формулировки МАИ для оценки региональной оползневой опасности

Основным недостатком классической формулировки МАИ, является необходимость использования экспертных оценок, что вносит определенный субъективизм в результат оценки региональной оползневой опасности.

Целью модификации, описанного выше алгоритма, являлось ликвидация субъективизма экспертных оценок. Дополнительным требованием, по отношению к классической формулировке МАИ, в нем является построение карты инвентаризации оползней.

С этой целью был использован следующий подход [37] основным критерием для определения значимости фактора является форма функции распределения выявленных оползней по информационным классам рассматриваемого фактора. В качестве примера, на рис.3 показаны две возможных функции распределения. Фактор 1, имеющий большую дисперсию, является менее значимым в сравнении с фактором 2. Отметим, что кривая распределения строится по количеству проявлений оползневых процессов в каждом классе фактора (например, в факторе «геологическое строение» выделено 3, класса, в каждом из которых выявлено определенное количество проявлений оползневых процессов).

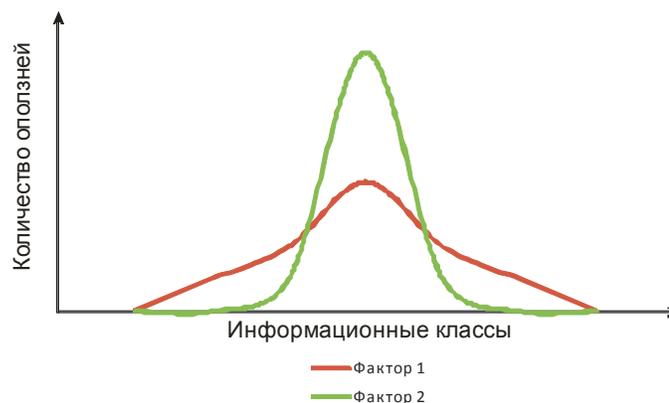


Рис. 3.4. Пример функции распределения выявленных оползней по информационным классам.

Таким образом, стандартное отклонение функции распределения выявленных оползней по информационным классам рассматриваемого фактора является основой для определения I – уровня значимости.

Веса x_{ij} информационных классов нормируются относительно количества выявленных оползней таким образом, чтобы их сумма для каждого фактора составляла 1:

$$x_{ij} = \frac{\text{плотность оползней в данном информационном классе}}{\text{плотность оползней на исследуемой территории}} \quad (3.35)$$

В остальном, описываемый алгоритм ничем не отличается от классической постановки МАИ. Интегрированный показатель восприимчивости территории к оползневому процессу (по способу взвешенных сумм) определяется по формуле:

$$S = \frac{I_1}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} * X_1 + \frac{I_2}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} * X_2 + \dots + \frac{I_n}{(I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n)} * X_n \quad (3.36)$$

На основе приведенного алгоритма может быть построена карта оползневой опасности.

Для оценки степени оползневой опасности авторы использовали принцип "светофора". В соответствии с этим подходом, вся территория региона по величине интегрального показателя восприимчивости территории к оползневому процессу S была разделена на три зоны:

- Первая зона - характеризуется низкой восприимчивостью геологической среды к оползневому процессу и, как следствие, низкой оползневой опасностью;
- Вторая зона – характеризуется средней восприимчивостью геологической среды к оползневому процессу и, соответственно, умеренной оползневой опасностью;
- Третья зона – характеризуется высокой восприимчивостью геологической среды к оползневому процессу и высокой оползневой опасностью.

3.3. Региональная оценка оползневой опасности района северо-западный

Лаокай на основе модифицированного МАИ

Основой для оценки региональной оползневой опасности района северо-западный Лаокай, послужила карта инвентаризации оползней, на которой отражены 340 мест их активизации [150].

Главной задачей при проведении анализа региональной оползневой опасности является определение условий оползнеобразования. Под условиями

оползнеобразования следует понимать всю совокупность природных и антропогенных факторов, нарушающих равновесие масс горных пород. В качестве «основных», для региона северо-западный Лаокай, на основе опыта региональных оценок оползневой опасности территории Вьетнама, были выбраны следующие: восемь факторов:

- 1) Крутизна склонов
- 2) Горизонтальное расчленение рельефа
- 3) Вертикальное расчленение рельефа
- 4) Литологические разности грунтов
- 5) Расстояние от активных разломов
- 6) Гидрогеологические условия
- 7) Количество осадков
- 8) Тип растительности

В свою очередь, каждый фактор представлен тремя информационными классами. Разделение факторов на классы приведено в таблице 3.4, рассчитанные веса факторов W_j ($j = 1, 2, 3, \dots, 8$) приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.4.

**Разделение основных факторов, обуславливающих активизацию
оползневых процессов в районе северо-западный Лаокай,
на информационные классы и вес этих классов**

Фактор W_j	Классы	Количество выявленных оползней	Площадь (км²)	x_{ij}
1. Крутизна склонов (градусы)	<15	92	382,1883	0,451
	15-35	203	1207,622	0,315
	> 35	45	360,4799	0,234
	Сумма	340	1950	1

2. Горизонтальное расчленение рельефа (км/км ²)	<0.3	42	546,25	0,150
	0.3 – 0.78	254	1207,618	0,412
	>0.78	44	196,426	0,438
	Сумма	340	1950	1
3. Вертикальное расчленение рельефа (км/км ²)	< 600	69	287,698	0,470
	600-1250	249	1436,242	0,340
	>1250	22	226,362	0,190
	Сумма	340	1950	1
4. Литологические разности грунтов	Глинистые сланцы, песчаники и алевролиты	37	204,4368	0,325
	Биотитовые сланцы, двуслюдяные сланцы, графитовые сланцы, амфиболиты	106	478,1887	0,397
	Интрузивные породы: диориты, гранодиориты, граниты, субщелочные граносиениты	197	1267,818	0,278
	Сумма	340	1950	1
5. Расстояние от активных разломов (м)	> 3000	175	1166,928	0,257
	< 3000	67	428,982	0,268
	Зона разлома	98	354,36	0,475
	Сумма	340	1950	1
6. Гидрогеологические	Мало обводненные	146	747,06	0,398

условия	массивы грунтов			
	Среднеобводненные массивы грунтов	161	933,883	0,352
	Сильно обводненные массивы грунтов	33	269,355	0,250
	Сумма	340	1950	1
7. Количество осадков (ММ/1 год)	<2000	168	854,275	0,389
	2000 - 2800	111	592,301	0,371
	> 2800	61	503,714	0,240
	Сумма	340	1950	1
8. Тип растительности	Лесные массивы и с лесопосадки	60	581,663	0,201
	Земли хозяйственного назначения	147	665,73	0,430
	Растительность практически отсутствует	133	702,754	0,369
	Сумма	340	1950	1

Таблица 3.5.

Рассчитанные веса фактора оползнеобразования W_i

Фактор	Стандартное отклонение (σ_i)	$1/\sigma_i$	Уровень значимости (I)	Вес W_i
Литологические разности грунтов	0,060	16,67	12	0,300
Гидрогеологические условия	0,076	13,16	8	0,200

Количество осадков	0,081	12,35	7	0,175
Крутизна склонов	0,110	9,09	4	0,100
Тип растительности	0,119	8,40	3	0,075
Расстояние от активных разломов	0,123	8,13	3	0,075
Вертикальное расчленение рельефа	0,140	7,14	2	0,050
Горизонтальное расчленение рельефа	0,159	6,29	1	0,025

В качестве исходных данных была использована информация, полученная по результатам дистанционного зондирования, в сочетании с материалами традиционных полевых исследований.

Общая схема оценки региональной оползневой опасности методом анализа иерархий представлена на рис 3.5, необходимый для анализа набор карт, построенный в ARCGIS 10.3 – на рис 3.6.

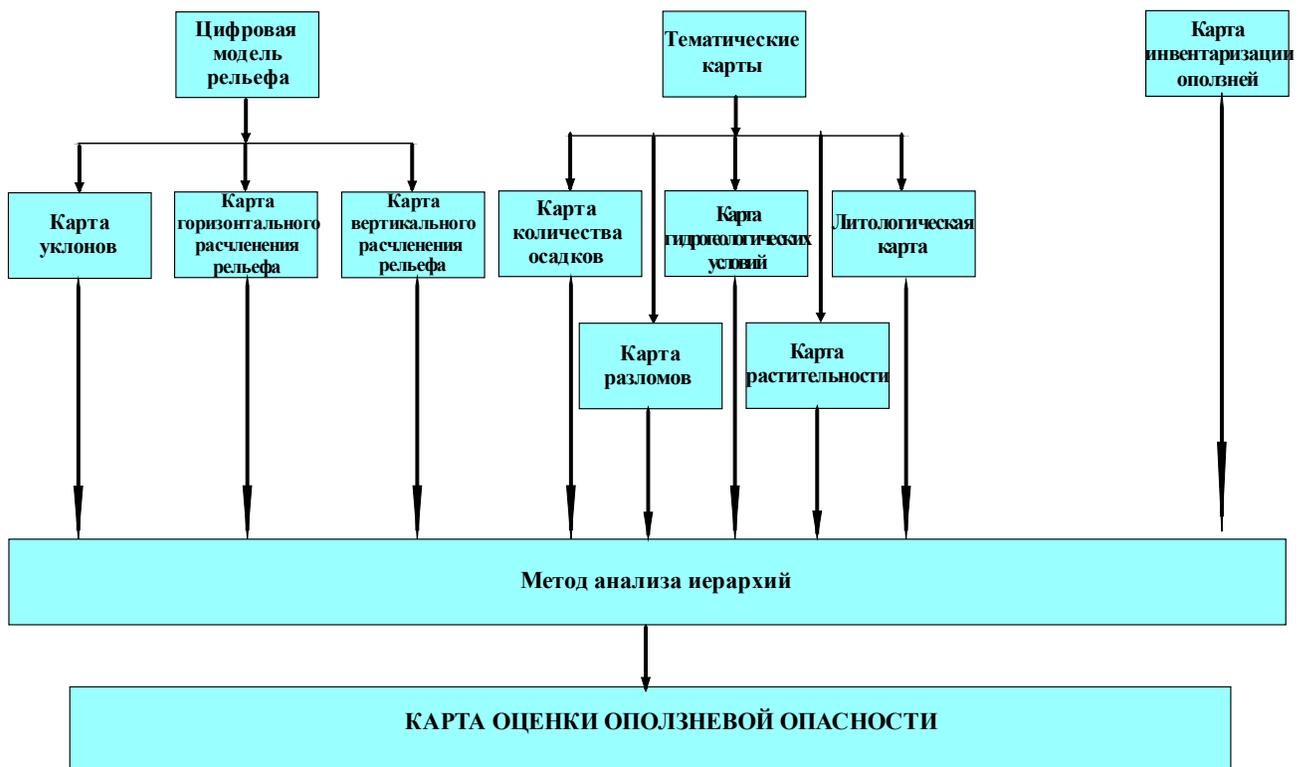
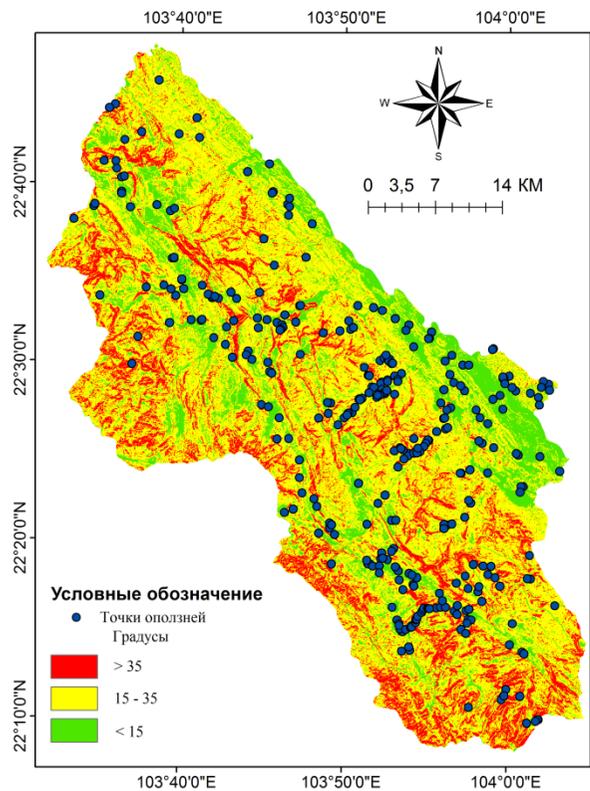
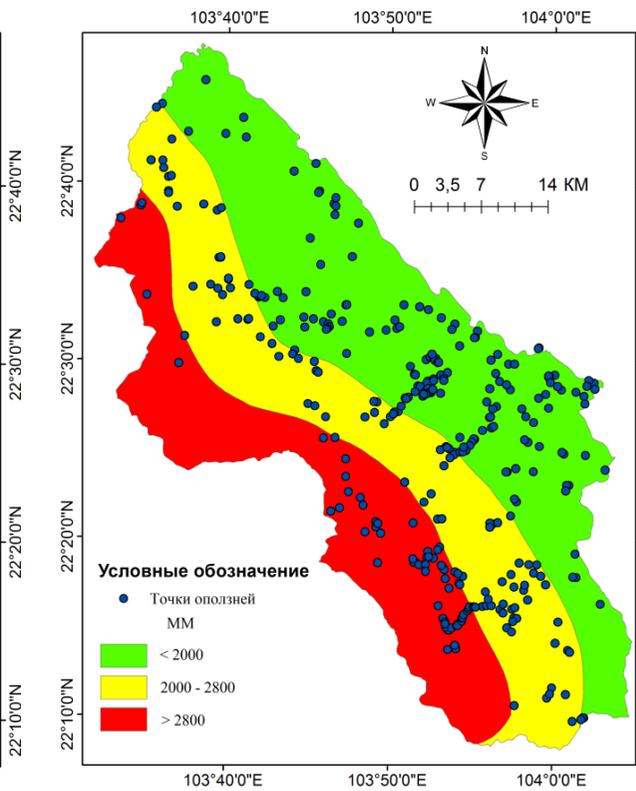


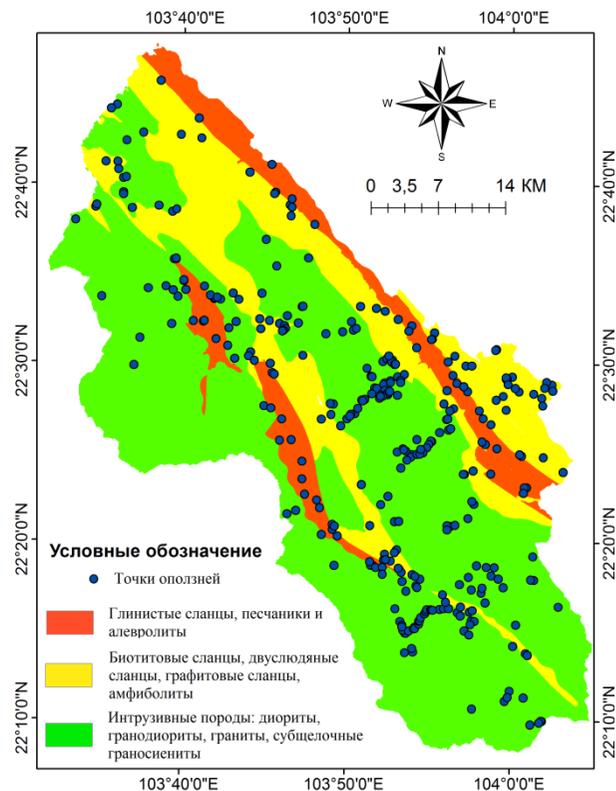
Рис. 3.5. Общая схема оценки региональной оползневой опасности методом анализа иерархий



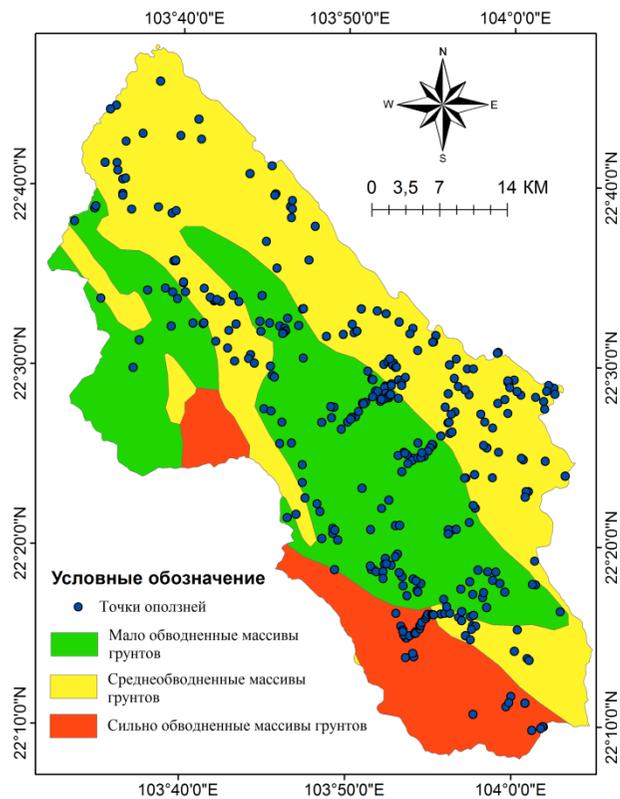
а) Карта уклонов



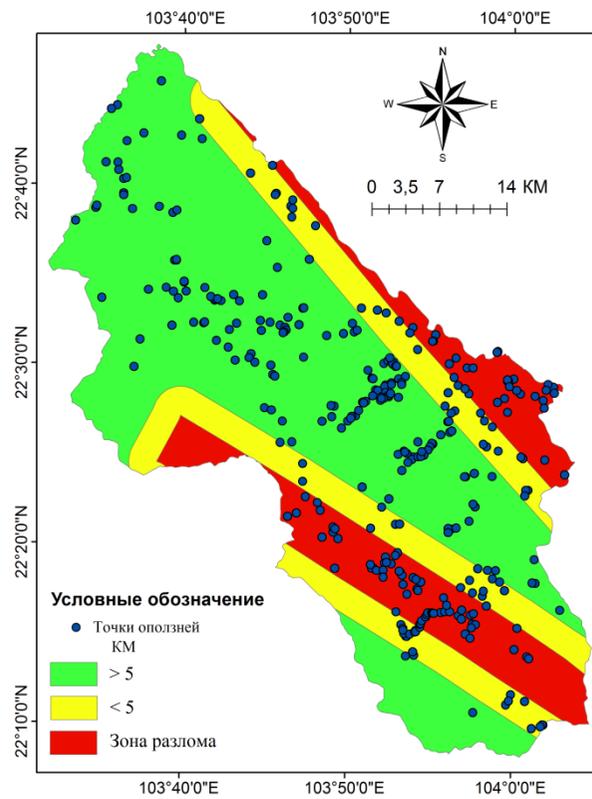
б) Карта количества осадков



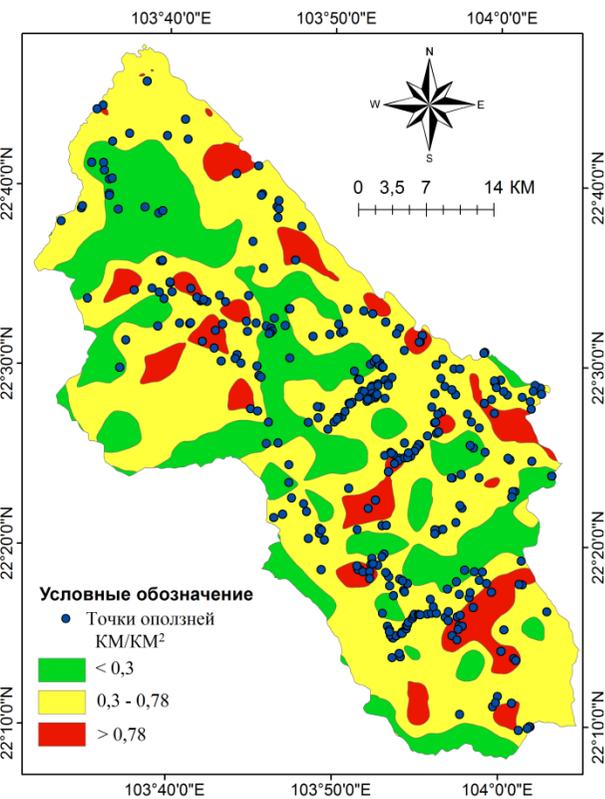
в) Карта литологического состава
грунтов



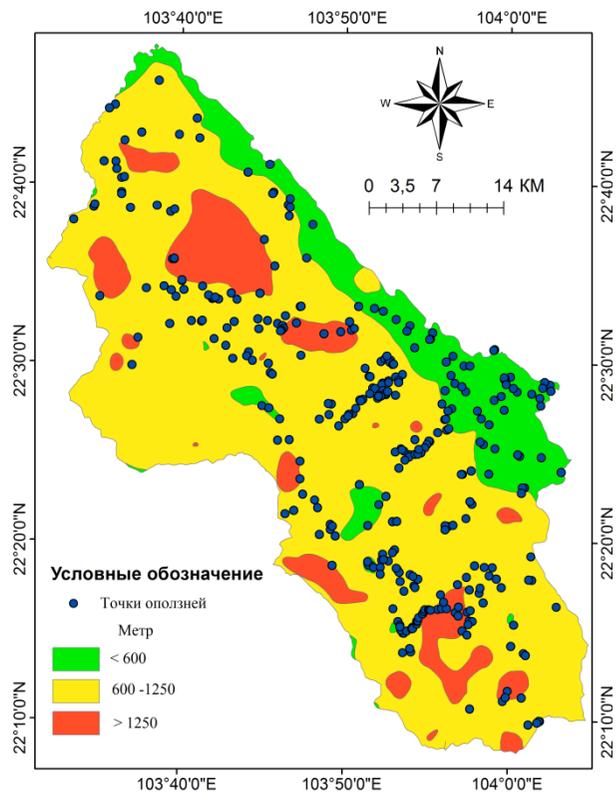
г) Карта гидрогеологических условий



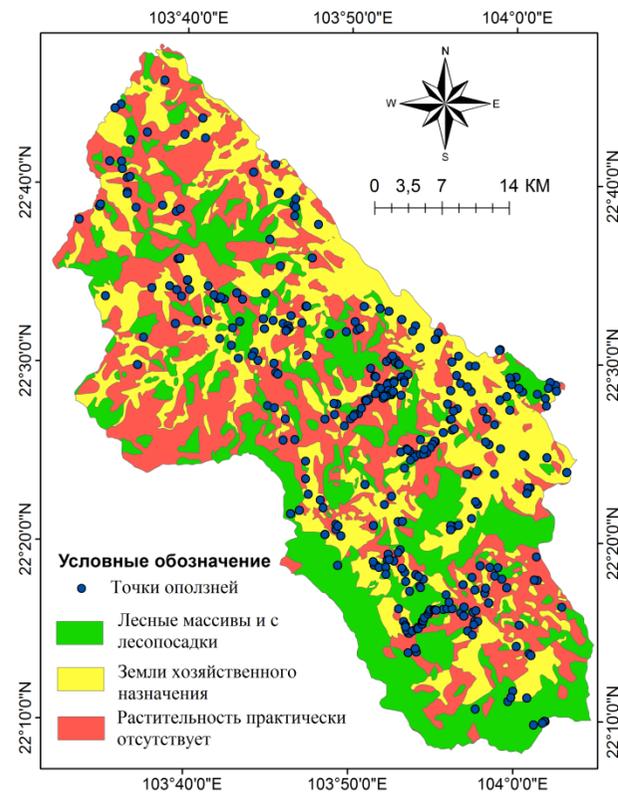
д) Карта удаленности от
активных разломов



е) Карта горизонтальной
расчленённости рельефа



ё) Карта вертикальной расчленённости рельефа



ж) Карта растительности

Рис 3.6. Набор карт, использованный для оценки региональной оползневой опасности района северо-западный Лаокай.

Районирование территории района северо-западный Лаокай по оползневой опасности было выполнено как с применением способа взвешенных сумм (Рис. 3.7а);, так и посредством взвешенных произведений (Рис. 3.8а).

Важным моментом при построении карты являлся выбор разумных уровней классификационного показателя S .

В данном исследовании, уровни восприимчивости территории к оползневому процессу были определены на основе анализа распределения S (рис. 3.7б, 3.8б) с использованием классификации по методу естественных границ.

В результате для способа взвешенных сумм были определены следующие зоны:

- первая зона: $S = 0,23 - 0,3$; характеризуется низкой оползневой опасностью;
- вторая зона: $S = 0,3 - 0,37$; характеризуется умеренной оползневой опасностью;
- третья зона: $S = 0,37 - 0,42$; характеризуется высокой оползневой опасностью.

Аналогичные зоны при районировании способом взвешенных произведений имеют следующие интервалы изменений:

- первая зона: $S = 200 - 3682$; характеризуется низкой оползневой опасностью;
- вторая зона: $S = 3682 - 7860$; характеризуется умеренной оползневой опасностью;
- третья зона: $S = 7860 - 36525$; характеризуется высокой оползневой опасностью.

Анализ полученных карт районирования показал, что наиболее высокая оползневая опасность характерна для восточных участков исследуемой территории, включая коммуны Бат Сат, Бан Куа, Бан Вьюк, Чинь Тьонг, Лао Чи и городские округа Лаокай, и Шапа. В геологическом отношении зона высокой оползневой опасности приурочена к массивам грунтов, сложенных глинистыми сланцами, песчаниками и алевролитами, находящихся в зоне влияния активных разломов. Основными факторами активизации оползневого процесса в

рассматриваемой зоне являются низкие прочностные свойства массивов грунтов, их нарушенность разрывными нарушениями, а так же, высокая энергия рельефа.

Низкая оползневая опасность характерна для западных районов, включая коммуны А Лу, Нгаи Тхау, Та Ван, Бан Хо, Нам Канг. В геологическом отношении зона низкой оползневой опасности приурочена к массивам грунтов, сложенных прочными интрузивными породами.

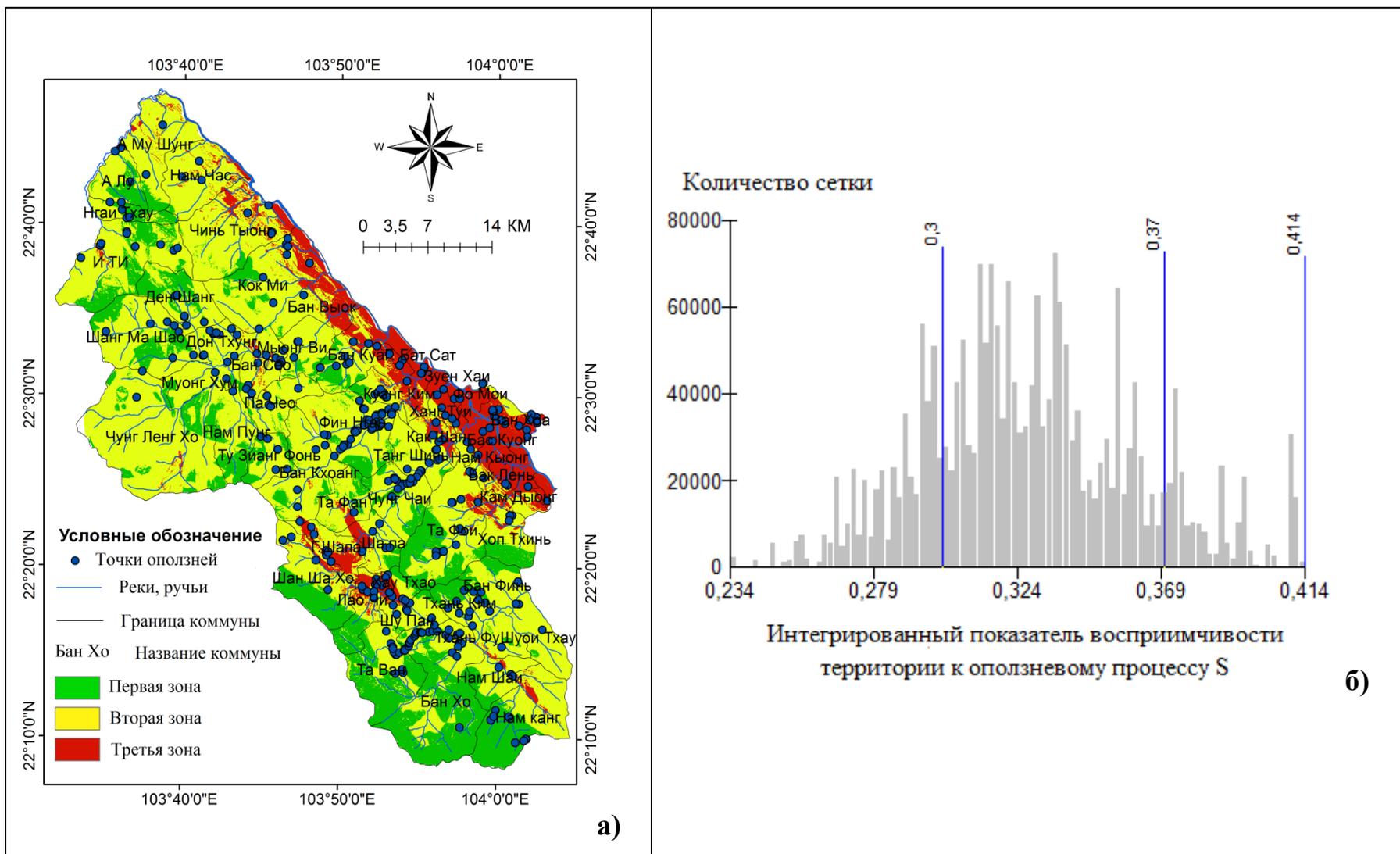


Рис 3.7. Карта районирования оползневой опасности (а) и график распределения интегрированного показателя восприимчивости территории к оползневому процессу (S) на основе способа взвешенных сумм (б).

Визуальное сравнение карт районирования оползневой опасности, построенных различными способами, показывает большую «контрастность» карты, созданной на основе взвешенного произведения. Очевидно, это связано с тем, что распределение S является нормальным по «способу взвешенных сумм» и логнормальным «по способу взвешенных произведений».

3.4. Оценка надежности полученных результатов, на основе отношения правдоподобия

Отношение правдоподобия (ОП) позволяет оценивать неизвестные параметры, основанные на известных результатах. В рамках рассматриваемой проблемы, на основе известного распределения оползней выполним оценку интегрированного показателя восприимчивости территории к оползневому процессу или, иными словами, оценим адекватность выделенных зон при районировании оползневой опасности. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$ОП = \frac{\% \text{ оползней}}{\% \text{ площади}} \quad (3.37)$$

Согласно [177], данное отношение правдоподобия для оценки S , по своей сути представляет выражение условной вероятности. Таким образом, случай, когда ОП больше 1, означает высокую вероятность нахождения оползня на рассматриваемом участке территории и наоборот, если это отношение меньше 1, то вероятность нахождения оползня низкая. Результаты оценки ОП приведены на рис. 3.9, а так же в таблице 3.6 (для способа взвешенных сумм) и в таблице 3.7 (для способа взвешенных произведений).

Таблица 3.6.

Оценка отношения правдоподобия (районирование по способу взвешенных сумм)

Зона оползневой опасности	Площадь зоны	Количество оползней	% оползней	% площади	ОП
Первая	416	36	10,59	21,33	0,5

Вторая	1306	231	67,94	69,74	0,97
Третья	228	73	21,47	8,93	2,4

Таблица 3.7.

**Оценка отношения правдоподобия (районирование
по способу взвешенных произведений)**

Зона оползневой опасности	Площадь зоны	Количество оползней	% оползней	% площади	ОП
Первая	871	81	23,82	44,67	0,53
Вторая	583	133	39,12	29,9	1,31
Третья	496	126	37,06	25,43	1,46

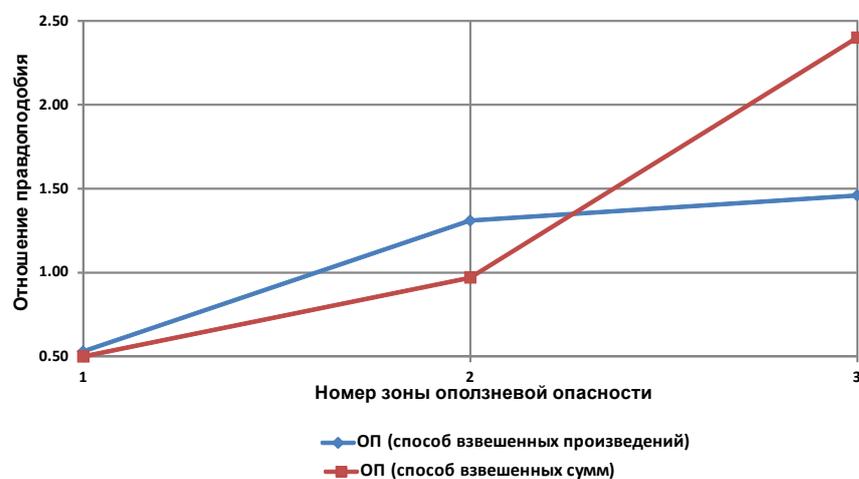


Рис.3.9. Отношение правдоподобия для выделенных зон оползневой опасности

Как видно из рис 3.9, для зоны с высокой оползневой опасностью, ОП больше 1 в обоих случаях. Однако для второй зоны, ОП при районировании по способу взвешенных сумм меньше 1, а по способу взвешенных произведений больше 1. Так же стоит отметить значительные различия в площади зон, полученных разными способами (табл. 3.6 и 3.7). Так при районировании по способу взвешенных произведений, почти половина территории отнесена к зоне с низкой оползневой опасностью (44.67%), при этом, к зоне с высокой оползневой

опасностью отнесено 25.43% площади, что практически в три раза больше, чем получено способом взвешенных сумм (8.93%). На карте, созданной по способу взвешенных сумм, большая часть территории (67,94%) характеризуется умеренной оползневой опасностью, в то время, как на карте с использованием взвешенных произведений, данная зона занимает только 29,9%. Таким образом, можно сделать вывод о том, что способ взвешенных произведений позволил получить при районировании более равномерное распределение зон с различной оползневой опасностью по площади исследуемой территории.

Выводы

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.

В результате исследования была выполнена региональная оценка оползневой опасности района северо-западный Лаокай, с использованием модифицированного метода анализа иерархий.

Основные результаты и выводы заключаются в следующем:

- Предложенная модификация МАИ, позволяет избавиться от субъективности экспертных оценок при оценке региональной оползневой опасности территорий;
- Выполненное районирование позволило разделить территорию исследования на зоны с различной степенью оползневой опасности, при этом выявлено, что самой высокой оползневой опасностью обладают склоны, сложенные тектонически нарушенными глинистыми сланцами, песчаниками и алевролитами, самой низкой – ненарушенными интрузивными породами;
- Оценка отношения правдоподобия показала надежность полученных результатов;

- Анализ результатов районирования, полученных с использованием различных подходов (способа взвешенных сумм и способа взвешенных произведений) показал, что способ взвешенных произведений позволяет получить более равномерное распределение зон с различной оползневой опасностью по площади исследуемой территории;

При внедрении МАИ в практику инженерно-геологических исследований необходимо учитывать следующие моменты [93]:

- Данный метод не учитывает специфические условия отдельных оползневых участков, например процесс подготовки и зарождения оползня рассматривается исходя из статистических данных, а не на основе инженерно-геологической информации.

- Принципиальным допущением является предположение о том, что будущие активизации оползневого процесса вероятнее всего произойдут при условиях, которые стали причиной потери устойчивости склонов в прошлом и настоящем, хотя факторы, инициирующие оползни, могут со временем изменяться и главным образом это связано с техногенным воздействием;

- Некоторые факторы оползнеобразования могут не являться независимыми друг от друга, и поэтому существует возможность их автокорреляции или “двойного учета”.

- Вероятно, выбранная классификация уровней оползневой опасности на основе метода естественных границ не является оптимальной, следствием чего является большое различие в площадях зон, полученных способами взвешенных сумм и взвешенных произведений. Данный вопрос нуждается в дополнительном изучении.

Однако, основным выводом является признание эффективности использования МАИ при районировании территорий, подверженных воздействию оползневого процесса, а полученные данные по оползневой опасности не только можно, но и необходимо учитывать при планировании хозяйственного освоения территории.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА УЩЕРБА ОТ ОПОЛЗНЕВОГО ПРОЦЕССА РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЛАОКАЙ

Значительный ущерб, приносимый оползнями, разнообразие, сложность и многофакторность оползневого процесса делает актуальной задачу его познания [93]. Вопросы, касающиеся изучения оползней и, шире, склоновых процессов в целом, широко обсуждаются как в отечественной научной литературе, так и за рубежом.

Оползневые процессы могут характеризоваться внезапностью и высокой скоростью протекания, зачастую приобретая катастрофический характер [51; 6]. Они существенно изменяют рельеф земной поверхности, уничтожают расположенные на них сельскохозяйственные угодья, нарушают устойчивость комплексов сооружений, объектов инфраструктуры, разрушая их, сопровождаясь значительным материальным ущербом и человеческими жертвами [41]. Существенные риски от активизации оползневых процессов делают необходимым выполнение исследований по выявлению оползнеопасных участков и определению причин развития оползневых процессов на изучаемой территории [122].

Региональная оценка развития оползневых процессов предполагает установление возможности возникновения и интенсивности их формирования, а также их воздействие на хозяйственные объекты и нанесение ущерба в пределах значительных территорий. Основой региональной оценки развития оползней является специальное районирование территории [121]. Результаты этих исследований широко применяются при разработке схем территориального планирования, при выборе площадок и трасс различных проектируемых объектов и сооружений.

За последние годы в разных странах и разными исследователями были разработаны новые методы анализа и прогнозирования развития оползней различного генезиса [92]. Так как большинство методов прогнозирования оползневой опасности требуют комплексного анализа значительных массивов

данных, все большее применение находят методики, основанные на использовании геоинформационных систем (ГИС) [37, 42, 163]. С внедрением ГИС, моделирование оползневой опасности стало доступным, удобным и возможным как при научном анализе, так и при экономической оценке прогнозного освоения территорий [71].

Целью главы 4 является рассмотрение развития оползней на территории северо-запада провинции Лаокая (Вьетнам), а также описание мероприятий по минимизации последствий от их активизации. Проблема негативного воздействия оползневых процессов в северо-западной части провинции Лаокая стала особенно актуальной в последнее десятилетие, в связи с началом его комплексного освоения.

4.1. Последствия активизации оползневых процессов

За 40-летний период (с 1965 г. по 2006 г.) в результате развития оползней на территории северо-западной части провинции Лаокай погибло более 150 человек и было разрушено свыше 360 домохозяйств [69]. На рис. 4.1 представлена карта активизации оползневых процессов, которые послужили причиной нанесения ущерба в период с 1996 по 2005 год.

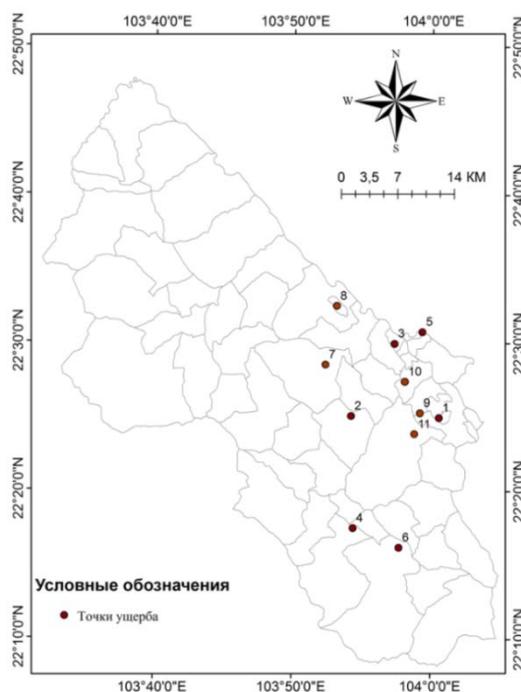


Рис 4.1. Карта активизации оползневых процессов, ставших причиной нанесения ущерба в период 1996-2005г.г.

Среди наиболее катастрофических активизаций склоновых процессов, произошедших в последние годы, можно назвать оползни в районе Чунг Чаи и в Сунг Хоанг.

Оползневой процесс в районе Чунг Чаи активизировался 24 июня 1998 г. (рис. 4.2). В результате схода оползня объемом более 10 тыс. м³ погибли восемь и были ранены семь человек. Экономическая составляющая ущерба, составила 7895\$. Активизация склоновых процессов в районе Чунг Чаи также отмечалась в 2012 г. Оползень объемом 10000 м³ уничтожил 1000 м² сельскохозяйственных угодий и 5 м дороги в районе моста Монг Сен (рис. 4.3.).



а)

б)

Рис. 4.2. Оползень в районе Чунг Чаи (24 июня 1998 г.), в результате которого погибли восемь и были ранены семь человек: а- начальная стадия активизации оползневой процесс, б- финальная стадия активизации оползня [69].



Рис. 4.3. Разрушение участка дороги в районе моста Монг Сен оползень

в Чунг Чаи, Шапа (2012 г.) [77].

Оползень в районе Сунг Хоанг произошел 13 сентября 2004 г. В результате его смещения погибли 23 человека и были ранены 16, разрушены 4 дома (рис. 4.4). Экономический ущерб составил 12280\$.



Рис. 4.4. Оползень в районе Сунга Хоанга (13 сентября 2004 г.) [69].

На рис. 4.5-4.7 показаны последствия активизации оползней в районе Батсат (2013 г.), которые сопровождались повреждениями жилых домов, разрушениями объектов инфраструктуры (автодорог, ЛЭП), выводом из оборота сельскохозяйственных угодий. Также существенное негативное влияние на транспортную инфраструктуру оказывает активизация оползней в районе Шапа (рис. 4.8-4.9).

В таблице 4.1 приведены данные по ущербу от оползневых процессов в период с 1996 по 2005 г.

Ущерб, причиненный оползнями в период с 1996 по 2005 г.

№ участка*	Дата	Количество разрушенных зданий и поврежденной техники	Протяженность разрушенных дорог	Площадь выведенных из оборота с/х угодий	Социальный ущерб (число погибших и пострадавших)	Экономический ущерб (долл. США)
1	19.08.1996	22 дома	-	-	1 погиб	28947
2	24.07.1998	3 дома	-	-	8 погибли, 7 ранены	7895
3	07.1998	-	-	-	1 погиб	-
4	06.01.2003	1 дома	-	-	2 погибли, 2 ранены	3070
5	15.05.2004	-	100 м	-		21193
6	2004	3 дома	-	-	7 погибли	9211
7	13.09.2004	4 дома	-	-	23 погибли	12280
8	2004	1 дома	-	-		3809
9	20.11.2004	-	-	-	2 погибли	-
10	2004	-	-	0,7га	-	1316
11	18.05.2005	землеройный экскаватор	-	-	-	157895

*Нумерация участков приведена в соответствии с рис.4.1

«-» - не было нанесено ущерба

Разработка планов экономического развития провинции Лаокай потребовала пересмотра подходов к оценке оползневой опасности на исследуемой территории. Если ранее анализ и оценка развития оползней имели локальный характер, направленный, в первую очередь, на выяснение конкретных причин и оценку ущерба от склоновых деформаций, причиненного в результате разрушения конкретных участков автодорог или жилых домов [53], то начиная с 2006 г. во Вьетнаме был запущен национальный проект [69] по изучению причин

активизации оползней в горных районах Вьетнама. В рамках этого проекта проводится изучение закономерностей развития крупных оползней, активизация которых приводит к катастрофическим последствиям.



Рис. 4.5. Повреждение дома оползнем в районе Батсат (2013 г.) [53].



Рис. 4.6. Выведенные из оборота сельхозугодья вследствие оползня в регионе Батсат (2013 г.) [53].



Рис. 4.7. Разрушение автодороги и ЛЭП из-за оползня в регионе Батсат (2013 г.) [53].



Рис. 4.8. Деформации автодороги в результате развития оползня в районе Шапа (2013 г.) [53].



Рис. 4.9. Разрушение автодороги головной частью оползня в районе Шапа (2013 г.) [53].

4.2. Основные решения по инженерной защите от оползневых процессов.

Проектирование всего комплекса противооползневых мероприятий должно базироваться на детальном анализе причин развития процесса и условий, в которых он протекает [136]. Все противооползневые мероприятия должны отвечать следующим основным требованиям [6]:

- 1) быть эффективными;
- 2) обеспечивать технологичность устройства защитных сооружений и их эксплуатации;
- 3) быть долговечными;
- 4) быть надежными.

При рассмотрении эффективности противооползневых мероприятий следует учитывать, как техническую, так и экономическую сторону. При оценке технической эффективности стабилизации процесса оползнеобразования рассматривается вероятность обеспечения устойчивости склона при реализации предлагаемого мероприятия. С другой стороны, кроме технической

эффективности необходимо принимать в расчет и экономическую целесообразность реализации того или иного мероприятия. Так как оползневые деформации протекают, как правило, в результате действия нескольких причин и в различных условиях, основные меры по его локализации должны носить комплексный характер.

Среди многочисленных мер по предотвращению нарушения устойчивости склонов в результате проявления оползневого процесса выделяются активные и пассивные [6]. К активным мерам относятся такие, которые направлены на устранение основных причин, вызывающих процессы оползания. Это, в первую очередь, всевозможные сооружения для осуществления дренирования подземных вод оползневых массивов. Важнейшим мероприятием по защите оползневых склонов от проникновения в них вод атмосферных осадков является регулирование поверхностного стока. При этом используют микропланировку поверхности, устройство вдоль бровки откоса нагорных каналов, сооружение на откосе сети из боковых и магистральных каналов. На рис. 4.10 показан пример реализации такого рода мероприятий в районе Шапа.



Рис. 4.10. Системы поверхностного водоотвода в районе Шапа (2013г.) [53].

В качестве пассивных противооползневых мероприятий, направленных на изменение условий проявления оползневого процесса, используется, например,

механическое удержание земляных масс в равновесии. Устойчивость склона также можно увеличить, сооружением подпорных стенок. Подпорные стенки следует располагать в массиве пород, который не подвержен смещению, т.е. глубже возможной плоскости скольжения. Для уменьшения давления на подпорную стенку за ней устраивают застенный дренаж с выпуском грунтовой воды через стенку по дренажной трубе (рис. 4.11). Подпорные стенки строят из бетона и железобетона. Хорошим решением может быть устройство подпорной стенки из сухой кладки, дренирующей грунтовой массив. В последнее время в конструкциях подпорных стенок широко используют габионы (рис. 4.12-4.13).



Рис. 4.11. Бетонная подпорная стенка в районе Шапа (2013 г.) [53].



Рис. 4.12. Габрионная подпорная стенка в районе Батсат (2013 г.) [53].



Рис. 4.13. Габрионная подпорная стенка в районе Шапа (2013 г.) [53].

Также для минимизации негативных последствий в оползневой зоне устанавливают специальный режим, регламентирующий правила производства любой хозяйственной деятельности, в том числе эксплуатации различных сооружений (рис. 4.14).



Рис. 4.14. Доска с текстом предупреждения в районе Батсат («Осторожно, возможен сход оползней») (2013 г.) [53].

На рис. 4.15 приведен пример реализации комплексных противооползневых мероприятий (согласно утвержденному проекту противооползневых мероприятий общей стоимостью более 30 млрд Вьетнамских донг (1.315.789 долл.)) на участке автодороги Нойбай – Лаокай (км.244 – км. 262). С 2012 г. оползневые смещения происходили здесь шесть раз, а общий объем оползневых масс составил более 100 000 м³. В результате было разрушено 400м дорожного полотна.



Рис 4.15. Реализация комплексных противооползневых мероприятий (террасирование склона, строительство подпорных стенок, создание дренажной системы) на участке автодороги Нойбай – Лаокай (2016 г.) [166].

Выводы

Строительство объектов в горной местности сопровождается непременными подрезками оползнеопасных склонов, устройством дополнительных дорог и площадок для подъезда техники и размещения оборудования, что способствует формированию и активизации склоновых процессов, к которым относятся оползни. Для обеспечения безопасности строительства и функционирования объектов на оползнеопасных территориях требуется устройство мероприятий инженерной защиты, важнейшим этапом разработки которых является анализ рисков. Данный подход позволяет как минимизировать возможные экономические потери от оползневых процессов, так и оптимизировать комплекс создаваемой противооползневой защиты. Одним из важнейших элементов риск анализа является оценка ущерба от негативного воздействия. Закладываемый в проектирование объектов инженерной защиты принцип целесообразности основан на том, что ее стоимость не должна превышать возможный ущерб. Выполненный в главе обзор ущерба от оползневых процессов в провинции Лаокай может быть в дальнейшем использован для принятия обоснованных управленческих и административных решений по минимизации оползневых рисков на основе (технического, экономического) проектирования и реализации мероприятий по инженерной защите рассматриваемой территории.

ГЛАВА 5. ОЦЕНКА РИСКА ОТ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ РАЙОНА СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ЛАОКАЙ

В контексте возрастающих признаков и последствий изменения климата стихийные бедствия происходят все чаще и чаще. В связи с этим, управление рисками стихийных бедствий становится все более актуальным. Оценка рисков физического, социального и экономического ущерба, вызванного стихийными бедствиями, является частью управления рисками, с тем, чтобы руководители могли принимать соответствующие решения для снижения риска стихийных бедствий. Оценка риска от оползневых процессов достаточно сложна по своей природе в сравнении с другими природными угрозами такими как, например, наводнения или землетрясения. Это связано с тем, что хотя оползневая опасность имеет площадной характер, экстенсивность оползневых процессов крайне неоднородна и сложно предсказуема. Этот факт определяет трудности, как в моделировании оползневой опасности, так и в оценке уязвимости элементов риска. В этой главе обобщены результаты оценки риска ожидаемого физического, социального и экономического ущерба, вызванного возможностью развития оползней в районе северо-западный Лаокай. В развитие существующих методик оценок региональной риска от оползневой опасности, авторами статьи был разработан подход, базирующийся на методе количественной оценки на основе анализа ущерба и потерь (АУП), позволяющий избавиться от субъективности экспертных оценок. Предложенный подход характеризуется системностью и включает вероятностную оценку оползневой опасности в сочетании с анализом уязвимости техногенных объектов и уровнем возможных социальных потерь. Наконец, реализация предложенной методики включает в себя оценку точности (в терминах оценки правдоподобия) получаемых результатов.

Анализ и оценка риска от стихийных бедствий (далее - оценка риска) является составной частью его управления. Оценка риска заключается в систематическом использовании всей доступной информации для идентификации

природных опасностей и оценки вероятности возможных нежелательных событий. Полученные результаты используются при перспективном территориальном планировании развития территорий и осуществлении мероприятий по снижению риска стихийных бедствий (методика Зеркаля О.В. [31, 32]).

Основными препятствия в надежной оценке риска от оползневых процессов являются: отсутствие точных данных по проявлениям оползней; многофакторность оползневого процесса, сложности в пространственной оценке оползневой опасности, разнородность реципиентов оползневого риска и гетерогенность их уязвимости, изменчивость степени уязвимости во времени [172].

5.1. Основные понятия и определения

Основополагающим в риск-анализе, является собственно термин «риск», под которым понимается “вероятность пагубных последствий, или ожидаемых потерь (человеческих жизней, собственности и средств к существованию, деловой активности, ущерб окружающей среде) в результате взаимодействия между естественными или антропогенными опасностями, условиями уязвимости и способностью реагировать или справляться с последствиями” [170]. Другим определением «риска» является его трактовка как «комбинации/сочетания вероятности случая и его отрицательных последствий» [183]. В законодательных документах Российской Федерации (ст. 2 Федерального закона «О техническом регулировании») риск определен как «вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда».

В терминах математической статистики риск - это мера опасности, которая фактически определяется как математическое ожидание ущерба.

Международным Обществом по механике грунтов и геотехнике (ISSMGE), совместно с техническим комитетом по оценке и управлению рисками (TC32), на основе IUGS (1997), ICOLD (2003), и национальных стандартов таких как: British

Standard BS 8444, Australia-New Zealand Standard AS/NZS 4360, and Canadian Standard CAN/CSA-Q 634-91 было предложено следующее определение [156]:

Риск (risk) - совокупная мера вероятности и ущерба от проявления опасного геологического процесса (ОГП), оказывающего воздействие на людей, инженерные сооружения и природную среду. Количественно риск оценивается выражением «Риск = Опасность x Потенциальный ущерб».

Существует более детальное количественное определение риска [172]:

Риск = опасность × уязвимость × элементы риска (5.1)

Это уравнение включает:

- вероятность возникновения угрозы (опасность, например, вероятность активизации оползня заданной величины);
- уязвимость объектов в зоне поражения;
- ущерб в результате реализации угрозы, равный числу людей или стоимости объектов (элементов риска) в зоне поражения;

Краеугольными в вышеизложенной формулировке риска являются определения терминов «опасность» и «уязвимость».

В настоящее время существуют два принципиально разных подхода к определению опасности [170]:

- потенциально разрушительное событие, физическое явление и/или деятельность человека, которая может вызвать потерю жизни или ранение людей, материальный ущерб, социально-экономические разрушения или деградацию окружающей среды.

- вероятность реализации угрозы;

Первый подход определяет опасность как потенциальный источник (физический процесс или воздействие) возникновения ущерба. При этом термин опасность становится синонимом угрозы, под которой, согласно [156] понимается - природное явление (существующее, например, глубинная ползучесть грунтов, или потенциально возможное, такое как обвал), которое может причинить ущерб. Угроза может быть описана в категориях геометрических и физических характеристик, которые могут быть изучены,

например, в процессе инженерных изысканий. Следует заметить, что понятие угрозы не предполагает никаких прогнозов.

Глоссарий UN ISDR по снижению риска стихийных бедствий использует именно это толкование термина «опасность» [183].

Этот подход нашел свое отражение и в российских нормативных документах.

Согласно ОДМ 218.2.030-2013 «Методические рекомендации по оценке оползневой опасности на автомобильных дорогах», оползневая опасность - это угроза развития оползневого процесса, способного причинить ущерб здоровью людей, объектам дорожного хозяйства.

Согласно «Рекомендаций по оценке геологического риска на территории г. Москвы» [103], опасность – это процесс, свойство или состояние природы, общества или техники, представляющие угрозу для жизни или благосостояния людей, объектов экономики или окружающей среды.

Аналогичный взгляд на опасность используется в СНиП 22-01-95 «Геофизика опасных природных воздействий».

Второй подход определяет оползневую опасность как вероятность активизации опасного процесса заданной величины, в заранее определенный период времени и в определенном месте. Это определение включает в себя понятия пространственного положения, величины или интенсивности и повторяемости [156]. При таком взгляде на опасность, она не является синонимом угрозы, а представляет собой вариант прогноза развития оползней.

Не менее важным понятием является «уязвимость». Обзор литературы [159] свидетельствует об отсутствии естественнонаучных подходов к проблеме уязвимости при исследованиях риска от воздействия оползней. Существующие подходы к оценке уязвимости были заимствованы из технических исследований.

В рамках Глоссария UN ISDR по снижению риска стихийных бедствий термин «уязвимость» рассматривается как «характеристика и особенности общества, системы или материального актива, которые делают их восприимчивыми к разрушительному воздействию опасности» [183].

Согласно [156] уязвимость – уровень ущерба для элемента или группы элементов риска в зоне реализации угрозы. Измеряется по шкале от 0 (отсутствие ущерба) до 1 (абсолютный ущерб). Под элементами риска понимаются люди, здания, инфраструктура, природная среда, подверженная опасному природному процессу (ОПП) на рассматриваемой территории.

Собственно термин «оценка риска» трактуется как "общий процесс анализа риска и его оценивания". Глоссарий UN ISDR по снижению риска стихийных бедствий дает более развернутое определение термина «оценка риска», под которым подразумевается "методология определения природы и степени риска на основе анализа потенциальных опасностей и оценки существующих условий уязвимости, сочетание которых потенциально может привести к ущербу здоровья людей, потерям собственности, услуг, средств к существованию и ущербу окружающей среде" [183].

Управление риском включает четыре главных элемента (рис. 5.1):

(i) Идентификация и оценка опасности – характеристика природных условий, анализ вероятности реализации опасности, ее характеристики;

(ii) Оценка уязвимости – анализ потенциальных последствий реализации опасности и уязвимости территорий и объектов, в т.ч. на основе совместного анализа ретроспективных данных и прогнозируемой оценки опасности;

(iii) Количественная оценка риска – анализ уровня и степени риска в количественной форме, позволяющей делать выводы о приемлемости/неприемливости риска;

(iv) Контроль риска – включает определение основных действий по снижению или предотвращению риска стихийных бедствий, в т.ч. организацию и ведение мониторинга.

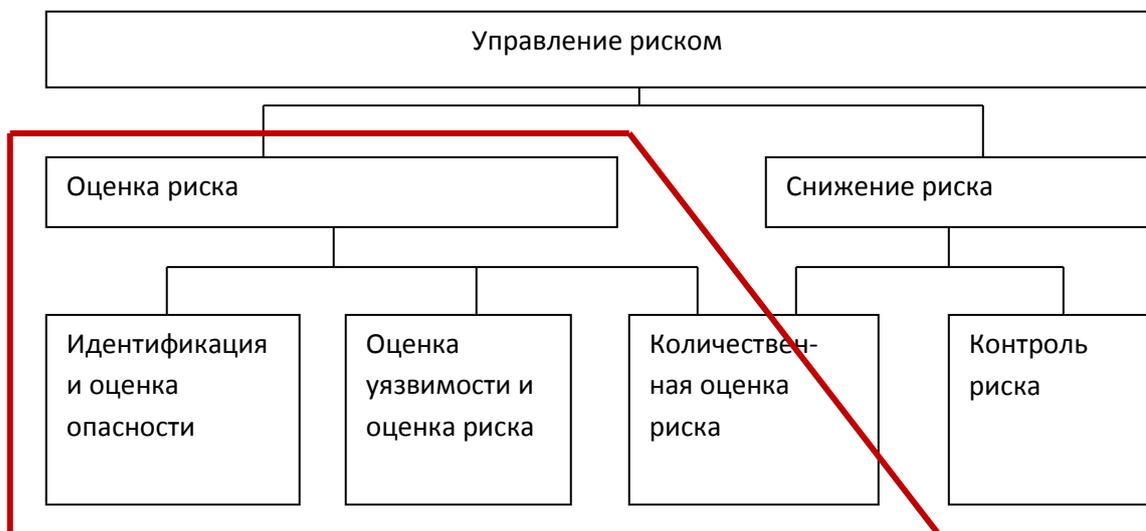


Рис 5.1. Структура менеджмента риска и место (красная рамка) работ по оценке риска стихийных бедствий в ее составе (приведено по [Harris&Herbert, 1994] с добавлениями).

5.2. Оцениваемые виды риска

Различают следующие виды риска:

- *физический риск* – оценка проводится в физическом выражении, в количестве объектов-реципиентов риска, которым потенциально может быть нанесен ущерб при стихийном бедствии (например, количество домохозяйств, зданий и т.д.) в течение заданного промежутка времени;
- *экономический риск* – оценка проводится в денежном выражении (например, в долларах США и др.) потенциального ущерба при стихийном бедствии в течение заданного промежутка времени или в процентном выражении доли потенциального ущерба от общей стоимости объектов-реципиентов риска (в случае, когда определение в денежном выражении невозможно в связи с отсутствием сведений о стоимости единичного объекта-реципиента риска);
- *социальный риск* – оценка проводится в количестве человек, которые потенциально могут погибнуть/пострадать в результате чрезвычайной ситуации в течение заданного промежутка времени.

Важным элементом в риск-анализе является понятие удельного риска, под которым понимается *риск* – (физический или экономический), приведенный к единице площади.

В рамках представленной работы определялся именно удельный риск.

5.3. Методика исследований

При наиболее общем подходе, методы региональной оценки рисков можно разделить на два основных класса: качественные и количественные. При рассмотрении качественных методов, следует иметь в виду, что имеется принципиальная возможность перевода всей качественной информации в количественную форму. Существуют три основных способа количественного представления геологической информации: а) балльные оценки; б) булевы переменные; в) численное выражение [92].

При оценке рисков от оползневых процессов был использован метод количественной оценки на основе анализа ущерба и потерь (АУП), который ориентирован, в первую очередь, на определение экономического ущерба от оползневого процесса и риска возможных социальных потерь. Рассматриваемый подход отличается системностью и включает вероятностную оценку оползневой опасности при совместном анализе условий потенциального развития оползневой опасности и анализе уязвимости техногенных объектов и уровнем возможных социальных потерь [32].

5.4. Оценка интенсивности оползневых процессов

Оценка интенсивности оползневых процессов была выполнена на основе районирования территории по оползневой опасности.

Региональная оценка оползневой опасности была проведена на основе деления изучаемой территории на группы участков (зон), отличающихся между собой по природным условиям формирования оползней, а также по интенсивности и характеру влияния инженерно-хозяйственной деятельности. При этом в обязательном порядке учитывались: основные литолого-генетические комплексы пород, слагающие склоны; крутизна склонов, интенсивность основных природных оползнеобразующих факторов и др.

В качестве метода оценки оползневой опасности на исследуемой территории был использован модифицированный метод анализа иерархий [66].

Результаты оценки оползневой опасности способом взвешенных сумм представлены на рис. 5.2, взвешенных произведений на рис. 5.3.

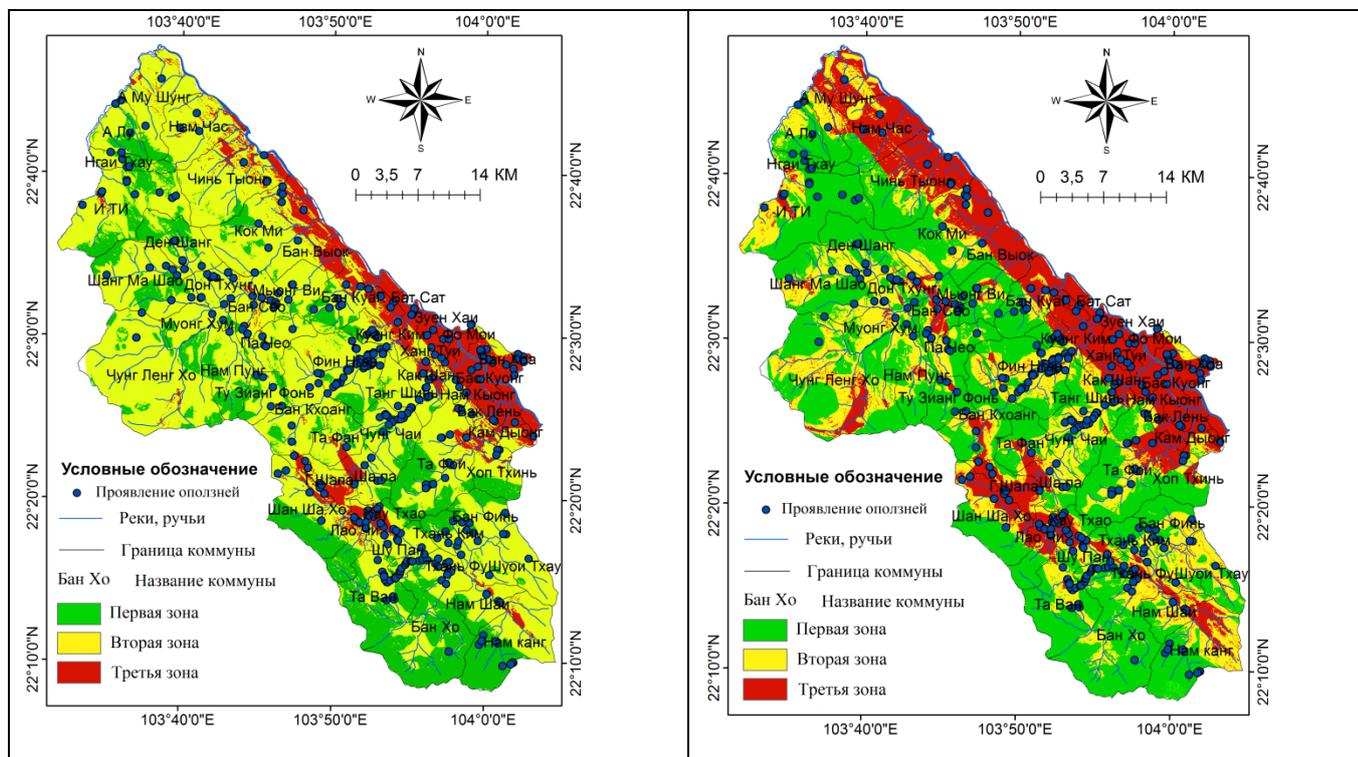


Рис. 5.2. Карта районирования оползневой опасности на основе способа взвешенных сумм.

Рис. 5.3. Карта районирования оползневой опасности на основе способа взвешенных произведений.

Анализ полученных карт районирования показал, что наиболее высокая оползневая опасность характерна для восточных участков исследуемой территории, включая коммуны Бат Сат, Бан Куа, Бан Вьюк, Чинь Тьонг, Лао Чи и городские округа Лаокай и Шапа. В геологическом отношении зона высокой оползневой опасности приурочена к массивам грунтов, сложенных глинистыми сланцами, песчаниками и алевролитами, находящимися в зоне влияния активных разломов. Основными факторами активизации оползневого процесса в рассматриваемой зоне являются низкие прочностные свойства грунтов, слагающих склоновые массивы, их нарушенность разрывными нарушениями, а также высокая энергия рельефа.

Низкая оползневая опасность характерна для западных районов, включая коммуны А Лу, Нгаи Тхау, Та Ван, Бан Хо, Нам Канг. В геологическом отношении зона низкой оползневой опасности приурочена к массивам грунтов, сложенных прочными интрузивными породами.

Визуальное сравнение карт районирования оползневой опасности, построенных различными способами, показывает большую «контрастность» карты, созданной на основе взвешенных произведений.

Оценка надежности карт оползневой опасности, на основе отношения правдоподобия.

С 2005 г. по 2015 г. в районе исследований в процессе полевых исследований было идентифицировано проявление 641 оползня.

Отношение правдоподобия (ОП) позволяет оценивать неизвестные параметры, основанные на известных результатах. В рамках рассматриваемой проблемы, на основе известного распределения оползней выполним оценку интегрированного показателя восприимчивости территории к оползневому процессу или, иными словами, оценим адекватность выделенных зон при районировании оползневой опасности. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$ОП = \frac{\% \text{ оползней}}{\% \text{ площади}} \quad (5.4)$$

Согласно [177] случай, когда ОП больше 1, означает высокую вероятность нахождения оползня на рассматриваемом участке территории и наоборот, если это отношение меньше 1, то вероятность нахождения оползня низкая. Результаты оценки ОП, для полученных при оценке оползневой опасности зон, приведены на рис. 5.5, а так же в таблице 5.1; 5.2.

Таблица 5.1.

Оценка отношения правдоподобия (на основе способа взвешенных сумм).

Год	Зона оползневой опасности	Площадь зоны	Количество оползней	% оползней	% площади	ОП
2005	Первая	416	10	6,67	21,33	0,31
	Вторая	1306	87	58	69,74	0,83
	Третья	228	53	35,33	8,93	3,96
	Сумм	1950	150	100	100	
От 2005 до 2013	Первая	416	22	7,3	21,33	0,34
	Вторая	1306	200	66,45	69,74	0,95
	Третья	228	79	26,25	8,93	2,94
	Сумм	1950	301	100	100	
От 2005 до 2015	Первая	416	58	9,05	21,33	0,42
	Вторая	1306	431	67,24	69,74	0,96
	Третья	228	152	23,71	8,93	2,66
	Сумм	1950	641	100	100	

Таблица 5.2.

Оценка отношения правдоподобия (на основе способа взвешенных произведений).

Год	Зона оползневой опасности	Площадь зоны	Количество оползней	% оползней	% площади	ОП
2005	Первая	871	47	31,33	44,67	0,70
	Вторая	583	51	34,00	29,9	1,14
	Третья	496	52	34,67	25,43	1,36
	Сумм	1950	150	100	100	
От 2005	Первая	871	89	29,47	44,67	0,66

до 2013	Вторая	583	104	34,44	29,9	1,15
	Третья	496	109	36,09	25,43	1,42
	Сумм	1950	301	100	100	
От 2005	Первая	871	170	26,48	44,67	0,59
до 2015	Вторая	583	237	36,92	29,9	1,23
	Третья	496	235	36,60	25,43	1,44
	Сумм	1950	641	100	100	

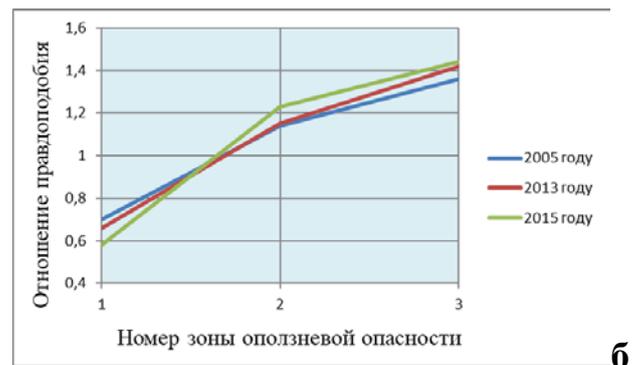
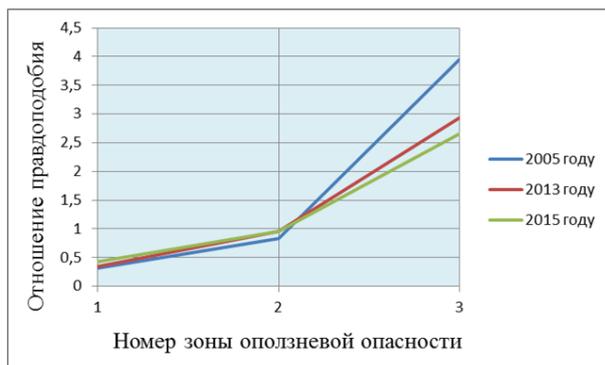


Рис. 5.5. Отношение правдоподобия для выделенных зон оползневой опасности: а) на основе способа взвешенных сумм;
б) на основе способа взвешенных произведений

Как видно из рисунка 5.5, ОП имеет значение больше 1 в зонах с высокой и средней оползневой опасностью и составляет меньше 1 для зоны с низкой оползневой опасностью. Выполненное районирование оползневой опасности достаточно правдоподобно характеризует рассматриваемую территорию. Однако, анализ результатов районирования, полученных с использованием различных подходов (способа взвешенных сумм и способа взвешенных произведений) показал, что способ взвешенных произведений позволяет получить более равномерное распределение зон с различной оползневой опасностью по площади исследуемой территории.

Учитывая большую объективность информации по оползневой опасности территории, полученной способом взвешенных произведений оценка интенсивности оползневого процесса (количество оползней за 1 год на 1 км²)

была выполнена на основе карты оползневой опасности, полученной с использованием предложенного подхода (табл. 5.3).

Таблица 5.3.

**Оценка интенсивности оползневого процесса на основе
способа взвешенных произведений**

Зона оползневой опасности	Площадь зоны (КМ ²)	Количество накопленный оползней в 10 лет (от 2005 до 2015 году)	Интенсивность оползневой опасности, кол-во оп/км ² в год
Первая	871	170	17
Вторая	583	237	24
Третья	496	235	24

5.5. Оценка уязвимости и ущерба от оползневого процесса

Оценка уязвимости для природных опасностей выполняется по результатам прогнозирования их интенсивности для рассматриваемых территорий сельскохозяйственного, специального или иного назначения (далее территории), отдельных населенных пунктов, групп зданий и сооружений в их пределах, объектов инженерной, транспортной и социальной инфраструктуры (далее сооружений), незастроенных территорий общественно-делового, производственного, рекреационного назначения, а также для населения, относительно постоянно или периодически находящегося в пределах перечисленных выше объектов-реципиентов риска [32].

Для оценки рисков от оползневого процесса был использован подход, предложенный А.Л.Рагозиным, и, в дальнейшем, вошедший в Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы [103]. Риск, вызванный негативным событием А, можно определить по выражению (5.5):

$$R(A) = P(A) * P_s(A) * V(A) \quad (5.5)$$

где R (А) - риск, вызванный негативным событием А; P(А) — повторяемость опасности А в пределах определенной по площади территории, численно равная

ее статистической вероятности (случаев/год); $P_s(A)$ - вероятность поражения оцениваемого объекта опасностью A ; $V(A)$ - уязвимость оцениваемого объекта для опасности A .

В большинстве случаев при региональной оценке рисков от оползневых процессов, величины $P_s(A)$ и $V(A)$ оценить достаточно сложно. По этой причине, предпочтительней пользоваться следующей формой выражения (5.6):

$$R(A) = P_s(A) * W(A) \quad (5.6)$$

где $W(A) = P_s(A) * V(A)$ - возможный ущерб от опасности A .

За 40-летний период (с 1965 по 2006 г.) в результате развития оползней на территории северо-западной части провинции Лаокай погибло более 150 человек и было разрушено свыше 360 домохозяйств [69]).

Наиболее полные данные по ущербу от оползневых процессов для исследуемой территории были получены в 2004 году (таблица 5.4) [69]. По этой причине для оценки рисков от оползневых процессов были использованы данные за этот период.

Таблица 5.4.

Ущерб, причиненный оползнями в 2004 году

Номер* участка	Дата	Кол-во разрушенных зданий	Ущерб от разрушения дорожной сети	Ущерб от разрушения с/х угодий	Социальные потери	Экономический ущерб (\$ US)
1	15.05.2004		100 метров			21193
2	2004	3 дома			7 чел.	9211
3	13.09.2004	4 дома			23 чел.	12280
4	2004	1 дома				3809
5	20.11.2004				2 чел.	
6	2004			0,7 га		1316

*Нумерация участков приведена в соответствии с рис. 5.6

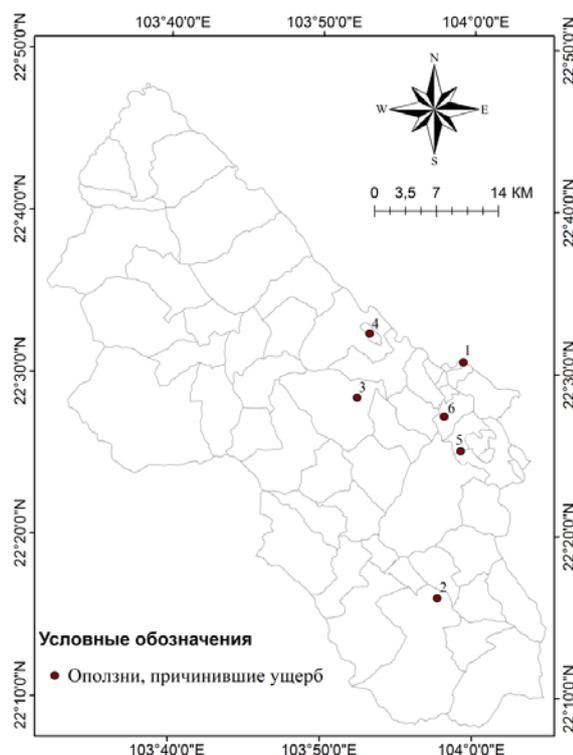


Рис. 5.6. Карта активизации оползневых процессов, ставших причиной нанесения ущерба в 2004 году.

5.6. Оценка риска от оползневого процесса

Для оценки риска от оползневого процесса были использованы следующая информация:

- Интенсивность развития оползневых процессов.
- Реципиенты риска (например, общее количество зданий).
- Ущерб (количество разрушенных зданий).

Расчет был выполнен на основе формулы (5.6). Результаты оценки физического риска представлены в таблицах 5.5; 5.6; 5.7 и 5.8 экономического риска в таблице 5.9, социального риска в таблице 5.10.

Таблица 5.5.

Оценка риска от оползневых процессов для зданий

Зона оползневой опасности	Интенсивность, кол-во оп/км ² в год	Количество разрушенных зданий	Общее количество зданий	Площадь	Риск
низкая	17	0	4408	871	0

средняя	24	4	4077	583	$4,04 \cdot 10^{-5}$
высокая	24	4	24853	496	$7,79 \cdot 10^{-6}$
СУММА		8	33338	1950	

Таблица 5. 6.

Оценка риска от оползневых процессов для дорог

Зона оползневой опасности	Интенсивность, кол-во оп/км ² в год	Протяженность разрушенных дорог	Общее количество дорог	Площадь	Риск
низкая	17	0	361	871	0
средняя	24	0,1	305	583	$1,35 \cdot 10^{-5}$
высокая	24	0	693	496	0
СУММА		0,1	1359	1950	

Таблица 5.7.

Оценка риска от оползневых процессов для с/х угодий

Зона оползневой опасности	Интенсивность, кол-во оп/км ² в год	Площадь выведенных из оборота с/х угодий	Общее количество с/х угодий	Площадь	Риск
низкая	17	0	146	871	0
средняя	24	0	251	583	0
высокая	24	0,7	127	496	$2,67 \cdot 10^{-4}$
СУММА		0,7	524	1950	

Оценка полного физического риска осуществлялась по формуле:

$$R_{\text{полный}}(A) = R_{\text{зданий}}(A) + R_{\text{дорог}}(A) + R_{\text{с/х}}(A) \quad (5.7)$$

Таблица 5.8.

Оценка полного физического риска от оползневых процессов

Зона оползневой опасности	Риск от оползневых процессов для зданий	Риск от оползневых процессов для дорог	Риск от оползневых процессов для с/х угодий	Полный удельный физический риск
низкая	0	0	0	0
средняя	$4,04 \cdot 10^{-5}$	$1,35 \cdot 10^{-5}$	0	$5,39 \cdot 10^{-5}$
высокая	$7,79 \cdot 10^{-6}$	0	$2,67 \cdot 10^{-4}$	$2,75 \cdot 10^{-4}$

Таблица 5.9.

Оценка экономического риска от оползневых процессов

Зона оползневой опасности	Интенсивность	Экономический ущерб	Общее количество долл. США	Площадь	Риск
низкая	17	0	22760020	871	0
средняя	24	33473	27436570	583	$5,02 \cdot 10^{-5}$
высокая	24	14336	229682404	496	$3,02 \cdot 10^{-6}$
СУММА		47809	279.878.994	1950	

Таблица 5.10.

Оценка социального риска от оползневых процессов

Зона оползневой опасности	Интенсивность	Число погибших и пострадавших	Общее количество люди	Площадь	Риск
низкая	17	0	20254	871	0
средняя	24	23	18749	583	$5,05 \cdot 10^{-5}$
высокая	24	9	114200	496	$3,81 \cdot 10^{-6}$
СУММА		32	153203	1950	

Определение уровня риска от оползневых процессов

В данном исследовании, уровни риска от оползневых процессов были определены на основе анализа распределения R (рис. 5.7) с использованием классификации по методу естественных границ.

В результате для метода АУП были определены следующие зоны:

- первая зона: $R = 0 - 3 \cdot 10^{-6}$; характеризуется низкой риска от оползневых процессов;
- вторая зона: $R = 3 \cdot 10^{-6} - 5,5 \cdot 10^{-5}$; характеризуется умеренной риска от оползневых процессов;
- третья зона: $R > 5,5 \cdot 10^{-5}$; характеризуется высокой риска от оползневых процессов.

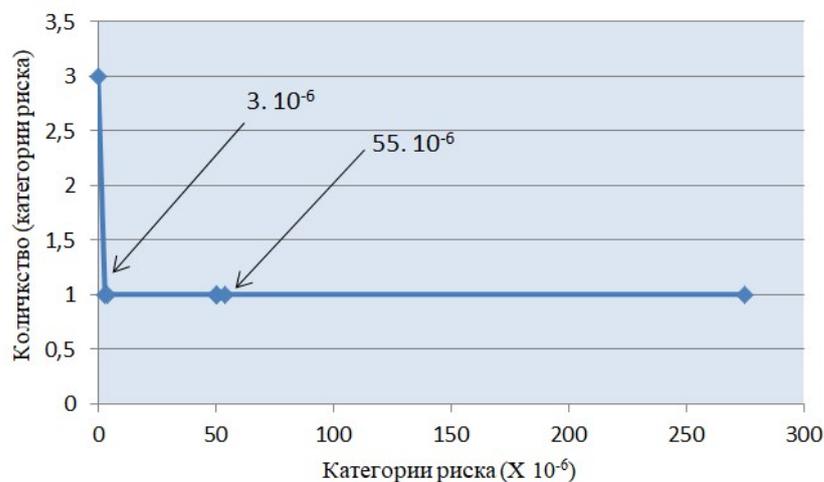


Рис. 5.7. График распределения категории риска

Таблица 5.11.

Матрица риска и зона оползневой опасности

Зона оползневой опасности	Степень риска		
	Полный физический	Экономический	Социальный
Первая	низкий	низкий	низкий
Вторая	средний	высокий	высокий
Третья	высокий	средний	средний

5.7. Оценка надежности риска, на основе отношения правдоподобия

Отношение правдоподобия (ОП) позволяет оценивать неизвестные параметры, неявно учитываемые при анализе известных результатов. В рамках рассматриваемой проблемы, на основе известного распределения ущерба и выполненной оценки риска от оползневых процессов была проведена верификация выделенных зон при районировании риска. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$\text{ОП} = \frac{\% \text{ ущерба}}{\% \text{ площади}} \quad (5.8)$$

Результаты оценки ОП приведены на рис. 5.8, а так же в таблице 5.12.

Таблица 5.12.

Оценка отношения правдоподобия

Риск	Зона оползневой опасности	Площадь зоны	Количество ущерба	% ущерба	% площади	ОП	Степень риска
Физический	Первая	416	0	0	44,67	0	низкий
	Вторая	1306	4,1	46,6	29,9	1,6	средний
	Третья	228	4,7	53,4	25,43	2,1	высокий
	Сумм	1950	8,8	100	100		
Социальный	Первая	416	0	0	44,67	0	низкий
	Вторая	1306	23	71,9	29,9	2,4	высокий
	Третья	228	9	28,1	25,43	1,1	средний
	Сумм	1950	32	100	100		
Экономический	Первая	416	0	0	44,67	0	низкий
	Вторая	1306	33473	70	29,9	2,34	высокий
	Третья	228	14336	30	25,43	1,18	средний
	Сумм	1950	47809	100	100		

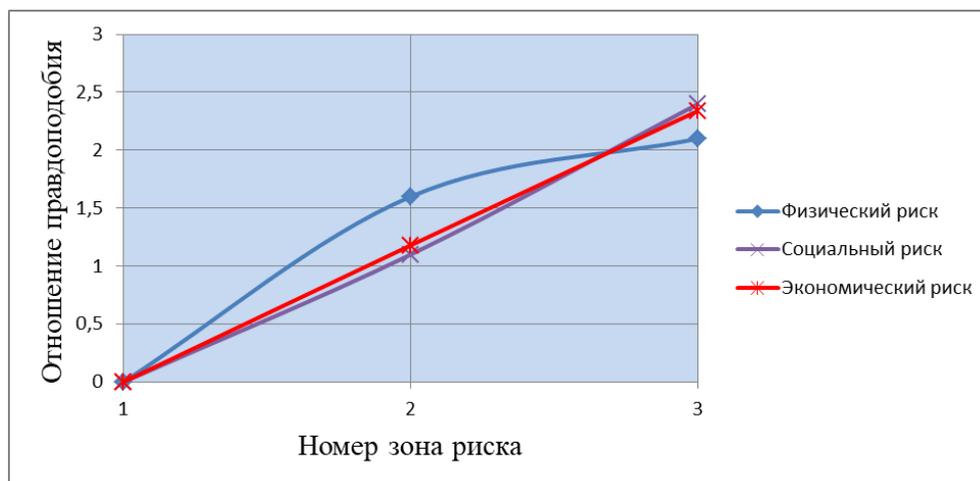


Рис 5.8. Отношение правдоподобия для риска от оползневой опасности

Случай, когда ОП больше 1, означает высокую вероятность причинения ущерба при активизации оползневых процессов, и наоборот, если это ОП меньше 1, то вероятность нанесения ущерба низкая. Из представленной таблицы видно, что для территорий с высокой степенью риска от развития оползней полученные значения ОП существенно выше 1. Для территорий со средней степенью риска от развития оползней полученные значения ОП колеблются от 1,1 до 1,6, в то время как для территорий с низкой степенью риска от развития оползней значения ОП имеют нулевые значения.

Выводы:

В результате проведенных исследований была выполнена региональная оценка риска от оползневых процессов района северо-западный Лаокай, с использованием метода анализа ущерба и потерь (АУП).

Основные результаты и выводы заключаются в следующем:

- Метод АУП, позволяет исключить из анализа субъективность экспертных оценок при оценке риска от оползневых процессов территорий;
- Верификация полученных результатов на основе оценки отношения правдоподобия показала надежность полученных результатов.

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 определений, классификаций, представлений о причинах, факторах и критериях процесса, механизмах его развития.

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.

Исследование оползнеобразующих факторов и выявление взаимосвязей между ними дает возможность построить модель оценки оползневой опасности. Основными параметрами оползневого процесса, определяющими активизацию оползней региона северо-западной Лаокай являются:

- 1) крутизна склонов;
- 2) горизонтальное расчленение рельефа;
- 3) вертикальное расчленение рельефа;
- 4) литологические разности грунтов;
- 5) гидрогеологические условия;
- 6) расстояние от активных разломов;
- 7) количество осадков;
- 8) тип растительности.

В результате исследования была выполнена региональная оценка оползневой опасности района северо-западный Лаокай, с использованием модифицированного метода анализа иерархий (МАИ).

- Предложенная модификация МАИ, позволяет избавиться от субъективности экспертных оценок при оценке региональной оползневой опасности территорий;

- Выполненное районирование позволило разделить территорию исследования на зоны с различной степенью оползневой опасности, при этом выявлено, что самой высокой оползневой опасностью обладают склоны, сложенные тектонически нарушенными глинистыми сланцами, песчаниками и алевролитами, самой низкой – ненарушенными интрузивными породами;

- Оценка отношения правдоподобия показала надежность полученных результатов;

- Анализ результатов районирования, полученных с использованием различных подходов (способа взвешенных сумм и способа взвешенных произведений) показал, что способ взвешенных произведений позволяет получить более равномерное распределение зон с различной оползневой опасностью по площади исследуемой территории;

При внедрении МАИ в практику инженерно-геологических исследований необходимо учитывать следующие моменты:

- Данный метод не учитывает специфические условия отдельных оползневых участков, например процесс подготовки и зарождения оползня рассматривается исходя из статистических данных, а не на основе инженерно-геологической информации.

- Принципиальным допущением является предположение о том, что будущие активизации оползневого процесса вероятнее всего произойдут при условиях, которые стали причиной потери устойчивости склонов в прошлом и настоящем, хотя факторы, инициирующие оползни, могут со временем изменяться и главным образом это связано с техногенным воздействием;

- Некоторые факторы оползнеобразования могут не являться независимыми друг от друга, и поэтому существует возможность их автокорреляции или “двойного учета”.

Однако, основным выводом является признание эффективности использования МАИ при районировании территорий, подверженных воздействию оползневого процесса, а полученные данные по оползневой опасности не только

можно, но и необходимо учитывать при планировании хозяйственного освоения территории.

Строительство объектов в горной местности сопровождается непременными подрезками оползнеопасных склонов, устройством дополнительных дорог и площадок для подъезда техники и размещения оборудования, что способствует формированию и активизации склоновых процессов, к которым относятся оползни. Для обеспечения безопасности строительства и функционирования объектов на оползнеопасных территориях требуется устройство мероприятий инженерной защиты, важнейшим этапом разработки которых является анализ рисков. Данный подход позволяет как минимизировать возможные экономические потери от оползневых процессов, так и оптимизировать комплекс создаваемой противооползневой защиты. Одним из важнейших элементов рисканализа является оценка ущерба от негативного воздействия. Закладываемый в проектирование объектов инженерной защиты принцип целесообразности основан на том, что ее стоимость не должна превышать возможный ущерб. Выполненный в главе обзор ущерба от оползневых процессов в провинции Лаокай может быть в дальнейшем использован для принятия обоснованных управленческих и административных решений по минимизации оползневых рисков на основе (технического, экономического) проектирования и реализации мероприятий по инженерной защите рассматриваемой территории.

В результате проведенных исследований была выполнена региональная оценка риска от оползневых процессов района северо-западный Лаокай, с использованием метода анализа ущерба и потерь (АУП).

Основные результаты и выводы заключаются в следующем:

- Метод АУП, позволяет исключить из анализа субъективность экспертных оценок при оценке риска от оползневых процессов территорий;
- Верификация полученных результатов на основе оценки отношения правдоподобия показала надежность полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безуглова Е.В. Оползневая опасность и риск смещений оползней на склонах [Конференция] // дис . . . канд.геол.минер. наук: 25.00.08. - Краснодар : [б.н.], 2005. - стр. 209.
2. Бернацкий Л.Н. Оползни в СССР [Journal] // План. хоз-во.. - 1926. - 5. - pp. 1777-186.
3. Бобрович А.С. Математическое определения запаса устойчивости оползневых объектов [Конференция] // дис . . . канд.геол.минер. наук: 05.13.18. - Ульяновск : МГУ, 2008. - стр. 147.
4. Богданович К.И. Землетрясение 22 декабря 1910 г. в Северных цепях Тянь-Шаня [Статья] // Изд. Геолкома. - 1911 г.. - 189 : Т. XXX.
5. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии [Книга]. - Москва : Недра, 1981. - стр. 256.
6. Бондарик Г.К., Пендин В.В., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика [Книга]. - Москва : КДУ, 2015. - стр. 470.
7. Варнс Д. Движение склонов, типы и процессы. Оползни, исследование и укрепление [Книга]. - Москва : Мир, 1981. - стр. 32-85.
8. Ву К.М. Исследование оползней во Вьетнаме: Отчет о НИР. Ханой: Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, 2000. (На вьетнамском языке).
9. Ву К.М. Отчет о оползнях и сели в провинции Лай Чау: Отчет о НИР. Ханой: Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, 1994. (На вьетнамском языке).
10. Герсеванов Н.М. Теоретические основы механики грунтов и их практическое применение [Book]. - [s.l.] : Стройиздат, 1948.
11. Гольдтман В.Г. Опыты с моделями оползней. К 45-летию науч. деятельности проф. Н.Ф. Погребова [Conference] // ОНТИ. - 1937.
12. Григоренко А.Г., Кюнтцель В.В., Новак В.Е., Тамутис З.П. Инженерная геодинамика: Учеб. Пособие [Book]. - Киев : Лыбидь, 1992.

13. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В. Классификация оползней по механизму их развития [Article] // Вопр. изуч. оползней и факторов, их вызывающих // Тр. ВСЕГИНГЕО. - Москва : [s.n.], 1970. - 29.
14. Гулакян К.А., Кюнтцель В.В., Постоев Г.П. Прогнозирование оползневых процессов [Книга]. - Москва : Недра, 1977. - стр. 135.
15. Данилов М., Петлин А. Крушение поезда на Московско-Курской дороге в ночь на 30 июня 1882 г. [Journal] // Железнодорожное дело. - 1882. - 12. - pp. 110-113.
16. Двойченко И.А. Морфологическая и генетическая классификация оползней и обвалов [Journal] // Вестн. Науч.-исслед. ин-та. водного хоз-ва Украины. - Киев : [s.n.], 1929. - Ч. 2 : Vol. II. - pp. 99-107.
17. Денисов Н.Я. О стадийности деформаций глинистых пород [Journal] // ДАН СССР. - 1947. - 1 : Vol. 56.
18. Довжиков А.Е. и др. Геология северного Вьетнама. Объяснительная записка к геологической карте северного Вьетнама масштаба 1: 500 000 [Книга]. - Ханой : Главное геологическое управление, 1965. - стр. 651.
19. Дранников А.М. Оползни. Типы, причины образования, меры борьбы [Book]. - Киев : Изд-во Укргипросельстроя, 1956.
20. До Т. Прогнозирование воздействия и эволюция геологической среды в водохранилище Сон Ла: Отчет о НИР. Ханой: Государственный проект, 1999. (На вьетнамском языке).
21. До Т., Нгуен С.З., Нгуен С.Н. Большой оползень в водохранилище Сон Ла. Ха Ной: Конференция «Наука и техника - 07», 2000. (На вьетнамском языке).
22. Динь В.Т. Оценка, прогнозирование и предложение некоторых решений для смягчения ущерба от оползневых процессов в районе холма Онг Туонг - город Хоа Бинь: Отчет о НИР. Ханой: Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, 2000. (На вьетнамском языке).
23. Еврейсков В.Е. Борьба с оползнями в приволжских городах [Journal] // Изв. Том. техн. ин-та. - 1929. - III : Vol. 50. - pp. 1-6.

24. Емельянова Е.П. О причинах и факторах оползневых процессов [Article] // Вопр. гидрогеол. и инж. Геол.. - [s.l.] : Госгеолиздат, 1953.
25. Емельянова Е.П. К вопросу о механизме и причинах оползней у Одессы [Conference] // Тез. докл. совещ. по изуч. оползней на Одесском побережье. - Одесса : [s.n.], 1958.
26. Емельянова Е.П. Методическое руководство по стационарному изучению оползней [Article] // Госгеолтехиздат. - 1956. - 14.
27. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов [Книга]. - Москва : Недра, 1972. - стр. 308.
28. Емельянова Е.П. Сравнительный метод оценки устойчивости склонов и прогноза оползней [Книга]. - Москва : Недра, 1971. - стр. 103.
29. Жаринцов Д.Ф. О причинах обвалов обрывистого берега в окрестностях г. Одессы и мерах, которые необходимо принять для предупреждения обрушения берега у Одесского электрического маяка [Journal] // Зап. Рус. геогр. о-ва. - 1886. - 5 : Vol. XV. - pp. 1-37.
30. Заруба К., Менцл В., Инженерная геология [Книга]. - Москва : Мир, 1976. - стр. 468.
31. Зеркаль О.В., 2009. Оценка геологических рисков в практике инженерных изысканий // Инженерные изыскания, 2009, №4, с. 40-43
32. Зеркаль О.В., Шомахмадов А.М., Хусейнов Э. и др., 2011. Руководство по региональной оценке риска стихийных бедствий на территории Республики Таджикистан. – Душанбе, Программа Развития ООН. 57 с.
33. Золотарев Г.С. Генетические типы оползней, их развитие и изучение [Конференция] // Материалы совещания по изучению оползней и мер борьбы с ними. - Киев : [б.н.], 1964. - стр. 165-170.
34. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика [Книга]. - Москва : МГУ, 1983. - стр. 328.
35. Золотарев Г.С. Инженерно-геологическое изучение береговых склонов и значение истории их формирования для оценки устойчивости [Статья] // Труды ЛГГП АН СССР. - 1961 г.. - Т. 35.

36. Зыонг М.Х. Инженерно-геологические условия района Ха Лонг – Кам Фа с точки зрения прогноза оползневой опасности [Журнал] // Геология и разведка. - 2013 г.. - 4.
37. Зыонг М.Х., Фоменко И.К., Пендин В.В. Региональный прогноз оползневой опасности для района Ха Лонг – Кам Фа на северо-востоке Вьетнама / М.Х. Зыонг, И.К. Фоменко, В.В. Пендин // Журнал "Инженерная геология [Журнал] // Инженерная геология. - 2013 г.. - 1. - стр. 46-54.
38. Зыонг М.Х., Фоменко И.К., Пендин В.В. Региональный прогноз оползневой опасности на основе морфометрических критериев рельефа (на примере района Ха Лонг- Кам Фа на северо-востоке Вьетнама) [Журнал] // Разведка и охрана недр. - 2013 г.. - 7. - стр. 43 - 47.
39. Иванов И.П. Классификация оползней [Журнал] // Болгарский журн. геол. об-ва. - 1971 г.. - 3. - стр. 345—347.
40. Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б., Инженерная геодинамика [Книга]. - СПб : Наука, 2001. - стр. 416.
41. Исследование геологических катастроф в некоторых ключевых областях на северо-востоке Северного Вьетнама с целью планирования социально-экономического развития этого региона / Т.Т Ву, К.Т. Ле, Х.Т. Фам, Н. Дам, С.Н. Нгуен, Д.Т. Нгуен, В.Х. Фам. Ханой: Институт геологических наук и минеральных ресурсов Вьетнама, Министерство природных ресурсов и окружающей среды Вьетнама, отчет о НИР, 2007. 294 с. (На вьетнамском языке).
42. Исследование геологических катастроф на основе приложений ГИС / К.Т. Ле, Т.Т. Ву, С.Н. Нгуен, А.В. Хоанг, Т.А. Доан, В.Х. Фам, Д.Т. Нгуен // Горные науки и технологии. Ханой: Горно-геологический университет, 2006. № 16/10. С. 66-74 (На вьетнамском языке).
43. К. Терцаги Механизм оползней [Conference] // Пробл. инж. геол.. - 1958.
44. Калинин Э.В. Инженерно-геологические расчеты и моделирование [Книга]. - Москва : Издательство Московского университета, 2006. - стр. 256.

45. Клевцов И.А. Оползни Северного Кавказа, их типы, условия образования и меры борьбы с ними [Конференция] // Сб. «Оползни и борьба с ними». - Ставрополь : [б.н.], 1964.
46. Кривогуз Д.О. Методы оценки оползневой чувствительности региона . Краткий обзор / Безопасность в техносфере, №3 (май–июнь), 2017, с. 57-60
47. Кучай В.К., Аминов А.У., Скрынников К.Н. К корреляционной методике оползневого прогноза в условиях Центрального Таджикистана [Конференция] // Мат. науч.-техн. совещ. по вопр. методики изуч. и прогноза селей, обвалов и оползней. - Душамбе : [б.н.], 1970. - стр. 154-189.
48. Кузин А.А., 2013. Выделение оползнеопасных территорий на основе методов нейронных сетей. С. 46-51.
49. Кюнтцель В.В. Закономерности оползневого процесса на европейской территории СССР и его региональный прогноз [Книга]. - Москва : Недра, 1980. - стр. 213.
50. Личков, Б.Л. К вопросу о режиме оползневых явлений в районе расположения г. Киева и его окрестностей [Журнал] // Геол. журн. АН УССР. - Киев : [б.н.], 1938 г.. - 4 : Т. 5.
51. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика [Книга]. - Л : Недра, 1977. - стр. 480.
52. Ле В.З. Новые решения проблемы сейсмичности Вьетнама: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2011. 24 с.
53. Ле К.Х. Исследование, оценка, районирование и прогноз оползневой опасности в горах Вьетнама. Ханой: Государственный проект, отчет о НИР, 2015. 254 с. (На вьетнамском языке).
54. Ле Т.Н. Изучение оползней в северных горных провинциях и профилактических мер: Отчет о НИР. Ханой: Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, 2003. (На вьетнамском языке).
55. Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов [Книга]. - Москва : Высшая школа, 1982. - стр. 511.

56. Маслов Н.Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии [Книга]. - Москва : Высш. шк., 1968. - стр. 630.
57. Маслов Н.Н. Прикладная механика грунтов [Book]. - [s.l.] : Машстройиздат, 1948.
58. Материалы совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними [Report]. - Киев : Изд-во Киев. ун-та, 1964. - р. 368.
59. Методы изучения рельефа - признаки развития новейших поднятий, новейших прогибов и разрывных нарушений. [<http://science-konspect.org/?content=2347>].
60. Михеев Б.И. О причинах разрушения зданий на территории грозненских промыслов [Journal] // Строит. Промышленность. - 1930. - 8,9.
61. Мушкетов Д.И. Оползни побережий Черного моря // – 1925. - №1. – 61 с [Journal] // Горн. журн.. - 1925. - 1.
62. Мушкетов Д.И., Погребов Н.Ф. Одесские оползни [Journal] // Изв. Геол. ком.. - 1924. - 8. - pp. 177-184.
63. Мушкетов Д.И., Погребов Н.Ф. Оползни Сочинского района Черноморского побережья [Journal] // Изв. Геол. ком.. - 1924. - 8. - pp. 184-192.
64. Мушкетов Д.И., Погребов Н.Ф. Оползни Южного берега Крыма [Journal] // Изв. Геол. ком.. - 1924. - 8. - pp. 169-177.
65. Непоп Р.К., Агатова А.Р., Сейсмогравитационные дислокации: новые возможности для палеосейсмогеологических и морфогеодинимических исследований [Журнал] // Литосфера. - 2008 г.. - 1. - стр. 65-76.
66. Нгуен Ч.К., Фоменко И.К., Пендин В.В., Нгуен К.Т. Применение метода анализа иерархий при региональной оценке оползневой опасности (на примере района северо-западный Лаокай, Вьетнам). Геоинформатика, №2, 2017. С.53-66.
67. Нгуен Ч.К., Фоменко И.К., Зеркаль О.Б., Пендин В.В. Оползни северного вьетнама и борьба с ними (на примере северо-западной части провинции Лаокай). ГеоРиск, №3, 2017. С. 42-49.

68. Нгуен Ч.И. Изучение и оценка важных экологических инцидентов и предложение мер по предотвращению и смягчению последствий стихийных бедствий для социально-экономического развития в северо-западном регионе: Отчет о НИР. Ханой: Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, 1998. (На вьетнамском языке).
69. Нгуен Т.И. Оценка оползней и селей в некоторых горных районах Вьетнама и рекомендации противооползневых мероприятий. Ханой: Государственный проект, отчет о НИР, 2006. 134 с (На вьетнамском языке).
70. Нгуен Ч.И. Изучение и картирование районов стихийных бедствий во Вьетнаме. Отчет о НИР. Ханой: Государственный проект, 2006. (На вьетнамском языке).
71. Нгуен Н.Т., Нгуен Т.З., Нгуен М.К. Дистанционное зондирование и его использование в графических информационных системах. Ханой: Институт естественных наук, Вьетнамский национальный университет, отчет о НИР, 2003. 423 с. (На вьетнамском языке).
72. Нгуен Т.З., Чан А.Т., Sargo Lee. Отношения между оползнями и тектоническими разломами в северо-западном Вьетнаме от создания оползневого картографирования с использованием технологии ГИС и дистанционного зондирования. Ха Ной: Конференция «Геология - 05», 2006. (На вьетнамском языке).
73. Нгуен К.Х. Установление стратегии охраны окружающей среды в провинции Лаокай до 2010 года: Отчет о НИР. Ханой: Провинциальный проект, 2003. (На вьетнамском языке).
74. Нгуен К.М., Данг В.Б., Чан Т.Х. Разработка диаграммы опасности стихийных бедствий на северо-западе территории с помощью технологии ГИС. Земельные ресурсы, 2007. № 4 (8), с. 1-10. (На вьетнамском языке).
75. Нгуен К.Т. Исследование по созданию системы предупреждения оползней в ключевых районах (район Хоа Бинь): Отчет о НИР. Ханой: Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, 2008. (На вьетнамском языке).

76. Нгуен К.Т. В этом направлении изучался риск оползней в горных районах Северного Вьетнама и решения для предотвращения. Ха Ной: Конференция «оползневой опасность и сель», 2005. (На вьетнамском языке).
77. Нгуен К.Т., Нгуен Ч.К. Инженерная геологическая съемка, установка трубы для измерения горизонтального движения в оползне на мосту Монг Сен - национальная дорога 4Д - Лао Кай. Отчет о НИР. Ханой: Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, 2013. (На вьетнамском языке).
78. Нгуен Д.З. Изучение оползня в городе Сон Ла. Меры профилактики и лечения: Отчет о НИР. Ханой: Институт геологических наук Вьетнамской академии наук и технологий, 1992. (На вьетнамском языке).
79. Нгуен Н.Т. Применять дистанционное зондирование и географическую информационную систему для изучения и прогнозирования стихийных бедствий в провинции Хоа Бинь: Отчет о НИР. Ханой: Государственный проект, 2002. (На вьетнамском языке).
80. Нго Б.Ч., Нгуен Н.Т., Чинь Х.Т. Применение дистанционного зондирования и ГИС для прогнозирования и исследований оползней (например, гидроэлектрический резервуар Son La). Геология и морская геофизика, 1999. №5. С.130-142. (На вьетнамском языке).
81. Нифантов А.П. Оползни, теория и практика их изучения [Статья] // Труды ЦНИГРИ: сб. работ Крым. оползн. станции. - 1935 г.. - 32 : Т. 2. - стр. 1-202.
82. Ог Э. Геология: пер. с франц. / Под ред. и с доп. А.П. Павлова [Book]. - Москва : [s.n.], 1924. - 3-е : Vol. I.
83. Оползни и сели Оползни и сели / Ред. Е.А. Козловский, А.И. Шеко [Book]. - Москва : Центр междунар. проектов ГКНТ, 1984. - Vols. 1,2 : 2.
84. Оползни и устойчивость склонов Библиографический указатель [Report]. - Москва : ЗАО "Геоинформмарк", 2010.
85. Оползни. Исследование и укрепление: пер. с англ. Под ред. Р. Шустера, Р. Кризека [Book]. - Москва : Под ред. Р. Шустера, Р. Кризекаир, 1981.

86. Опыт оценки устойчивости склонов сложного геологического строения методом конечных элементов и экспериментами на моделях / Под ред. Г.С. Золотарёва [Book]. - Москва : МГУ, 1973.
87. Орлов А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие. - М.: 2002. - 31 с. [Книга]. - Москва : ИВСТЭ, 2002. - стр. 31.
88. Осипов В. И., Кутепов В. М., Зверев В. П. и др. Опасные экзогенные процессы [Книга]. - Москва : ГЕОС, 1999. - стр. 290.
89. Павлов А.П. Оползни Симбирского и Саратовского Поволжья [Книга]. - Москва : Университетская тип., 1903. - стр. 69.
90. Паллас П.С. Путешествие по разным провинциям Государства Российского в 1763-1773 [Book]. - СПб : [s.n.], 1773-1788. - Vol. II.
91. Пендин В.В. Изоморфизм и изомерность инженерно-геологических условий [Журнал] // Геоэкология. - 1994 г.. - 1. - стр. 44-48.
92. Пендин В.В. Комплексный количественный анализ информации в инженерной геологии [Книга]. - Москва : КДУ, 2009. - стр. 350.
93. Пендин В.В., Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности [Book]. - Москва : ЛЕНАНД, 2015. 320 с.
94. Пендин В.В., Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геодинамика: 4-е изд., доп. М.: КДУ, 2015. 472 с.
95. Петров Н.Ф. Оползневые системы. Простые оползни (аспекты классификации). [Книга]. - Кишнев : Штиинца, 1988. - стр. 226.
96. Петров Н.Ф. Оползневые системы. Сложные оползни. [Книга]. - Кишнев : Штиинца, 1988. - стр. 162.
97. Платонов Н.Х. О причинах оползания железнодорожного полотна между станциями Георгиевск и Минеральные воды Сев.-Кавк. жел. дор. [Journal] // Вестн. Сев.-Кавк. жел. дор. им. С.Д. Маркова. - 1928. - 53.
98. ПНИИИС. Рекомендации по количественной оценке устойчивости оползневых склонов [Книга]. - Москва : Стройиздат, 1984. - стр. 80.
99. Погребов Н.Ф. Сравнительная характеристика оползневых районов СССР [Conference] // Тр. I Всес. оползн. совещ.. - Л : [s.n.], 1935. - pp. 199-213.

100. Попов И.В. Инженерная геология [Книга]. - Москва : Геоліздат, 1951. - стр. 444.
101. Попов И.В. Инженерная геология [Книга]. - Москва : МГУ, 1959. - стр. 512.
102. Постановления Второго Всесоюзного оползневомого совещания Сб.: Вопр. гидрогеол. и инж. Геол. [Article]. - [s.l.] : Госгеоліздат, 1949. - 12.
103. Рагозин А.Л., 2002. Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы // Москомархитектура, ГУ ГО ЧС г. Москвы. М.: Изд-во ГУП НИАЦ. 49 с.
104. Рзаева М.К. Об инженерно-геологических типах оползней [Article] // Инж. изыскан. в стр-ве. - [s.l.] : Цент. ин-т науч.-техн. информ. По стр-ву и и архит. – Госстрой СССР, 1969. - 1 : Vol. II.
105. Родионов В.Е. Материалы к выработке методики изучения оползней [Статья] // Труды Азово-Черноморского геол.-гидро-геодез. треста. - 1935 г.. - 8. - стр. 1-80.
106. Розанов Н. Об Одесских оползнях [Journal] // Изв. Геогр. о-ва. - 1889. - Vol. XXIV. - pp. 484-487.
107. Розовский Л.Б. Введение в теорию геологического подобия и натурного моделирования [Книга]. - Москва : Недра, 1969. - стр. 128.
108. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М. : Радио и связь, 1989. – 316 с.
109. Саваренский Ф.П. Инженерная геология [Книга]. - Москва : ОНТИ, 1937.
110. Саваренский Ф.П. Опыт построения классификации оползней [Conference] // Тр. I Всес. оползн. совещ.. - Л : [s.n.], 1935. - pp. 19-21.
111. Самарин Е.Н., Бершов А.Н., Фоменко И.К. Курс лекций по методам статистической обработки информации: Уч. пособие [Книга]. - Москва : МГУ, 2004. - стр. 196.
112. Славянов В.Н. Инженерно-геологические прогнозы устойчивости откосов [Книга]. - Москва : Стройиздат, 1964. - стр. 153.
113. Славянов В.Н. Некоторые вопросы теории инженерно-геологических прогнозов устойчивости склонов [Journal] // БМОИП. - 1957. - 1.

114. Спасская С.К. Критерии выбора варианта направления трассы железной дороги, учитывающие развитие оползневых процессов [Электронный ресурс] // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – № 3 (22). – С. 123. – <http://naukovedenie.ru/PDF/92TVN314.pdf> (дата обращения 16.01.2017).
115. Тер-Степанян Г.С. О длительной устойчивости склонов [Книга]. - Ереван : Изд-во АН АССР, 1961. - стр. 128.
116. Терцаги К. Теория механики грунтов [Книга]. - Москва : Госстройиздат, 1961. - стр. 507.
117. Терцаги К., Пек Р. Механика грунтов в инженерной практике [Книга]. - Москва : Госстройиздат, 1958. - стр. 607.
118. Тихвинский И.О. Оценка и прогноз устойчивости оползневых склонов [Книга]. - Москва : Наука, 1988. - стр. 144.
119. Тихвинский И.О., К вопросу об использовании метода оползневого потенциала [Конференция] // Материалы научно-технической конференции «Разработка методов прогнозной оценки развития оползневых явлений в условиях горно-складчатых областей альпийского орогена. - Тбилиси: Мецниереба : [б.н.], 1978. - стр. 52-56.
120. Уонг Д.К., Ле Д.А., Лай Х.А., Во Т. Состояние оползня на некоторых дорогах в провинции Цао Бан и окрестностях. Геология, 2007. № 302. (На вьетнамском языке).
121. Фам В.Т. Геологические риски во Вьетнаме и необходимость их решения // Геологические риски и меры их профилактики: материалы национальной научно-практ. конф. Ханой: Строительство, 2008. С. 9-14. (На вьетнамском языке).
122. Фам В.Т. Теоретические основы методики инженерно-геологических исследований. Ханой: Горно-геологический университет, отчет о НИР, 2000. 230 с. (На вьетнамском языке).
123. Федоренко В.С. Горные оползни и обвалы, их прогноз [Книга]. - Москва : МГУ, 1988. - стр. 214.

124. Фокин А.И., Рамишвили Г.Г. Фазы развития оползней в Шида-Кахети и роль антропогенного фактора [Article] // Сообщ. АН ГССР. - 1956. - 3 : Vol. 17.
125. Фоменко И.К. Современные тенденции в расчетах устойчивости склонов [Журнал] // Инженерная геология. - Москва : Геомаркетинг, 2012 г.. - 6. - стр. 44-53. - ISSN: 1993-505.
126. Фоменко И.К. Методология оценки и прогноза оползневой опасности. Дисс..доктора. г-м. н. Москва, 2014. С.318.
127. Фоменко И.К., Пендин В.В., Нгуен Ч.К. Оценка ущерба, опасности и риска от оползневых процессов (на примере северо-западного Вьетнама). Конференция: «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» Москва, 2017. С. 27-34.
128. Фоменко И.К., Сироткина О.Н. Материалы VII Общероссийской конференции изыскательских организаций «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» [Конференция] // Современные тенденции в расчете устойчивости склонов. - Москва : [б.н.], 2011. - стр. 78-82.
129. Хайн В.Е., Рябухин А.Г., Неймарк А.А. История и методология геологических наук [Книга]. - Москва : Издательский центр "Академия", 2008. - стр. 416.
130. Хаин В.Е. Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир, 2001. 606 с.
131. Ха В.Х., Хоанг Н.Т.З. Геоморфологические особенности, связанные с оползнем на дороге Хо Ши Мина (провинция Куанг Бинь). Геология, 2006. № 296. (На вьетнамском языке).
132. Чан Т.В. Расследование и оценка текущего состояния и потенциала оползней в некоторых районах дороги Хо Ши Мина, Национальной дороги 1А и предлагаемых мер по устранению оползней от угрозы безопасности людей, имущества и инфраструктуры: Отчет о НИР. Ха Ной: Институт геологических наук и минеральных ресурсов, 2006. 249 с. (На вьетнамском языке).

133. Чан Т.В. Оценка и прогнозирование геологических опасностей в 8 прибрежных провинциях Центрального Вьетнама от Куанг Бинь до Фу-Йен. Текущее состояние, причины, прогноз и рекомендация мер по исправлению положения: Отчет о НИР. Ха Ной: Институт геологических наук и минеральных ресурсов, 2002. 215 с. (На вьетнамском языке).
134. Чан Ч.Х. Изучение, оценка и прогнозирование оползней и разработка профилактических мер для города Кок Пай, района Син Ман, провинции Ха Зианг: Отчет о НИР. Ханой: Государственный проект, 2010. (На вьетнамском языке). 346 с.
135. Чан Т.Х. Геоморфологические исследования для смягчения последствий оползня и сели в Лаокай. Дисс..канд. г-м. н. Ханой, 2010. С.159. (На вьетнамском языке).
136. Чан Т.Х. Анализ взаимосвязи между морфологическими характеристиками и оползнями в провинции Лаокай // Науки о Земле и окружающая среда. 2013. № 3. С. 35–44. (На вьетнамском языке).
137. Чан Т.Х. Исследование и оценка геологических опасностей на территории Вьетнама и рекомендации по противооползневым мероприятиям. Фаза II: Исследование Северных горных провинций Вьетнама. Ханой: Государственный проект, отчет о НИР, 2004. 210 с (На вьетнамском языке).
138. Чу В.Н., Нгуен Т.Т.Х. Оценка оползневой опасности вдоль национальной дороги 4Д, посвященной взаимосвязи между геологическими структурами и топологией. Вьетнам журнал земных наук, 2008. № 305, с. 1-8 (На вьетнамском языке.)
139. Шахунянц Г.М. О методике проектирования мероприятий по стабилизации земляного полотна [Journal] // Техника железных дорог. - 1944. - 12.
140. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селей [Книга]. - Москва : Недра, 1980. - стр. 296.
141. Шеко А.И. О цикличности проявления оползневых процессов на северо-западном побережье Черного моря [Статья] // Тр. ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии. - 1974 г.. - 76. - стр. 39-40.

142. Шитиков М. Заметка о геологическом строении участка, предназначенного для сооружения тракторного завода в окр. Сталинграда [Journal] // Изв. Геол. ком. . - 1927. - 8 : Vol. XLVI. - pp. 919-927.
143. Ярґ Л.А., Молоков Л.А. Инженерная геология Северного Вьетнама: Учеб. пособие [Книга]. - Москва : МГРИ, 1981. - стр. 117.
144. Ahlheim M., Oliver F., Antonia H., Alwin K., Minh D.N., Van D.P., Camille C., Manfred Z., (2009). Landslides in mountainous regions of Northern Vietnam: Causes, protection strategies and the assessment of economic losses. International journal of ecological economics and statistics 15: p.108-130
145. Alexander E. D., 2005. Landslide Hazard and risk. В Т. А. Glade (Ред.), Vulnerability to landslides, (стр. 175–198). London: Wiley.
146. Barredo, J.I., Benavides, A., Hervás, J. and van Westen, C.J. Comparing heuristic landslide hazard assessment techniques using GIS in the Tirajana basin, Gran Canaria Island, Spain [Journal] // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. - 2000. - Vol. 2.
147. Bui T.D, Pradhan B, Lofman O, Revhaug I, Dick OB (2012). Landslide susceptibility assessment in the Hoa Binh province of Vietnam: a comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks. Geomorphology 171–172:12–29
148. Bui T.D, Pradhan B, Lofman O, Revhaug I, Dick OB (2012). Landslide susceptibility mapping at Hoa Binh Province (Vietnam) using an adaptive neuro-fuzzy inference system and GIS. Comput Geosci 45:199–211
149. Bui T.D, Pradhan B, Lofman O, Revhaug I, Dick OB (2012). Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh Province (Vietnam): a comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models. Catena 96:28–40.
150. Bui T.D, Tran A.T, Hoang D.N, Nguyen Q.T, Nguyen B.D, Ngo V.L, Biswajeet P. Spatial prediction of rainfall induced landslides for the Lao Cai area (Vietnam) using a hybrid intelligent approach of least squares support vector machines

- inference model and artificial bee colony optimization // Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2016. – P. 1-12.
151. Bui T.D., Pham T.B., Nguyen Q.P., Hoang N.D. (2016) Spatial prediction of rainfall induced shallow landslides using hybrid integration approach of least squares support vector machines and differential evolution optimization: A case study in central vietnam. International Journal of Digital Earth Doi:101080/1753894720161169561
 152. Chacon J., Irigaray C., Fernandez T., Hamdouni R. Engineering geology maps: landslides and geographical information systems [Journal] // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. - 2006. - 4 : Vol. 65. - pp. 341-411.
 153. Corominas J., Einstein H., Davies T., Strom A., ZuccaroG., Nadim F., Verdel T., 2014. International IAEG Congress. "Engineering Geology for Society and Territory". Glossary of terms on Landslide Hazard and Risk.2, сtp. 1775-1780. Torino: Springer International Publishing.
 154. Dietrich W., Montgomery D. Shalstab theory [<http://calm.geo.berkeley.edu/geomorph//shalstab/theory.htm>].
 155. Do M.D. Heavy rainfall induced landslides in Bac Kan and Binh Dinh province. VNU Journal of Science, Earth science, 2009. 25: p.1-9.
 156. Fell, R., Ho, K.K.S., Lacasse, S., Leroi, E., 2005. A framework for landslide risk assessment and management. In: Hungr, O., Fell, R., Couture, R., Eberhardt, E. (Eds.). Landslide risk management, Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver. Taylor & Francis, London, pp. 3–25.
 157. García-Rodríguez M.J., Malpica J.A., Benito B., Díaz M. Susceptibility assessment of earthquake-triggered landslides in El Salvador using logistic regression [Journal] // Geomorphology. - 2008. - Vol. 95. - pp. 172-191.
 158. Gian Q.A, Tran D.T, Nguyen D.C, Nhu V.H, Bui T.D. Design and implementation of site-specific rainfall-induced landslide early warning and monitoring system: a case study at Nam Dan landslide (Vietnam). GEOMATICS, NATURAL HAZARDS AND RISK, 2017.

159. Glade T., 2003. Vulnerability assessment in landslide risk analysis.- *Die Erde*134: 123-146.
160. Gorsevski P.V., Gessler P.E., Foltz R.B., Elliot W.J. Spatial Prediction of Landslide Hazard Using Logistic Regression and ROC Analysis [Journal] // *Transactions in GIS*. - 2006. - Vol. 10. - pp. 395-415.
161. Hammond, C., D. Hall, S. Miller and P. Swetik Level I Stability Analysis (LISA) Documentation for Version 2.0 [Report]: General Technical Report / USDA Forest Service Intermountain Research Station. - 1992. - INT-285.
162. Hoek E. and Brown, J.W. Rock Slope Engineering [Book]. - London : Institution of Mining and Metallurgy, 1981. - p. 402.
163. Komac M., A landslide susceptibility model using the Analytical Hierarchy Process method and multivariate statistics in peri-alpine Slovenia [Journal] // *Geomorphology*. - 2006. - Vol. 74. - pp. 17-28.
164. Krahn J. Stability modeling with SLOPE/W. An Engineering Methodology: First Edition, Revision 1 [Book]. - Calgary, Alberta : GEO-SLOPE International Ltd., 2004. - p. 396.
165. Late Cenozoic tectonics of the Red River Fault Zone, Vietnam, in the light of geomorphics studies / W. Zuchiewicz, N.Q. Cuong, J. Zasadni, N.T. Yem // *Journal of Geodynamics*. 2013. Vol. 69. P. 11-30.
166. Laocai [Электронный ресурс]: // Безопасность дорожного движения, 2016, URL: <http://www.baolaocai.vn/an-toan-giao-thong/day-nhanh-tien-do-khac-phuc-diem-sat-lo-doan-cao-toc-qua-tp-lao-cai-z56n2016061116331218.htm> (дата обращения: 20.08.2017).
167. Laocai statistical yearbook 2015, 2016 // Laocai statistics office. Statistical publishing house. 497 с.
168. Lee C.T., Huang C.C., Lee J.F.,Pan K.L.,Lin M.L., Dong J.J., Statistical approach to earthquake-induced landslide susceptibility [Journal] // *Engineering Geology*. - 2008. - Vol. 100. - pp. 43-58.

169. Lee S., Ryu J.-H., Min K., Won J.-S. Landslide Susceptibility Analysis Using Gis And Artificial Neural Network [Journal] // Earth Surface Processes and Landforms. - 2003. - Vol. 28. - pp. 1361-1376.
170. Living with risk. A global review of disaster reduction initiatives., 2002. International Strategy for Disaster Reduction. - Geneva: United Nations. 382 pp.
171. Lulseged A., Hiromitsu Y. The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains, Central Japan // Geomorphology. 2005. Vol. 65. №1. P. 15-31.
172. Marco U., Farrokh N., Suzanne L., Amir M. K., 2008. A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. Engineering Geology. P. 251–256.
173. Malamud B.D., Turcotte D.L., Guzzetti F., Reichenbach. P. Landslides, earthquakes and erosion [Journal] // Earth Planet. Sci. Letters. - 2004. - Vol. 229. - pp. 45-59.
174. Montgomery, D. R., Dietrich W. E. A Physically Based Model for the Topographic Control on Shallow Landsliding [Article] // Water Resources Research. - 1994. - 4 : Vol. 30. - pp. 1153-1171.
175. Nguyen Q.P., Nguyen P., and Nguyen K.L. Statistical and heuristic approaches for spatial prediction of landslide hazards in Lao cai, Vietnam. International Symposium on Geoinformatics for Spatial Infrastructure Development in Earth and Allied Sciences, Ho Chi Minh city, 2012. 7 p.
176. Pham T.B., Bui T.D., M.B. Dholakia, Indra Prakash, Pham V.H., Khalid Mehmood, Le Q.H. A novel ensemble classifier of rotation forest and Naïve Bayer for landslide susceptibility assessment at the Luc Yen district, Yen Bai Province (Viet Nam) using GIS. GEOMATICS, NATURAL HAZARDS AND RISK, 2016. 24p.
177. Saro L. Application of likelihood ratio and logistics regression models to landslide susceptibility mapping using GIS // Environmental Management. 2004. Vol. 34. № 2. P. 223-232.

178. Shaw S.C., D.H. Johnson. Slope morphology model derived from digital elevation data [Conference] // Northwest Arc/Info Users Conference, Coeur d'Alene. - 1995. - pp. 23-25.
179. Shaw S.C., Vaugeois L.M. Comparison of GIS-based Models of Shallow Landsliding for Application to Watershed Management [Book]. - Seattle : State of Washington Timber/Fish/Wildlife Publication #118, TFW-PR10-99-001, 1999. - p. 132.
180. Stratigraphic units of Viet Nam / Edited by Tong-Dzuy Thanh, Vu Khuc. Hanoi: Vietnam National University Publisher, 2011. 553 p.
181. Tam D.N. Flooding and landslides at the highways of Vietnam. International workshop on "Saving our water and protecting our land". Hanoi, 20-22 Oct. 2001.
182. Tarboton D.G., Pack R.T., Goodwin C.N., Prasad A. Sinmap user's Manual - Sinmap2 - A stability index approach to terrain stability hazard mapping - Version for ArcGIS 9.x and Higher [Book]. - Logan : Utah state university, Terratech consulting Ltd, Canadian forest products Ltd., 2005. - p. 65.
183. Terminology on Disaster Risk Reduction. - Geneva: United Nations. International Strategy for Disaster Reduction (UN ISDR), 2009.
184. Vaugeois L.M., Jenness J., Rosenberg L.I. SMORPH slope stability software, ArcView 3.x implementation [Book]. - Washington : Department of Natural Resources, 2007.
185. Zeverbergen, L.W., Thorne C.R. Quantitative analysis of land surface topography [Article] // Earth Surface Processes and Landforms. - 1987. - Vol. 12. - pp. 47-56.