

На правах рукописи

Злобин Герман Алексеевич

**ОСОБЕННОСТИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ
УСЛОВИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ
ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
КУЗНЕЦОВСКОГО ТОННЕЛЯ
(СЕВЕРНЫЙ СИХОТЭ-АЛИНЬ)**

Специальность 25.00.08 – Инженерная геология, мерзлотоведение и
грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Хабаровск - 2015

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

Научный руководитель **Квашук Сергей Владимирович**,
доктор геолого-минералогических наук, доцент,
профессор кафедры «Железнодорожный путь,
основания и фундаменты» ФГБОУ ВПО
«Дальневосточный государственный университет
путей сообщения»

Официальные оппоненты: **Подгорная Татьяна Ивановна**,
доктор геолого-минералогических наук, профессор
кафедры «Архитектура» Института архитектуры и
строительства ФГБОУ ВПО «Тихоокеанский
государственный университет» (г. Хабаровск)

Казаков Николай Александрович,
кандидат геолого-минералогических наук, директор
Сахалинского филиала ФГБУН «Дальневосточный
геологический институт» ДВО РАН,
зав. лабораторией лавинных и селевых процессов
Сахалинского филиала ФГБУН «Дальневосточный
геологический институт» ДВО РАН (г. Южно-
Сахалинск)

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный
университет путей сообщения» (г. Иркутск)

Защита диссертации состоится **20 января 2016 г. в 14⁰⁰ часов** на заседании
диссертационного совета Д 003.022.01 при ФГБУН Институте земной коры СО
РАН по адресу: 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте
(<http://www.crust.irk.ru>) Института земной коры СО РАН

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью
учреждения, просим направить ученому секретарю совета к.г.-м.н. Варваре
Викторовне Акуловой по вышеуказанному адресу или e-mail: akulova@crust.irk.ru

Автореферат диссертации разослан _____ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 003.022.01,
кандидат геолого-минералогических наук

В.В. Акулова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта общего пользования относятся к особо опасным и технически сложным. Это определяет повышенные требования к оценке инженерно-геологических условий районов строительства и эксплуатации этих сооружений, и требует детальных исследований в целях надежной, безопасной и бесперебойной эксплуатации.

Кузнецовский тоннель является уникальным сооружением для транспортной инфраструктуры Дальнего Востока, эксплуатация которого позволяет существенно увеличить объем грузопотоков. Выход из строя или ограничение функционирования подобного сооружения может привести к значительным экономическим, социальным и экологическим потерям. Следовательно, углубленное изучение инженерно-геологических условий массива позволит достоверно определить возможность возникновения опасных процессов и предотвратить или уменьшить их последствия.

Известный факт, что за сравнительно быстрыми этапами проектирования и строительства следует длительный этап эксплуатации объекта. Природная среда способна влиять на работу сооружения. Поэтому немаловажно уделить внимание вопросам систематических наблюдений за процессами, способными влиять на устойчивость и надежность конструкции. Проведение комплексного мониторинга поможет спрогнозировать возможные осложнения при эксплуатации тоннеля и снизит риски аварийных ситуаций.

Цель работы. Оценить особенности инженерно-геологических условий массива, вмещающего Кузнецовский тоннель, и определить их влияние на устойчивость при строительстве и эксплуатации сооружения.

Основные задачи исследований:

1. Изучить инженерно-геологические условия района строительства тоннеля.
2. На основе выполненных полевых и лабораторных исследований, а также новых материалов, полученных при проходке штольни, выявить особенности геологического строения массива, вмещающего тоннель.
3. Определить возможные осложнения при эксплуатации тоннеля.
4. На основе выявленных осложнений, разработать рекомендации для обеспечения устойчивости при эксплуатации.

Объектом исследования являются инженерно-геологические условия массива, вмещающего Кузнецовский тоннель.

Основные методы исследований: 1. Теоретический анализ материалов изысканий, научной и фондовой литературы. 2. Полевые и лабораторные методы исследований трещиноватости горных пород. 3. Лабораторные исследования

физико-механических свойств горных пород. 4. Компьютерное моделирование напряженно-деформируемого состояния массива после проходки тоннеля. 5. Расчетные методы сейсмического микрорайонирования. 6. Опробование подземных вод и их лабораторные анализы количественного химического и микрокомпонентного состава.

Научная новизна.

1. Установлены новые характеристики геологического строения и физико-механических свойств пород горного массива, вмещающего тоннель.

2. Получены новые данные о структурных особенностях участка с построением новых диаграмм, схем и пространственных моделей структурных нарушений всех уровней (разломов, трещиноватости и микротрещиноватости).

3. Впервые смоделировано напряженно-деформируемое состояния исследуемого массива горных пород. На основе полученной модели оценены геомеханические условия после проходки тоннеля.

4. Уточнено изменение сейсмической интенсивности трассы тоннеля, с учетом новых данных, полученных в ходе исследования;

5. Получены новые данные, характеризующие гидрогеологические условия массива, с учетом которых был выполнен прогноз характера обводненности тоннеля в эксплуатационный период и ее влияния на работу сооружения.

6. Используются современные зарубежные классификации горных пород массива с целью зонирования трассы тоннеля, учитывающие комплекс проведенных автором исследований.

7. На основе систематизации проведенных исследований, разработана и впервые предложена методика проведения мониторинга транспортной природно-технической среды «горный массив – Кузнецовский тоннель».

Практическая значимость. Полученные автором данные о геологическом строении, структурных неоднородностях, трещиноватости, физико-механических свойствах и др. позволят дать подробную оценку инженерно-геологических условий объекта, что будет актуально при эксплуатации существующей и строительстве второй очереди сооружения. Рекомендации к проведению мониторинга геологической среды могут быть использованы организациями, занимающимися эксплуатацией Кузнецовского тоннеля. Методы и подходы, использованные при выполнении исследования, могут быть применены при изучении других подземных сооружений в условиях Северного Сихотэ-Алиня на всех этапах существования объекта.

Достоверность научных положений и выводов, сформулированных в диссертационной работе, определяется их соответствием с научными трудами и

результатами инженерных изысканий, проведенных в районе исследования, а также подтверждается принятой методологической базой, основанной на фундаментальных и достоверно изученных положениях. В основу диссертации положены результаты, полученные в рамках полевых, научно-практических и лабораторных исследований о влиянии инженерно-геологических условий на устойчивость Кузнецовского тоннеля, безопасность и бесперебойность его эксплуатации.

Апробация работы и публикации. Основные положения, изложенные в диссертации, докладывались и обсуждались на научных конференциях: «XXI Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов в г. Нерюнгри» (Нерюнгри, 2010), «Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования» (Хабаровск, 2010), «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2011), «Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования» (Хабаровск, 2011), «Проблемы освоения георесурсов» (Хабаровск, 2011), «Превентивные геотехнические меры по уменьшению природных и техногенных бедствий» (Хабаровск, 2011), «Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения» (Хабаровск, 2011), «Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием Геонауки-60» (Иркутск, 2012), «Толстихинские чтения» (Санкт-Петербург, 2012). Кроме того, результаты исследований использованы при выполнении хоздоговорных работ с непосредственным участием автора: «Оценка инженерно-геологических условий и изучение механических свойств скальных пород Кузнецовского тоннеля» в 2009 году, а также во время работы по гранту при поддержке японо-российского центра молодежных обменов (JREC) по программе «Стажировка в Японии» в 2011 году.

Фактический материал и личный вклад автора. Диссертационная работа подготовлена на основе полевых и камеральных исследований, проводившихся в 2009-2012 годах, выполненных лично автором или с его участием. В том числе были использованы опубликованные и фондовые материалы В.И. Шевченко, В.В. Голозубова, А.Г. Владимирова, отчеты инженерно-геологических изысканий, выполненных под руководством Т.А. Грабовской (ОАО «Дальгипротранс»), О.Г. Порфирьева (ОАО «Экотехпроект») и др.

Благодарности. Автор глубоко признателен своему научному руководителю Сергею Владимировичу Квашуку за постоянную поддержку, помощь и замечания при выполнении данной работы. Также автор очень благодарен коллективу Института Тектоники и Геофизики ДВО РАН – кандидатам геолого-минералогических наук А.В. Кудымову, Е.П. Развозжаевой, С.А. Медведевой, В.В.

Крапивенцевой) и особенно доктору геолого-минералогических наук Галине Леонтьевне Кирилловой за всестороннюю помощь при подготовке материалов и написании диссертации.

Кроме того, автор признателен В.В. Кулакову В.В, Д.Ю. Малееву, М.И. Потапчук за помощь в написании отдельных разделов, советы и замечания.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 13 научных работ, в том числе три статьи в журналах, входящих в перечень, рекомендованный ВАК Минобрнауки РФ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 154 машинописных страницах, состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из **103** наименования, содержит **49** рисунков, **27** таблиц, **2** приложения.

ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ

ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ 1. Особенности инженерно-геологических условий массива, вмещающего Кузнецовский тоннель, определяются его специфическим геологическим строением и структурно-тектонической позицией, диктующей повышенную трещиноватость и, как следствие, значительную неоднородность физико-механических свойств горных пород.

Район тоннеля располагается в пределах Сихотэ-Алиньского хребта и в геолого-структурном отношении на границе Тумнинской и Центрально-Сихотэ-Алинской структурно-формационных зон. Строение участка Кузнецовского тоннеля является характерным для Тумнинской структурно-формационной зоны. Оно представлено интенсивно дислоцированными терригенными породами верхнего мела, перекрытыми вулканическим покровом верхнемелового возраста. В общем, строение терригенного основания характеризуется чередованием пачек ритмично переслаивающихся слоистых алевролитов и параллельно слоистых (редко косослоистых) песчаников с мощностью компонентов от 0.5-3 см до 20-40 см. Изредка в разрезе толщи отмечаются пласты черных массивных алевролитов мощностью до 30 м и мелкозернистых песчаников мощностью до 40 м.

Среди верхнемеловых пород эффузивного типа на участке строительства Кузнецовского тоннеля и прилегающей к нему территории распространены туфы андезитов (андезибазальтов), риолитов и в меньшей степени дацитов.

Автором были исследованы физико-механические свойства горных пород. Усредненные основные показатели представлены в таблице 1.

Проведенные исследования позволяют сделать выводы о том, что все породы классифицируются как прочные и очень прочные (ГОСТ 25100-95). Наибольший предел прочности на сжатие у алевролитов, а на растяжение у песчаников. Тем не

менее, присутствует значительная неоднородность значений физико-механических свойств, связанная с нарушенностью горных пород.

Таблица 1.

**Основные показатели физико-механических свойств горных пород
Кузнецовского тоннеля**

Свойства \ Горная порода	Алевролит	Песчаник	Переслаивание	Вулканыты
Предел прочности на сжатие (МПа)	102,52	85,76	105,99	89,13
Предел прочности на растяжение (МПа)	9,47	12,37	6,87	9,43
Модуль упругости (*10 ⁴ МПа)	1,24	1,24	1,26	1,16
Модуль деформации (*10 ⁴ МПа)	1,54	1,44	1,34	1,15
Коэффициент Пуассона	0,16	0,19	0,18	0,23
Плотность (г/дм ³)	2,65	2,66	2,64	2,67

В рамках текущей документации при строительстве геологами Тоннельного отряда была проведена классификация горных пород по степени трещиноватости. Автором были проанализированы данные изменения степени трещиноватости по длине тоннеля (Рисунок 1).

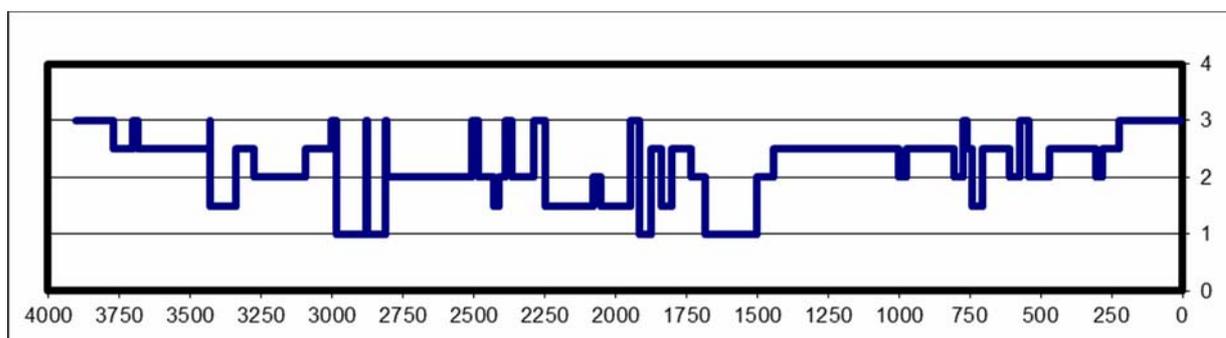


Рис. 1. Изменение степени трещиноватости по длине тоннеля
1 – слаботрещиноватая, 2 – трещиноватая, 3 – сильнотрещиноватая.

На рисунке 1 показано, что большая часть трассы тоннеля сложена сильнотрещиноватыми и трещиноватыми породами (около 65%), слаботрещиноватых – 33 %, а нетрещиноватых пород около 2 %. Из этого следует, что оценивать физико-механические свойства горных пород необходимо с поправкой на структурное ослабление.

Опытные определения прочностных и деформационных свойств горных пород Кузнецовского тоннеля показали, что трещиноватость существенно влияет на их параметры. Так, прочность на сжатие нетрещиноватых песчаников с прослоями алевролитов практически в 10 раз больше, чем ослабленных трещинами, а прочность на растяжение в 5 раз. Схожие параметры у всех пород тоннеля. Это

условие является определяющим при характеристике физико-механических свойств массива.

Кроме того, при полевых и лабораторных исследованиях горных пород, автор столкнулся с проблемой широкого распространения скрытой или микротрещиноватости. На этапе определения физико-механических свойств внешне монолитные образцы разрушались при их изготовлении или при приложении нагрузки.

В целях определения характера распространения микротрещиноватости автором были отобраны образцы из забоя, изготовлены прозрачные шлифы и исследованы их цифровые изображения в 140-кратном увеличении.

Анализ данных показал, что для большинства образцов характерно развитие густой сети микротрещин, достигающие в размерах 10 % площади изображения шлифа. Микротрещины объединяются в сетчатые зоны и распространяются по площади шлифа или создают более крупную протяженную извилистую трещину. Также распространены относительно крупные, прямолинейные, четко выраженные нарушения, пересекающие изображения шлифа. Для песчаников характерно развитие множества тонких волокнистых микротрещин, распространенных в основном в цементе песчаника. Для алевролитов – большое количество тонких прерывистых, протяженных извилистых и крупных, прямолинейных, четко выраженных трещин.

Особенностью *тектонических условий* участка Кузнецовского тоннеля является широкое распространение разрывных нарушений. На этапе проектирования считалось, что створ тоннеля пересекает 5 дизъюнктивов северо-восточного, субмеридионального, широтного и субширотного направлений. При проходке тоннеля и транспортно-дренажной штольни было зафиксировано 17 разрывов. Сопоставление имеющейся геологической основы с дешифрованными космоснимками и материалами проходки штольни позволили определить местоположение и направление основных разрывных нарушений (Рисунок 2).

В отличие от преобладающих на Сихотэ-Алине протяженных и крупных дизъюнктивов северо-восточного направления на рассматриваемой площади наиболее развиты субширотные и северо-западные разрывы. Это является следствием структурно-тектонической позиции района тоннеля. Разграничение Центрально-Сихотэ-Алинской и Тумнинской структурно-формационных зон проводится по субширотным и северо-западным разрывам, что обуславливает их широкое распространение в массиве Кузнецовского тоннеля.

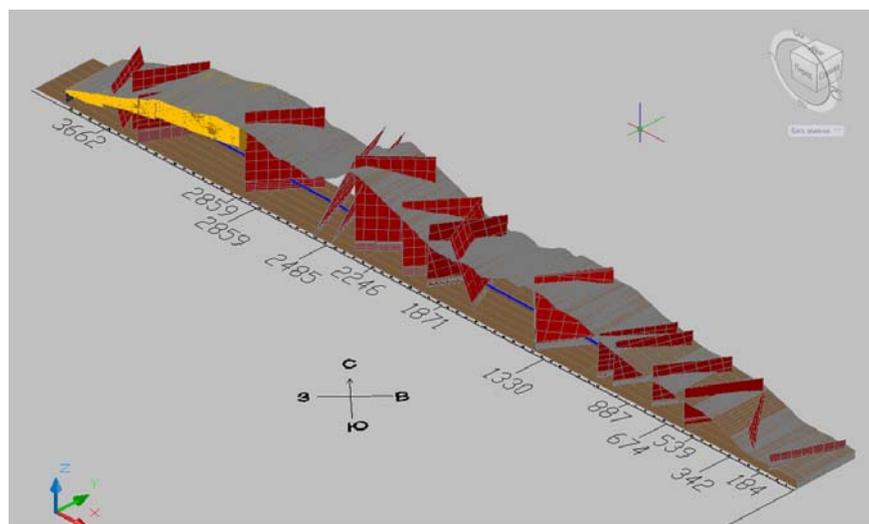


Рис. 2. 3-D модель массива, вмещающего Кузнецовский тоннель с нанесенными разломами

Тектонические нарушения сопровождаются зонами повышенной трещиноватости мощностью до 40 м. Для большинства зон тектонической трещиноватости характерно присутствие сульфидной минерализации и карбонатизации. Некоторые из зон выполнены седиментационными брекчиями или глиной трения с обломками горной породы.

При проходке тоннеля, в местах развития тектонической трещиноватости, отмечались вывалы горных пород. Наиболее крупный вывал, общим объемом около 25 м^3 , отмечен в центральной части тоннеля в кровле выработки.

Наличие большого количества разрывных нарушений определило широкое распространение фоновой *трещиноватости* в массиве тоннеля. Полевые исследования, проведенные автором на пяти участках, указывают, что основные системы трещин – это нарушения преимущественно северо-западного, субширотного и северо-восточного простирания и крутого падения (рисунок 3).

Трещины в основном открытые, на поверхности – зияющие или заполненные песчано-глинистым материалом; в массиве – заполненные кварц-карбонатными прожилками. Рассчитанные значения коэффициента трещинной пустотности варьируются от 3,05 % до 7,04 %, что свидетельствует о высокой степени трещиноватости массива (по Нейштадт). Исследования элементов залегания основных систем слоистости показали, что слоистость породы имеет преимущественно крутое падение ($60\text{--}90^\circ$). Простирание слоистости от субширотного до СЗ ($240\text{--}300^\circ$).

Исходя из этого, можно сделать вывод, что трещины основных систем можно трактовать как тектонические, и трещиноватость массива в первую очередь обусловлена разрывной тектоникой района строительства. Вторичное значение имеют экзогенная трещиноватость и оперяющие трещины.

ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ 2. Неоднородность инженерно-геологических условий определяет характерное геомеханическое состояние, особенности сейсмической интенсивности и изменчивые гидрогеологические условия массива, вмещающего Кузнецовский тоннель.

С целью комплексной оценки природных факторов и условий, способных повлиять на безопасность и бесперебойность эксплуатации тоннеля, был выполнен ряд работ, связанный с определением геомеханических, гидрогеологических и сейсмических особенностей массива.

Напряженно-деформируемое состояние. Оценка техногенного поля напряжений, формирующегося при проходке Кузнецовского тоннеля, была выполнена путем численного моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород методом конечных элементов (Рисунок 3).

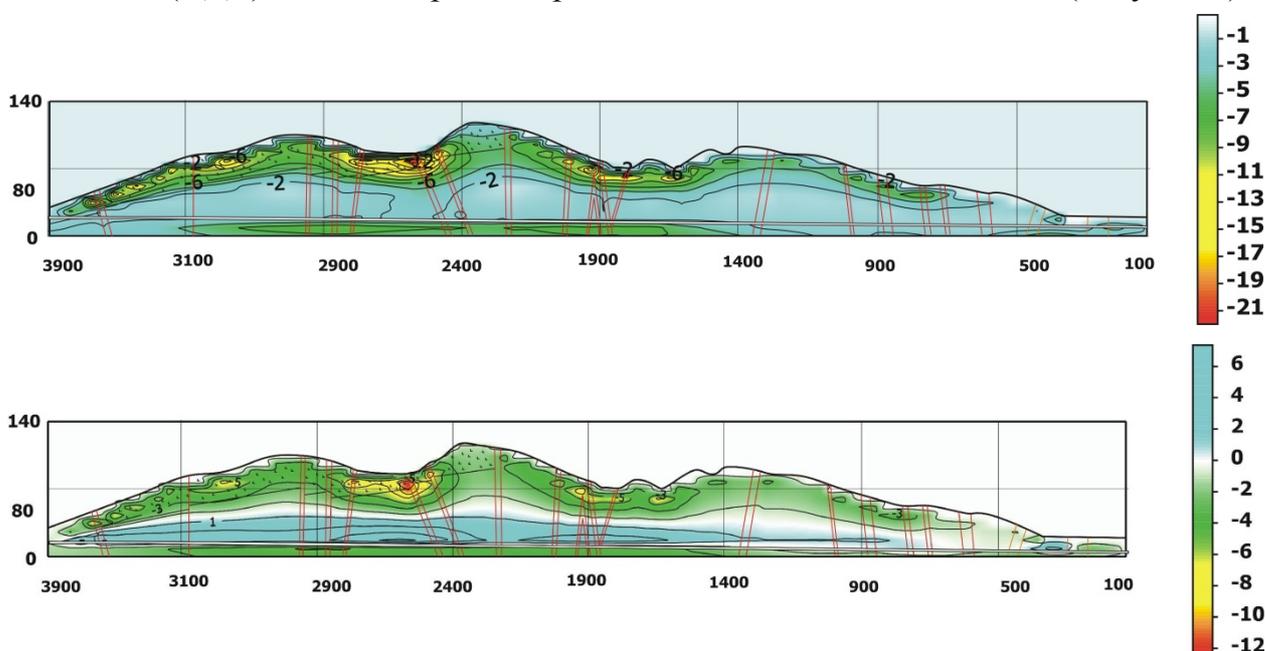


Рис. 3. Распределение σ_{cp} и τ_{max} в массиве горных пород после проходки Кузнецовского тоннеля

По результатам моделирования и оценки устойчивости горного массива установлено, что в условиях гравитационного поля напряжений геомеханическое состояние массива для сложившейся горнотехнической ситуации можно оценить как достаточно устойчивое. Менее устойчивым является участок между условными пикетами 2900 и 2400 где $\sigma_{cp} = 6,5$ МПа и, исходя из того, что значения предела прочности на растяжения для пород этого участка составляют 6,87 МПа, возможно ожидать здесь развития трещин. Учитывая высокую степень трещиноватости горных пород в пределах участка, а также распространение микро-нарушений, можно считать участок потенциального развития трещин и сопутствующих ей процессов (потеря устойчивости, увеличение проницаемости и др.).

Сейсмичность. Для исследования сейсмичности участка Кузнецовского тоннеля был выполнен комплекс работ, в составе уточнения исходной сейсмичности, вероятностного анализа сейсмической опасности и сейсмического микрорайонирования.

В основу проведенного расчета была положена линеаментно-доменно-фокальная модель зон возникновения очагов землетрясений (ВОЗ). По карте зон ВОЗ ОИФЗ РАН участок тоннеля расположен в пределах домена, характеризующегося магнитудой 5,5, и окружен линеаментами с магнитудой от 6 до 7,5. В качестве значений повторяемости линеаментов были приняты данные, использованные в расчетах карт ОСР-97. Значения параметров домена были определены автором (максимальная магнитуда искомого домена равна 5,5). В качестве исходных данных для определения повторяемости землетрясений был использован каталог, составленный по данным трех источников: Мичиганского технологического института (США), Хоккайдского института сейсмологии (Япония), Института тектоники и геофизики ДВО РАН (Россия). По результатам анализа был построен график повторяемости землетрясений и определены параметры домена (Рисунок 4).

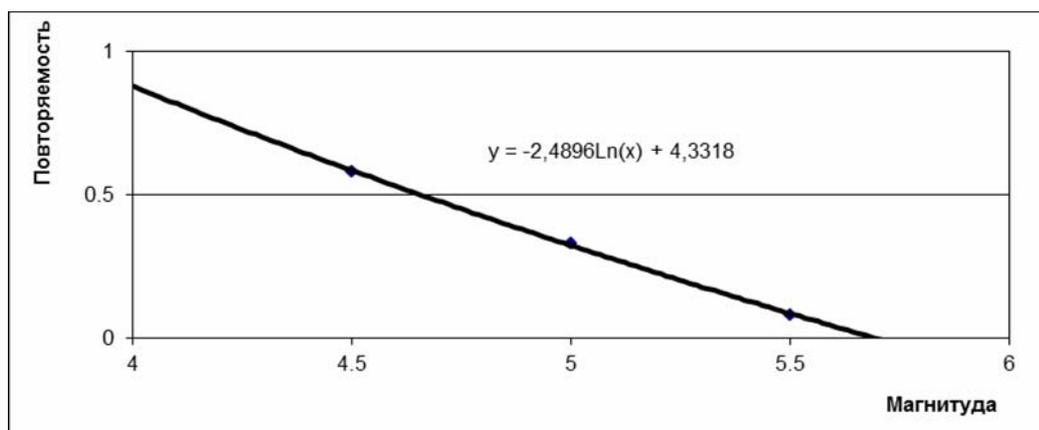


Рис. 4. График повторяемости землетрясений

Для расчета сейсмической опасности было принято уравнение затухания микросейсмической интенсивности I_{msk} с расстоянием, предложенными Н.В. Шебалиным (1969):

$$I_i = 1.5MLH - 3.5 \lg R_i + 3,0, \text{ где} \quad (1)$$

I_i – макросейсмическая интенсивность сотрясений по шкале MSK-64 на гипоцентральной расстоянии R_i (км) от очага;

$$R_i = (\Delta^2 + h^2)^{1/2}, \text{ где} \quad (2)$$

Δ – эпицентральной расстояние (км), h – глубина очага (км);

MLH – магнитуда землетрясений.

По результатам расчета были получены исходные данные для выполнения вероятностного анализа сейсмической опасности, которые показаны в виде графика (Рисунок 5). Для зон ВОЗ рассчитывались вероятности возникновения землетрясений с интенсивностью $I \geq 5,5$, $I \geq 6,0$, $I \geq 6,5$, $I \geq 7,0$, $I \geq 7,5$.

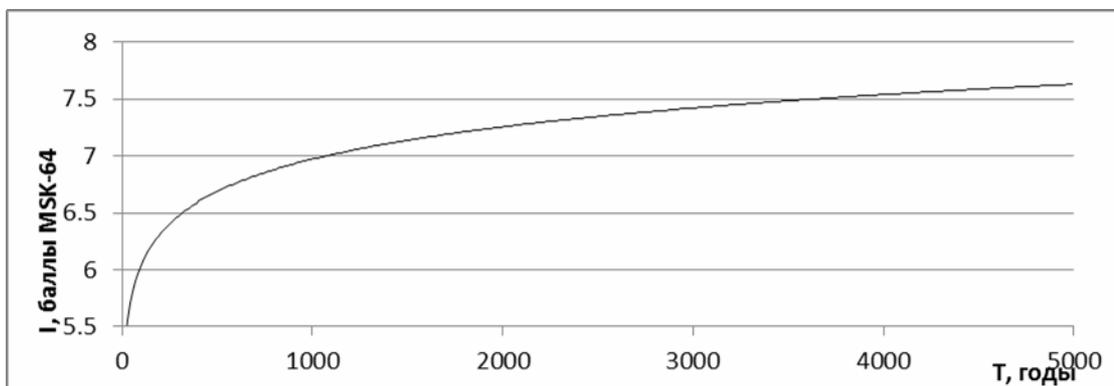


Рис. 5. Вероятностный анализ сейсмической опасности, выраженный в параметрах сейсмической интенсивности

Исходя из графика уточненная сейсмическая опасность для периода повторяемости $T=1000$ лет составляет 7 баллов шкалы MSK-64 для грунтовых условий II категории по СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах».

На основе полученных данных, геологического строения и физико-механических свойств пород проведен расчет сейсмического микрорайонирования, представленный в виде графика изменения сейсмической интенсивности, полученного суммарным приращением балльности по методам сейсмической жесткости и уменьшении сейсмичности с глубиной (Рисунок 6).



Рис. 6. График изменения сейсмической интенсивности Кузнецовского тоннеля

Согласно приведенной схеме, припортовые участки тоннеля имеют сейсмическую опасность равную 6 баллов. Центральная часть, длиной 2,9 км, за счет большой глубины и высоких сейсмических жесткостей оценивается в 5 баллов.

Проведенные гидрогеологические исследования позволяют сделать вывод, что сезонная очень неравномерная обводненность горного массива, вмещающего Кузнецовский тоннель, зависит от климатических условий, характера развития приповерхностной экзогенной трещиноватости.

На этапе эксплуатации будет проявляться климатическая сезонность изменения величины водопритока. Обводненность будет определяться количеством жидких атмосферных осадков в летний период года. Это подтверждается результатами режимных наблюдений. Ожидается, что прогнозируемый максимальный водоприток не будет превышать 550 м³/час. Минимальный будет наблюдаться в зимний период с января по май и, по всей видимости, составит 50–70 м³/час.

При проходке тоннеля были зафиксированы концентрированные зоны постоянных течей, на участках которых возможна постоянная инфильтрация подземных вод в эксплуатационный период (преимущественно припортальные интервалы). В пределах большинства этих участков, на момент обследования были зафиксированы течи. В дальнейшем по ним ожидаются инфильтрации из технологических отверстий и межтубинговых швов, реже – капель со свода.

Анализ результатов лабораторных исследований количественного химического и микрокомпонентного составов свидетельствуют о том, что формирование химического состава подземных вод, обеспечивающих водопритоки непосредственно в систему подземных горных выработок Кузнецовского тоннеля, происходит только в зоне инфильтрационного питания.

Потенциальным негативным влиянием, обусловленным воздействием подземных вод, может послужить вымывание рыхлого заполнителя трещин на участках высоких водопритоков, что может привести к повышению проницаемости и скорости выветривания горных пород.

ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ 3. Выполненное инженерно-геологическое зонирование трассы тоннеля, базирующееся на комплексном рейтинге горного массива, дает основу для долгосрочного мониторинга его состояния с целью надежной эксплуатации и проектирования второй очереди.

Для упрощения комплексной оценки инженерно-геологических условий используются различные группирования горного массива по признаку однородности поведения по категориям. В зарубежной практике широко распространено использование геотехнических классификаций массивов горных пород, используемых для обобщения геологических, геомеханических и гидрогеологических данных. Наиболее используемые – RMR (Rock Mass Rating), рейтинг массива горных пород, разработанный профессором Бьенявски, и классификация пород Норвежского геотехнического института Q-classification. Автором был выполнен расчет рейтингов и выделение зон массива различного качества исходя из оценки классификаций (Рисунок 7, 8).

В качестве исходных данных для подсчета рейтинговых классификаций были использованы материалы, полученные автором в ходе исследования: прочностные характеристики пород, результаты полевых и камеральных исследований трещиноватости, результаты гидрогеологических исследований, геомеханических расчетов, анализа геологического строения и др.

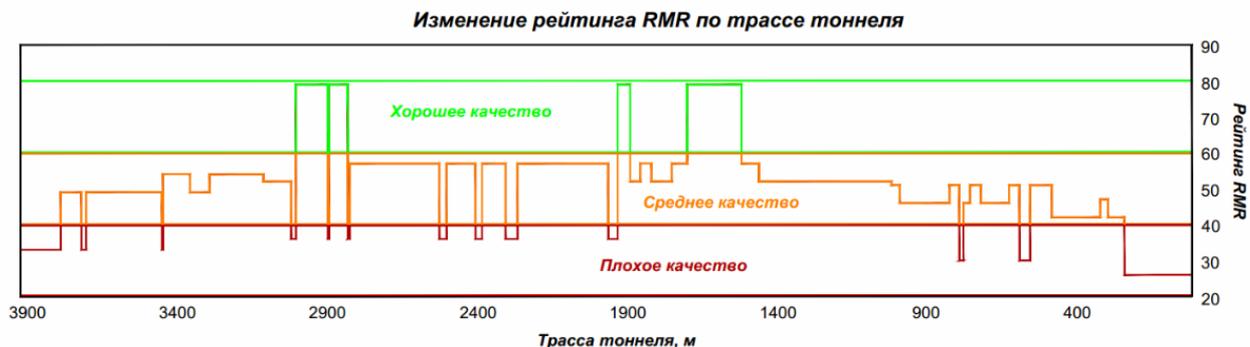


Рис. 7. Изменение рейтинга RMR по трассе тоннеля

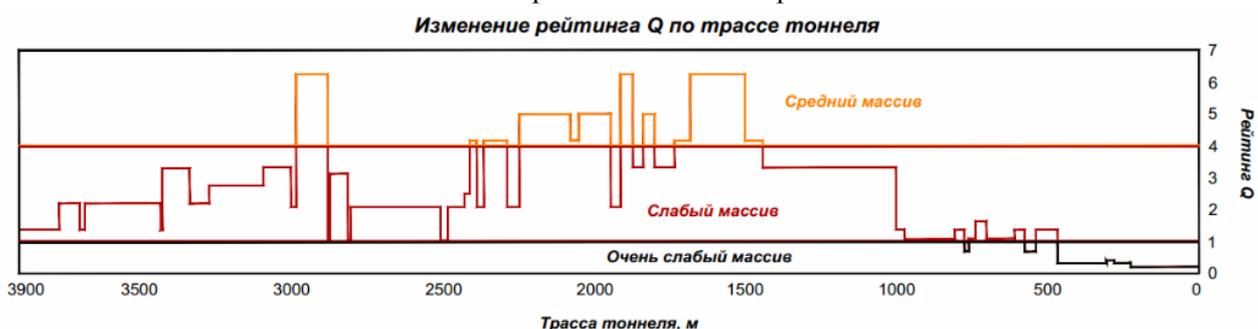


Рис. 8. Изменение рейтинга Q по трассе тоннеля

Как видно из рисунка – зоны тектонических нарушений закономерно имеют наименьшие значения рейтингов. Но в отличие от RMR рейтинг разломных зон в Q не всегда является наименьшим.

Без учета зон дизъюнктивных нарушений трасса тоннеля подразделяется на 3 зоны по RMR. Первая – это зона низкого качества массива – связана с приуроченностью участка к коре выветривания и обводненности участка. Вторая и основная – зона средней прочности, занимающая большую часть трассы. В данных условиях высокая степень трещиноватости и ее характеристики предопределили приуроченность к среднему качеству. И последняя зона – хорошее качество – за счёт высокой прочности и низкой трещиноватости, а также отсутствия водопроявлений в средней части тоннеля.

Результаты классификации Q частично отличаются от RMR. В первую очередь, четко выделяется участок с отличным от всей трассы НДС. Кроме того, по данной характеристике большая часть массива относится к слабым породам. Присутствуют очень слабые – это является следствием высокой чувствительности классификации к водопроявлениям. Наиболее прочным массивом по Q-рейтингу в Кузнецовском тоннеле является массив среднего качества.

Результаты зонирования позволяют обобщить накопленный материал и сформировать целостную картину ИГУ массива, вмещающего тоннель, позволяет комплексно выявить проблемные участки, требующие особого внимания в эксплуатационный период и при строительстве второй очереди.

В целях обеспечения устойчивости, безопасности и долговечности работы тоннеля, подобран оптимальный состав эксплуатационного мониторинга природно-технической системы «Кузнецовский тоннель – массив горных пород».

Основываясь на концепции, используемой при мониторинге крупнейшего в России 15-километрового Северо-Муйского тоннеля, разработана методика мониторинга Кузнецовского тоннеля. Оптимальный набор комплексного мониторинга включает космический, геологический, геодезический, геофизический, гидрогеологический и геотехнический виды наблюдений.

В состав космического мониторинга необходимо включить наблюдения за климатическими условиями и их изменениями. Геодезический мониторинг необходим для инструментальных измерений современной подвижности тектонических нарушений. Для выполнения этой задачи рекомендуется применять современные технологии космогеодезических измерений. Объектами наблюдений геологического мониторинга являются припортальные выемки тоннеля. Рекомендуется периодически оценивать состояние горных пород, слагающих выемки, т.к. развитие трещиноватости, вымывание заполнителя трещин, динамическое воздействие могут привести к активизации гравитационных процессов. В состав гидрогеологических наблюдений включены гидрогеологическое обследование, гидрометрические и геохимические исследования. В качестве *геофизического мониторинга* рекомендуется создать систему сейсмометрической службы, состоящей из сети специальных приборов для измерения ускорений колебаний и деформаций. В ветке геотехнического мониторинга рассматривается проявление геологических процессов со стороны влияния на конструкции тоннеля, а также техногенное влияние на массив, вмещающий тоннель. Кроме того, необходимо фиксировать характеристики грузопотоков, проходящих через тоннель (количество составов, масса, количество вагонов и др.) и сведений о проведенных ремонтах и усилениях.

Рекомендуемая система мониторинга охватывает все процессы, которые происходят в инженерно-геологической среде участка тоннеля. Применение подобной схемы, успешно реализованной на ряде важных транспортных объектов, среди которых 15-километровый Северо-Муйский тоннель, позволяет комплексно оценить взаимодействие природно-техногенной системы «тоннель–горный массив» с достаточной надежностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе было выполнено комплексное исследование инженерно-геологических условий горного массива, вмещающего Кузнецовский тоннель, с уточнением его геологического строения, изучением структурных нарушений различных уровней, лабораторных исследований физико-механических свойств пород и анализом гидрогеологической обстановки.

С использованием полученных актуальных данных геолого-структурных особенностей расчетными методами установлено геомеханическое состояние горного массива, а также исходная сейсмичность участка, на основании которой произведено сейсмическое микрорайонирование тоннеля. В совокупности с анализом и прогнозом обводненности выявлены неблагоприятные участки трассы тоннеля.

Основываясь на значении комплексного рейтинга массива горных пород, рассчитанном с учетом изученных инженерно-геологических, гидрогеологических и геомеханических условий, проведено зонирование трассы тоннеля и подобран оптимальный набор комплексного мониторинга, охватывающий все процессы, происходящие в рассматриваемой природно-технической системе.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах.

Публикации в журналах и изданиях, включенных в перечень, рекомендованный ВАК Минобрнауки РФ:

1. Злобин, Г.А. Оценка инженерно-геологических и геомеханических свойств района Кузнецовского тоннеля (БАМ) / Г.А. Злобин, М.И. Потапчук // Маркшейдерия и недропользование. – 2012. – № 4. – С. 35-39.

2. Злобин, Г.А. Трещиноватые коллекторы и углеводородный потенциал позднеюрско-раннемелового терригенного комплекса Северного Сихотэ-Алиня / А.Н. Фомин, Г.Л. Кириллова, Е.А. Костырева, В.Н. Меленевский, Г.А. Злобин // Тихоокеанская геология – 2013. – Т.32 – №3. – С. 93-102.

3. Злобин, Г.А. Гидрогеологическая обстановка Кузнецовского тоннеля (Северный Сихотэ-Алинь) / Г.А. Злобин, В.В. Кулаков // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология – 2014. – №3. – С. 304-316.

Материалы конференций:

4. Злобин, Г.А. Характеристика инженерно-геологических условий Кузнецовского тоннельного перехода на линии (Комсомольск-на-Амуре – Советская Гавань) / С.В. Квашук, П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования: труды Всероссийской научно-практической конференции, 21-23 апреля 2010 г. В 6 т. / под ред. О.Л. Рудых. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2010. – Т. 2. – С. 50-54.

5. Злобин, Г.А. Структурно-литологические неоднородности массива, вмещающего Кузнецовский тоннель / Г.А. Злобин, Г.Л. Кириллова, А.В. Кудымов // Строение литосферы и геодинамика: Материалы 24 Всероссийской молодежной конференции, 19-24 апреля 2011г. – Иркутск: ИЗК СО РАН. – 2011а. – С. 149-150.

7. Злобин, Г.А. Последствия инженерных ошибок при модернизации транспортных сооружений / С.В. Квашук С.В., П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке: труды Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием, 20-22 апреля 2011 г. В 5 т. / под ред. А.Ф. Серенко. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011б. – Т. 2. – С. 137-142.

8. Злобин, Г.А. Геодинамические проблемы при транспортном освоении Дальнего Востока России / С.В. Квашук, П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Превентивные геотехнические меры по уменьшению природных и техногенных бедствий: сборник трудов IV Международного геотехнического симпозиума (26-29 июля 2011 г.; Хабаровск, Россия, ДВГУПС) / под ред. С.А. Кудрявцева и А.Ж. Жусупбекова. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011в. – С. 320-324.

9. Злобин, Г.А. Условия и причины возникновения опасных геологических процессов на транспортных сооружениях в условиях Северного Сихотэ-Алиня / С.В. Квашук, П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Тектоника, магматизм и геодинамика Востока Азии: VII Косыгинские чтения: материалы Всероссийской конференции/ под ред. А.Н. Диденко, Ю.Ф. Манилова. – Хабаровск: ИТиГ им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, 2011г. – С. 379-382.

10. Злобин, Г.А. Анализ инженерно-геологических условий Кузнецовского тоннеля и их прогноз для строительства второй очереди / Г.А. Злобин, С.В. Квашук // Проблемы комплексного освоения георесурсов: материалы IV Всероссийской научной конференции с участием иностранных ученых (Хабаровск, 27-29 сентября 2011 г.). В 2 т. – Хабаровск: ИГД ДВО РАН, 2011д. – Т. 1. – С. 45-52.

11. Злобин, Г.А. Особенности инженерно-геологических условий перевального участка ж.д. линии Комсомольск – Советская Гавань и рекомендации к проведению эксплуатационного мониторинга / С.В. Квашук, П.А. Колтун, Г.А. Злобин // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований: материалы Всероссийской научно-технической конференции с международным участием / под ред. Б.Л. Тальгамер. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2012. – С. 304-309.

12. Zlobin, H. Kuznetsovsky tunnel: studies of geological, geomechanical and hydrogeological features for safe and durable operation / H. Zlobin, S. Kvashuk // Proceedings of The 5th International geotechnical symposium, 2013 – Incheon, Korea. – P. 103-106.