

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

На правах рукописи

Язвенко Полина Александровна

**ОПАСНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ
СЕВЕРНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ И ПРОГНОЗ ИХ ИНТЕНСИВНОСТИ
ПРИ ТРАНСПОРТНОМ ОСВОЕНИИ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ
ЖД ЛИНИИ КОМСОМОЛЬСК-СОВЕТСКАЯ ГАВАНЬ)**

Специальность 25.00.08. – Инженерная геология, мерзлотоведение
и грунтоведение

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
доктор геолого-минералогических наук,
доцент С.В. Квашук

Хабаровск - 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. Транспортные системы как объект изучения специальной инженерной геологии	10
1.1. Определение объекта исследования.....	10
1.2. Состояние изученности геологической среды территории, примыкающей к линии Комсомольск - Советская Гавань.....	12
1.3. Выбор методов системных исследований геологической среды транспортных сооружений.....	15
1.3.1. Исследование трещиноватости и блочности горных пород в обнажениях	16
1.3.2. Изучение мощности коры выветривания геофизическими методами.....	21
Глава 2. Природные факторы формирования геологической среды.....	26
2.1. Климатические условия.....	26
2.2. Геолого-геоморфологическая характеристика территории	27
2.3. Тектоника, сейсмичность и современные движения земной коры.....	37
2.4. Речная сеть и подземные воды.....	41
2.5. Закономерности распространения и характеристика экзогенных геологических процессов территории освоения	45
<i>Результаты и выводы</i>	52
Глава 3. Транспортная система – причина изменения геологической среды	55
3.1 История постройки линии Комсомольск – Советская Гавань, характеристика методов ее сооружения как причин изменения геологической среды	55
3.2. Условия и причины активизации обвальных процессов в перевальной части линии Комсомольск – Советская Гавань.....	56
3.2.1. Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного алевритами (км 115).....	56
3.2.2. Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного андезитами (км 198)	63
3.2.3. Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного андезитами (км 201).....	70

3.2.4. Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного алевролитами (км 224).....	77
3.2.4.1. Изучение откоса выемки геофизическими методами.....	84
3.2.5. Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного вулканитами среднего и основного состава (км 291).....	89
3.2.6. Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного вулканитами среднего и основного состава (км 328).....	95
3.3. Оценка интенсивности денудационных процессов фотограмметрическими методами.....	100
3.3.1. Обзор методов, применяемых для оценки интенсивности денудационных процессов.....	100
3.3.2. Определение скорости денудационных процессов.....	105
<i>Результаты и выводы.....</i>	<i>113</i>
Глава 4. Оценка вибродинамических воздействий подвижного состава на склоны и откосы выемок.....	116
4.1. Условия проведения наблюдений.....	116
4.2. Методика работ.....	116
4.3. Описание опытных участков.....	118
4.4. Результаты исследования.....	120
Глава 5. Типизация обвальных явлений и рекомендации по защите от опасных гравитационных процессов.....	131
5.1. Типизация обвалоопасных явлений.....	131
5.2. Анализ методов стабилизации скальных откосов.....	138
5.2.1. Рекомендации по защите пути от обвалов.....	140
<i>Результаты и выводы.....</i>	<i>145</i>
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	147
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	149
Список литературы.....	151

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность

Развитие любого региона начинается с развития его инфраструктуры. В настоящее время транспортная сеть Дальневосточного региона развита довольно слабо. Выход к незамерзающим морским портам Ванино и Советская Гавань осуществляется через две транспортные артерии: железнодорожную линию Комсомольск – Советская Гавань и автомобильную дорогу Лидога – Ванино, строительство которой еще продолжается. Обе транспортные магистрали расположены в пределах Северного Сихотэ-Алиня, в границах которого широко распространены опасные экзогенные геологические процессы, обуславливающие повышенную сложность эксплуатации транспортной сети региона.

На железнодорожной линии Комсомольск – Советская Гавань насчитывается несколько десятков опасных обвальных участков. Около тридцати из общего количества обвалоопасных мест находятся в границах 102 - 330 км линии. Проявление обвалов на этих участках угрожает безопасности движения поездов и нормальной эксплуатации линии.

В связи с планируемым увеличением грузопотока на линии после ее реконструкции и постройки первой очереди Кузнецовского тоннельного перехода, оценка и прогноз интенсивности и мониторинг экзогенных процессов в перевальной части Северного Сихотэ-Алиня является весьма актуальной задачей.

Цель работы – оценить современное состояние инженерно - геологических условий перевальной части Северного Сихотэ-Алиня и сделать прогноз развития опасных экзогенных геологических процессов.

Основные задачи:

1. Проанализировать инженерно-геологические условия района с целью выявления причин возникновения опасных экзогенных процессов,

влияющих на эксплуатацию железнодорожной линии и оценить обвальную опасность на железнодорожной линии Комсомольск - Советская Гавань.

2. Определить скорость денудационных процессов.
3. Оценить динамическое воздействие подвижного состава на устойчивость склонов и откосов.
4. Типизировать обвальные участки линии по степени опасности.
5. Рекомендовать наиболее эффективные методы защиты железнодорожного пути от опасных экзогенных процессов в специфических геологических условиях исследованной территории.

Научная новизна

1. Произведен современный анализ инженерно-геодинамических условий перевальной части Северного Сихотэ-Алиня комплексом методов и выявлены наиболее неблагоприятные экзогенные процессы, влияющие на развитие его транспортной инфраструктуры.
2. Впервые проведены исследования по определению вибродинамического воздействия поездов на откосы выемок, определена максимальная высота откоса, на которой происходит усиление колебаний за счет возникновения резонансных явлений.
3. Разработан специальный программный комплекс, позволяющий с высокой точностью получить цифровую объемную модель местности, пригодную для решения множества задач при геологических исследованиях и инженерно-геологических изысканиях.
4. При использовании программного комплекса впервые для района получены количественные показатели скорости денудационных процессов на исследуемых участках.
5. Проведена типизация участков по степени опасности.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Результаты исследования могут быть использованы для решения проблем, связанных со строительством и эксплуатацией линейных сооружений в горных районах Дальневосточного региона.

Зависимость приращения сейсмической опасности от высоты откоса (склона) при сейсмическом микрорайонировании возможно применять для региона в целом с целью выявления наиболее опасной высоты откоса с точки зрения его устойчивости при возникновении резонансных явлений.

При помощи разработанного программного комплекса и методики расчета скорости денудации возможно ведение мониторинга на различных объектах, нуждающихся в постоянном контроле.

Объектом исследования является геологическая среда перевальной части Северного Сихотэ-Алиня, которая служит основанием для всех инженерных сооружений железнодорожной линии.

Предметом являются опасные экзогенные геологические процессы, распространенные на территории исследования.

Методы исследования. Для решения поставленных задач применялись общенаучные, полевые, лабораторные, экспериментальные, теоретические исследования, структурно-литологические, инженерно-геологические и геофизические методы, а также метод фототриангуляции.

Защищаемые положения

1. На территории Северного Сихотэ-Алиня, для которого характерны сложные геодинамические условия (среднегорный рельеф, сложная тектоника, повышенная трещиноватость горных пород, повышенная сейсмичность и др.), при его освоении и развитии наиболее опасными процессами являются гравитационные – обвалы, осыпи, вывалы и лавины.

2. Максимальное усиление вибродинамического воздействия (до 4-х раз) от подвижного состава в откосах выемок и полувыемок наблюдается на высоте откоса порядка 7-10 м. Это обусловлено в наибольшей степени геометрией откосов. Далее этот фактор постепенно слабеет и на высотах откоса порядка 20-25 м уровень колебаний определяется свойствами, составом и состоянием пород.
3. На основе разработанной методики оценки динамики опасных ЭГП с использованием модернизированного автором фотограмметрического метода получены количественные показатели процессов денудации горных пород, перевальной части Северного Сихотэ-Алиня. Средняя скорость денудации составила 1.07 и 32.02 м³/мес. для алевролитов и андезитов соответственно.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций подкреплена наличием необходимого объема исходного материала и подтверждена экспериментальными методами путем сравнения теоретических и практических результатов.

Апробация работы Основные положения диссертации докладывались на международных и региональных конференциях: V научно-техническая конференция с международным участием «Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути» (Москва, 2008 г.), XXIII и XXIV Всероссийские молодежные конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2009 -2011 г.), Международная научно-практическая конференция «Проблемы комплексного освоения минерального сырья Дальнего Востока» (Хабаровск, 2009 г.), XI Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов (Нерюнгри, 2010г.), IV Международный геотехнический симпозиум «Превентивные геотехнические меры по уменьшению природных и техногенных бедствий», ДВГУПС, (Хабаровск, 2011 г.), VII

Косыгинские чтения «Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии» (Хабаровск, 2011г.) и Всероссийских научно-практических конференциях с международным участием в ДВГУПС (Хабаровск, 2008-2011г.). В 2011 году по теме исследований автором выигран грант ДВО РАН. Автор выиграл XVII краевой конкурс молодых ученых и аспирантов по направлению Науки о Жизни и Земле (Хабаровск, 2012 г.),

Публикации. По теме диссертации автором опубликовано 16 работ, в том числе 2 статьи в научных журналах из перечня ВАК.

Исходные материалы и личный вклад в решение поставленной проблемы. Исходными данными для написания диссертации послужили результаты полевых и камеральных исследований, проводившихся в 2007-2012 годах, выполненных лично автором или с его участием, на территории перевальной части Северного Сихотэ-Алиня. В том числе были использованы результаты многолетних исследований, произведенных на изучаемой территории лабораторией ДВГУПС под руководством профессора С.В. Квашука, материалы отчетов по научно-исследовательским темам, фондовые материалы.

Благодарности

От всей души автор выражает глубокую признательность и благодарность:

В первую очередь своему научному руководителю С.В. Квашуку за постоянное внимание, понимание, четкое руководство, помощь в организации полевых командировок, ценные советы и замечания при написании работы.

Доценту Д.Ю. Малееву за помощь в проведении геофизических исследований, ценные советы, замечания и рекомендации.

Профессору А.Ф. Серенко за помощь в организации поездок в г. Иркутск, поддержку, ценные советы.

Профессору Г.Л. Кирилловой за помощь при написании работы. А также коллективу ИТИГ им. Ю.А.Косыгина ДВО РАН, в лице директора профессора А.Н. Диденко, А.В. Кудымова и сотрудников лаборатории тектоники осадочных бассейнов.

Профессору С.А. Кудрявцеву за полезные советы, помощь и поддержку.

В.О. Язвенко за разработку программного обеспечения для построения цифровой модели рельефа, помощь в полевых командировках, поддержку, понимание и терпение.

Коллегам В.А. Шабалину, Г.А. Злобину, Г.А. Гильмутдинову, доценту В.В. Пупатенко за помощь в проведении полевых работ.

Структура и объем работы

Диссертационная работа изложена на 161 страницах машинописного текста, состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы из 87 наименований, содержит 69 рисунков, 16 таблиц, 1 приложение.

Глава 1. Транспортные системы как объект изучения специальной инженерной геологии

1.1. Определение объекта исследования

В представленной работе рассматривается геологическая среда перевальной части Северного Сихотэ-Алиня, которая служит основанием для всех инженерных сооружений железнодорожной линии.

За основу выбрано определение, сформулированное академиком Е.М. Сергеевым: «Под геологической средой мы понимаем любые горные породы и почвы, слагающие верхнюю часть земной коры, которые рассматриваются как многокомпонентные системы, находящиеся под воздействием инженерно-хозяйственной деятельности человека» [Сергеев, 1982].

При техногенной деятельности человека геологическая среда испытывает воздействие, которое может существенно изменить свойства ее отдельных элементов, скорость и направленность происходящих в ней процессов. В настоящее время рядом авторов используются понятия, суживающие рассмотрение геологической среды до некоторого конкретного объема верхней части земной толщи, обусловленного только радиусом влияния инженерного сооружения. Они вводят такие понятия, как "зона влияния инженерного сооружения" [Трофимов и др., 1994], "зона геологического влияния" [Королев, Николаева, 1994], "область взаимодействия сооружения и массива горных пород" [Молоков, 1985,1988] и др., которые подтверждают тенденцию рассмотрения под этим понятием некоторых областей литосферы, объем которых зависит от задач, масштаба объекта и степени его ответственности.

Любые искусственные объекты, в том числе и сооружения, всегда взаимодействуют с окружающей их областью природной среды. [Бондарик, 1986]

При рассмотрении воздействия геологической среды на линейные транспортные сооружения [Бевзюк,1989] сам этот термин используется в широком смысле. Под геологической средой подразумевается верхняя часть литосферы с ее элементами (рельеф, горные породы, подземные воды, геологические и инженерно-геологические процессы и явления и др.), которые описываются набором характеристик ее свойств, процессов и состояния, являющейся вмещающей по отношению к транспортным объектам.

Основное свойство геологической среды - ее многокомпонентность и неоднородность. Поэтому необходимо ограничиться теми элементами, которые непосредственно оказывают влияние на линейные объекты [Герасимова, Королев, 1994; Котлов, 1978]. Все элементы системы геологическая среда – инженерное сооружение испытывают между собой постоянное взаимодействие и взаимопревращение, которые собственно и определяют устойчивость и стабильность геологической среды [Ломтадзе,1978].

Наиболее важные элементы геологической среды, оказывающие существенное влияние на объекты инфраструктуры, следующие [Бондарик, 1981]:

1. Тип горных пород, их структура, текстура, физико-механические свойства.
2. Тектоническая нарушенность и неоднородность горного массива.
3. Гидрогеологические свойства и процессы.
4. Эндогенные и экзогенные процессы.
5. Рельеф земной поверхности.
6. Геодинамическая активность, сейсмичность.

1.2. Состояние изученности геологической среды территории, примыкающей к линии Комсомольск – Советская Гавань

Геологические исследования в Северном Сихотэ-Алине начались со второй половины XIX века. Первые сведения о геологическом строении и городах территории были даны в работах Ф.Б. Шмидта, Р. Маака, Д. Соколова, К.Ф. Зинченко и подробнее в трудах Д.В. Иванова (1894-1896), Я.С. Эдельштейна (1897-1898), В.К. Арсеньева (1908-1910), полученных в экспедициях по рекам Тумнин, Хуту и Акур.

С этого периода вплоть до 30х годов, за редким исключением, геологических исследований здесь не проводилось.

В 1931г. вдоль трассы будущей дороги проводились геологические исследования и был подписан полевой отчет Г.Л. Аллера (1931г.).

В 1939-1940 гг. по этой же трассе вела работы Тумнинская экспедиция ГУЖДС НКВД. Здесь наибольший интерес представляют данные по буровым скважинам, шурфам и гидрогеологические наблюдения в аллювии рек, а также сведения по участкам месторождений строительных материалов.

В 1948 г. С.Г. Верещагин, а в 1950-1951г.г. П.И. Кропоткин и К.А. Шахворстова прошли геологический маршрут по линии Пивань – Советская Гавань.

Впервые стратиграфическая схема района, мало отличающаяся от современных представлений, была разработана П.С. Вернштейном (1934), которая была уточнена рядом последующих работ: А.А. Кириллов, 1941; М.Г. Золотов, 1948; П.А. Эпов, 1949-1950. В 1934 году были начаты инженерно-геологические исследования масштаба 1:100000 для строительства железной дороги. Наибольший интерес по этим работам представляют результаты бурения и гидрогеологические наблюдения в аллювиальных от-

ложениях. В 1950х годах на территории была проведена государственная геологическая съемка масштаба 1:200000. Дальнейшая разработка стратиграфической схемы выполнялась В.Н. Плиевым (1956-1955), Ю.М. Вдовиным (1955-1956), Г.М. Левитаном (1959-1960). В 1969-1972 годах Б.В. Шевченко и другими проведены геолого-съёмочные и поисковые работы масштаба 1:50000 в бассейнах верхних течений рек Мули, Уини, Шумной. Изучение гидрогеологических условий начато в 1932 году вдоль проектируемой трассы железной дороги Комсомольск – Советская Гавань. Рекогносцировочные маршруты были проведены В.А. Булатовым, Г.П. Воларовичем и Г.Д. Аллером.

В 1934 - 1936 годах по той трассе Лентранспроектом проводились рекогносцировочные инженерно-геологические исследования масштаба 1:100000 и 1:200000, которые сопровождались неглубоким ручным бурением, шурфованием и гидрогеологическими наблюдениями, связанными с водоснабжением будущих станций. В отчетных материалах содержатся сведения о типах подземных вод и водоносных горизонтах, встречающихся вдоль трассы (поровые и пластово-поровые воды аллювиально-делювиальных и элювиально-делювиальных отложений, трещинные воды скальных пород), а также данные о глубине залегания, условиях питания и разгрузки, режиме, водообильности, температуре и химизме воды.

Тщательные исследования поверхностных вод позволили составить представление о модулях подземного стока на различных породах. Большое внимание было уделено изучению многолетней мерзлоты.

На основе этих работ в 1939-1940 годах по трассе Комсомольск – Совгавань работала Тумнинская экспедиция БАМпроекта ГУЖЦС НКВД. Работы проведены в полосе шириной 10 км и сопровождались шурфованием, бурением неглубоких скважин и т.д. Составлены геологическая карта масштаба 1:200000, инженерно-геологическая карта масштаба 1:100000,

инженерно-геологический профиль трассы масштаба (горизонтальный) 1:10000, (вертикальный) 1:200, поперечные профили и краткий геоморфологический отчет.

В 1944 году И.Б. Райхлиным проведена гидрогеологическая съёмка, в результате чего была построена сводная гидрогеологическая карта листа М-54 масштаба 1:1000000. Для северной части Сихотэ-Алиня Д.Я. Стерлиным в 1959 году было дано описание типов подземных вод, характеристика существующего водоснабжения и, кроме того, произведено районирование площади.

В 1955-1956 годах по листам М-54-Х1V, XV проведены комплексные геологические и гидрогеологические исследования, в результате чего были составлены карты масштаба 1:200000 [Вдовин, 1961]. В 1962—1964 годах проведена гидрогеологическая съёмка масштаба 1:500000. В результате этих работ выделены по всей площади северной части Сихотэ-Алиня 10 водоносных комплексов и горизонтов. Наблюдения за поверхностным стоком ведутся гидрометеостанцией (ГМС), которой на реке Мули в поселке Высокогорном организован гидропост и с 1974 года выполняются измерения расхода и уровня воды. В районе проводились аэромагнитные съёмки масштабов 1:1000000, 1:200000 и 1:50000 и гравиметрическая съёмка масштаба 1:1000000.

В 1986 году Рогозиной Л. В. выполнены поиски подземных источников водоснабжения ст. Высокогорная Дальневосточной железной дороги. Результаты наземных геофизических работ в этом отчете представлены в виде геоэлектрических разрезов, графиков электропрофилеирования и ΔZ , типичных и параметрических кривых ВЭЗ.

В 1989 г. Хабаровским институтом инженеров железнодорожного транспорта (ХабИИЖТ) была проведена научно-исследовательская работа

по теме «Прогнозирование гравитационных процессов на линии Комсомольск – Советская Гавань»

Новая волна исследований началась в районе в 2000 годов. В связи с реконструкцией железнодорожной линии и строительством нового Кузнецовского тоннельного перехода.

В 2007 году при участии автора Дальневосточным государственным университетом путей сообщения проводились комплексные инженерно-геологические исследования обвалоопасных участков на железнодорожной линии в направления Гурское – Советская Гавань.

1.3. Выбор методов системных исследований геологической среды транспортных сооружений

Методика исследования ЭГП на линейно-протяженных объектах имеет свои, отличные от исследований на площадных территориях, особенности [Бондарик, 1987]. Главным образом они заключаются в труднодоступности и удаленности ключевых участков, а так же в постоянной ликвидации последствий проявления опасных процессов. Это затрудняет или делает невозможным проведение качественного мониторинга процессов на исследуемой территории.

Полевые работы выполнялись с целью выявления характерных для района исследования участков, на которых наиболее активно проявляются ЭГП. [Иванов, Тржцинский, 1976; Каган, 1984; Коломенский, 1969] Для проведения полевых наблюдений выбирались оптимальные участки, пригодные для стационарных наблюдений. Основные критерии выбора участка – наличие характерных ЭГП, влияющих на безопасность объекта; возможность проведения инструментальных наблюдений, то есть доступность территории участка для выполнения необходимого комплекса работ.

На каждом участке изучались следующие элементы: микрорельеф, а именно детали общей морфологии склонов (высота, крутизна, форма поверхности откоса и склона, наличие разломных зон и зон с разной степенью трещиноватости); экзогенные геологические процессы; проводилось детальное изучение трещиноватости в обнажениях; исследование сетей трещин (блочности) в обнажениях, отбор образцов горных пород для лабораторных испытаний и др.

1.3.1. Исследование трещиноватости и блочности горных пород в обнажениях

Исследование трещиноватости

В ходе изучения на каждом элементе тектонической структуры [Варга, 1988] трещиноватость была охарактеризована массовыми измерениями в обнажениях во всех основных литологических типах пород. Измерения параметров трещин выполнялись независимыми выборками достаточного объема отдельно для разных систем и морфологических типов трещин. Полевые исследования сопровождались текущей обработкой материала, в ходе ее, вся полученная информация систематизировалась. Это помогло выявить пробелы и своевременно добрать недостающие данные.

В каждой точке описания делалось 40 – 50 замеров параметров α (азимута простирания) и β (угла падения) и по 25 – 40 замеров параметров a (расстояния до соседней трещины в системе), b (ширины), l (длины) на каждую систему трещиноватости.

При плохой обнаженности, которая не позволяла набрать необходимое количество измерений в одной точке, они добивались на соседних участках в аналогичных геологических условиях. Подробному описанию подлежали те элементы морфологии трещин, которые не характеризуются массовыми замерами (извилистость трещин, шероховатость их поверхно-

сти, зеркала скольжения, заполнитель трещин, изменчивость ширины трещин). После этого выполнялись массовые замеры ориентировки, густоты, длины, ширины трещин по системам, которые выделялись на диаграмме. Работа на обнажении завершалась его фотографированием и зарисовкой. При измерении ширины трещин натеки и пленки монолитного заполнителя относились к массиву. За ширину трещин было принято ее зияние или пространство, заполненное рыхлым материалом.

При инженерно-геологическом изучении трещиноватости горных пород уделялось внимание следующим вопросам:

1. Пространственному расположению трещин, т.е. их ориентировке с целью выяснения локальных и региональных трещин, ориентировке поверхностей и зон ослабления и, следовательно, пространственной неоднородности (анизотропии) пород на том или ином участке.

2. Морфологии трещин и систем трещин для установления их генетических типов и выделения локальных и региональных трещин.

3. Определению степени трещиноватости пород с целью количественной оценки степени их раздробленности – разрушенности, выделения участков и зон, различающихся по степени трещиноватости.

4. Оценке влияния трещин и систем трещин как поверхностей и зон ослабления на прочность, деформируемость, устойчивость и водопроницаемость пород и их анизотропность в этом отношении; оценке их влияния на устойчивость местности и проектируемых сооружений.

5. Определению рациональной методики разведочных и опытных работ при инженерно-геологических изысканиях и исследованиях для выявления анизотропии и дирекционности физико-механических свойств горных пород в зависимости от ориентировки их трещиноватости.

Представление о степени трещиноватости горных пород дает определение «свободного профиля» пород, т.е. отношение площади свободного

пространства s , занимаемого трещинами, к площади поверхности пород S , в пределах которой зарисовываются и замеряются трещины. Этот показатель называют коэффициентом трещинной пустотности $K_{тр}$, %. [Саваренский, 1939].

$$K_{mp} = \frac{s}{S} \cdot 100, \% \quad (1.1)$$

Классификация пород по степени трещиноватости [Нейштадт, 1957; Нейштадт, Пирогов, 1969]

1. Породы слаботрещиноватые ($K_{тр} < 2\%$). Наблюдаются трещины волосные и шириной менее 1 мм. Встречаются единичные трещины шириной до 2 мм. Трещины большей ширины отсутствуют.

2. Породы среднетрещиноватые ($K_{тр}$ – от 2 до 5 %). Наряду с трещинами шириной до 1 мм имеют место трещины шириной от 2 до 5 мм и единичные шириной от 5 до 20 мм.

3. Породы сильнотрещиноватые ($K_{тр}$ – от 5 до 10%). Наряду с трещинами шириной до 5 мм наблюдаются трещины шириной от 20 до 100 мм.

4. Породы очень сильно трещиноватые ($K_{тр}$ – от 10 до 20%) и исключительно сильно трещиноватые ($K_{тр} > 20\%$). Наряду с трещинами шириной до 5 мм присутствуют трещины шириной от 20 до 100 мм и более.

Исследование блочности горных пород

Множество трещин, ориентированных приблизительно в одном направлении, называется системой трещин. [Рац, Чернышев, 1970; Ломтадзе, 1977, 1990] Системы трещин, простираясь в массиве и пересекаясь, образуют пространственные сети, выделяющие скальные отдельные участки различной величины, и формы, называемыми структурными формами массивов

горных пород [Зерцалов, 2006]. Часто, чтобы классифицировать скальные отдельности, по аналогии с трещинами, вводят понятие порядка отдельностей [Ухов, 1975]. Более крупные трещины формируют отдельности больших размеров, а более мелкие - меньших.

Если трещины непрерывны и их расположение в массиве близко к ортогональному, то, согласно СНиП 2.02.02-85 [«Основания гидротехнических сооружений», 1999], можно выделить следующие категории скальных массивов по характеру сложения:

- практически ненарушенные крупноблочные, слабо расчленённые и почти не поддающиеся выветриванию;
- блочные, характеризующиеся четко выраженными, ограниченными поверхностями ослабления, отдельностями. Подвержены избирательному выветриванию;
- слоистые, структура которых характеризуется преобладающей системой трещин и неравномерно избирательным выветриванием;
- плитчатые, в значительной мере расчлененные, легко поддающиеся неравномерному избирательному выветриванию.

В общем случае геометрические параметры структурных форм зависят от генетического типа скального грунта. Так, осадочные породы характеризуются блоками прямоугольного, кубического, ромбического и плитчатого типа; магматические - шарового, глыбового и матрацевидного.

Чернышевым предлагается классификация сетей трещин, основанная на анализе природного напряженного состояния скального массива [Чернышов, 1983,1984]. В соответствии с этой классификацией в массиве в зависимости от сочетания главных нормальных напряжений выделяются сфероидальные, полигональные осесимметричные, системные равноугольные и хаотические асимметричные сети трещин.

Степень прерывистости трещинной решетки (степень расчлененности скального массива) [Варга,1988] относится к его важнейшим механическим характеристикам, [Газиев 1973,1977; Грязнов 1984] определяющим степень вовлечения процесса разрушения целиков при сдвиге, однако общепринятой методики полевого определения этого показателя, так же как и степени прерывистости трещин одной системы не существует.

В работе блочность горных пород [Золотарев, 1971,1983] изучалась в обнажениях методом замеров расстояний между соседними трещинами одной системы и зарисовок системных и случайных трещин с их последующей обработкой при помощи расчетных и графических редакторов. Наибольшее внимание в работе уделено определению блочности пород в естественном залегании [Рац, Чернышев, 1970] (т.е. размер блоков b , отделенных друг от друга трещинами) и трещинной пустотности (отношение суммарного объема трещин – к единице объема массива горных пород).

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \bar{a}_i}{\bar{a}_i + \Delta \bar{a}_i}, \quad (1.2)$$

где \bar{a}_i - ширина трещин i -й системы;

$\Delta \bar{a}_i$ - среднее расстояние между трещинами i -й системы;

n – число систем трещин, совместно развитых в данном объеме массива;

$$b = \sqrt{\frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}{\left(1 + \sqrt[3]{\frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}{\bar{a}_4}}\right) \left(1 + \sqrt[3]{\frac{\bar{a}_1 \bar{a}_2 \bar{a}_3}{\bar{a}_5}}\right) \dots}}, \quad (1.3)$$

где $\bar{a}_1, \bar{a}_2, \bar{a}_3$ - среднее расстояние между трещинами трех систем наиболее густых трещин;

$\bar{a}_4\bar{a}_5\dots$ - то же для систем более редких трещин, развитых совместно с тремя первыми.

Интенсивность трещиноватости, охарактеризованная величинами П, и б [Рац, 1970], лежит в основе классификации горных пород по степени трещиноватости.

Таблица 1.1.

Классификации горных пород по степени трещиноватости [Рац, 1970]

Пустотность, %	Классы и коэффициенты фильтрации при густоте сети (блочности) в см								
	Очень редкая		Редкая		Густая		Очень густая		E_k/E_m
	300-100		100-30		30-10		10-3		
	Класс	K_f	Класс	K_f	Класс	K_f	Класс	K_f	
Малая 0,1-0,3	А-1	10^{-1}	А-2	10^{-2}	А-3	$5 \cdot 10^{-3}$	А-4	10^{-4}	2
Средняя 0,3-1,0	Б-1	$5 \cdot 10^0$	Б-2	10^0	Б-3	$5 \cdot 10^{-2}$	Б-4	10^{-2}	6
Высокая 1,0-3,0	В-1	10^2	В-2	10^1	В-3	$5 \cdot 10^0$	В-4	10^{-1}	20
Аномально высокая 3,0-10,0	Г-1	*	Г-2	$5 \cdot 10^2$	Г-3	$5 \cdot 10^1$	Г-4	10^1	60

* В массиве с трещиноватостью класса Г-1 уже при угле 0,01 возможно возникновение турбулентного течения в трещинах.

1.3.2. Изучение мощности коры выветривания геофизическими методами

Полевые сейсмические наблюдения проводились с помощью комплекта оборудования, включающего ряд систем:

Возбуждение упругих колебаний осуществлялось посредством удара кувалды по заранее подготовленному пункту возбуждения (ПВ). Конструкция последнего менялась в зависимости от типа целевых волн. При возбуждении продольных волн в качестве «подложки» применялась металлическая пластина толщиной 15 мм и площадью 400 кв. см. При возбуждении поперечных волн удары производились на пункте возбуждения, оборудованном деревянной подложкой цилиндрической формы, объемом от 5 до 8 куб. дм.

Возбуждение продольных волн осуществлялось вертикально направленными ударами, поперечных – разнонаправленными горизонтальными воздействиями по вертикальной стенке ПВ в направлении перпендикулярном линии профиля.

Синхронизация момента воздействия с моментом начала регистрации осуществлялась с помощью пьезодатчика на кувалде, подключенного через «моментную» линию к сеймостанции.

Прием колебаний осуществлялся вертикальными и горизонтальными сейсмоприемниками GX-20DX SUPER, которые позволяли регистрировать продольные и поперечные волны в рабочем диапазоне частот (рис 1.1.). Регистрация сейсмических волн производилась 8-канальной цифровой сейсмической станцией “Сейсмолог-8/24”, предназначенной для производства сейсморазведочных работ методами преломленных и отраженных волн при проведении геолого-геофизических исследований. Управление блоками осуществлялось при помощи карманного компьютера iPAQ, фирмы COMPAQ, модели 3970 и программы «Изыскатель -8/24» (производитель ОАО ICS/ для карманного компьютера).



Рис. 1.1. Применяемая аппаратура

Проверка работоспособности аппаратуры и оборудования проводилась в соответствии с действующими нормативными документами и ТУ изготовителя. Перед началом и в процессе работ проверялась работоспособность сейсмостанции, сейсмических кос и сейсмоприемников. Каналы станции проверялись на идентичность записи.

Конструкция модулей сейсмостанции обеспечивает ее надежную эксплуатацию в жестких условиях и в широком диапазоне температур. Технические характеристики станции приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2.

Технические характеристики станции

Число регистрируемых каналов	8
Диапазон регистрируемых частот, Гц	3-8000
Разрядность АЦП	24
Поканальная аттенюация сигнала, дБ	50
Фильтрация	Программная – фильтр Баттерворта
Время регистрации, отсчеты	128, 256, 512, 768, 1024
Число накоплений	Не ограничено
Управление станцией и обработка информации	Программное обеспечение «Изыскатель-8/24»
Диапазон температур (кроме ноутбука)	-30°... +50 °С

Для снижения уровня помех при регистрации сейсмограмм выполнялось до 20 накоплений. Запись каждого единичного воздействия осуществлялась в отдельный файл.

Непосредственно в процессе получения материала производилась оценка и суммирование сейсмограмм [Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами, 1985]. Суммирование сейсмограмм поперечных волн выполнялось с учетом направления воздействия, что позволяло накапливать поперечные волны и подавлять продольные.

Сейсмические зондирования выполнялись по системе встречных годографов [Ляховицкий, Хмелевской, Яценко, 1989], схема отработки зондирований приведена на рисунке 1.2.

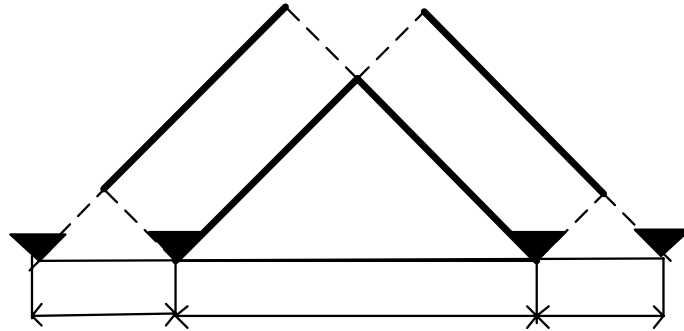


Рис.1.2. Система наблюдений при отработке зондирований (профилей)

База приема составляла 35 метров, расстояние между сейсмоприемниками - 5 метров. Использовались встречные и нагоняющие годографы. Встречные годографы увязывались во взаимных временах.

Регистрация годографов каждого типа волн осуществлялась из 4 пунктов возбуждения (ПВ), всего на каждой точке зондирования (профиле) было отработано по 8 ПВ. Привязка зондирований производилась к закрепленным пунктам и дублировалась с помощью GPS - навигатора.

Первичная обработка материалов выполнялась с помощью программного обеспечения сейсмостанции «Изыскатель-8/24» и заключалась в оценке, суммировании сейсмограмм, а так же получении качественной информации о волновом поле и скоростной характеристике среды.

Окончательная обработка выполнялась с помощью программного обеспечения Microsoft Excel. Корреляция волн производилась по кинематическим и динамическим признакам (синфазность колебаний, повторяемость формы на соседних трассах). При затруднениях в корреляции первых вступлений, последняя проводилась по наиболее выраженной фазе с последующим введением поправки «за фазу». Вычисление скоростей распространения сейсмических волн и положения преломляющих границ производилось разными способами (способ нулевого времени и разностного годографа, средних скоростей, по абсциссе точек пересечения годографов) по встречным увязанным годографам.

Глава 2. Природные факторы формирования геологической среды

2.1.1 Климатические условия

Решающее влияние на термический режим Северного Сихоте-Алиня оказывает циркуляция атмосферы. Муссонный характер климата сохраняется по всей территории. Воздействие материка проявляется главным образом зимой, когда сухой и сильно охлажденный континентальный воздух проникает на территорию Северного Сихотэ-Алиня. Здесь температура самого холодного месяца января колеблется от -19° до -29° , на побережье от -18° на юге до -24° на севере. Безморозный период наступает 10 – 15 мая.

Влияние Тихого океана проявляется в основном летом, когда на территорию Северного Сихотэ-Алиня проникают с моря воздушные потоки южных и юго-восточных направлений. Средняя температура самого теплого месяца составляет $19-20^{\circ}$, на побережье средняя температура июля не превышает $14-17^{\circ}$. В условиях горного рельефа температура понижается в среднем на $0,5^{\circ}$ на каждые 100 м поднятия. Наиболее низкими температурами в летний период характеризуются высокие вершины и склоны гор.

Относительная влажность воздуха в районе в течение года меняется в больших пределах (от 50% до 95%). В наиболее широких пределах влажность колеблется в летний период. Атмосферные осадки обуславливаются циркуляцией атмосферы, ее циклонической деятельностью. Большое влияние на их количество оказывает орография местности. На наветренных склонах гор количество осадков увеличивается в связи с усиливающейся конвергенцией потоков при приближении фронтальных систем к горам и вынужденным подъемам масс по склонам гор. На подветренных склонах гор происходит уменьшение осадков с общим уменьшением влагосодержания воздушных масс и преобладанием нисходящих движений воздуха. В районе хребта Сихотэ-Алинь сумма осадков за год существенно больше по сравнению с другими районами Хабаровского

края, примерно 800–1000 мм, в т.ч. 700–800 мм в теплый период (апрель–октябрь) – 80 – 90% годовых. На холодный период (ноябрь–март) приходится примерно 10 – 20%. Наибольшее количество осадков приходится на июнь, июль, август (139–157 мм в месяц), что определяет формирование дождевых паводков.

Муссонный характер циркуляции воздушных масс характеризуется хорошо выраженной периодичностью. В течение длительной зимы ветровой режим определяется наличием обширного холодного антициклона, расположенного своей центральной частью в Забайкалье. Благодаря этому до больших высот устанавливается западный перенос воздушных масс. В летнее время, когда область высокого давления расположена над Охотским морем, а депрессия над Китаем, над территорией резко выражена восточная и юго-восточная циркуляция.

Режимы подземных вод и поверхностных потоков тесно связаны с климатическими условиями. На территории широко распространены водоносные горизонты четвертичных отложений и трещинно-жильные воды пород палеозоя, которые питаются за счет фильтрации атмосферных осадков. Наибольшие дебиты этих водоносных горизонтов наблюдаются в конце летнего периода.

Подъем уровня воды в реках начинается в середине апреля и достигает максимума в начале-середине мая. Полноводье сменяется дождевыми паводками в июне-июле. В питании рек преобладают дождевые осадки. Наиболее высокий подъем уровня воды наблюдается в мае, реже - августе, сентябре.

2.2. Геолого-геоморфологическая характеристика территории

Территория исследования располагается в северной части Сихотэ-Алиньской складчатой области, которая весьма сложно построена (рис. 2.1.).

Центральное положение в данной области занимает Главный Сихотэ-Алинский антиклинорий, начинающийся в Южном Приморье и вытянутый на 900 км вдоль западных отрогов приводораздельной части Сихотэ-Алиня. По данным [Красный, 1980], с запада и востока этот антиклинорий ограничен глубинными разломами, представляющими собой мощные зоны, состоящие из серии сближенных крутых надвигов. В их пределах наблюдаются полосы катаклазированных и милонитизированных пород и узкие зоны смятия. Зоны разломов во время возобновлявшихся тектонических подвижек служили местами сосредоточения магматических образований, различных по петрографическому составу и условиям образования.

Для центрального глубинного разлома характерны вытянутые вдоль него массивы интрузивных пород и многочисленные дайки. К западному разлому приурочены большие поля мезозойско-кайнозойских эффузивов. Возникновение рассматриваемых зон нарушений фиксируется с конца палеозоя.

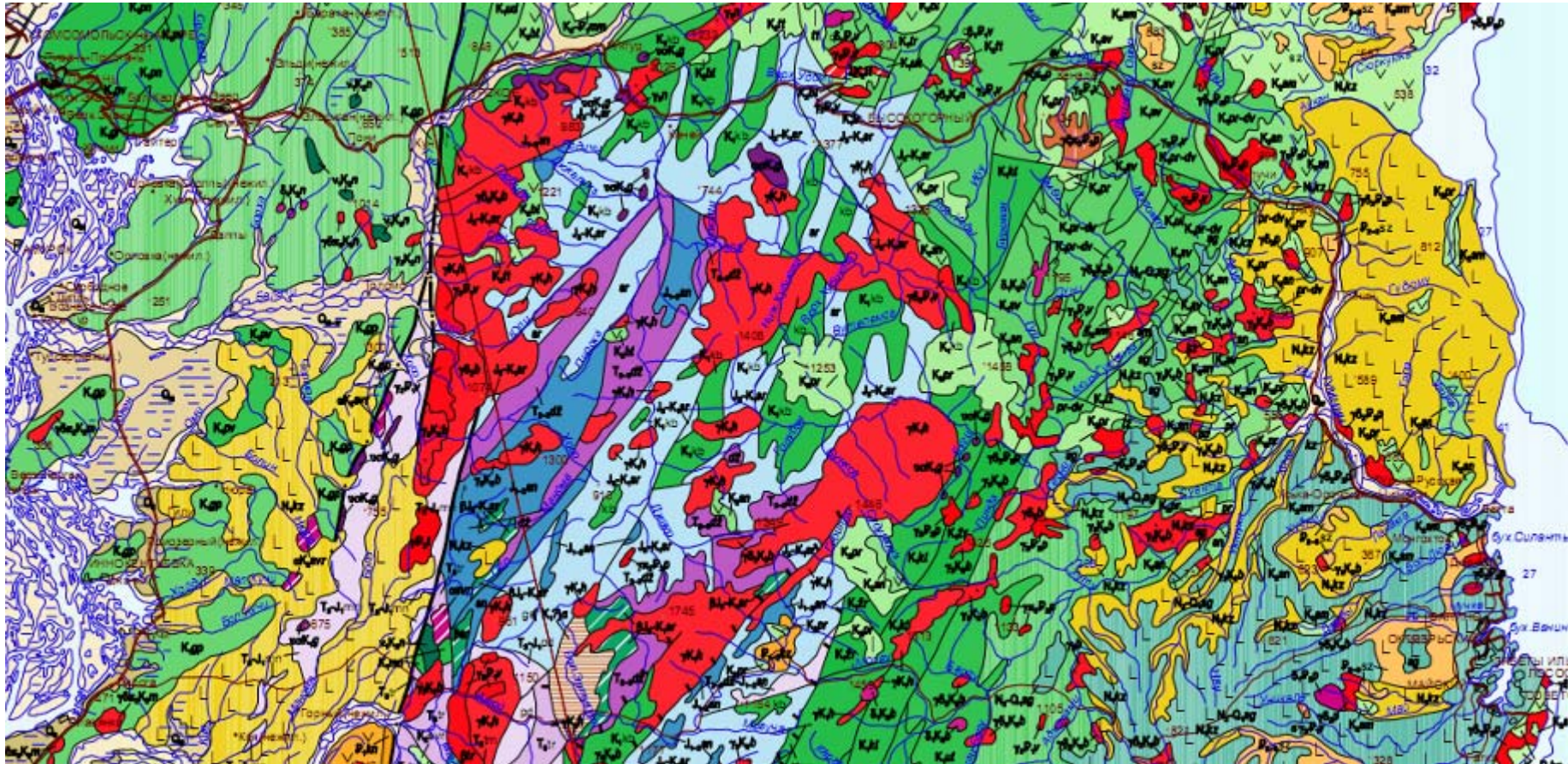
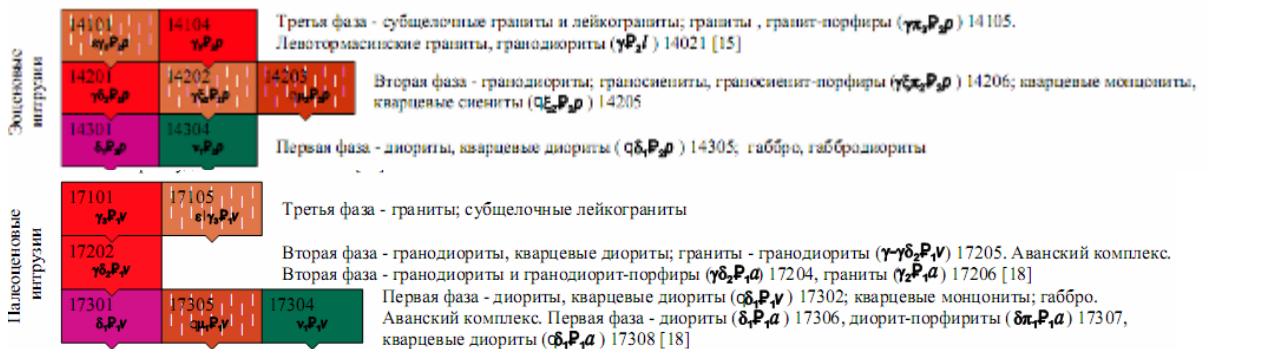
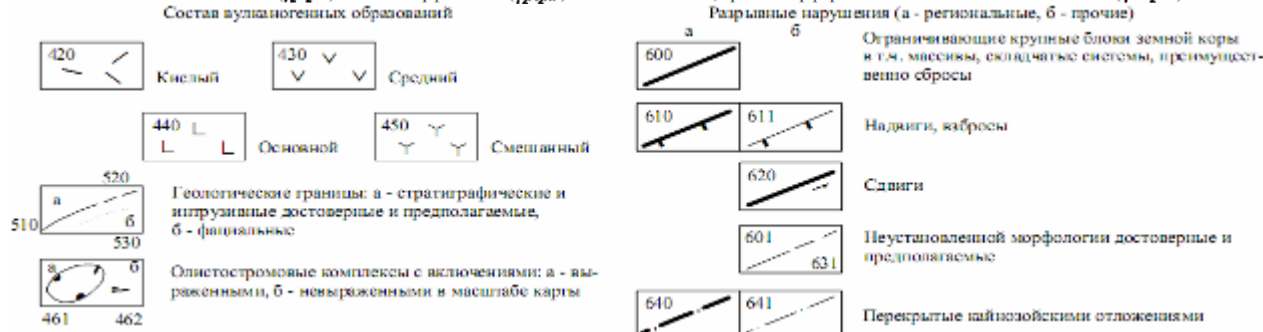


Рис. 2.1. Фрагмент геологической карты района (Карта составлена по материалам ФГУГГП "Хабаровскгеология" Авторы: А.Ф. Васькин, В.А. Гурьянов, В.Ю. Забродин, и др., 2004 г.)

- 27202 K_{sv}** Светловодническая свита - песчаники, алевролиты, аргиллиты, гравелиты, конгломераты (600 м) [37]; ларгасинская свита (K_{lr}) 27201 - алевролиты, аргиллиты, песчаники, гравелиты, конгломераты, туффиты (2200 м) [27]
- 29102 K_{kl}** Ключевская свита - алевролиты, песчаники, аргиллиты, редко конгломераты, кремнисто-глинистые породы (2200 м) [37]; олонийская свита (K_{ol}) 29105 - песчаники, гравелиты, алевролиты, аргиллиты, пелловые туфы, каменные угли (380 м) [28]; кабулдинская толща (K_{kb}) 29104 - песчаники, алевролиты, конгломераты, гравелиты, брекчия (2100 м) [38]; пионерская свита (K_{pn}) 29201 - алевролиты, песчаники, аргиллиты (200 м) [24]; петропавловская свита (K_{pp}) 29206 - песчаники, алевролиты, гравелиты, конгломераты, базальты, их туфы, микститы (2800 м) [35]; минская свита (K_{mn}) 27604 - алевролиты, песчаники, аргиллиты, конгломераты, гравелиты, брекчия, туфы и лавы андезитов, базальтов
- 9201 N_{ul}** Ушумунская свита - алевролиты, глины, пески, галечники, бурые угли (до 400 м) (только на разрезе) [11]; ажитская толща (N_{aj}) 9202 - базальты (до 300 м) [8]; Кизинский комплекс базальтовый: кизинская свита (N_{kz}) 9203 - базальты, трахибазальты, долериты, трахидолериты, андезибазальты, их туфы, глины, лигниты (до 300 м) [5,7,11,14]
- 31001 J_2-K_1sr** Юрская система, верхний отдел - меловая система, нижний отдел. Светлореченская толща - алевролиты, песчаники, реже кремнистые и кремнисто-глинистые породы, базальты и их туфы, авгититы, гравелиты, конгломераты (1500 м) [38]; жделонская свита (J_2-K_1dz) 31002 - андезиты, андезибазальты, базальты, дациты, их туфы, туфогенно-осадочные породы, каменные угли (2400 м) [14]; бокурская серия (J_2-K_1bk) 31003 - трахиандезиты, трахиты, их туфы, трахибазальты, туфогенно-осадочные породы (до 1650 м) [10]; илинурская свита (J_2-K_1il) 31005 - песчаники, алевролиты, аргиллиты, брекчия, гравелиты, конгломераты (700 м) [16]; тохикан-макитская толща (J_2-K_1tm) 31004 - конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, каменные угли (до 1500 м) [14]; культухинская свита (J_2-K_1kl) 31006 - алевролиты, микститы, песчаники, кремнисто-глинистые сланцы, андезиты, базальты (до 2300 м) [18]
- 13001 P_2-sz** Эоцен - олигоцен. Сизиманский комплекс базальтовый: сизиманская толща - базальты, андезибазальты, андезиты, их туфы, туфопесчаники, туфо-конгломераты (до 400 м) [14]. Чернореченская свита (P_2-sz) 13003 - пески, алевролиты, глины, в т.ч. углистые, гравийники, галечники, туффиты, бурые угли (более 200 м) [11]
- 23401 K_2sl** Сулукский комплекс андезитовый: сулукская толща - андезиты, дациандезиты, их туфы, туфо-конгломераты, туфопесчаники (450 м) [31]. Инарагдинский комплекс андезитовый: инарагдинская толща (K_2in) 23302 - андезиты, дациты, их туфы, туфо-конгломераты (900 м) [17,18]. Савоякский комплекс андезитовый: савоякская толща (K_2sv) 23303 - андезиты, дациты, их туфы, туфоалевролиты, туфопесчаники, туфо-конгломераты (600 м) [17]. Омельдинский комплекс андезитовый: омельдинская толща (K_2om) 23304 - андезиты, андезибазальты, их туфы, туфо-конгломераты (320 м) [22]. Амурской комплекс андезитовый: амурская свита (K_2am) 23305 - андезиты и их туфы, трахиандезиты, трахибазальты, туфы риолитов, риодацитов (1300 м) [32]. Мотаринский комплекс андезитовый: мотаринская свита (K_2mt) 23402 - андезиты, андезибазальты, трахиандезиты, базальты, дациты, трахидациты, их туфы, туфо-конгломераты, туфоалевролиты (1500 м) [13]. Большинский комплекс андезитовый: большинская свита (K_2bl) 23405 - андезиты, их туфы и лавобрекчия, базальты, андезибазальты, дациты, туфопесчаники, туфоалевролиты, туфо-конгломераты (950 м) [26,27]. Синанчинский комплекс андезитовый: синанчинская свита (K_2sn) 23404 - андезиты и их туфы, андезибазальты, дациты, туфоалевролиты, туфопесчаники (600 м) [37]. Набатовская толща (K_2nb) 23409 - андезиты, их лавобрекчия и туфы (530 м) [32]
- 23201 K_2sr** Сухореченский комплекс трахитовый: сухореченская толща - игнимбристы, туфы, лавы трахитов, трахидацитов, риолитов, туфоалевролиты, туфопесчаники, туфо-гравелиты (до 900 м) [4]. Бургалыйский комплекс андезитовый: бургалыйская толща (K_2br) 23406 - андезиты, их туфы, риолиты (500 м). Сохатинский комплекс риолитовый: сохатинская толща (K_2sh) 23101 - трахириолиты (150 м) [16]. Гербинский комплекс риолитовый: гербинская толща (K_2gb) 23210 - игнимбристы, туфы, лавы риолитов, дацитов, туфопесчаники, туфо-конгломераты, туфоалевролиты (до 1500 м) [31]. Тунумский комплекс трахидацит-трахириолитовый: тунумская свита (K_2tn) 23202 - трахириолиты, трахидациты, риолиты, дациты, их туфы и игнимбристы (1300 м) [13]. Татаркинский комплекс дацит-риолитовый: татаркинский свита (K_2tt) 23204 - дациты, трахидациты, риолиты, риодациты, их туфы, игнимбристы, туфопесчаники, туфо-конгломераты (800 м) [26]. Ольская свита (K_2ol) 23207 - игнимбристы, туфы риолитов, трахириолитов (до 300 м) [3]. Приморский комплекс риолитовый: приморская серия (K_2pr) 23203 - риолиты, риодациты, дациты, их туфы, игнимбристы, конгломераты, туфопесчаники (300 м) [37].
- 21001 K_2hk** Хакаринский комплекс базальтовый: хакаринская свита - базальты, трахибазальты, андезибазальты, андезиты, и их туфы (600 м) [4]. Мыгдыкитский комплекс базальтовый: мыгдыкитская свита (K_2mg) 21002 - базальты, трахибазальты (до 100 м) [2]. Северянский комплекс андезит-базальтовый: северянская толща (K_2svr) 21003 - базальты, андезибазальты, андезиты, их туфы, конгломераты, песчаники, алевролиты (450 м) [35]. Сусаннинский комплекс андезитовый: сусаннинская толща (K_2ss) 21004 - андезиты, трахиандезиты, их туфы, туфы дацитов, андезибазальты, туфо-конгломераты, туфопесчаники, туфоалевролиты, углистые аргиллиты (500 м) [26,27]. Самаргинский комплекс дацит-андезитовый: самаргинская свита (K_2sm) 21005 - андезиты, андезибазальты, дациты, их туфы, туфо-конгломераты, туфопесчаники, туфоалевролиты (1200 м) [37]
- 13001 P_2-sz** Эоцен - олигоцен. Сизиманский комплекс базальтовый: сизиманская толща - базальты, андезибазальты, андезиты, их туфы, туфопесчаники, туфо-конгломераты (до 400 м) [14]. Чернореченская свита (P_2-sz) 13003 - пески, алевролиты, глины, в т.ч. углистые, гравийники, галечники, туффиты, бурые угли (более 200 м) [11]



Субщелочные граниты третьей фазы джугджурского, ульбейского ($\epsilon_1 \gamma_3 K_{2ub}$) 22108, субщелочные лейкограниты четвертой фазы - ульбанского ($\epsilon_1 \gamma_3 K_{2ul}$) 21111 и третьей фазы ульбейского ($\epsilon_1 \gamma_3 K_{2ub}$) 22212 комплексов; лейкограниты, граниты, гранит-порфиры третьей фазы джугджурского ($\gamma_3 K_{2d}$) 22127, ульбейского ($\gamma_3 K_{2ub}$) 22115, ($\gamma_3 K_{2ub}$) 22116, ($\gamma_3 K_{2ub}$) 22113, селитканского ($\gamma_3 K_{2s}$) 22219, ульбанского ($\gamma_3 K_{2ul}$) 22209, эвурского ($\gamma_3 K_{2ev}$) 22124, мяо-чанского ($\gamma_3 K_{2m}$) 22119, бутукано-чуркинского ($\gamma_3 K_{2bc}$) 22121, баджало-дуссеалинского ($\gamma_3 K_{2bd}$) 22100, ($\gamma_3 K_{2bd}$) 22132, ($\gamma_3 K_{2bd}$) 22117, нижнеамурского ($\gamma_3 K_{2n}$) 22122, ($\gamma_3 K_{2n}$) 22123, баппинского ($\gamma_3 K_{2b}$) 22120, этанжинского ($\gamma_3 K_{2e}$) 22129 комплексов; субщелочные гранит-порфиры ($\epsilon_1 \gamma_3 K_{2ub}$) 22114 третьей фазы ульбейского и гранодиориты ($\gamma_2 K_{2ub}$) 22210 третьей фазы ульбанского комплексов; граниты второй фазы эоценового ($\gamma_2 K_{2ez}$) 22222 и корфовского ($\gamma_2 K_{2kr}$) 22125 комплексов; гранит-порфиры хингано-олоньского комплекса ($\gamma_1 K_{2ho}$) 22118



В ядре Центрального Сихотэ-Алиньского антиклинория обнажаются осадочные и вулканогенные образования каменноугольного и пермского возрастов, представленные глинистыми сланцами, алевролитами и песчаниками, а также пластами и линзами диабазов и спилитов и линзами кремнистых пород и известняков. Складчатая структура антиклинория очень сложная. Широко распространены сильно сжатые линейные складки с углами падения крыльев 70-90°. Около тектонических разрывов часто наблюдается опрокинутое залегание слоев. К западу от Центрально-Сихотэ-Алиньского антиклинория в зоне Западно-Сихотэ-Алиньского разлома развита широкая полоса слабодислоцированных меловых и палеогеновых эффузивов, а также юрских и меловых терригенных отложений, которые ритмично переслаиваются. К востоку от Центрально-Сихотэ-Алиньского антиклинория располагается Восточно-Сихотэ-Алиньский синклинорий, занимающий водораздельную часть Сихотэ-Алиня и его восточные отроги. Эта структура характеризуется резким преобладанием мезозойских отложений. В западной части синклинория, прилегающей к Центрально - Сихотэ-Алиньскому разлому, преобладают верхнетриасовые и юрские толщи, сложенные мощными пачками кремнистых, зеленокаменных пород, песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. В синклинории преобладают складки, ориентированные по азимуту северо-востока 35-40°. Протяженность складок измеряется десятками километров. Складки обычно прямые, реже слабонаклонные. Такие складки на изучаемой территории можно наблюдать от р. Мули до р. Тумнин.

Складчатые структуры мезозоя в пределах Восточно-Сихотэ-Алиньского синклинория осложнены надвигами и поперечными сбросами и сдвигами. Кроме этого, отмечается серия разломов, «оперяющих» с востока Центральный Сихотэ-Алиньский разлом.

В районе Советской Гавани развиты горизонтально залегающие покровы базальтоидов. Сходного типа вулканиды встречаются в полосе северного окончания Западно-Сихотэ-Алиньского вулканогена. Вулканические толщи смяты в пологие брахиоструктуры с углами падения крыльев 15-20°. Более крутые углы падения слоев наблюдаются вблизи тектонических разломов.

Геологическое строение Северного Сихотэ-Алиня

В геологическом строении принимает участие комплекс осадочных, вулканогенно-осадочных и магматических образований, от нижнетриасовых до современных [Даммер, 1990]

Мезозойская группа.

Мезозойские образования различного происхождения широко распространены в пределах рассматриваемой территории.

Триасовая система. В бассейне р. Джаур, левого притока р. Гур, обнажаются верхнетриасовые-нижнеюрские образования, отнесенные к джаурской свите. Полоса развития свиты шириной от 8 до 20 км имеет северо-восточное простирание и прослеживается на 30 км от верховьев р. Маномы до р. Верхняя Удоми. Она характеризуется преобладанием кремнистых сланцев. В ее нижней части встречаются тела основных эффузивов (спилитов, диабазовых порфиритов, и диабазов), их лавобрекчий, туфогенных песчаников и алевролитов. На берегах р. Гур ниже устья р. Джаура, нижние горизонты свиты представлены лаво- и туфобрекчиями, туфами порфиритов, а также туфогенными песчаниками и алевролитами.

Верхняя часть джаурской свиты, выходящей на дневную поверхность на правом берегу р. Гур ниже устья р. Дюкали, представлена (снизу вверх по разрезу): кремнистыми сланцами, песчаниками, тонкими слоями

известняков, чередованием кварцитовидных кремнистых сланцев и яшмовидных, глинистыми сланцами.

Таким образом, нижняя часть свиты представлена основными эффузивами, их туфами, туфо- и лавобрекчиями, а средняя и верхняя части свиты сложены главным образом кремнистыми, кремнисто-глинистыми сланцами с линзами и прослоями известняков. Роль вулканитов незначительна.

Юрская система. На территории Северного Сихотэ-Алиня юрские образования достигают мощности 900 м. Они представлены терригенными морскими и континентальными фациями – песчаники или песчаносланцевые отложения, конгломераты и глинистые сланцы. Наряду с осадочными породами распространены андезитовые порфириты, их туфы и кремнистые породы.

Меловая система. Крупными площадями развития характеризуются меловые образования. Они здесь имеют огромную суммарную мощность (около 15 км) и представлены морскими терригенными отложениями и вулканогенными образованиями.

Нижний мел. Валанжинский ярус. Отложения этого яруса делятся снизу вверх на три свиты: горинскую, пионерскую и пиванскую. Отложения горинской свиты обнажаются в бассейнах рек Удоми и Тумнин и представлены песчаниками, кремнисто-глинистыми сланцами и алевролитами мощностью несколько сот метров. Пионерская свита широко распространена на побережье Амура и сложена алевролитами и песчаниками.

Пиванская свита представлена толщей переслаивающихся песчаников и алевролитов. Этими породами сложены большие площади на водоразделе р.р. Гур, Хуту, Амур, Монау, Гоббили и Копи.

Баррем-апт-альбские отложения. Самые молодые отложения нижнего мела, составляющие мощную толщу осадочных отложений на правобе-

режье р. Уктура (приток р. Гур), выделены в уктурскую свиту. Эта толща распространена от долины р. Гур вдоль правого берега р. Уктур до устья р. Орочи далее на северо-восток. В составе свиты, мощность которой более 1200 м, принимают участие сланцеватые алевролиты с пластами песчаников (от 1 до 6 м), аргиллиты, андезиты, андезито- базальтовые порфириты и их туфы. На западном склоне Северного Сихотэ-Алиня есть еще область небольшого распространения образований этого возраста. Здесь на толще алевролитов залегает толща пироксеновых андезитовых порфиритов мощностью 80-100 м.

Как видно из краткой характеристики образований рассматриваемого возраста, они представлены преимущественно терригенными породами морского происхождения. В ряде мест в составе их появляются вулканические породы.

Верхний мел. На Северном Сихотэ-Алине широко распространены верхнемеловые в основном морские терригенные отложения, иногда отмечаются континентальные вулканогенно-осадочные и вулканогенные образования. Верхнемеловые образования подразделяются на нижнюю, представленную ларгасинской свитой, среднюю - удоминской свитой и верхнюю, сложенную мощной толщей вулканогенно-осадочных и вулканогенных пород.

Удоминская свита терригенных отложений наблюдается в бассейнах верхнего течения р. Тумнин и р. Нижней Удоми. Здесь в нижней части свиты последовательно устанавливаются следующие породы (снизу вверх): конгломераты, песчаники и алевролиты, выше толща средне- и мелкозернистых песчаников и алевролитов с линзами гравелитов мощностью около 300-350 м.

В верхней части свиты – песчаники с карбонатным цементом (80 м), выше среднезернистые песчаники с обломками алевролитов и пачкой туфогенных песчаников (600-700 м.). Еще выше – толща (800-1000 м) туфогенных грубозернистых песчаников с прослоями и линзами сланцеватых алевролитов. Эти отложения распространены в бассейнах рек Нижней Удоми и Уктур, где они слагают крупные площади.

В позднемеловое время на данной территории проявилась интенсивная вулканическая деятельность, в результате которой накопились мощные толщи вулканических пород разного состава. На образованиях удоминской свиты с перерывом залегает толща с преобладанием вулканических пород над осадочно-терригенными породами морского генезиса.

Маломихайловская свита залегает выше татаркинской и сложена толщей вулканогенных пород и, в меньшей мере, осадочными породами. Вулканические образования свиты, представленные пироксеновыми андезитами и реже дацитами и туфами этих пород, распространены на восточном склоне Северного Сихотэ-Алиня, где они выходят на поверхность Татарского пролива, а также в бассейне р. Тумнин и его левых притоков.

Кайнозойская группа.

Палеогеновая система.

В пределах горных районов Северного Сихотэ-Алиня на его западных и восточных склонах широко развиты палеогеновые вулканогенные образования. Здесь отмечаются три толщи: нижняя - андезиты и их туфы; средняя - трахиандезиты; верхняя - базальты, андезибазальты, андезиты. Эффузивы нижней толщи принадлежат самаргинской свите палеоцена, предположительно мощностью 600-800 м. Средняя трахиандезитовая палеоген-эоценовая толща мощностью 200-400 м имеет ограниченное распространение. Верхняя толща, наиболее распространенная, выделяется под

названием кузнецовской свиты эоценового возраста; мощность толщи эффузивов этой свиты 300-1000 м.

В Северном Сихотэ-Алине палеогеновые отложения в районе бухты Сизиман представлены: в основании, на базальтах, находятся конгломераты с базальтовыми гальками, выше залегают пепловые туфы, туффиты и туфогенные песчаники. Эффузивы кузнецовской свиты отмечаются в бассейне нижнего течения р. Тумнин.

Неогеновая система.

В Северном Сихотэ-Алине неогеновые отложения пользуются ограниченным распространением. Наиболее известной здесь является вулканическая толща, сложенная базальтами, андезибазальтами и андезитами. Неогеновые эффузивы отличаются от палеогеновых эффузивов кузнецовской свиты плотным сложением и черным цветом. Иногда встречаются пузыристые лавы. Для базальтов и андезитов характерна призматическая отдельность, присутствие оливина, частое развитие коры выветривания мощностью до 2,5 м. Исследователями отмечается залегание миоценовых вулканических образований на выровненной миоценовой денудационной поверхности, поднятой теперь на высоту до 1100 м над уровнем моря. Самые молодые неогеновые образования Северного Сихотэ-Алия представлены песчано-гравелистыми и галечниковыми отложениями.

Четвертичная система.

В районе Советской Гавани развиты горизонтально залегающие покровы базальтоидов плиоцен-четвертичного периода, самые древние из четвертичных отложений из известных на Сихотэ-Алине. Они представлены базальтами. Излияниями базальтов сформированы лавовые плато. Суммарная мощность базальтов непостоянна и изменяется в пределах от нескольких метров до 400 м. Часто базальты представлены отдельными

потоками или покровами мощностью от 1-2 до 8-10 м. В нижней части потоки имеют мелкопористое строение, а в верхней части - базальты крупнопористые или кавернозные. По минеральному составу базальты и андезитобазальты однородны – обычно оливиновые, оливиново-пироксеновые или пироксеновые.

2.3. Тектоника, сейсмичность и современные движения земной коры

Территория прохождения железнодорожной линии Комсомольск-на-Амуре – Советская Гавань располагается в пределах Тихоокеанского орогенного пояса (рис 2.2).



Рис. 2.2. Главные тектонические подразделения региона [Карсаков, Чжао Чуньцин и др., 2005]: 1- древние платформы: Сибирская, Северо-Китайская; 2-3 - тектонические (орогенные) пояса: 2 - Центрально-Азиатский, 3 - Тихоокеанский.

В пределах линии сочленяются Сихотэ-Алиньские позднемезозойский орогенный пояс и вулкано-плутонический пояс. В состав Сихотэ-Алиньского орогенного пояса входят: тумнинская (124), самаркинская (119-1), нижнеамурская (удыльская) (126-1), приамурская (125) зоны. Вулканические пояса представлены: Восточно-Сихотэ-Алиньским позднемеловым - палеогеновым вулканическим поясом (нажнеамурская зона) (172-3) и неоген-четвертичным вулканическим поясом (Совгаванская зона) (203) (Рис.2.3).



Рис. 2.3 Карта тектонического районирования области сочленения Тихоокеанского и Центрально-Азиатского поясов (фрагмент)
[Карсаков, Чжао Чуныцзин и др., 2005].

Западная граница Сихотэ-Алиньской орогенной области проходит по системе северо-восточных разломов вдоль восточной кромки Цзямусы-Малохинганского и Ханкайского массивов. На севере Сихотэ-Алиньский пояс сочленяется со структурами Монголо-Охотской орогенной области,

на востоке перекрыт вулканитами Сихотэ-Алиньского вулканоплутонического пояса.

В южных частях пилообразная граница Сихотэ-Алиня определилась фактически в последние годы [Карсаков, 1995], когда выяснилось, что в ее формировании существенную роль сыграли левосторонние окраинно-континентальные сдвиги в мелу на краю Азиатского континента [Уткин, 1984].

Таким образом, вся западная граница Сихотэ-Алиня в настоящем виде осложнена покровно-сдвиговыми движениями [Корчагин, 2000].

Большая роль сдвиговой тектоники в эволюции Сихотэ-Алиня позволяет рассматривать это горное сооружение как перемещенное на северо-восток.

Сейсмичность.

Проблема сейсмичности весьма актуальна для Дальневосточного региона. Сейсмическая изученность этой области Приамурья более слабая, чем в других сейсмоактивных областях России, что связано с рядом объективных причин, основными из которых являются: сравнительно недавнее освоение этой территории и низкий уровень сейсмологических наблюдений.

Структурно сопряженная с активной окраиной Евразийского материка эта территория геодинамически не стабильна [Корчагин, 2000, 2001]. Для понимания современной геодинамики наряду с землетрясениями высокой и средней интенсивности не менее важны и слабые толчки. Они происходят чаще, что очень важно для статистической оценки данных и выявления закономерностей.

На рис. 2.4 видно, что слабые сейсмические толчки в изобилии зарегистрированы на территории Северного Сихотэ Алиня и региона в целом.

Характер поля эпицентров землетрясений, зарегистрированных в пределах рассматриваемой территории, свидетельствует о широком развитии в недрах активных геодинамических процессов. Магнитуды происходящих здесь землетрясений достигают значений 4-9 [Карсаков, Чжао Чуныцзин и др., 2005].

Практически вся территория Хабаровского края является сейсмически активной [Геология и сейсмичность зоны БАМ, 1985]. Северный Сихотэ-Алинь, внутри которого расположена железнодорожная линия, как видно на рис. 2.4, за исключением своих флангов, сейсмически пассивен. К сожалению, этот вывод не может быть достоверным по причине малого периода наблюдений и отсутствия специализированных сейсмогеологических исследований. Однако большой сейсмический потенциал сейсмогенерирующих зон на флангах района исследований определил его существенную сейсмическую опасность даже при условиях отсутствия на его территории очагов зон сильных землетрясений.

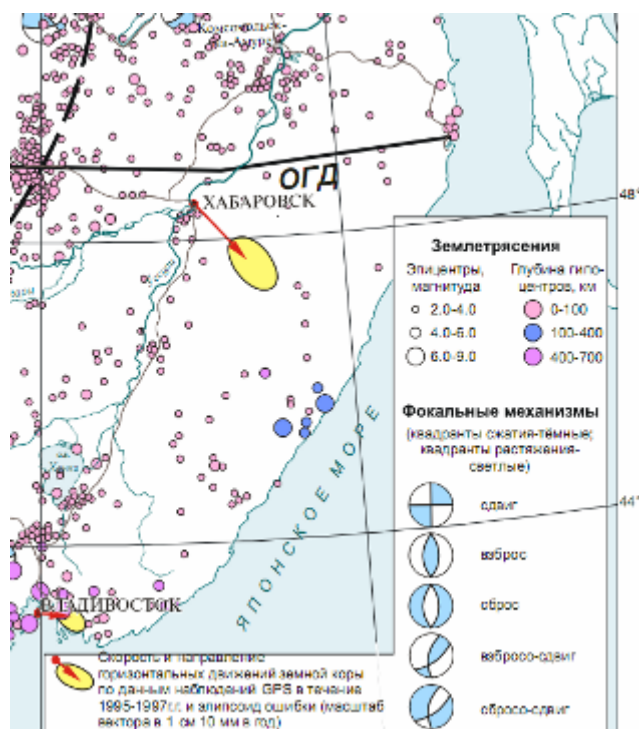


Рис. 2.4. Современная динамика литосферы региона. Глубинный сейсмический профиль ОГД – Облучье-Гасси-Дата (Фрагмент) [Карсаков, Чжао Чуныцзин и др., 2005].

По данным карт общего сейсмического районирования Российской Федерации (ОСР-97) [Общее сейсмическое районирование, 1998], объединенного Института физики Земли РАН (рис 2.5), территория исследуемого района по картам «Объекты общего промышленно-гражданского значения» и «Объекты повышенной ответственности» имеет 7-8 баллов, по карте «Особо ответственные объекты» - 8-9 баллов.

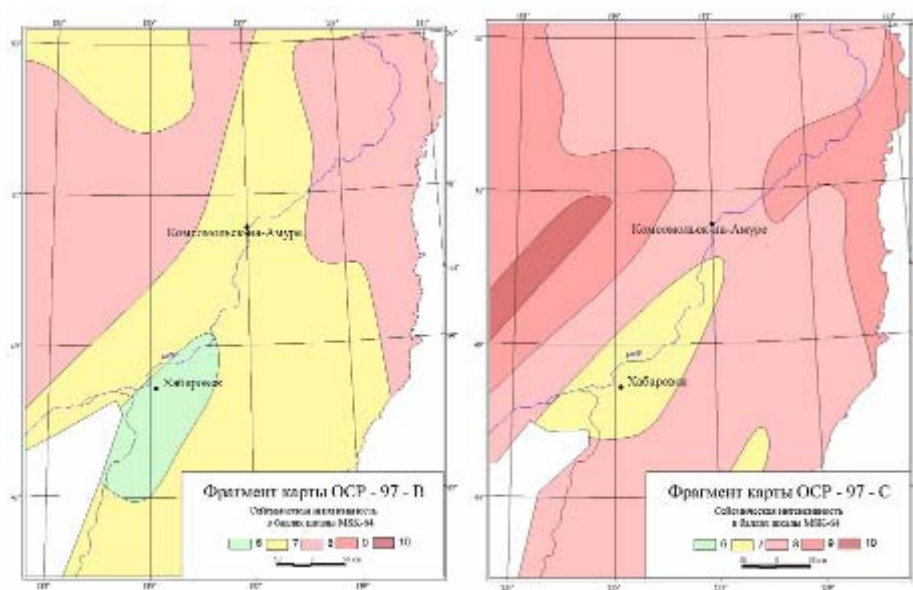


Рис. 2.5. Фрагменты карт ОСР-97 (В, С).

2.4. Речная сеть и подземные воды

Гидрографическая сеть района представлена речными системами рек Тумнин и Гур. Следуя многоуровневой классификации рельефа, р. Тумнин является рекой I порядка (уровня), так как впадает в Татарский пролив (т.е. в океанский бассейн), а Гур – рекой II порядка. На участке от станции Кото до разъезда Кузнецовский гидрографическая сеть представлена речной системой р. Мули, которая является рекой II порядка и правым притоком р. Тумнин. На участке от разъезда Кузнецовский до 159 км гидрографическая сеть представлена речной системой реки Верхняя Удоми,

являющейся рекой III порядка и правым притоком р.Гур, а на участке трассы от 159 до 87 км – речной системой р.Гур. На 87 км трасса пересекает водораздел рек Гур и Пони.

Долины мелких рек и ручьев характеризуется V – образным профилем, что указывает на то, что реки не выработали свой профиль равновесия. Р. Тумнин, в пределах железнодорожной линии, имеет меридиональное (северное) направление, р. Мули и Верхняя Удоми – широтное направление.

Одной из характерных особенностей гидрографической сети района является П-образный выступ речной долины Гура, аномальный ее общему широтному направлению. Большинство притоков рек Мули и Верхняя Удоми имеет северо-западное и северо-восточное направление.

По характеру течения все реки относятся к горным с бурным течением, скорость которого 1,5-2,5 м/сек. Для русел рек характерно наличие большого количества перекатов и рукавов (проток). Колебания уровня и скорости течения воды находятся в значительных пределах в зависимости от выпадения атмосферных осадков. Водоразделы обычно узкие и очень извилистые. Склоны гор в основном прямолинейные или слегка выпуклые, что свидетельствует о стабильности или о преобладании эрозионно-денудационных процессов. Обособленные горные массивы соединяются между собой серией сложно ветвящихся боковых отрогов. Относительные превышения в западной части территории составляют 400 – 600 м, в восточной уменьшаются до 200 – 500 м. Во многих случаях горные хребты резко обрываются в долинах рек, образуя многочисленные прижимы. Такие участки особенно характерны на левом склоне верховьев долин р. Верхняя Удоми (хр. Сихотэ-Алинь) с высотой склонов 100-150, 200-300м, верховьев р. Мули, среднем течении р. Мули на перегонах Соллу – Высокогорная, Высокогорная – Датта, правый склон р.Тумнин на перегонах Ко-

то-Тулучи-Акур, правом склоне долины реки Гур на перегонах Кун-Гурское-Почепта, Аксака-Кеннай.

На основе вышеизложенного можно заключить, что гидрографическая сеть района прохождения трассы Комсомольск – Советская Гавань имеет очень сложный рисунок, что является ее характерной особенностью.

Подземные воды

Северный Сихотэ-Алинь входит в состав Совгаванского супербассейна, а также Приморского и Центрально-Сихотэ-Алиньского гидрогеологических массивов, относящихся к Амгунь-Сихотэ-Алиньской гидрогеологической складчатой области.

С породами чехла супербассейна связаны трещинно-грунтовые и трещинно-пластовые, реже трещинно-жильные и порово-грунтовые подземные воды. В породах фундамента и горного обрамления формируются воды в трещинах зоны выветривания и дизъюнктивных нарушений. Основные ресурсы подземных вод сосредоточены в базальтах и андезибазальтах неоген-нижнечетвертичного возраста.

Водоносный горизонт современных отложений приурочен к образованию речных долин Тумнин, Дюанко, Май, Хуту и др. Водовмещающими являются аллювиальные отложения поймы и надпойменных террас, сложенные песчано-галечниковыми отложениями, супесями и суглинками. Мощность водоносного горизонта 5-20 м. Подстиляется он эффузивными породами. Воды горизонта безнапорные, глубина их залегания 0.4-3.4 м. Разнообразный литологический состав и мощность определяют его неоднозначные фильтрационные свойства и водообильность. Коэффициент фильтрации пород от 0,01 м/сутки для суглинков до 62.5 м/сутки для галечников с песком. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые, иногда – магниевые-кальциевые.

Водоносный комплекс нижнечетвертичных базальтов, андезибазальтов и их туфов (совгаванская свита) широко распространен в супербассейне, занимая около 75% его площади. Толща базальтов состоит из нескольких потоков базальтовой лавы, мощность каждого 10-20 м. В толще базальтов наблюдается чередование трещинных, пористых и плотных их разновидностей. Наличие гидравлической связи воды в базальтах различной текстуры позволяет рассматривать их как единый водоносный комплекс. Глубина залегания подземных вод в базальтах зависит от рельефа местности и присутствия в толще базальтов водоупорных разновидностей. В долинах рек глубина до зеркала подземных вод от 1-5 до 20 м. на водоразделах - 30-40 до 60 м.

Водоносный горизонт зоны выветривания палеогеновых андезибазальтов, андезитов и их туфов пользуется ограниченным распространением в бассейнах рек Тумнина, Хичи и др. Породы горизонта залегают под эффузивами совгаванской и кизинской свит и выходят на поверхность в обрамлении супербассейна. Трещиноватость в водовмещающих породах прослеживается до глубины 50-60 м. Глубина залегания подземных вод в этих эффузивах в долинах рек колеблется от 1 до 10-20 м, на склонах водоразделов увеличивается до 20-40м, а на водоразделах воды отсутствуют. По составу подземные воды гидрокарбонатные, хлоридно-гидрокарбонатные кальциево-натриевые. Во флишеидных образованиях юрского и нижнемелового возраста, которыми сложены небольшие высоты на западе супербассейна и широко распространенных под чехлом, образуется водоносный горизонт. Водовмещающие породы – песчаники, песчано-глинистые сланцы, алевролиты, аргиллиты. Трещиноватость в песчаниках прослеживается до глубины 30-50 м, в алевролитах – до 10-30 м. В них встречаются как напорные, так и безнапорные подземные воды. Глубина залегания воды в долинах рек от 1 до 10 м, на возвышенных участках до

10-40м. Коэффициенты фильтрации пород составили 0.001 и 0.04 м/сутки. Интрузивные породы палеогена нередко встречаются в пределах супербассейна. По составу это граниты и гранодиориты, с поверхности сильно трещиноватые и выветрелые. Трещиноватость их прослеживается на несколько десятков метров в глубину, а в зонах тектонических нарушений трещины прослеживаются на глубину сотен метров. В зоне выветривания интрузивных пород формируются подземные воды со свободной поверхностью, глубина залегания которых 1-10 м. в депрессиях рельефа и 30-40 м на возвышениях.

Источником питания водоносного комплекса являются атмосферные осадки, разгрузка подземных вод происходит в реки и море.

2.5. Закономерности распространения и характеристика экзогенных геологических процессов территории освоения

В настоящем разделе представлены результаты обобщения материалов, описывающих экзогенные геологические процессы и явления на территории железнодорожной линии Комсомольск-на-Амуре - Советская Гавань.

Процессы, связанные с действием силы тяжести.

Обвалы

Сильно расчлененный рельеф, повышенная сейсмическая активность, сложная тектоника, высокая трещиноватость горных пород и интенсивное техногенное воздействие при освоении исследуемой территории обуславливают широкое развитие и частую повторяемость горных обвалов.

Обвальные процессы значительное развитие получили в высокогорных областях Сихотэ-Алиньского хребта и представляют существенную

опасность для безопасной эксплуатации железнодорожного пути [Квашук, 2003]. В средне- и низкогорных областях обвалы наблюдаются реже и приурочены к выходам коренных пород на крутых склонах, а также в железнодорожных выемках.

Широкому развитию обвалов способствуют [Колтун, Квашук, 2009, 2010]:

- высокая степень расчлененности рельефа;
- повышенная тектоническая трещиноватость;
- морозное выветривание;
- интенсивное проявление неотектоники;
- высокая сейсмичность (7 - 8 баллов).

Из всех известных обвалов 68% приходится на высокогорье и только 15% - на среднегорные области, а остальные 17% - на эрозионные берега и подрезанные склоны и откосы.

В пределах Сихотэ-Алиньского хребта большое значение имеют экзогенные обвалы. Они удалены от эпицентральных зон землетрясений, отличаются малым объемом своей массы (не более 400-500 тыс. м³) и пластичностью смещенного материала. Все они приурочены к зонам тектонических нарушений, северная и северо-западная их экспозиция свидетельствует о главной роли морозного фактора выветривания.

Особенно широко развиты такие обвалы, где обвальные накопления покрывают коренные породы. Ориентировочно подсчитанные объемы этих накоплений составляют порядка 200 тыс. м³. Высокогорная часть Сихотэ-Алиньского хребта на 30-40% поражена обвально-осыпными процессами. Они развиты по стенкам цирков и распадков и приурочены главным образом к меловым эффузивам, вулканогенно-осадочным толщам, реже - к палеогенным эффузивам, гранитоидам в верховьях р.р. Гур, Акур, Ямби, Маломпу, Тумнин и др. Крутизна склонов колеблется от 50 до 60⁰, отно-

сительная высота падения достигает 400 м. Величина обломков составляет часто 2-3 м. Экспозиция обрушающихся склонов в основном северо-восточная. На участках развития интрузивных пород обвалы приурочены к верхним частям круговых распадков. Экспозиция склонов остается той же, крутизна уменьшается, размеры обломков прежние. На более низких отметках интенсивность обвальных явлений затухает и в средне - и низкогорных областях становится весьма незначительной. В таких областях развиты преимущественно обвалы – вывалы, приуроченные к естественным выходам коренных пород в крутых бортах долин рек. Объем обрушившихся масс редко достигает 100 м^3 . Размеры обломков разнообразной величины от 0.2 до 1.5 м. Экспозиция склонов северо-восточная или северо-западная.

Осыпи

Осыпи развиты в цирках, карах и на крутых, обрывистых склонах. Осыпями и обвалами поражено более 50% склонов долин и водоразделов. Наиболее распространены осыпные склоны на участках развития палеозойских и меловых интрузивных пород. Размеры отдельных площадей, занимаемых ими, колеблются от 50 м^2 до $0,8 \text{ км}^2$. Мощность таких тел - 1,5-3,0 до 5,0 м. Сложены они щебенисто-глыбовым материалом с суглинистым или дресвяно-суглинистым заполнителем. Наибольшие размеры – глыбовый материал, наблюдается в магматических породах. В пределах низкогорья осыпи развиты слабо и приурочены к обнажениям коренных пород. Такие они образуются за счет эрозионной деятельности водотоков.

Меловые эффузивные породы дают обломки в осыпях размером 0,15-0,4 м. В совгаванских и кизинских базальтах 0.3-0.6, нередко 1.0 м.

Подвижности осыпей способствует обильное выпадение атмосферных осадков, во время которых мелкодисперсный материал вымывается из осыпных тел, нарушая тем самым условия равновесия.

Большое влияние на распространение и режим осыпных процессов оказывает экспозиция склонов. На прогреваемой стороне возрастает пораженность крупными и активными осыпями. Тогда как на теневых склонах преобладают мелкие по объему слабоподвижные осыпи [Геология зоны БАМ..., 1988]

Лавины

Формирование и сход лавин зависит от мощности снегового покрова, особенностей метелевого переноса снега и его состояния, а также от сильной расчлененности и большой крутизны откосов.

Хр. Сихотэ-Алинь относится к районам со средней лавинной опасностью. Здесь преобладают сильно расчлененные среднегорья и низкогогорья высотой 1500-2200 м (редко до 2300 м) и с глубиной расчленения от 650-900 до 1200 м. Повторяемость схода лавин на естественных склонах один раз в 50 лет, а их объем колеблется от десятков до сотен кубических метров. Продолжительность лавиноопасного периода - с января по апрель месяц. Средняя мощность снежного покрова 80-90см.



Рис. 2.6. «Языки» снежной массы, достигшие ледового покрытия р. Тумнин (фото работников пути).

Наибольшую лавиноопасность представляют искусственные откосы и склоны железнодорожных выемок и полувыемок. На отдельных участках крутых склонов в эрозионных врезках (здесь высота снежного покрова до 3,5 м) встречаются осовы, падение снежных карнизов в эрозионных врезках. В период с 1998 г. по 2009 г. работниками Высокогорненской и Совгаванской дистанций пути было убрано порядка 26755 м³ снега, попавшего на путь в результате схода снежных лавин.

Оползни

Вдоль дороги Комсомольск - Советская Гавань, на отдельных участках склонов, лишенных древесной растительности, сложенных с поверхности рыхлыми отложениями мощностью от 1 до 5 м, наблюдается оползание грунтов, которое возникает в результате таяния мерзлых грунтов после ливневых дождей. Оползни характеризуются высоким содержанием (до 60-70% по весу) обломочного материала и угрожают нормальной эксплуатации железнодорожного пути.

Процессы, связанные с действием поверхностных и подземных вод.

Заболачивание

В районе исследований заболачивание проявляется вследствие обильных осадков в летнее время, паводков, пологих форм рельефа, широкого распространения глинистых мерзлых пород. Наиболее активны процессы заблачивания в межгорных впадинах, на поймах и надпойменных террасах рек Тумнин и Гур и пологих склонов долин (рис 2.7.).



Рис. 2.7. Заболоченный участок.

Наледи

Наледеобразование является широко распространенным процессом на исследуемой территории. Наледи встречаются на склонах, в основании склонов (рис 2.8.), на речных террасах, вдоль русел рек и ручьев, на откосах дорожных выемок и полувыемок. Все наледи в районе сезонные. Большая роль принадлежит русловым наледям. Формируются они на крупных реках Тумнин, Мули, Гур и др. с ноября по март, включительно. На мелких реках и ручьях, таких как руч. Мулинка, наледобразование начинается в конце октября, заканчивается в январе-начале февраля. В эти же сроки интенсивно формируются склоновые наледи и наледи искусственных выработок. Наледи, связанные с таликами в долинах рек развиваются всю зиму.



Рис.2.8. Формирование наледи, октябрь 2006 г. (фото С.В. Квашука).

Результаты и выводы.

Инженерно-геологические условия территории прохождения железнодорожной линии являются сложными, они обусловлены множеством факторов, которые затрудняют транспортное освоение всей территории района.

Железнодорожная линия расположена в пределах Сихотэ-Алинской складчатой системы, на территории тихоокеанского тектонического пояса. В геологическом строении принимает участие комплекс осадочных, вулканогенно-осадочных и магматических образований от нижнетриасовых до современных. Значительно развиты интрузивные породы, представленные разномасштабными массивами и многочисленными дайками разнообразного состава, преимущественно гранитоидного (диориты, гранодиориты, граниты), реже телами основных (габбро) и ультраосновных (перидотиты, пикриты и др.) пород.

Одной из проблем, затрудняющих проектирование новых и эксплуатацию уже существующих транспортных сооружений на территории горной страны, являются орографические условия района. По характеру рельефа у железнодорожной линии Комсомольск – Советская Гавань четко выделяются два участка: предгорный (от Комсомольска до Оунэ) и горный (Оунэ – Совгавань). В последнем можно выделить как самостоятельный участок пересечения главного хребта Сихотэ-Алинь (станции Косграмбо-Откосная, Кузнецовский, Соллу, Высокогорная). Для горных участков характерно широкое развитие опасных для эксплуатации железной дороги геологических процессов, среди которых наиболее распространены обвалы, осыпи, наледи, проявление которых может в некоторых случаях приводить к нарушению бесперебойности движения поездов.

Гидрографическая сеть района сложена речными системами рек Тумнин и Гур. Долины мелких рек и ручьев характеризуется V – образ-

ным профилем, что указывает на то, что реки не выработали свой профиль равновесия.

По характеру течения все реки относятся к горным с бурным течением, скорость которого 1.5-2.5 м/сек. Для русел рек характерно наличие большого количества перекатов и рукавов (проток). Колебания уровня и скорости течения воды находятся в значительных пределах в зависимости от выпадения атмосферных осадков. Гидрографическая сеть района прохождения трассы Комсомольск – Советская Гавань имеет очень сложный рисунок, что является ее характерной особенностью. Большинство участков линии проходит по прижигам к рекам, что в свою очередь вызывает множество проблем по обеспечению устойчивости насыпей и предотвращению размыва берегов, а так же при строительстве обходов опасных участков и строительстве двухпутных вставок. [Квашук, Киселев, Колтун, 2008, Колтун, Квашук 2009б]

Гидрогеологические массивы сложены интрузивными, метаморфизованными осадочными и эффузивными образованиями и содержат трещинные и трещинно-жильные подземные воды. Трещинные воды связаны с зоной экзогенного выветривания скальных пород. Проблемы при строительстве и эксплуатации выемок и нового тоннельного перехода будут вызывать наличие зон тектонических нарушений, сопровождающихся дроблением и смещением горных пород, часто крутопадающих, вызывающих интенсивную тектоническую трещиноватость и блочность горных пород и повышенную обводненность.

В соответствии с картами ОСР-97В и ОСР-97С общего сейсмического районирования железнодорожная линия характеризуется сейсмической интенсивностью в 8 баллов макросейсмической шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий.

Помимо обвалов, осыпей и снежных лавин, на территории Северного Сихотэ-Алиня распространены и другие экзогенные геологические процессы. Оползни возникают в основном на отдельных участках склонов, лишенных древесной растительности, сложенных с поверхности рыхлыми отложениями, мощностью от 1 до 5 м; они активируются в результате таяния мерзлых грунтов после ливневых дождей и характеризуются высоким содержанием (до 60-70% по весу) обломочного материала. В районе исследований проявляется заболачивание вследствие обильных осадков в летнее время, паводков, пологих форм рельефа, широкого распространения глинистых мерзлых пород. Наиболее активны эти процессы в межгорных впадинах, на поймах и надпойменных террасах рек Тумнин и Гур и пологих склонах долин. Широко распространенным процессом на исследуемой территории является наледеобразование. Наледи встречаются на склонах, в основании склонов, на речных террасах, вдоль русел рек и ручьев, на откосах дорожных выемок и полувыемок. Все наледи в районе сезонные. Большая роль принадлежит русловым наледям. Формируются они на крупных реках Тумнин, Мули, Гур и др. с ноября по март включительно. На мелких реках и ручьях, таких как руч. Мулинка, наледеобразование начинается в конце октября, заканчивается в январе - начале февраля.

Проанализировав инженерно геологические условия Северного Сихотэ-Алиня, которые классифицируются как сложные [Колтун, Квашук, 2009а,б,в, 2010б], можно сделать вывод, что при освоении и развитии всего региона наиболее опасными процессами являются гравитационные – обвалы, осыпи, вывалы и лавины, что требует более внимательного подхода к изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации транспортных и иных сооружений высокого уровня ответственности.

Глава 3. Транспортная система - причина изменения геологической среды

3.1. История постройки линии Комсомольск – Советская Гавань, характеристика методов ее сооружения как причин изменения геологической среды

Эта дорога была одной из важнейших дорог восточного БАМа, поскольку сразу же подключала его к морским перевозкам на Тихом океане. Силами Нижамурлага дорога начала строиться в конце 1939 года. К началу войны было уже уложено 180 км из 444 км рельсового пути и пробит один тоннель. Затем стройку приостановили.

В 1943 году после разгрома фашистов под Сталинградом строительство линии возобновилось. Мостовой переход через Амур был заменен паромно-ледовой переправой, а тоннели — обходными участками с кратной тягой поездов, что позволило пропускать воинские эшелоны уже летом 1945 года. Сооружение дороги производилось СУ № 500. Основной рабочей силой были заключенные ГУЛЖДС НКГБ, а также несколько тысяч мобилизованных немцев из Поволжья и 10-15 процентов вольнонаемных (охрана, медработники, бухгалтерия).

К июлю 1945 года строительство дороги Комсомольск – Советская Гавань было завершено. По ней осуществлялось передвижение грузов, в первую очередь для снабжения Северо-Тихоокеанской флотилии, которой предстояло освобождать Южный Сахалин и Курильские острова от японцев [Еланцева, 1995].

В постоянную эксплуатацию эту дорогу приняли в 1947 году. Здесь открыли 40 станций и разъездов. Был построен тоннель протяженностью в 400 м, более 50 водопропускных сооружений и другие сооружения. В настоящее

время закончено строительство нового Кузнецовского тоннеля длиной 3800 м, до сдачи данного сооружения в эксплуатацию современным локомотивам приходилось преодолевать Сихотэ-Алиньский хребет по обходу с уклоном пути в 25 промилей.

Основными методами разработки прочных скальных пород в то время были буровзрывные работы (БВР). Применение подобных методов приводит к ряду неблагоприятных последствий, таких как увеличение ширины раскрытия трещин. Данное обстоятельство объясняет тот факт, что максимальные объемы обвальных масс наблюдались на линии в 60-х годах прошлого века, когда объемы обрушений составляли 800 – 1200м³.

3.2. Условия и причины активизации обвальных процессов в перевальной части линии Комсомольск – Советская Гавань

3.2.1 Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного алевролитами (км 115)

Обвалоопасный склон расположен на участке км 115 ПК 5+41- км 120 ПК 7+50 вблизи станции Гурское. Полувыемка проходит по прижиму к реке Гур (рис. 3.1).

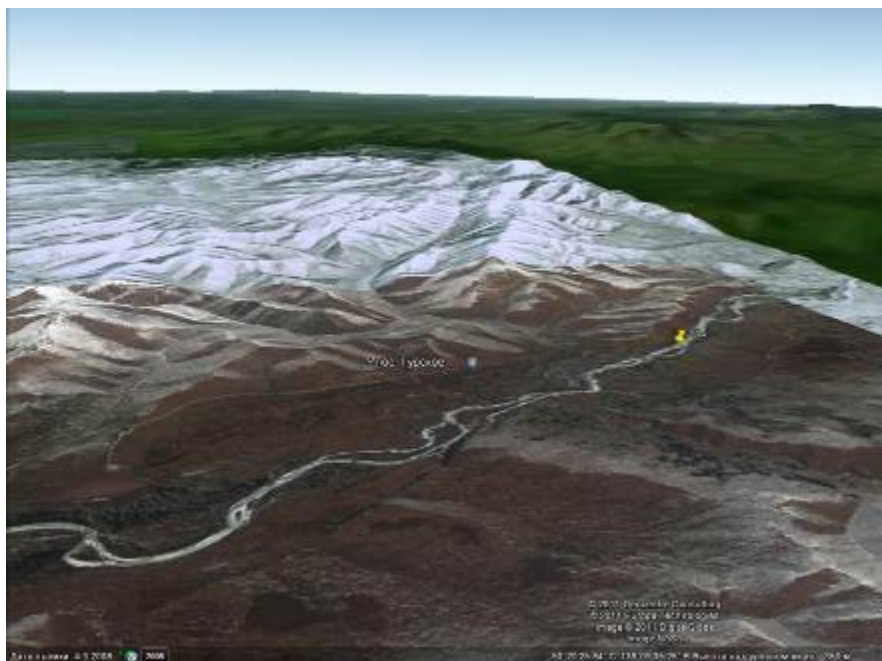


Рис. 3.1. Фото участка со спутника желтая метка-участок км 115 Пк 8.

Растительность на всем участке довольно богатая, главным образом представлена березами и лиственницами с мощной корневой системой.

В геологическом строении полувыемки принимают участие алевролиты, песчаники и их переслаивания, относящиеся к удоминской свите (рис. 3.2).

Участок расположен в области со сложными инженерно-геологическими условиями. Район станции Гурское – зона 7 балльных землетрясений [Общее сейсмическое районирование, 1998]. Это граница (по субширотному разлому) двух разновозрастных террейнов. Севернее разлома преобладают осадочные и вулканогенные породы, южнее – интрузивные. В нескольких километрах к западу от участка широтный разлом сочленяется с Центральным Сихотэ-Алиньским сдвигом (рис. 3.2.). Ввиду расположения откоса вблизи разлома и высокой сейсмичности района осыпные процессы будут напрямую зависеть от сейсмической активности и разломной тектоники.

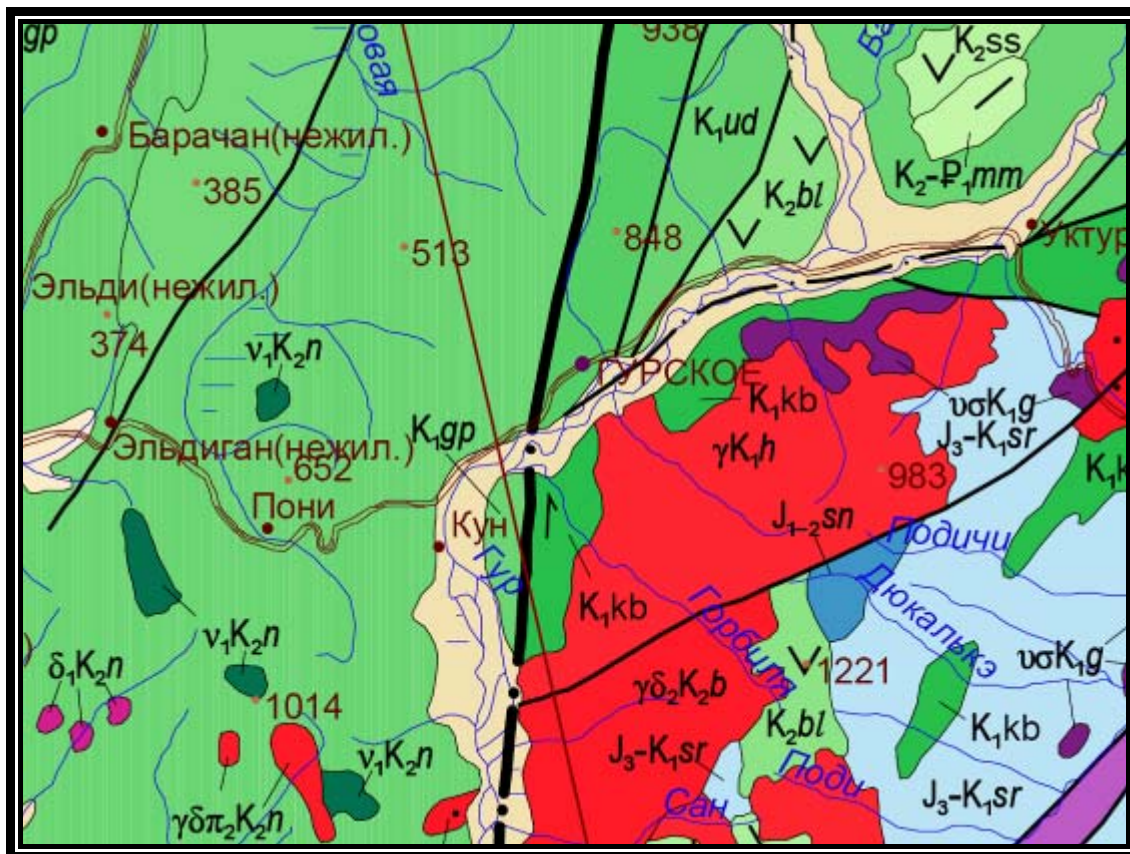
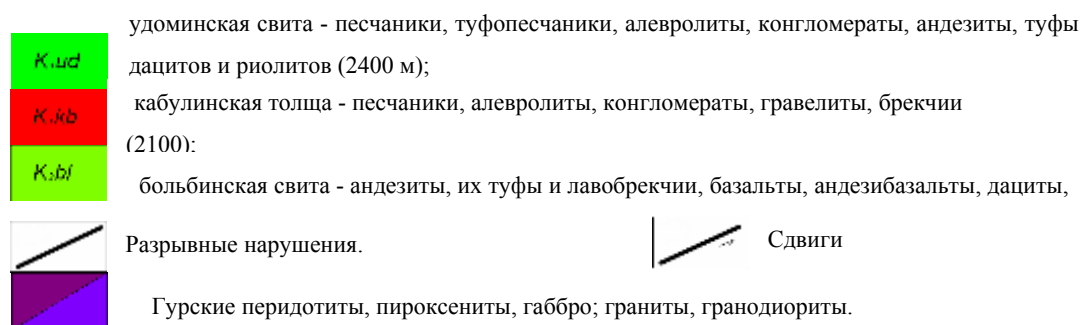


Рис. 3.2. Фрагмент геологической карты района (Карта составлена по материалам ФГУГГП "Хабаровскгеология" Авторы: А.Ф. Васькин, В.А. Гурьянов и др. ФГУГГП "Дальгеофизика", 2004).



На склоне имеются признаки периодического обводнения.

Породы участка значительно трещиноватые, среднее число крупных трещин на 1 метр длины колеблется от 10 до 35. Ширина раскрытия трещин достигает сантиметра. Большинство трещин заполнено песчано-глинистым

наполнителем, в некоторых местах трещины залечены кварцем. Глубина трещин варьирует от 0.3 до 5 м и более. Трещины обнажения хаотические ассиметричные [Чернышев, 1983]. Поверхности стенок в основном гладкие.

Трещины обнажения являются трещинами смешанного системного и хаотического типов. На фоне общего хаоса прослеживается три основные системы трещин (рис. 3.3):

А (наклонная) – азимут падения 109° ЮВ, угол падения 25° ;

Б (субвертикальная) – аз. пад. 330° СЗ, угол падения 80° ;

В (субвертикальная) – аз. пад. 180° ЮЗ, угол падения 84° .

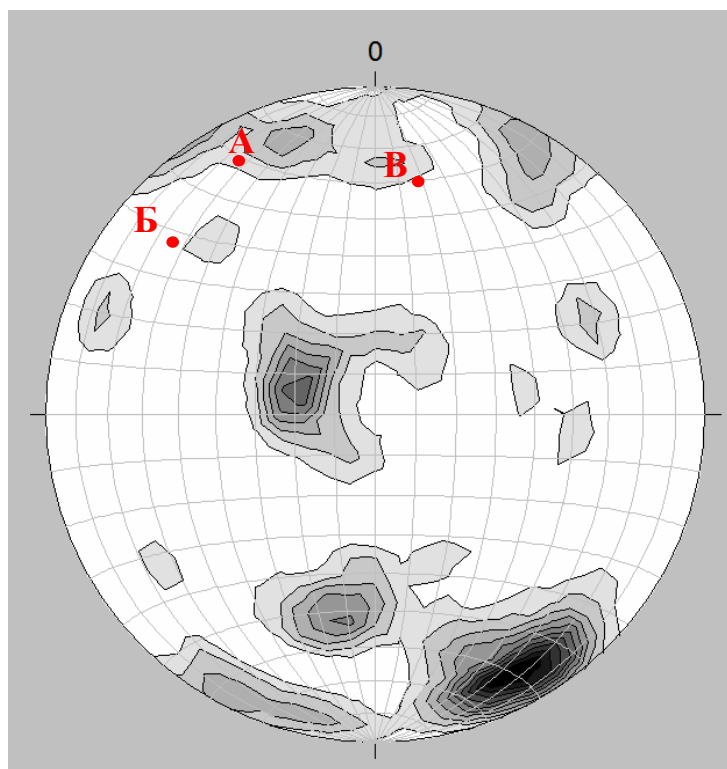


Рис. 3.3 Диаграмма трещиноватости алевролитов.
(Нижняя полусфера, полюса трещин).

Красными точками обозначено расположение полюсов откоса относительно основных систем трещин. Исходя из картины, представленной на диаграмме, можно сделать вывод, что большинство трещин наклонной системы направлены в ту же сторону что и откос, это свидетельствует о том, что при

потере устойчивости вектор падения разрушенных блоков будет направлен в сторону пути.

Со времени постройки полувыемки можно выделить 2 основных этапа: первый – сооружение полувыемки в 1940 годах, и второй это подрезка обвалоопасного откоса с целью увеличения улавливающей полки весной 2011 г.

Инженерно-геологическая съемка участка для определения обвальной опасности откоса, была проведена автором в октябре 2007 года.

Во время съемки полувыемка имела следующие очертания: угол заложения откоса - 55° , высота откоса - 20 м., крутизна склона - 40° при высоте 60 м (рис. 3.4. а.). В результате проведенных работ участок классифицирован как опасный.



Рис. 3.4. Км 115: а) октябрь 2007 г.; б) март 2011г.

Повторная инженерно-геологическая съемка участка была проведена в марте 2011 года, после подрезки откоса (рис. 3.4. б.) ставшей причиной обвала слабых горных пород с выходом на путь. В результате прошедших событий крутизна откоса в некоторых частях участка достигла 80° при той же высоте. После анализа изменившихся параметров участок можно классифицировать как особоопасный.

Катастрофическое обрушение откоса на участке с заполнением кювет-траншеи и выходом на путь объемом около 5 тыс. м³ произошло 03 марта 2011 г. в 16 ч. 30 мин. (рис. 3.5.).

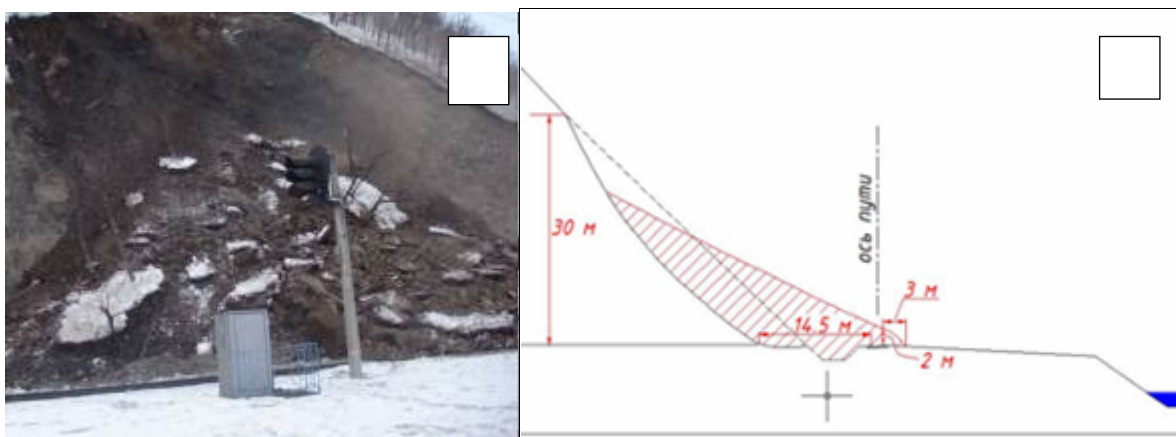


Рис. 3.5. Км 115 ПК 8: а) фото обрушения 3 марта 2011 г.; б) схема обрушения.

Первая, мгновенная фаза обвала, продлилась 3 минуты и была зафиксирована на видео. В последующие часы и дни происходили обрушения отдельных обломков, глыб и блоков.

В момент исследований по верху откоса зафиксировано множество трещин отрыва, по которым формировались новые обрушения (Рис 3.6.).



Рис. 3.6. Трещины по верху откоса (Фото автора).

Здесь же с марта 2011 по май 2012 г произошло несколько крупных событий, одно из которых также с выходом осыпавшейся породы на путь. Участок приобрел новые очертания, которые подвержены постоянным изменениям.

После обвалов, на вскрытых коренных обнажениях наблюдается множество зеркал скольжения, что так же говорит об активной неотектонике района и наличии предопределенных плоскостей скольжения (зон ослабления) (рис. 3.7.). Некоторые штрихи и зеркала свидетельствуют о правосторонних сдвигах и взбросово-сдвиговых смещениях.

На участке встречается множество разрывных нарушений разных направлений. На рис. 3.7. наблюдается три пересекающихся разрыва: 1 – зона милонитизации, азимут простирания 10° , угол падения 80° , 2 - азимут простирания разрыва 235° , угол падения 60° , 3 – азимут 164° угол падения 35° . Наличие подобных зон прослеживается на протяжении всей полувыемки.



Рис. 3.7. Пересекающиеся разрывы.

Выводы:

Участок сложен сильнотрещиноватыми алевролитами, песчаниками и их переслаиваниями, обладающими невысокой прочностью и значительной размягчаемостью.

1. Для участка характерно наличие разновременных правосторонних и взбросово-сбросовых перемещений.
2. Ввиду высокой сейсмичности осыпные процессы на подрезанном склоне продолжатся до уполаживания его до угла естественного откоса. Для пород данного генезиса он составляет порядка 45-50°.
3. По степени опасности участок классифицируется как особоопасный.

3.2.2 Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного андезитами (км 197)

Обвалоопасный участок, расположенный в пределах Км 197 ПК 6 – КМ 198 ПК 9+90, имеет протяженность почти 1,5 км. Его характерной особенностью являются небольшие высоты откосов и их фактически субвертикальное положение.

Участок находится в самом центре «петли» железной дороги, для прохождения которой поездами приходится применять усиленную тягу.



Рис. 3.8. Фрагмент геологической карты района (Карта составлена по материалам ФГУГГП "Хабаровскгеология" Авторы: А.Ф. Васькин, В.А. Гурьянов и др. ФГУГГП "Дальгеофизика", 2004).

- 29102
k₁b
k₁kb-ключевская свита –алевролиты, песчаники, аргиллиты, редко конгломераты, кремнисто-глинистые породы
- 31001
J₃-K₁sr
Юрская система, верхний отдел – меловая система, нижний отдел. Светлореченская толща – алевролиты, песчаники, реже кремнистые и кремнисто-глинистые породы, базальты и их туфы, авгититы, гравелиты, конгломераты
- 23201
K₂sr
k₂tt-татаркинская свита - дациты, трахидациты, риолиты, риодациты, их туфы, ингимбриты, песчаники, туфоконгломераты
- 17101
γ₃P₁V
γ₃P₁V - палеоценовые интрузии. Третья фаза - граниты; субщелочные лейкограниты

В геологическом строении участка принимают участие алевролиты и песчаники ключевской свиты, риолиты и их туфы татаркинской свиты. Породы, слагающие непосредственно изучаемый склон,- андезиты.

Породы, слагающие откос, сильновыветрелые и трещиноватые, характеризуются прерывистой системной сетью трещин. Помимо основных систем на обнажении выделяется множество хаотичных трещин и сетей трещин, развитых совместно с основными. Для более детального представления о со-

стоянии массива использованы результаты замеров трещиноватости на участке (рис. 3.9.).

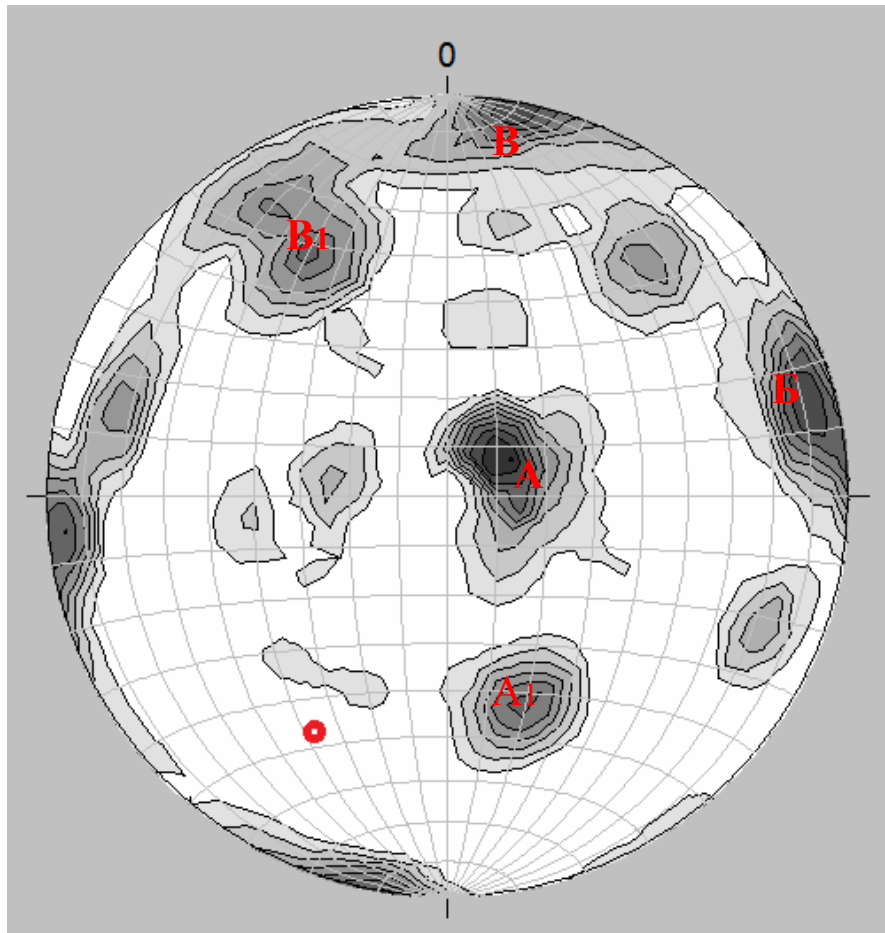


Рис. 3.9. Диаграмма трещиноватости андезитов в истинных азимутах (нижняя полусфера, полюса трещин).

А (наклонная) – азимут падения 235° ЮЗ, угол падения 15° ;

А₁ (крутонаклонная) – азимут падения 340° СЗ, угол падения 45° ;

Б (субвертикальная) – аз. пад. 256° СЗ, угол падения 80° ;

В (субвертикальная) – аз. пад. 191° СВ, угол падения 85° ;

В₁ (крутонаклонная) – аз. пад. 151° СВ, угол падения 60° .

Красной точкой отмечен полюс откоса, характеризующийся азимутом простирания 30° и углом падения 58° .

Анализируя расположение основных систем трещин относительно пути видно, что преобладают субвертикальные трещины, параллельные железнодорожному полотну, горизонтальные трещины представлены двумя системами А и А₁. Трещины системы А практически горизонтальны или пологопадающие под углом 15-20°; трещины системы А₁ в большинстве своем направлены вглубь массива под углом 40-45°. Система В дробит откос на множество параллельных плоскостей с различным шагом, изменяющимся по простиранию откоса от 3 до 30 см. Чаще всего встречаются отдельности с расстоянием между трещинами в 10-15 см.



Рис 3.10. Пример блочности участка.

Распределение трещиноватости вдоль откоса хаотично [Квашук, Колтун, Злобин, 2010а, 2011а]. Встречаются зоны с повышенной трещиноватостью (зонами дробления). Можно выделить 6 основных зон вдоль участка протяженностью порядка 200 метров:

1 - ПК 6+45 – трещина, сопровождающаяся дроблением: азимут простирания 270°, угол 35°;

2 - ПК 6+70 – мощность зоны дробления более 5 м ее ориентировка: азимут простирания 160°, угол 80°;

3 - ПК 6+95 – 2-х метровая зона с повышенной трещиноватостью;

4 - ПК 7+70 – мощность зоны 15-17 м, на границе этой зоны - дробление мощностью 10-15 см. Ориентировка: азимут простирания 100° , угол 35° ;

5 - ПК 7+90 – 12-ти метровая зона повышенной трещиноватости, причем первые 5 метров трещиноваты более интенсивно, чем остальные;

6 - ПК 8+49 – зона повышенной трещиноватости и выветрелости.

Важное значение в оценке трещиноватости имеет значение коэффициента трещинной пустотности.

По результатам расчета, сделанного на 8 участках с разной густотой трещин, среднее значение $K_{тр} = 5.9\%$, т. е породы данного участка классифицируются как *сильнотрещиноватые*.

Согласно классификации горных пород по степени трещиноватости при малой пустотности ($\Pi=0.16$) и очень густой блочности (3.65), андезиты слагающие участок относятся к классу А-4, а коэффициент фильтрации для них равен приблизительно 10^{-4} [Рац, 1970].

Коэффициент трещинной блочности для пород участка $K_{тр.бл.} = 0.0022$.

На рис 3.11. приведена схема характерного для участка поперечного профиля с преобладающими поверхностями ослабления, обозначенными красными линиями.

Угол заложения откоса варьирует от 50° до 80° при высоте откоса 15-25 метров. Высота откоса вместе со склоном достигает 35м. Высота всей сопки более 80 метров.

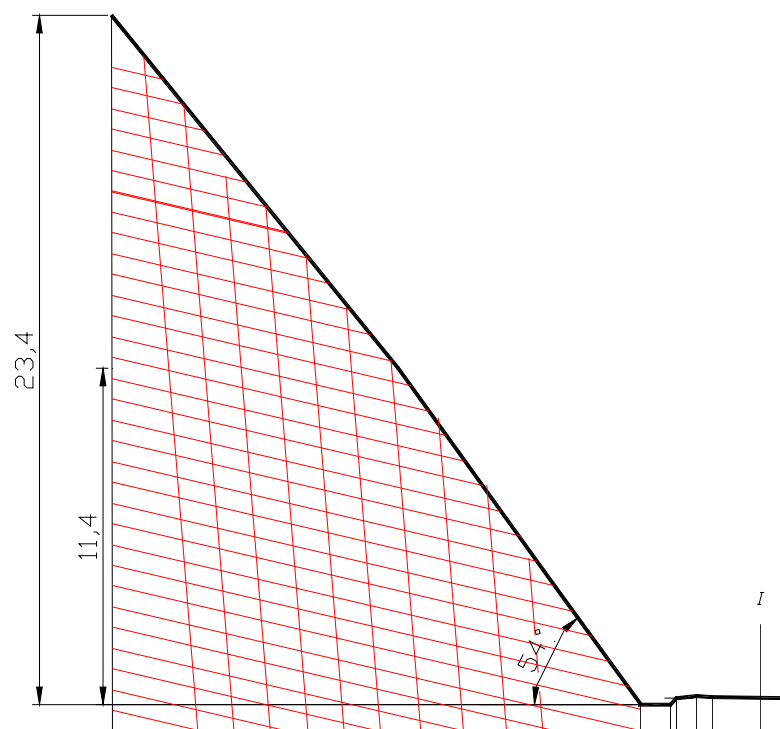


Рис. 3.11. Схематический поперечный профиль участка с поверхностями ослабления, обозначенными красными линиями.

Угол заложения откоса варьирует от 50 до 80° при высоте откоса 15-25 метров. Высота откоса достигает 35 м. Высота всего откоса вместе с природным склоном более 80 метров.

На рис 3.12. можно наблюдать участок, который был подрезан с целью увеличения ширины улавливающей полки. В отличие от других участков, на которых так же было проведено данное мероприятие, 197 км можно охарактеризовать небольшими объемами работ.



Рис. 3.12. Характерный вид участка.

Мониторинг за состоянием описываемого участка особенно важен для линии. В рамках строительства Кузнецовского тоннельного перехода было построено множество вспомогательных выемок для нового железнодорожного пути [Квашук, Колтун, Злобин, 2010б]. Новые выемки расположены напротив рассматриваемого участка и представлены породами того же генетического типа. Высота откосов новых выемок достигает 50 и более метров, при довольно крутых углах заложения откосов $-50-60^\circ$. При строительстве новых выемок соблюдались современные нормы и правила, в частности, они построены уступами, что делает их устойчивее, но возможность обрушения вследствие повышенной трещиноватости все же не может быть исключена. На всем протяжении новых выемок наблюдается большое количество существенных обвалов. [Колтун, Квашук, 2009г.]

Для проведения мониторинга за состоянием откоса и определения скорости денудации на участке в 2010 году была заложена фотограмметрическая

«площадка», но из-за искусственной подрезки склона в 2011 году данные по скорости разрушения склона не являются достоверными. Тем не менее благодаря проделанной работе подобные исследования можно проводить в будущем.

Выводы:

1. Участок сложен сильнотрещиноватыми андезитами. Угол заложения откоса варьирует от 50 до 80° при высоте откоса 15-25 метров.
2. В обнажении преобладают субвертикальные трещины, параллельные ж. д. пути. Вектор падения трещин направлен в сторону пути.
3. На обнажении можно выделить 6 зон с повышенной трещиноватостью, сопровождающихся дроблением.
4. По степени опасности участок классифицируется как опасный.

3.2.3 Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного андезитами (км 201)

Участок расположен в перевальной части линии на перегоне Откосная – Кузнецовский. В районе Км 201 пк 4+50, железнодорожной выемкой вскрыт скальный массив, длина которого вдоль пути составляет 200 метров. Наиболее обвалоопасная часть участка - это обнажение, длина которого 100 м. Высота над уровнем моря равна 657 м.



Рис. 3.13. Фрагмент геологической карты района (Карта составлена по материалам ФГУГГП "Хабаровскгеология" Авторы: А.Ф. Васькин, В.А. Гурьянов и др. ФГУГГП "Дальгеофизика", 2004).

- k₁kb-ключевская свита –алевролиты, песчаники, аргиллиты, редко конгломераты, кремнисто-глинистые породы
- Юрская система, верхний отдел – меловая система, нижний отдел. Светлореченская толща – алевролиты, песчаники, реже кремнистые и кремнисто-глинистые породы, базальты и их туфы, авгититы, гравелиты, конгломераты
- k₂tt-татаркинская свита - дациты, тирахидациты, риолиты, риодациты, их туфы, ингимбриты, песчаники, туфоконгломераты
- γ₃P₁v - Палеоценовые интрузии. Третья фаза- граниты; субщелочные

Породы участка – андезиты. По условиям образования породы эффузивные кайнотипные [Ломтадзе, 1984].

Правый откос выемки по ходу километров не представляет опасности для железнодорожного полотна (рис 3.14), его максимальная высота 13.8 м, признаков разрушения в пределах откоса не наблюдается.



Рис. 3.14. Фото правого откоса участка.

Левый откос представляет собой «белую скалу», находящуюся в пределах шестого пикета км 201 (Км 201 пк 6), обрамленную по контуру густой растительностью (рис. 3.15). Остальная часть выемки густо залесена, главным образом это многочисленные кустарники. Начиная с середины склона, кустарники уступают место лиственнице, березе и другим лиственным породам. Высота в средней части участка 60.5 м, а угол заложения откоса равен 44° . На протяжении всего участка активно проявляются обвалы и осыпи, на всем пространстве обнажения имеются нависшие блоки. В момент обследования в непосредственной близости от левого рельса лежали небольшие обломки обрушившейся породы, помимо этого вдоль пути лежат обломки разных размеров, многие из которых были убраны после падения, из середины колеи (по информации, полученной от работников Высокогорненской дистанции пути).



Рис. 3.15. Левый откос выемки по ходу километров.

Породы сильно трещиноваты. [Квашук, Колтун, Злобин. 2010в, 2011а]. Трещины обнажения являются трещинами смешанного системного и хаотического типов. То есть на фоне общего хаоса прослеживается три системы трещин (рис. 3.16):

А (наклонная) – азимут падения 323°СЗ , угол падения 30° ;

Б (субвертикальная) – аз. пад. 330°СВ , угол падения 80° ;

В (субвертикальная) – аз. пад. 261°СЗ , угол падения 86° .

Ориентировка откоса: азимут простирания 305°СЗ , угол падения 60° .

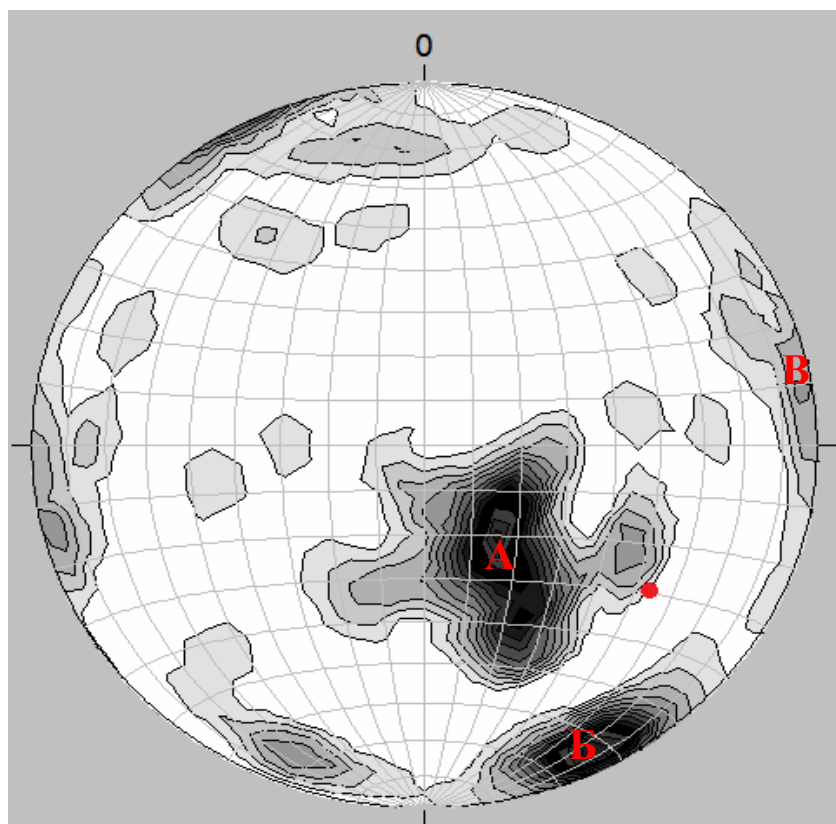


Рис. 3.16. Диаграмма трещиноватости андезитов в истинных азимутах нижняя полусфера, полюса трещин (красной точкой указан полюс откоса).

Трещины системы А ровные, открытые, шириной 0.1-0.5 см, шаг между трещинами варьирует от 3 до 50 см. Трещины систем Б и В вертикальные, волнистые по падению и прямолинейные по простиранию, шириной 0.5 – 1 см, шаг между трещинами 15 – 20 см, в большинстве своем трещины слабо раскрытые и заполнены песчано-глинистым заполнителем. По характеру поверхности стенки трещин беспорядочно шероховатые.

Значения трещинной пустотности (Π) и блочности (δ) [Рац, 1968, 1970] для данного участка следующие: $\Pi = 0.11$ см; $\delta = 3.67$ см

Согласно классификации горных пород по степени трещиноватости при малой пустотности и очень густой блочности, породы относятся к классу А-4, а коэффициент фильтрации для них равен приблизительно 10^{-4} .

Коэффициент трещинной блочности для пород участка $K_{тр.бл.} = 0.0034$.

Падение трещин относительно оси пути не выгодно, т.к. вектор падения трещин направлен в сторону пути (рис 3.17).

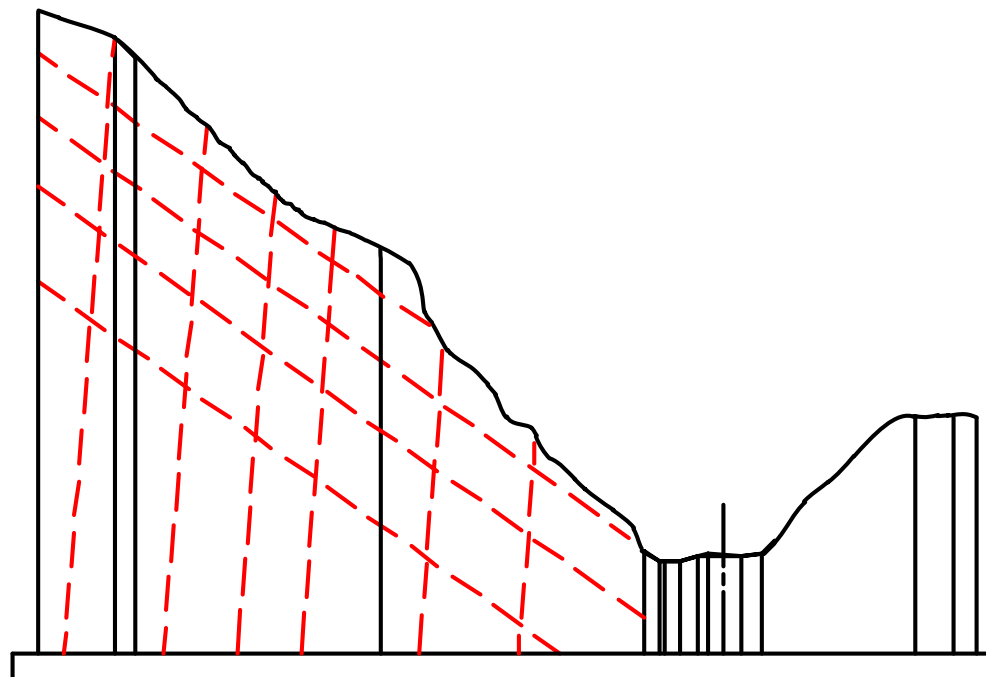


Рис. 3.17. Схематический поперечный профиль выемки с поверхностями ослабления.

Важные сведения для инженерно-геологической оценки состояния пород, дает расчет степени трещиноватости горных пород участка в целом.

Расчет коэффициента трещинной пустотности сведен в таблицу. По результатам расчета, сделанного на 5 характерных участках с разной густотой трещин, среднее значение $K_{тр} = 8.2\%$, это свидетельствует, что породы данного участка *сильнотрещиноватые* (рис. 3.18.).



Рис. 3.18. Форма поверхности трещин в плане.

Если рассматривать каждую площадку изучения трещиноватости, то весь откос можно разделить на 3 участка – среднетрещиноватый, сильнотрещиноватый и очень сильно трещиноватый (рис. 3.19.) .

В результате данного исследования обвалоопасную выемку можно разделить по степени трещиноватости на 3 участка, но необходимо учитывать, что подобное деление условно, поскольку всегда встречаются как зоны с повышенной так и с пониженной густотой сети трещин. Данные границы (рис. 3.19) проведены по преобладающим значениям коэффициента трещиновой пустотности и густоте трещин [Квашук, Колтун, Злобин. 2010в, 2011а].



Рис. 3.19. Панорамный снимок левого откоса выемки с границами зон трещиноватости.

В *первой* зоне преобладают породы очень сильнотрещиноватые, во *второй* – среднетрещиноватые, а породы *третьей* зоны преимущественно сильнотрещиноватые.

В 2010 году с целью увеличения улавливающей полки был подрезан обвалоопасный склон. Улавливающая полка была увеличена до 8 метров. Для участка коэффициент угрожаемости [Ломтадзе, 1977] до реконструкции составлял $K_{угр} = 0,45$, после расчистки скального откоса $K_{угр} = 0,89$, то есть несмотря на проведенные мероприятия ширина улавливающей полки все равно не достаточна для обеспечения безопасности железнодорожного полотна. Участок остался угрожаемым.

Выводы:

1. Участок сложен сильнотрещиноватыми риолитами.
2. По значению коэффициента трещинной пустотности участок можно разделить на 3 зоны.
3. Вектор падения трещин направлен в сторону пути.
4. По степени опасности участок классифицируется как особоопасный.

3.2.4 Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного алевритами (км 224)

Обвалоопасный склон полувыемки, находящейся слева по ходу километров протяженностью 900 м, расположен в пределах КМ 224 + 200 - КМ 225 + 100. Высота участка над уровнем моря равна 419 м.

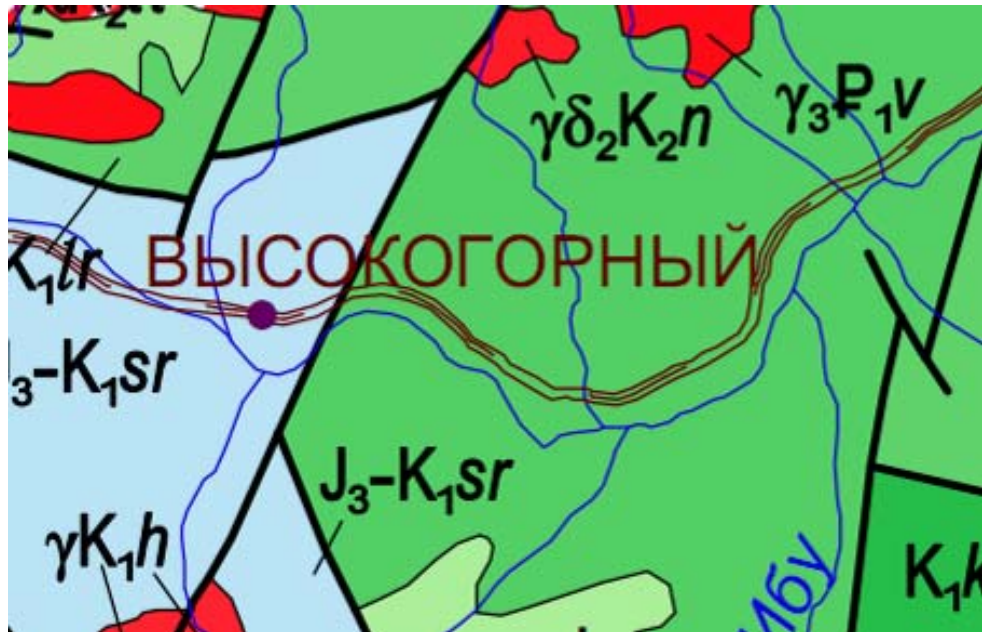


Рис 3.20 Фрагмент геологической карты района (Карта составлена по материалам ФГУГПП "Хабаровскгеология" Авторы: А.Ф. Васькин, В.А. Гурьянов и др. ФГУГПП "Дальгеофизика", 2004).

- | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <div style="border: 1px solid black; background-color: #e0f0ff; padding: 2px; width: 50px; text-align: center;">31001
J₃-K₂</div> | Юрская система, верхний отдел – меловая система, нижний отдел. Светлореченская толща – алевролиты, песчаники, реже кремнистые и кремнисто-глинистые породы, базальты и их туфы, авгититы, гравелиты, конгломераты |
| <div style="border: 1px solid black; background-color: #90ee90; padding: 2px; width: 50px; text-align: center;">29102
K₁h</div> | K ₁ kb - ключевская свита – алевролиты, песчаники, аргиллиты, редко конгломераты, кремнисто-глинистые породы. |
| <div style="border: 1px solid black; background-color: #ff0000; padding: 2px; width: 50px; text-align: center;">17101
γ₃P₁v</div> | γ ₃ P ₁ v - палеоценовые интрузии. Третья фаза – граниты, субщелочные лейкограниты |
| <div style="border: 1px solid black; background-color: #90ee90; padding: 2px; width: 50px; text-align: center;">27202
K₁lr</div> | K ₁ lr - ларгасинская свита, алевролиты, аргиллиты, песчаники, гравелиты, конгломераты, туффиты. |

Полувыемка сложена породами валанжинского яруса, которые представлены сланцеватыми алевролитами низкой прочности. Выветрелость пород откоса сильная (рис 3.21) [Квашук, Колтун, Злобин, 2010а]. Алевролиты, слагающие откос, значительно трещиноватые, среднее число трещин на 1 метр длины равно 10-40, глубина достигает 10 метров. Частично они заполнены мелкоземом, и раскрыты в среднем на 0,5 см, поверхности стенок неровные, но гладкие. На склоне присутствуют следы периодического обводнения.



Рис. 3.21. Характерный вид участка.

Участок на всем протяжении подвержен обвальным явлениям, встречается несколько довольно крупных осыпей. По верху склона наблюдаются неустойчивые валуны, которые ставят под угрозу обеспечение безопасности железнодорожного пути. Геометрические характеристики склона весьма неблагоприятны. Высота откоса вместе со склоном достигает 50 м и более, при этом угол заложения откоса колеблется от 40 до 65⁰. На склонах явно видны границы разрыва, по которым может произойти обрушение.

Падение сланцеватости вследствие интенсивной перемятости слоев неупорядоченно, но чаще всего падает в сторону оси пути. Однако из-за невысокой устойчивости пород к выветриванию даже при обратном падении сланцеватости в основании откоса скапливается обломочный материал в виде осыпей и обвалов диаметром от 5 до 40 см и более, который со временем разрушается до плоских фракций размером от 1-3 см до нескольких мм.

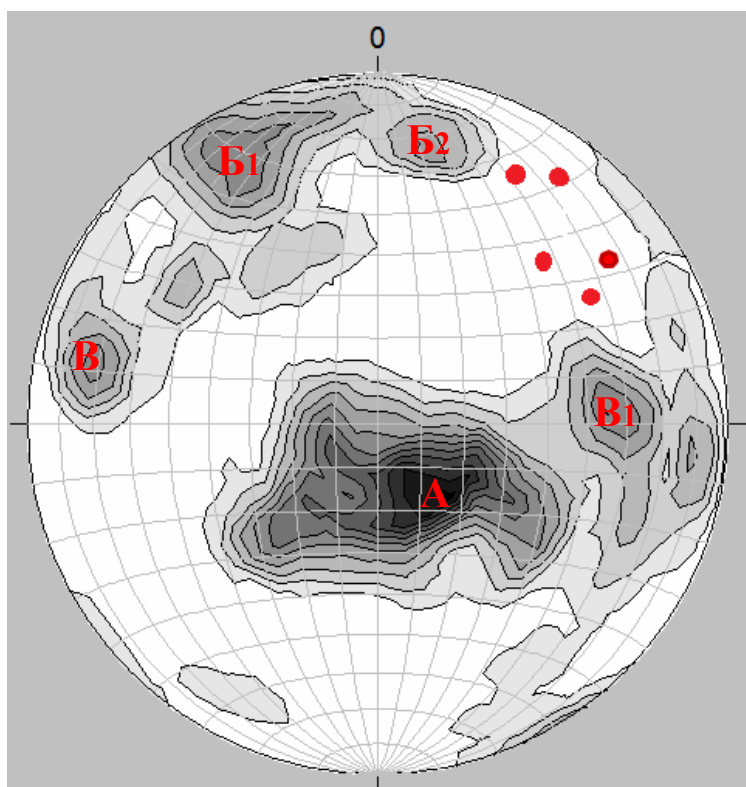


Рис. 3.22. Диаграмма трещиноватости алевролитов.
(Нижняя полусфера, полюса трещин).

На диаграмме можно проследить несколько основных направлений систем трещин:

А (наклонная) – азимут падения 323° СЗ, угол падения 25° ;

Б₁ (крутопадающая) – аз. пад. 152° ЮВ, угол падения 65° ;

Б₂ (крутопадающая) – аз. пад. 191° ЮЗ, угол падения 70° ;

В (крутопадающая) – аз. пад. 101° ЮВ, угол падения 75° ;

В₁ (крутопадающая) – аз. пад. 267° ЮЗ, угол падения 65° .

Вдоль откоса наблюдается множество зеркал скольжения, на некоторых имеются направленные штрихи. Используя ориентировки зеркал и штрихов скольжения с известными кинематическими характеристиками, реконструировались локальные поля напряжений [Шерман, Днепровский, 1989], которые в большинстве своем отвечают сдвиговому геологическому типу [Anderson, 1951], для которого характерны субгоризонтальные

положения осей сжатия и растяжения. [Кудымов, Колтун, Злобин, 2011, 2014]

Учитывая неоднородность распределения систем трещин, их густоты, раскрытости и размеров, важно иметь представление о степени трещиноватости горных пород участка в целом. Среднее значение коэффициента трещинной пустотности, полученное по результатам расчета, сделанного на 6 участках с разной густотой трещин, $K_{тр} = 5.4\%$, т.е породы данного участка классифицируются как *сильнотрещиноватые*.

Особое внимание на данном участке уделено определению блочности (b , см) и пустотности (Π , см) пород.

Согласно классификации горных пород по степени трещиноватости при малой пустотности ($\Pi = 0.1$ см) и очень густой блочности ($b = 3.38$ см), алевролиты слагающие участок относятся к классу А-4, а коэффициент фильтрации для них равен приблизительно 10^{-4} [Рац, 1968,1970].

Коэффициент трещинной блочности для пород участка $K_{тр.бл.} = 0.0014$.

Вследствие повышенной трещиноватости активнее всего на участке проявляются осыпи. По данным журнала, предназначенного для наблюдений за состоянием земляного полотна, за период с 2002 по 2007 год суммарный объем убранной осыпей на данном участке составляет 2025 м³.

Таблица 3.1. Статистика очистки осыпей с основания откоса

год	Уборка осыпей, очистка улавливающей полки, м ³	Оборка блоков скалолазами, м ³
2002	30	работы не производились
2003	работы не производились	120
2004	45	51
2005	205	работы не производились
2006	660	работы не производились
2007	245	работы не производились
2008	840	100
Σ	2025	271

На всем участке имеется единственное защитное сооружение - подпорная конструкция (рис. 3.23.), препятствующая попаданию мелких скальных обломков на путь, но ее размеры недостаточны, чтобы обеспечить безопасную эксплуатацию пути на данном участке. Плиты были установлены весной 2009 года, автором ведется наблюдение за деформациями данного сооружения с мая того же года (рис. 3.24, а, б). С целью наглядно зафиксировать изменения был применен метод совмещения снимков при помощи графических редакторов. В результате на итоговом снимке видны значительные изменения - за 2 месяца стенка деформировалась из-за вывалов обломков значительных размеров. Также можно наблюдать увеличение конуса осыпи за стенкой фактически в 2 раза. В последующие 2 года значительных деформаций стенки не наблюдалось, только мелкие отколы бетона и трещины.



Рис. 3.23. Подпорная стенка, заполненная обвалившимися обломками разного диаметра.

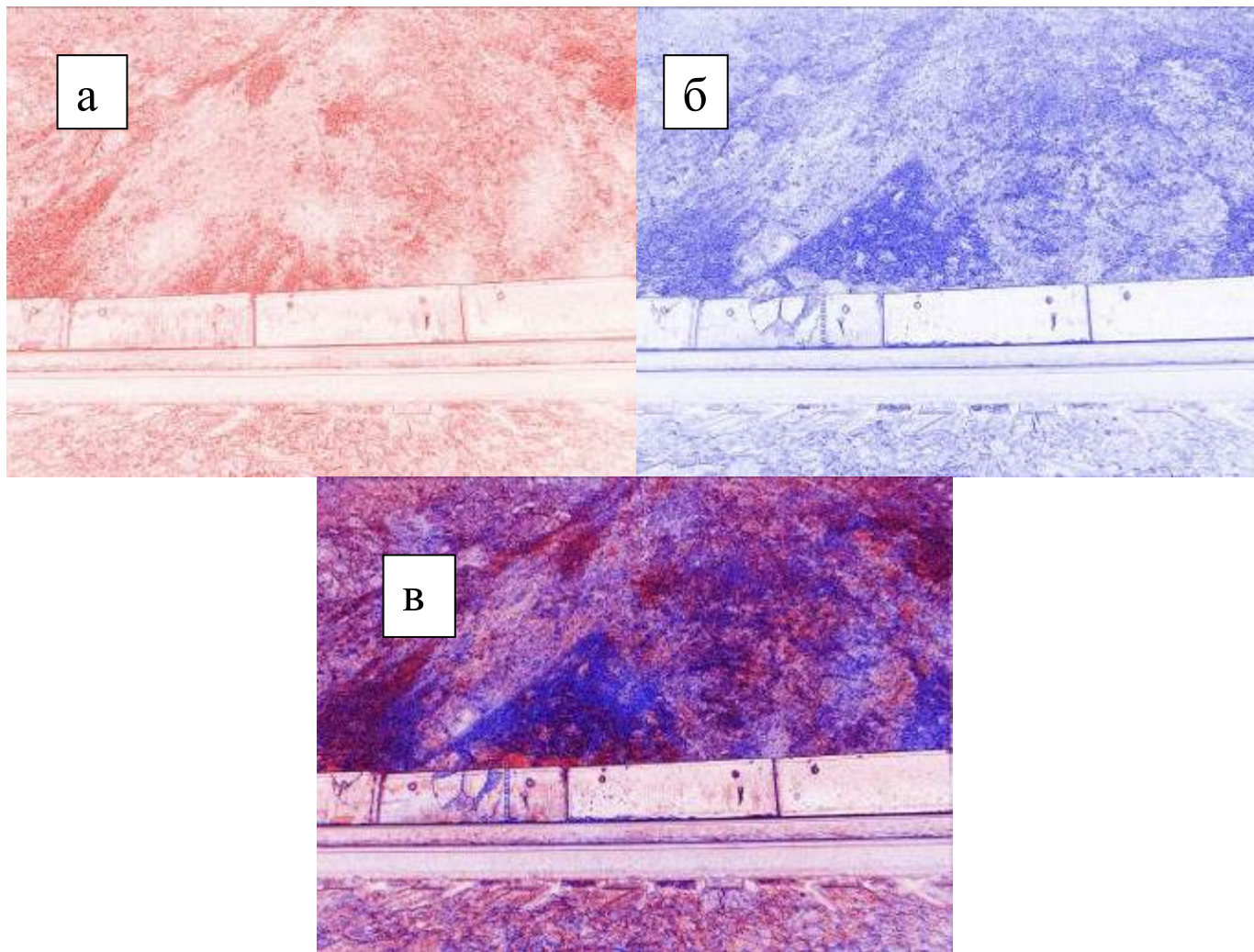


Рис. 3.24. Метод фотоплощадок: а) фото участка 20 мая 2009 г., б) фото участка 31 июля 2009 г., в) совмещенные снимки (синим цветом показаны изменения).

На протяжении остальных 800 метров участка защитных сооружений, которые могли бы предотвратить попадание обломков на путь, в данное время не предусмотрено. Улавливающая полка на некоторых профилях отсутствует или ее ширина минимальна и находится в пределах от 0,5 до 1,5м.

3.2.4.1 Изучение откоса выемки геофизическими методами

На описываемом участке на КМ 225+31 КМ225 ПК 1+71 было отработано 3 геофизических профиля протяженностью 35 м каждый (рис. 3.25.). Целью сейсмопрофилирования являлось изучение мощности коры выветривания. На всех профилях была получена система из двух встречных годографов, увязанных во времени и характеризующих сейсмическую границу между сильновыветрелой верхней частью разреза и коренными породами.

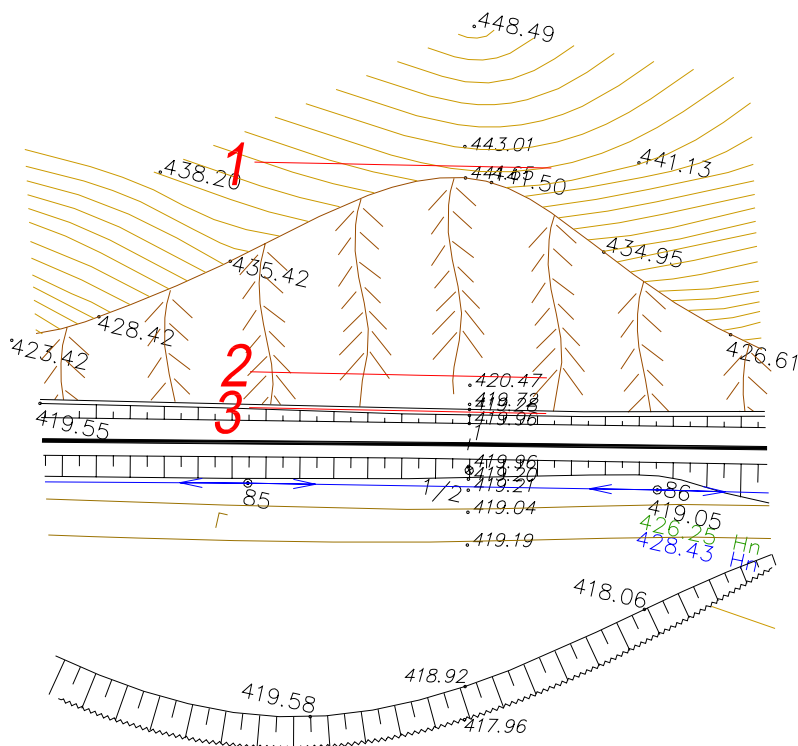


Рис. 3.25. Схема расположения геофизических профилей на откосе выемки КМ 225+31 КМ225 ПК 1+71.

Профиль 1 пройден по бровке откоса выемки (рис. 3.26., а), протяженностью 35 м. В верхней части разреза преобладают делювиальные отложения и сильновыветрелые алевролиты со скоростью упругих волн 0.28-0.,31км/с и мощностью от 3.2м до 6.8м. Подстилающий слой сложен, так же, алевролитами, но более прочными, слаботрещиноватыми со скоростями продольной упругой волны 1.66-1.69км/с.

Профиль 2 располагается на высоте 5м от подошвы откоса (рис. 3.26.,б). Мощность верхней части разреза варьирует от 4.1м до 6.7м и имеет среднюю скорость упругой волны 0.375км/с. Нижняя часть представляет собой слабывветрелые алевролиты с граничной скоростью 2.5км/с.

Профиль 3 отработан по подошве откоса, его протяженность 35м (рис. 3.26.,в). Данный профиль, относительно двух предыдущих, характеризуется более низкой мощностью верхней части разреза и высокой скоростью преломленной волны.

В геологическом строении верхней части разреза также участвуют выветрелые алевролиты мощностью от 3.8 м. до 4.,1м. с граничной скоростью сейсмической волны 2.57км/с.

Строительство выемки началось ориентировочно в 1943 году, то есть на момент обследования – 2007г. откос просуществовал 64 года. Зная мощность коры выветривания, определена скорость выветривания V_v пород на данном участке:

$$V_v = \frac{H_v}{t}, \text{ см / год } ,$$

где: H_v – мощность коры выветривания, t – время в годах с момента вскрытия выемки. H_v определим как среднее значение для 2 и 3 профилей.

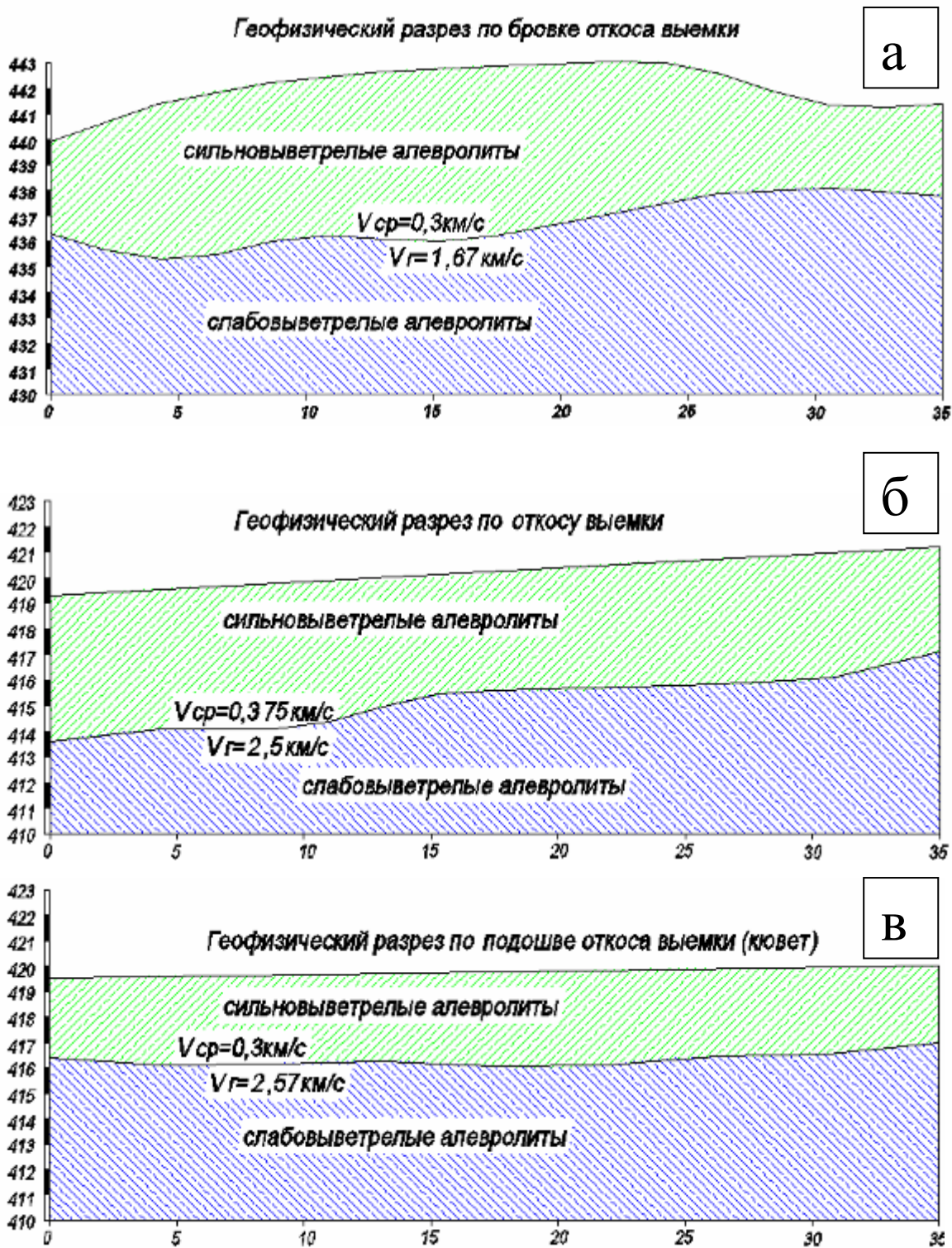


Рис. 3.26. Геофизические разрезы: а) профиль 1, б) профиль 2, в) профиль 3.

Учитывая, что профиль 1 проходит по верху откоса, который характеризуется породами нетронутыми человеком с момента их образования, дан-

ные по мощности коры выветривания для определения среднего значения с него брать в расчет не корректно. Профили 2 и 3 находятся непосредственно на искусственной выемке, поэтому предположим, что при строительстве искусственного сооружения весь разрушенный материал был снесен со склона, обнажив коренные породы, которые за прошедшие 67 лет снова подверглись действию агентов выветривания.

Расчет среднего значения мощности сильновыветрелых пород приведен в таблице 3.2.

Таблица 3.2.

Расчет средней мощности коры выветривания по сечениям

Профиль	0 м	5 м	10 м	15 м	20 м	25 м	30 м	35 м
2	5,7	5,5	5,6	4,6	4,8	4,9	4,9	4,1
3	3,1	3,5	3,4	3,5	3,8	3,5	3,4	3
Нв _{ср,м}	4,4	4,5	4,5	4,05	4,3	4,2	4,15	3,55
							Нв ср, м	4,21

Таблица 3.3.

Расчет скорости выветривания

H_e ср, м	H_e ср, см	t, год	V, см/год
4,21	421	67	6,28



Рис. 3.27. Общий вид участка, выбранного для геофизического изучения.

В результате расчета средняя скорость выветривания для пород данного генезиса в климатических условиях северного Сихотэ-Алиня (рис. 3.29) составила 6.28 см/год. Геофизическое исследование было выполнено в 2010 г. значит, на настоящее время мощность коры выветривания увеличилась на 18.84 см, что составляет 4.40 м.

Выводы:

1. Участок сложен сильнотрещиноватыми алевролитами, аргилитами, песчаниками и их переслаиваниями с низкой прочностью и значительной размягчаемостью.
2. Локальные поля напряжений в большинстве своем отвечают сдвиговому геологическому типу, для которого характерны субгоризонтальные положения осей сжатия и растяжения.
3. Падение сланцеватости вследствие интенсивной перемятости слоев неслучайно, но чаще всего падает в сторону оси пути. Однако из-за невысокой устойчивости пород к выветриванию даже при обратном падении сланцеватости в основании откоса скапливается обломочный материал в виде осыпей и обвалов диаметром от 5 до 40 см и более.
4. Средняя мощность коры выветривания составляет $H_v = 4.21$ м, а средняя скорость выветривания на участке равна 6.28 см/год.
5. По степени опасности участок классифицируется как особоопасный.

3.2.5. Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного вулканитами среднего и основного состава (км 291)

Участок представляет обвалоопасный склон полувыемки, находящейся справа по ходу километров, протяженностью 1 км (КМ 291 ПК 2 - КМ 292 ПК 2.) Высота участка над уровнем моря равна 130 м.

Слева железнодорожную линию ограничивает р. Тумнин, а справа скальный откос высотой более 100 метров.

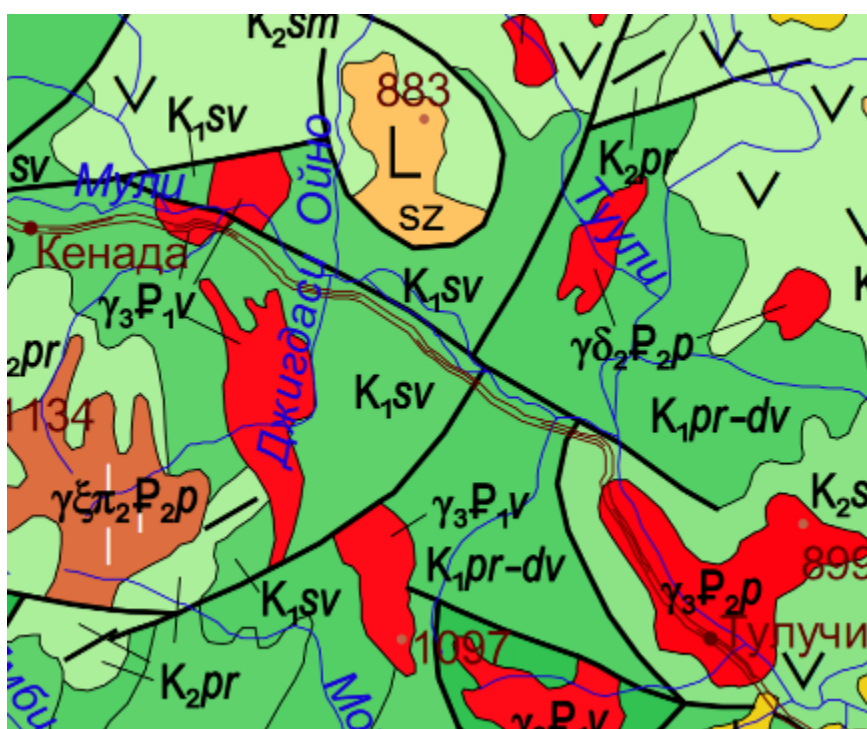
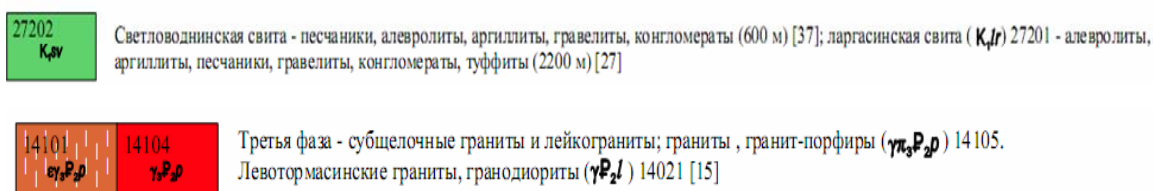


Рис. 3.28. Фрагмент геологической карты района. (Карта составлена по материалам ФГУГПП "Хабаровскгеология". Авторы: А.Ф. Васькин, В.А. Гурьянов и др. ФГУГПП "Дальгеофизика", 2004).



Породы, слагающие откос – вулканиты среднего и основного состава (рис. 3.28). Они довольно прочные, но в значительной степени трещиноватые [Ломтадзе,1990].

На участке с целью увеличения ширины улавливающей полки был подрезан откос. Первое инженерно-геологическое обследование участка было проведено автором в 2007 году, то есть до строительства улавливающей полки. [Колтун, Квашук, 2009а].

Микрорельеф участка в 2007 году обладал следующими параметрами: высота откоса более 12 метров, крутизна 45-60°, форма поверхности откоса ровная, расстояние от подошвы откоса до ближайшего рельса в некоторых местах менее 2 м (рис.3.29.)



Рис. 3.29. Характерный фрагмент обвалоопасного участка (октябрь 2007 г.).

Самой главной проблемой на участке на тот период были постоянные сходы снежных лавин (рис. 3.30.).



Рис. 3.30. Сход снежной лавины во время прохода грузового поезда, март 2009 г. (фото работников пути).

В 2010 году, после подрезки лавиноопасного склона его очертания существенно изменились (рис. 3.31).



Рис. 3.31. Характерный фрагмент обвалоопасного участка, сентябрь 2010 г.

Ввиду повышенной трещиноватости, проектный объем работ по уборке пород подрезанного склона увеличился более, чем в 2 раза. Часть породы была отсыпана в левую сторону от пути для защиты железнодорожной насыпи от размыва.

Крутизна склона в пределах подрезанного километра меняется от 45° до 70° при высоте откосов от 20 до 60 м и высоте склона в 25-30 м. Расстояние от крайнего рельса до подошвы откоса равно 8-10 м. Глубина канавы, измеряемая от головки рельса, варьирует в пределах 4-6 м. На некоторых участках на середине откоса устроена «ступенька», данное мероприятие помогает снизить нагрузку на нижнюю часть откоса при большой его высоте и создает дополнительную улавливающую полку, уменьшая объемы работ. В остальных случаях поверхность откоса ровная. На всем протяжении полувыемки наблюдаются конуса свежих осыпей различных размеров. Во время проведения полевых работ автором наблюдалась осыпь пород различных фракций вместе с выкорчеванными деревьями.

Коренных обнажений вдоль участка встречается немного, в основном откосы засыпаны щебенистым грунтом, раздробленным вследствие ремонтных работ на участке.

Значения трещинной пустотности и блочности [Рац, 1970] для данного участка следующие: $\Pi = 0.11$ см, $\delta = 3.99$ см.

Согласно классификации горных пород по степени трещиноватости при малой пустотности и очень густой блочности породы относятся к классу А-4, а коэффициент фильтрации для них равен приблизительно 10^{-4} .

Коэффициент трещинной блочности для пород участка $K_{\text{тр.бл.}} = 0.004$.



Рис 3.32. Блочность пород участка.

Коэффициент угрожаемости рассматриваемого участка, при ширине улавливающей полки, равной 8 м, $K_{угр} = 1.34$, то есть участок не угрожаемый.

Сети трещин прерывистые, полигональные, оси симметричные.

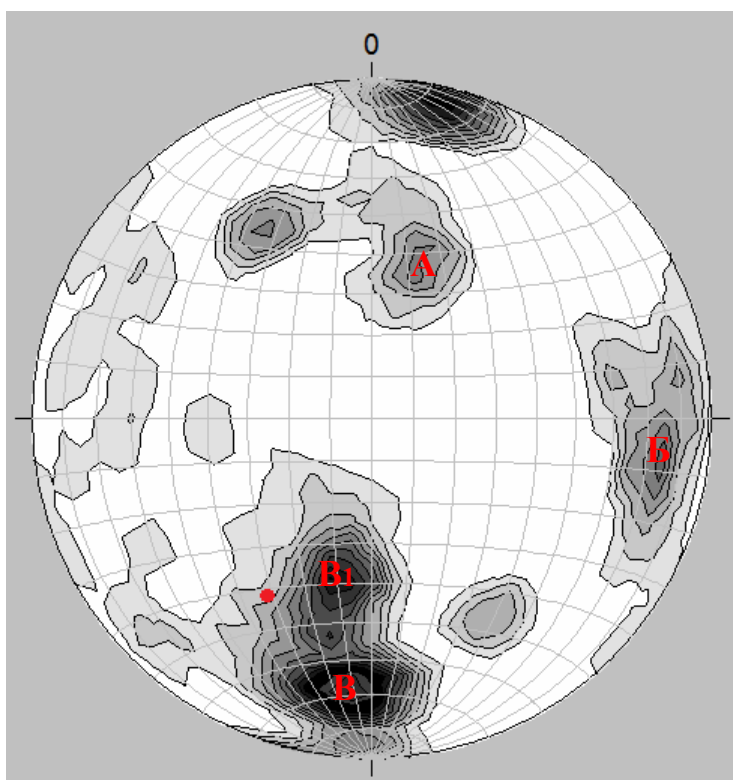


Рис. 3.33. Диаграмма трещиноватости в истинных азимутах (Нижняя полусфера, полюса трещин).

Детальное изучение трещиноватости выявило 3 основные системы трещин (Рис 3.33.).

А (наклонная) – азимут падения 200° ЮЗ, угол падения $25-40^{\circ}$;

Б (субвертикальная) – аз. пад. 279° СВ-В, угол падения 85° ;

В (крутонаклонная) – аз. пад. 180° СВ, угол падения 70° ;

В₁ (крутонаклонная) – аз. пад. 10° СВ, угол падения 50° .

Полус откоса, обозначенный на диаграмме красной точкой, характеризуется азимутом простирания 30° и углом падения 50° .

Анализ диаграмм трещиноватости с нанесенным на нее полусом откоса дает ответ на вопрос о том, какие типы обрушений возможны на участке:

- Обрушение по плоскости, когда падение плоскости ослабления совпадает с падением плоскости откоса или они незначительно отличаются;

- Обрушение клина происходит в случае пересечения двух плоскостей ослабления с падением их навстречу друг другу таким образом, что образуется блок в виде тетраэдра.

Выводы:

1. Породы, слагающие откос – вулканиты среднего и основного состава. Породы довольно прочные, но в значительной степени трещиноватые.
2. Наклонные трещины вместе с субвертикальными трещинами образуют блоки, вектор возможного смещения которых направлен в сторону откоса.
3. По степени опасности участок классифицируется как опасный.

3.2.6 Анализ причин и условий обвальной опасности участка, сложенного вулканитами среднего и основного состава (км 328)

Обвалоопасный склон полувыемки, находящейся в перевальной части линии справа по ходу километров, протяженностью 2542 м, расположен в пределах КМ 327 + 800 - КМ 330 + 342. Слева от оси железной дороги протекает р. Тумнин, а справа участок ограничен высоким горным склоном.

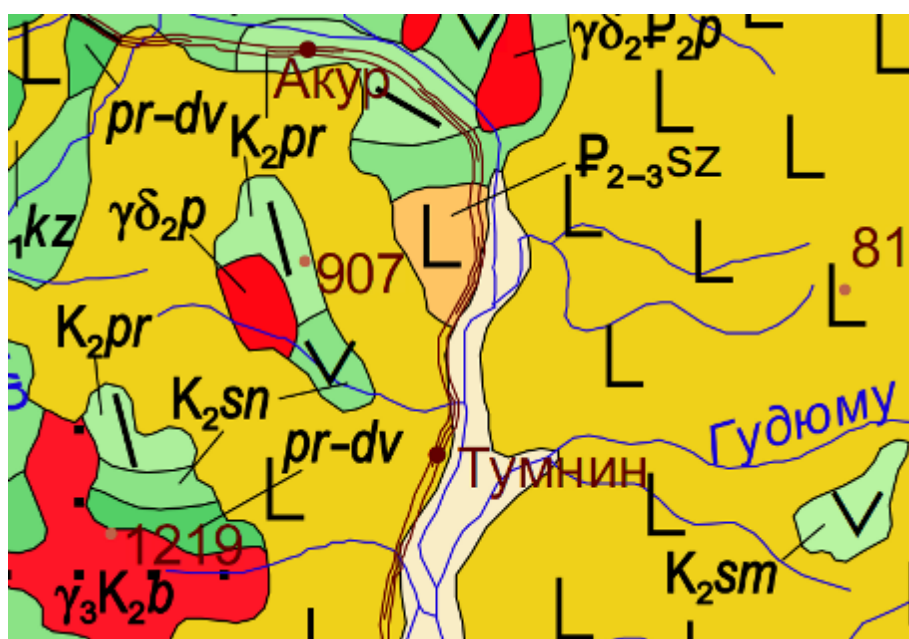


Рис. 3.34. Фрагмент геологической карты района (Карта составлена по материалам ФГУГПП "Хабаровскгеология" Авторы: А.Ф. Васькин, В.А. Гурьянов, и др. ФГУГПП "Дальгеофизика", 2004).

N₁kz	Кизинский комплекс базальтовый: кизинская свита, базальты, трахибазальты, андезибазальты и их туфы
y₃K₂b	Лейкограниты, граниты, гранит-порфиры третьей фазы баппинского комплекса
K₂pr	Приморский комплекс риолитовый: приморская серия: Риолиты, риодациты, дациты и их туфы, ингимбриты, конгломераты, туфопесчаники.

Полувыемка сложена вулканитами среднего и основного состава (граниты, порфириты, вулканическая брекчия). На момент обследования выветрелость пород откоса слабая. Породы значительно трещиноватые, среднее

число трещин на 1 метр длины колеблется от 10 до 20. Ширина раскрытия трещин достигает сантиметра, в некоторых случаях более 5 см. Некоторые трещины заполнены песчано-глинистым наполнителем. Глубина трещин варьирует от 1 до 10 метров.

Трещины обнажения, в основном, характеризуются прерывистой, системной равноугольной сетью [Чернышев, 1983].

На диаграмме трещиноватости (рис. 3.35.) четко различимы 3 основные системы трещин. Помимо основных систем, прослеживаются совместно развитые с ними дополнительные, главным образом, представленные пологоспадающими трещинами разнонаправленными основной системы А.

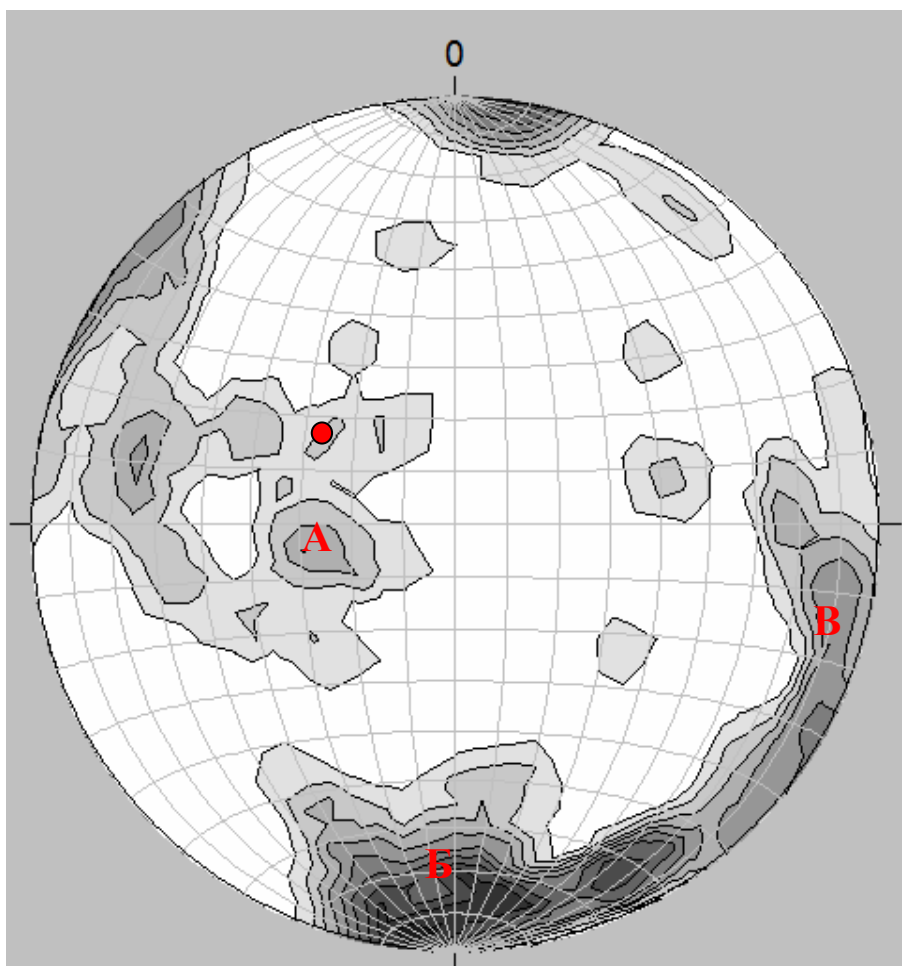


Рис. 3.35. Диаграмма трещиноватости в истинных азимутах (Нижняя полусфера, полюса трещин).

А (наклонная) – азимут падения 80° СВ, угол падения 25° ;

Б (субвертикальная) – аз. пад. 359° ЮЗ, угол падения 82° ;

В (субвертикальная) – аз. пад. 298° СЗ, угол падения 86° .

Для более точного представления о трещинной сети определены показатели интенсивности трещиноватости. Значения трещинной пустотности и блочности [М.В. Рац, 1970] для данного участка следующие $\Pi = 0.13$ см, $\delta = 5.50$ см.

Согласно классификации горных пород по степени трещиноватости при малой пустотности и очень густой блочности породы относятся к классу А-4, а коэффициент фильтрации для них равен приблизительно 10^{-4} .

Коэффициент трещинной блочности для пород участка $K_{тр.бл.} = 0,016$

Среднее число трещин на 1 метр длины колеблется от 10 до 20.

Для пород, слагающих откосы полувыемки, коэффициент пустотности [Саваренский, 1939], равен 6.5 %. Согласно классификации пород по степени трещиноватости [Нейштадт, 1957] при $K_{тр.}$, изменяющемся от 5-10%, породы считаются сильнотрещиноватыми.

В 2007 году в рамках проведения реконструктивных мероприятий на участке в районе КМ 329+900 - 330+100 и км 327 + 875 – 328+193 был подрезан откос полувыемки с целью увеличения ширины улавливающей полки. Это мероприятие было необходимой мерой обеспечения безопасности, и, учитывая особенности строения местности, единственным приемлемым способом достижения этого.

До реконструкции склон соответственно имел совершенно иные очертания. Откос полувыемки практически вплотную примыкал к железнодорожному полотну. Породы откоса отличались сильной степенью выветрелости и трещиноватости. Вследствие заполненности части трещин песчано-глинистым заполнителем устойчивость отдельных блоков была нарушена, из-за чего на участке неоднократно происходили обвалы и осыпи горных по-

род, нередко с выходом на путь. По данным журнала, предназначенного для наблюдения за состоянием пути в период с 2002 по 2006 годы на участке было убрано более 400 м³ снесенного материала, а также регулярно производилась оборка нависших камней, объем которых в общей сложности составил 500 м³.

В апреле 2008 г. строительство улавливающей траншеи было закончено, размер траншеи теперь достаточен для того чтобы вмещать осыпающиеся массы породы.

В мае 2009 года было произведено инженерно - геологическое изучение и описание рассматриваемого участка.

Угол заложения откоса в пределах участка меняется от 40 до 70 градусов при высоте 10-30 м. На всем его протяжении наблюдается множество осыпей и обвалов разного масштаба.

В результате подрезки склона были кооптированы подземные источники, причем скорость течения воды в них значительна. На всем склоне проявляются признаки периодического обводнения, что свидетельствует об активности подземных вод и их близкому расположению к поверхности откоса. Подрезанный откос постоянно осыпается, вместе с обрушившимися массами горных пород у подножья откоса свалены выкорчеванные при обвалах деревья.



Рис. 3.36 Кооптированные источники (фото С.В. Квашука).

Несмотря на активность гравитационных процессов, развивающихся в пределах данного участка, с точки зрения безопасности пути он не вызывает опасения. Для оценки вероятности падения скальных обломков на путь был рассчитан коэффициент угрожаемости [Ломтадзе, 1977]. Теоретическая величина улавливающей полки обусловлена дальностью отлета скального обломка [Ройнишвили, 1973].

Коэффициент угрожаемости для данного участка равен 1,4, т.е. ширина улавливающей полки достаточна, и обломки горной породы, в случае возникновения обвала на путь не попадут.

Обвальные явления на участке не прекращаются. На обнажении заметны формирующиеся свежие обвальные массы, также имеются уже произошедшие обвалы. По данным работников службы пути ежемесячно приходится очищать улавливающую полку от скопившейся на ней обвалившейся породы, поскольку при полном ее заполнении вновь возникает опасность для железнодорожного полотна.

Весь участок по степени опасности можно отнести к опасным.

Выводы:

1. Породы слагающие откос – вулканиты среднего и основного состава. Породы прочные, но в значительной степени трещиноватые.
2. Падение трещин не выгодно по отношению к выработанному пространству выемки, т.е. вектор падения трещины направлен в сторону выемки.
3. По степени опасности участок классифицируется как особоопасный.

3.3 . Оценка интенсивности денудационных процессов фотограмметрическими методами

3.3.1. Обзор методов, применяемых для оценки интенсивности денудационных процессов

В 1968 г. Е.А Толстых и А.А. Ключкин предложили фотометод измерения скорости денудации. В нем для оценки отступления всей стенки обнажения конгломератов исследовалось измерение сноса отдельных обломков. Подобный прием целесообразно в общем виде формулировать как содержательный принцип измерения скорости ЭГП, заключающийся в том, что на основании измерения сноса, смещения, накопления и вообще любого перемещения отдельных частиц получают данные о скорости процесса в целом [Склоновые процессы.,1977]. Исходя из этого принципа, был разработан [Толстых, Ключкин, 1984] ряд методов измерения параметров ЭГП. Относительно характера перемещения материала на склонах в результате тех или иных ЭГП и применяемых систем единиц измерения эти методы могут быть разделены на две группы.

Первая группа методов, предназначенная для оценки отступления поверхности склонов (фотоплощадок, стереофотоплощадок, фототеодолитных площадок, фототеодолитных площадок по осыпям), используется при измерении скорости денудации на обрывистых участках. В скальных и полускальных породах кора выветривания представлена верхней частью щебнистой или глыбовой зон с хорошо различающимися отдельными обломками горных пород, путем сноса которых происходит денудация.

Сущность данной группы методов заключается в дистанционном измерении объема снесенных обломков и отнесении этого объема к площади обнажения, с которого происходит снос. В результате объем снесенных обломков условно распространяется на всю измеренную площадь склона и получается усредненная величина его отступления за время измерения.

Важной составной частью этой группы методов является определение объема отдельных снесенных частиц.

Вторая группа методов, предназначенных для измерения смещения материала на склонах (прокрашенных склоновых створов, склоновых стереофотоплощадок, фототеодолитных склоновых площадок), используется при оценке движения поверхностных частей курумов, осыпей и т.д., которые сложены грубообломочным материалом. В этих отложениях наиболее подвижным является поверхностный слой, поэтому большое значение имеет измерение скорости его перемещения.

В результате анализа существующих методов и оценки возможности их применения для района исследований автором была разработана цифровая фотограмметрическая система, позволяющая изменять скорость денудационных процессов при помощи рабочей объемной модели местности, составленной в автоматическом режиме на специально написанном программном комплексе.

На современном этапе, с развитием информационных технологий и вычислительной техники, появляется возможность более точного и масштабного исследования интенсивности склоновых процессов при помощи фотограмметрии.

Фотограмметрический метод

Фотограмметрия - научно-техническая дисциплина, занимающаяся определением размеров, формы и положения объектов по их изображениям на фотоснимках [Крысина, 1998].

Основные достоинства фотограмметрических методов работ:

- большая производительность, т.к. измеряются не объекты, а их изображения;
- высокая точность благодаря применению точных аппаратов и инструментов для получения и измерения снимков;
- наличие строгих способов обработки результатов измерений;
- возможность изучения как неподвижных, так и движущихся объектов;
- полная объективность результатов измерений;
- измерения выполняются дистанционным методом, что имеет особое значение в условиях, когда объекты недоступны или когда пребывание в зоне объекта небезопасно для человека.

Фотограмметрия широко применяется для создания карт Земли, измерения геологических элементов залегания пород, изысканий, проектирования, возведения и эксплуатации инженерных сооружений.

Одним из методов дисциплины фотограмметрии является метод фототриангуляции [Горная энциклопедия: Режим доступа: [<http://www.mining-enc.ru/f/fototriangulyaciya-/>]]. Сущность метода фототриангуляции заключается в построении модели местности по снимкам и внешнем ориентировании этой модели. Фототриангуляция позволяет определять по снимкам плановое

положение и высоты опорных точек, необходимых для создания цифровой модели рельефа местности (3D модели). Основная цель пространственной фототриангуляции максимально сократить трудоёмкие полевые геодезические работы, заменить их на камеральные.

Для построения цифровой модели местности автором была разработана цифровая фотограмметрическая система [Колтун, Язвенко, Квашук, 2011, 2012, Колтун 2012], представляющая сочетание целого ряда различных программных продуктов и специально написанных дополнительных сценариев, чтобы упростить систему для фотограмметрической реконструкции.

Процесс получения цифровой модели состоит из двух основных этапов:

1. Полевые работы.

Основная задача состоит в получении множества фотоснимков рельефа одного объекта за разные периоды времени, на основе которых строится цифровая модель местности.

Важную роль играет правильная съемка объекта исследования. Чем больше фотоснимков с разных ракурсов будет сделано, тем точнее будет итоговая цифровая модель. На рис.3.37 показана корректная расстановка фотографа относительно объекта.

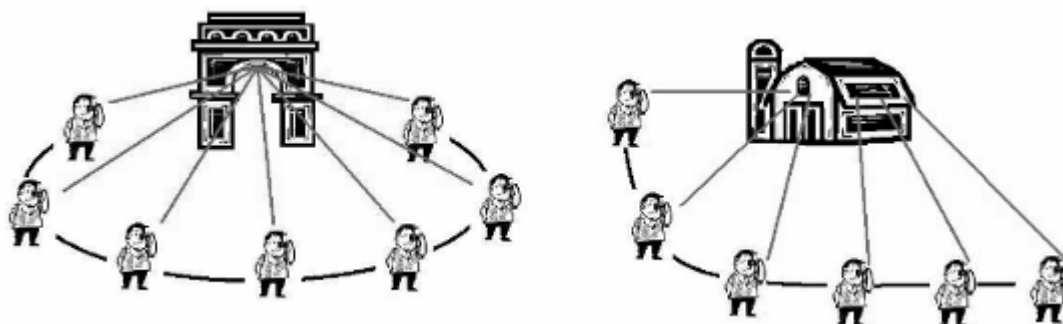


Рис.3.37. Примеры расстановки фотографа относительно объекта.

2. Камеральный этап.

Камеральная обработка данных состоит из 2-х частей

а) Обработка полученных фотографий и получение модели местности ведется в автоматическом режиме при помощи разработанной цифровой фотограмметрической системы. Первая часть состоит из нескольких ступеней.

- Анализ характеристик оптической системы (определение фокусного расстояния камеры и определение положения камеры относительно объекта съемки).
- Поиск точек пересечения фотоснимков.
- Определение планового положения и высот опорных точек, в результате чего мы получаем массив («облако») точек.
- Сохранение результатов обработки в формате PLY (Рис.3.40) – это формат компьютерного файла, известный как формат Стэндфордского треугольника, предназначенный для хранения трехмерных данных.
[Режим доступа: [[http://en.wikipedia.org/wiki/PLY_\(file_format\)](http://en.wikipedia.org/wiki/PLY_(file_format))]].

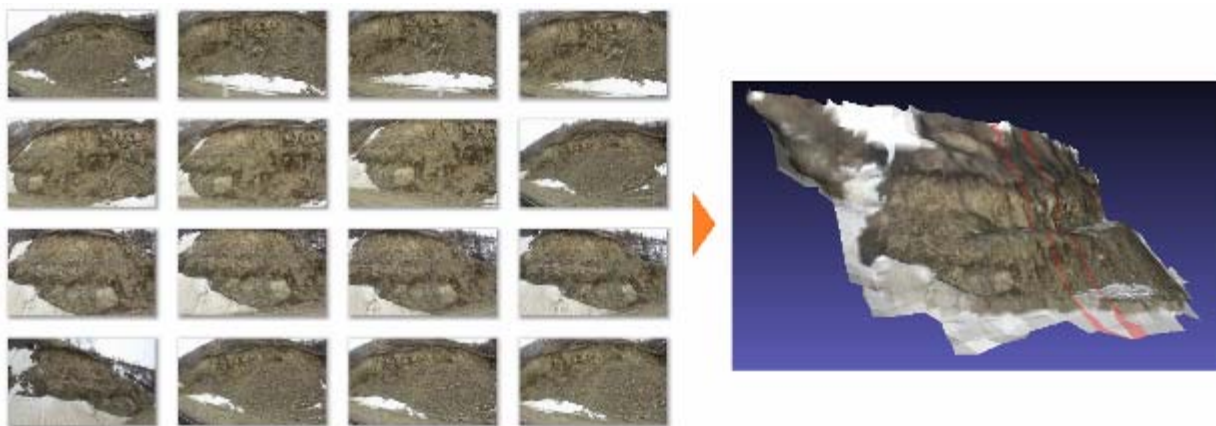


Рис.3.38. Результат обработки фотоснимков.

Дальнейшая работа с полученными результатами возможна во многих специализированных программах 3D моделирования, поддерживающих формат PLY.

б) Вторая часть обработки состоит непосредственно в вычислении скорости денудационных процессов.

Здесь обрабатываются полученные в разное время цифровые модели откосов путем сравнения площадей расчетных сечений. Происходит фиксация изменений за отчетный период и расчет скорости денудационных процессов на участке.

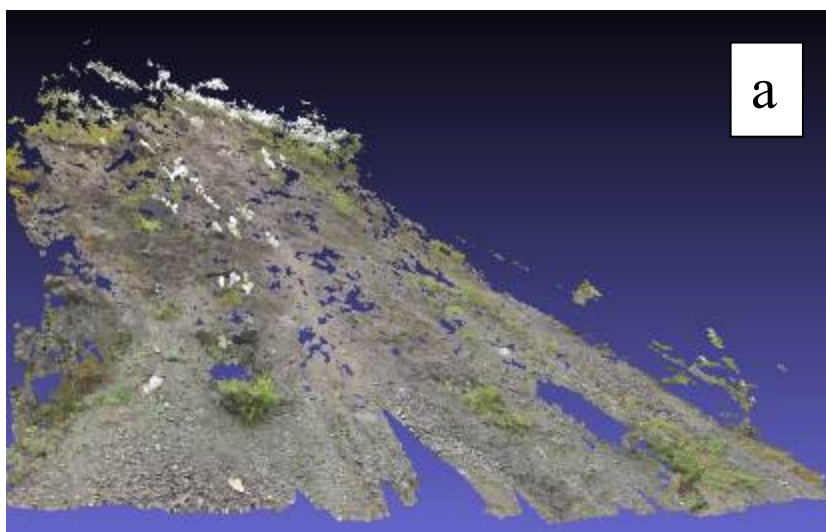
Точность полученных результатов оценивается при сравнении высот полученной модели с основными отметками микрорельефа склона, замеренными в ходе тахеометрической съемки или при помощи дальномера.

3.3.2. Определение скорости денудационных процессов

Скорость денудационных процессов при помощи фотограмметрического метода определялась на участках, сложенных андезитами и алевролитами [Колтун, Язвенко, Квашук, 2012]

Определение скорости денудационных процессов алевролитов (на участке Км 225 Пк 1)

В результате обработки фотоснимков, сделанных во время полевых работ в сентябре 2010 г. и мае 2011 г. при помощи вышеописанной программы, были получены 2 рабочие цифровые модели откоса.



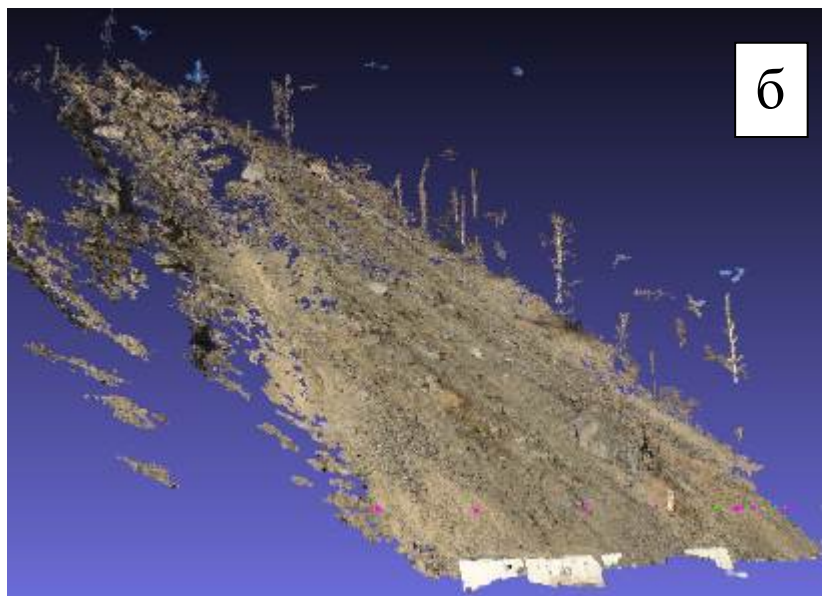


Рис. 3.39. Цифровые модели откоса: а) сентябрь 2010г., б) май 2011 г.

Разница в качестве итоговых моделей определена качеством цифровой техники, применяемой во время съемки. К факторам, влияющим на качество, также относится время года и освещение. К примеру, осенью 2010 г. растительность на склоне была довольно густая, а весной 2011 г. зелени еще не было (рис. 3.39., а, б). В дальнейшем расчете эти моменты учтены и скорректированы.

Для фиксации изменений модели были совмещены и разделены сечениями через 1 метр (рис. 3.40).



Рис. 3.40. Схема расположения расчетных сечений.

Откос сложен сильнотрещиноватыми алевролитами и разрушение его происходит закономерно. На поперечных профилях расчетных сечений имеются зоны со смещенным (снесенным) материалом – т. е. контур откоса 2010 г. находится выше контура откоса 2011 г. (рис. 3.41, синий цвет), и зоны с обрушенной породой (рис. 3.41, желтый цвет), где контур откоса 2010 г. ниже поверхности откоса 2011 г.

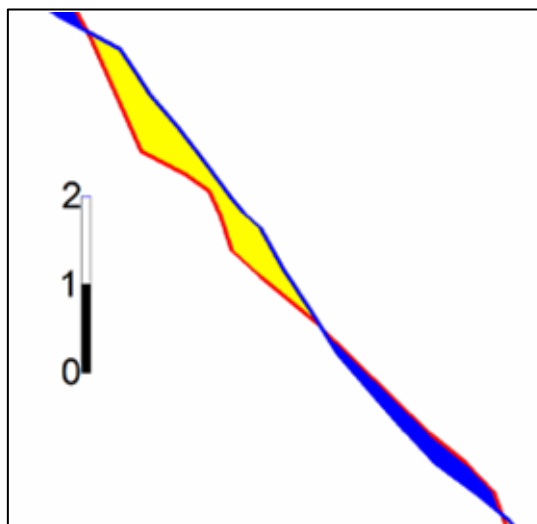


Рисунок 3.41. Фрагмент расчетного сечения (синим цветом отмечена площадь смещенной породы, желтым – обрушенной).

Расчет площадей смещенной и обрушенной породы по расчетным сечениям сведен в таблицу 3.4.

Таблица 3.4.

Расчет объема смещенного материала по расчетным сечениям

№ п.п.	№ сечения	$s_1, \text{м}^2$	$s_2, \text{м}^2$	$l, \text{м}$	$V_1, \text{м}^3$	$V_2, \text{м}^3$
1	-12	4,98	5,93	1	4,98	5,93
2	-11	8,15	5,18	1	8,15	5,18
3	-10	9,98	2,2	1	9,98	2,2
4	-9	6,22	5,52	1	6,22	5,52
5	-8	4,73	3,48	1	4,73	3,48
6	-7	4,57	14,19	1	4,57	14,19
7	-6	7,56	6,35	1	7,56	6,35
8	-5	5,67	5,6	1	5,67	5,6
9	-4	5,81	6,38	1	5,81	6,38
10	-3	5,92	7,29	1	5,92	7,29
11	-2	4,96	6,98	1	4,96	6,98
12	-1	6,07	6,22	1	6,07	6,22
13	0	5,63	4,13	1	5,63	4,13
14	1	7,46	2,9	1	7,46	2,9
15	2	3,28	11,48	1	3,28	11,48
16	3	8,75	7,07	1	8,75	7,07
17	4	8,75	15,23	1	8,75	15,23
18	5	10,71	12,08	1	10,71	12,08
19	6	5,88	18,7	1	5,88	18,7
20	7	2,7	24,12	1	2,7	24,12
21	8	3,09	24,64	1	3,09	24,64
22	9	4,35	17,79	1	4,35	17,79
23	10	4,17	14,78	1	4,17	14,78
24	11	5,35	13,48	1	5,35	13,48
25	12	3,19	10,71	1	3,19	10,71
26	13	5,7	14,76	1	5,7	14,76
27	14	2,01	18,12	1	2,01	18,12
28	15	0,77	2,89	1	0,77	2,89
					Σ	288,2

Где, S_1, V_1 – площадь и объём обрушенного материала, м^2 , S_2, V_2 – площадь и объём смещенного материала, м^2 , l – длина блока, м.

Для получения итогового результата объём обрушенной породы не учитывался, т.к. он не дает достаточной точности ввиду нескольких особенностей данного участка. Во-первых, продолжением откоса является естест-

венный склон и часть породы могла скатиться с него, а, во-вторых работники службы пути регулярно убирают осыпавшиеся обломки с улавливающей полки. Отсюда можно сделать вывод, что наиболее достоверное значение скорости денудации на данном участке можно получить исходя из расчета объема отступления стенки обнажения. Суммарный объем смещенного материала по расчетным сечениям составил 288,2 м³. Учитывая, что разница во времени съемки откосов составила девять месяцев, средняя скорость денудации для пород данного генезиса на ширине откоса в 27 м и высоте, меняющейся в пределах 39 – 58 м, составила =32 м³ в месяц.

***Определение скорости денудационных процессов андезитов
(на участке Км 201 Пк 6)***

На Км 201 Пк 6 исследования проводились в 2011 и 2012 годах, в результате полевых работ были получены рабочие цифровые модели откоса (рис. 3.42).

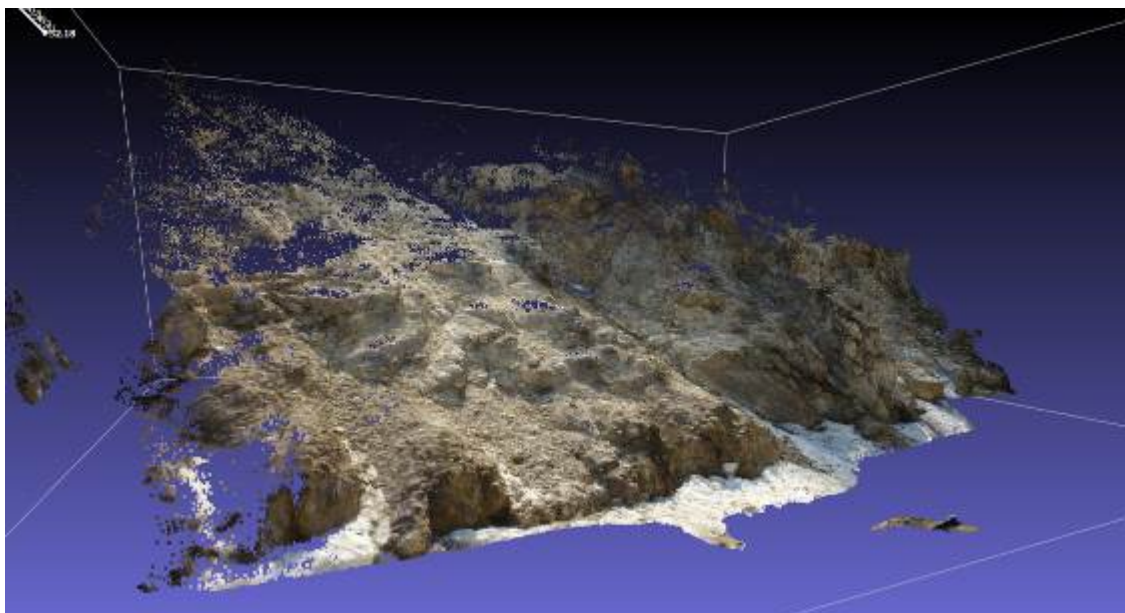


Рис. 3.42. Цифровая модель откоса (май 2011 г.).

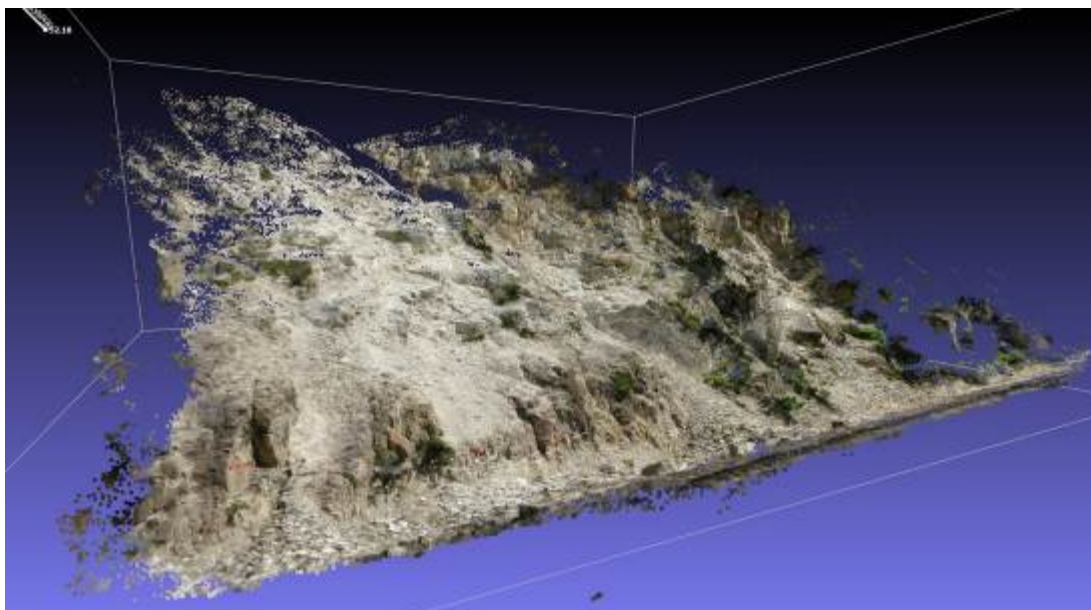


Рис. 3.43. Цифровая модель откоса (июнь 2012 г.).

Обвалоопасный склон представлен эффузивными кайнотипными андезитами, породы неравномерно трещиноваты. У основания откоса, после подрезки склона, вскрыты практически монолитные блоки с малой степенью трещиноватости, верхняя же часть, напротив, представлена сильно раздробленными породами. Съемка участка в 2011 году проводилась в середине мая, у подножья склона все еще не сошел снег, что видно на итоговой модели. В 2012 году работы проходили в июне, это объясняет более детальную прорисовку основания откоса. Для более точного определения скорости денудационных процессов, автором учтены особенности строения участка. Расчет скорости произведен по средней части откоса, на которой наиболее заметны изменения.

Для фиксации изменений модели были совмещены и разделены сечениями через 1 метр (рис. 3.44), аналогично предыдущему участку.



Рис. 3.44. Схема расположения расчетных сечений КМ 201 ПК 6.

Далее приведен расчет площадей и объемов снесенного и насыпавшегося материала.

Таблица 3.5.

Расчет объема смещенного материала по расчетным сечениям

№ п.п.	№ сечения	$s_1, \text{ м}^2$	$s_2, \text{ м}^2$	$l, \text{ м}$	$V_1, \text{ м}^3$	$V_2, \text{ м}^3$
1	-15	0,55	0,65	1	0,55	0,65
2	-14	0,37	0,81	1	0,37	0,81
3	-13	0,99	0,52	1	0,99	0,52
4	-12	0,68	0,59	1	0,68	0,59
5	-11	0,69	0,46	1	0,69	0,46
6	-10	0,51	1,06	1	0,51	1,06
7	-9	0,52	0,31	1	0,52	0,31
8	-8	0,52	0,23	1	0,52	0,23
9	-7	0,53	0,21	1	0,53	0,21
10	-6	0,75	1,07	1	0,75	1,07
11	-5	1,65	0,07	1	1,65	0,07
12	-4	1,41	0,24	1	1,41	0,24
13	-3	0,88	1,74	1	0,88	1,74
14	-2	1,09	1,20	1	1,09	1,20
15	-1	1,22	1,31	1	1,22	1,31
16	0	0,78	0,60	1	0,78	0,60
17	1	1,57	0,48	1	1,57	0,48
18	2	1,14	0,45	1	1,14	0,45
19	3	1,04	0,17	1	1,04	0,17
20	4	0,89	0,20	1	0,89	0,20
21	5	1,88	0,86	1	1,88	0,86
22	6	0,98	0,52	1	0,98	0,52
23	7	0,92	0,03	1	0,92	0,03
24	8	1,33	0,08	1	1,33	0,08
25	9	0,82	0,00	1	0,82	0,00
					Σ	13,9

где, S_1, V_1 – площадь и объём обрушенного материала, $\text{м}^2, \text{м}^3$, S_2, V_2 – площадь и объём смещенного материала, $\text{м}^2, \text{м}^3$, l – длина блока, м.

Суммарный объем смещенного материала по расчетным сечениям составил $13,9 \text{ м}^3$. Учитывая, что разница во времени съёмки откосов составила тринадцать месяцев, средняя скорость денудации для пород данного генезиса

на ширине откоса в 25 м в средней его части высотой порядка 17-20 м составила $=1,07 \text{ м}^3$ в месяц.

Итоговые показатели скорости денудации сведены в таблицу 3.6.

Таблица 3.6.

Определение скорости денудации пород

Участок	наименование породы	Расчетные сечения	средняя высота расчетной части, Н, м	объем насыпанного материала $V_1, \text{ м}^3$	объем снежного материала $V_2, \text{ м}^3$	Время между съемками, Т, мес	скорость денудации, $\text{ м}^3/\text{мес}$
КМ 201 Пк 6	андезиты	25	20	23,7	13,2	13	1,07
КМ 225 ПК 1	алевролиты	27	45	156,4	288,2	9	32,02

Полученная разница значений скорости денудации определена генезисом и состоянием пород.

Результаты и выводы

За время работы над темой диссертации из 6 опорных участков без техногенных изменений остался только участок под номером 4 (табл 3.1). На всех остальных участках в качестве противообвального мероприятия была проведена подрезка откосов, которая явилась причиной нарушения их устойчивости и возникновения обвальных явлений. Масштабы работ по подрезке склонов существенно отличались ввиду разной протяженности скальных массивов. Но все 5 участков теперь объединяет повышенная осыпная активность. На участке под номером 1 данное мероприятие привело к обрушению слабых пород с выходом на путь.

Геологическое строение участков различно: 1 и 4 участки представлены алевролитами, остальные 4 участка характеризуются различными по составу вулканитами. 2 и 3 сложены андезитами, а 5 и 6 – вулканитами среднего и основного состава.

Микрорельеф участков так же разнообразен. Они представлены как выемками так и полувыемками. Высота обвалоопасных откосов варьирует от 10 до 60 м. Высота склонов достигает 50 и более м. Углы заложения 35-60°. Участки 1,5,6 и часть 4го проходят по прижимам к рекам, что затрудняет вынос пути из обвалоопасной зоны.

Определено значение коэффициента угрожаемости. Интересным оказался факт, что не на всех подрезанных склонах Кугр достаточен для обеспечения безопасности ж. д. полотна (табл 3.7).

Таблица 3.7.

№ уч	км	Высота откоса, м	Сущ.улавл. полка, м	Мах. дальность отлета, м	$K_{угр}$	Классификация участка
1	115	36	10	7,39	1,35	не угрожаемый
2	197	12,5	4	6,09	0,66	угрожаемый
3	201	57	8	8,96	0,89	угрожаемый
4	225	35	2,1	9,64	0,22	угрожаемый
5	292	39,8	8	5,96	1,34	не угрожаемый
6	328	23,6	9,3	6,67	1,4	не угрожаемый

Для участков определены основные параметры трещиноватости, такие как пустотность Π ,%, блочность b , см, коэффициент трещинной блочности $K_{тр.бл.}$, коэффициент трещинной пустотности $K_{тр.}$, %.

Таблица 3.8.

№уч.	км	порода	Π , см	b ,см	$K_{тр.бл.}$	$K_{тр.}$, %
1	115	алевролиты	0,12	4,03	0,0020	
2	197	риолиты	0,16	3,65	0,0022	5,9
3	201	риолиты	0,11	3,67	0,0034	8,2
4	225	алевролиты	0,10	3,38	0,0014	5,4
5	292	вулканиты	0,11	3,99	0,0042	
6	328	вулканиты	0,13	5,50	0,0160	6,5

Для пород Северного Сихотэ-Алиня, независимо от их генезиса, характерна малая пустотность 0.1 – 0.2 см, при очень густой сети трещин 3-5.5

см, согласно классификации [Рац, 1968, 1970] все участки относятся к классу А-4.

Согласно классификации по степени трещиноватости [Нейштадт, 1957] при $K_{тр.}$, % изменяющемся от 5 до 10% все породы Северного Сихотэ-Алиня являются сильнотрещиноватыми.

В результате геофизических исследований на 4 участке была определена средняя скорость выветривания алевролитов в перевальной части Северного Сихотэ – Алиня. Она составила 6,28 см/год

Используя ориентировки зеркал и штрихов скольжения с известными кинематическими характеристиками на 1 и 5 участках реконструировались локальные поля напряжений они в большинстве своем, отвечают, сдвиговому геологическому типу для которого характерны субгоризонтальные положения осей сжатия и растяжения. На обнажениях наблюдается наличие разновременных правосторонних и взбросово-сбросовых перемещений.

При помощи цифровой фотограмметрической системы определена скорость денудации алевролитов и андезитов.

Таблица 3.9.

Определение скорости денудации пород

Наименование породы	Объём снежного материала $V_2, м^3$	Интервал между съемками, Т, мес.	Скорость денудации, $м^3/мес.$	Средняя скорость денудации, $м^3/мес.$ на $1 м^3$ откоса
андезиты	13,9	13	1,07	0,05
алевролиты	288,2	9	32,02	0,70

Полученная разница значений скорости денудации определена генезисом и состоянием пород.

Глава 4. Оценка вибродинамических воздействий подвижного состава на склоны и откосы выемок

4.1 Условия проведения наблюдений

Для определения опасной высоты откосов, на которой происходит усиление сигнала от проходящих поездов за счет возникновения резонансных колебаний, автором были проведены исследования по изучению сейсмических характеристик. Для работы были выбраны 3 полигона, представленные наиболее характерными для Северного Сихотэ-Алиня породами (алевролиты и андезиты).

Работы проводились на следующих поперечных профилях: Км 197 Пк 7 (андезиты), Км 200 Пк 6 (андезиты), Км 225 Пк 1 (алевролиты), подробное описание инженерно-геологических условий участков приведено в главе 3 п. 3.2.3 - 3.2.5.

4.2. Методика работ

Регистрация микросейсм велась одновременно тремя станциями, при этом одна из них располагалась на «эталонном» грунте, за который принималось основание откоса, остальные на исследуемом грунте – участки на склоне. Время реализации - до 200 минут.

Опорная станция располагалась в непосредственной близости от жд полотна [Штейнберг, Сакс, Аптикаев, 1993].

В качестве опорной станции использовалась цифровая 24-битная 3-канальная сеймостанция GSR-24 с высоким динамическим диапазоном (до 132.1 Дб), работающая под управлением программного обеспечения Geo DAS, позволяющая вести непрерывную регистрацию сигнала в частот-

ном диапазоне до 200 Гц,. Также в комплект входили две 24-битные 8-канальные сейсмостанции «Сейсмолог-8» с динамическим диапазоном 120 Дб, работающие под управлением программного обеспечения «Изыскатель-8/24», позволяющие вести непрерывную запись в диапазоне до 150 Гц.

Для регистрации микросейсм использовались 3-компонентные акселерометры Güralp SMG-5T с силовой обратной связью и пределом измерения 1 g и полосой пропускания от 2 до 100 Гц.

Применение опорных станций обусловлено необходимостью учета вариаций уровня микросейсм, связанных с действием искусственных источников, изменения температуры, ветра, давления и др. Кроме того, место установки опорной станции являлось «эталоном», относительно которого производилось измерение уровня микросейсм на рассматриваемых участках с учетом их вариаций по высоте.

При прохождении поезда на каждом участке выделялось три типа колебаний: низкочастотные: от 0,1 – 2 Гц, колебания с частотой 2-20 Гц и высокочастотные – 20 Гц и выше. Низкочастотные вибрации появляются при проходе подвижного состава непосредственно напротив откоса и при уходе состава с исследуемого сечения затухают практически мгновенно. Они связаны с периодическим движением рельсов, которое состоит из движения вниз под колёсами и движения вверх под центром грузовых вагонов [Buratti ,2008]. Высокочастотные колебания, связанные с ударами колёс о стыки рельсов, на расстоянии 30 – 40 м затухают [Yoshioka,1976; Кистанов, 1980]. Наиболее значимые колебания проявляются на записи с частотой 2-10 Гц. Эти колебания обусловлены силовым воздействием вагонных тележек. В дальнейшем рассмотрены только эти колебания.

4.3. Описание опытных участков

Ниже представлены основные параметры исследуемых участков.

Участок № 1.

Полувыемка, сложенная породами валанжинского яруса, которые представлены сланцеватыми, значительно трещиноватыми алевролитами низкой прочности. Выветрелость пород откоса сильная.

Высота откоса вместе со склоном достигает 40 м. и более, при этом угол заложения откоса колеблется от 40° до 60° . На склонах явно видны границы отрыва, по которым может произойти обрушение.

Угол заложения откоса на исследуемом поперечнике – 54° при высоте 20 м. (рис. 4.1.).

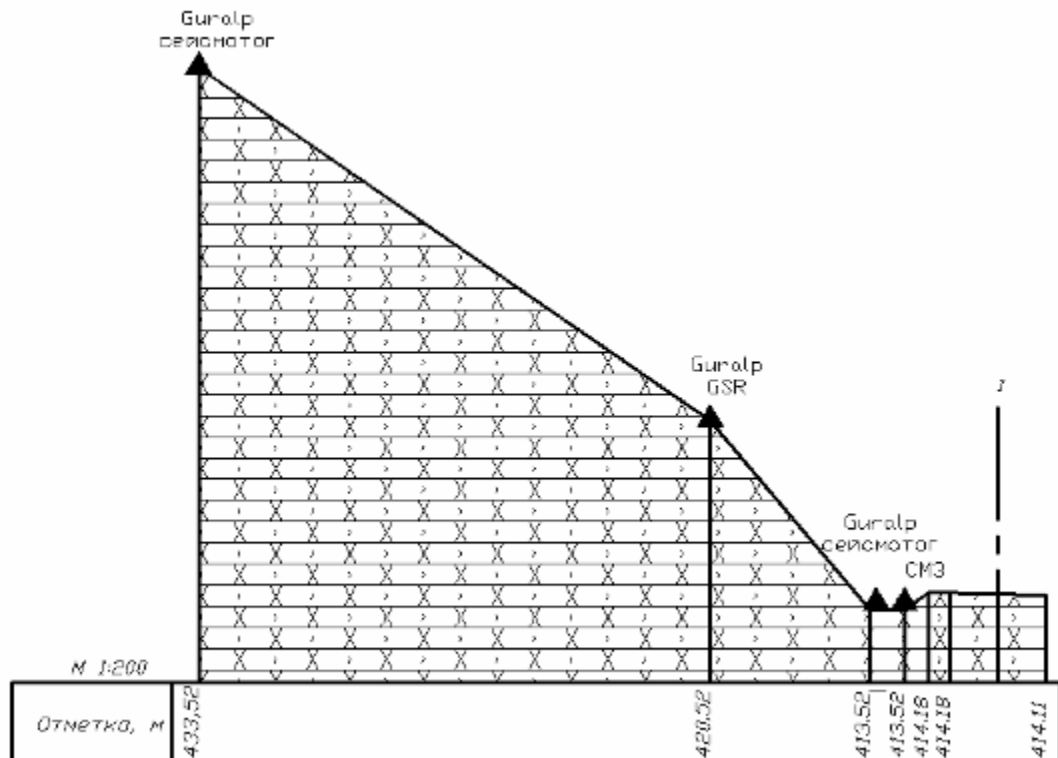


Рис. 4.1. Поперечный профиль полувыемки, сложенной алевролитами (км 225 ПК1).

Участок № 2.

Породы выемки эффузивные кайнотипные андезиты, сильно трещиноватые.

Высота в средней части участка 60,5 м., угол заложения откоса равен 44° (рис.4.2). На протяжении всего участка присутствуют обвалы и осыпи, на всем пространстве обнажения имеются нависшие блоки.

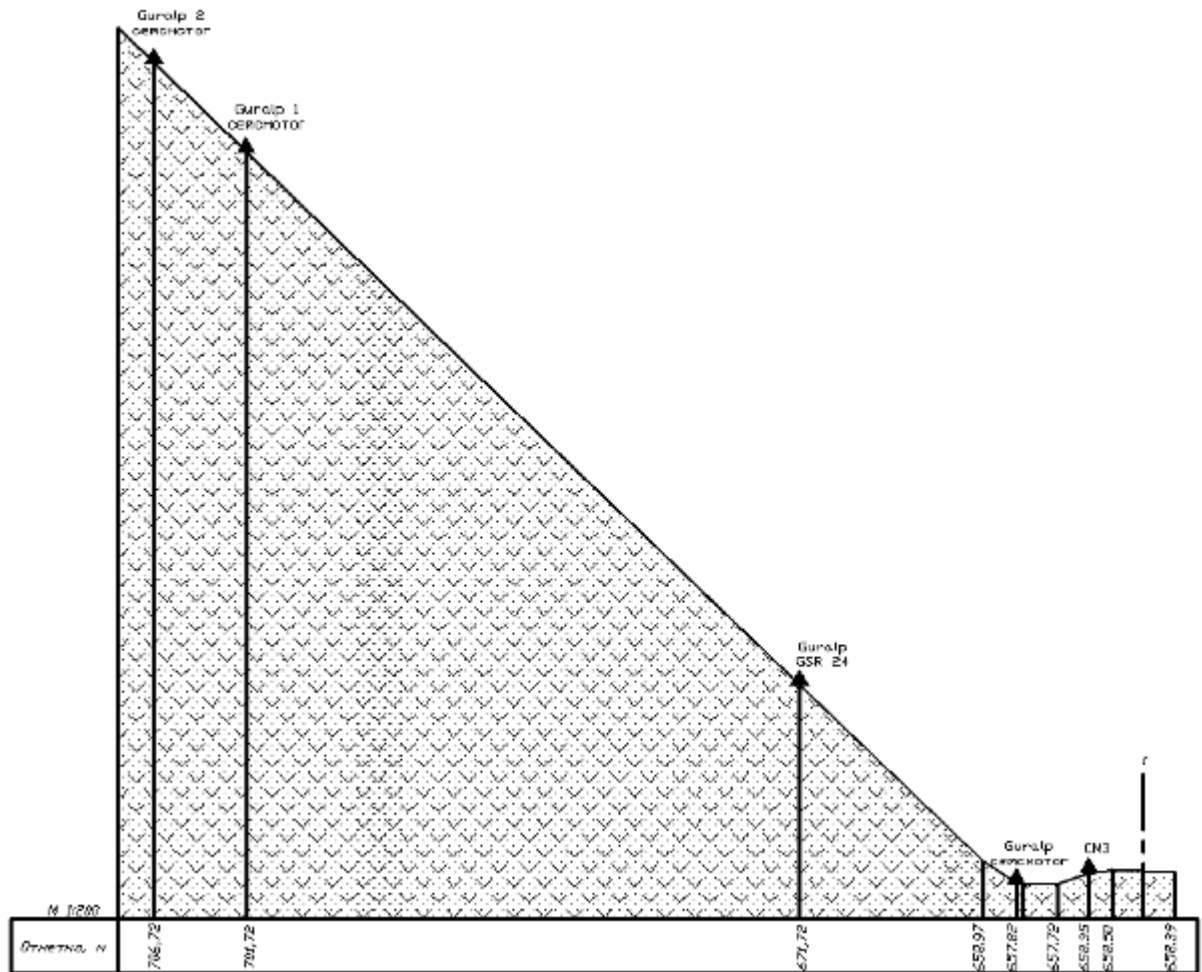


Рис. 4.2. Поперечный профиль выемки, сложенной андезитами (км 200 пк 6).

Участок № 3

Породы, слагающие участок, – андезиты. Угол заложения откоса варьирует от 50 до 80° , при высоте откоса 15-25 м. Высота откоса вместе со склоном достигает 35м. Его характерной особенностью являются не большие

высоты откосов и их фактически субвертикальное положение. Высота исследуемого поперечника достигает 20 м при угле заложения откоса 50° (рис. 4.3).

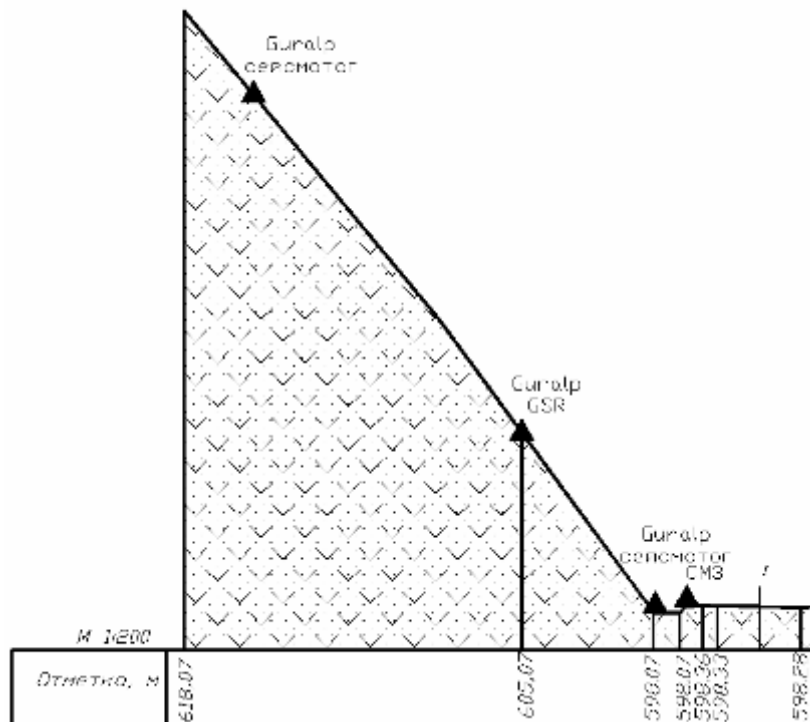


Рис. 4.3. Поперечный профиль выемки сложенной андезитами (км 197).

4.4. Результаты исследования

Сопоставление максимальных амплитуд смещения грунта в пунктах наблюдения позволило изучить характер изменения колебаний по поперечным профилям каждого участка.

По полученным записям, сделанным по девяти поездам, были найдены максимальные значения амплитуд, после чего, используя значения эталонного землетрясения построена амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), приравненная к АЧХ землетрясения (табл. 4.2, 4.3, рис. 4.4).

Таблица 4.1

Параметры эталонного землетрясения

Chalfant Valley 1986/07/21 14:42	
Magnitude:	M (6.2) MI (6.3) Ms (6.0)
Station:	54424 Bishop - Paradise Lodge
Data Source:	CDMG
Closest to fault rupture	23
Geomatrix or CWB	A

Таблица 4.2

Значения максимальных амплитуд эталонного землетрясения

Частота, Гц	Эталонное землетрясение
2	4,51
2,5	3,37
3,2	4,64
4	5,84
5	7,71
6,3	9,27
7,9	8,37
10	9,17
12,6	14,64
15,8	13,88
20	14,32

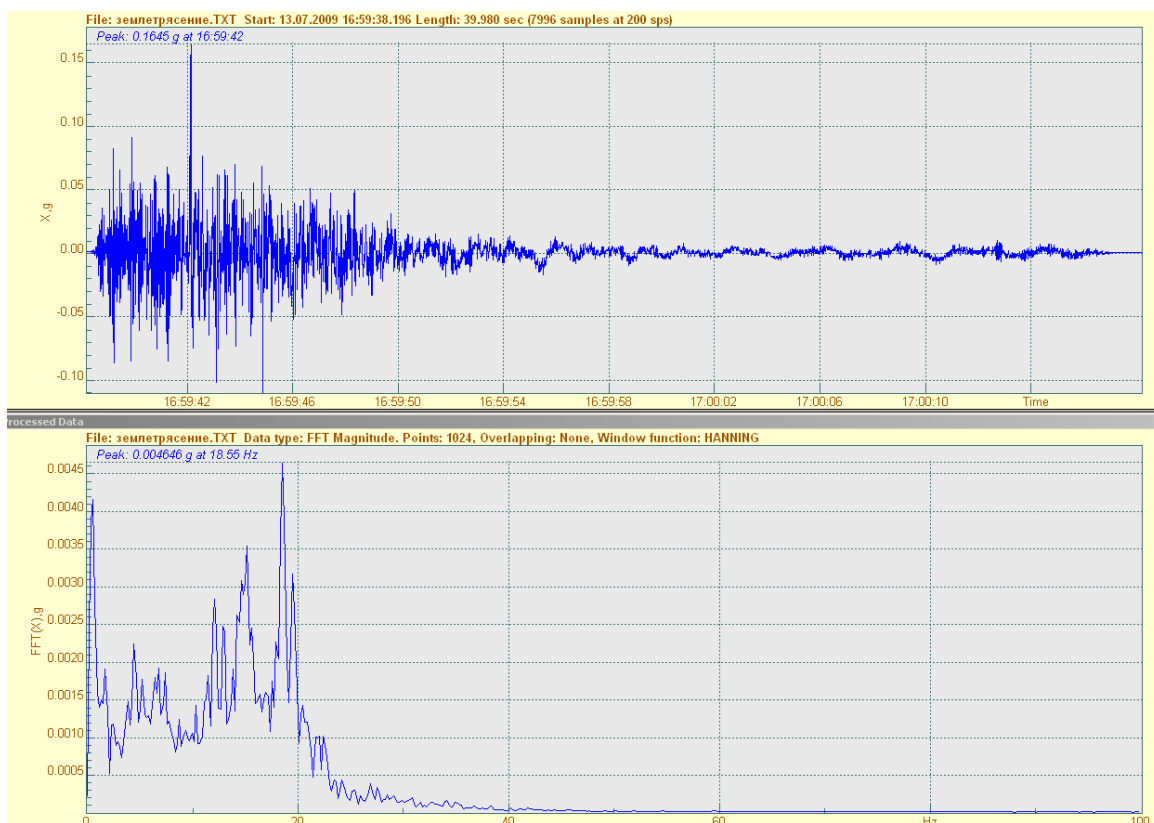


Рис. 4.4. Акселерограмма эталонного землетрясения и ее спектр.

Для построения графика АЧХ использовалась формула:

$$U_i = \frac{S_i}{S_3}, \quad (4.1)$$

где U_i – относительная частная характеристика i -го пункта наблюдения, S_i – спектр микросейсмических колебаний в i -м пункте наблюдений, S_3 – спектр микросейсмических колебаний на эталонном участке. Результаты расчёта приведены в качестве итоговых диаграмм.

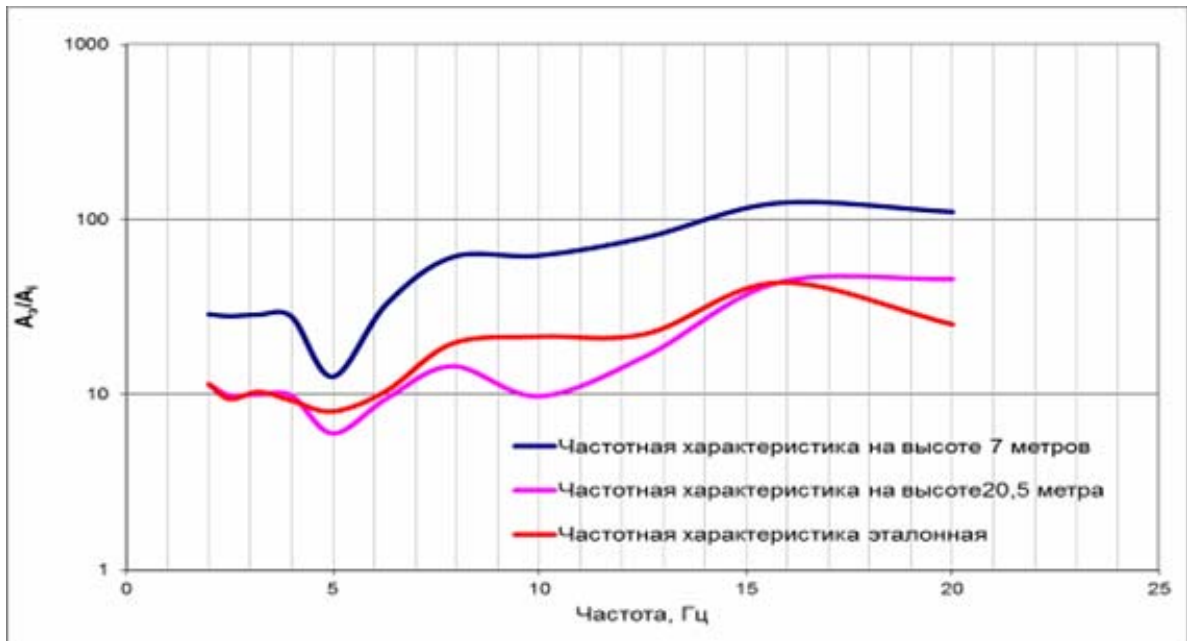


Рис. 4.5. Амплитудно-частотная характеристика (Км 225 пк 1, тепловоз 3ТЭ10м +53 полувагона).

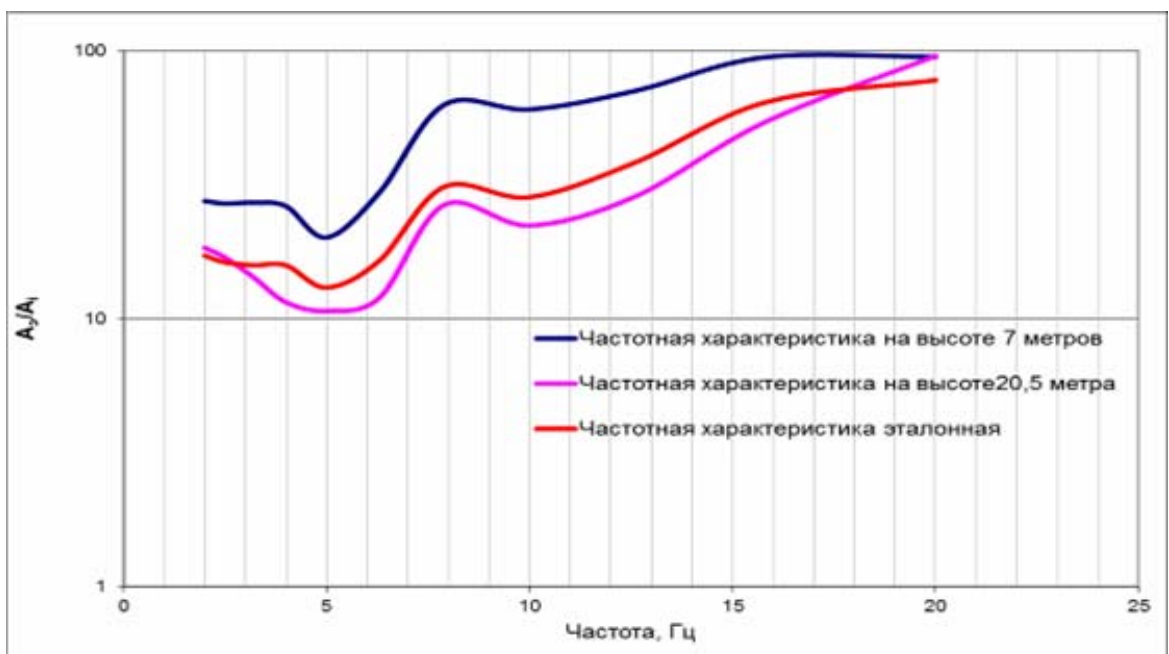


Рис. 4.6. Амплитудно-частотная характеристика (Км 225 пк 1, маневровый тепловоз с вагоном).

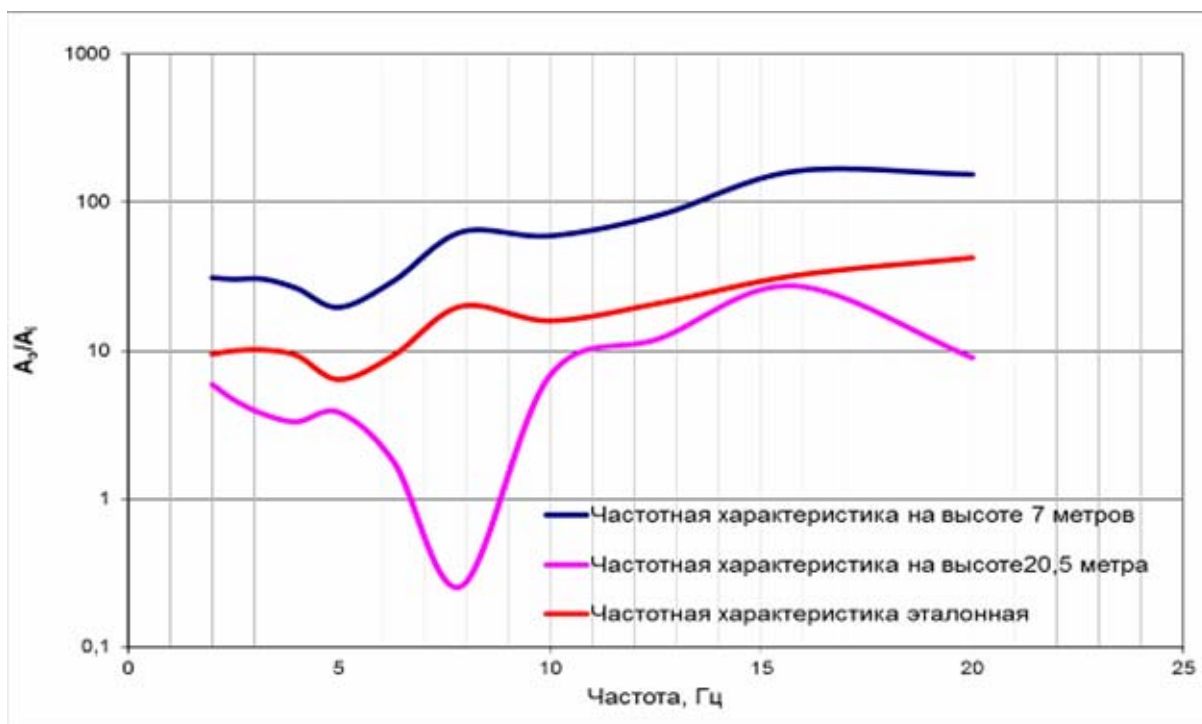


Рис. 4.7. Амплитудно-частотная характеристика (Км 225 пк 1, тепловоз 3ТЭ10м + 37 полувагонов с углем).

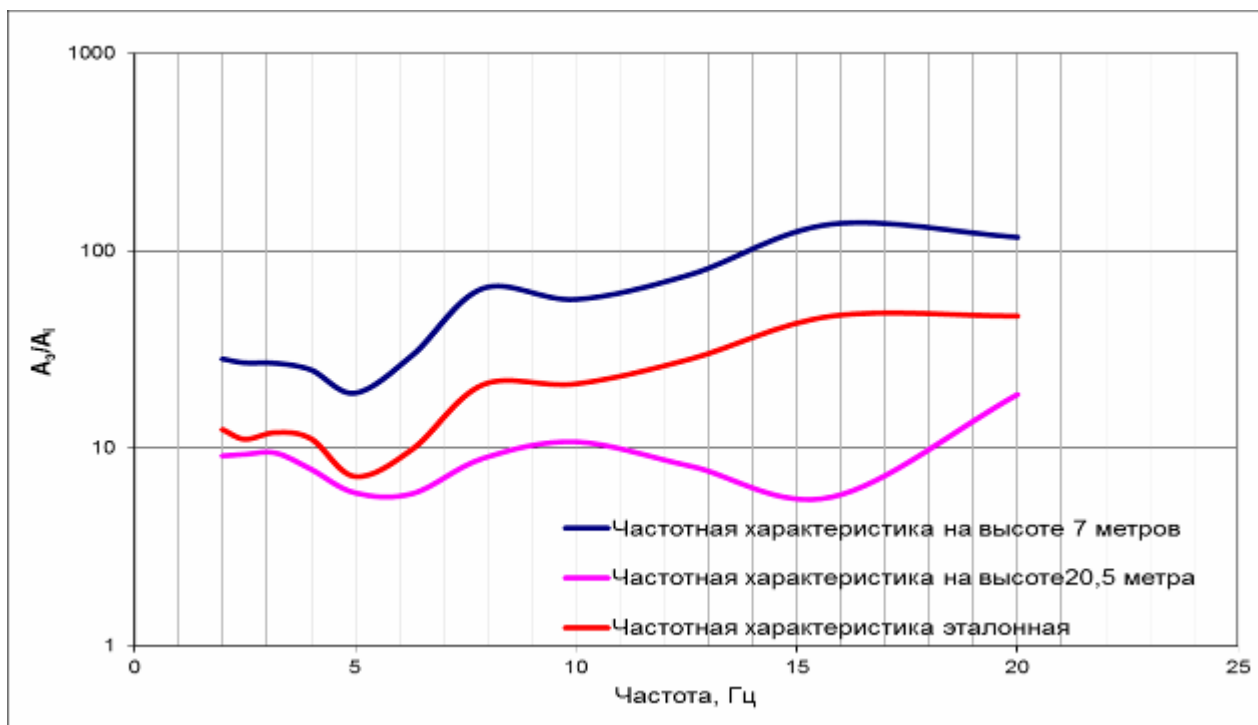


Рис. 4.8. Амплитудно-частотная характеристика (Км 225 пк 1, тепловоз 3ТЭ10м + 42 полувагона с углем).

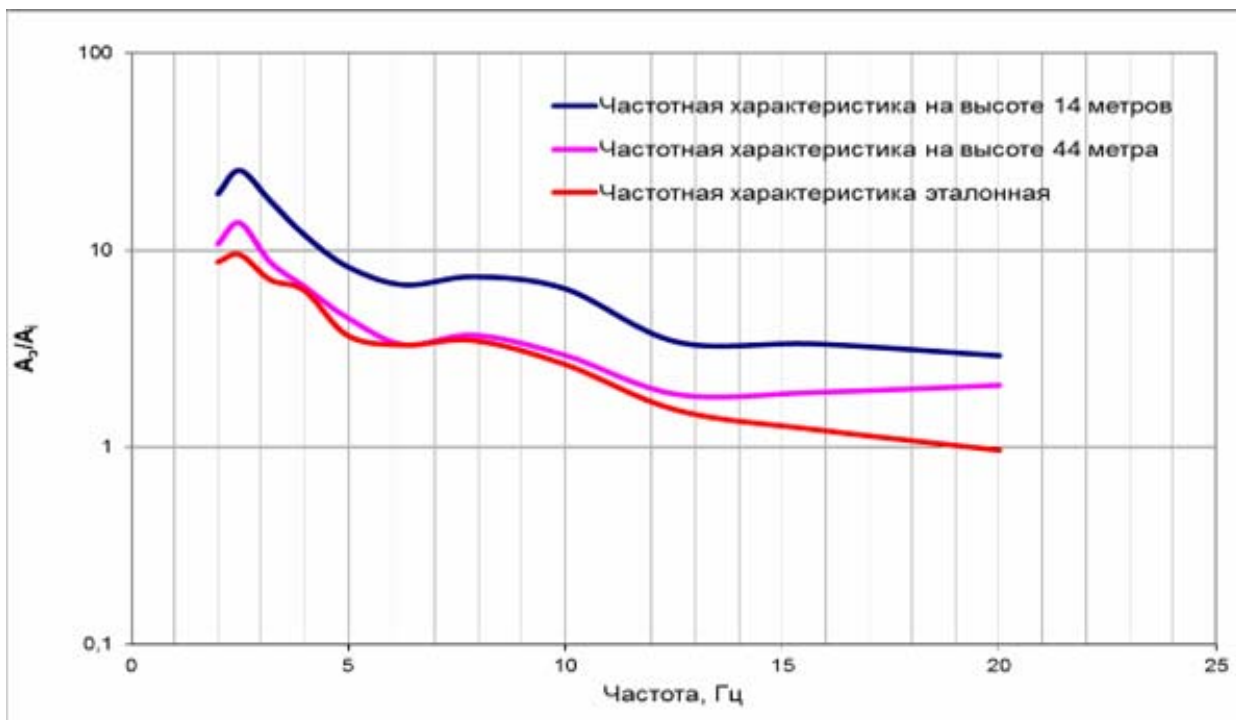


Рис. 4.9. Амплитудно-частотная характеристика (Км 201 пк 6, тепловоз 3ТЭ10м).

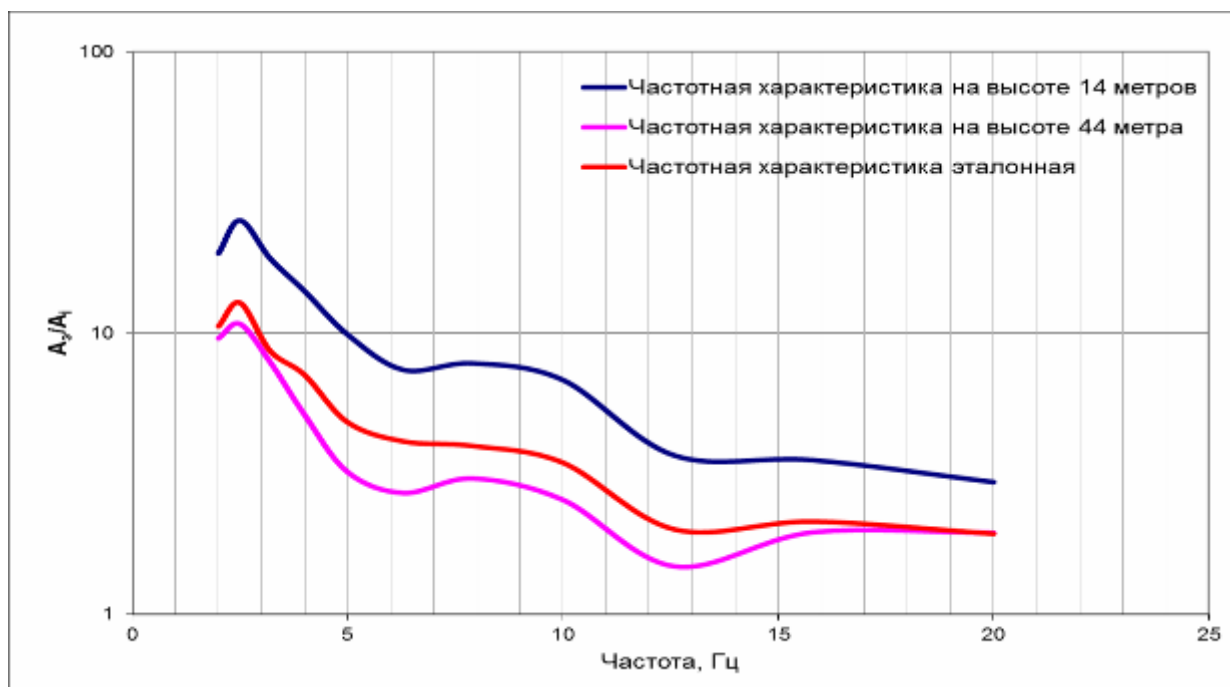


Рис. 4.10. Амплитудно-частотная характеристика (Км 201 пк 6, тепловоз 3ТЭ10м).

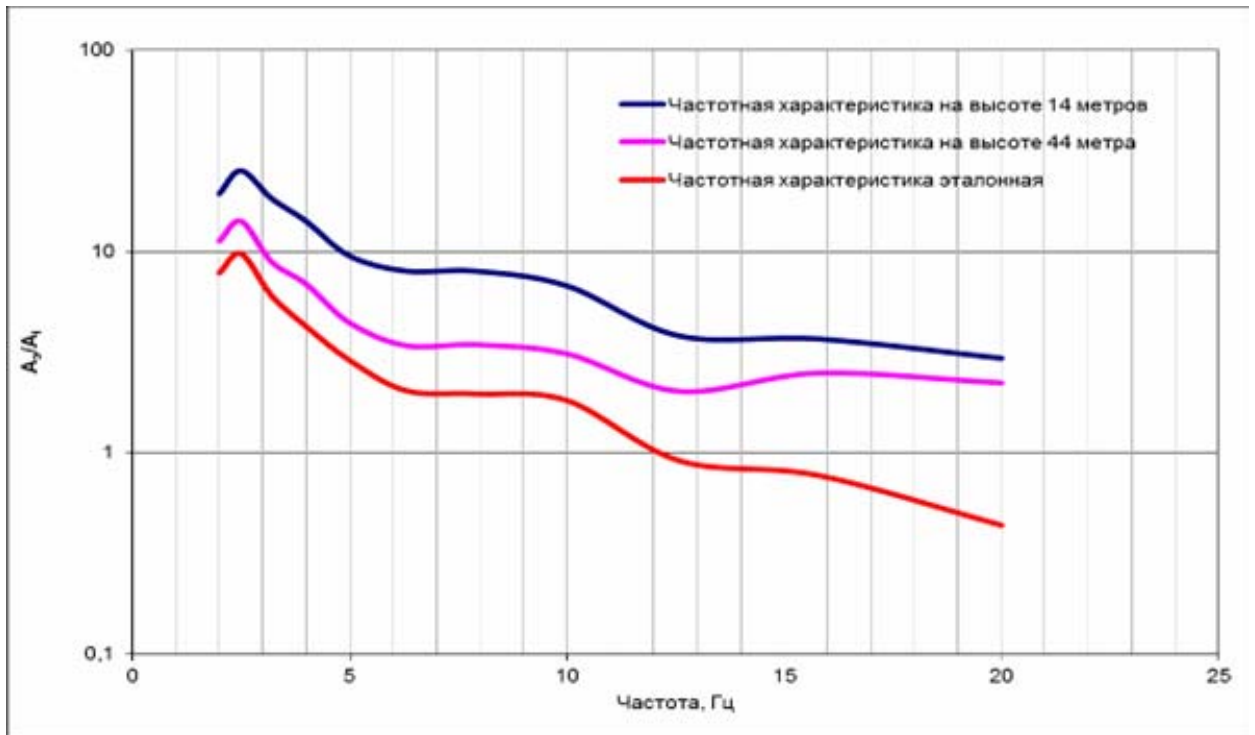


Рис.4.11 Амплитудно-частотная характеристика
(Км 201 пк 6, тепловоз 3ТЭ10м+41 полувагон + тягач 3ТЭ10м).

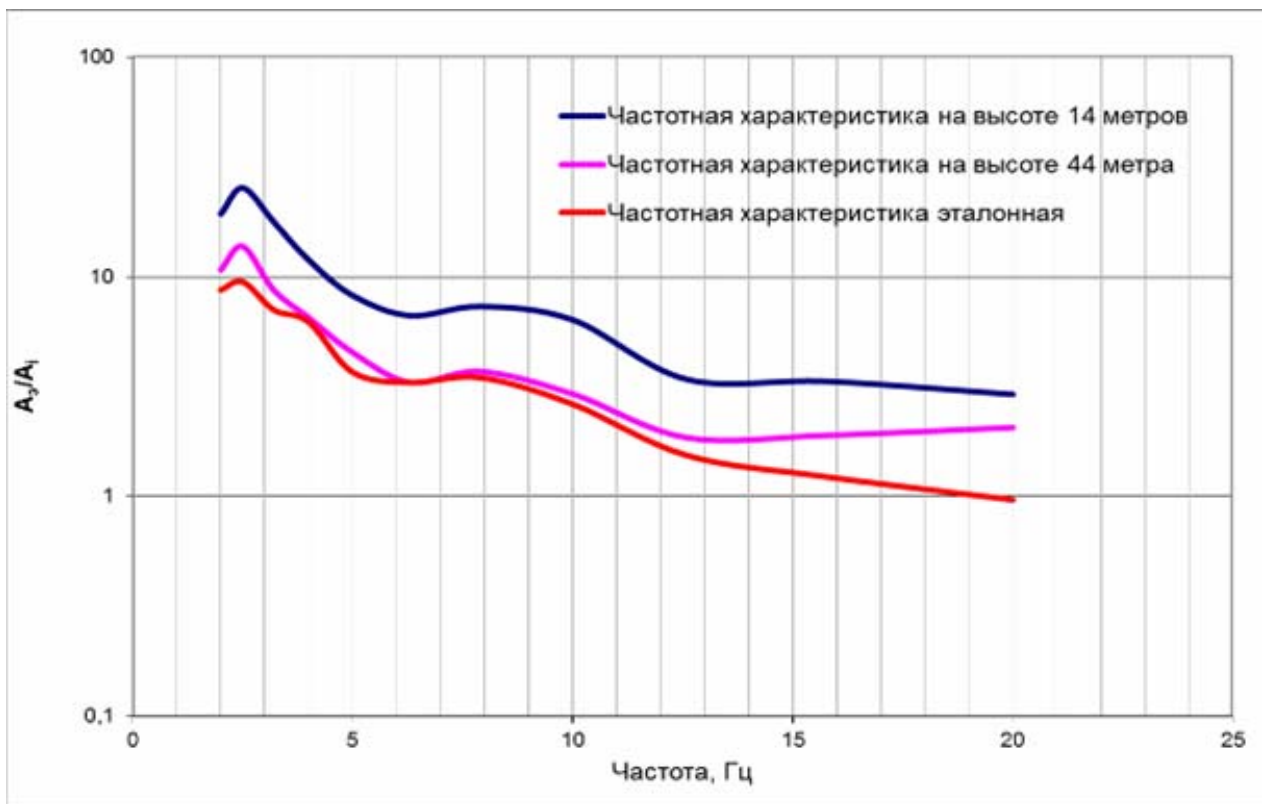


Рис. 4.12. Амплитудно-частотная характеристика
(Км 201 пк 6, тепловоз 3ТЭ10м+56пустых п/в).

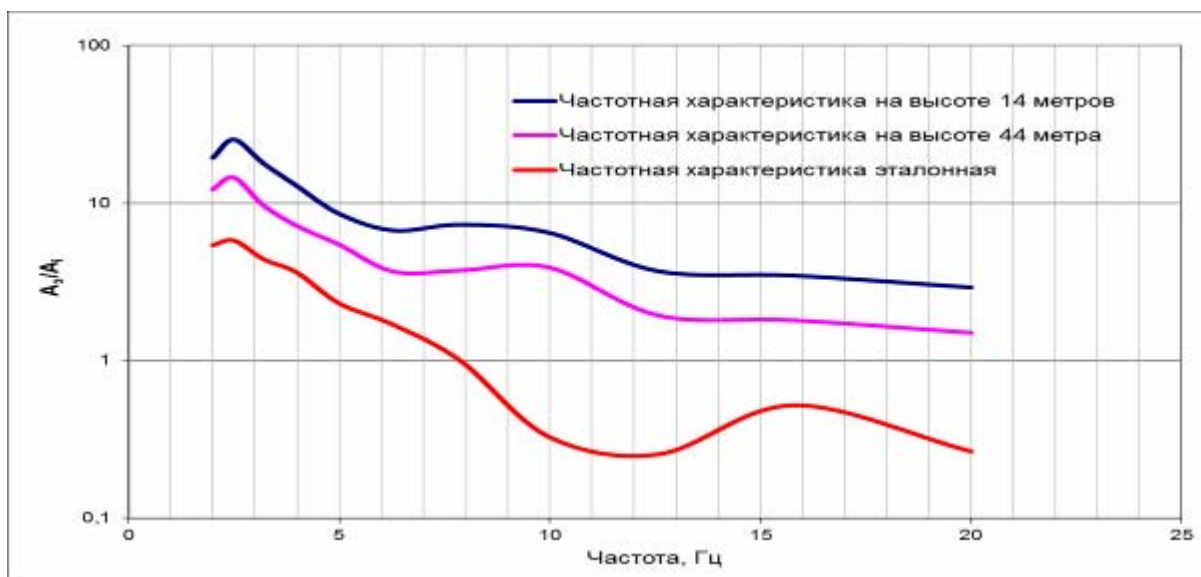


Рис. 4.13. Амплитудно-частотная характеристика (Км 201 пк 6, тепловоз 3ТЭ10м).

По полученным графикам АЧХ определены амплитудные максимумы в интервале 2-12 Гц, в результате построен график изменения амплитуды с высотой.

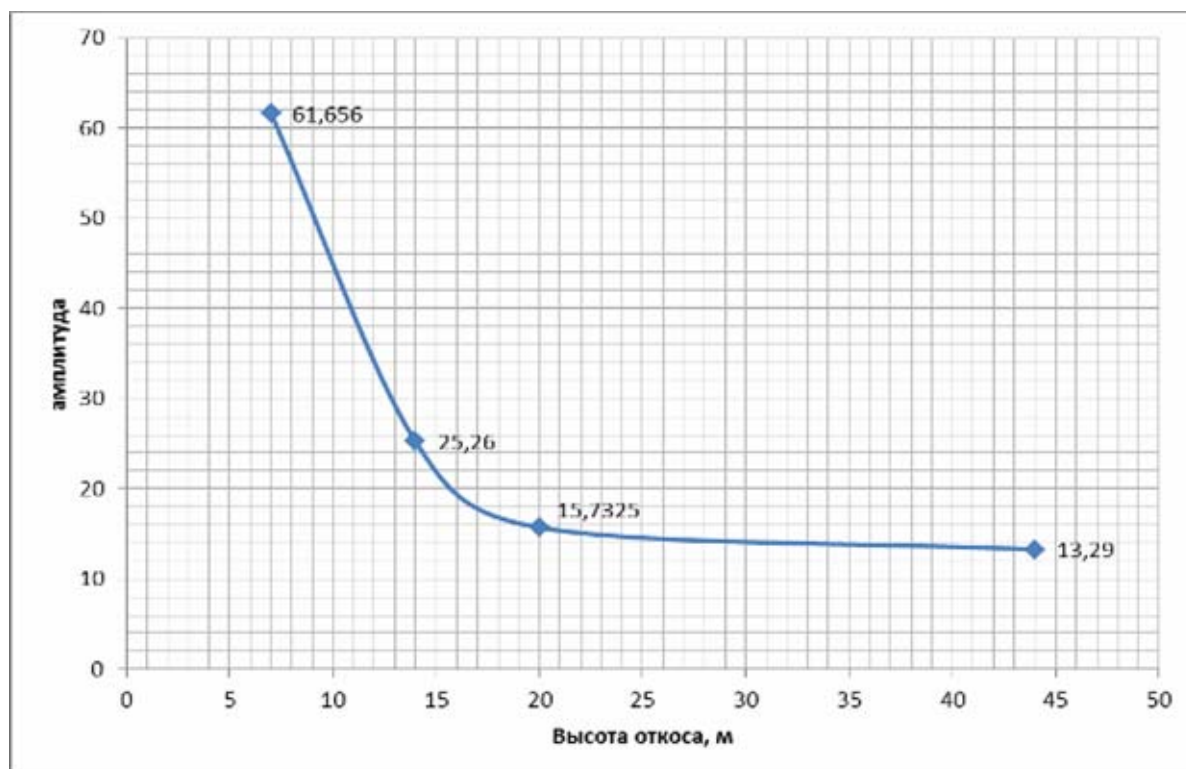


Рис. 4.14. График зависимости изменения амплитуд с высотой.

После получения АЧХ можно использовать данные для определения приращения балльности на любой высоте откоса.

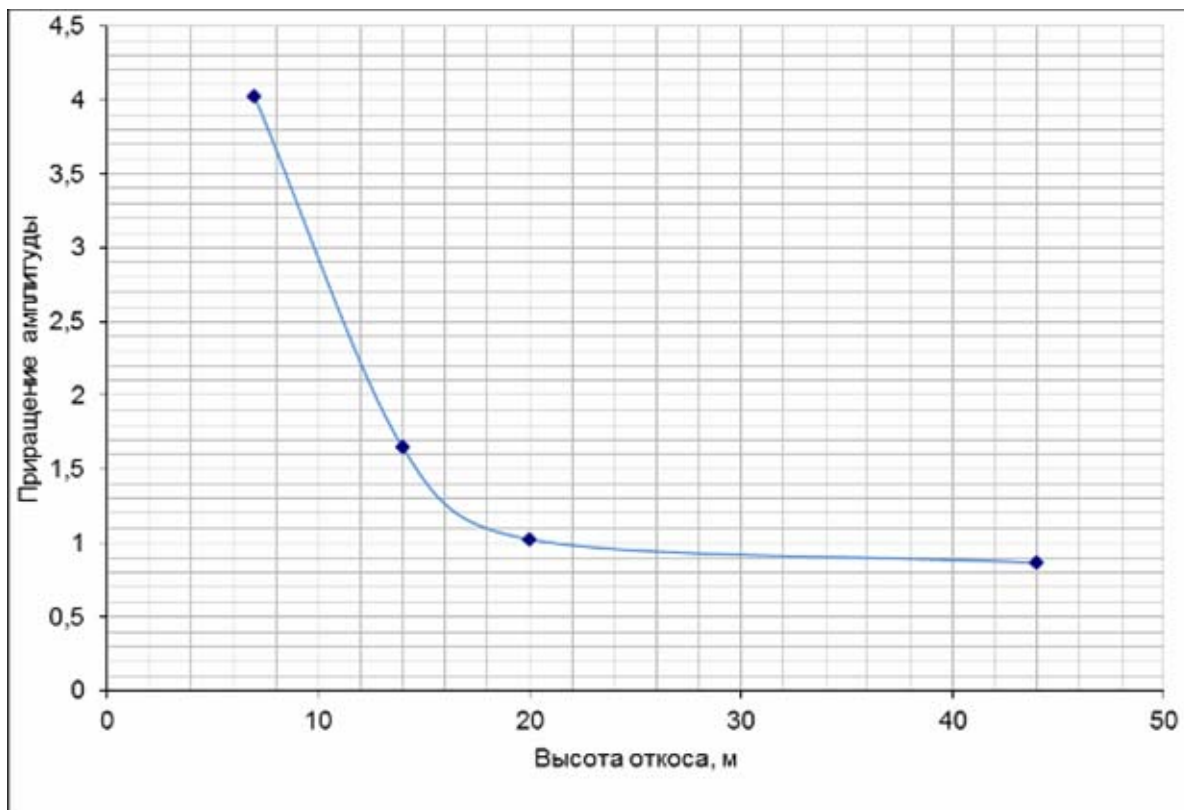


Рис.4.15. График зависимости приращения амплитуд по высоте относительно основания откоса.

Оценка грунтов по амплитудно-частотному методу производилась по формуле С.В. Медведева [Медведев, 1962,1968].

$$\Delta I = K \lg \frac{A_s}{A_i}, \quad (4.2)$$

где A_s и A_i – амплитуды колебаний на эталонном и изучаемом участках соответственно; K – коэффициент, принимаемый для горных районов равным 1.6.

Таблица 4.3.

Изменение сейсмической опасности в зависимости от высоты откоса

Высота, м	Приращение балльности
7	0,97
14	0,35
20	0,02
44	-0,10

При сейсмическом микрорайонировании существуют требования по учету особенностей рельефа [Джурик, Дренов, 1991]. Идет оценка сейсмической опасности откоса. То есть основная площадка является эталонным участком с точки зрения рельефа. При увеличении высоты до 7 метров происходит усиление сигнала до 4-х раз. Далее начинается быстрое затухание до высоты порядка 20 метров. И начиная с отметки 20 метров сейсмические свойства откосов определяются только свойствами и составом горных пород. В терминах баллов MSK-64 изменение сейсмической опасности представлено на рисунке 4.16.

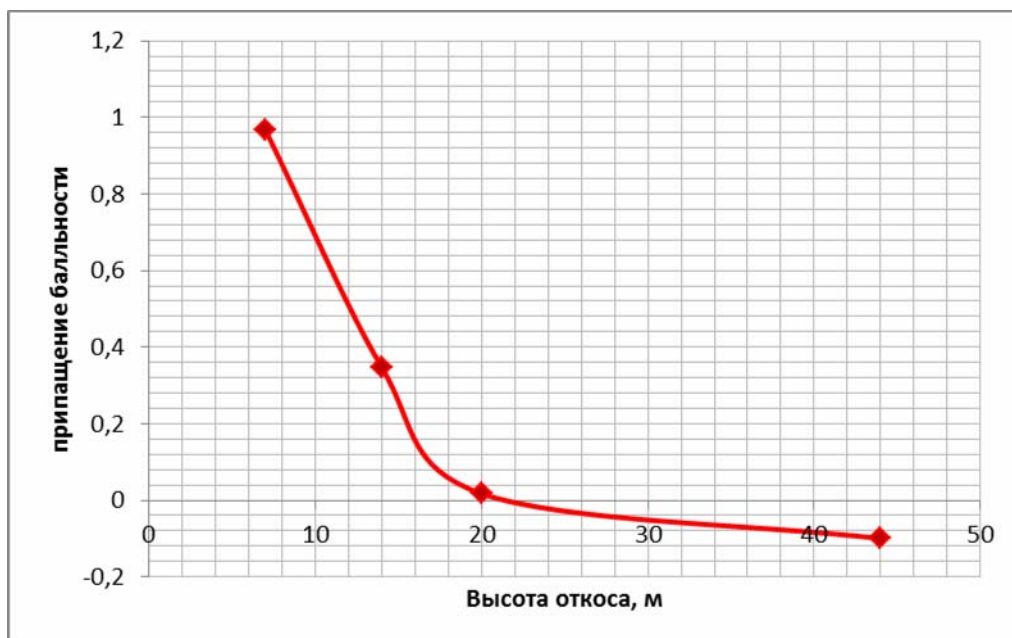


Рис. 4.16. График изменения сейсмической опасности в зависимости от высоты откоса.

Показанная на рисунке 4.16. зависимость аппроксимирована выражением

$$f(x) = -0,12515 + 2,79609 \cdot e^{-\frac{x}{2,79609}}, \quad (4.3)$$

где, x - высота откоса.

Эту формулу можно рассматривать как региональную зависимость приращения сейсмической опасности в зависимости от высоты откоса (склона) при сейсмическом микрорайонировании.

Глава 5. Типизация обвальных явлений и рекомендации по защите от опасных гравитационных процессов

5.1 Типизация обвалоопасных явлений

На линии Пивань – Сов. Гавань насчитывается несколько десятков достаточно опасных обвальных участков. Порядка тридцати из общего количества обвалоопасных участков находятся в границах 102 - 330 км Высокотурненской дистанции пути [Колтун, Квашук, 2008]. Проявление обвалов на этих участках может оказывать неблагоприятное воздействие на безопасность движения поездов. Обрушение обвальных масс может происходить как с поверхности скальных откосов выемок и полувыемок, так и со скальных выступов, располагаемых на естественных горных склонах [Голодковская, Матула, Шаумян, 1986]. Практически на всех из этих обвалоопасных участков отсутствуют инженерные сооружения по защите железнодорожного пути от разрушения обвальными массами [Колтун, Квашук, 2009; Квашук, Колтун, Злобин, 2011б]. В 2007 г на линии Пивань – Совгавань произошло крушение грузового поезда от удара скального обломка, сорвавшегося с горного склона.

В результате инженерно-геологического обследования 31 обвалоопасного участка в перевальной части линии [Колтун, Квашук, 2008] их можно разделить на 3 группы по степени опасности [Инструкция по содержанию земляного полотна..., 1985].

- **Особо опасными** являются 10 участков
- **Опасными** являются 20 участков
- **Неопасными** являются 1 участок

Анализ обвалоопасных мест на железнодорожной линии позволяет выявить схожие особенности, свойственные для всех обвалоопасных участков:

1. На большинстве обвальных мест отсутствует камнеулавливающая полка или ее ширина является минимальной, не превышая 2 - 4 м;
2. Высота скальных откосов и выше склонов весьма значительна. Может достигать 50 и более м.;
3. Крутизна откосов значительна, практически во всех случаях превышает 45 - 50°;
4. Породы, слагающие обвальные участки, чаще всего слоистые или сланцеватые породы (аргиллиты, алевролиты, сланцы), в значительной степени выветрелые и рассланцованные, а также магматические породы со значительной тектонической трещиноватостью;
5. Падение трещиноватости часто невыгодно по отношению к выработанному пространству выемки, т.е. траектория падения трещины направлена в сторону выемки;
6. Трещины в большинстве случаев заполнены песчано-глинистым материалом, что неблагоприятно влияет на устойчивость блоков горных пород в откосах и склонах;
7. Сейсмичность района составляет 8 баллов.

В таблице 5 представлены результаты типизации участков по степени опасности.

Сводная ведомость скально-обвальных участков с типизацией по степени опасности

Таблица 5.1.

№			Протяжение, м	Поперечный профиль	Характеристика опасности обваль- ного явления
	Начало участка, КМ, ПК +	Конец участка, КМ, ПК +			
1	3	4	5	6	7
1	102км ПК9+40	105км ПК6+80	2740	Полувыемка: алевролиты, песчаники Откос: угол заложения, $\alpha=45^{\circ}$ - 50° ;Высота: Н=14-20м Склон**: угол заложения, $\alpha=20^{\circ}$ - 40° ;Высота: Н=14-25м, Ширина улавливающей полки: L=0,6-2м	опасный
2	105км ПК6+80	105км ПК7+60	80	Полувыемка: алевролиты, песчаники Откос: угол заложения, $\alpha=45^{\circ}$ - 50° ;Высота: Н=14-20м Склон**: угол заложения, $\alpha=20^{\circ}$ - 40° ;Высота: Н=14-25м, Ширина улавливающей полки: L=0,6-2м	особоопасный
3	115км ПК5+41	115км ПК10+00	459	Полувыемка, алевролиты, песчаники Откос: угол заложения, $\alpha=25^{\circ}$ - 35° ;Высота: Н=20-35,5м Склон: угол заложения, $\alpha=40^{\circ}$ - 45° ;Высота: Н=48-86м, Ширина улавливающей полки: L=2,7-6,5м	особоопасный
4	115км ПК10+00	119км ПК10+00	4 000	Полувыемка, алевролиты, песчаники Откос: угол заложения, $\alpha=40^{\circ}$ - 50° ;Высота: Н=35-40м Склон: угол заложения, $\alpha=44^{\circ}$ - 48° ;Высота: Н=46-49м, Ширина улавливающей полки: L=0,4-5,5м	опасный
5	120км ПК0+00	120км ПК7+50	750	Полувыемка, алевролиты, песчаники Откос: угол заложения, $\alpha=40^{\circ}$ - 50° ;Высота: Н=35-40м Склон: угол заложения, $\alpha=44^{\circ}$ - 48° ;Высота: Н=46-49м, Ширина улавливающей полки: L=0,4-5,5м	особоопасный

Продолжение таблицы 5.1.

№			Протяжение, м	Поперечный профиль	Характеристика опасности обваль- ного явления
	Начало участка, КМ, ПК +	Конец участка, КМ, ПК +			
1	3	4	5	6	7
6	123км ПК8+00	124км ПК1+80	380	Полувыемка, алевролиты, песчаники Откос: угол заложения, $\alpha=33^\circ$; H=12,5м Склон: угол заложения, $\alpha=3^\circ$; H=0,2м, Ширина улавливающей полки:L=1м	опасный
7	197км, ПК6+00	197км, ПК9+80	380	Полувыемка, андезиты Откос: угол заложения, $\alpha=33^\circ-55^\circ$; H=5-13м Склон: угол заложения, $\alpha=14^\circ-37^\circ$; H=6-20м, Ширина улавливающей полки:L=0,9-1,05м	опасный
8	198км, ПК0+60	198км, ПК2+25	165	Полувыемка: андезиты Откос: угол заложения, $\alpha=33^\circ-55^\circ$; H=5-13м Склон: угол заложения, $\alpha=14^\circ-37^\circ$; H=6-20м, Ширина улавливающей полки:L=0,9-1,05м	опасный
9	198км, ПК7+45	198км, ПК8+90	145	выемка: андезиты слева: угол заложения, $\alpha=33^\circ-55^\circ$; H=7-12м справа: угол заложения, $\alpha=33^\circ-55^\circ$; H=19м, Ширина улавливающей полки:L=0,5-1,0м	опасный
10	200км, ПК4+00	200км, ПК6+30	230	полувыемка: андезиты Откос: угол заложения, $\alpha=26^\circ-49^\circ$; H=5-67м Склон: угол заложения, $\alpha=15^\circ-21^\circ$; H=3-10м, Ширина улавливающей полки:L=1,4-2,7м	опасный
11	201км, ПК1+00	201км, ПК6+95	595	выемка, полувыемка: андезиты Откос: угол заложения, $\alpha=26^\circ-44^\circ$; H=10-57м Ширина улавливающей полки:L=4,0м	опасный

Продолжение таблицы 5.1.

№			Протяжение, м	Поперечный профиль	Характеристика опасности обваль- ного явления
	Начало участка, КМ, ПК +	Конец участка, КМ, ПК +			
1	3	4	5	6	7
12	201км, ПК8+00	202км, ПК0+70	270	выемка, полувыемка: андезиты Откос: угол заложения, $\alpha=26^{\circ}-44^{\circ}$; Н=10-57м Ширина улавливающей полки: L=4,0м	опасный
13	202км, ПК9+00	203км, ПК1+90	290	выемка: андезиты Откос: угол заложения, $\alpha=41^{\circ}-49^{\circ}$; Н=48м Ширина улавливающей полки: L=3,0 - 4,0м	опасный
14	203км, ПК4+00	203км, ПК7+70	370	выемка: андезиты Откос: угол заложения, $\alpha=41^{\circ}-49^{\circ}$; Н=14м Ширина улавливающей полки: L=3,0 м	особоопасный
15	205км, ПК5+00	205км, ПК6+00	100	полувыемка: андезиты Откос: $\alpha=36^{\circ}$, Н=7м; Склон: $\alpha=23^{\circ}$, Н=18м, Ширина улавливающей полки: L=1,5м	опасный
16	205км, ПК6+00	205км, ПК8+50	250	полувыемка: андезиты Откос: $\alpha=36^{\circ}$; Н=9м; Склон: $\alpha=25^{\circ}$; Н=19м, Ширина улавливающей полки: L=1,2м	опасный
17	205км, ПК8+50	206км, ПК0+50	200	полувыемка: андезиты Откос: $\alpha=33^{\circ}$; Н=10м; Склон: $\alpha=21^{\circ}$; Н=15м, Ширина улавливающей полки: L=1,1м	опасный
18	224км, ПК6+40	224км, ПК7+50	110	полувыемка: алевролиты, песчаники Откос: $\alpha=50-55^{\circ}$; Н=20-30м; Склон: $\alpha=38^{\circ}$; Н=8м, Ширина улавливающей полки: L=0,6-1,4м	особоопасный

Продолжение таблицы 5.1.

№			Протяжение, м	Поперечный профиль	Характеристика опасности обваль- ного явления
	Начало участка, КМ, ПК +	Конец участка, КМ, ПК +			
1	3	4	5	6	7
19	224км, ПК8+65	224км, ПК9+50	85	Полувыемка: алевролиты, песчаники Откос: $\alpha=40^\circ$; Н= 15-57м, Склон: $\alpha=41^\circ$; Н=10м, Ширина улавливающей полки: L=1,9-6,1м	особоопасный
20	225км, ПК0+20	225км, ПК1+68	148	Полувыемка: алевролиты, песчаники Откос: $\alpha=59^\circ$; Н=9м; Склон: $\alpha=42^\circ$; Н=15м, Ширина улавливающей полки: L=1,4м	особоопасный
21	225км, ПК1+68	226км, ПК1+00	932	Полувыемка: алевролиты, песчаники Откос: $\alpha=50^\circ$; Н=7м; Склон: $\alpha=35^\circ$; Н=13м, Ширина улавливающей полки: L=1,3м	особоопасный
22	226км, ПК1+00	226км, ПК5+00	400	Полувыемка: алевролиты, песчаники Откос: $\alpha=40-50^\circ$; Н=7-15м, Склон: $\alpha=35^\circ$; Н=13м, Ширина улавливающей полки: L=1,5м	особоопасный
23	265км, ПК2+50	266км, ПК1+00	850	Полувыемка: андезиты-дациты Откос: $\alpha=30-45^\circ$; Н=5-20м; Склон: $\alpha=36^\circ$; Н=5-38м, Ширина улавливающей полки: L=4-8м	опасный
24	291км, ПК7+60	292км, ПК0+50	290	Полувыемка: вулканыты ср. и осн.состава Откос: $\alpha=30-45^\circ$; Н=46-160м Ширина улавливающей полки: L=5,5м	опасный
25	296км, ПК6+00	299км, ПК2+50	2650	Полувыемка: вулканыты ср. и осн.состава Откос: $\alpha=40-50^\circ$; Н=5-20м; Склон: $\alpha=13-34^\circ$; Н=5-25м, Ширина улавливающей полки: L=0,5-1м	опасный

Продолжение таблицы 5.1.

№			Протяжение, м	Поперечный профиль	Характеристика опасности обваль- ного явления
	Начало участка, КМ, ПК +	Конец участка, КМ, ПК +			
1	3	4	5	6	7
26	315км, ПК1+00	315км, ПК3+00	200	Полувыемка: вулканыты ср. и осн.состава Откос: $\alpha=40-45^\circ$; Н=3,0-5,0м;Склон: $\alpha=13-15^\circ$; Н=5-7м, Ширина улавливающей полки: L=5,0-6,0м	неопасный
27	317км, ПК2+35	317км, ПК4+00	165	Полувыемка: вулканыты ср. и осн.состава Откос: $\alpha=55-60^\circ$; Н=32-80м; Склон: $\alpha=13-20^\circ$; Н=5-20м, Ширина улавливающей полки: L=1,5 – 13,0 м	опасный
28	320км, ПК1+00	321км, ПК3+40	1240	Полувыемка: вулканыты ср. и осн.состава Откос: $\alpha=55^\circ$; Н=38м;Склон: $\alpha=44^\circ$; Н=18м, Ширина улавливающей полки: L=0,5-1м	опасный
29	324км, ПК9+00	326км, ПК4+00	1500	Полувыемка: вулканыты ср. и осн.состава Откос: угол заложения, $\alpha=40-70^\circ$;Высота: Н=20-30м	опасный
30	327км, ПК8+00	330км, ПК3+42	2542	Полувыемка: вулканыты ср. и осн.состава Откос: $\alpha=40-70^\circ$ Н=5-20м;Склон: $\alpha=20-40^\circ$ Н=20-30м, Ширина улавливающей полки: L=0,5-6м	опасный
31	330км, ПК8+60	331км, ПК1+00	240	Полувыемка: вулканыты ср. и осн.состава Откос: $\alpha=40-55^\circ$, Н=14-20м;Склон: $\alpha=20-40^\circ$, Н=5-10м, Ширина улавливающей полки: L=3,0-9м	особоопасный



Рис. 5.1. Районирование линии по степени опасности.

(Красные участки – особоопасные, оранжевые – опасные, желтые – не опасные.)

Участки по степени опасности распределены не закономерно, но все они сосредоточены в перевальной части линии [Колтун, Квашук, 2010, 2011].

5.2 Анализ методов стабилизации скальных откосов

Выбор типов инженерных сооружений для защиты железнодорожного пути от воздействия горных обвалов производился исходя из следующих положений.

Наиболее эффективным решением по защите пути от обвалов является вынос пути из обвалоопасной зоны, который может быть сделан либо с целью обхода опасных участков, либо с целью устройства улавливающей полки совместно с улавливающей стеной или без нее. В условиях горных участков линии Комсомольск – Совгавань вынос пути из обвалоопасной зоны сопряжен со значительными трудностями, которые обусловлены сложными пла-

ном и продольным профилем железнодорожного пути. План пути характеризуется применением кривых малых радиусов (менее 300, а на отдельных участках – менее 200 м) с прямыми вставками между ними недостаточной длины или их отсутствием вообще. Профиль пути характеризуется наличием протяженных участков применения руководящего уклона и уклонов кратной (двойной и тройной) тяги. Все это приведет к тому, что даже незначительные сдвиги пути, необходимые для выноса пути из обвалоопасной зоны, могут повлечь за собой его сдвиги на значительных по протяжению смежных участках. Кроме того, большая косогорность и рабочие отметки выемок, полувыемок или полувыемок-полунасыпей повлекут за собой резкое увеличение объемов земляных работ по сооружению и реконструкции земляного полотна на участках выноса пути. Все это вместе взятое снижает эффективность применения выноса пути из обвалоопасной зоны как одного из противообвальных мероприятий. Также неэффективно в большинстве случаев применять вынос пути на обвальных участках, расположенных на прижимах реки Тумнин. Но все же, при наличии благоприятных условий, для защиты пути от обвалов рекомендуется применять вынос пути.

Другим не менее эффективным проектным решением по защите пути от воздействия горных обвалов является применение улавливающих стен или улавливающих полок, как отдельно, так и совместно друг с другом. При проектировании улавливающих стен и улавливающих полок совместно друг с другом последние позволяют существенно уменьшить высоту улавливающих стен или даже полностью отказаться от них.

Расчет улавливающих стен сводится к расчетам на перелет и на прочность. Расчеты на перелет определяют невыгоднейшее положение точки отрыва на поверхности скального откоса, которое определяет более высокую траекторию полета камня в месте проектирования улавливающей стены. Расчеты на прочность сводятся к определению габаритных размеров, главным

образом толщины стены и толщины амортизирующей отсыпки, и, кроме того, сопротивлению ее опрокидыванию под воздействием массы обвалившегося грунта при полном заполнении застенной пазухи.

Расчет улавливающих полок сводится к расчету на выскакивание камней и падению их на путь. Расчет на выскакивание заключается в определении наибольшей высоты подскакивания при падении камней на полку или высоты набега их на внутренний откос сооружения. В случае проектирования улавливающей полки в скальных грунтах для уменьшения высоты подскакивания камней необходимо выполнить амортизирующую отсыпку рыхлым (песчано-гравийным) грунтом.

5.2.1. Рекомендации по защите пути от обвалов

Рекомендуемые мероприятия [СНиП 2.01.15–90, СНиП 11-02–96.] на участках перевальной части Железнодорожной линии Комсомольск – Советская Гавань представлены в сводной таблице 5.2.2.

Таблица 5.2 Рекомендации по защите пути от обвалов

номер участка	границы участка		Рекомендуемое защитное мероприятие					
	начало	конец	улавливающая стенка	улавливающая полка	закрепление откоса метал. или полимерн сеткой	сдвигка пути	оборка скальных выступов	расчистка существ. улавливающ полки
1	102км ПК9+40	105км ПК6+80	+	6м				
2	105км ПК6+80	105км ПК7+60						
3	115км ПК5+41	115км ПК10+00	до 8м	до 11 м				
4	115км ПК10+00	119км ПК10+00						
5	120км ПК0+00	120км ПК7+50	до 7 м			до 7 м		
6	123км ПК8+00	124км ПК1+80						
7	197км, ПК6+00	197км, ПК9+80	от 3,6 до 7,2 м		+			
8	198км, ПК0+60	198км, ПК2+25						
9	198км, ПК7+45	198км, ПК8+90		до 3,5 м слева до 6 м справа	+			

Продолжение таблицы 5.2

номер по порядку	границы участка		Рекомендуемое защитное мероприятие					
	начало	конец	улавливающая стенка	улавливающая полка	закрепление откоса метал. или полимерн сеткой	сдвигка пути	оборка скальных выступов	расчистка существ. улавливающ полки
10	200км, ПК4+00	200км, ПК6+30	от 1,2 до 7 м					
11	201км, ПК1+00	201км, ПК6+95						
12	201км, ПК8+00	202км, ПК0+70						
13	202км, ПК9+00	203км, ПК1+90	3,7-5 м					до 8 м
14	203км, ПК4+00	203км, ПК7+70						
15	205км, ПК5+00	205км, ПК6+00	4,7-6,5 м					
16	205км, ПК6+00	205км, ПК8+50				на 4-6 м		
17	205км, ПК8+50	206км, ПК0+50						

Продолжение таблицы 5.2

номер по порядку	границы участка		Рекомендуемое защитное мероприятие					
	начало	конец	улавливающая стенка	улавливающая полка	закрепление откоса метал. или полимерн сеткой	сдвигка пути	оборка скальных выступов	расчистка существ. улавливающ полки
18	224км, ПК6+40	224 км, ПК7+50	+				+	
19	224км, ПК8+65	224 км, ПК9+50			+			
20	225км, ПК0+20	225 км, ПК1+68						
21	225км, ПК1+68	226 км, ПК1+00						
22	226км, ПК1+00	226 км, ПК5+00						
23	265км, ПК2+50	266 км, ПК1+00	+					
24	291км, ПК7+60	292 км, ПК0+50	+ (6,8-7,7 м)	+				
25	296км, ПК6+00	299 км, ПК2+50	+	+		до 7 м		

Продолжение таблицы 5.2.

номер по порядку	границы участка		Рекомендуемое защитное мероприятие					
	начало	конец	улавливающая стенка	улавливающая полка	закрепление откоса метал. или полимерн сеткой	сдвигка пути	оборка скальных выступов	расчистка существ. улавливающ полки
26	315км, ПК1+00	315 км, ПК3+00	+ (10 м)	+		До 8,5 м		
27	317км, ПК2+35	317 км, ПК4+00						
28	320км, ПК1+00	321 км, ПК3+40	+ (до 6,2м)	+		до 6 м		
29	324км, ПК9+00	326 км, ПК4+00						
30	327км, ПК8+00	330 км, ПК3+42	+	+				
31	330км, ПК8+60	331 км, ПК1+00						

Результаты и выводы

В результате инженерно-геологического обследования 31 обвалоопасного участка в перевальной части линии (231 км) они разделены на 3 группы по степени опасности.

- Особо опасными являются 10 участков
- Опасными являются 20 участков
- Неопасными является 1 участок

Анализ обвалоопасных мест на железнодорожной линии, позволяет выявить схожие особенности, свойственные для всех обвалоопасных участков:

1. На большинстве обвальных мест отсутствует камнеулавливающая полка, или ее ширина является минимальной, не превышая 2 - 4 м;
2. Высота скальных откосов, и выше склонов весьма значительна. Может достигать 50 и более м;
3. Крутизна откосов значительна, практически во всех случаях превышает $45 - 50^{\circ}$;
4. Породы, слагающие обвальные участки, это чаще всего это слоистые или сланцеватые (аргиллиты, алевролиты, сланцы), в значительной степени выветрелые и рассланцованные, а также магматические породы со значительной тектонической трещиноватостью.
5. Падение трещиноватости часто невыгодно по отношению к выработанному пространству выемки, т.е. траектория падения трещины направлена в сторону выемки;
6. Трещины в большинстве случаев заполнены песчано-глинистым материалом, что неблагоприятно влияет на устойчивость блоков горных пород в откосах и склонах;
7. Сейсмичность района составляет 7 баллов.

В качестве защитных мероприятий на линии целесообразно применение защитных конструкций, таких как улавливающая стенка; несмотря на высокую стоимость, это сооружение эффективнее всего обеспечит безопасность железнодорожного пути, особенно в местах, где перенос пути невозможен из-за сложного строения территории.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

Выполненный анализ особенностей инженерно геологические условия Северного Сихотэ-Алиня позволил установить, что при освоении и развитии всего региона наиболее опасными процессами являются гравитационные – обвалы, осыпи, вывалы и лавины. Это требует более внимательного подхода к изысканиям, проектированию, строительству и эксплуатации транспортных и иных сооружений высокого уровня ответственности.

Разработана методика, позволяющая получить высокоточную цифровую объемную модель местности, пригодную для решения множества задач при геологических исследованиях и инженерно-геологических изысканиях. При использовании программного комплекса впервые для района получены количественные показатели скорости денудационных процессов на исследуемых участках сложенных алевролитами и андезитами. Для алевролитов этот показатель составил 32,02 м³/мес , для андезитов 1,07 м³/мес. Установлено, что полученная разница значений скорости денудации определяется генезисом и состоянием пород.

Получена зависимость изменения сейсмической опасности от высоты откоса. Определено вибродинамическое воздействие поездов на откосы выемок, определена максимальная высота откоса, на которой происходит усиление колебаний за счет возникновения резонансных явлений. При увеличении высоты до 7 метров происходит усиление сигнала до 4-х раз, далее начинается быстрое затухание до высоты порядка 20 метров.

Проведены инженерно-геологические обследования 31 обвалоопасного участка в перевальной части линии (231 км), которые позволили провести их типизацию по степени опасности.

Проведенные цифровые и натурные исследования позволили установить:

- общие особенности, свойственные для всех обвалоопасных мест.
- упростить принятие решений по выбору конструкций инженерных сооружений, с учетом современного состояния инженерно-геологических условий территории и их особенностей.

Предлагаемые мероприятия позволяют оптимизировать строительную стоимость ремонтных работ, уменьшить материальные ресурсы, повысить безопасность движения поездов, что способствует развитию экономики Дальнего Востока.

Приложение 1.

Результаты лабораторных исследований механических свойств пород (по данным ДВГУПС)

№№ лабораторных проб	место отбора	Породы	Плотность, ρ	Предел прочности на одноосное			Удельное сцепление, С	Угол вн. трения, φ
				Растяжение	Сжатие	Сжатие в водонасыщенном состоянии		
			кг/дм ³	МПа	МПа	МПа	МПа	град
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	км 225	Алевролит	2,6	1,29	25,9			
2	км 225	Алевролит	2,45	0,57	11,4			
3	км 225	Алевролит	2,3	1,3	26,0			
4	км 225	Алевролит	2,43	0,39	7,8			
5	км 225	Алевролит	2,4	0,89	17,9			
6	км 225	Алевролит	2,27	0,53	10,7			
7	км 225	Алевролит	2,49	0,72	14,3			
8	км 115	Алевролит	2,39		94	25	13	45
9	км 115	Алевролит	2,27		69	47		
10	км 115	Алевролит	2,32		57	35		
11	км 115	песчаник	2,54		78	59	12	59
12	км 115	песчаник	2,52		94	70	13,8	44
13	км 197	андезит	2,6	3	75			
14	км 197	андезит	2,6	2,82	70,41			
15	км 197	андезит	2,6	2,8	69,91		18,5	44,4
16	км 197	андезит	2,6	1,65	41,32			
17	км 197	андезит	2,6	2,82	70,5			
18	км 197	андезит	2,6	2,09	52,19			

Продолжение приложения 1.

№№ лабораторных проб	место отбора	Породы	Плотность, ρ,	Предел прочности на одноосное			Удельное сцепление, С	Угол вн. трения, φ
				Растяжение	Сжатие	Сжатие в водонасыщенном состоянии		
			кг/дм ³	МПа	МПа	МПа	МПа	град
1	2	3	4	5	6	7	8	9
19	км 291	вулканич брекчия	2,6	1,39	34,83			
20	км 291	вулканич брекчия	2,6	2,94	73,5		31,4	37
21	км 291	вулканич брекчия	2,6	2,06	51,43			
22	км 291	вулканич брекчия	2,6	2,89	72,25			
23	км 201	андезит	2,6	1,96	49,08		10,7	65
24	км 201	андезит	2,6	1,61	40,36			
25	км 201	андезит	2,6	2,56	63,95			
26	км 201	андезит	2,6	1,32	33,03			
27	км 201	андезит	2,6	1,71	42,78			
28	км 201	андезит	2,6	1,89	47,3			

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бевзюк В.М. Взаимодействие транспортных сооружений с инженерно-геологической средой: учебное пособие/ В.М. Бевзюк. – Л.: ЛИИЖТ, 1989. – 33 с.
2. Бондарик Г.К. Общая теория инженерной (физической) геологии: учебное пособие / Г.К. Бондарик – М.: Недра, 1981. – 256 с.
3. Бондарик Г.К. Полевые методы инженерно-геологических исследований: учебное пособие / Г.К. Бондарик, И.С. Комаров, В.И. Ферронский. – М.: Недра, 1987. – 374 с.
4. Бондарик, Г.К. Методика инженерно-геологических исследований: учебное пособие/ Г.К. Бондарик. – М.: Недра, 1986. – 333 с.
5. Варга А.А. Инженерно-тектонический анализ скальных массивов: материал технической информации /А. А. Варга. – М.: Недра, 1988. – 216 с.
6. Вдовин Ю.М. Геологическая карта СССР м-ба 1:200000. Серия Сихотэ-Алинская. Лист М-54-ХV/ Ю.М. Вдовин. – М.: Госгеолтехиздат, 1961.
7. Википедия [электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/PLY_\(file_format\)](http://en.wikipedia.org/wiki/PLY_(file_format)).
8. Газиев Э.Г. Механика скальных пород в строительстве: учебное пособие / Э.Г. Газиев.- М.: Стройиздат, 1973. – 176. с.
9. Газиев Э.Г. Устойчивость скальных массивов и методы их закрепления: учебное пособие / Э.Г. Газиев. – М.: Стройиздат, 1977. –160 с
10. Геологическая карта Хабаровского края. Масштаб 1:1 000 000 составлена по материалам ФГУГГП "Хабаровскгеология". Авторы: А.Ф. Васькин, В.А. Гурьянов, В.Ю. Забродин и др. ФГУГГП "Дальгеофизика", 2004.
11. Геология зоны БАМ. Т. 2. Гидрогеология и инженерная геология/ М-во геологии СССР. ВСЕГЕИ. ВСЕГИНГЕО. Л.: Недра, 1988. – 447 с.

12. Геология и сейсмичность зоны БАМ. Инженерная геология и инженерная сейсмология / О.В. Павлов, В.И. Джурик, А.Ф. Дреннов и др. – Новосибирск: Наука, 1985. –192 с.
13. Герасимова А.С., Королев В.А. Проблемы устойчивости геологической среды к техногенным воздействиям. // Гидрогеология, инженерная геология: Обзор / АО "Геоинформмарк". М., 1994. – 47 с.
14. Голодковская Г.А., Матула М., Шаумян Л.В. Инженерно-геологическая типизация и изучение скальных массивов: учебное пособие / Г.А. Голодковская, М., Матула, Л.В. Шаумян. - М.: Изд-во МГУ, 1986. – 272 с.
15. Горная энциклопедия [электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/f/fototriangulyaciya/>
16. Грязнов Т.А. Оценка показателей свойств пород полевыми методами: учебное пособие / Т.А. Грязнов – М.: Недра, 1984. – 197 с.
17. Даммер А.Э. Инженерно-геологическая характеристика скальных массивов эффузивных пород Восточного Приамурья и Северного Сихотэ-Алиня: учебное пособие /А.Э. Даммер, С.В. Квашук. – Хабаровск: ДВГУПС, 1990. – 103 с.
18. Джурик В.И., Дреннов А.Ф. Влияние глубинных и приповерхностных неоднородностей на динамику сейсмических сигналов/ В.И. Джурик, А.Ф. Дреннов //Геология и геофизика. –1991. – № 10. –. 115–122. с.
19. Еланцева О.П. Строительство № 500 НКВД СССР: железная дорога Комсомольск - Советская Гавань (1930-40-е годы) / О.П. Еланцева. – Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1995. – 98 с.
20. Зерцалов М.Г. Механика грунтов (введение в механику скальных грунтов): учебное пособие /М.Г. Зерцалов - М.: Изд. ассоциации строительных вузов, 2006. – 364 с.

21. Золотарев Г.С. Инженерная геодинамика: учебное пособие / Г.С. Золотарев. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – 328 с.
22. Золотарев Г.С., Калинин Э.В., Минервин А.В. Учебное пособие по инженерной геологии / Г.С. Золотарев, Э.В. Калинин, А.В. Минервин // Вопросы инженерно-геологического изучения процессов и кор выветривания. – М.: Изд-во МГУ, 1971. – 382 с.
23. Иванов И.П., Тржцинский Ю.Б. Инженерная геодинамика: учебное пособие/ И.П. Иванов, Ю.Б. Тржцинский. – СПб.: Наука, 2001. – 416 с.
24. Каган А.А. Инженерно-геологическое прогнозирование: учебное пособие / А.А. Каган. – М.: Недра, 1984. – 196 с.
25. Карсаков Л.П. Раннедокембрийские комплексы в структуре Восточной Азии: Дис... в виде науч. докл. д-ра геол.-минер. наук. Хабаровск, 1995. – 88 с.
26. Карсаков Л.П., Чжао Чуньцзин, Горошко М.В, Тектоника, глубинное строение, металогения области сочленения Центрально-Азиатского и Тихоокеанского поясов: Объяснительная записка к Тектонической карте масштаба 1:1500000/ Л.П. Карсаков, Чжао Чуньцзин, М.В Горошко. – Владивосток; Хабаровск: ДВО РАН, 2005. – 264 с.
27. Квашук С.В. Барьерные места на Дальневосточной железной дороге/ С.В. Квашук // Путь и путевое хозяйство. – 2003. № 5. – 32–34 с.
28. Квашук С.В., Киселев В.А., Колтун П.А. Оценка обвальной опасности на линии Комсомольск-Советская Гавань/ С.В. Квашук, В.А. Киселев, П.А. Колтун// Труды Всероссийской научно-практической конференции. - Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования / ред. В. С. Шварцфельд. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008а. – Т.2, – 39–42 с.
29. Колтун П.А., Квашук С.В., Типизация обвалоопасных участков на линии Комсомольск-Советская Гавань и задачи по их изучению/ П.А. Кол-

тун, С.В. Квашук // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути. Пятая научно-техническая конференция с международным участием, – Москва: МИИТ. – 2008б. – 123–124 с.

30. Колтун П.А., Квашук С.В. Влияние инженерно-геологических условий горных районов Дальнего Востока на эксплуатацию и реконструкцию транспортных сооружений (На примере железнодорожной линии Комсомольск – Советская Гавань) / П.А. Колтун, С.В. Квашук // Дальний Восток–1: Сборник статей. Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. М.: Изд-во «Горная книга», 2009а. – № 4. – 159–166 с.

31. Колтун П.А., Квашук С.В. Оценка инженерно-геологических условий и прогноз гравитационных процессов при транспортном освоении северного Сихотэ-Алиня (На примере Железнодорожной линии Комсомольск - Советская гавань) / П.А. Колтун, С.В. Квашук // Строение литосферы и геодинамика: Материалы 23 Всероссийской молодежной конференции, 21–26 апреля 2009 г. – Иркутск: ИЗК СО РАН. – 2009б. –229–300 с.

32. Колтун П.А., Квашук С.В. Особенности Инженерно-геологических условий северного Сихотэ-Алиня /П.А. Колтун, С.В. Квашук // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке, 22–24 апреля 2009г. – Хабаровск: ДВГУПС. –2009в –7–9 с.

33. Колтун П.А., Квашук С.В. К вопросу разработки принципов прогнозной типизации обвалоопасных участков по степени опасности/ П.А. Колтун, С.В. Квашук // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Научно-техническое и эконо-

мическое сотрудничество стран АТР в XXI веке, 22–24 апреля 2009г. – Хабаровск: ДВГУПС. – 2009г – 10–13.с

34. Квашук С.В., Колтун П.А, Злобин Г.А. Оценка степени выветрелости горных пород по результатам микроскопического анализа (на примере железнодорожной линии Комсомольск-на-Амуре – Советская Гавань/ С.В. Квашук, П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования: Труды Всероссийской научно-практической конференции, 21-23 апреля 2010 г. –Хабаровск: ДВГУПС. – 2010а. – Т. 2. –. 54–57. с

35. Квашук С.В., Колтун П.А, Злобин Г.А. Характеристика инженерно-геологических условий Кузнецовского тоннельного перехода на линии Комсомольск–на–Амуре – Советская Гавань/ С.В. Квашук, П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования: Труды Всероссийской научно-практической конференции, 21–23 апреля 2010 г. – Хабаровск: ДВГУПС. – 2010б. – Т. 2. –50–54. с

36. Квашук С.В., Колтун П.А, Злобин Г.А. Влияние макро- и микротрещиноватости на устойчивость транспортных сооружений/ С.В. Квашук, П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Материалы 11 Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри, 2–3 апреля 2010 г. – Нерюнгри: Печ. дом. –2010в. –39–42. с

37. Квашук С.В., Колтун П.А, Злобин Г.А. Исследование влияния трещиноватости пород перевальной части Северного Сихотэ-Алиня на устойчивость транспортных сооружений/ С.В. Квашук П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Строение литосферы и геодинамика: Материалы 24 Всероссийской молодежной конференции, 19–24 апреля 2011 г. – Иркутск: ИЗК СО РАН. – 2011а. –. 151–152.с

38. Квашук С.В., Колтун П.А, Злобин Г.А Геодинамические проблемы при транспортном освоении Дальнего Востока России/ С.В. Квашук П.А.

Колтун, Г.А. Злобин // Превентивные геотехнические меры по уменьшению природных и техногенных бедствий: сборник трудов IV Международного геотехнического симпозиума (26–29 июля 2011г.). – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011б. – 320–324 с.

39. Колтун П.А., Язвенко В.О., Квашук С.В. Фотограмметрическая цифровая система в инженерных изысканиях/П.А. Колтун, В.О. Язвенко, С.В. Квашук // Воронеж: Материалы второй международной научно-практической конференции «Экологическая геология: теория, практика, региональные проблемы». Воронеж, 2011в. –352–355. с

40. Колтун П.А., Язвенко В.О., Квашук С.В. Количественное определение скорости денудации скального откоса с использованием фотограмметрической системы. /П.А. Колтун, В.О. Язвенко, С.В. Квашук // Материалы всероссийской конференции молодых ученых «Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России». Владивосток, Дальнаука.- 2012. – 28-31 с.

41. Колтун П.А. Фотограмметрическая цифровая система и ее применение для определения скорости денудационных процессов (на примере перевального участка железнодорожной линии Комсомольск – Советская Гавань) /П.А. Колтун // Молодые ученые – Хабаровскому краю: материалы XIV Краевого конкурса молодых ученых и аспирантов, Хабаровск, 17–24 января 2012 г. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – Т.2. – 20–25 с.

42. Коломенский Н.В. Специальная инженерная геология: учебное пособие/ Н.В. Коломенский Текст. М.: Недра, 1969. – 335 с.

43. Комаров И.О. Накопление и обработка, информация при инженерно-геологических исследованиях: учебное пособие / И.О. Комаров. М.: Недра, 1972. –295 с.

44. Королев В.А., Николаева С.К. Геоэкологическая оценка зон влияния инженерных сооружений на геологическую среду/ В.А. Королев, С.К. Николаева // Геоэкология. – 1994. – № 5. – 35–44 с.
45. Корчагин Ф.Г. Геодинамика Амурского геоблока // Проблемы геодинамики и прогноза землетрясений: I Российско-Японский семинар, 26–29 сентября 2000 г. / Под ред. Ф.Г. Корчагина – Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. –18–39 с.
46. Корчагин Ф.Г., Маслов Л.А., Комова О.С. Геомеханическая модель Приамурья и ее сейсмотектонические следствия/ Ф.Г. Корчагин, Л.А. Маслов, О.С. Комова // Тихоокеан. геология. – 2000. Т. 19, № 3. – 97–104 с.
47. Котлов Ф.В. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека: учебное пособие / Ф.В. Котлов –М.: Недра, 1978. – 262 с.
48. Красный Л.И. Геология региона Байкало-Амурской магистрали /Л.И. Красный. – М.: Недра, 1980. – 159 с.
49. Кудымов А.В. Колтун П.А. Злобин Г.А., Кайнозойские поля напряжения района железнодорожной линии в перевальной части Северного Сихотэ-Алиня / А.В. Кудымов, П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Строение литосферы и геодинамика: Материалы 24 Всероссийской молодежной конференции, 19–24 апреля 2011 г. – Иркутск: ИЗК СО РАН. 2011. – 28–29 с.
50. Кудымов А.В. Структурообразование в зоне северо-восточного фрагмента Колумбинского разлома (северный Сихотэ-Алинь)/ А.В. Кудымов // Тихоокеанская геология. 2013. – Т. 32. – № 4. –68–79 с.
51. Кудымов А.В., Колтун П.А., Злобин Г.А. Постаккреционная кинематика дизъюнктивов в районе северного замыкания самаркинского террейна (Северный Сихотэ-Алинь) / А.В. Кудымов, П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Тихоокеанская геология.- Т. 33, - № 5. -2014.- 91-100 с.

52. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород: учебное пособие / Ю.О Кузьмин., В.С. Жуков. – М: Изд-во МГУ, 2004. – 262 с.
53. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика: учебное пособие / В.Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.
54. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная петрология: учебное пособие / В.Д. Ломтадзе – Л.: Недра, 1984. – 511 с.
55. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований: учебное пособие / В.Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1990. – 372 с.
56. Ломтадзе, В.Д. Инженерная геология. Специальная инженерная геология: учебное пособие / В.Д. Ломтадзе. – Л.: Недра, 1978. – 496 с.
57. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Яценко З.Г. Инженерная геофизика: учебное пособие / Ф.М. Ляховицкий, В.К. Хмелевской, З.Г. Яценко. – М.: Недра, 1989. – 252 с.
58. Медведев С.В. Международная шкала сейсмической интенсивности/ С.В. Медведев //Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. – 151–162. с.
59. Медведев С.В. Инженерная сейсмология: учебное пособие/ С.В. Медведев. - М.: Госстройиздат, 1962. – 284 с.
60. Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами. М.: НИИ Транспортного строительства, 1985.
61. Молоков Л.А. Взаимодействие инженерных сооружений с геологической средой: учебное пособие / Молоков Л.А. М.: Недра, 1988. – 187 с.
62. Молоков Л.А.. Инженерно-геологические процессы. М.: Недра, 1985. – 206 с.

63. Нейштадт Л.И. Методы геологического изучения трещиноватости горных пород при инженерно-геологических исследованиях: учебное пособие / Л.И. Нейштадт. – М.: Наука, 1957. – 124 с.
64. Нейштадт Л.И., Пирогов И.А. Методы инженерно-геологического изучения трещиноватости горных пород: учебное пособие / Л.И. Нейштадт, И.А. Пирогов. – М.: Энергия, 1969. – 248 с.
65. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации. ОСР – 97. Комплект карт и другие материалы для Строительных норм и правил // СНиП «Строительство в сейсмических районах» Миннауки и технологий РФ / РАН, ОИФЗ им. О.Ю. Шмидта. М., 1998.
66. Рац М.В. Неоднородность горных пород и их физических свойств: учебное пособие / М.В. Рац. – М.: Наука. 1968. – 107 с.
67. Рац М.В., Чернышев С.Н. Трещиноватость и свойства трещиноватых горных пород: учебное пособие / М.В. Рац, С.Н. Чернышев. – М.: Недра, 1970. – 164 с.
68. Ройнишвили Н.М. Защита железнодорожного пути от горных обвалов и осыпей: учебное пособие / Н.М. Ройнишвили. – М.: Транспорт, 1973. – 309 с.
69. Саваренский Ф.П. Инженерная геология: учебное пособие / Ф.П. Саваренский. – М.: ГОНТИ, 1939. – 488 с.
70. Склоновые процессы. Вып. 2. Фотограмметрический метод изучения склоновых процессов. Под ред. Ю.Ф. Книжникова, В.С. Федоренко. М., Изд-во МГУ, 1977
71. СНиП 2.01.15–90. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения проектирования / Госстрой России: Издание официальное. – М.: ГУП ЦПП, 1998. – 32 с.

72. СНиП 11-02–96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения: Издание официальное, 1996.
73. СНиП 2.02.02-85 Основания гидротехнических сооружений: Издание официальное, 1999
74. Толковый словарь иностранных слов / Л.П. Крысина. – М.: Русский язык, 1998.
75. Толстых Е.А., Клюкин А.А. Методика измерения количественных параметров экзогенных геологических процессов: учебное пособие/ Е.А. Толстых, А.А. Клюкин. – М.: Недра, 1984. – 117 с.
76. Трофимов В.Т., Герасимова Н.С., Красилова Н.С. Устойчивость геологической среды и факторы ее определяющие: учебное пособие / В.Т. Трофимов, Н.С. Герасимова, Н.С. Красилова // Геоэкология. – 1994. № 2. – 174с.
77. Уткин В.П. Геотектонические условия формирования окраинно-континентальных вулканических поясов: учебное пособие / В.П. Уткин Вулканические пояса Азии. – М.: Наука, 1984. – 328–352. с.
78. Ухов С.Б. Скальные основания гидротехнических сооружений: учебное пособие / С.Б. Ухов. – М.: Энергия. 1975. – 262 с.
79. ЦП № 4222 Инструкция по содержанию земляного полотна и технике безопасности при производстве работ на скально-обвальных участках железных дорог: официальное издание. – М.: Транспорт, 1985. – 41 с.
80. Чернышев С.Н. Трещиноватость горных пород и её влияние на устойчивость откосов: учебное пособие / С.Н. Чернышев. – М.: Недра, 1984. – 112 с.
81. Чернышев С.Н. Трещины горных пород: учебное пособие / С.Н. Чернышев. – М.: Наука. 1983. – 240 с.

82. Шерман С.И., Днепровский Ю.И. Поля напряжений земной коры и геолого-структурные методы их изучения: учебное пособие / С.И. Шерман, Ю.И. Днепровский. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. – 158 с.
83. Штейнберг В.В., Сакс М.В., Аптикаев Ф.Ф. и др. Методы оценки сейсмических воздействий // Задание сейсмических воздействий. Вопросы инженерной сейсмологии, Вып. 34. М., Наука, 1993. – 594 с.
84. Экзогенные геологические опасности. Тематический том/ под ред. В.М. Кутепова, А.И. Шеко. – М.: издат. фирма "КРУК", 2002. – 348 с.
85. Anderson E.M. The dynamics of faulting/ E.M. Anderson. - Edinburg: Oliver and Boyd. 1951. – 206 p
86. Buratti N. Assessment of seismic safety: response surface approach and accelerogram selection issues: Doctorate dissertation. - Università di Bologna. 2008. – 336 p.
87. Yoshioka O. Some considerations on generating mechanism of vibration due to running trains. Butsuri-Tanko [Geophysical Exploration]. 1976. –23–33 с.