

*На правах рукописи*

**УСЫНИН Леонид Андреевич**

**ПРОГНОЗ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ОСНОВАНИЯ  
ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ  
(НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРО-ВОСТОКА БАЙКАЛЬСКОЙ  
СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЗОНЫ)**

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поиска  
полезных ископаемых

**А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
геолого-минералогических наук

ИРКУТСК – 2012 г.

Работа выполнена в лаборатории инженерной сейсмологии и сейсмологии ФГБУН  
Института земной коры СО РАН

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук  
**Джурик Василий Ионович**

**Официальные оппоненты:** доктор физико-математических наук,  
**Иванов Федор Илларионович**  
кандидат геолого-минералогических наук,  
**Мироманов Андрей Викторович**

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки Геологический институт Сибирского отделения РАН, г. Улан-Удэ.

Защита состоится «04» октября 2012 г. в 13 часов на заседании  
диссертационного совета Д 212.073.01 при Иркутском Государственном  
техническом университете по адресу: 664074, г. Иркутск, Лермонтова, 83.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО  
«Иркутский Государственный Технический университет».

Отзывы на автореферат в 2 экземплярах, заверенные печатью учреждения,  
просим направлять по указанному адресу ученому секретарю совета Галине  
Дмитриевне Мальцевой, тел. (8-3952) 405-348, 89149323049, e-mail: [dis@istu.edu](mailto:dis@istu.edu).

Реферат разослан «30» августа 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Мальцева Галина Дмитриевна

## Введение

**Актуальность проблемы.** Развитие севера Восточной Сибири тесно связано со строительством линейных сооружений, таких как железные дороги, нефте- и газопроводы.

Повышенные в настоящее время требования к проектированию ответственных сооружений в сейсмически активных районах предполагают наличие количественных данных по сейсмическим воздействиям на основания сооружений. Получение экспериментальным путем таких данных (максимальные ускорения, преобладающие периоды, резонансные частоты, спектры ускорений, спектры реакции, коэффициенты динамичности и сейсмичности) в масштабе строительства является не реальной задачей для протяженных линейных сооружений даже в ближайшее время. Сама протяженность трассы требует разработки новых подходов к районированию ее сейсмической опасности.

Исходя из этого, в диссертационной работе реализуется подход, основанный на районировании трасс линейных сооружений по **сейсмо-грунтовым моделям**, для которых по экспериментальным и расчетным данным проведена оценка набора параметров сейсмических воздействий, необходимых для проектирования сейсмостойкого сооружения. Для реализации подхода были получены экспериментальные данные при проведении прямых измерений на представительных или «ключевых» участках трассы. В качестве основы для проведения расчетов использованы инженерно-геологические и мерзлотные данные, и детальные сведения о сеймотектонике и сейсмичности района.

Такой подход представляется наиболее экономичным для сейсмически активных северных районов Восточной Сибири. Он позволит с большей степенью надежности районировать протяженные трассы линейных сооружений по вероятным максимальным сейсмическим воздействиям.

**Цель работы.** Целью данной квалификационной работы является совершенствование методов оценки сейсмической опасности для оснований пространственно протяженных участков линейных сооружений, к которым относятся железные дороги, газо- и нефтепроводы. В результате намечается реализовать подход, основанный на районировании трасс линейных сооружений по сейсмо-грунтовым моделям, для которых по экспериментальным и расчетным данным будет проведена оценка набора параметров сейсмических воздействий, необходимых для проектирования сейсмостойкого сооружения.

### **Основные задачи исследований:**

В ходе выполнения работы были намечены и выполнены следующие задачи:

1. Проведение комплексного анализа исходных геолого-геофизических и сейсмологических материалов, обоснование зон вероятных очагов землетрясений, уточнение границ исходной сейсмической опасности при использовании данных о пересечении трассой зон разломов. Определение основных параметров вероятных сильных землетрясений, соответствующих исходной сейсмичности.

2. Изучение сейсмических свойств наиболее распространенных грунтов основания трубопровода с учетом их состава и состояния. Разработка и обоснование методики выбора параметров эталонных грунтов. Проведение районирования сейсмической опасности трассы трубопровода по данным измерения скоростей сейсмических волн, выполненных по трассе и на представительных участках.

3. Обобщение и анализ данных регистрации близких землетрясений. Синтез исходных сигналов для «эталонных» коренных пород, соответствующих по интенсивности исходной сейсмичности исследуемых районов. Построение достаточного набора вероятных сейсмических моделей, теоретическое обоснование расчетов основных параметров сейсмических воздействий и районирование по ним основания трассы линейного сооружения.

**Личный вклад и фактический материал.** Исходными материалами в работе послужили инженерно-сейсмологические изыскания на грунтах оснований проектируемых линейных сооружений, таких как магистральные трубопроводы и железные дороги (магистральный газопровод «Южная Ковыкта-Ангарск-Иркутск»), различные варианты трасс нефтепровода ВСТО, а также подъездные железнодорожные пути в рамках освоения инвестиционного проекта "Комплексное развитие Южной Якутии"). Работы проведены лабораторией общей и инженерной сейсмологии ИЗК СО РАН с 2000 по 2010 гг. Автор лично принимал участие в этих исследованиях с 2006 года как на стадии измерений, так и на стадии интерпретации и анализа полученных геофизических данных. Были выполнены следующие виды работ: сейсморазведка методом преломленных волн, запись микроколебаний грунта, электроразведка методами вертикального электрического зондирования, а также ультразвуковые исследования на образцах. Получен очень большой фактический материал из более 2 000 пунктов наблюдений.

#### **Защищаемые положения:**

**1. Обоснованный комплекс работ по сейсмическому микрорайонированию, включающий инструментальные и расчетные методы, обеспечивает получение полного набора сейсмических характеристик грунтов, необходимых для проектирования линейных сооружений в условиях сейсмоактивных регионов криолитозоны.**

**2. Главным принципом методики инженерно-сейсмологических изысканий в сложных сеймотектонических и мерзлотных условиях северо-востока Байкальской сейсмической зоны является использование реально обоснованных сейсмо-грунтовых моделей, что обеспечивает большую достоверность районирования протяженных трасс линейных сооружений по вероятным максимальным сейсмическим воздействиям.**

**3. Предложенные подходы к заданию исходных сейсмических сигналов и к оценке сейсмических воздействий по прогнозным сейсмо-грунтовым моделям на случай сильных землетрясений при деградации мерзлоты в процессе строительства основаны на оценке изменения комплекса физических и сейсмогеологических факторов, учет которых на этапе проектирования линейных сооружений приведет к повышению их сейсмостойкости.**

**Научная новизна работы.** Впервые реализован подход, основанный на районировании основания линейных сооружений с использованием сейсмо-грунтовых моделей, для которых с помощью экспериментальных и расчетных данных выполнена оценка набора параметров сейсмических воздействий, необходимых для проектирования сейсмостойкого сооружения. Подход позволяет экономично и с большей степенью надежности районировать протяженные трассы линейных сооружений по вероятным максимальным сейсмическим воздействиям.

**Практическая значимость.** Реализация изложенного подхода и обоснование методики вероятностной оценки основных параметров сейсмических воздействий повысят

достоверность их оценок по отношению к уже существующим. Они будут являться наиболее экономичными при решении задач оценки и прогноза сейсмической опасности оснований линейных сооружений для сейсмически активных южных и северных районов Восточной Сибири, охваченных мерзлотой. Само решение задач диссертационной работы позволит с большей степенью надежности районировать протяженные трассы линейных сооружений по обоснованным вероятным максимальным сейсмическим воздействиям, учет которых, несомненно, приведет к повышению их сейсмобезопасности.

**Апробация работы и публикации.** Основные результаты и отдельные методические разработки диссертации были представлены на Всероссийском совещании с международным участием «Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии», на XXII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика», (Иркутск, 2007), на Международной конференции, посвященной 50-летию Гоби-Алтайского землетрясения 1957 года (Улан-Батор, 2007) , на VIII Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. (Иркутск, 2009), на Международной конференции «Современная геодинамика недр и эколого-промышленная безопасность объектов нефтегазозонного комплекса» (Москва, 2009) на Международной научно-практической конференции «Геокриологические проблемы Забайкалья и сопредельных территорий» (Чита, 2010), на IX Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике (Иркутск, 2011), на IV конференции геокриологов России (Москва, 2011), на IX Российской Национальной Конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию «Сочи-2011», на Всероссийской научной конференции «Геология, тектоника и металлогения Северо-Азиатского кратона» (Якутск, 2011) и на XXIV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2011).

По теме диссертации опубликовано 28 работ, 9 из них - в рецензируемых научных журналах и 1 монография в соавторстве.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из четырех глав, введения и заключения общим объёмом 165 стр. машинописного текста, 11 таблиц, 38 рисунков, библиографии 123 наименований

Автор выражает искреннюю благодарность и признательность своему научному руководителю доктору геолого-минералогических наук В.И. Джурику за оказанную помощь и поддержку при выполнении диссертационной работы. Автор признателен и благодарит кандидатов наук С.П. Серебренникова, А.Ю. Ескина, В.И. Юшкина, сотрудников лаборатории общей и инженерной сейсмологии В.С. Баскакова, А.Н. Шагуна, Е.В. Брыжака, за консультации и практическую помощь на разных стадиях работы.

## **ГЛАВА I. Анализ исходных геологических и сейсмологических материалов.**

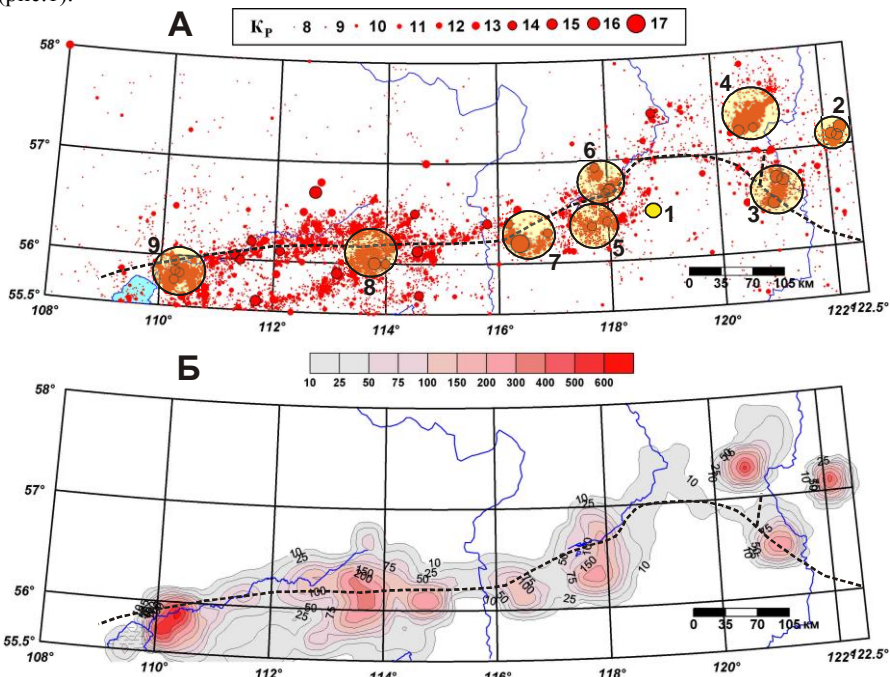
Первая глава работы посвящена анализу и изучению имеющихся материалов по геологии и сейсмологии. Это позволяет получить более полную картину района исследований и определить необходимые в дальнейших расчетах параметры.

Площадь исследований условно можно разделить на три фрагмента: западный, центральный и восточный.

В западный фрагмент области исследований входит территория Бурятской республики, центральный и восточный фрагменты представлены северо-восточными участками Читинской области и юга Якутии.

Сведения о сеймотектонической ситуации и сейсмичности региона приводятся для уточнения исходной сейсмической опасности участков сооружения линейных сооружений.

Для исследуемого региона характерен высокий сейсмический потенциал, что подтверждается наличием как сильных землетрясений, так и множеством событий низкого ранга (рис.1).



**Рис. 1.** Карты эпицентров (А) и плотности очагов (Б) землетрясений исследуемой территории.

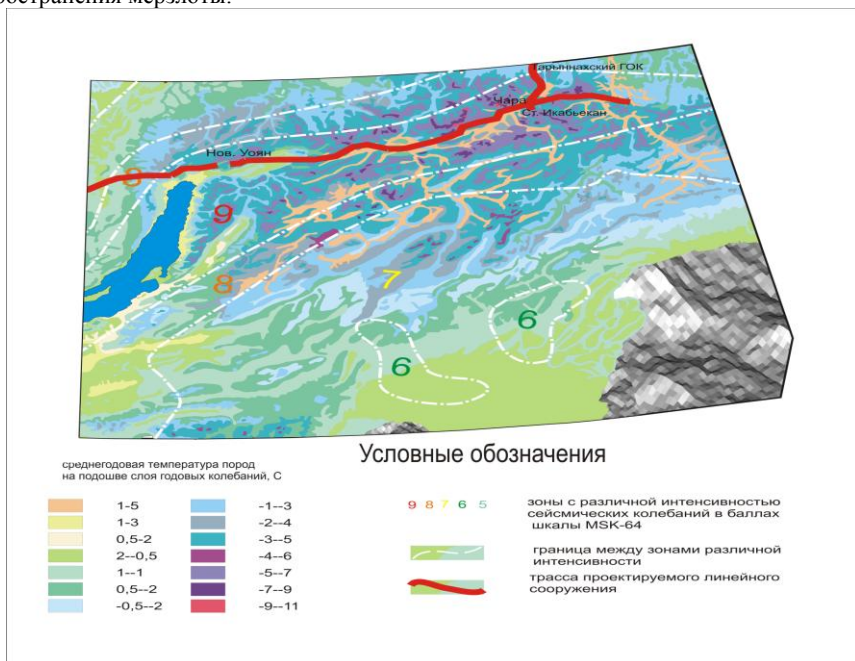
*Кр 8-17 – энергетический класс эпицентров землетрясений (по инструментальным данным); районы высокой плотности землетрясений (1-9): 1 – эпицентр землетрясения 1725 г; 2 – район Южно-Якутского землетрясения; 3 – зона Тас-Юрхаского и Олекминских землетрясений; 4 – зона Ханийских землетрясений; 5 – Удоканские землетрясения; 6 – серия Кодарских и Чарских землетрясений; 7 – район Муйского землетрясения; 8 – зона Ангараканских землетрясений; 9 – район Верхнеангарских землетрясений.*

Для западного фрагмента параметры сильных землетрясений из выделенных зон ВОЗ с учетом карты плотности эпицентров землетрясений (Рис. 1Б) могут иметь следующие интервалы изменений: эпицентральное расстояние 0-100 и более километров, магнитуда 7,0-7,9, интенсивность в баллах на коренных «эталонных» грунтах для исследуемого района 8 и глубина очага 15-20 км. На центральном фрагменте глубины очагов составляют 10-20 км, механизм очагов - сбросы и сдвиго-сбросы. Центальный участок исследований относится к сейсмическим районам, с возможностью возникновения сейсмических событий силой 9 и

более баллов. Для восточного фрагмента характерны глубины очагов 8-40 км, механизм очага сдвига-сброс, интенсивность также может достигать в эпицентре 9-10 баллов.

Эти сведения и краткий анализ повторяемости землетрясений подтверждает, что территория исследований имеет стабильную высокую сейсмическую активность, а землетрясения, фиксируемые сейчас, подтверждают основные закономерности сейсмического процесса в Байкальской сейсмической зоне. Это предьявляет повышенные требования как к оценке сейсмической опасности строительства, так и к обоснованию методики ее районирования для протяженных линейных сооружений.

Исследуемая территория характеризуется широким распространением многолетней мерзлоты и разными по сложности грунтовыми условиями и включает практически все геолого-генетические комплексы Сибири и Дальнего Востока, которые необходимо учитывать при районировании сейсмической опасности планируемых и строящихся линейных сооружений. Наличие многолетнемерзлых грунтов и высокого уровня сейсмической активности предопределило необходимость учитывать особенности распространения мерзлоты.



**Рис. 2.** Схема мерзлотных условий региона

Строительство и эксплуатация инженерных сооружений, таких как железнодорожные пути, трубопроводы, в исследуемом регионе отличается особой сложностью в связи с сочетанием многих неблагоприятных факторов, определяющих устойчивость геологической среды к техногенным воздействиям: резкорасчлененный рельеф, разнообразие ландшафтных комплексов, мерзлое состояние пород, землетрясения, разнообразный спектр физико-

геологических процессов. Для прогноза возможных изменений инженерно-геологических условий при строительстве объектов линейных сооружений существование современной структуры железнодорожного пути (БАМ), пересекающего исследуемую территорию с запада на восток, имеет важное значение. Опыт эксплуатации этой трассы является основным аналогом для прогноза изменений геологической среды вдоль строительства новых линейных объектов.

## **ГЛАВА II. Выбор методов и обоснование методики изучения инженерно-сейсмологических характеристик грунтов основания линейного сооружения**

Глава посвящена подробному описанию выбранного комплекса методов исследований.

В работе использовались как инструментальные так и расчетные методы сейсмического микрорайонирования:

- 1) Метод сейсмических жесткостей, предложенный С.В. Медведевым в 1962г. и основанный на сравнении сейсмических жесткостей исследуемого и эталонного грунтов.
- 2) Метод микросейсм. В основе метода лежат измерения и анализ реакции различных категорий грунтов на микросейсмические колебания естественного или техногенного происхождения.
- 3) Амплитудно-частотный метод, основанный на прямом сравнении максимальных амплитуд записей смещений скоростей или ускорений почвы при землетрясениях.
- 4) Метод тонкослойных сред, используемый при расчете акселерограмм, спектров, ускорений и частотных характеристик, для которого необходимо задание исходного сигнала и расчетной модели.

Однако не все выбранные методы использовались в равной мере. Например, амплитудно-частотный метод записей землетрясений, применение которого для протяженных трасс линейных сооружений затруднено из-за необходимости долговременной регистрации землетрясений, использовался ограниченно. Этот пробел восполнялся анализом литературных данных по трассе БАМ, сейсмогеологическими наблюдениями на постоянных сейсмических станциях, результатами регистрации микросейсм и расчетными методами.

Немаловажную роль играют и вспомогательные методы исследований, такие как электроразведка.

Выбранные инструментальные методы могут дать важную информацию о сейсмических свойствах грунтов, необходимую для количественной оценки сейсмической опасности линейных сооружений. С их помощью для исследуемого района были получены количественные показатели сейсмических свойств и характеристик для всего многообразия талых и мерзлых грунтов.

Отмечается, что по данным выбранного комплекса экспериментальных методов получены все необходимые сведения о состоянии грунтов, мощности рыхлых отложений, основных сейсмических параметрах эталонных и исследуемых грунтов, скоростях распространения в них сейсмических волн и распределению уровня микросейсм на грунтах, служащих основаниями сооружения. Оценены спектральные характеристики грунтов и определены наиболее вероятные значения резонансных частот. Анализ этих данных приводится в следующих разделах диссертации при реализации методик районирования



линейно протяженных объектов: магистрального нефтепровода «ВСТО» и железнодорожного пути «ст. Икабъекан – Тарыннахский ГОК».

### ГЛАВА III. Разработка методики районирования сейсмической опасности протяженных трасс линейных сооружений по сейсмо-грунтовым моделям для их естественного состояния.

В главе изложена методика и опыт сейсмического микрорайонирования основания линейного сооружения протяженностью более 500 км по сейсмо-грунтовым моделям (для естественного состояния грунтов), что позволяет получить полный набор необходимых параметров сейсмических воздействий для строительства сейсмостойкого линейного сооружения. Реализация выбранного подхода заключается в последовательном выполнении трех этапов.

Первый этап исследований состоит в комплексном анализе исходных геологических и сейсмологических материалов. Проводится обоснование зон вероятных очагов землетрясений, уточнение границ исходной сейсмической опасности и определение основных параметров вероятных сильных землетрясений соответствующих исходной сейсмичности.

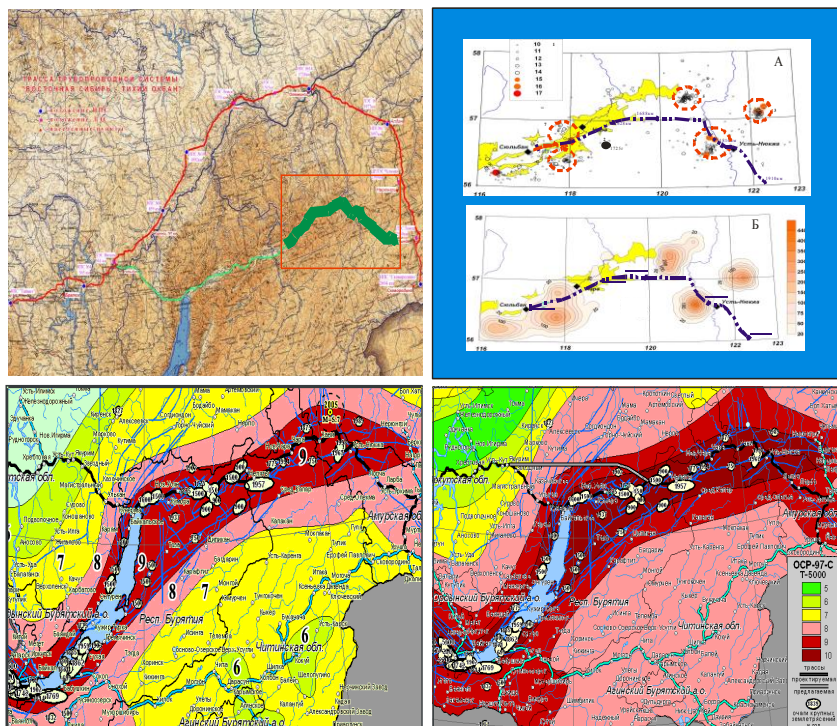
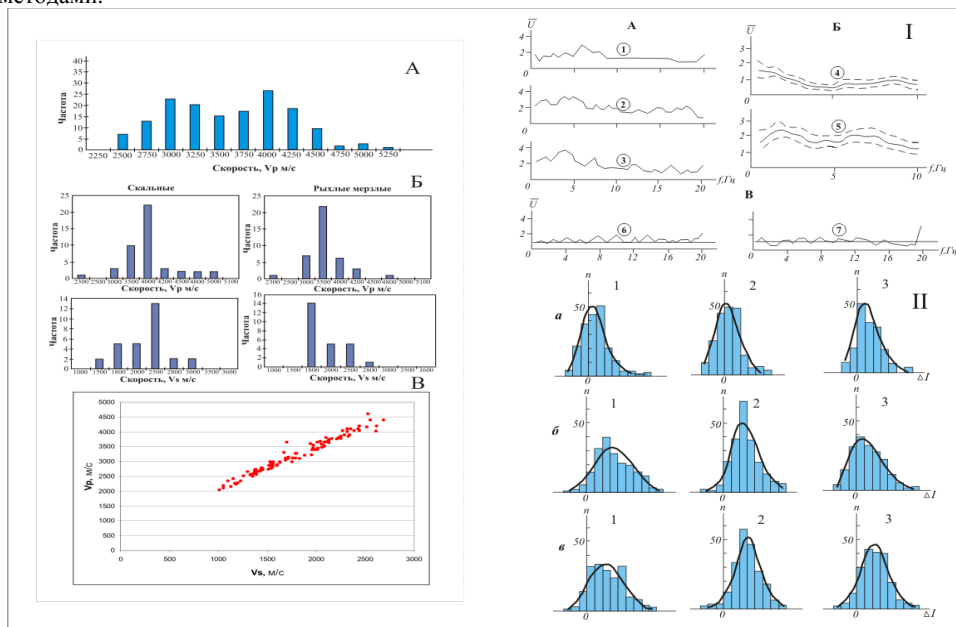


Рис. 3. Обзорная схема сейсмичности территории строительства нефтепровода ВСТО

Участок исследований характеризуется высоким уровнем сейсмичности, главная роль в формировании которого относится Становой зоне ВОЗ, а также широким распространением многолетнемерзлых пород и разнообразием геолого-генетических комплексов. Согласно картам Общего сейсмического районирования исходная сейсмичность оценивается в 9, 9 и 10 баллов (карты А, В и С).

По данным анализа литературных источников и записей близких землетрясений для участка исследований были определены параметры землетрясений. Они изменяются в следующих пределах: эпицентрального расстояние – от 0 до 100 км, глубины очагов – от 10 до 20 км, магнитуда – от 7.5 до 8. В дальнейшем полученные параметры используются при синтезе исходного сигнала при проведении расчетных методов сейсмического районирования.

На втором этапе проводится изучение сейсмических свойств наиболее распространенных грунтов основания линейного сооружения с учетом их состава и состояния и выбираются параметры эталонных скальных грунтов. По полученным данным выполняется районирование сейсмической опасности трассы линейного сооружения инструментальными методами.



**Рис. 4.** Сейсмические свойства грунтов основания нефтепровода ВСТО.

При изучении сейсмических свойств анализировались Данные регистрации близких землетрясений, полученные при проектировании и строительстве БАМа. Приведенные частотные характеристики говорят об отсутствии явно выраженных частотно-избирательных свойств мерзлых грунтов, а диапазон изменения приращений балльности в зависимости от температуры и состава грунтов чрезвычайно широк - практически от 0 до 1,5 баллов.

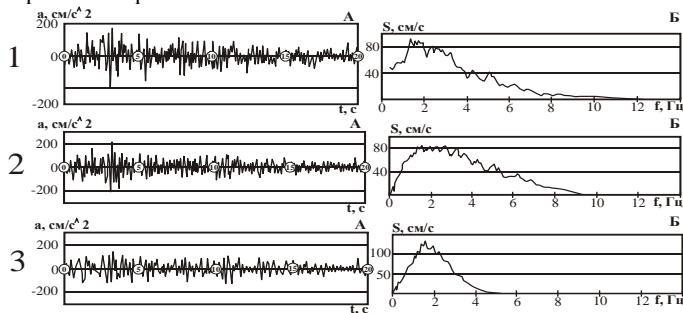
На исследуемом участке было выполнено более 1000 сейсмозондирований методом МПВ. В результате были изучены скорости распространения продольных и поперечных волн на разных по составу и состоянию грунтах.

Основываясь на приведенных данных о распределении скоростей сейсмических волн в районе трассы нефтепровода, полученным по полевым и лабораторным измерениям, за эталон при расчетах приняты грунты 1 категории (относительно сохранные скальные породы со значениями скоростей продольных волн равных 3000 м/с и объемной массой 2,5 г/см<sup>3</sup>).

Таким образом при помощи инструментальных методов исследованы сейсмические свойства грунтов.

Третий этап заключается в синтезе исходных сигналов для «эталонных» скальных пород соответствующих по интенсивности исходной сейсмичности исследуемых районов, в построении достаточного набора вероятных сейсмических моделей, в расчете основных параметров сейсмических воздействий и в районировании по моделям основания трассы линейного сооружения.

Синтез исходного сигнала проведен при использовании записей землетрясений с различными эпицентрными расстояниями.

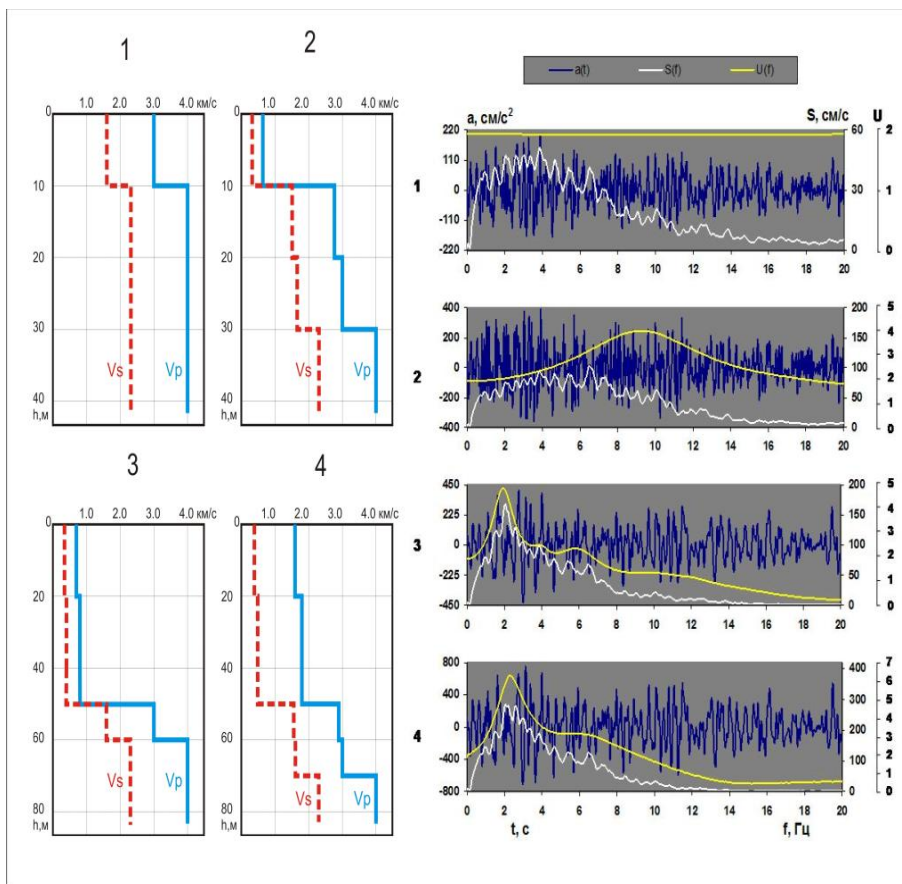


**Рис 5.** Синтезированные акселерограммы (А) и их спектры (Б) полученные для твердомерзлых грунтов участка нефтепровода 1471-1910 км. 1 - По данным каталога сильных землетрясений мировой сети ( $\Delta < 100$  км); 2 - При использовании параметров местных землетрясений. ( $\Delta < 70$  км); 3 - При использовании местных относительно далеких землетрясений ( $\Delta > 70$  км);.

Синтезированные акселерограммы соответствуют сейсмическим воздействиям для эталонных скальных грунтов, сейсмическая опасность которых оценивается на балл меньше исходной.

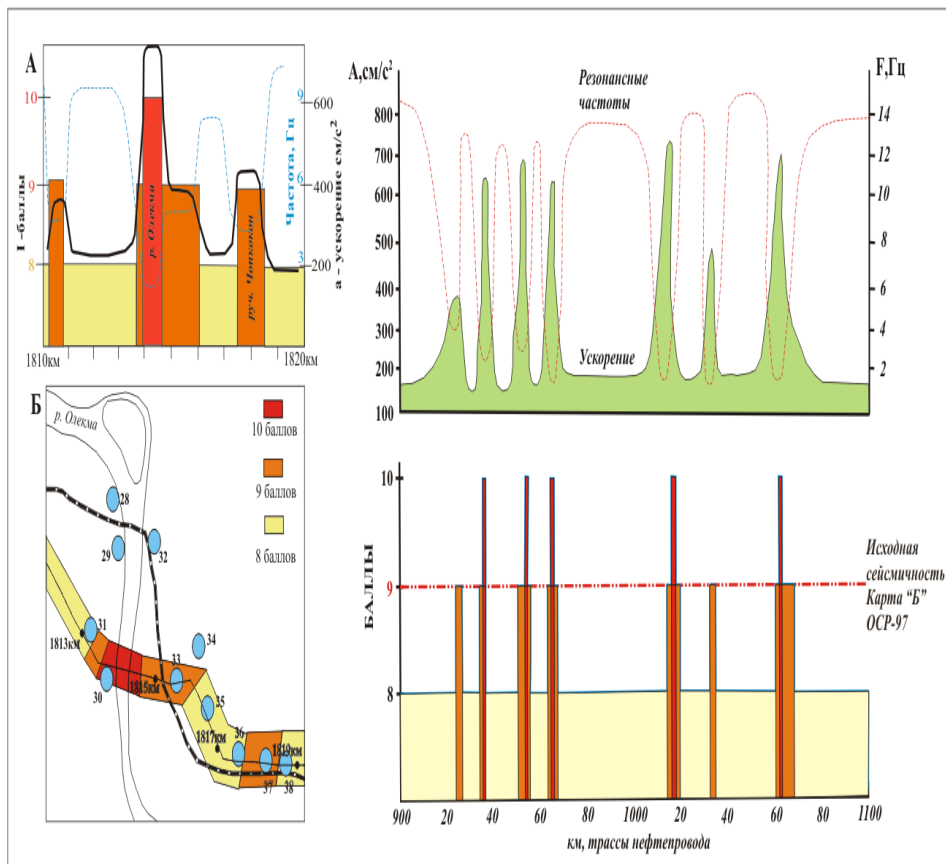
Для дальнейших расчетов нам необходимо построение достаточного набора сейсмогрунтовых моделей, которые в полной мере будут характеризовать грунтовые условия на протяжении всего проектируемого сооружения. Модели строятся при использовании данных по геологии и результатов проведенных измерений. Они характеризуются мощностью отложений, плотностями для каждого слоя и скоростями распространения продольных и поперечных волн в них.

Расчеты сейсмических свойств проводились в том числе и при использовании программы Ратниковой Л.И. Результаты расчетов для наиболее характерных сейсмо-грунтовых моделей приведены на рисунке 6.



**Рис. 6.** Наиболее вероятные сейсмо-грунтовые модели и их расчетные акселерограммы, спектры и частотные характеристики. 1 - модель «эталонных» твердомерзлых коренных пород; 2 - модель «эталонных» средних грунтов; 3 – модель талых неводонасыщенных рыхлых грунтов; 4 - модель талых водонасыщенных рыхлых грунтов.

Всего на участке исследований было построено не более 20 моделей, для каждой из которых были получены все необходимые параметры и характеристики. Таким образом, все необходимые данные для проведения районирования сейсмической опасности были получены. Результат применения изложенной методики представлен на рисунке 7.

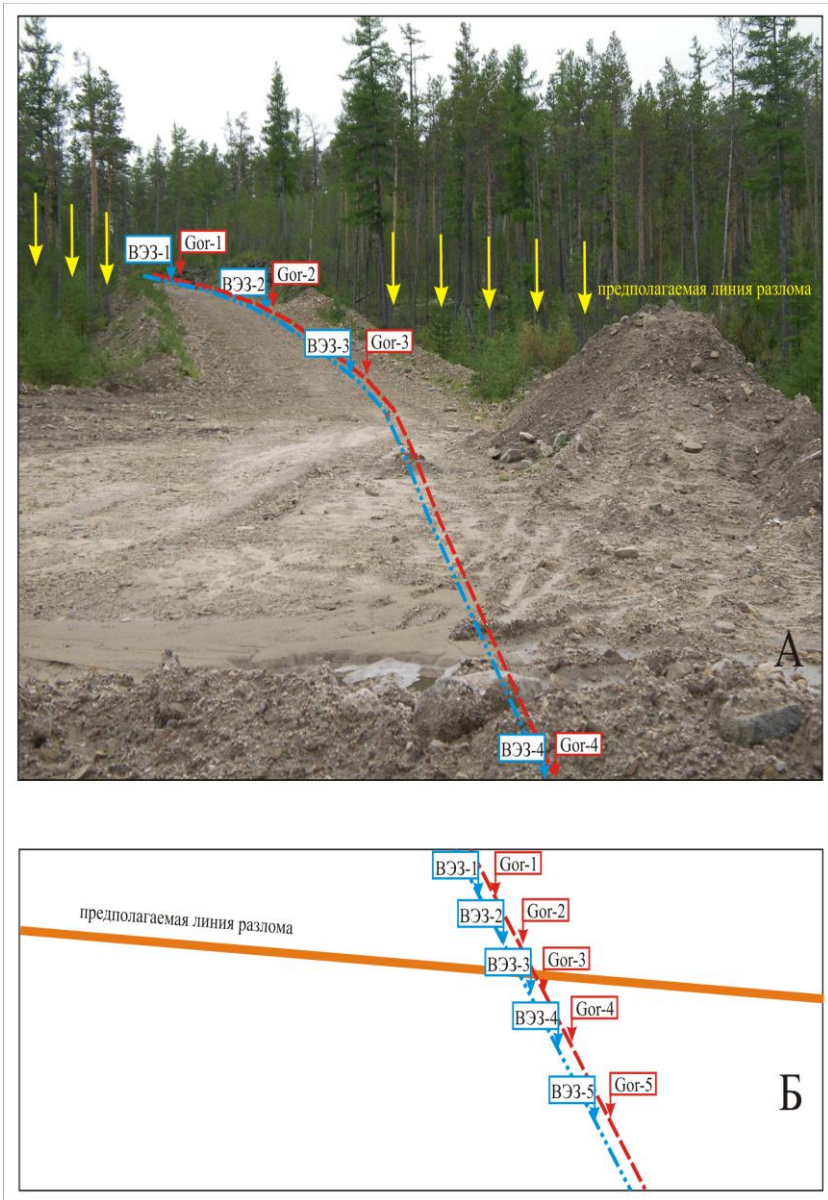


**Рис 7.** Количественная оценка сейсмозрунтовых условий трассы нефтепровода.

Следует отметить, что при районировании сейсмической опасности линейных сооружений по описанной выше методике проводятся более детальные инструментальные исследования на участках, соответствующих пересечениям трассой сооружения зон тектонических нарушений или разломов.

В работе рассмотрен пример пересечения трассой сооружения зоны Горбыллахского разлома (рис 8). Геофизические профили были расположены вкрест простираения предполагаемого нарушения.

Как по электроразведочным данным так и по данным сейсморазведки зона тектонических нарушений уверенно выделяется в районе 3-4 расстановки и прослеживается по наблюдаемым профилям (рис 9-10).



**Рис. 8.** Участок исследований «Горбылах». А- фрагмент предполагаемого тектонического нарушения, пересеченного электро- и сейсморазведочными профилями  
 Б – схема расположения пунктов геофизических наблюдений.



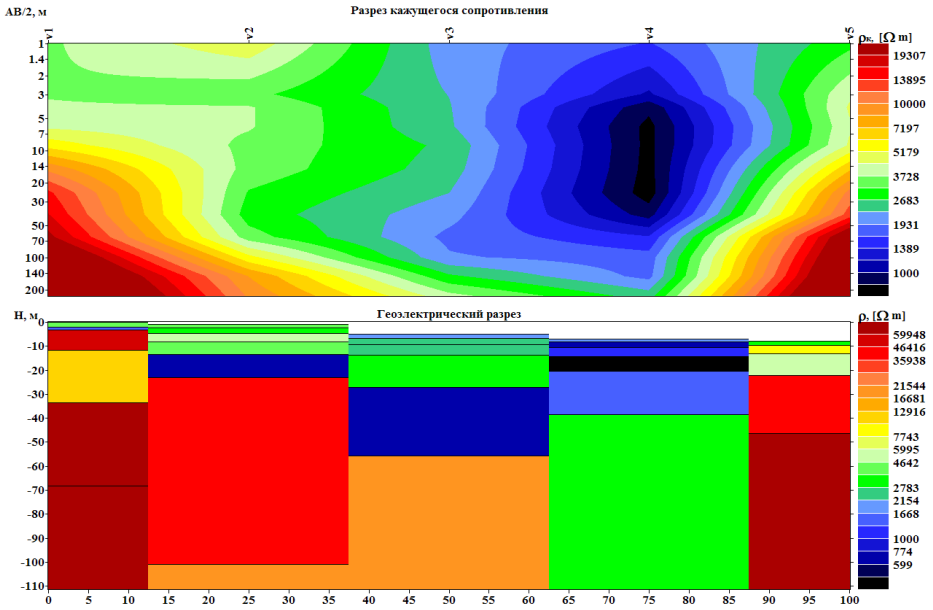


Рис.9. Распределение кажущихся и истинных сопротивлений на участке Горбыллахского разлома

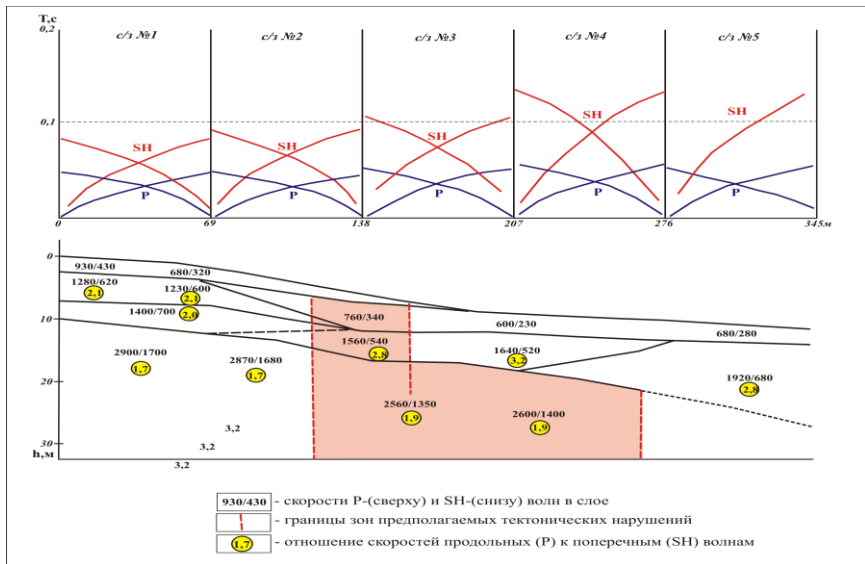


Рис.10. Годографы продольных(P) и поперечных (SH) волн к скоростной разрез на участке Горбыллахского разлома

Таким образом, при использовании обоснованного комплекса методов были изучены сейсмические свойства грунтов основания линейно протяженного объекта магистральный нефтепровод ВСТО, что подтверждает **первое защищаемое положение диссертационной работы**. А также обоснована и апробирована методика районирования грунтов оснований линейных сооружений по сейсмо–грунтовым моделям для естественного их состояния, что обосновывает и подтверждает **второе защищаемое положение диссертационной работы**.

## **ГЛАВА VI. Прогноз сейсмических воздействий оснований линейных сооружений с учетом деградации мерзлоты (на примере района Южной Якутии).**

В главе рассмотрены данные экспериментальных и расчетных методов и их возможности по усовершенствованию инженерно–сейсмологического прогноза при строительстве линейных сооружений в условиях криолитозоны. Подход, к использованию в этом направлении вероятностных экспериментальных частотных характеристик для расчетов акселерограмм сильных землетрясений, соответствующих по своим параметрам исходной сейсмичности района, требует дальнейшего совершенствования. Его можно рассматривать, как вариант лучшего приближения к использованию микросейсмических колебаний грунтов различного состояния для оценки сейсмической опасности в параметрах сейсмических воздействий, если они рассматриваются в предположении прямой обратной связи амплитуд и прочностных показателей грунтов. Важно, что такая закономерность соответствует проявлению сейсмической опасности при ее оценке по прямому амплитудно–частотному методу сейсмического микрорайонирования, основанному на регистрации близких землетрясений.

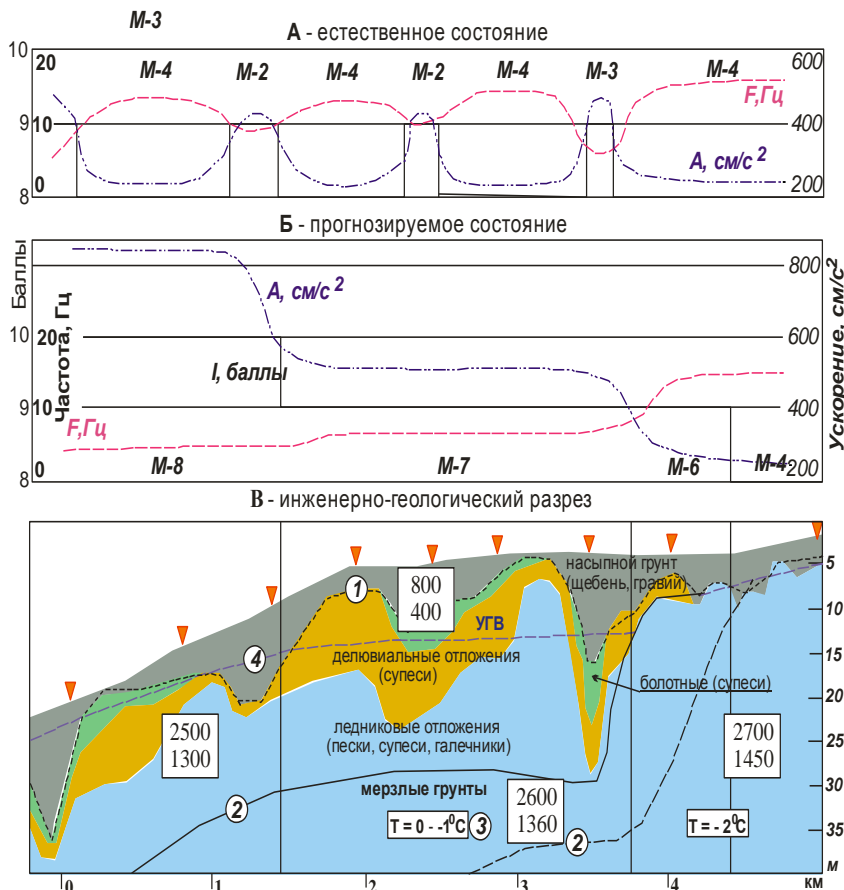
Требуемые, согласно нормативным документам, основные показатели (сейсмической опасности) полученные согласно теоретическим расчетам, могут быть приведены в соответствие с экспериментальными данными, когда для каждого состояния грунтов будет обоснована их сейсмическая модель, рассчитаны и масштабированы для каждой из них параметры сейсмических воздействий, соответствующие исходной сейсмичности района. В этом случае расчеты для каждого состояния грунтов (воздушно–сухие, водонасыщенные и мерзлые) будут наиболее обоснованными, и соответствовать экспериментальным измерениям. Последние в свою очередь являются основой прогноза параметров сейсмических воздействий на случай частичной или полной деградации мерзлоты в результате строительства.

Основой для получения акселерограмм, спектров ускорений и частотных характеристик, служили данные комплекса расчетных и инструментальных методов сейсмического микрорайонирования (сейсмических жесткостей и микросейсм). В результате получен набор необходимых данных для оценки инженерно сейсмологических условий строительства линейного сооружения по предложенной выше методике, возможности которой реализованы на примере двух участков, расположенных в девятибалльной сейсмической зоне и в сложных геокриологических условиях (рис. 11, 12).

При достаточном статистическом наборе регистрируемых инструментальными методами сейсмического микрорайонирования характеристик, обоснованном формировании исходного сигнала, с учетом основных параметров зон ВОЗ, отвечающим исходной



сейсмичности территории строительства, и данных записей местных землетрясений, обеспечивается, на уровне требований нормативных документов, получение необходимого набора параметров сейсмических воздействий с учетом деградации мерзлоты для проектирования сейсмостойких линейных сооружений. Тем самым обосновывается третье защищаемое положение диссертационной работы.



**Рис. 11.** Инженерно-сейсмогеологические условия строительства железной дороги в пределах расположения планируемой станции. В квадратах представлены скорости сейсмических волн: сверху  $V_p$ , снизу  $V_s$ ; треугольниками указаны пункты регистрации микросейсм и измерений скоростей сейсмических волн.

- 1 – граница мерзлоты – естественное состояние грунтов;
- 2 – граница мерзлоты – прогнозируемое состояние грунтов;
- 3 – температура мерзлых грунтов для их прогнозируемого состояния;
- 4 – УГВ – в прогнозируемом состоянии;

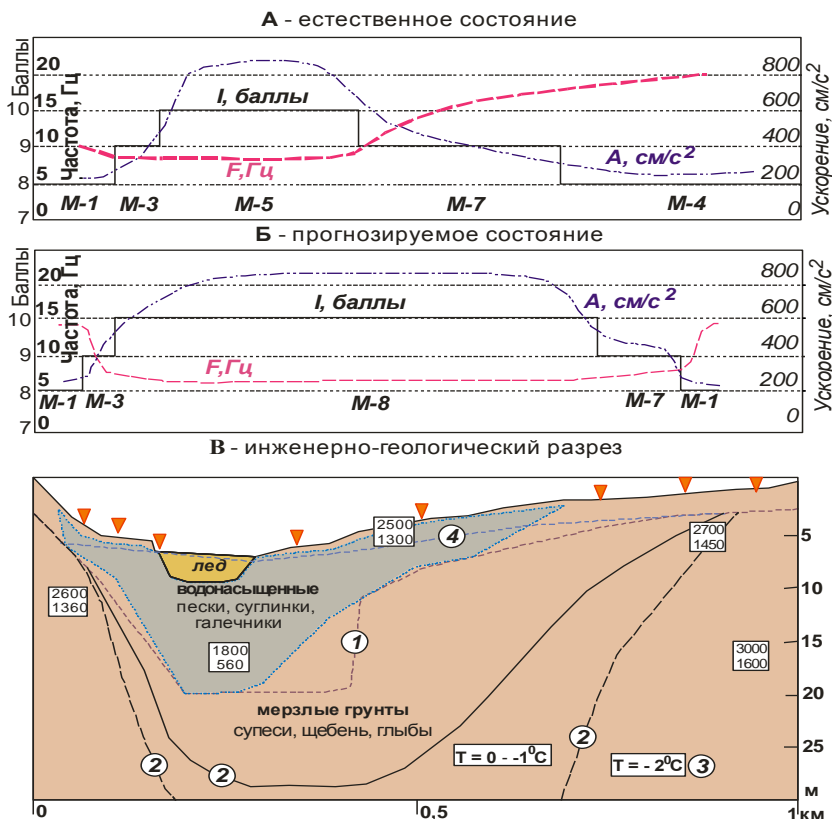


Рис.12. Инженерно-сейсмологические условия строительства участка мостового перехода через р. Кунг-Юрях (Условные обозначения те же, что и на рис. 11).

### Заключение

В результате выполнения диссертационной работы успешно были выполнены поставленные задачи исследований.

Были проведены анализ и изучение имеющихся материалов по геологии и сейсмологии, что позволило получить сведения о сеймотектонической и геокриологической ситуации региона.

Был обоснован и выбран комплекс инженерно-сейсмологических методов, который позволил получить большой объем данных для статистического анализа сейсмических свойств грунтов различного состава и состояния и дать анализ поведения вероятных сейсмо-грунтовых моделей исследуемых территорий при прогнозируемых сильных землетрясениях. Была проведена оценка преобладающих разновидностей грунтов по составу и состоянию, по основным их сейсмическим параметрам, которые непосредственно использовались для районирования сейсмической опасности. На основе лабораторных и полевых измерений

обоснованы наиболее вероятные значения скоростей и объемного веса в «эталонных» коренных и средних грунтах.

Были обоснованы и апробированы методики сейсмического микрорайонирования оснований линейных сооружений по сейсмо-грунтовым моделям для их естественного и прогнозируемого состояний (в случае деградации мерзлоты в процессе строительства).

Реализация изложенного подхода повысят достоверность оценок параметров сейсмических воздействий, по отношению к уже существующим. Они являются наиболее экономичными при решении задач оценки и прогноза сейсмической опасности оснований линейных сооружений для сейсмически активных южных и северных районов Восточной Сибири. Использование результатов решения задач диссертационной работы позволит с большей степенью надежности районировать протяженные трассы линейных сооружений по обоснованным вероятным максимальным сейсмическим воздействиям, учет которых, несомненно, приведет к повышению их сейсмобезопасности.

#### Список основных публикаций по теме диссертации:

##### *Монография:*

1. Джурик В.И., Серебренников С.П., Рященко Т.Г., Батсайхан Ц., Т. Дугармаа, М. Улзийбат, А.Ю. Ескин, **Усынин Л.А.** Районирование сейсмической опасности территории города Эрдэнэта. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН. - 2011. – 122 с.

##### *Статьи в рецензируемых журналах:*

2. Джурик В.И., Серебренников С. П., Дреннов А. Ф., **Усынин Л.А.** Решение основных задач районирования сейсмической и техногенной опасности в пределах криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень МГУ, Москва. - 2007. - № 3. - С. 171-175.
3. Джурик В.И., Серебренников С.П., Ескин А.Ю., **Усынин Л.А.** Результаты комплексной оценки вероятностных параметров сейсмической опасности для урбанизированных территорий Монголо-Сибирского региона // Вестник ИрГТУ. - 2008. - № 4.
4. Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф., **Усынин Л.А.** Методика районирования параметров сейсмической опасности линейных сооружений по сейсмогрунтовым моделям. Криосфера Земли. - 2008. - Т.12. - № 4. – С. 66-76.
5. Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф., **Усынин Л.А.** Районирование сейсмической опасности протяженных трасс линейных сооружений в Сибирском регионе // Вопросы инженерной сейсмологии. ISSN. 0132-2826. - 2009. - Т.36. - № 4. - С. 53-59.
6. Джурик В.И., Серебренников С.П., Рященко Т.Г., Ескин А.Ю., **Усынин Л.А.**, Брыжак Е.В., Батсайхан Ц., Дугармаа Т. Районирование сейсмической опасности территории г. Эрдэнэт на основе количественных характеристик колебаний грунтов при сильных землетрясениях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. - 2010. - № 2. - С. 38–43.
7. Джурик В.И., Серебренников С.П., Ескин А.Ю., **Усынин Л.А.**, Брыжак Е.В., Шагун А.Н. Инженерно-сейсмологическое обеспечение безопасности строительства линейных сооружений в сейсмоактивных районах Южной Якутии с учетом деградации мерзлоты // Известия Иркутского

- государственного университета. Серия «Науки о Земле». - Иркутск. - 2011. - Т.4. - № 1. - С. 60-78.
8. Джурик В.И., Серебренников С.П., Дреннов А.Ф., Брыжак Е.В., **Усынин Л.А.**, Шагун А.Н., Ескин А.Ю. К районированию сейсмической опасности территории г. Иркутска // Известия Иркутского государственного университета. Серия "Науки о Земле". - Иркутск. - 2011. - Т.4. - № 2. - С. 61-81.
  9. Джурик В.И., Серебренников С.П., Шагун А.Н., Ескин А.Ю., **Усынин Л.А.**, Брыжак Е.В. Опыт районирования линейных сооружений в пределах криолитозоны по максимальным ускорениям при использовании экспериментальных частотных характеристик // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2012. - № 1. - С. 59-64.
  10. Джурик В. И., Серебренников С. П., Батсайхан Ц., Дреннов А. Ф., Брыжак Е. В., **Усынин Л. А.**, Ескин А. Ю. Методика районирования сейсмической опасности приграничных территорий Монголо-Сибирского региона (на примере района г. Эрдэнэт) // Известия Иркутского государственного университета. Серия "Науки о Земле". - Иркутск. - 2012. - Т.5. - № 1. - С. 118-142.

*Работы, опубликованные в сборниках и материалах конференций:*

11. Джурик В. И., Серебренников С. П., Дреннов А. Ф., Юшкин В.И., Ескин А.Ю., **Усынин Л.А.** Мониторинг сейсмического риска при температурных измерениях в криолитозоне // Материалы всероссийского совещания с международным участием «Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии». – Иркутск. – 2007. - Т.1. - С. 123-125.
12. Серебренников С. П., Джурик В. И., Юшкин В.И., Ескин А.Ю., **Усынин Л.А.** Анализ связей параметров сильных землетрясений с мерзлотными особенностями исследуемых территорий // Материалы всероссийского совещания с международным участием «Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии». – Иркутск. – 2007. - Т.2. - С. 144-146.
13. **Усынин Л.А.**, Джурик В.И., Серебренников С.П. К обоснованию методики инженерно-сейсмологических исследований территории Чарской впадины // Материалы XXII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск. - 2007. - С. 237-238.
14. Serebrennikov S.P., Dzhurik V.I., Batsaichan T., Yushkin V.I., Eskin A.Y., **Usynin L.A.** Geophysical research of paleo- and recent deformations in major fault zones of Mongolia // Conference commemorating the 50th anniversary of the 1957 Gobi-Altai earthquake. - Ulaanbaatar, Mongolia. – 2007. - P. 232-234.
15. Dzhurik V.I., Batsaikhan T., Serebrennikov S.P., **Usynin L.A.** Comprehensive assessment of seismic hazard for building construction sites in Ulaanbaatar town. Proceedings of the MAS. – 2008. – N 4. - Vol.182. - P. 17-30.
16. **Усынин Л.А.**, Огнев А.В. Прогноз спектров колебаний скальных грунтов различного состояния при сильных землетрясениях для районов Центральной Азии, с целью формирования исходных сейсмических сигналов // Материалы Всероссийского совещания. – Иркутск. – 2009. - Т.1. - С. 145-147.
17. Джурик В.И., Ескин А.Ю., Серебренников С.П., **Усынин Л.А.**, Огнев А.В. Исследование фильтрационной устойчивости земляной плотины Иркутской ГЭС комплексом геофизических методов // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Тюмень. - 2009. - С. 229-232.
18. Джурик В.И., Серебренников С.П., Батсайхан Ц., Дугармаа Т., Рященко Т.Г., **Усынин Л.А.** Сейсмическое районирование территории г. Эрдэнэт в масштабе

- 1:25000 // Материалы VIII Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. – Иркутск. – 2009. – С. 28-29.
19. Джурик В.И., Серебренников С.П., Батсайхан Ц., Дугармаа Т., Рященко Т.Г., **Усынин Л.А.** Сейсмическое районирование территории г. Эрдэнэт в Масштабе 1:25000 // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. Выпуск 6. - Иркутск: Институт земной коры СО РАН. - 2010. С. 94-102.
  20. Джурик В.И., Серебренников С.П., **Усынин Л.А.**, Ескин А.Ю., Брыжак Е.В., Шагун А.Н. Районирование протяженных трасс линейных сооружений в условиях Забайкалья по вероятным максимальным сейсмическим воздействиям // Материалы конференции «Геокриологические проблемы Забайкалья и сопредельных территорий». - 2010. - С. 52-59.
  21. Серебренников С.П., Джурик В.И., Батсайхан Ц., **Усынин Л.А.**, Брыжак Е.В. Сравнительный анализ проявления сильных землетрясений в различных климатических зонах Монголии и Восточной Сибири // Материалы конференции «Геокриологические проблемы Забайкалья и сопредельных территорий». - 2010. - С. 59-66.
  22. Джурик В.И., Ескин А.Ю., Серебренников С.П., Брыжак Е.В., **Усынин Л.А.**, Батсайхан Ц. Выявление зон разломов и ослабленных участков горных пород в районах Монголии с помощью малоглубинной геофизики // Тезисы докладов IX Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. - Иркутск. - 2011. - С. 19.
  23. Серебренников С.П., **Усынин Л.А.**, Джурик В.И., Батсайхан Ц., Ескин А.Ю., Брыжак Е.В. Геофизические исследования особенностей проявления сейсмичности в криолитозоне Монголо-Сибирского региона // Тезисы докладов IX Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. - Иркутск. - 2011. - С. 25.
  24. Джурик В.И., Серебренников С.П., **Усынин Л.А.**, Брыжак Е.В. Основы методики районирования сейсмической опасности протяженных трасс линейных сооружений в криолитозоне // Материалы 4 конференции геокриологов России. - Москва. - 2011. – Т.1. - С. 181-188.
  25. Джурик В.И., Дреннов А.Ф., Серебренников С.П., **Усынин Л.А.**, Брыжак Е.В. Задание исходных сигналов с учетом местных сейсмогеологических условий для территории г. Иркутска // Доклады конференции IX Российской Национальной Конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию «Сочи-2011». - Сочи. - 2011. - С. 8.
  26. Джурик В.И., Серебренников С.П., **Усынин Л.А.**, Шагун А.Н., Брыжак Е.В., Ескин А.Ю. Прогноз сейсмических воздействий оснований линейных сооружений с учетом деградации мерзлоты в районах Южной Якутии // Материалы Всероссийской научной конференции «Геология, тектоника и металлогения Северо-Азиатского кратона». - Якутск. - 2011. - Т.1. - С. 24-29.
  27. Брыжак Е.В., **Усынин Л.А.** Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных оценок параметров сейсмических воздействий для грунтовых моделей различного состояния // Материалы XXIV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». - Иркутск. – 2011. - С. 191-192.
  28. **Усынин Л.А.**, Брыжак Е.В. Комплексная оценка сейсмической опасности линейных сооружений с учетом деградации мерзлоты // Материалы XXIV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». - Иркутск. – 2011. - С. 215-216.