

На правах рукописи



КВАШУК
Сергей Владимирович

**ГЕОДИНАМИКА ПРИАМУРЬЯ
И ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ
СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

25.00.08 - инженерная геология,
мерзлотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук

Хабаровск - 2004

Работа выполнена в Дальневосточном государственном университете путей сообщения МПС РФ.

Научные консультанты: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Тржцинский Юрий Болеславович
доктор технических наук, профессор
Гончарук Сергей Миронович

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук, профессор
Кондратьев Валентин Георгиевич
доктор геолого-минералогических наук, профессор
Подгорная Татьяна Ивановна
доктор геолого-минералогических наук
Семенов Рудольф Михайлович

Ведущая организация: Институт водных и экологических проблем ДВО РАН

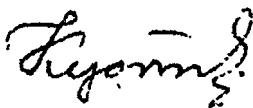
Защита состоится "23" июня 2004 в 9³⁰ час. на заседании диссертационного совета Д.003.022.01 при Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Иркутского научного центра СО РАН (в здании ИЗК СО РАН).

Отзывы на автореферат просьба направлять по вышеуказанному адресу Ученому секретарю диссертационного совета, а также по электронному адресу Kustov@crust.irk.ru

Автореферат разослан " 12 " мая 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Кустов Ю.И.

ВВЕДЕНИЕ

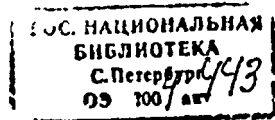
Актуальность работы. Изучаемый регион Приамурье охватывает территорию Дальнего Востока России в пределах бассейна р. Амур и включает в себя части Амурской области, Еврейской автономной области, Хабаровского и Приморского краев. Регион характеризуется очень сложными природными, климатическими, инженерно-геологическими, сейсмическими, - тектоническими и другими условиями, определяющими, значительный природный риск функционирования транспортных систем, который необходимо учитывать при их проектировании, строительстве и эксплуатации.

Приамурье является развивающейся восточной территорией Российской Федерации, имеет для нее важное геополитическое значение, поскольку лежит на пути выхода в Азиатско-тихоокеанский регион, обладает значительным количеством природных ресурсов, необходимых для всей страны (цветные и черные металлы, уголь и т.д.) и располагает внушительным промышленным потенциалом. Отмеченные условия определяют неизбежность дальнейшего опережающего развития и совершенствования многовидовой транспортной системы и тесного взаимодействия всех ее составных частей. Особое значение при этом имеет сеть железных дорог Дальневосточного региона, на долю которой приходится 71% всех перевозок. Увеличение грузопотоков, осевых нагрузок, внедрение новых технологий перевозочного процесса должно базироваться на научно обоснованной концепции рационального использования геологической среды при проектировании новых, реконструкции существующих железнодорожных линий и строительстве защитных сооружений для ликвидации барьерных мест и безаварийной, ритмичной работы сети железных дорог Приамурья. Недоучет особенностей и сложности инженерно-геологических условий территорий при проектировании, строительстве и эксплуатации железнодорожных линий в дальнейшем приводит к повышенным эксплуатационным затратам, частым капитальным ремонтам, а порою к аварийным и катастрофическим ситуациям.

В связи с этим, настоящая работа, посвященная решению теоретических и практических проблем проектирования развития облика и мощности сети железных дорог (СЖД) с учетом сложных геологических условий Приамурья, безусловно актуальна и имеет государственную значимость.

Объектом исследования являются геологическая среда и постоянные устройства сети железных дорог, имеющие инженерно-геологическую природу (выемки, насыпи, тоннели, основания сооружений) в пределах Приамурья.

Целью исследования являются системное изучение особенностей геологической среды Приамурья, анализ, синтез и прогноз ее влияния на работу постоянных устройств сети железных дорог и разработка методологии борьбы с опасными геологическими процессами.



Для решения поставленной проблемы необходимо:

1. На основе разработанной методологии провести системный анализ современного состояния геологической среды в регионе и оценить ее влияние на безопасную и эффективную работу постоянных устройств сети железных дорог Приамурья.

2. Установить наиболее опасные геологические процессы и явления в исследуемом регионе, угрожающие безопасной и эффективной работе постоянных устройств сети железных дорог.

3. Произвести крупномасштабное сейсмическое районирование территорий с высокой сейсмической опасностью и оценить сейсмический риск для работы постоянных устройств сети железных дорог в пределах Приамурья.

4. Разработать научно обоснованную стратегию, направленную на повышение надежности и безопасности функционирования и развития СЖД на участках, пораженных опасными геологическими процессами и рациональные конструкции, методы и технологии борьбы с опасными геологическими процессами и явлениями.

Исходные материалы и личный вклад в решение поставленной проблемы.

В основу диссертационной работы положены результаты многолетних методологических, теоретических, полевых, лабораторных, исследований выполненных автором по изучению инженерно-геологических условий Приамурья в рамках фундаментальных, госбюджетных и хоздоговорных научно-исследовательских и исследовательско-проектных работ по заказу Министерства путей сообщения, Дальневосточной железной дороги и ее подразделений - отделений и дистанций, а также по собственной инициативе на кафедре «Железнодорожный путь, основания и фундаменты» Дальневосточного государственного университета путей сообщения. Важное место среди исходных материалов занимают результаты собственных полевых исследований автора:

- изучения инженерно-геологических условий Приамурья (1977-2003 гг.);
- исследования участков проявления гравитационных процессов на Дальневосточной железной дороге (ДВЖД) (1989-2003 гг.);
- исследования инженерно-геологических условий горных массивов вмещающих тоннели ДВЖД (1995-2001 гг.);
- изучения физико-механических свойств магматических горных пород региона (1989-1995 гг.);
- изучения трещиноватости магматических горных пород и кор выветривания Приамурья (1989-1995 гг.);
- исследования оснований земляного полотна в условиях распространения многолетнемерзлых пород (1977, 1978, 2000 гг.);
- исследования работы фильтрующих насыпей на ДВЖД (1977, 1978 гг.).

Методы исследований

Для решения поставленных задач применялись общенаучные, полевые, лабораторные, экспериментальные, теоретические исследования, методы системного анализа, сейсмического районирования, оценки сейсмического риска и прогнозирования а также методы динамического программирования.

Научная новизна

Для железных дорог Приамурья автором впервые получены следующие результаты исследований:

1. Проведен региональный системный анализ геологических, сейсмических, тектонических, неотектонических, мерзлотных, гидрогеологических условий и оценено их влияние на распространение опасных геологических процессов и явлений в исследуемом регионе.

2. Систематизированы физико-механические свойства магматических горных пород Приамурья с выявлением корреляционных зависимостей между основными свойствами; изучены и систематизированы закономерности развития кор выветривания Приамурья.

3. Исследована трещиноватость скальных горных пород в районах распространения и перспективного развития сети железных дорог Приамурья.

4. Проведены крупномасштабные системные исследования инженерно-геологических условий горных массивов с целью выбора проектных решений и оптимальных условий эксплуатации транспортных тоннелей ДВЖД. Составлена генетическая классификация экзогенных геологических процессов, влияющих на безопасную работу региональной сети железных дорог.

5. Изучены и классифицированы гравитационные процессы на сети железных дорог Приамурья.

6. Проведена комплексная оценка опасности и риска функционирования СЖД на основе анализа опасных эндогенных и экзогенных процессов, крупномасштабного сейсмического районирования и оценки сейсмического риска работы постоянных устройств в Приургальском районе.

7. Разработана стратегия ликвидации барьерных мест на сети железных дорог региона.

Защищаемые положения

1. Для линий сети железных дорог, функционирующих в различных геологоструктурных областях Приамурья опасными являются эндогенные и экзогенные геологические процессы, типы и виды которых определяются комплексом климатических, геоморфологических и геологических условий. Так для линий пересекающих горные сооружения Буреинского срединного массива и Сихотэ-Алиньской складчатой системы наиболее опасными являются гравитационные процессы - обвалы вывалы, осыпи, сели, оползни, а на обширных межгорных заболоченных равнинах - размывы, морозное пучение, сплывы откосов; в северных районах региона дополнительную опасность представляют криогенные процессы.

2. Условия проектирования, строительства, эксплуатации и реконструкции тоннелей, выемок, полувыемок сети железных дорог в скальных горных породах, определяются строением кор выветривания, физико-механическими и петрологическими характеристиками пород. Для физико-механических свойств присущи тесные и умеренные корреляционные зависимости между плотностью, прочностью на сжатие и скоростью распространения упругих волн. В корях выветривания

физико-механические свойства изменяются закономерно при переходе из одной зоны в другую, а мощность этих зон определяется особенностями климата, геологическим строением участков, их гипсометрическими отметками, неотектоническими условиями.

3. Геологические процессы и явления на участках сложенных скальными горными породами обусловлены наличием дизъюнктивных нарушений; высокими показателями трещиноватости, блочности, трещинной пустотности; пересеченным рельефом; суровым климатом; сейсмичностью; современными вертикальными движениями земной коры; гидрогеологическими и геокриологическими условиями. Этими обстоятельствами определяются, в частности, высокая пораженность линии Комсомольск-Советская гавань обвальными процессами (40 участков общей протяженностью 33,5 км при длине линии 441 км). Инженерно-геологические условия Облученского тоннеля определяются наличием на участке грабеновой структуры и близостью к активному региональному Арбунскому разлому.

4. Для многих районов Приамурья характерны сложные инженерно-геологические условия, в которых одновременно активно проявляются эндогенные и экзогенные процессы и явления. Одним из наиболее характерных в этом отношении является Приургальский район, по которому проходит значительная часть северного широтного хода Транссиба (БАМ). Сложные экзогенные условия Приуралья характеризуются суровым резкоконтинентальным климатом, повсеместным развитием многолетнемерзлых пород, проявлением опасных геологических процессов и явлений, среди которых преобладают геокриологические и гравитационные. Одновременно, обостряя экзогенные, проявляются сложные эндогенные условия района: геологическое строение и тектоника, неотектоника, современные и новейшие движения земной коры, высокая сейсмическая опасность, что в совокупности повышают риск функционирования устройств железнодорожного пути. При этом для всех объектов сети железных дорог в Приамурье свойственен дефицит сейсмостойкости сооружений.

5. Снижение риска воздействия опасных геологических процессов на работу СЖД в Приамурье возможно лишь основе создания системы инженерно-геологического мониторинга ее функционирования в сложных геологических условиях и системного отбора защитных мероприятий с формированием эффективного комплексного плана их реализации в пределах выделенных для этих целей инвестиций.

Апробация и реализация работы

Основные положения и результаты научной деятельности представлены в пятидесяти девяти научных трудах, включающих четыре монографии, статьи, тезисы докладов и двадцать три отчета по научно-исследовательским и проектным работам. Автор, являющийся членом международной ассоциации инженеров-геологов (IAEG), принимал участие в международных, всесоюзных, всероссийских, региональных и научно-технических конференциях, совещаниях, семинарах. В том числе:

- в международной научно-методической конференции «Проблемы современной инженерной геологии» (Десятые научные чтения имени профессора Н.И. Толстихина, посвященные 90-ию В.Д. Ломтадзе) 19-20 ноября 2002 г. в Санкт-Петербургском государственном горном институте им. Г.В. Плеханова;

- в международных конференциях «Стихия. Строительство. Безопасность» во Владивостоке в 1997 г. и «Молодежь и научно-технический прогресс» во Владивостоке в 1998 и 1999 гг.; в четвертом международном форуме стран Азиатско-Тихоокеанского региона 9-12 октября 2001 г. во Владивостоке; в международной научной конференции творческой молодежи, 11-12 апреля 2001 г. в Хабаровске;

- на IV Косыгинских чтениях «Тектоника, глубинное строение и геодинамика востока Азии» 21-23 февраля 2003 г. в Институте тектоники и геофизики ДВО РАН в г. Хабаровске;

- во всесоюзных и всероссийских конференциях: «Теория, методология и практика системных исследований» в Москве 15-16 мая 1984 г., «Транссиб и научно-технический прогресс на железнодорожном транспорте» в Новосибирске в 1991 г., «Проблемы организации территорий регионов нового освоения» в Хабаровске в 1991 г., «Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта Сибири и Дальнего Востока» 18-21 октября 2001 г. в Хабаровске.

- в региональных конференциях «Перспективы ускорения научно-технического прогресса в строительстве районов Дальнего Востока и Забайкалья» во Владивостоке в 1987 г., «Пути повышения эффективности и качества гидрологических и инженерно-геологических исследований на территории Хабаровского края и Амурской области» в Хабаровске в сентябре 1987 г., «Вузы Сибири и Дальнего Востока ТРАНССИБУ» в Новосибирске в октябре 1997 г.; «Современные технологии - железнодорожному транспорту и промышленности» в Хабаровске 22-23 октября 2003года.

Экономический эффект от применения теоретических и практических работ исследований значителен. Только по одной из тем исследований он составляет около 14 млн. руб. Использование разработок по ликвидации барьерных мест позволяет исключить нецелесообразные затраты в связи с ограничением скоростей движения подвижного состава, которые составляют около 300 тыс. руб./км. год.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав и заключения. Объем составляет 315 страниц, включая 28 таблиц, 54 рисунка и библиографический список из 225 наименований.

Мне приятно выразить свою глубокую благодарность за ценные советы, критические замечания, и всестороннюю поддержку своим консультантам в период написания диссертации - д.т.н. профессору ДВГУПС С.М. Гончаруку и д.г.-м.н., профессору ИЗК СО РАН Ю.Б. Тржцинскому.

Автор весьма признателен докторам Н.П. Романовскому, В.М. Бирюкову, В.В. Николаеву, Т.Г. Рященко, Л.А. Маслову, В.С. Шварцфельду, кандидатам наук Ф.Г. Корчагину, Д.Ю. Малееву, А.Р. Едигоряну, В.А. Бормотову; н.с. А.Н. Пере-

сторонину, оказавшим большое влияние на формирование методологии исследований и результаты работы.

Написание диссертации было бы невозможным без совместной деятельности в течение многих лет со своим наставником и коллегой доктором, профессором ДВГУПС А.Э. Даммером, оказавшим решающее влияние на формирование научного мировоззрения автора и оставившего о себе светлую память.

Глава 1. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ОЦЕНКЕ ПРОБЛЕМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В СЛОЖНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ПРИАМУРЬЯ

Приамурье - крупный регион, территориально совпадающий с бассейном р. Амур, в который с целью исследования (административно) включены Еврейская автономная и Амурская области, юг Хабаровского края и Приморья. Важнейшее значение в индустриализации Восточных регионов России имеет развитие сети путей сообщения и, в частности, северный широтный ход Транссиба (Байкало-Амурская магистраль), протяженностью 3150 км, проходящий по районам, имеющим огромные сырьевые ресурсы (80 месторождений в 24 очагах, тяготеющих к БАМу) и перспективы создания новых промышленных узлов.

Последние годы характеризуются нуклонным развитием облика и мощности сети железных дорог региона. Основными задачами на перспективу остаются: усиление слабых звеньев сети, развитие узлов и строительство новых линий, преимущественно к зонам перспективным с точки зрения освоения разведанных месторождений полезных ископаемых (строительство АЯМ, подходы к месторождениям Эльга, Чара и др.).

На сети железных дорог действует большое число постоянных устройств железнодорожного пути, включающих внеклассные и особой категории. Это двадцать тоннелей, включающие Амурский, длиной около 7 км, мосты через р. Зея, Буряя, Амур, протяженностью от 1 до 2-х км каждый, насыпи высотой до 12,0 м и более, выемки глубиной до 50-70 м и другие весьма ответственные сооружения, нормальная эксплуатация которых очень трудоемка, а работа подвержена значительному риску вследствие нарушений условий эксплуатации и влияния природных и техногенных бедствий.

Участки проявления опасных экзогенных геологических процессов возникают вследствие недоучета сложности инженерно-геологических условий, либо просто из-за отсутствия или игнорирования такой информации. Примеров этому множество. Так, Северо-Муйский тоннель (Западный участок БАМа) запроектирован так, что его ось пересекает зона мощного разлома, это определило сложнейшие инженерно-геологические условия эксплуатации в дальнейшем.

Вследствие нарушения проектов при сооружении земляного полотна железной дороги на ст. Шугара, в отрогах хр. Турана, за 15 летний период эксплуатации стан-

ции досыпано, по разным оценкам, от 5 до 10 м насыпи, что говорит о темпах деградации многолетней мерзлоты. Такие и подобные примеры можно продолжать.

На Дальневосточной железной дороге и через 100 лет после ее создания значительно количество деформаций из-за влияния опасных геологических процессов. Они распределены следующим образом: осадки пути и балластные корыта составляют 86 % общей длины деформаций, сплывы откосов земляного полотна - 5 %, сели и оползни - доли процента; обвалы, вывалы, осыпи - 7 %, размыв откосов земляного полотна, рост оврагов у насыпи - 3 %, карстовые провалы - 0,01 %. Общая протяженность деформаций составляет 1062 км. Расчеты показывают, что экономический ущерб от ограничения скорости движения при этом составляет 260-500 тыс. р./км в год. Кроме того, значительная часть сети железных дорог региона проходит в сейсмически опасных районах. Проблема расширения сети железных дорог, повышение ее плотности, увеличение пропускной и провозной способности - задача государственного масштаба, которую невозможно решить без создания научно-обоснованной методологии, учитывающей сложные геологические, тектонические, сейсмические, гидрогеологические, геокриологические и инженерно-геологические условия участков, районов, областей и всего региона в целом.

Систематическое **инженерно-геологическое изучение региона** начато в 1912 г. в связи с сооружением Восточно-Сибирской железной дороги. Изыскания дополнялись в ходе строительства, осуществлявшегося под руководством и при участии А.В. Ливеровского, В.М. Сергеева, П.А. Казанского, Е.В. Степаненко, В.Л. Кирпатовского и др.

Систематическое среднемасштабное геологическое изучение региона началось в 50-х годах XX века при составлении Государственной геологической карты масштаба 1:200 000. Исследования проводились: ПГО «Дальгеология», «Гидроспецгеология», ДВИМС, «Таежгеология», ВСЕГЕИ и другими организациями в изыскательских партиях и отрядах под руководством Ю.И. Бакулина, Е.К. Дацко, О.Н. Кабакова, Е.А. Козловского, Л.И. Красного, В.В. Онихимовского, М.В. Мартынюка, Л.П. Корсакова, П.Н. Селезнева, В.А. Ярмолюка, В.В. Кулакова, А.И. Фрейдина, В.Н. Плиева, Ю.М. Вдовина, Г.М. Левитина, А.Б. Разживина, Ю.А. Иванова, С.М. Брагинского А.И. Буханченко Е.Л. Чепыгиной, Т.Е. Колесникова, М.А. Котцова, А.С. Шуваева, Ю.П. Волкова и многих других исследователей.

В 70-90 гг. активное участие в изысканиях в регионе принимали научно-исследовательские и производственные организации: Гидроспецгеология, ВСЕГИНГЕО, Дальгеология, экспедиция геологического факультет МГУ, институт Дальтисиз, Дальневосточный институт минерального сырья а также такие вузы Дальневосточного региона, как ДВГУПС, ДВГГУ и их сотрудники: Б.И. Солодовников, А.Г. Полевиченко, В.А. Дербас, А.Э. Даммер, И.М. Тюрин, Е.А. Румянцев, С.М. Жданова, С.М. Гончарук, В.С. Шварцфельд, Г.М. Стоянович, Т.И. Подгорная, В.В. Казанцев, С.Б. Рубинчик.

Большой вклад в изучение геологических, неотектонических, сейсмических, и гидрогеологических условий, определяющих инженерно-геологические условия

Приамурья внесли коллективы институтов ВСЕГИНГЕО, МГУ, ВСЕГЕИ, ЛИИЖТа, ВНИИЖТа, а также такие исследователи как: Е.М. Сергеев, А.И. Шеко, А.М. Лехатинов, М.В. Чуринов, И.М. Цыпина, В.П. Лазарева; академических институтов региона - Института земной коры СО РАН и Института тектоники и геофизики ДВО РАН. В работах участвовали В.В. Николаев, А.А. Врублевский, В.А. Ахмадулин, Ю.Б. Тржцинский, В.А. Джурик, А.Ф. Дреннов, А.Д. Басов, Р.М. Семенов, Л.С. Оскорбин, Л.П. Корсаков, Ю.Ф. Малышев, Ф.С. Онухов, В.Н. Сгавров, Ф.Г. Корчагин, В.А. Бормотов, В.Г. Быков, Ю.Ф. Малышев, П.Ю. Горнов и другие ученые.

В этот период вышли фундаментальные коллективные труды: «Инженерная геология СССР, 1977, т. IV; «Гидрогеология СССР». 1971, т. XXIII; «Геология и сейсмичность зоны БАМ, 1981-1985; «Геология зоны БАМ», 1988. В 1970 г. была издана государственная инженерно-геологическая карта СССР в масштабе 1:2500 000, составители М.В. Чуринов, И.М. Цыпина, В.П. Лазарева. В 1975 г. Е.М. Сергеевым была создана инженерно-геологическая карта СССР включающая Дальний Восток в масштабе 1:2 500 000. Е.А. Чельгиной в 1975 году была создана инженерно-геологическая карта южной части Хабаровского края в масштабе 1:500 000.

Отрядами и экспедициями «Гидроспецгеология» и ПГО «Дальгеология» с 1972 по 1987 г. произведено инженерно-геологическое, гидрогеологическое, мерзлотное картирование зоны, прилегающей к северному широтному ходу (БАМ) и к линии Комсомольск - Советская Гавань в масштабе 1:500 000. Последняя инженерно-геологическая съемка на территории Приамурья была произведена в 2001 г. экспедицией ПГО «Дальгеология» (в районе ст. Герби). В настоящее время планомерного изучения инженерно-геологических условий территории Приамурья не производится.

Анализ изученных материалов позволяет сделать выводы, что на сегодняшний день наиболее хорошо изучена южная, приграничная с КНР, густонаселенная часть региона, территории городских агломераций, поселков; районы, в которых развита горнодобывающая промышленность и северная часть Приамурья в пределах Северного широтного хода Транссиба. Одновременно имеют место районы с очень слабой изученностью, мало освоенные и лишенные транспортной сети, однако обладающие крупными месторождениями разведанных полезных ископаемых и перспективные в других направлениях освоения. То есть это территории потенциального освоения и развития структуры сети железных дорог в числе которых Тугуро-Чумиканский, Кур-Урмийский, север Верхне-Буреинского района, Восточное побережье Хабаровского края и северной части Приморского края и другие. Охарактеризованные в диссертации концепции развития сети железных дорог и особенности изученности инженерно-геологических условий Приамурья, позволяют сформулировать проблему и объект исследования, ее цели и задачи, приведенные во Введении диссертации.

Объекты исследований автора - геологическая среда и находящиеся в ее пределах постоянные устройства сети железных дорог имеющие инженерно-геологическую природу (выемки, насыпи, тоннели, основания). Эти объекты приурочены к земной поверхности или находятся в непосредственной от нее близости

на которой проявляются взаимодействия внешних и внутренних геосфер. Именно поэтому в диссертации рассматривается геодинамика Приамурья (геодинамические условия Приамурья) - совокупность эндогенных и экзогенных условий, процессов и явлений, определяющих условия эксплуатации и развития сети железных дорог, функционирующих в регионе. Главным следствием особенностей геологической среды и ее изменений является проявление опасных природных и техногенных геологических процессов и явлений, которые осложняют или делают невозможным функционирование и расширение сети железных дорог.

Изучение природно-геологических условий развития опасных процессов и явлений производится с позиций системного анализа. Это позволяет выявить приоритетность исследований, поставить первоочередные цели и задачи, определить главные и подчиненные причины и условия опасных ситуаций.

Геологическая среда региона и сеть железных дорог, функционирующая в ее пределах, образуют открытую природно-техническую систему. Элементами геологической среды, подлежащими анализу при выявлении «барьерных мест», являются: рельеф, геологическое строение, региональная тектоника и неотектоника, современные движения земной коры, сейсмичность, геокриологические и гидрологические условия, свойства горных пород, геологические процессы и явления, а также природно-климатические условия. Все эти элементы исследуются в зависимости от детальности в регионе, областях районах, подрайонах, участках. Свойства технической системы определяются свойствами геологической среды, в которой расположены ее элементы. Одновременно элементы технической системы влияют на элементы геологической среды, изменяя, загрязняя их. Функционирование природно-технической системы осложняется природно-климатическими условиями и воздействиями человека на систему. Наведенные землетрясения в районе Зейского водохранилища провоцируют активизацию гравитационных процессов в районе. В июле 2003 г. запущена в эксплуатацию Бурейская гидроэлектростанция, водохранилище которой вызовет, вероятно, схожие последствия в регионе.

Конечной целью системного анализа геологических условий региона является оценка опасных геологических процессов и явлений, угрожающих нормальной работе и развитию сети железных дорог и их прогнозу. Элементы геологических условий являются факторами, обуславливающими развитие экзогенных геологических процессов и явлений.

Системная иерархия факторов выглядит следующим образом (по Шеко А.И., 1999). *Факторы первой группы* (неизменные) включают литологию, стратиграфию и рельеф, они определяют генетические особенности и интенсивность проявления экзогенных геологических процессов. *Факторы второй группы* (медленноизменяющиеся) подразделяются на независимые, охватывающие тектонические движения и климат, и производные - геокриологические, гидрогеологические условия, растительность, почвы. *Факторы третьей группы* (быстроизменяющиеся) подразделяются на основные, к которым отнесены метеорологические (осадки, температура, ветер, ураганы, тайфуны), гидрологические (расходы воды в реках,

уровни воды), сейсмические условия и техногенные воздействия и производные, к которым отнесены поверхностный сток, влажность горных пород, уровень грунтовых вод, прочностные и деформационные характеристики горных пород.

Методология системных исследований геологической среды, с целью решения проблемы барьерных мест на сети железных дорог в пределах Приамурья построена на основе анализа факторов экзогенных геологических процессов, который проводится в несколько этапов. Первый этап - оценка особенностей геологической среды региона. Целью исследований является выявление закономерностей состояния геологической среды региона, их влияния на интенсивность опасных и неблагоприятных геологических процессов в регионе. Задачи исследований включают анализ и оценку особенностей климата, рельефа и гидросети, изучение геологического и тектонического строения, неотектоники, современных движений земной коры, сейсмичности, гидрогеологических и геокриологических условий, их прогноз, исследование пораженности опасными природно-техногенными геологическими процессами.

Исследования второго этапа направлены на выявление и анализ опасных геологических процессов и явлений (барьерных мест на сети железных дорог). Целью этих исследований является получение характеристики видов взаимодействий на объектах в открытой природно-техногенной системе «Геологическая среда - сеть железных дорог». Задачами исследований являются: районирование линий сети железных дорог по характеру и видам опасных геологических процессов, изучение состава, условий залегания и физико-механических свойств горных пород и их прогноз, изучение микро- и макротрещиноватости горных пород, изучение закономерностей зональности кор выветривания, классификация объектов технической системы по видам воздействий на геологическую среду, изучение видов воздействий (загрязнений) объектов технической системы сети железных дорог на геологическую среду.

Третий этап исследований посвящен оценке опасности и риска функционирования сети железных дорог в сложных геологических и инженерно-геологических условиях региона. Его целью является разработка модели и формулировка задач для оценки риска возникновения опасных процессов и явлений, их масштабов с целью предупреждения негативных изменений в геологической среде. К этим задачам относятся: сейсмическое районирование и микрорайонирование, оценка сейсмического риска проявления опасных геологических процессов и функционирования инженерных сооружений, оценка опасности и прогноз неблагоприятных геологических процессов; оценка и прогноз свойств горных пород и их изменения, в т.ч. в корах выветривания, а также изменения гидрогеологических условий, изменения рельефа и гидросети под влиянием техногенеза.

Четвертый этап исследований посвящен ликвидации опасных геологических процессов и явлений осложняющих развитие структуры и мощности сети железных дорог. Целью является разработка стратегии ликвидации барьерных мест при развитии облика и мощности сети железных дорог. Для эффективного исполнения

цели исследования реализуется система мониторинга инженерно-геологических процессов представляющая собою циклически функционирующую и развивающуюся во времени постоянно действующую систему контроля, оценки, прогноза и управления инженерно-геологическими процессами с учетом всех постоянных и изменяющихся системных факторов возникновения опасных экзогенных геологических процессов, далее разрабатывается план мероприятий по ликвидации барьерных мест, проводится экспертная оценка возможных конструкций и мероприятий по борьбе опасными геологическими процессами и явлениями, формируется множество альтернатив ликвидации барьерных мест и выбирается эффективная их область, из которой лицо, принимающее ответственное решение выбирает альтернативу для реализации. Затем производится комплексный анализ последствий решений и мероприятий. Приведенный алгоритм выполнения перечисленных задач должен работать в режиме реального времени, т.к. сеть железных дорог - это сложная динамическая система, находящаяся в состоянии постоянного изменения, которая требует непрерывного мониторинга ее технического состояния.

Глава 2. ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИАМУРЬЯ - ПРИЧИНЫ И УСЛОВИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Климатические условия Приамурья характеризуются исключительной контрастностью и неоднородностью, обусловлены его положением на окраине Азиатского материка, большой протяженностью с юга на север (от 42° до 52° СШ и от 122° до 14 2° ВД), сочетанием горного рельефа с разобшенными обширными равнинами. Здесь суровый резко-континентальный муссонный климат умеренных широт, формирующийся в условиях тесного взаимодействия суши и океана. В регионе широко развиты многолетнемерзлые породы и, связанные с ними, криогенные процессы и явления.

Особенности климата определяются специфическим геоморфологическим строением региона. В зимнее время движение холодных циклонов из центральных областей Сибири и Арктики к океану задерживают горные хребты, расположенные вдоль морского побережья. Это сглаживает влияние широтного фактора на температуру воздуха и делает ее очень низкой на всей территории. В летнее время хребты ослабляют влияние адвекции с моря и увеличивают значение вертикально-го градиента температур.

Дальний Восток России является единым инженерно-геологическим регионом I порядка, главной особенностью которого является торцевое сочленение двух крупных складчатых поясов Земли — Центрально-Азиатского и Тихоокеанского. На его территории выделяется тридцать регионов второго порядка, в которые входят регионы севера Дальнего Востока, юга Дальнего Востока и островов и полуостровов Тихоокеанского сектора.

Приамурье входит в регион юга Дальнего Востока. Его структура включает в себя сочетание активно взаимодействующих между собой разнородных **геологических элементов** - регионов П порядка. Северным обрамлением территории является Монголо-Охотская складчатая система. В центральной части расположен Буреинский выступ кристаллического фундамента, на юго-востоке - Сихотэ-Алиньская складчатая система. Прослеживаются несколько межгорных впадин и прогибов: Средне-Амурская и Буреинская впадины, Эворон-Чукчагирская депрессия и другие элементы.

Монголо-Охотская складчатая система, ее Амуро-Охотское звено отличается исключительной сложностью строения. Ее часть, зажата между Становой складчато-глыбовой областью, Буреинским и Аргуньским массивами, представляет серию линейных горст-антиклинориев и грабен-синклинориев, осложненных многочисленными надвигами и взбросами. Восточнее Буреинского массива субширотные структуры Монголо-Охотской системы веерообразно разветвляются на северо-восточные (Удско-Шантарскую, Тугурскую) и юго-восточную (Ниланскую) ветви. Антиклинории сложены породами позднепротерозойского и раннепалеозойского возраста, синклинории выполнены средне-позднепалеозойскими (девон, пермь) и мезозойскими отложениями.

Буреинский массив составляют Туранский, Мамынский и Гонжинский выступы, разделенные разновозрастными прогибами и впадинами, которые вместе с Аргуньским массивом в раннем протерозое составляли единую структуру - северный выступ Китайско-Корейского щита. Фундамент Буреинского и Аргуньского массивов составляют архейские и раннепротерозойские метаморфические образования, небольшие поля которых сохранились в виде ксенолитов и останцов кровли среди обширных массивов разновозрастных гранитоидов. В метаморфических толщах преобладающими являются биотит-амфиболовые, амфиболовые гнейсы и сланцы, амфиболиты, реже биотитовые и графитовые гнейсы, слюдяные сланцы и кварциты, объединяемые в гнейсо-мигматитовую формацию. Гранитоидный комплекс этого возраста представлен ультраметаморфической мигматит-гранитовой формацией, имеющей также ограниченное распространение.

Сихотэ-Алиньская складчатая система состоит из ряда граничащих между собой, как правило, по разломам антиклинориев и синклинориев общего северо-восточного простирания. В антиклинориях обнажаются палеозойские вулканогенно-кремнисто-терригенные формации с выходом в отдельных местах глубокометаморфизованных пород нижнего протерозоя. Синклинории выполнены главным образом терригенными юрскими и меловыми формациями.

Неотектоническая структура Приамурья обусловлена влиянием зоны глубинных разломов Тан-Лу, тянущейся из Северо-Восточного Китая. В пределах юга Дальнего Востока эта зона разветвляется на ряд крупных разломов — Курский, Хинганский, Амгуньский, Тугурский а также менее значительных. Для региона характерно блоковое строение, в формировании которого участвовали

неотектонические разломы, так же значительная роль принадлежит унаследованным мезозойским и более древним тектоническим нарушениям.

По кинематике активизированные древние северо-восточные разломы чаще относятся к сбросам и взбросам, нередко имеющим горизонтальную сдвиговую составляющую, соизмеримую с вертикальными перемещениями. Региональные неотектонические нарушения, протяженностью в сотни километров, выделяются как мощные (первые километры) разломные зоны, включающие сложные сочленения оперяющих и ответвляющихся частных разломов, среди которых прослеживаются два-три основных сместителя (с наиболее значительными амплитудами смещения по ним). Предельные величины вертикального воздымания блоков земной коры юга Дальнего Востока близки и различаются в первые сотни метров. Так, Селемджинский и Баджалский блоки, представляющие более обширное Тайкано-Баджалское поднятие, характеризуются, главным образом, сводовым типом горообразования с вертикальными - амплитудами до 2500 м. Сихотэ-Алинский блок, отвечающий одноименному глыбовому поднятию, имеет в осевой зоне максимальные вертикальные амплитуды до 2200 м.

Наибольшие величины современных вертикальных движений земной коры. проявляются на севере региона в пределах горных сооружений Становой складчатой области (-13,9 мм/год) и Монголо-охотской складчатой системы (+11,2 мм/год), а минимальные свойственны для Сихотэ-Алинской складчатой системы ($\pm 0,5-2,0$ мм/год). По направлению северо-запад - юго-восток знак вертикальных движений земной коры закономерно чередуется: опускание сменяется поднятием, затем снова - опускание. В целом земная кора в настоящее время испытывает волнообразную деформацию. При этом длина полуволны закономерно уменьшается, примерно на 150 км в юго-восточном направлении. В том же направлении уменьшается скорость вертикальных движений. На северо-западе она достигает 14 мм/год, на юго-востоке - 2 мм/год. Такая волнообразная деформация с закономерным убыванием амплитуды и длин полуволн характерна для деформирования пластины при одностороннем субгоризонтальном приложении нагрузки. В данном случае источником приложения силы к верхним горизонтам земной коры, судя по всему, может служить Байкальская рифтовая зона, где происходит растяжение земной коры, а на нижние горизонты оказывает сжимающее действие Тихоокеанская плита.

Наиболее высокий уровень сейсмической опасности отмечается на западе территории в Байкало-Становой и Джугжурской зоне ВОЗ. Здесь расчетная сила землетрясений 9 и более баллов. В восточной части Станового хребта, Турурингра-Джагдинском поднятии, Баджало-Буреинском поднятии выделяются опасные зоны, с силой землетрясений 8 баллов. На Амуро-Зейской равнине и Сихотэ-Алинской геосинклинальной складчатой зоне выделяются опасные зоны, с силой землетрясений 7 баллов.

Гидрогеологические условия Приамурья весьма разнообразные. В Амурской гидрогеологической области первого порядка выделяются три гидрогеологические структуры второго порядка: Амуро-Охотская, Шилко-Аргуньская и Буреинская.

Гидрогеологические условия являются определяющими при возникновении ряда опасных природных и природно-техногенных геологических процессов - геокриологических, гравитационных.

Северная часть Приамурья представляет собой зону перехода от площадного распространения многолетнемерзлых пород к сплошному распространению талых пород, располагающуюся вблизи южной границы криолитосферы. Здесь прослеживается сплошной, прерывистый, массивно-островной, островной и редкоостровной типы распространения многолетне-мерзлых пород.

С многолетней мерзлотой и глубоким сезонным промерзанием пород на исследованной территории связано широкое распространение заболоченности и развитие криогенных процессов. Многолетняя мерзлота оказывает существенное влияние на особенности проявления сейсмичности.

Отмеченные особенности геологических условия Приамурья определяют большое разнообразие и широкое распространение экзогенных геологических процессов. На основе обобщения большого количества материалов различных исследовательских организаций, исследователей, а также на основе собственных данных автором составлена региональная генетическая классификация экзогенных геологических процессов Приамурья, влияющая на безопасную работу сети железных дорог. За основу принята общая генетическая классификация экзогенных геологических процессов А.И. Шеко, которая дополнена информацией о местоположении участков проявления процессов в регионе исследований и линиях, для которых данные геологические процессы и явления представляют опасность.

Климатические особенности, ландшафтная зональность, активная циклоническая деятельность в регионе, высокая влажность атмосферы - все это определяет активное, повсеместно проявляющееся *выветривание* горных пород. Преобладает физическое выветривание. В северной части региона, в районах широкого распространения многолетнемерзлых пород сплошного, прерывистого, островного и редкоостровного типов доминируют *криогенные* процессы. Наиболее распространенными и опасными, с точки зрения строительства и эксплуатации протяженных линейных сооружений - сети железных и автомобильных дорог, нефте-газопроводов и всех сопутствующих им сооружений, являются морозобойное растрескивание, сезонное пучение, термокарст, родниковые наледи, солифлюкция, курумы. Эти явления прослеживаются в среднегорных частях и межгорных впадинах хребтов Баджальского, Буреинского, Турана и их отрогов: в Верхнебуреинской и Верхнеамгуньской впадинах, Зейской равнине, Верхнебуреинской и Чукчагир-Эворонской низменности, долине р. Амгунь и др. местах

Весьма широко распространенными являются *гравитационные процессы*. Из них на территории Приамурья к наиболее опасным для строительства и эксплуатации протяженных линейных сооружений следует относить обвалы, вывалы, камнепады, лотковые осыпи, оползни всех типов. Гравитационные процессы активно протекают в высокогорных и среднегорных областях Буреинского глыбового поднятия и Сихоте-Алиньской геосинклинальной системы.

Наиболее опасными процессами, обусловленными *поверхностными водами*, являются овражная и склоновая эрозия. Овражная эрозия протекает в низкоргорных областях Буреинского глыбового поднятия, Сихотэ-Алиньской геосинклинальной системы - в хребтах Буреинском, Турана, Эткиль-Янканском, в юго-восточной периферии Зейской равнины, в долинах рек Амур, Амгунь, Горин, Дуки, Хурмули, Хиче, Майя и других. Склоновая эрозия протекает повсеместно.

Наиболее неблагоприятными процессами, обусловленными *подземными водами*, для строительства и эксплуатации линейных протяженных сооружений на территории Приамурья является заболачивание, распространенное в Верхнебуреинской впадине, Чукчагир-Эворонской и Удыль-Кизинской депрессиях, Зейской равнине, Средне и Нижне-Амурской низменности, всех долинах рек бассейна р. Амур, а также подтопление, распространенное в этих же местах и в районах техногенного освоенных территорий. В северо-западной части территории, в пределах Учуро-Майской карстовой провинции, на линии Тында-Хани проявляются *карстовые явления*. Они опасны также в Приохотской, Туранской, Хингано-Буреинской, Баджало-Амгуньской, Приамурской, Приханкайской, Центрально- и Южно-Сихотэ-Алиньских карстовых провинциях.

Проведенные исследования и представленные во II главе особенности геологической среды Приамурья, причины и условия опасных геологических процессов и явлений позволили автору приступить к выявлению и анализу опасных геологических процессов и явлений применительно к конкретным объектам сети железных дорог, о чем говорится в III главе.

Глава 3. ВЫЯВЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ЯВЛЕНИЙ В РЕГИОНЕ С ПОЗИЦИЙ ИХ ВЛИЯНИЯ НА ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Горные породы являются главным элементом геологической среды. Все свойства природно-технических систем обуславливаются, по сути, **физико-механическими свойствами** пород. Автором уделено большое внимание их изучению. На основе обобщения нескольких тысяч определений для магматических горных пород Приамурья, в т.ч. показателей полученных лично, при обследовании 32 массивов, определены значения их физико-механических свойств (табл. 3.1). Результаты изучения детально отражены в двух монографиях (Даммер А.Э., Квашук С.В., 1990, 1996).

Обследованные массивы расположены в пределах Восточного складчатого обрамления Буреинского массива, в котором выделяется Восточно-Буреинская магматическая система и в ее составе Хингано-Олонойская, Вандано-Мяо-Чанская, Баджалская, Эопская, Ям-Алиньская, Селитканская вулканические зоны, а также Восточно-Сихотэ-Алиньский вулканический пояс Сихотэ-Алиньской складчатой

области, включающий Ульбанский, Магуйский, Эвурский вулканогенные комплексы, которые сложены преимущественно чередующимися вулканогенными толщами среднего и кислого состава, и Западно-Сихотэ-Алинская вулканическая зона, сложенная в основном продуктами андезитовой и базальтовой формаций.

Исследованы парные корреляционные зависимости между основными физико-механическими свойствами для магматических горных пород, имеющих широкое распространение в регионе. Выявлены тесные и умеренные корреляционные связи между прочностью на сжатие, плотностью и скоростью распространения упругих волн. Наиболее тесные зависимости свойственны породам более плотным, в наименьшей степени подвергшимся процессам гипергенеза. Полученные простые закономерности (в основном имеющие параболический или линейный характер) между значениями $R_{сж}$, ρ , V_p , наличие тесных корреляционных связей между ними позволяют использовать уравнения для определения в условиях естественного залегания необходимых характеристик (табл. 3.2).

Полученные материалы имеют очень важное практическое значение, носят прогнозный характер. Особенно это касается протяженных линейных сооружений с разнообразными, изменчивыми инженерно-геологическими условиями, при дефиците финансовых и временных ресурсов. Исследованные массивы горных пород находятся в зоне линий сети железных дорог, и данные об их физико-механических свойствах необходимы для проектирования, строительства, реконструкции железных дорог и проектирования карьеров строительных материалов.

Метаморфические образования имеют ограниченное распространение в районе исследований. Они отличаются повышенной трещиноватостью, большой степенью выветрелости, что определяет их низкие прочностные свойства и обладание свойствами анизотропии. В диссертации также охарактеризованы осадочные горные породы в центральной части Приамурья. Метаморфические и осадочные породы охарактеризованы в монографии (Даммер А.Э., Кващук С.В., 2001).

Выявлены зависимости изменения физико-механических свойств горных пород от трещиноватости.

С увеличением *микротрещиноватости* закономерно уменьшаются все основные физико-механические свойства. Свойства пород зоны гипергенных изменений заметно отличаются от подобных характеристик пород, не затронутых процессами выветривания. Величина таких изменений может достигать в плотности 10-15 %, в упругих характеристиках - 50-100%, прочности - до 50 %. Такой диапазон вариаций физических свойств обусловлен неоднородностью состава, структурно-текстурными особенностями, а также степенью их выветрелости и тектонической микротрещиноватости.

Таблица 3.1

Физико-механические свойства магматических горных пород Буреинского срединного массива
и Сихотэ-Алиньской складчатой системы Приамурья (часть данных)

	ρ_s г/см ³	ρ_r г/см ³	n	K_w	V_p км/с	R_{c1} МПа	R_{c2} МПа	R_{c3} МПа	K_1	K_2	R_t МПа	E_d МПа	E_{0r} МПа	E_{0s} МПа	μ	$K_{кр}$	C_s МПа	$tУ$ град
Буреинский срединный массив																		
Двуслюдяной гранит (Биракан)	2,71	2,67	1,59	0,45	4,26	126	89	78	0,71	0,62	15	38,8	31,1	18	0,27	11	-	-
Биотитовый гранит (Перевальный)	2,68	2,64	1,49	0,27	4,68	78	74	65	0,95	0,83	3,1	45,2	-	12	0,28	8	7,7	67
Биотитовый гранит (Туюн-Когеля)	2,68	2,63	1,81	0,43	5,10	144	135	118	0,84	0,82	11,8	59,9	-	32	0,22	12	20	57
Биотитовый гранит (Усть-Ургил)	2,67	2,59	2,93	0,42	3,43	147	135	129	0,92	0,88	11,3	25,6	42	29,8	0,24	12	20	59
Лейкократовый гранит (Ягдынья)	2,71	2,68	2,4	0,65	3,55	124	121	89	0,98	0,65	9,97	28,2	-	-	0,25	11	-	-
Сихотэ-Алиньская складчатая система																		
Биотитовый гранит (Аксака)	2,66	2,58	3,03	4,08	4,16	132	127	12,5	0,96	0,95	14,7	36,5	-	20	0,26	11	-	-
Биотитовый гранит (Бикин)	2,7	2,66	1,8	1,09	4,95	142	136	129	0,96	0,91	172	45,6	17,5	17,4	0,32	12	40	39
Двуслюдяной гранит (Васильевка)	2,64	2,60	1,2	1,09	3,51	116	110	104	0,95	0,9	7,1	28,1	15,3	15,2	0,05	11	40	34
Двуслюдяной гранит (Култухе)	2,72	2,66	2,27	0,68	4,44	142	136	129	0,96	0,91	8,7	49,3	-	-	0,16	12	40	40
Биогитово- роговообиданковый гранит (Постышев)	2,71	2,66	1,85	0,75	4,71	144	138	133	0,96	0,92	15,8	49,2	7,3	7,1	0,25	8,5	25	54
Биотитовый гранит (Чалба)	2,68	2,65	1,17	0,58	4,76	190	181	169	0,95	0,89	12,7	55,9	-	18	0,17	14	24	60

Корреляционные зависимости $y = f(x)$ между исследуемыми показателями и коэффициенты корреляции

Вулканические зоны и породы	Показатели		
	$R_{СЖ}=f(\rho)$	$R_{СЖ}=f(V_p)$	$\rho = f(V_p)$
Хингано-Олонойская вулканическая зона			
1. Кварцевые порфиры (п. Облучье)	$Y = A + B/X^4$ $A = 0,3 \times 10^3$ $B = -0,505 \times 10^5$; $\rho_x = 0,49$		$Y = A + B \times \lg X$ $A = 0,242 \times 10$; $B = 0,949 \times 10^{-1}$; $\rho_x = 0,52$
2. Андезито-дациты (г. Биробиджан)	$Y = 1/(A + B/X^4)$ $A = 0,198 \times 10^{-1}$ $B = 0,331 \times 10^{-1}$; $\rho_k = 0,63$	$Y = A + B \times X$ $A = 0,256 \times 10^2$; $B = 0,194 \times 10^2$; $\rho_x = 0,76$	$Y = 1/(A + B/X^4)$ $A = 0,382$, $B = -0,30 \times 10^{-6}$ $\rho_x = 0,41$
3. Базальты (г. Хинганск)	$Y = 1/(A + B \times X)$ $A = 0,575 \times 10^{-1}$ $B = -0,196 \times 10^{-1}$; $\rho_x = 0,74$	$Y = 1/(A + B/X^2)$ $A = 0,256 \times 10^{-1}$ $B = -0,259 \times 10^{-3}$; $\rho_x = 0,71$	$Y = 1/(A + B \times X)$ $A = 0,449$ $B = -0,138 \times 10^{-1}$; $\rho_x = 0,67$
Нижне-Амурская вулканическая зона			
1. Андезито-базальты (г. Николаевск)		$Y = 1/(A + B/X^4)$ $A = 0,114 \times 10^{-1}$ $B = -0,552 \times 10^{-3}$; $\rho_x = 0,75$	$Y = 1/(A + B/X^6)$ $A = 0,36$ $B = -0,835 \times 10^{-6}$; $\rho_x = 0,73$
2. Базальты (р. Личи)	$Y = A + B \times X$ $A = -0,116 \times 10^4$ $B = 0,498 \times 10^3$; $\rho_x = 0,64$	$Y = 1/(A + B \times X)$ $A = 0,137 \times 10^1$ $B = -0,165 \times 10^{-2}$; $\rho_x = 0,85$	$Y = 1/(A + B/X^4)$ $A = 0,384$ $B = -0,152 \times 10^{-4}$; $\rho_x = 0,51$
Самаргино-Совгаванская вулканическая зона			
1. Андезито-базальты (п. Хади)	$Y = A + B \times X$ $A = -0,674 \times 10^3$ $B = 0,303 \times 10^3$; $\rho_x = 0,58$	$Y = 1/(A + B \times X)$ $A = 0,132 \times 10^{-1}$ $B = -0,132 \times 10^{-2}$; $\rho_x = 0,69$	$Y = 1/(A + B/X^2)$ $A = 0,275 \times 10$ $B = -0,152 \times 10$ $\rho_x = 0,57$
2. Базальты (п-ов Меньшикова)	$Y = A + B/X^6$ $A = 0,132 \times 10^3$ $B = -0,145 \times 10^3$; $\rho_x = 0,28$	$Y = A + B/X^6$ $A = 0,905 \times 10^2$ $B = -0,163 \times 10^3$; $\rho_x = 0,82$	$Y = A + B/X^2$ $A = 0,265 \times 10^{-1}$ $B = -0,967$; $\rho_x = 0,35$
Западно-Сихотэ-Алиньская вулканическая зона			
1. Андезито-дациты (159 км трассы Хабаровск-Владивосток)	$Y = A + B/X$ $A = 0,232 \times 10^3$ $B = 0,359 \times 10^3$; $\rho_x = 0,35$	$Y = 1/(A + B/X)$ $A = 0,199 \times 10^1$ $B = -0,257 \times 10^{-2}$; $\rho_x = 0,868$	$Y = 1/(A + B/X^6)$ $A = 0,383$ $B = -0,291 \times 10^{-6}$; $\rho_x = 0,580$
Вандано-Мяочанская вулканическая зона			
1. Базальты (ст. Хурба)	$Y = 1/(A + B/X^6)$ $A = 0,117 \times 10^1$ $B = -0,142 \times 10^{-4}$ $\rho_x = 0,67$	$Y = 1/(A + B/X^2)$ $A = 0,867 \times 10^{-2}$; $B = 0,126 \times 10^{-3}$ $\rho_x = 0,60$	$Y = X/(A + B \times X)$ $A = 0,33$, $B = 0,18$ $\rho_x = 0,85$
2. Долериты (с. Новокаменка)	$Y = A + B/X^6$ $A = 0,365 \times 10^3$ $B = -0,841 \times 10^3$; $\rho_x = 0,57$	$Y = 1/(A + B/X^6)$ $A = 0,582 \times 10^{-2}$ $B = -0,405 \times 10^{-7}$; $\rho_x = 0,83$	$Y = A + B \times X$ $A = 0,268 \times 10$ $B = 0,262 \times 10^{-1}$; $\rho_x = 0,649$

Макротрещиноватость определяет условия строительства и эксплуатации инженерных сооружений. В выемках сложенных скальными горными породами она определяет виды обвалных обрушений, их интенсивность и степень устойчивости откосов. Автором детально исследовано пять, а крупномасштабно - несколько десятков скальных выемок на линиях сети железных дорог Дальневосточного региона. На всех объектах главным фактором низкой устойчивости скальных откосов является: трещиноватость тектонического происхождения и неблагоприятно ориентированные плоскости трещиноватости. Факторами, повышающими ее класс являются неотектонические движения, выветривание, техногенные воздействия. Первичная трещиноватость андезито-дацитов, кварцевых порфиров и всех разновидностей базальтов во всех вулканических зонах характеризуется модулем трещиноватости: $M_t = 1-6$ (более высокие значения модуля: $M = 3-7$ отмечены для кварцевых порфиров) и близкими значениями коэффициента трещинной пустотности ($K = 2,8-9,6 \%$) (табл. 3.3). С увеличением трещиноватости прочность пород всегда снижается. Особенно это отчетливо проявляется у пористых разновидностей базальтов и андезито-базальтов Восточно- и Западно-Сихотэ-Алиньских вулканических зон. Здесь эти породы имеют прочность в 2-5 раз меньше, чем породы, находящиеся вне зон трещиноватости. Трещиноватость и неоднородность ее пространственного распределения обуславливают анизотропность и неоднородность физико-механических и других свойств массивов.

Инженерно-геологические свойства кор выветривания определяют особенности решения широкого круга практических проблем возникающих при освоении территорий. Автором изучено восемнадцать участков кор выветривания в Приамурье имеющих очень широкую региональную географию - от Хингано-Олонойской вулканической зоны на северо-западе до южных отрогов Сихотэ-Алиня.

Таблица 3.3

Параметры первичной трещиноватости магматических пород Приамурья

№	Порода	Трещинная пустотность, %	Модуль трещиноватости M_t
Хингано-Олонойская вулканическая зона			
1	Андезито-дациты (г. Биробиджан)	0,54-3,04	3-5
2	Кварцевые порфиры (г. Биробиджан)	3,9-6,99	5-7
3	Базальты пироксеновые (г. Хинганск)	0,23-0,51	1-4
4	Кварцевые порфиры (г.Облучье)	2,78-9,63	5-9
Хингано-Бурейский прогиб			
5	Биотит-роговообманковые гранодиориты (раз. Перевальный)	2,88-16,9	7-8
Вандано-Мяо-Чанская вулканическая зона			
5	Долериты (с.Новокаменка)	0,16-0,48	1-3
6	Базальты одивизиовые (ст. Хурба)	0,37-5,95	2-6
Нижне-Амурская вулканическая зона			
7	Базальты оливиновые (г. Николаевск-на-Амуре)	0,61-7,17	3-7

№	Порода	Трещинная пустотность, %	Модуль трещиноватости $M_{тр}$
Самаргино-Совгаванская вулканическая зона			
8	Базальты пироксеновые (п-ов Меньшикова)	0,28-3,31	1-5
9	Базальты авгитовые (г Совгавань)	0,19-6,28	1-6
10	Ингимбриды липаритов (ст Кузнецовский)	1-3 %	3-6

На всей исследуемой территории климат суров, характеризуется значительными суточными и годовыми колебаниями температур, наличием сезонов ливневых дождей, высокой влажности атмосферы. В северной части региона расположены территории распространения многолетнемерзлых пород.

Возраст большей части изученных кор выветривания молодой. В большинстве это неоген-палеогеновые эффузивные покровы.

Минеральный состав коры выветривания магматических горных пород изменяется незначительно. Это проявляется в замене: полевых шпатов - плагиоклазов каолином, гидрослюдами; биотита - хлоритом, авгита - роговой обманкой, оливина - лимонитом. Физико-механические свойства пород изменяются от монолитной зоны к зоне I (табл. 3.4).

Мощность зоны I - дисперсной, полного химического преобразования исходных горных пород, весьма незначительна. На андезито-дацитах нижне-амурской вулканической серии (Mz-Kz), базальтах Удурчуканского и Хурбинского покровов (N_2), Лагар-Аульского, Облученского массивов (K_2) она близка к нулю. На остальных - в основном лежит в интервале 0,1-1,2 м, достигая максимальной величины 12,0 в андезитовых порфиритах у с. Красного и у гранодиоритов на разъезде Перевальный в основаниях сопок. Это следствие молодого возраста кор выветривания.

Мощность зоны II - обломочной, с преобладанием физической дезинтеграции значительно увеличена, лежит в интервале 0,3-1,0 - 4,0-8,0 м, увеличиваясь до величины 21,0-33,0 м.

Мощность зоны III - трещинной, становится значительной, составляет не менее 3,8 м, при среднем интервале 7,0-20,0 м, достигая максимальных величин 45,0 м в андезито-дацитах у р. Камора в Нижнеамурской вулканической серии (Mz-Kz).

Выявляется закономерность увеличения мощности коры выветривания в районах повышенных гипсометрических отметок. При отметках более 200 м мощность коры составляет не менее 35,0 м.

Большинство исследованных участков лежит в областях неотектонических и современных вертикальных движений земной коры, находится в районах влияния тектонических зон, или непосредственно пересекается зонами дробления и катаклаза. Здесь процессы выветривания накладываются на тектоническую раздробленность, блочность и трещиноватость горных пород.

Таблица 3.4

Физико-механические свойства эффузивных пород в коре выветривания

Порода, участок	Индексы показателей свойств, единицы измерения	Зоны коры выветривания			
		Неизменные породы	III	II	I
Кварцевые порфиры (г. Облучье)	ρ г/см ³	2,60	2,54	2,46	-
	n %	2,64	6,02	7,2	-
	$R_{сж}^C$ МПа	142	105	56	-
	$R_{сж}^{Bl}$ МПа	130	91	53	-
	K_{Φ}	0,91	0,86	0,94	-
	V_p км/с	5,06	3,88	2,25	-
Андезиты (159-й км автогассы Хабаровск – Владивосток)	ρ г/см ³	2,65	2,57	2,35	-
	n %	1,0	-	-	-
	$R_{сж}^C$ МПа	193	101	89	-
	$R_{сж}^{Bl}$ МПа	176	88	80	-
	K_{Φ}	0,91	0,87	0,90	-
	V_p км/с	4,98	4,12	3,55	-
Андезито-базальты (г. Николаевск-на- Амуре)	ρ г/см ³	2,83	2,65	2,34	1,72
	n %	1,10	5,6	13,3	18,2
	$R_{сж}^C$ МПа	129	80	43	24
	$R_{сж}^{Bl}$ МПа	122	72	39	15
	K_{Φ}	0,94	0,90	0,80	0,62
	V_p км/с	5,10	2,82	2,25	1,98
Базальты оливиновые (г. Николаевск-на- Амуре)	ρ г/см ³	2,81	2,76	2,54	2,25
	n %	-	-	-	-
	$R_{сж}^C$ МПа	236	216	126	26
	$R_{сж}^{Bl}$ МПа	224	201	118	17
	K_{Φ}	0,93	0,93	0,93	0,65
	V_p км/с	5,46	5,08	4,56	2,29
Базальты авгитовые (г. Советская Гавань)	ρ г/см ³	2,84	2,81	2,58	-
	n %	3,15	3,96	5,75	-
	$R_{сж}^C$ МПа	190	133	87	-
	$R_{сж}^{Bl}$ МПа	183	127	81	-
	K_{Φ}	0,97	0,95	0,93	-
	V_p км/с	5,15	4,62	2,80	-
Базальты оливиновые (ст. Хурба)	ρ г/см ³	2,78	2,75	-	-
	n %	2,1	5,7	-	-
	$R_{сж}^C$ МПа	198	136	-	-
	$R_{сж}^{Bl}$ МПа	189	131	-	-
	K_{Φ}	0,95	0,95	-	-
	V_p км/с	5,55	3,95	-	-
Долериты (с. Новокаменка)	ρ г/см ³	2,92	2,90	-	-
	n %	0,13	0,85	-	-
	$R_{сж}^C$ МПа	2,21	155	-	-
	$R_{сж}^{Bl}$ МПа	217	150	-	-
	K_{Φ}	0,98	0,96	-	-
	V_p км/с	5,48	3,53	-	-

Порода, участок	Индексы показателей свойств, единицы измерения	Зоны коры выветривания			
		Неизменные породы	III	II	I
Андезито-базальты (п-в Меньшикова)	ρ г/см ³	2,94	2,78	2,60	2,50
	n %	3,1	6,5	8,5	12,7
	$R_{сж}^C$ МПа	129	75	48	46
	$R_{сж}^{ВЛ}$ МПа	126	73	31	40
	K_{Φ}	0,97	0,97	0,76	0,87
	V_p км/с	4,40	3,65	2,81	2,71

Для некоторых линий сети железных дорог Дальневосточного региона очень опасными являются **гравитационные процессы**. Порою, они приводят даже к остановке движения.

Постоянными факторами возникновения гравитационных процессов являются специфические геологические условия региона и рельеф. Они разнообразны и сложны. В строении участвуют многообразные комплексы магматических, метаморфических и осадочных горных пород, находящихся в сложных взаимоотношениях. В наибольшей степени процессам подвержены районы морфологически выраженные среднегорным и высокогорным рельефом в средне- и высокогорных областях Сихотэ-Алинского, Баджальского, Дуссе-Алинского и Буреинского хребтов.

Важным фактором возникновения опасных природных и природно-техногенных процессов, относящихся к медленноизменяющимся, независимым, является неотектоническое строение региона, районов, участков. Все изученные участки гравитационных процессов либо непосредственно пересекаются тектоническими нарушениями, зонами дробления низких порядков, либо находятся в непосредственной близости от зон тектонических нарушений более высоких порядков.

Частота и интенсивность проявления гравитационных процессов зависят также от гидро-геокриологических условий, являющихся медленноизменяющимися, производными факторами. Подавляющее большинство участков находится на повышенных гипсометрических отметках и как причины проявления гравитационных процессов инфильтрационные воды проявляются в периоды затяжных осадков летом и во время таяния снегов - весной.

Метеорологические условия являются основным быстроизменяющимся фактором, существенно влияющим на проявление обвалов и оползней. Пики активизации гравитационных процессов приходятся именно на пики активизации проливных, муссонных дождей, так типичных для исследуемого региона и всех линий сети железных дорог

Сейсмические условия, относящиеся также к группе быстроизменяющихся и основных, являются одним из важнейших факторов, провоцирующих активизацию гравитационных процессов. По шкале MSK-64 они активизируются при землетрясениях силой 6 баллов.

В соответствии с картой общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-97 карта А) все обвалоопасные участки линий СЖД Дальневосточного региона расположены в зонах с интенсивностью землетрясений 6, 7, и 8 баллов по шкале MSK-64. В регионе существуют зоны землетрясений с $3 \leq M \leq 5$, с силой на поверхности 3-4 балла, которые или вызывают проявление обвалов, или готовят их.

К быстроизменяющимся основным факторам возникновения и активизации обвалов и оползней относятся техногенные, часто они являются основными. К ним относятся нерациональные конструкции постоянных устройств железнодорожного пути, повышенные динамические нагрузки от тяжелых составов, катастрофические взрывы, крушения, природные катаклизмы и т.п.

Совокупность описанных выше постоянных и изменяющихся факторов является причиной широкого распространения природных и природно-техногенных обвалов.

В Приамурье широкое распространение имеют обвалы техногенного генезиса. Условиями их развития являются резкопересеченный рельеф, нарушенность горных пород, их повышенная трещиноватость и блочность. Причинами возникновения отмеченных процессов являются подрезка склонов искусственными линейными сооружениями: выемками и полувыемками линий сети железных дорог, автомобильных дорог, трубопроводов и др. На сети железных дорог региона насчитывается 131 обвальная участок общей протяженностью 62 км. В наибольшей степени обвалам подвержены следующие линии:

- Комсомольск - Советская гавань (40 участков протяженностью 33,5 км);
- Угловая - Находка (18 участков протяженностью 6,45 км), пересекающие горные сооружения Сихотэ-Алиньской складчатой системы соответственно в северной и южной частях;
- Известковая - Новый Ургал (24 участка протяженностью 11,8 км);
- Биробиджан - Облучье (7 участков протяженностью 1,94 км);
- Новый Ургал - Комсомольск (3 участка протяженностью 1,0 км), пересекающие горные сооружения Буреинского глыбового поднятия.

Гравитационные процессы, имеющие природно-техногенный генезис на сети железных дорог в Приамурье классифицированы автором по степени опасности на основе систематики по местоположению и морфологическим особенностям участков, типам горных пород, слагающих откосы, наличию тектонических нарушений, степени залесенности откосов выемок и полувыемок, класса трещиноватости, коэффициента угрожаемости, степени инженерной защиты и экспертной характеристики состояния участка.

Инженерно-геологические условия большинства **тоннелей** сети железных дорог региона относятся к третьей и второй категории сложности (средней сложности и сложные). Наиболее сложные условия типичны для тех районов, в которых совокупность геологических условий также наиболее сложны. Это относится к **тоннелям, пересекающим перевальные участки на значительных абсолютных**

отметках со сложным геологическим и тектоническим строением, включающие породы разного генезиса, которые находятся в сложных взаимоотношениях в зонах влияния тектонических разломов или непосредственно пересекаемые тектоническими нарушениями, находящимся в областях повышенной трещиноватости, блочности, обводненности горных массивов. Это Лагар-Аульский, Тарманчуканский, Облученский, Дуссе-Алиньский, Кузнецовский, Сихоте-Алиньский и Амурский тоннели.

Такие выводы прямо следуют из анализа, проведенного в главе II, в которой акцентируется внимание на сложных, многообразных и изменчивых геологических, тектонических, неотектонических, сейсмических, гидрогеологических, геокриологических и природно-климатических условиях всего исследуемого региона.

В соответствии с картой ОСР-97/С все тоннели сети железных дорог Дальневосточного региона расположены в районах высокой сейсмичности. Хинганские тоннели - в 9-балльной зоне, районы Сихотэ-Алиньских характеризуются сейсмичностью 8 баллов, остальные - сейсмичностью 7 баллов по шкале MSK-64. Иными словами, значительная часть тоннелей сети железных дорог ДВР находится в зоне повышенной сейсмического риска функционирования тоннелей.

Недоучет сложности инженерно-геологических условий приводит к проявлению в тоннелях неблагоприятных процессов и явлений, затрудняющих их безопасную эксплуатацию, повышающих эксплуатационные расходы и ограничивающих скорость движения подвижного состава. В Лагар-Аульском тоннеле такой недоучет сложности инженерно-геологических условий при реконструкции привел к росту горного давления, деформациям сводовой части обделки (до 1,0 м), обильным водопроявлениям, особенно в западной части протяженностью 400 м. Все это привело к принятию решения о строительстве нового тоннеля рядом с существующим с дальнейшей забутовкой последнего.

В Казачинском тоннеле, после его реконструкции, появились продольные и поперечные трещины в обделке относительно оси тоннеля, вследствие недоучета особенностей горного давления, обусловленного особенностями геологического строения. Проблемы существуют и на других тоннельных переходах.

Многолетнемерзлые породы, имеющие широкое распространение в северной части региона, характеризуются целым рядом особенностей:

- для них характерна высокая льдистость за счет текстурообразующего льда и разнообразие криогенных текстур. В отдельных случаях суммарная льдистость верхних горизонтов мари (торфа, сулинка, супеси), достигает 70-80 %, уменьшаясь на глубине 4-5 м до 20-30 %;
- криогенное строение горных пород весьма сложное;
- для мерзлых пород характерно высокое содержание органики и значительная пылеватость. Вследствие этого породы при оттаивании переходят в мягкопластичное или текучее состояние и фактически не обладают несущей способностью;
- наличие в толще пород маревых участков значительных масс подземных залежеобразующих льдов.

Значительная часть северных районов территории характеризуется маревым ландшафтом, который является индикационным признаком распространения многолетнемерзлых пород. Мари обычно занимают пониженные формы рельефа в долинах рек и озер. Исходя из мерзлотного районирования участка железнодорожной линии ст. Этыркен - ст. Джамку следует, что 66 % участка (232,7 км) замерзлочно. При этом на сильно сжимаемые и просадочные при оттаивании основания (III, IV категории) приходится 46,6 % (108,6 км) - из общего протяжения участков с наличием многолетней мерзлоты.

Более благоприятны в мерзлотном отношении косогорные и перевалочные участки. В основном они сложены дресвяно-щербенистыми отложениями с включением глыбового материала и супесчано-суглинистого заполнителя. Поверхность их обычно сухая, слабозамарена багульниковой марью мощностью 0,2-0,5 м. Температура мерзлой толщи на таких участках от -0,5 °С до -1,0 °С. Глубина деятельного слоя 0,8-2,5 м.

Все изученные автором инженерно-геологические объекты, описанные в работе (и не упомянутые в ней), имеют широкую региональную географию (от Амурской области на западе до Хасанского района, Приморского края на юго-востоке), характеризуются весьма сложными инженерно-геологическими условиями (Ш категории). Есть основания распространить данный вывод на все Приамурье, поскольку опасные геологические процессы и явления в регионе «оказывают решающее влияние на выбор проектных решений, строительство и эксплуатацию объектов» (СП 11-105-97, прил. Б).

Глава 4. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ И РИСКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА (на примере Приургальского района)

Ряд районов Приамурья характеризуются очень сложными инженерно-геологическими условиями, что находит место в активном проявлении одновременно нескольких факторов возникновения опасных процессов и явлений. Одним из них является Приургальский, характеризующийся **специфическими геодинамическими условиями**, делающими особенно сложными эксплуатацию и развитие сети железных дорог.

Для района свойственны характерные эндогенные условия: геологическое строение и тектоника, неотектоника и современные движения земной коры, высокая сейсмическая опасность и риск функционирования постоянных устройств железнодорожного пути.

А также сложные экзогенные условия: суровый резко континентальный климат, наличие многолетнемерзлых пород, проявление опасных геологических процессов и явлений, среди которых преобладают геокриологические и гравитационные.

Проектирование линий в районе определялось особенностями морфологического строения территории и необходимостью ее развития главным образом до-

линными ходами. Отрезок северного широтного хода между станциями Чебангда - Новый Ургал - Дуссе-Алинь, расположенный в северо-восточной части, протрассированный ходами по долинам р. Чегдомын, Чемчуко и далее Солони, в пределах Верхнебуреинской межгорной впадины, дойдя до Буреинского хребта, пересекает его Дуссе-Алиньским тоннелем. К северному широтному ходу примыкает линия Известковая-Новый Ургал, протрассированная по долинам р. Согда, Ягдынья, Буряя в пределах Тырминской и Верхнебуреинской межгорных впадин.

Геологическое строение района сложное. Четвертичные и современные образования (Q2-Q4) представлены аллювиальными отложениями (a!Q₄) в пределах Верхнебуреинской и Тырминской межгорных впадин. По ним проходит участок линий Мошка-Корчагин, далее Долина-Новый Ургал - 3339 км северного хода Транссиба. Поймы сверху сложены суглинками, супесями, реже песками и глинами, с включением гравия и гальки, местами гравелистыми песками, мощностью 0,5-4,0 м, с поверхности часто перекрытые торфом, мощностью 0,3-1,5 м (реже — более), ниже залегают валунно-гравийно-галечные отложения, с песчаным, супесчаным или суглинистым заполнителями. В местах пересечения линиями горных рек — небольших притоков р.р. Буряя, Ягдынья, Тырма - распространены современные аллювиальные отложения, характеризующиеся быстрой изменчивостью состава и строения разреза. Мощность их в долинах малых рек и ручьев от 1-3 м, до 10-15 м в долинах более крупных рек. В их составе преобладают русловые фации - валунно-галечниковые и валунно-гравийно-галечниковые отложения, с песчаным, супесчаным или суглинистым заполнителем (до 15-30 %); крупнообломочный материал характеризуется слабой и средней степенью окатанности и низкой сортировкой.

На остальных участках линии сети железных дорог в пределах Приургальского района протрассированы по скальным основаниям, здесь большое количество выемок и полувыемок. В геологическом строении принимают участие плиоцен-нижнечетвертичные, меловые нижнеюрские ранне- и позднелазоозойские, нижепротерозойские породы, представленные базальтами (N₂-Q₁), андезитами, диоритами, диоритовыми порфиритами, липаритами (K₂), разногалечниковыми конгломератами (J₁), кварцевыми диоритами и гранодиоритами (Pz₁). Имеют широкое развитие дайки и жилы лейкократовых, биотитовых гранитов и пегматитов. Мощность жил варьирует от первых сантиметров до первых метров, реже - до первых десятков метров, даек - до первых сотен метров.

Район имеет сложное **сейсмотектоническое строение**. В центральной части расположена Ургальская впадина, обрамленная поднятиями. На северо-западе - Туранским, с востока и юга - Адникнска-Ургальским, а к последнему на севере и северо-востоке примыкает Сулукское поднятие. Прослеживается густая сеть региональных и локальных неотектонических разломов. Крупные разломы ограничивают региональные тектонические элементы и относятся к разным системам разломов Буреинского массива — субмеридионального (север-северо-восточного), северо-восточного и субширотного (восток-северо-восточного). Объединяет их

современная тектоническая активность, проявленная в разной степени и связанная, вероятно с близостью их к зоне тектонически-активных разломов Тан-Лу северо-восточного простирания, имеющей протяженность многие сотни километров - с территории КНР в район зоны сочленения Буреинского массива с Сихотэ-Алиньской складчатой системой.

Амплитуды **новейших вертикальных движений** земной коры составляют 1200-1300 м. Сложные неотектонические условия определяют, густую трещиноватость (блочность), высокую трещинную пустотность горных пород. Этот фактор является решающим, определяющим широкое распространение гравитационных процессов на склонах и откосах, сложенных скальными горными породами.

Геокриологические условия. Значительная территория Приургальского района представлена маревыми ландшафтами, которые имеют распространение в Тырминской и Верхнебуреинской впадинах, в долинах рек Чегдомын, Чемчуко, Солони, Согда, Буряя, они являются индикационным признаком многолетнемерзлых пород. Здесь распространены многолетнемерзлые породы прерывистого распространения мощностью 30-150 м с температурой $-3^{\circ}\dots-5^{\circ}\text{C}$. К северу и востоку от Верхнебуреинской впадины, в пределах низкогорных предгорий хребтов Буреинский и Дуссе-Алинь, многолетнемерзлые породы развиты весьма широко и характеризуются массивно-островным, а в днищах речных долин - прерывистым типами площадного распространения. Сплошность распространения многолетнемерзлых пород в целом нарастает с юга на север. На гипсометрических отметках - до 1100-1200 м - мощность многолетнемерзлых пород сокращается, и на некоторых водоразделах мерзлые породы отсутствуют. Также многолетнемерзлые породы отсутствуют на крутых склонах, особенно южной экспозиции; вдоль русел крупных рек развиты сквозные талики, а под руслами мелких рек - несквозные. К югу от Верхнебуреинской впадины - в верхних течениях р. Ягдынья, Большой Адникан, Гулжал, Гуджик, в Тырминской межгорной впадине тип распространения многолетнемерзлых пород - редкоостровной. Здесь мерзлые породы развиты в днищах речных долин и на склонах северной экспозиции. Водоразделы, между речья, пространства вдоль русел рек практически сплошь талые. Мощность многолетнемерзлых пород сокращается от 30 до 10 м и менее в направлении с севера на юг, а температура мерзлых пород не опускается ниже $-0,5\dots-1,0^{\circ}\text{C}$.

Экзогенные геологические процессы представлены преимущественно гравитационными и геокриологическими. **Гравитационные процессы** представлены *обвалами* и связаны с интенсивной тектонической трещиноватостью, морозным выветриванием и наличием крутых обрывистых склонов, с углами заложения $45-70^{\circ}$ в предгорьях Буреинского хребта. Особенно интенсивно они распространены в верховьях р. Ипата и Куругунджа. Обвалы техногенного генезиса распространены в долине р. Ягдынья (четыре участка) и р. Солони (восемь участков), в откосах линий сети железных дорог (общая протяженность всех участков составляет 6690 м). Размеры обломков техногенных обвалов в магматических поро-

дах составляют впадины 1-3,0 м³ редко достигая 100 м³ Объемы обвальных масс природного происхождения в магматических породах достигают нескольких десятков кубических метров, в пределах распространения карбонатных пород и песчаников не превышает нескольких кубических метров. *Осыпи* распространены в среднегорной части Буреинского хребта на крутых и обрывистых склонах. Размеры отдельных осыпей составляют от 50 м² до 0,8 км². Подвижности осыпей способствует выпадение атмосферных осадков, вымывающих тонкодисперсный материал и нарушающих условия равновесия. В основаниях откосов выемок и полувыемок осыпной материал «перемешан» с обвальными массами, в силу специфической морфологии откосов, на которых одновременно проявляется осыпание обломков и образование обвалов и вывалов. Осыпями и обвалами поражено более 50 % склонов долин и водоразделов. *Оползни* широко развиты в пределах Буреинской впадины, вдоль подмываемых склонов в бассейнах рек Буряя, Солони, Ургал, Нимакан, Чегдомын. Их размеры составляют в длину до 100 м, в ширину - до 150-200 м. Широко распространены *сплывы* в вдоль русел р. Сулук, Чегдомын, Ургал, Буряя, возникающие в слое сезонного промерзания-протаивания мерзлых пород на участках склонов южной или юго-восточной экспозиции в период дождей и весной, когда со склонов происходит смещение переувлажненного почвенно-растительного слоя небольшой мощности. Сплывы возникают на горельниках, в местах с нарушенной растительностью, на участках, подрезанных выемками автомобильных и железных дорог.

Геокриологические процессы в районе широко распространены в пределах Верхнебуреинской впадины. Они представлены *солифлюкцией*, которая распространена по ее периферии. Здесь же распространено трещинообразование. *Морозное пучение* проявляется в пределах распространения переувлажненных глинистых горных пород в условиях глубокого сезонного промерзания и при постоянном подтоке грунтовых вод к промерзающим породам. Морозное пучение в основании и в теле земляного полотна, в основании рельсошпальной решетки железных дорог является чрезвычайно опасным явлением. *Термокарстовые* образования приурочены к аллювиальным четвертичным и плиоцен-нижнечетвертичным отложениям впадины. Форма просядок округлая, диаметром от 10...20 до 100...150 м, глубиной до 2,0 м. *Ископаемые льды* в виде прослоев и линз мощностью до 1...3 м отмечены в бассейнах р. Буряя, Амгунь, Тырма, в многолетнемерзлом аллювии. В области массивно-островного и прерывистого распространения многолетнемерзлых пород в среднегорной части Буреинского хребта и на территории Верхнебуреинской впадины проявляются *наледы*, формирующиеся за счет вод несквозных подрусловых таликов и вод смешанного типа. Наиболее крупные наледы формируются за счет трещинно-жильных вод. Толщина наледного льда до 3,0 м и более, площадь их от нескольких сотен до нескольких тысяч квадратных метров. Таким явлениям широко подвержены откосы выемок и полувыемок на дорогах сети региона, а также Дуссе-Алиньский тоннель. В Верхнебуреинской впадине широко

распространено *заболачивание*, которому способствуют обильные осадки в летнее время, паводки, пологие формы рельефа, широкое распространение глинистых и многолетнемерзлых пород, а также распространение термокарстовых явлений, так как отсутствие стока на обширных равнинах с малыми уклонами при вытаивании льдов благоприятствует застоному режиму.

Сейсмичность территории по карте ОСР-97 составляет 8 баллов. Автором было произведено **сейсмическое микрорайонирование Приургальского района**. Участки с наибольшими касательными напряжениями приурочены к зонам сочленения блоков земной коры, смещающимся внутри самих блоков или относительно друг друга в различных направлениях и с различными скоростями. Эти элементы характеризуются высокими значениями градиентов скоростей новейших и современных вертикальных тектонических движений. Данный показатель позволяет выделить участки с наибольшими касательными тектоническими напряжениями в земной коре, так как в максимальном значении отражает интенсивность сейсмо-тектонических процессов. То есть по значениям градиентов делаются выводы об уровне сейсмической опасности территорий. Исходным шагом для построения прогнозной карты магнитуд является карта градиентов скоростей новейших вертикальных тектонических движений. Автором построена карта магнитуд для Приургальского района в масштабе 1:200000, на основе выделения с высокой детальностью площадных высокоградиентных зон и построения карты градиентов в изолиниях с пошаговой градацией значений. За исходный материал принята карта суммарной деформации исходного (пенепленизированного) рельефа в изолиниях через 100 м (карта морфоизогице), отражающая направленность тектонического развития региона в неоген-четвертичное время (период активизации 25×10^6 лет). Путем применения скользящей круговой палетки с постоянным диаметром, равным 16 км, строились линии изоград. Использовалась корреляционная зависимость градиентов скоростей новейших тектонических движений с сейсмичностью, полученная в ИЗК СО РАН В.В. Николаевым. По результатам исследований построена прогнозная карта вероятных очаговых зон землетрясений и сейсмического районирования Приургальского района. Максимальная сейсмичность территории прогнозируется между 7-8 и может достигать более 9 баллов (рис. 4.2).

Очень важной задачей является **анализ сейсмического риска** функционирования сети железных дорог в районе. Барьерными местами в природно-технической системе «геологическая среда - сеть железных дорог» являются Дуссе-Алинский тоннель и двенадцать скальных обвалоопасных выемок.

Неблагоприятным поведением рассматриваемой системы будет являться выход из строя хотя бы одного объекта - событие, прерывающее движение по всей сети железных дорог района. Общее выражение для определения суммарного сейсмического риска задается в следующем виде:

$$P[R_i] = \sum_j P[R_i | S_j] P[S_j], \quad (4.1)$$

где $P[]$ – вероятность события, указанного в квадратных скобках, R_i – событие, состоящее в том, что система находится в i -м состоянии; S_j означает, что испытываемое на входе сейсмическое воздействие имеет уровень j ; $P[R_i | S_j]$ – вероятность того, что имеет место сейсмический вход S_j . Параметры сейсмического входа S_j назначаются исходя из статистического описания сейсмической активности в Приургальском районе.

Для оценки сейсмического риска используется уравнение Гутенберга-Рихтера, связывающее магнитуды землетрясений и их повторяемость:

$$\lambda = \alpha e^{-\beta M}, \quad (4.2)$$

где λ – среднее число землетрясений в единице объема земной коры в единицу времени, имеющих магнитуду, превышающую M .

Территория Приургальского района является площадным «источником» землетрясения, имеющим признаки эпицентрального поля (выраженную повышенную плотность эпицентров землетрясений), ограниченного координатами $\varphi = 50^\circ$ – 52° , $\lambda = 132^\circ$ – 34° . Способом наименьших квадратов для него получена эмпирическая формула повторяемости землетрясений:

$$\lambda = 789,43 e^{-2,0M}. \quad (4.3)$$

Вектор очага землетрясения описывается магнитудой M , глубиной h и эпицентральным расстоянием Δ – параметрами уравнения макросейсмического поля:

$$I = 1,5M - 3,5 \lg \sqrt{h^2 + \Delta^2} + 3,0. \quad (4.4)$$

Предельная сейсмическая устойчивость измеряется в терминах интенсивности по шкале MSK-64 и составляет $I = 7$ баллов (минимальная магнитуда $M = 5,5$ при $\Delta = 0$) для Дуссе-Алиньского тоннеля и $I = 6$ ($M = 4,8$ при $\Delta = 0$) баллов для обвальных участков. Для простоты описания вектора очага принимается $h = 15,2$ км – среднее значение по выборке землетрясений для данного района.

Представлена расчетная схема (рис. 4.1) из четырех «критических» элементов железной дороги (близкорасположенные обвальные участки считаются как один). Область досягаемости землетрясения с указанными параметрами I , M и Δ до каждого объекта представляет собой окружность радиуса R . Для обвальных участков – $R = 55$ км, для тоннеля – $R = 26$ км.

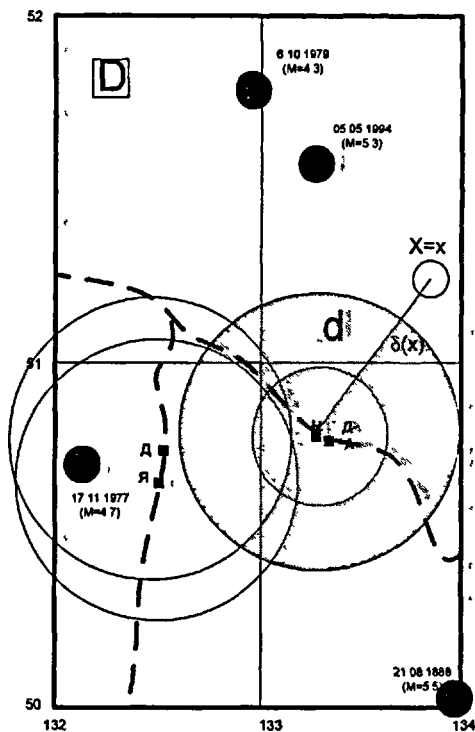


Рис. 4 1. Схема площади возможного землетрясения D и железной дороги с 4 узловыми элементами, иллюстрирующая случайное положение очага землетрясения и область d (заштрихованная), благоприятствующую событию $I > 6$ баллов на одном из обвалных участков (ст. Нальды). Д-А, Н, Д, Я - Дуссе-Алинский тоннель и обвалные участки у ст. Нальды, Долина и Ягдынья

Поведение природно-технической системы (железной дороги) описывается двумя ее состояниями: система будет в состоянии R_1 если в течение одного года произойдет землетрясение, которое превзойдет предельную сейсмическую устойчивость хотя бы одного объекта. При этом каждый объект может быть либо поврежден, либо не поврежден, и вероятность того, что предельная сейсмическая устойчивость любого обвалного участка или тоннеля не превосходит интенсивности I , равна функции распределения интенсивности $F(I)$. При этом устойчивости каждого из четырех объектов суть независимые случайные переменные. При условии, что в точке $X = x$ произошло землетрясение с магнитудой $M = m$, интен-

сивность i можно вычислить по формуле макросейсмического поля. При фиксированной глубине очага сейсмическое состояние определится как пара величин m и x : $i=(m, \delta(x))$. Тогда уравнение (4.1) будет иметь вид:

$$P[R_0] = P \left[\begin{array}{l} \text{нет существенного} \\ \text{землетрясения в течение года} \end{array} \right] + P \left[\begin{array}{l} \text{землетрясение} \\ \text{в течение года} \end{array} \right] \times \quad (4.5) \\ \times P[R_0/S(m,x)] \times P_M[m] \times P_X[x]$$

где $P[R_0/S(m,x)]$ – задается функцией распределения $F_i(i)$. Вероятность существенного (для рассматриваемых объектов) землетрясения в течение одного года устанавливается в предположении, что землетрясения происходят во времени в соответствии с пуассоновским процессом наступления событий. $P_M[m]$ – условная вероятность того, что при условии осуществления события «землетрясение в течение года» магнитуда не примет значения, превышающего минимального и вносящего вклад в анализ сейсмического риска, определяется по формуле (43). $P_X[x]$ – рассчитывается как отношение площади окружности досягаемости расчетного землетрясения до объекта к площади всех его возможных пространственных значений. Результаты сведены в табл. 4.1.

Исходя из того, что барьерные места на линиях Приургальского района расположены на коротком расстоянии, т.е. практически полностью зависимы, то вероятность выхода из строя каждого из них равна максимальной вероятности аварии на одном из четырех объектов.

Проведенные аналитические исследования показали, что наибольшая вероятность аварии на линии Комсомольск-Новый Ургал, связанная с землетрясением, приходится на обвальные участки в районе ст. Нальды, на линии Известковая-Чегдомын - на обвальные участки в районе ст. Ягдыня.

Сейсмический риск в течение года работы постоянных устройств железнодорожного пути - тоннеля и выемок в скальных породах на линиях Известковая-Новый Ургал и Новый Ургал - Комсомольск на Амуре составляет от $3,11 \cdot 10^{-2}$ до $6,86 \cdot 10^{-3}$. Их значения представлены в табл. 4.1. Риск можно оценить как значительный.

Корме того, отдельное землетрясение может перекрыть движение сразу по двум линиям, вероятность этого события за один год равна $1,05 \cdot 10^{-3}$, за 20 лет - $4,45 \cdot 10^{-2}$ (4,5 %).

Такие обстоятельства предопределяют весьма сложные условия эксплуатации и развития сети железных дорог Дальнего востока. Инженерно-геологическая карта-схема (фрагмент), отражающая сложность эндогенных и экзогенных условий в Приургальском районе, представлена на рис. 4.2.

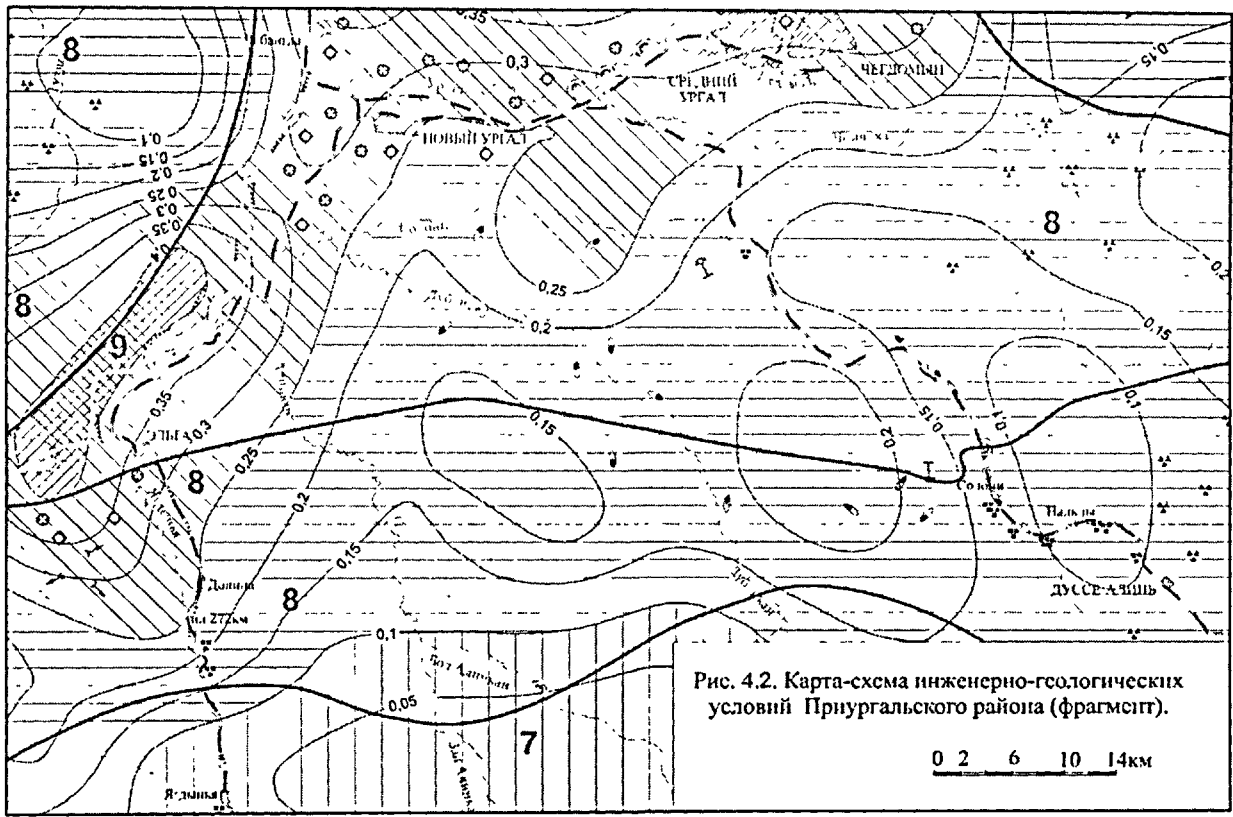


Рис. 4.2. Карта-схема инженерно-геологических условий Приуральяского района (фрагмент).

0 2 6 10 14км

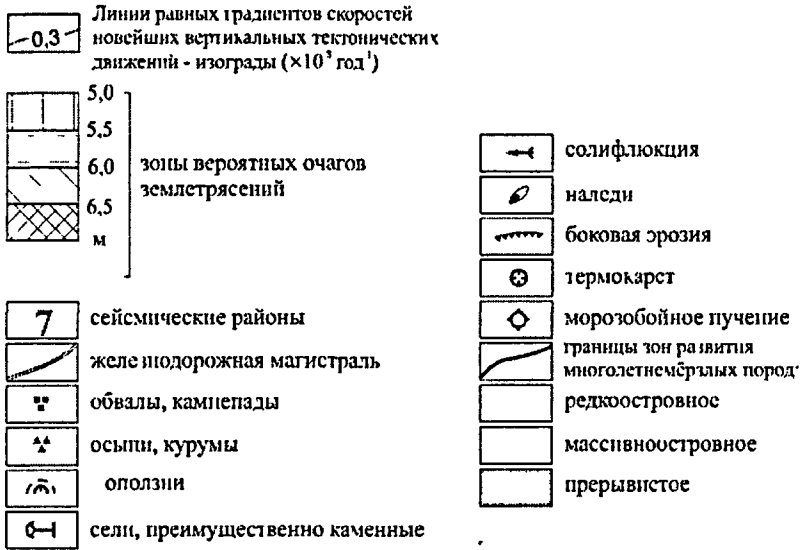


Рис. 4.3. Условные обозначения к рис. 4.2

Таблица 4.1

Частные вероятности аварии в Приургальском районе на обвальных участках и Дусе-Алиньском тоннеле

Объект	Годичная вероятность аварии, связанной с землетрясением $P[R_1]$	20-летняя вероятность аварии, связанной с землетрясением $P[R_1]$
Дусе-Алиньский тоннель	$6,86 \cdot 10^{-3}$	0,123
Обвальный участок ст. Нальды	$3,33 \cdot 10^{-2}$	0,214
Обвальный участок ст. Долина	$3,11 \cdot 10^{-2}$	0,205
Обвальный участок ст. Ягдынья	$3,16 \cdot 10^{-2}$	0,208

Глава 5. СТРАТЕГИЯ ЛИКВИДАЦИИ БАРЬЕРНЫХ МЕСТ В ПРЕДЕЛАХ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ, ВЫЗВАННЫХ СЛОЖНЫМИ ГЕОДИНАМИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ ПРИАМУРЬЯ

Комплексный мониторинг открытой природно-технической системы «геологическая среда - техническая система» и решение проблемы ликвидации барьерных мест, основываются на глубоком и всестороннем учете влияния на экономические показатели функционирования сети железных дорог инженерно-геологи-

ческих факторов. Решающими критериями стратегических и тактических решений по ликвидации барьерных мест являются экономические показатели - объем инвестиций и сокращение эксплуатационных расходов после вложения средств. Выделяемые на борьбу со сложными инженерно-геологическими процессами инвестиции необходимо наиболее эффективно распределять на сети железных дорог. Многообразие действующих опасных геологических процессов и явлений делает их учет и разработку множества возможных вариантов плана мероприятий, по ликвидации барьерных мест, и отбору их эффективной области для принятия решений, задачей огромной размерности и трудоемкости.

К примеру для двух участков с опасными процессами, на каждом из которых возможно применить по восемь различных мероприятий, число сочетаний мероприятий составит восемьдесят один, учитывая что, одно из мероприятий будет таким, что никакое мероприятие не применяется. А если участков будет к примеру двадцать семь, то при тех же восьми возможных на каждом из них мероприятиях число сочетаний составит:

$$S = \sum_{i=1}^n (m_i + 1) = (8+1)^{27}. \quad (5.1)$$

Поэтому становятся очевидными большие трудности поиска экономически рационального плана мероприятий (альтернативы), приводящих к наилучшему результату работы системы - ликвидации барьерных мест или смягчению их проявлений.

В таких условиях необходимо решение задачи, содержательная постановка которой звучит следующим образом: из множества возможных альтернатив ликвидации барьерных мест существующей сети железных дорог необходимо сформировать такую их эффективную область, в которой все альтернативы удовлетворяют поставленным граничным условиям (минимальный объем капитальных вложений, снижение эксплуатационных затрат) и позволяют выбирать из них наиболее приемлемые (в т.ч. и по другим критериям). Такая задача решалась автором с помощью программного комплекса в основе которого лежит модифицированный метод динамического программирования (алгоритм Кеттеля). Применение указанного комплекса с учетом его модификации для задач, рассмотренных в данной диссертации, позволяет из множества возможных альтернатив отобрать их эффективную область (существенно меньшую по количеству). Такое число альтернатив уже возможно анализировать лицу, принимающему решение - крупному специалисту или руководителю для принятия окончательного решения. Для разработки **математической модели** выбора эффективной области альтернатив ликвидации барьерных мест содержательная постановка задачи звучит следующим образом: рассматривается сеть железных дорог (или полигон железных дорог), имеющий n железнодорожных направлений (линий) (рис. 5.1).

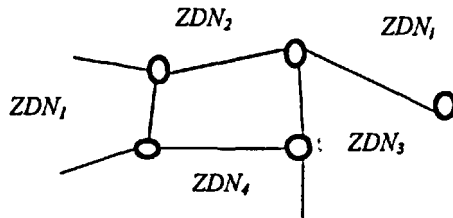


Рис. 5.1. Сеть железных дорог региона, включающая i железнодорожных направлений (линий)

Здесь ZDN_i – i -е железнодорожное направление, входящее в состав сети железных дорог, $I = 1, n$ где n – количество железнодорожных направлений;

На каждом направлении имеются участки проявления опасных геологических процессов и явлений.

S_i – множество участков с неблагоприятными геологическими условиями на i -м железнодорожном направлении; их количество может достигнуть величины k .

$$S_i = \{S_{ij} \mid j = 0, k\}, \quad (5.2)$$

S_{ij} – j -й элемент (участок) на i -ом железнодорожном направлении; k – количество участков с неблагоприятными геологическими условиями на i -м железнодорожном направлении.

В свою очередь

$$S_{ij} = \{p_{ijm}\} \quad (m=1, l), \quad (5.3)$$

где p_{ijm} – m -й параметр, описывающий участок S_{ij} (протяженность, высота, интенсивность явления, периодичность проявления, для обвалов – объемы и др.), l – количество параметров.

С целью ликвидации неблагоприятных процессов и явлений разрабатываются мероприятия, характеризующиеся объемом инвестиций и эффектом (сокращением эксплуатационных расходов):

$S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{ij}$ – участки с опасными процессами и явлениями (барьерные места),

$M_{i1}, M_{i2}, \dots, M_{ij}$ – множество мероприятий по ликвидации барьерных мест на j -м участке i -го направления.

$$M_{ij} = \{m_{ijx}\} \quad (x=1, y), \quad (5.4)$$

где m_{ijx} – x -е мероприятие на j -м участке i -го направления, y – количество мероприятий на j -м участке; $m_{ijx} = (K_{ijx}, \Delta C_{ijx})$ – x -е мероприятие характеризуется объемом инвестиций K_{ijx} и сокращением эксплуатационных расходов ΔC_{ijx} от j -го мероприятия (рис. 5.2).

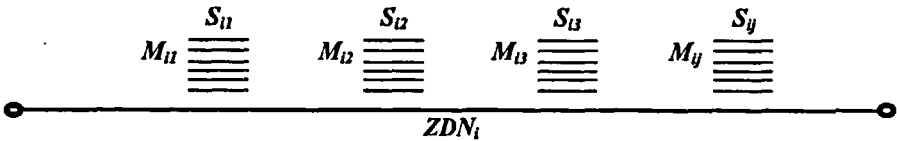


Рис. 5.2. Схема железнодорожного направления с барьерными местами

Таким образом, требуется из множества возможных альтернативных планов мероприятий (представляющих собою универсум) отобрать эффективную их область для работы лица, принимающего решение.

Математическая постановка задачи выглядит так:

Ω – теоретическое множество всех возможных альтернативных мероприятий (универсум); (альтернативное - только одно мероприятие на каждом участке δ_{ij});

Ω' – искомая совокупность альтернативных мероприятий, приводящая к

$$\begin{aligned}
 & \max \Delta C \text{ при } 0 < K \leq K_{\text{пред}} \\
 & \Omega' \rightarrow \max \Delta C, \\
 & 0 < K \leq K_{\text{зад}}, \\
 & \Omega' \in \Omega \\
 & i = 1, n, \\
 & j = 0, 1, \\
 & x = 1, y.
 \end{aligned} \tag{5.5}$$

Мощность множества Ω

$$|\Omega| = \prod_{i=1}^n \prod_{j=0}^1 (|M_{ij}| + 1), \tag{5.6}$$

где +1 - начальное состояние на участке m_{ij} .

Разработанная стратегия апробирована для участка 195-330 км линии Комсомольск-Советская Гавань длиной 135 км, на котором находится двадцать семь участков активного проявления обвалов, вывалов и осыпей. Он находится в перевальной части линии, пересекающей горную страну Сихоте-Алинь на отметках 800-900 м. Этот участок наиболее подвержен обвальным процессам на всей Дальневосточной дороге.

Аналізу подверглись стандартные типовые методы ликвидации обвальной опасности применение которых возможно в описанных условиях исходя из реальных технологических возможностей строительных подразделений ДВЖД: анкерные крепления (мероприятие № 1), защита бетонным покрытием (№ 2), защита улавливающей стеной (№ 3), уполоаживание откосов (№ 4), отвод пути (№ 5), а также комбинации этих методов: анкерные крепления и защита бетонным по-

крытием (№ 6), уполаживание откосов и защита бетонным покрытием (№ 7), отвод пути и защита улавливающей стеной (№ 8).

Методом экспертных оценок на всех участках было определено влияние способов защиты на изменение эксплуатационных затрат (в абсолютных цифрах), охарактеризованными расчетными методами. В результате компьютерного анализа сформировано исходное множество альтернатив, состоящее из 9^{27} планов мероприятий. После отсеивания неэффективных сформировано допускаемое множество включающее около 8 000 альтернатив. Фрагмент таблицы, включающий девять планов мероприятий выглядят следующим образом (табл. 5.1). В первом столбце предлагается комбинация мероприятий для ликвидации или смягчения опасности на линии, во втором столбце - объемы инвестиций, а в третьем - рассчитанные для них суммы сокращения эксплуатационных затрат на линии.

Для запланированных 12 млн рублей инвестиций максимальное сокращение эксплуатационных затрат составит 1,5497 млн р. в год при реализации выделенной в таблице альтернативы.

При этом на первом участке целесообразно применять уполаживание откосов и защиту бетонным покрытием (7-е мероприятие), на втором и третьем - защиту бетонным покрытием (№ 2), на четвертом участке нецелесообразно применение мероприятий, так как это не даст экономического эффекта, на пятом участке рационально применение отвода пути и т.д.

Таблица 5.1

Экономический анализ вариантов применения
противообвалных мероприятий на линии Комсомольск - Советская Гавань

Применяемые мероприятия	Объем инвестиций тыс. руб.	Сокращение экспл. затрат тыс. руб./год
7-6-2-0-4-5-3-2-0-0-0-3-4-4-4-4-0-0-0-0-0-3-0-5-4-4-5	11692.4	1547.4
7-6-2-0-4-5-3-2-0-0-0-3-4-2-4-4-0-0-0-0-0-3-0-5-4-4-5	11702.1	1547.8
7-2-2-0-4-5-3-2-0-0-0-3-4-4-4-4-0-0-0-0-0-3-0-5-4-4-5	11764.1	1549.2
7-2-2-0-4-5-3-2-0-0-0-3-4-2-4-4-0-0-0-0-0-3-0-5-4-4-5	11773.8	1549.6
7-2-2-0-4-5-3-2-0-0-0-0-0-4-4-4-0-0-0-0-0-3-0-5-4-4-3	12007.2	1549.7
7-2-2-0-4-5-3-2-0-0-0-0-0-2-4-4-0-0-0-0-0-3-0-5-4-4-3	12016.9	1550.1
5-6-2-0-4-5-3-2-0-0-0-0-4-4-4-4-0-0-0-0-0-3-0-5-4-4-5	12041.2	1553.3
7-6-2-0-4-5-3-2-0-0-0-3-0-4-4-4-0-0-0-0-0-3-0-5-4-4-3	12046.3	1557.7
7-6-2-0-4-5-3-2-0-0-0-3-0-2-4-4-0-0-0-0-0-3-0-5-4-4-3	12056.0	1558.1

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты и выводы исследования геодинамических условий Приамурья влияющих на нормальную эксплуатацию сети железных дорог заключаются в следующем:

1. Проанализированы перспективы развития сети железных дорог Дальневосточного региона, показано, что сеть железных дорог находится в постоянном развитии.

2. Произведен анализ геологической и инженерно-геологической изученности региона, сделан вывод что менее всего изучены районы на северо-востоке и юго-востоке региона, где расположены богатые месторождения ценных для полезных ископаемых.

3. Разработана методология системных исследований функционирования сети железных дорог в сложных геодинамических условиях Приамурья с целью ликвидации барьерных мест включающая оценку особенностей геологической среды региона, выявление и анализ опасных геологических процессов и явлений (барьерных мест на сети железных дорог), оценку опасности и риска функционирования сети железных дорог и стратегию ликвидации барьерных мест.

4. Осуществлен региональный анализ состояния геологической среды региона, выявление особенности климатических условий, геологического строения и региональной тектоники, неотектоники, сейсмичности и современных движений земной коры, гидрогеологических и геокриологических условий Приамурья, закономерности развития экзогенных геологических процессов и явлений.

5. Разработана региональная классификация экзогенных процессов и явлений, осложняющих функционирование и развитие сети железных дорог.

6. Исследованы физико-механические свойства магматических горных пород на основе анализа нескольких тысяч испытаний, при этом для тридцати двух массивов магматических горных пород характеристики получены впервые. Впервые получены корреляционные зависимости между основными физико-механическими свойствами для имеющих широкое распространение в регионе горных пород. Общий анализ выявил наличие тесных и умеренных корреляционных связей между прочностью на сжатие, плотностью и скоростью распространения упругих волн.

7. Произведен анализ микро и макротрещиноватости магматических горных пород региона Приамурья. Выявлены зависимости изменения физико-механических свойств от степени микро и макротрещиноватости и их влияние на строительство и эксплуатацию инженерных сооружений.

8. Исследованы закономерности развития кор выветривания в Приамурье на основе изучения восемнадцати участков. Проанализированы закономерности их развития, мощности и изменение инженерно-геологических и петрофизических характеристик при переходе из одной зоны в другую.

9. Изучены гравитационные процессы и явления на линиях сети железных дорог и их влияния на работу постоянных устройств в регионе. Проанализированы факторы возникновения гравитационных процессов. Составлена их классификация.

10. Произведена оценка инженерно-геологических условий тоннелей сети железных дорог в регионе. Выявлены закономерности того, что наиболее сложные инженерно-геологические условия тоннелей типичны для тех районов, в которых совокупность геологических условий также наиболее сложны.

11. Совершена оценка мерзлотных процессов и явлений и их влияния на работу постоянных устройств сети железных дорог.

12. Сделана комплексная оценка опасности и риска функционирования сети железных дорог на основе анализа особенностей проявления эндогенных и экзогенных геологических процессов, т.к. в ряде районов Приамурья проявляются одновременно несколько неблагоприятных факторов влияющих на работу постоянных устройств железнодорожного пути.

13. Произведен прогноз силы землетрясений и сейсмическое микрорайонирование на основе оценки градиентов движения земной коры. Для прогноза силы магнитуд использованы карты полей новейших вертикальных движений. Исследования проведены для Приургальского района, характеризующимся высоким уровнем сейсмической опасности.

14. Оценен сейсмический риск работы постоянных устройств железнодорожного пути в пределах Приургальского района, основанный на теории вероятностей и математической статистике.

15. Разработана стратегия ликвидации барьерных мест на сети железных дорог, с системных позиций учитывающая комплекс природно-климатических, геологических и техногенных условий сопровождающих возникновение, развитие опасных геологических процессов, приводящих к отказам технической системы и появлению барьерных мест.

16. Разработана математическая модель и методика выбора эффективной области альтернатив ликвидации барьерных мест с применением модифицированного метода динамического программирования. Методика апробирована для линии Комсомольск - Советская Гавань, наиболее подверженной опасным процессам.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

Монографии

1. Инженерно-геологическая характеристика скальных массивов эффузивных пород Восточного Приамурья и Северного Сихотэ-Алиня. - Хабаровск: ДВГАПС, 1990. - С. 103. (Соавт. Даммер А.Э.).

2. Инженерно-геологический атлас массивов магматических горных пород Северного Сихотэ-Алиня и Восточного Приамурья. - Хабаровск: ДВГАПС, 1996. - С. 114. (Соавт. Даммер А.Э.).

3. Инженерно-геологические условия юга Хабаровского края. - Хабаровск, ДВГУПС, 2001. - С. 122. (Соавт. Даммер А.Э.).

4. Тоннели малого Хингана. Инженерно-геологические и инженерно-сейсмологические условия. - Хабаровск: ДВГУПС, 2001 - С. 84. (Соавт. Малеев Д.Ю, Даммер А.Э.).

Научные работы

1. Предложения по методике исследования геологической среды месторождений полезных ископаемых при разработке мероприятий по её охране. ВИНТИ, 01.06.84 г., № 3612-84 деп. - С. 6.

2. Задачи и пути охраны геологической среды на Качканарском месторождении железных руд. ВИНТИ, 14.05.84 г., № 3043-84 деп. - С. 8.

3. Системный подход при разработке проблемы рационального использования и охраны геологической среды месторождений полезных ископаемых // Записки Ленинградского горного института, том 109. - Ленинград, 1988. - С. 67-72.

4. Системодетальный подход к исследованиям нарушенности геологической среды в пределах месторождений полезных ископаемых // Гидрогеологические и инженерно-геологические аспекты охраны окружающей среды. - Новочеркасск, 1985. - С. 125-132. (Соавт. Захаров М.С.).

5. Принципы и методика системных исследований проблем рационального использования и охраны геологической среды месторождений полезных ископаемых / Теория, методология и практика системных исследований. Секция 8. Системные исследования. Тез. докл. всес. конф. - М: ВНИСИ, 1984. - С. 35-36. (Соавт. Захаров М.С.).

6. Вопросы охраны геологической среды на примере месторождения твердых полезных ископаемых, разрабатываемых открытым способом. Записки Ленинградского горного института, 1984. - Том 100. - С. 48-52.

7. Изучение геологических условий на Качканарском месторождении и рекомендации по их стабилизации // Перспективы ускорения научно-технического прогресса в строительстве районов Дальнего Востока и Забайкалья / Тезисы региональной конференции. - Владивосток, 1987. - С. 18-19.

8. Методика оценки измененного состояния геологической среды при освоении территорий // Пути повышения эффективности и качества гидрологических и инженерно-геологических исследований на территории Хабаровского края и Амурской области: Региональная конференция (тезисы докладов). - Хабаровск, 1987.-С. 25-26.

9. Прогнозирование гравитационных процессов на линии Комсомольск - Совгавань на основе анализа аэрокосмофотоматериалов // Тезисы докладов XXXVI научно-технической конференции, Т. 2. - Хабаровск: ХаБИИЖТ, 1989. - С. 22. (Соавт. Даммер А.Э.).

10. Трещиноватость скальных горных пород Восточного участка БАМ // Транссиб и научно-технический прогресс на железнодорожном транспорте: Тез. докл. всес. конф. / МПС, НИИЖТ. - Новосибирск, 1991. - С. 33-34. (Соавт. Даммер А.Э.).

11. Прогнозирование гравитационных процессов на железнодорожной линии Комсомольск - Советская Гавань Дальневосточной железной дороги // Транссиб и научно-технический прогресс на железнодорожном транспорте: Тез. докл. всес. конф. / МПС, НИИЖТ. - Новосибирск, 1991. - С. 75-76. (Соавт. Даммер А.Э.).

12. Инженерно-геологические свойства магматических горных пород вдоль трассы Комсомольск - Советская Гавань // Транссиб и научно-технический прогресс на железнодорожном транспорте: Тез. докл. Всес. конф. / МПС, НИИЖТ. - Новосибирск, 1991. - С. 36-37. (Соавт. Даммер А.Э.).

13. Прогноз изменения экзодинамических условий при промышленном освоении северного Сихотэ-Алиня // Проблемы организации территории регионов нового освоения: Тр. Всес. конф. (12-14 сентября 1991). - Хабаровск: ДВО АН СССР, 1991. - С. 33-38. (Соавт. Даммер А.Э., Богданов А.И.).

14. Закономерности формирования физико-механических свойств долеритов Новокаменского месторождения // Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта в условиях развития ДВ региона: Тез. докл. межв. конф. - Хабаровск: ДВГАПС, 1993. - С. 33-35.

15. Оценка опасности обвалов в бортах железнодорожных выемок // Проблемы транспортного строительства: Межвуз. сб. науч. тр. - Хабаровск: ДВГАПС, 1993. - С. 12-16. (Соавт. Ивашенко Е.И.).

16. Инженерно-геологические и сейсмические условия Лагар-Аульского тоннеля / Стихия. Строительство. Безопасность: тез. Докл. междунар. конф. и техническая выставка. - Владивосток: Администрация приморского края, 1997. - С. 122-123. (Соавт. Малеев Д.Ю., Даммер А.Э.).

17. Исследование Лагар-Аульского тоннеля // Проблемы транспортного строительства: Межвуз. сб. науч. тр. - Хабаровск: ДВГУПС, 1997. - С. 15-18. (Соавт. Анисимов С.Н., Краснова Е.В.).

18. К оценке инженерно-геологических условий Облученского тоннеля // Молодежь и научно-технический прогресс: Региональная конференция / Дальневосточный геологический институт, 1998. - Ч. II. С. 116-118. (Соавт. Малеев Д.Ю., Даммер А.Э.).

19. Инженерно-геологическая оценка пород притрассового карьера на ст. Пони // Вопросы надежности пути в условиях сурового климата: Межвуз. сб. научн. трудов. - Хабаровск: ДВГУПС, 1999. - С. 42-45.

20. Метод преломленных волн при изучении осадок насыпей на мерзлых основаниях (на примере ст. Шугара ДВЖД) // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке: Тезисы докл. междунар. науч. конф. творческой молодежи (11-12 апреля 2001 г.) - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2001. - Т. 2. - С. 67-68. (Соавт. Малеев Д.Ю., Жидулин А.В.).

21. Опасность обвалов на Дальневосточной железной дороге // Повышение эффективности работы железнодорожного транспорта Сибири и Дальнего Востока: Тезисы докл. Всерос. науч.-практ. конф. ученых транспортных вузов, НИИ, инженерных работников и представителей академической науки (18-21 октября 2001). - Хабаровск, Владивосток, 2001. - С. 134.

22. Проблемы оползневой опасности на линии Барановская - Хасан ДВЖД / С.В. Квашук // ВУЗы Сибири и Дальнего Востока ТРАНССИБУ: Тез. Докл. Региональной научно-практической конференции (27-29 ноября 2002). - Новосибирск, 2002. - С. 65-66.

23. Оценка обвальной опасности в скальных откосах Дальневосточной железной дороги на основе изучения трещиноватости. Проблемы современной инженерной геологии / Санкт-Петербургский горный институт (Технический университет). - СПб., 2003. - С. 78-80. (Записки горного института, т. 153). Соавтор Д.Ю. Малеев.

24. Барьерные места на Дальневосточной дороге // Путь и путевое хозяйство. № 5. - 2003. - С. 32-34.

25. Проблемы функционирования сети железных дорог Дальневосточного региона в сложных геодинамических условиях // Вестник программы научно-технического сотрудничества железных дорог и вузов МПС России региона Сибири и Дальнего Востока: Сборник научных трудов ДВГУПС; Под ред. В.Г. Григоренко. - Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2004. - С. 88-100.

26. Влияние геодинамических условий Приамурья на работу сети железных дорог // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: ГУ Косыгинские чтения, 21-23 января 2003 г. / Под ред. Н.П. Романовского. - Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2003. - С. 354-368.

27. Оползневая опасность на Шуфанском плато и ее тектоническая природа // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: IV Косыгинские чтения, 21-23 января 2003 г. / Под ред. Н.П. Романовского. - Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2003. - С. 345-354. (Соавт. Д.Ю. Малеев, А.Н. Пересторонин, Е.В. Федоренко).

28. Гравитационные процессы на сети железных дорог Дальнего Востока России и их классификация // Вопросы надежности пути и транспортных сооружений в суровых климатических условиях: Межвуз. сб. научн. тр. / Под ред. Г.М. Стояновича. - Хабаровск: ДВГУПС, 2004 (в печати).

29. Инженерно-геологические и петрофизические свойства горных пород в зоне гипергенеза Приамурья // Тихоокеанская геология. - Т. 23. - № 1. - 2004. - С. 105-112.

30. Geological engineering conditions of Oblutchensky tunnel (the new data). Young people & scientific-technical progress. Materials of the third international students congress of the Asian Pacific Region countries. Vladivostok, Russia, FESTU publishing house. 1999, part II - p. 94. (Tishcova O.G.).

31. Developing the rockfall-snowslide localization & defense data system. Fourth International Young Scholars' Forum of the Asia-Pacific Region Countries. Proceedings. Part II. 9-12. October, 2001. - Vladivostok, Russia, P. 170. (Maleev D.Y.).

Квашук Сергей Владимирович

**ГЕОДИНАМИКА ПРИАМУРЬЯ
И ПРОБЛЕМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ.
СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени
доктора геолого-минералогических наук**

**ИД № 05247 от 2.07.2001 г. ПЛД № 79-19 от 19.01.2000 г.
Сдано в набор 26.04.2004 г. Подписано в печать 30.04.2004 г.
Формат 60×84¹/₁₆. Бумага тип. № 2. Гарнитура Times. Печать плоская.
Усл. печ. л. 2,7. Зак. 113. Тираж 120 экз.**

**Издательство ДВГУПС
680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47.**

111054