

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ НЕДР РАН
(ИПКОН РАН)

На правах рукописи

РОМАНЕВИЧ Кирилл Викторович

РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ И МЕТОДИКИ ИДЕНТИФИКАЦИИ
ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМУ
ИЗЛУЧЕНИЮ ВБЛИЗИ ВЫРАБОТОК НЕГЛУБОКОГО ЗАЛОЖЕНИЯ

Специальность 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород,
рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

Диссертация
на соискание степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук
Малинникова Ольга Николаевна

Москва 2015

Введение.....	4
Глава I. Анализ современного состояния и проблем обеспечения безопасности подземного строительства.....	10
1.1. Комплексный горнотехнический мониторинг	10
1.2. Контроль геодинамической активности массивов горных пород.....	13
1.3. ЭМИ при деформации и разрушении горных пород.....	16
1.3.1. Обзор предыдущих исследований ЭМИ.....	17
1.3.2. Модели разрушения горных пород, основные гипотезы возникновения ЭМИ.....	21
1.4. Постановка задач исследований.....	24
Глава II. Модели, методы и объекты исследований.....	26
2.1. Модель ЭМИ, применяемая в данной работе.....	26
2.2. Методика исследований (организация эксперимента).....	27
2.3. Геомеханическая модель, применяемая в данной работе.....	28
2.4. Описание используемых методик и аппаратуры.....	34
2.4.1. Комплекс методов системы горнотехнического мониторинга.....	34
2.4.2. Геомеханическая аппаратура.....	39
2.5. Общие сведения об объектах исследований.....	45
2.5.1. Совмещенная (автомобильная и железная) дорога Адлер – горноклиматический курорт «Альпика Сервис».....	45
2.5.2. Строительство нового Байкальского тоннеля на перегоне Дельбичинда-Дабан Восточно-Сибирской железной дороги.....	48
2.5.3. Строящийся железнодорожный тоннель №6 бис.....	51
Глава III. Контроль геомеханических процессов по электромагнитному излучению.....	56
3.1. Регистрация ЭМИ в горных выработках и на дневной поверхности.....	56
3.1.1. Цели и методы выявления опасных разрывных тектонических нарушений....	56
3.1.2. Общие сведения об объектах исследований.....	57
3.1.3. Выявление и изучение зон тектонических нарушений и характеристика геодинамической активности горных пород при геолого-геофизических изысканиях.....	58
3.1.4. Оценка существующей геодинамической активности в районе выявленных тектонических нарушений на примере комплексных геофизических изысканий на Байкальском тоннеле.....	72
3.2. Электромагнитное излучение на оползневых склонах и местах осадок дневной поверхности в результате суффозионных процессов.....	86
3.2.1. Контроль НДС оползневого склона методом регистрации ЭМИ.....	86
3.2.2. Результаты мониторинговых работ на оползнях.....	86
3.2.2.1. Мамайский оползень.....	86
3.2.2.2. Тоннель №8 (Хоста).....	90
3.2.2. Результаты мониторинговых работ в районе осадок дневной поверхности в результате суффозионных процессов.....	92
3.2.2.1. Сейсмические исследования.....	93
3.2.2.1.1. Выводы по результатам сейсмических исследований.....	97
3.2.2.2. Исследования методом ЭМИ СШП зондирования.....	98
3.2.2.3. Электроразведочные работы.....	103
3.2.2.4. Оценка геодинамической активности массива на участках осадок дневной поверхности методом регистрации ЭМИ.....	105
3.3. Количественная оценка связи ЭМИ и НДС крепи и массива.....	112
3.3.1. Общие положения.....	112

3.3.2. Экспериментальные исследования взаимосвязей НДС системы крепи с параметрами ЭМИ при строительстве тоннеля №6 бис на участке Сочи-Адлер Северокавказской железной дороги.....	113
3.3.3. Исследования взаимосвязи проявлений ЭМИ с изменениями НДС в районе опытных участков №№ 1- 5 при подходе и разработке штроссовой части тоннеля №6 бис.....	120
3.3.4. Влияние вариаций магнитного поля Земли при регистрации ЭМИ.....	133
Глава VI. Разработка методики регистрации электромагнитного излучения для решения задач комплексного горнотехнического мониторинга объектов подземного строительства.....	
4.1. Введение.....	134
4.2. Общие положения методики.....	136
4.3. Разработка критериев проявления ЭМИ	137
4.4. Состав методики.....	140
4.5. Обоснование методики.....	141
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	143
Литература	145

Введение

Основными природными факторами, определяющими состояние промышленной безопасности при строительстве и эксплуатации подземных сооружений, являются эндогенные процессы (современные тектонические движения земной коры, тектонические землетрясения и др.) и экзогенные геологические процессы (карстово-суффозионные явления, склоновые процессы и явления и др.). В результате протекания этих процессов происходит деструкция вмещающих горных пород, разрушение крепи и внезапные обрушения в горных выработках.

В случае возникновения аварийной ситуации при строительстве, эксплуатации, реконструкции, восстановлении, консервации и ликвидации подземные сооружения представляют серьезную опасность для находящихся в них людей и оборудования. Чрезвычайные ситуации при подземном строительстве носят характер техногенных катастроф с выходом из строя инженерных систем, сооружений и полным прекращением эксплуатации объекта. В связи с этим очевидна необходимость проведения комплексного горнотехнического мониторинга, включающего систему постоянных и непрерывных наблюдений, анализа и прогноза геодинамического состояния геологической среды, а также оценку негативного влияния горных работ на безопасность при строительстве и эксплуатации горных выработок различного назначения.

Это определяет необходимость разработки новых методов и методик, основанных на непрерывных измерениях, позволяющих оперативно исследовать развитие и прогнозировать критическое изменение напряженно-деформированного состояния, а также разрушение породного массива и конструкций подземного сооружения. К ним относится метод регистрации электромагнитного излучения, применение которого при строительстве подземных объектов в натурных условиях было ограничено решением лишь узких специальных задач во время возникновения опасных геомеханических процессов, для решения которых достаточно нескольких циклов измерений. Кроме того, работы по регистрации электромагнитного излучения, как правило, выполнялись с целью прогнозирования крупных геодинамических явлений, таких как тектонические смещения, горные удары и др. в выработках, расположенных на значительной глубине.

Указанные факторы определяют актуальность выбранной темы, предусматривающей обоснование закономерностей взаимосвязи слабых деформаций крепей и вмещающих массивов на начальных этапах деформирования с вариациями параметров электромагнитного излучения и разработку критериев проявления ЭМИ при активизации геомеханических процессов, с помощью которых в непрерывном режиме возможно исследовать развитие деформаций в крепях подземных объектов неглубокого заложения,

контролировать и прогнозировать деформирование вмещающих пород и земной поверхности на всех этапах строительства и во время эксплуатации по регистрации электромагнитного излучения горных пород.

Подземными объектами неглубокого заложения в данной работе выступают горные выработки, расположенные выше критической глубины, то есть глубины от земной поверхности, начиная с которой при производстве горных работ возникают горные удары или другие геодинамические явления или установлена категория «Опасно» [Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, объектах строительства подземных сооружений, склонных и опасных по горным ударам, РД 06-329-99, ГОСГОРТЕХНАДЗОР РОССИИ, 2003 год].

Оперативное выявление наиболее деформируемых областей во вмещающем массиве на ранней стадии методом регистрации электромагнитного излучения позволяет заблаговременно выполнить в этих зонах комплекс маркшейдерских, геомеханических, геофизических и других обследовательских работ и перейти к принятию обоснованных инженерных мероприятий.

Целью работы является разработка количественных критериев и методики оперативной идентификации геодинамических процессов во вмещающем массиве по регистрации электромагнитного излучения вблизи выработок неглубокого заложения для решения задач их комплексного мониторинга.

Идея работы заключается в использовании закономерностей и количественных взаимосвязей между вариациями электромагнитного излучения и изменениями напряженно-деформированного состояния крепи горных выработок и вмещающих массивов на начальной стадии деформирования для оперативного контроля и прогнозирования мест деформаций и возможных разрушений горных пород и конструкций подземных сооружений.

Методы исследований включают экспериментальные наблюдения вариаций электромагнитного излучения в натурных условиях в железнодорожных и автодорожных тоннелях неглубокого заложения при их строительстве и эксплуатации, комплекс стандартных инженерно-геофизических методов, комплекс апробированных прямых геомеханических измерений, использование результатов маркшейдерско-геодезических измерений, а также статистический анализ результатов экспериментов.

Основные задачи исследований

1. Обосновать применение метода регистрации электромагнитного излучения для обнаружения и контроля изменений напряженно-деформированного состояния крепи и вмещающего массива при напряжениях 5-20% от разрушающих.

2. Установить количественные взаимосвязи вариаций электромагнитного излучения и напряженно-деформированного состояния при изменениях напряжений 5-20% от разрушающих.

3. Оценить возможность прогноза местоположения и момента сдвижения (отрыва) тела оползня, а также контроля процесса деформации вмещающего массива в местах деятельности суффозионных процессов при регистрации электромагнитного излучения по профилям на припортальных склонах.

4. Разработать количественные критерии для оперативной оценки геодинамической активности массива горных пород в горной выработке.

5. Разработать методику оперативной идентификации и прогнозирования геодинамических процессов в массиве горных пород и грунтов по регистрации электромагнитного излучения.

Основные научные положения, выносимые на защиту

1. Активизация геомеханических процессов в виде изменения напряженно-деформированного состояния массива, в том числе вблизи подземных объектов, уже на начальной стадии деформирования массива регистрируется на дневной поверхности над горными выработками и в них в виде увеличения электромагнитного излучения более чем в два раза относительно фонового.

2. Наиболее тесная корреляционная связь (значения коэффициентов корреляции 0,80 - 0,95) между интенсивностью электромагнитного излучения и напряженно-деформированным состоянием массива соответствует временным интервалам, в которых фиксируются наибольшие скорости изменения напряженно-деформированного состояния.

3. При регистрации интенсивности электромагнитного излучения с аномальными амплитудами $A_{норм} < 2$ скорость изменения НДС $\sigma' = 0$ (геодинамическая активность не проявляется); при $A_{норм} = 2 \div 4$ - $\sigma' = 0,02 - 0,04$ МПа/сут (геодинамическая активность проявляется слабо); при $A_{норм} = 4 \div 6$ - $\sigma' = 0,06 - 0,18$ МПа/сут (происходит интенсивное деформирование существующих в массиве микротрещин); при $A_{норм} > 6$ - $\sigma > 0,18$ МПа/сут (происходит формирование очага макроразрушения, обусловленного ускоренным развитием микродефектов в массиве горных пород).

4. Разработанная на основе полученных критериев изменений интенсивности ЭМИ методика оперативного выявления наиболее вероятных зон развития деформаций массива и крепи, позволяет прогнозировать воздействие геомеханических процессов, происходящих во вмещающем массиве на состояние крепи горной выработки по мере возрастания геодинамической активности, начиная со стадии упругого деформирования.

Достоверность используемых в работе геомеханических данных определяется применением надежных и широко апробированных прямых методов определения напряженно-деформированного состояния крепи.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов подтверждается обеспечением достаточного объема экспериментальных выборок при их статистических оценках: в работе рассмотрены более 1000 совместных измерений ЭМИ – НДС в строящемся железнодорожном тоннеле № 6бис в период с июля 2011 г. по август 2012 г.

В работе использованы результаты комплексных геофизических и геомеханических работ в строящихся и действующих железнодорожных и автодорожных тоннелях неглубокого заложения общей протяженностью около 150 км и на дневной поверхности над ними.

Научная новизна работы

1. Обосновано применение метода регистрации ЭМИ для обнаружения и контроля изменений напряженно-деформированного состояния крепи и массива при изменениях напряжений $5 \div 20\%$ от разрушающих.

2. Впервые установлены количественные взаимосвязи параметров электромагнитного излучения и НДС крепи и массива на начальной стадии деформирования при изменениях напряжений 5 - 20% от разрушающих.

3. Впервые разработаны количественные критерии для оперативной оценки геодинамической активности массива горных пород вблизи выработки по данным отношения аномалий ЭМИ к фоновому уровню (Анорм). При регистрации аномалий интенсивности ЭМИ Анорм = 1-2 геодинамическая активность не проявляется; при Анорм = 2-4 геодинамическая активность проявляется слабо; при Анорм = 4-6 происходит интенсивное деформирование существующих в массиве микротрещин; при Анорм > 6 происходит формирование очага макроразрушения, обусловленного ускоренным развитием микродефектов в массиве горных пород.

4. Разработана методика идентификации и прогноза геомеханических процессов в массиве горных пород в режиме реального времени по регистрации электромагнитного излучения для решения задач комплексного мониторинга подземных объектов неглубокого заложения.

Практическая значимость

По разработанным критериям проявления ЭМИ при активизации геомеханических процессов оперативно выделяются наиболее вероятные области проявления геодинамической активности и количественно определяются их характеристики, осуществляется предварительный контроль за изменением напряженно-деформированного

состояния крепи и вмещающего массива и заблаговременно выявляются области возможного развития необратимых деформационных, фильтрационных процессов и оползневых процессов еще на этапах начального деформирования, при слабых изменениях напряжений. Оперативное выявление наиболее деформируемых областей во вмещающем массиве на ранней стадии позволяет заблаговременно выполнить комплекс обследовательских работ и перейти к принятию обоснованных инженерных мероприятий.

Реализация и внедрение результатов работы

Результаты исследований использовались в 2009–2012 г. г. при проведении натурных измерений ЭМИ в строящихся и действующих транспортных тоннелях в рамках комплексного горнотехнического мониторинга, обеспечивающего строительные и эксплуатационные службы необходимыми сведениями для определения влияния строительства, технологии и режима эксплуатации тоннелей на активизацию опасных геомеханических процессов. Апробация результатов исследований проводилась на строящихся тоннелях трассы Адлер – Альпика Сервис, тоннелях второго сплошного пути Туапсе-Адлер и действующих тоннелях существующей железной дороги Туапсе-Адлер (тоннели № 4, 6, 8).

Результаты исследований использованы при разработке технологии изучения инженерно-геологических и гидрогеологических условий неразрушающими методами сверхширокополосного (СШП) зондирования и регистрации ЕЭМИ с целью получения информации о подходе забоя к границам неустойчивых и обводненных пород при строительстве тоннелей, награжденной Тоннельной Ассоциацией России (ТАР) Сертификатом победителя конкурса «На лучшее применение передовых технологий при освоении подземного пространства» в номинации «Безопасность при строительстве и эксплуатации подземных сооружений» в 2012 году.

Результаты диссертации использованы при создании системы постоянного комплексного геотехнического мониторинга для действующих транспортных тоннелей на объекте «Совмещенная (автомобильная и железная) дорога Адлер - горноклиматический курорт «Альпика-Сервис». Интерпретация информации, получаемой аппаратурой ЭМИ, ведется на базе представлений, полученных при написании данной работы.

Экономический эффект от внедрения результатов работы складывается из увеличения оперативности выделения геодинамически активных зон на дневной поверхности и в горных выработках, сокращения объемов комплексных обследовательских работ, за счет предварительного картирования аномальных областей активизации геомеханических процессов по оперативной регистрации ЭМИ. Реализация совместных наблюдений параметров ЭМИ-НДС приводит к уменьшению количества датчиков НДС,

устанавливаемых в крепь выработки, и увеличению шага их установки, за счет установления коэффициентов корреляции ЭМИ – НДС для соответствующих горнотехнических и инженерно-геологических условий.

Личный вклад автора

Автор принимал участие в формулировании целей и задач исследований, разрабатывал методики для проведения измерений, проводил эксперименты и выполнял обработку полученных данных, обобщал полученные результаты, выполнял их анализ и интерпретацию, осуществлял сбор, систематизацию и анализ данных ранее выполненных работ.

Апробация работы

Основные положения диссертационной работы докладывались на следующих конференциях: 7-ая международная конференция «Инженерная геофизика - 2011» (Москва, EAGE, 2011); 3rd International Science and Technology Conference «Rock Geology, Geology, Geomechanics and Mine Surveying» (Украина, УкрНДМІ НАН Украины, 2011); VII Общероссийская конференция «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации» (Москва, ПНИИИС, 2011); IX международная школа-семинар "Физические основы прогнозирования разрушения горных пород" (Иркутск, СО РАН, 2013); Международная научная школа ак. К.Н. Трубецкого (Москва, ИПКОН РАН, 2014); Научные симпозиумы «Неделя горняка» (Москва, МГГУ, 2013-2014).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

Благодарности

Автор выражает искреннюю признательность научному руководителю д.т.н. Малинниковой О.Н., а также заведующему лабораторией геофизики Научно-исследовательского отдела к.г.-м.н. Басову А.Д. (ОАО НИПИИ ЛМГТ) за постоянную помощь при подготовке диссертационной работы и научных статей; профессору Сочинского Государственного Университета д.т.н. Ткаченко В.П., заместителю генерального директора по Научно-исследовательской работе ОАО НИПИИ Ленметрогипротранс д.т.н. Безродному К. П. и сотрудникам Научно-исследовательского отдела ОАО НИПИИ ЛМГТ под руководством к.т.н. Исаева Ю. С. за поддержку и содействие в проведении исследований.

Глава I. Анализ современного состояния и проблем обеспечения безопасности подземного строительства

1.1. Комплексный горнотехнический мониторинг

Основными факторами, определяющими состояние промышленной безопасности при строительстве и эксплуатации подземных сооружений, являются эндогенные процессы (современные тектонические движения земной коры, тектонические землетрясения и др.) и экзогенные геологические процессы (карстово-суффозионные явления, склоновые процессы и явления и др.). В результате деятельности этих процессов происходит деструкция вмещающих горных пород, разрушение крепи и внезапные обрушения подземных выработок. В сфере современного подземного строительства очевидна необходимость проведения горнотехнического мониторинга, включающего систему постоянных и непрерывных наблюдений, анализа и прогноза геодинамического состояния геологической среды, а также оценку негативного влияния горных работ на безопасность при строительстве и эксплуатации горных выработок.

Основными задачами горнотехнического мониторинга являются:

- обеспечение строительных и эксплуатационных служб сведениями, необходимыми и достаточными для определения влияний строительства, технологии и режима эксплуатации подземного сооружения на активизацию опасных геодинамических процессов с целью выбора наиболее безопасных технологий строительства и технологических режимов эксплуатации;
- прогноз состояния окружающей среды, в том числе изменений, вызванных техногенными авариями;
- разработка рекомендаций по предупреждению техногенных аварий, предотвращению или снижению вредного влияния проходческих работ и эксплуатации на окружающую геологическую среду, с целью обеспечения безопасности при сооружении и эксплуатации подземного сооружения [1].

Самыми распространенными авариями как в строящихся, так и в эксплуатируемых горных выработках являются аварии, связанные с обрушением породы [2]. *Обрушение* – непредвиденное сдвигание горных пород с отделением от массива кусков, глыб, блоков и т. п. Обрушение наступает из-за ослабления сил сцепления между отдельными частями массива, который из состояния покоя переходит в состояние движения. Обрушение может быть вызвано принудительным воздействием на массивы (механическим, гидравлическим или посредством взрыва); относительно долговременным влиянием на массив или его часть естественных природных факторов, таких как вода, температура, выветривание;

кратковременным воздействием подземных толчков при землетрясениях, нарушением принятой технологии производства работ [2], например, отсутствие или недостаточно надежное крепление в зоне неустойчивых горных пород.

При строительстве выработок закрытыми способами (горным, щитовым, продавливания) обрушение породы происходит чаще всего в результате вывала в забое или в непосредственной близости от него. При глубине заложения выработки порядка 20-30 м в неосложненных инженерно-геологических условиях проявляется разгружающее действие свода в грунте, но при нарушении этих условий (например, при сильном водопитоке) разгружающий эффект исчезает и происходит обрушение породы (см. рис.1.1, а) [2].

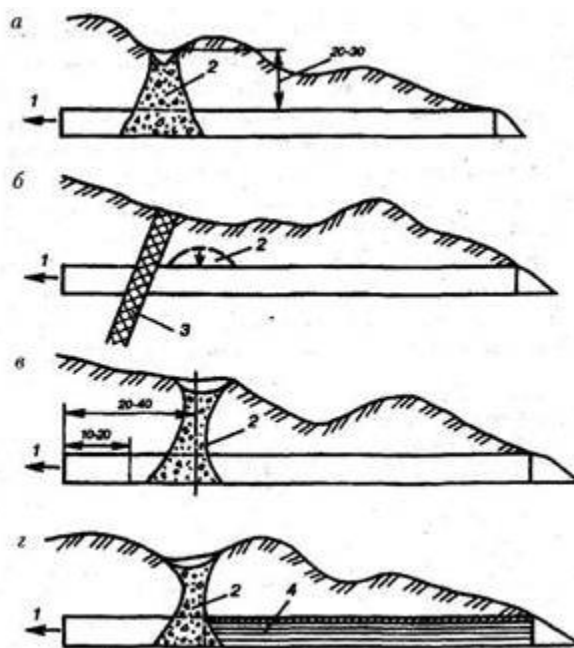


Рисунок 1.1. – Обрушения породы в строящихся выработках (а-г см. в тексте): 1 – забой; 2 – вывал породы; 3 – сбросовая зона; 4 – обделка тоннеля [2]

Такие виды геодинамической активности, как обрушения горной породы, деформации и разрушения конструкций горной выработки, происходят в районах зон сбросов, разломов, и других тектонических нарушений, а также в условиях сильнотрещиноватых и неустойчивых грунтов. Причиной проявления геодинамической активности являются физико-геологические процессы: гравитационные, сейсмические, тектонические, геотермические, карстово-суффозионные и др.

При пересечении сброса возникают условия для образования вывала (см. рис.1.1, б). Часто вывалы происходят в призабойной зоне на расстоянии до 50 м от забоя, где исчезает поддерживающее влияние породного массива, находящегося впереди забоя (см. рис.1.1, в). При отставании с возведением обделки обрушение породы может иметь место непосредственно в плоскости переднего торца обделки (см. рис.1.1, г) [2].

Обрушения породы на стадии эксплуатации горной выработки происходят в отдельных местах, причем в зависимости от размеров вывала обрушившаяся порода может целиком или частично заполнить участок выработки, образуя так называемый завал. Различают «глухие» завалы (см. рис.1.2, а), завалы с отрывом (см. рис.1.2, б) и завалы переходного типа (см. рис.1.2, в) [2, 3].

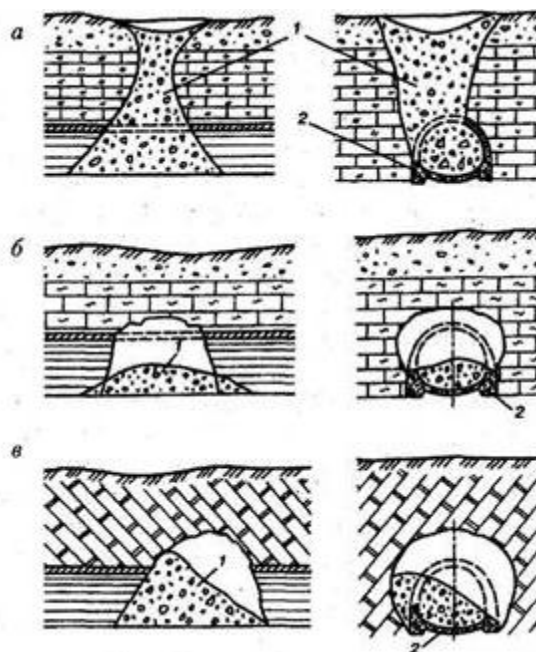


Рисунок 1.2. – Обрушения породы в эксплуатируемых выработках (тоннелях) (а-в см. в тексте): 1- вывал; 2 – обделка [2]

Подземные сооружения в меньшей степени, чем наземные, подвержены воздействию землетрясений, несмотря на это, в ряде случаев имеют место обрушения откосов, оползни и сдвиги в породном массиве, вызванные землетрясениями. Во многих случаях причиной аварии в подземном строительстве являются карстово-суффозионные явления (процессы размывания и химического растворения некоторых гидронестойких грунтов). Причиной аварий могут быть такие природные явления, как оползни, снежные лавины, сели, камнепады [2]. При неудачном расположении участков выработок в пределах неустойчивых склонов, подверженных этим явлениям, участки подземного сооружения могут быть деформированы или разрушены.

При строительстве транспортных тоннелей в условиях плотной городской застройки возникают негативные факторы [4], отрицательно влияющие на состояние, как окружающей природной среды, так и соседних зданий, сооружений и коммуникаций.

Для прогнозирования времени, интенсивности и характера проявления, неблагоприятных физико-геологических процессов в выработках, а также оползневых,

селевых и других явлений на дневной поверхности, необходим постоянный инструментальный контроль геодинамической активности вмещающего тоннель массива.

1.2. Контроль геодинамической активности массивов горных пород

На объектах подземного строительства выполняется комплекс работ по горнотехническому мониторингу. Основными методами наблюдений горнотехнического мониторинга, составной частью которого является контроль геодинамической активности, являются [1]:

1) Геодезическо-маркшейдерские наблюдения

При возведении подземных сооружений осуществляется геодезическо-маркшейдерский мониторинг самого сооружения, прилегающего к нему массива грунта, а также объектов в зоне влияния сооружения, как на стадии строительства, так и в период его эксплуатации.

2) Сейсмологические наблюдения

Ведется регистрация региональных (в случае Сочинских тоннелей – это Кавказский регион) и местных (в радиусе 20-100 км от объекта) землетрясений для контроля активизации сейсмического процесса на территории строительства. Основанием для выполнения инструментальных сейсмологических наблюдений является карта сейсмического районирования [5].

3) Сейсмометрические исследования

Система сейсмометрических исследований предназначена для изучения колебаний выработки и вмещающего массива при сейсмических воздействиях от землетрясений, взрывов при проведении буровзрывных работ и вибраций, например, при прохождении поезда, во взаимосвязи с характерными сочетаниями внешних факторов, обусловленных геологическими, техническими и климатическими условиями.

4) Геофизические наблюдения

Геофизические наблюдения предназначены для решения широкого круга задач горнотехнического мониторинга (подробнее рассмотрены ниже).

5) Геомеханические наблюдения

Выполняемые при строительстве и эксплуатации натурные геомеханические наблюдения ставят своей целью комплексную оценку состояния системы крепь - вмещающий массив (см. главу II данной работы).

6) Гидрогеологические наблюдения

Наблюдения за уровнем режимом подземных вод производятся путем замеров гидростатического давления.

7) Оценка устойчивости оползневых склонов

Необходимыми составляющими горнотехнического мониторинга за оползневыми склонами являются:

- геодезическая сеть наблюдений за пространственным положением поверхности скольжения грунтовых масс, слагающих оползень;
- скважинные наблюдения за внутрипластовым (гидростатическим) давлением;
- наблюдения за процессами сдвижения ниже дневной поверхности;
- оценка напряженно-деформированного состояния склонового массива.

Большой вклад в развитие теории и практики методического обеспечения геомониторинга состояния горных пород и грунтов геофизическими методами внесли Безродный К. П. [1], Вознесенский А. С. [11, 46 – 49], Горяинов Н. Н. [71], Кузнецов С. В. [127], Захаров В. Н. [74, 75], Исаев Ю. С. [22], Козырев А. А., Куксенко В. С. [69, 70], Курленя М. В. [41 – 42, 61, 62], Ляховицкий Ф. М. [71, 72], Мазеин С. В. [128 - 133], Никитин В. Н., Опарин В. Н. [61, 62], Ржевский В. В. [28, 50, 51], Тархов А. Г. [88], Турчанинов И. А. [67, 68], Хмелевской В. К. [73, 79, 81], Шкуратник В. Л. [31, 32, 80], Ямщиков В. С. [30 - 32], Яковицкая Г. Е. [30 - 32] и многие другие ученые. Геофизические исследования применяются для выделения области взаимодействия подземной выработки с вмещающим массивом; уточнения инженерно - геологических условий с выделением аномальных зон впереди забоя; контроля действия различных техногенных факторов и влияния их на состояние и свойства геологической среды, а также для выявления в массиве наиболее «активных» (деформируемых) участков; контроля состояния зон разгрузки вокруг подземных выработок; контроля НДС внутренних частей массива и выявления областей возможного развития необратимых деформационных и фильтрационных процессов; изучения деформационно-прочностных характеристик массива в натурных условиях при проходке.

Указанные задачи решаются путем наблюдения за изменением во времени и пространстве таких параметров искусственных и естественных геофизических полей как, например:

- кинематических и динамических характеристик продольных, поперечных, обменных и других волн (скорости и затухание, параметры поляризации и т. д. – можно использовать на основе формул теории упругости или эмпирических зависимостей для оценок модулей упругости и т.п.);
- удельного электрического сопротивления (для выделения зон водонасыщения, глинистости ...);
- характеристик прохождения электромагнитных волн;
- теплопроводности, акустической эмиссии и т. д.

Методы, использующие наблюдения за геофизическими полями давно применяются для контроля и прогнозирования геодинамических событий. На различных месторождениях СССР на протяжении долгого времени в процессе разведки, детальной и эксплуатационной, а также в действующих шахтах проводилось подробное изучение свойств угольных пластов с целью определения их склонности к динамическим и газодинамическим явлениям. По результатам этой оценки угольные пласты разделяют на неопасные, склонные к горным ударам, внезапным выбросам, обоим типам явлений [6]. Среди геофизических методов для оценки удароопасности горных пород наиболее часто используются [7]:

- ультразвуковой (диапазон частот свыше 16 – 20 кГц);
- сейсмический и сейсмоакустический: просвечивания, преломленных волн, томографический (диапазон частот 0,03 – 0,2 кГц);
- электрометрический (КС, ПЭЗ, ЕП);
- акустический (диапазон частот 2,0 – 20,0 кГц);

Для более полного и глубокого изучения динамики трещинообразования, и получения дополнительных сведений о процессе разрушения горных пород на различных стадиях подготовки динамических проявлений, необходим наряду с указанными выше методами, такой метод, который позволял бы, дополняя их, оперативно проводить оценку трещинообразования на локальных участках в подземных горных выработках. А также позволял бы производить бесконтактный съем интегральной информации о динамике роста трещин (изменение напряженно-деформированного состояния). Таким методом является метод регистрации электромагнитного излучения, практическому анализу которого, в рамках комплексного горнотехнического мониторинга, и посвящена данная работа.

1.3. ЭМИ при деформации и разрушении горных пород

В качестве метода оперативного контроля динамических проявлений горного давления, деформаций и разрушений горных пород и конструкций подземных сооружений в данной работе рассматривается бесконтактный метод, основанный на регистрации электромагнитного излучения. Источниками ЭМИ являются массивы горных пород, в которых под действием механических напряжений происходят необратимые деформации зерен минералов-диэлектриков (их массовое раскалывание), явления электроадгезии и когезии в зернах, трибоэлектризации поверхностей смещающихся зерен на стадии зарождения начальных микротрещин или деформации капилляров, заполненных электролитом (природной влагой). На стадии формирования очага разрушения и образования макро-разрывов электромагнитное излучение возникает в результате движения вершины и заряженных берегов трещин (механизм дипольного излучения зарядовой мозаики на бортах раскрывающихся трещин).

Возникновение сигналов ЭМИ происходит в диапазоне 1 кГц - 50 МГц (в данной работе рассматривается диапазон 20 - 50 кГц). Также работы по регистрации ЭМИ с целью мониторинга состояния окружающей среды (в частности для прогнозирования сейсмособытий) успешно проводятся в диапазоне 30 – 1200 Гц [89 - 92].

В работе [8], исследования электромагнитного излучения в радиочастотном диапазоне разделены на три масштабных уровня:

- **«Мелкомасштабный» уровень** – лабораторные наблюдения, которые подразделяются на два подуровня: квазистатический и динамический. Цель исследований на данном уровне – выявить основные физические закономерности возникновения ЭМИ при микро – трещинообразовании в лабораторных условиях и найти сходства и отличия между ЭМИ регистрируемом при различных динамических и квазистатических нагрузках [9, 10, 11].
- **«Среднемасштабный» уровень** – исследования ЭМИ при взрывах на карьерах, разрабатываемых открытым способом и в горных выработках с целью прогнозирования горных ударов и выбросов породы и газа. Также контроль и прогноз динамических явлений и изменений НДС в подземном строительстве. Исследования на этом уровне имеют своей целью прийти к пониманию различий ЭМИ регистрируемом в натурных условиях и ЭМИ фиксируемом на «мелкомасштабном» уровне в лабораторных экспериментах [12, 13, 14].
- **«Крупномасштабный» уровень** – предполагает изучение поведения ЭМИ в процессе зарождения землетрясений, извержений вулканов и др. В частности, метод

ЭМИ фиксирует образование микротрещин, то есть инициирующий процесс при развитии землетрясения, процесс, происходящий намного раньше, чем реальные движения в земной коре; исследование ЭМИ, таким образом, может оказаться полезным для прогнозирования землетрясений [15, 16, 27, 59, 60, 85, 134 - 136].

Данная работа в большей степени посвящена анализу результатов экспериментальной регистрации ЭМИ на среднемасштабном уровне - это непосредственно измерения ЭМИ в строящихся и действующих тоннелях в районе города Сочи (оценка изменения напряженно-деформированного состояния в конструкциях подземных сооружений и вмещающем массиве).

1.3.1. Обзор предыдущих исследований ЭМИ

Впервые электризацию при пластическом деформировании, наблюдал Степанов А. В. (1933 год) [86]. Он нагружал не склонные к проявлению пьезоэффекта кристаллы каменной соли и фиксировал появление электромагнитных импульсов в процессе деформации образцов [8]. В дальнейшем проводились исследования влияния условий деформирования и различных факторов (примесей, облучения, температуры, наличие внешнего электрического поля) на характер электризации ионных кристаллов в процессе их пластического деформирования [16]. Практического применения в то время это открытие не нашло.

Современные представления о природе ЭМИ были разработаны профессором Воробьевым А. А. в 1950-70 г.г. Интерес к этому методу, как индикатору разрушения горных пород возрос в 70-х годах, в связи с проблемой прогноза землетрясений. Оказалось, что при подготовке землетрясений характер возмущения ЭМИ имеет некоторые общие черты. Так, например, возрастание интенсивности ЭМИ происходит за часы и сутки до землетрясения, которое происходит на спаде или непосредственно после аномалии [7, 6]. Именно процесс неустойчивого деформирования горных пород, как в земной коре, так и на образцах, сопровождается возбуждением многочисленных механо-электрических преобразователей, причем динамичность и масштабность развития начальной стадии процесса разрушения определяет характеристики процесса ЭМИ [6]. Так, с ростом магнитуды землетрясения, то есть с ростом масштаба зоны подготовки и с возрастанием объема горных пород участвующих в деформировании, эффекты электромагнитной природы и ЭМИ, в частности, проявляются сильнее. Однако и при малых магнитудах землетрясений – порядка 1 – 3, при небольшой глубине залегания очага также возможно эффективно фиксировать аномалии ЭМИ [15, 16].

На ранней стадии практического использования метода, в Томском политехническом институте под руководством профессора Воробьева А. А., в лабораторных условиях

зафиксировано ЭМИ при механическом воздействии на диэлектрические материалы. Одними из первых исследований, в которых было обнаружено, с помощью приемного устройства, радиоизлучение, сопровождающее разрушение твердого тела, следует считать и работы других исследователей [Тюрикова Л. А., Авербух Б. Г. и др.]. В [16, 17] было выдвинуто предположение о том, что генерирование электромагнитных колебаний в радиоволновом диапазоне является убедительным доказательством развития электрического газового разряда в растущей трещине нормального отрыва. Согласно этой гипотезе процесс трещинообразования сопровождается накоплением разноименных зарядов на бортах трещин. При достижении разностью потенциалов по полю критической величины порядка 10^6 В/м происходит электрический пробой газовой среды между берегами трещины. Однако дальнейшие исследования пробойный характер излучения не подтвердили [6].

В дальнейшем явление ЭМИ было исследовано (как в России, так и за рубежом) при деформациях различных материалов, включая щелочно-галогенидные кристаллы, металлы и сплавы, монокристаллы, горные породы и лед. Наиболее интересные результаты были получены при проведении лабораторных и натурных исследований в ИФЗ РАН (Соболев Г.А., Пономарев А.В., Гохберг М.Б.[25, 26, 27]), в Томском ПУ (Воробьев А. А., Гольд Р.М., Матов Ш.Р. [93], Малышков Ю.П., Яворович Л.В., Беспалько А.А., Саломатин В.Н., Сальников В.Н. [33 – 40, 83 - 87]), во ВНИМИ (Скакун А. П., Проскуряков В. М., Шабаров А. П. [6, 77]), в ИГД СО РАН (Курленя М. В., Опарин В. Н., Яковицкая Г. Е., Кулаков Г. И., Вострецов А. Г. [41 - 43]), в КузГТУ (Тарасов В.В., Дырдин В.В.), в МГГУ (Ржевский В.В., Ямщиков В.С., Шкурятник В.Л., Вознесенский А. С., Набатов В. В., Тамарин Д. В. [28 – 30, 44 – 49, 50, 51, 121 - 126]), в МИФИ (Сурков В. В.[15]).

Аналогичные исследования проводились также за рубежом. Это Украина, Грузия, Армения, Казахстан, Узбекистан, Киргизия [7, 8, 12, 16, 82]. Важные результаты исследований по ЭМИ, заключающиеся в возникновении ультранизкочастотных излучений перед землетрясениями, а также закономерностей увеличения количества электромагнитных эмиссионных сигналов перед внезапными выбросами угля и газа были получены в США, Канаде, Японии, Китае, Индии, Израиле [7, 8].

В результате вышеперечисленных исследований была разработана гипотеза о возникновении ЭМИ горных пород в результате движения вершины и заряженных берегов трещин либо в процессе их прорастания или остановки роста. Скорость прорастания, накопления трещин по этой гипотезе функционально связана со скоростью нагружения, энергия зарядов зависит от электрофизических свойств горных пород. Исследование амплитудно-частотных характеристик подтвердило эту гипотезу [1].

Общность характера проявления эффектов электромагнитной природы на разных масштабных уровнях показана в [52, 53]. В работе [53] проводились исследования ЭМИ в процессе подготовки землетрясений и горных ударов на шахтах Ткибули (Грузия). Эти работы показали, что в обоих случаях уровень фона ЭМИ в диапазоне 40 – 100 кГц значительно превышает средний уровень.

ВНИМИ разработана методика регистрации активности ЭМИ в горных выработках [6, 20, 21]. Согласно этой методике выделение наиболее напряженных участков осуществляется по активности или амплитуде ЕЭМИ, измеряемых на одном пороге регистрации, в процессе профилирования выработок, а расстояние до максимума определяется с помощью каротажа скважин или регистрации ЭМИ при бурении. Эта методика в различных модификациях нашла применение на рудных месторождениях. Исследования проводились в СУБРе, Таштаголе, Норильске, Апатитах [7, 54].

Широкое развитие этого метода позволило расширить сферу его применения для прогноза цунами, оползней, а также оперативного контроля современных геомеханических процессов на границах блоков горных пород [7, 18, 19, 22].

Исследования ЭМИ в транспортном тоннелестроении для контроля динамических проявлений горного давления выполнялись при строительстве БАМа (ЦНИИС, ЛМГТ) [23, 24]. Метод ЭМИ в варианте регистрации интенсивности счета импульсов электромагнитного излучения применялся для решения задач опережающей бесскважинной разведки из забоев на Северомуйском тоннеле и для исследований с поверхности над трассами тоннелей БАМа для выявления зон тектонических нарушений и блоков горных пород с высоким уровнем напряжений. За период 1984 – 1987 г.г. был выполнен достаточно большой объем опытно-конструкторских работ, теоретических, лабораторных и натурных исследований, а также опытно-методические и производственные испытания метода в конкретных условиях проходки на тоннелях БАМа.

Применяемая в те годы аппаратура регистрации ЭМИ, фиксировала только количество импульсов в единицу времени, но не их амплитуды, что не позволяло даже качественно оценить энергию протекающего процесса и, следовательно, не отражало адекватно реальную ситуацию изменений НДС на участке наблюдений. Поэтому однозначной интерпретации результатов наблюдений не получалось, особенно, на новых участках с неизвестной динамикой изменения НДС. Для натурных наблюдений ЭМИ в рамках данной диссертационной работы использовалась современная аппаратура, позволяющая регистрировать как количество импульсов, так и их амплитудные характеристики.

В основном натурные измерения ЭМИ в то время были направлены на выявление электромагнитных импульсов связанных с крупными выбросами водно-грунтовых масс при проходке зон тектонических нарушений и проявлений геодинамических процессов в блоках горных пород с высоким уровнем тектонических напряжений, где происходили явления интенсивного трещинообразования. Энергия и масштабы проявления геодинамических процессов на Сочинских тоннелях были не такими большими как на тоннелях БАМа. Процессы, связанные с генерацией ЭМИ, существенно отличались и из-за различий в горно-геологических условиях и различия механизмов разрушения изверженных кристаллических и осадочных метаморфизованных пород.

В работах предшественников рассмотрены вопросы влияния помех различного рода на результаты регистрации ЭМИ. В частности, в работах Защинского Л. А., Саломатина В. Н., Мастова Ш. Р., Соболева Г. А. и др. [12, 25, 26, 37] было показано, что пьезоэлектрический и пьезомагнитный эффекты также могут изменять свой ход под действием механических напряжений и вызывать электромагнитные возмущения в среде, но будучи связаны со слабой поляризацией, они не сопровождаются доступными простому измерению вариациями электромагнитных полей, и обычно, при изучении ЭМИ, рассматриваются как фон, на котором проявляются возмущения связанные с необратимыми деформациями. Состояния избыточной электризации, вызываемые в геологических средах механическими напряжениями, неустойчивы и быстро релаксируют. Процессы релаксации в ближней зоне источников сопровождаются проявлениями заметных токов проводимости и индуцируемых ими магнитных полей; в дальней зоне наблюдаются возмущения полей волнового характера, трудно отличимые от промышленных помех, меняющихся естественных электрических полей, полей ближних и дальних атмосфериков, излучения магнитосферы и ионосферы и полей ближних и дальних радиостанций. Поэтому для практических целей ЭМИ изучается, как правило, в ближней зоне.

В «Указаниях по применению метода естественного электромагнитного излучения» [20] разработанных ВНИМИ, определяются пути минимизации помех при регистрации ЭМИ. В частности, регламентируется расстояние от места регистрации до работающих электрических машин и оборудования, ориентация датчика (рамочной антенны) относительно оси выработки, количество контрольных измерений и др.

В данной диссертационной работе были применены положения этих "Указаний...". Кроме того, применяемая в ходе проводимых исследований современная аппаратура, позволяет устранять гармоническую составляющую поля (промышленная частота 50 Гц и ее гармоники) с помощью фильтров антенны и блока регистрации, выполнять учет влияния

регулярной импульсной составляющей помех (промышленные помехи, атмосферика и др.), который выполняется автоматически по выборке сигналов во время каждого наблюдения

Наиболее интенсивно ЭМИ проявляется в геологических процессах, протекающих вблизи земной поверхности и в значительных объемах горных пород, что имеет место и при оползнях. Благодаря связи доступных наблюдению параметров ЭМИ с кинетикой оползневых движений, на таких наблюдениях уже достаточно давно предложено базировать методы прогнозирования и исследований оползневых явлений (Защинский Л. А., Саломатин В. Н. Матов Ш. Р. и др [12, 25, 26, 37]).

1.3.2. Модели разрушения горных пород, основные гипотезы возникновения ЭМИ

В настоящее время существует около тринадцати гипотез возникновения электромагнитного излучения при деформации горных пород. Согласно основным из них, импульсы ЭМИ могут возникать: вследствие эмиссии электронов с берегов растущей трещины; благодаря неравномерному – ускоренному движению зарядовой мозаики по берегам растущей трещины; при нарушении связей двойных электрических слоев вблизи поверхности разрыва. При этом наиболее существенный вклад в ЭМИ вносит излучение зарядов, движущихся с вершиной прорастающей трещины, а также движущимися дислокациями при деформировании [7, 55].

Процесс возникновения электромагнитного излучения можно разделить на три стадии. Первая из них – зарождение микротрещин. Микротрещины образуются со скоростями, близкими к звуковым [56, 57]; их размеры коррелируют с размерами структурных элементов, а энергия активации зарождения микротрещин близка к энергии межатомных связей. Далее микротрещина стабилизируется (вторая стадия), и ее развитие может наступить только при изменении условий для обеспечения нового неустойчивого состояния. В механически напряженном теле возникают зародышевые микротрещины, стабилизирующиеся на границах структурной неоднородности. С этих позиций дальнейшее разрушение может развиваться двумя путями (третья стадия). Во-первых, если стабилизация начальных микротрещин оказывается неполной, то некоторые из них будут подрастать, что может привести в конечном итоге к образованию магистральной трещины. Если же стабилизация начальных трещин оказывается полной, то основным последующим этапом в разрушении будет процесс их накопления [16, 7, 52, 58 - 60].

Также к настоящему времени, на основании явления зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок многими исследователями достаточно часто используется модель, основанная на возникновении систем, так называемых

субпараллельных и субортогональных трещин вокруг подземных горных выработок, предложенная и разработанная в ИГД СО РАН под руководством Опарина В. Н. [61, 62].

Разрушение твёрдых тел под нагрузкой рассматривается не как единовременное критическое событие, а как временной процесс постепенного накопления деструкций материала в виде разрыва структурных связей. Механическая сила, приложенная к телу, не вызывает распада всех межатомных (или межмолекулярных) связей, а лишь деформирует их и приводит к увеличению амплитуды флуктуаций. Поскольку сами флуктуации имеют случайный характер, то случайный (статистический) характер приобретает и сам процесс разрушения. Данные представления, впервые высказанные Журковым С.Н. [63], получили название **кинетической концепции прочности**, которая нашла применение в описании явления разрушения и его прогнозирования. Систематические исследования в этом направлении были начаты в лаборатории физики прочности Физико-технического института им. А.Ф.Иоффе АН СССР в начале 1950-х годов [64, 65]. Основным результатом явились следующие положения: общим решением уравнения скорости роста концентрации разрушенных структурных элементов (микротрещин) с учётом неоднородности механического состояния материала является выражение:

$$\dot{N}(t) = C_0 \int_{\mu}^{\mu + \Delta\omega} \Psi(\omega) \left\{ 1 - \exp \left[- \int_0^t dt' / \theta(\omega(t')) \right] \right\} d\omega \quad (1.1)$$

где $\Psi(\omega)$ - функция плотности распределения значений величины $\omega = \gamma\sigma/KT$ по структурным элементам, описываемая уравнением Вейбула или логарифмически-нормальным распределением; μ - нижняя граница изменения его аргумента; $\Delta\omega$ - доверительный интервал разброса значений ω по структурным элементам. Ограничения распределения отражают физическую природу минимально и максимально возможной прочности структурных элементов, а значения параметров распределения определяют степень неоднородности механического состояния материала объекта [64].

В некоторый момент времени $t = t^*$ концентрация C достигает критической величины C^* , при которой разрушение каждого структурного элемента уже существенно влияет на напряжённое состояние вокруг соседнего уже ранее разрушенного. Это может привести к объединению микротрещин и образованию кластера - области разрушенных связей, размеры которого связаны с размерами объединяемых структурных элементов. Если размеры кластера не являются опасными, то дальнейшее разрушение переходит на следующий, более крупномасштабный этап дисперсного разрушения в виде накопления

концентрации кластеров данного размера. Этот этап разрушения описывается теми же закономерностями и также лимитируется моментом накопления критической концентрации областей разрушений с размером рассматриваемого кластера. Этапы дисперсного разрушения сменяют друг друга до тех пор, пока размер очередного кластера не станет опасным, при котором дальнейшее разрушение становится локализованным и происходит в виде прорастания опасного кластера (трещины) в поле создаваемых им перенапряжений вплоть до полного разделения тела на части. Характерно, что соотношение критической концентрации C^* и начальной концентрации C_0 структурных элементов в материале не зависит от вида материала или размеров твёрдого тела и находится в пределах $10^{-1}+10^{-2}$. Установлено также, что этап прорастания трещины является неоднородным. Трещина растёт "скачками", в период между которыми в области непосредственного влияния трещины происходит мелкодисперсное накопление концентрации микротрещин по описанным законам делокализованного разрушения [63, 64]. Достоинством изложенной концепции является возможность прогнозирования момента разрушения и неразрушающего контроля прочности на основе экспериментального определения входящих в уравнение $C(t)$ параметров. Инвариантность соотношения $C^*/C_0 \approx 10^{-2}$ позволяет рассчитать момент разрушения τ^* на основе экспериментального наблюдения за зависимостью $C(t)$ в начальные (предшествующие окончательному разрушению) временные интервалы. Такое наблюдение возможно, в частности, с помощью регистрации создаваемых образованием микротрещин упругих волн, излучаемых с поверхности твёрдого тела и улавливаемых специальными пьезодатчиками (метод акустической эмиссии) [64], а также с помощью регистрации электромагнитной эмиссии.

На основании показанных выше модельных представлений в [7, 65, 66] предполагается, что возникающее при зарождении и прорастании трещин электромагнитное излучение генерируется источниками, которые могут быть образованы областями с повышенной и пониженной плотностью заряженных дислокаций, а также движением зарядовой мозаики по берегам растущей трещины. Колебательное перемещение электрических зарядов в этих областях, приводит к возникновению электрического тока, сопровождающего прорастающую трещину (см. рис. 1.3), изменение геометрических размеров которой связывают с излучаемой в широком диапазоне частот электромагнитной энергией.

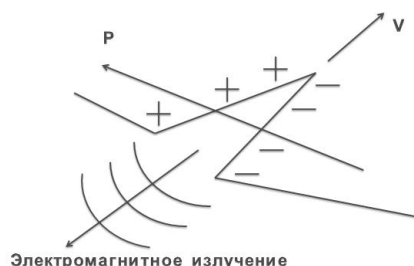


Рисунок 1.3. – Модель излучения электромагнитного сигнала горной породой при разрушении.
Появление электрических зарядов на бортах образующейся трещины

1.4. Постановка задач исследований

Метод ЭМИ разрабатывался, главным образом, для исследований и прогноза таких крупных геодинамических событий как горные удары на рудниках и шахтах пройденных на больших глубинах, а также землетрясений [76 – 78, 85]. Основой метода ЭМИ являлись лабораторные исследования на образцах горных пород, однако, перенос результатов полученных на образцах на массив горных пород всегда имел определенные трудности из-за необходимости учета масштабного эффекта. Также всегда существует проблема определения начала подготовки геодинамического события (как в горных выработках, так и в отношении деформаций в результате суффозионных и оползневых процессов), так как от этого зависит насколько надежно и своевременно можно отслеживать процесс изменения НДС и его направленность, чтобы применять необходимые меры предупреждения опасных последствий. Кроме этого, не были выработаны количественные взаимосвязи ЭМИ с геомеханическими параметрами для прогноза развития геодинамических процессов на начальных стадиях деформирования.

Таким образом, выбранная тема исследований предусматривает обоснование закономерностей проявления слабых деформаций крепей и вмещающих массивов на начальных этапах деформирования с вариациями параметров электромагнитного излучения. Данная тема также подразумевает разработку методики, которая позволяет в непрерывном режиме решать задачи контроля развития деформаций в крепях подземных объектов неглубокого заложения, контролировать и прогнозировать деформирование вмещающих пород и земной поверхности на всех этапах строительства и во время эксплуатации по регистрации электромагнитного излучения горных пород. Оперативное выявление наиболее деформируемых областей во вмещающем массиве на ранней стадии методом регистрации электромагнитного излучения позволит заблаговременно выполнить в этих зонах комплекс

маркшейдерских, геомеханических, геофизических и других обследовательских работ и перейти к принятию обоснованных инженерных мер.

Таким образом, основными задачами исследований данной работы являются:

1. Обосновать применение метода регистрации электромагнитного излучения для обнаружения и контроля изменений напряженно-деформированного состояния крепи и вмещающего массива при напряжениях 5-20% от разрушающих.

2. Установить количественные взаимосвязи вариаций электромагнитного излучения и напряженно-деформированного состояния при изменениях напряжений 5-20 % от разрушающих.

3. Оценить возможность прогноза местоположения и момента сдвижения (отрыва) тела оползня, а также контроля процесса деформации вмещающего массива в местах деятельности суффозионных процессов при регистрации электромагнитного излучения по профилям на припортальных склонах.

4. Разработать количественные критерии для оперативной оценки геодинамической активности массива горных пород в горной выработке.

5. Разработать методику оперативной идентификации и прогнозирования геомеханических процессов в массиве горных пород и грунтов по регистрации электромагнитного излучения.

Глава II. Модели, методы и объекты исследований

2.1. Модель ЭМИ, применяемая в данной работе

Для разработки модели, рассмотрены основные взаимосвязи электромагнитного излучения (ЭМИ) с напряженно-деформированным состоянием (НДС) опытных образцов и реальных горных пород в натурных условиях, а также основные закономерности изменения ЭМИ в зависимости от влияния перераспределения напряжений в массиве.

В ряде работ [7 – 9, 16 - 18, 56, 58 – 60, 64] посвященных методам, основанным на регистрации электромагнитных излучений, бесспорными положениями являются следующие:

1. Процесс возникновения электромагнитного излучения при наиболее общих подходах обуславливается тремя стадиями: I. зарождение начальных микротрещин, II. их переход к формированию очага разрушения и III. последующий макро-разрыв.
2. Формирование очага разрушения отделено во времени от самого акта разрушения.
3. Этап формирования очага разрушения сопровождается активизацией процессов взаимодействия, группирования и накопления микротрещин.
4. Активизация процесса накопления микротрещин определяет увеличение потока электромагнитной энергии из очага готовящегося разрушения.
5. В качестве преобразователя механической энергии в электрическую, при землетрясениях и динамических проявлениях горного давления выступает механизм дипольного излучения зарядовой мозаики на бортах раскрывающихся трещин.
6. Генерация ЭМИ - процесс по своей природе динамический, следовательно, активизация процесса деформирования участков массива перед горными ударами или поверхностных слоев Земли перед землетрясениями увеличивается.
7. Возникновение сигналов ЭМИ происходит в диапазоне 1 кГц - 50 МГц (в данной работе рассматривается диапазон 20 – 60 кГц).

Перечисленные выше положения и определили возможность разработки метода ЭМИ и многочисленных средств контроля изменений [1, 6, 7, 8, 9, 16, 19, 20, 114] напряженно-деформированного состояния горных пород и прогноза геодинамических событий по регистрируемым параметрам электромагнитного излучения.

2.2. Методика исследований (организация эксперимента)

Для контроля геодинамического состояния горного массива и крепей горных выработок, зон возможных вывалов, выбросов, мест возникновения горных ударов в рамках системы комплексного горнотехнического мониторинга на строящихся и действующих

тоннелях в Сочинском регионе проводились режимные наблюдения бесконтактным методом ЭМИ.

В тоннелях, штольнях и других вспомогательных горных выработках проводилось профилирование методом ЭМИ, с целью выявления в массиве наиболее «активных» (деформируемых) участков [1]. При профилировании с шагом 5 – 10 метров, измерялась вертикальная и горизонтальная компоненты поля ЭМИ (измерение двух компонент является достаточным условием обнаружения аномалии поля при любой ориентации микротрещин в массиве горных пород).

В комплексе с другими методами системы горнотехнического мониторинга (инженерная сейсморазведка, электроразведка, сверхширокополосное (СШП) – зондирование и др.), методом ЭМИ производилась оценка устойчивости оползневых склонов, оценивался уровень геодинамической активности массива в местах просадок земной поверхности, связанных с оползневой деятельностью, суффозионными явлениями, строительством подземных сооружений.

Выполнялась регистрация вариаций ЭМИ на забоях тоннелей, разрабатываемых по новоавстрийской технологии горным способом методом нижнего уступа, с целью качественной оценки устойчивости призабойной зоны и лба забоя. В рамках данной работы, также производилась регистрация вариаций поля ЭМИ в комплексе с наблюдениями за НДС в строящемся тоннеле №6 бис, с целью изучения количественной взаимосвязи параметров поля ЭМИ с параметрами НДС. В тоннеле №6 бис измерения ЭМИ одновременно с измерением НДС в натурных условиях выполнялись с июня 2011 года по август 2012 года. В результате анализа данных и их обработки выполнялось построение графиков распределения ЭМИ и изменения НДС. Также велись регулярные промеры деформаций крепи тоннеля и поверхностных марок маркшейдерами. В результате строились графики деформаций. После этого вся информация подвергалась комплексному анализу в рамках программы горнотехнического мониторинга.

2.3. Геомеханическая модель, применяемая в данной работе

Взаимосвязь НДС крепи и массива. Горные выработки, в которых проводились натурные измерения НДС и регистрация ЭМИ в рамках данной диссертационной работы – это транспортные тоннели, возводимые горным способом. Наиболее прогрессивным методом при строительстве подземных сооружений горным способом является новоавстрийский способ проходки тоннелей (НАТМ) [94 - 99]. Основоположниками новоавстрийского метода являются проф. Л. фон Рабцевич и проф. Л. Мюллер [96]. Технология НАТМ крепления выработки заключается в создании специальной торкрет-крепей, удерживаемой стержневой анкерной системой, сооружаемой с максимальным вовлечением в работу вмещающего массива грунта (рис. 2.1). По этому способу возводят двухслойную обделку замкнутого очертания. Первичная обделка выполняется из набрызг-бетона толщиной 10 - 20 см и усиливается стальными арками или анкерами, а вторичная - из монолитного бетона или набрызг-бетона толщиной 25 - 35 см. При строительстве тоннелей с применением НАТМ эффективными оказываются ребристые обделки из набрызг-бетона, усиленные решетчатыми арками. При этом вместо дорогостоящей прокатной, профильной стали используются армирующие элементы из сварных арматурных каркасов различного поперечного сечения. Породный массив вокруг подземной выработки является, по существу, несущим элементом крепи [99, 100].

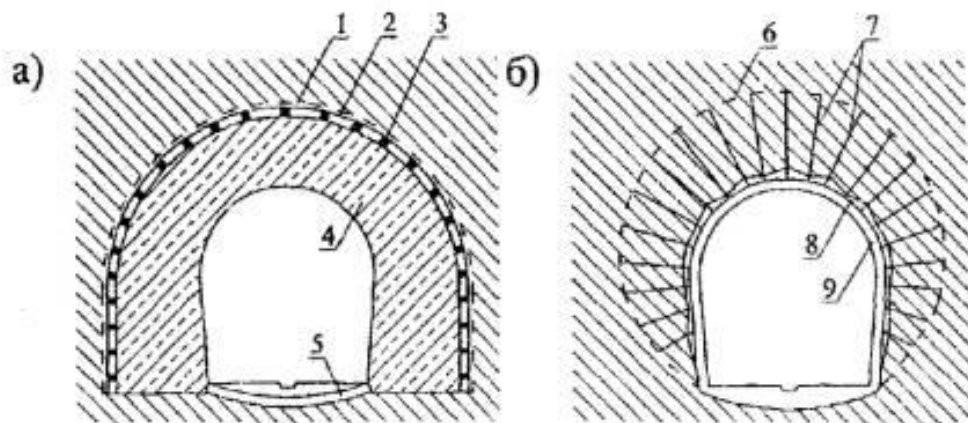


Рисунок 2.1 - Сравнение конструкций обделок, выполняемых горным способом и новоавстрийским методом [100]

а) горный способ: 1 - деревянная затяжка; 2 - стальная арка; 3 - рошпаны; (1, 2, 3 - составляют временную крепь, расположенную вне постоянной обделки); 4 - бетонная или железобетонная постоянная обделка; 5 - обратный свод

б) новоавстрийский метод: 6 - несущий породно-анкерный свод; 7 - анкеры; 8 - наружный слой обделки из набрызг-бетона толщиной 5 - 15 см (вместе с анкерами служит временной крепью); 9 - внутренний слой постоянной обделки из набрызг-бетона или бетона толщиной 15 - 35 см

Основным требованием при строительстве подземных сооружений методом НАТМ является проведение мониторинга за поведением грунтового массива, как в проводимой горной выработке, так и на земной поверхности (маркшейдерские, геофизические, геомеханические и другие измерения). Сбор, оценка, оптическая и письменная индикация данных наблюдений проводятся с использованием компьютерной техники и с применением высокоточного математического аппарата. Основным условием при проведении мониторинга является немедленное представление результатов измерений руководству стройки и органам технического надзора для принятия неотложных мер. Способ НАТМ благодаря техническим и экономическим преимуществам в течение последних 10 - 15 лет стал стандартным в области подземного строительства.

Вообще в механике подземных сооружений крепь рассматривается как элемент совместно деформируемой системы «крепь-массив», взаимодействующие друг с другом под влиянием внешних нагрузок и воздействий. Основные виды воздействий, которым подвергается система «крепь-массив» следующие: собственный вес пород (горное давление), тектоническое поле начальных напряжений, внешнее гидростатическое давление подземных вод, внутренний напор (для напорных тоннелей и шахт), сейсмические воздействия землетрясений [99], в данной диссертационной работе НДС вмещающего выработку массива считается пропорциональным непосредственно определяемому НДС крепи выработки.

НДС крепи определяется по деформациям замоналичиваемых струнных датчиков, которые в последствии пересчитываются в нормальные тангенциальные напряжения, действующие в крепи (схема установки датчиков и расчет деформация-напряжение см. раздел 2.4.2). Эти напряжения пропорциональны напряжениям, действующим в окружающем выработку массиве. Исходя из этого утверждения, в данной работе показывается возможность оценки и прогнозирования изменения НДС крепи и массива по регистрации электромагнитного излучения, источником которого являются горные породы вмещающего массива.

Нормальные тангенциальные напряжения. В [99] рассматривается классическая задача теории упругости о напряженно-деформированном состоянии упругого кругового кольца (рис. 2.2).

Напряжения на внешнем и внутреннем контурах кольца заданы и описываются выражениями:

$$\begin{aligned} p(i) &= p_0(i) + p_2(i) \cos 2\theta; \\ q(i) &= q_2(i) \sin 2\theta, \end{aligned} \quad (2.1)$$

где i – индекс,

принимая значения 0 и 1, для

обозначения соответственно внутреннего L_0 или внешнего L_1 контура; $p_{(i)}$ – нормальные (радиальные) напряжения; $q_{(i)}$ – касательные напряжения.

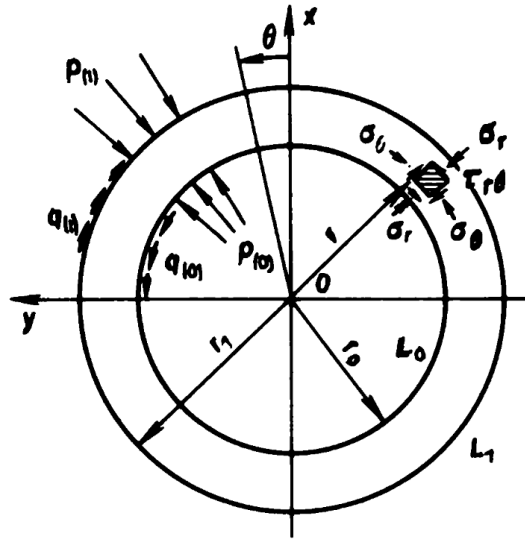


Рисунок 2.2 – Схема к расчету упругого кольца

Нормальные тангенциальные напряжения на внутреннем и внешнем контурах кольца определяются выражениями:

$$\sigma_{\theta} \text{ in} = p_{0(1)} m_1 - p_{0(0)} m_2 - (p_{2(1)} n_1 - q_{2(1)} n_2 - p_{2(0)} n_3 + q_{2(0)} n_4) \cos 2\theta; \quad (2.2)$$

$$\sigma_{\theta} \text{ ex} = p_{0(1)} m'_1 - p_{0(0)} m'_2 + (p_{2(1)} n'_1 - q_{2(1)} n'_2 - p_{2(0)} n'_3 + q_{2(0)} n'_4) \cos 2\theta, \quad (2.3)$$

где

$$\begin{aligned} m_1 &= \frac{2c^2}{c^2 - 1}; \quad m_2 = m_1 - 1; \\ m'_1 &= m_2; \quad m'_2 = m_1 - 2; \\ n_1 &= 2m_1 m_2; \quad n_2 = m_1 m'_2; \\ n_3 &= \frac{c^4 + 6c^2 + 1}{(c^2 - 1)^2}; \\ n_4 &= 2 \frac{c^4 + 2c^2 - 1}{(c^2 - 1)^2}; \quad n'_1 = n_3; \\ n'_2 &= 2 \frac{-c^4 + 2c^2 + 1}{(c^2 - 1)^2}; \quad n'_3 = 2m_2 m'_2; \\ n'_4 &= n_2; \quad c = r_1/r_0. \end{aligned}$$

Под действием напряжений (2.1) кольцо деформируется, при этом точки внешнего и внутреннего контура испытывают перемещения, описываемые формулами:

$$\begin{aligned} u_{(i)} &= u_{0(i)} + u_{2(i)} \cos 2\theta; \\ v_{(i)} &= v_{2(i)} \sin 2\theta, \end{aligned} \quad (2.4)$$

где $u_{(i)}$ – радиальные перемещения; $v_{(i)}$ – тангенциальные (окружные) перемещения. Значения индекса i то же, что и в выражениях (2.1).

Параметры перемещений, входящие в выражения (2.4), определяются по формулам:

$$u_{0\text{ in}} = \frac{r_0}{4G(c^2 - 1)} (p_{0(1)} d_1 - p_{0(0)} d_2); \quad (1.67)$$

$$u_{0\text{ ex}} = \frac{r_1}{4G(c^2 - 1)} (p_{0(1)} d'_1 - p_{0(0)} d'_2);$$

$$\begin{aligned} (u_2 + v_2)_{in} &= \frac{r_0}{6GD} \times \\ &\times (p_{2(1)} a_1 - q_{2(1)} a_2 - p_{2(0)} a_3 + q_{2(0)} a_4); \end{aligned} \quad (1.68)$$

$$\begin{aligned} (u_2 - v_2)_{in} &= \frac{r_0}{2GD} \times \\ &\times (p_{2(1)} a'_1 - q_{2(1)} a'_2 - p_{2(0)} a'_3 + q_{2(0)} a'_4); \\ (u_2 + v_2)_{ex} &= \frac{r_1}{6GD} \times \end{aligned}$$

$$\times (p_{2(1)} b_1 - q_{2(1)} b_2 - p_{2(0)} b_3 + q_{2(0)} b_4);$$

$$\begin{aligned} (u_2 - v_2)_{ex} &= \frac{r_1}{2GD} \times \\ &\times (p_{2(1)} b'_1 - q_{2(1)} b'_2 - p_{2(0)} b'_3 + q_{2(0)} b'_4), \end{aligned} \quad (1.69)$$

где

$$\begin{aligned} d_1 &= c^2 (\kappa + 1); \quad d_2 = 2c^2 + \kappa - 1; \\ d'_1 &= c^2 (\kappa - 1) + 2; \quad d'_2 = \kappa + 1; \end{aligned}$$

κ – коэффициент вида напряженного состояния, принимающий значения:

при плоском напряженном состоянии:

$$\kappa = \frac{3 - \nu}{1 + \nu};$$

при плоской деформации:

$$\begin{aligned}
 \kappa &= 3 - 4\nu \\
 a_1 &= c^2 (3 + c^2); \\
 a_2 &= c^2 (3 - c^2); \\
 a_3 &= 3c^2 + 1 + D; \\
 a_4 &= 3c^2 - 1 - D; \\
 a'_1 &= c^2 (2c^4 + c^2 + 1); \\
 a'_2 &= c^2 (c^2 + 1); \\
 a'_3 &= c^2 (c^4 + c^2 + 2) - D; \\
 a'_4 &= c^4 (c^2 + 1) - D; \\
 b_1 &= c^4 (3 + c^2) - D; \\
 b_2 &= c^4 (3 - c^2) + D; \\
 b_3 &= c^2 (3c^2 + 1); \\
 b_4 &= c^2 (3c^2 - 1); \\
 b'_1 &= 2c^4 + c^2 + 1 + D; \\
 b'_2 &= c^2 + 1 + D; \\
 b'_3 &= c^2 (c^2 + 1) + 2; \\
 b'_4 &= c^2 (c^2 + 1); \\
 D &= \frac{(c^2 - 1)^3}{\kappa + 1}.
 \end{aligned}$$

Алгоритм расчета напряжений в массиве пород в окрестности выработок некруглого сечения разработан проф. Н. Н. Фотиевой [99].

Наиболее простым среди некруглых сечений выработок является эллиптическое сечение (рис. 2.3).

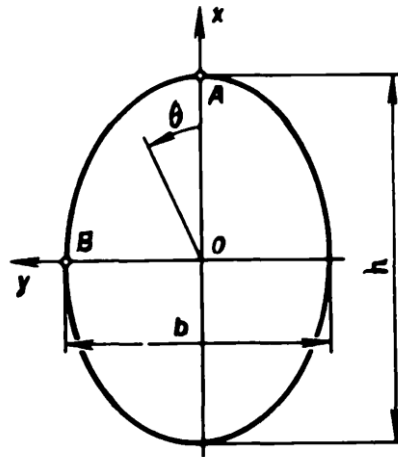


Рисунок 2.3 – Эллиптическое сечение выработки

Нормальные тангенциальные напряжения на контуре эллиптического сечения описываются выражением:

$$\sigma_{\theta} = \gamma H \frac{(1 + \lambda)(1 - m^2) - 2(1 - \lambda)(\cos 2\theta - m)}{1 - 2m \cos 2\theta + m^2}, \quad (2.5)$$

где

$$m = (h - b) / (h + b);$$

h и b – высота и пролет выработки.

На рисунке 2.4 показаны эпюры нормальных тангенциальных напряжений на контуре сечения сводчатой выработки (с пологим лотком) при различных коэффициентах бокового давления в массиве.

На рисунке 2.5. показано изменение нормальных тангенциальных напряжений $\sigma_{\theta}/\gamma H$ на контуре выработки большого сечения в массиве с коэффициентом бокового давления $\lambda = 0,5$ при поэтапном раскрытии профиля. Вначале раскрывается верхняя часть сечения (калотта, рис. 2.5, а), затем выработка раскрывается на полный профиль (рис. 2.5, б), при этом напряжения в стенах выработки уменьшаются. Огибающая эпюр напряжений 3 (рис. 2.5, б) дает представление о величине нормальных тангенциальных напряжений, которым подвергались породы на всех стадиях строительства выработки.

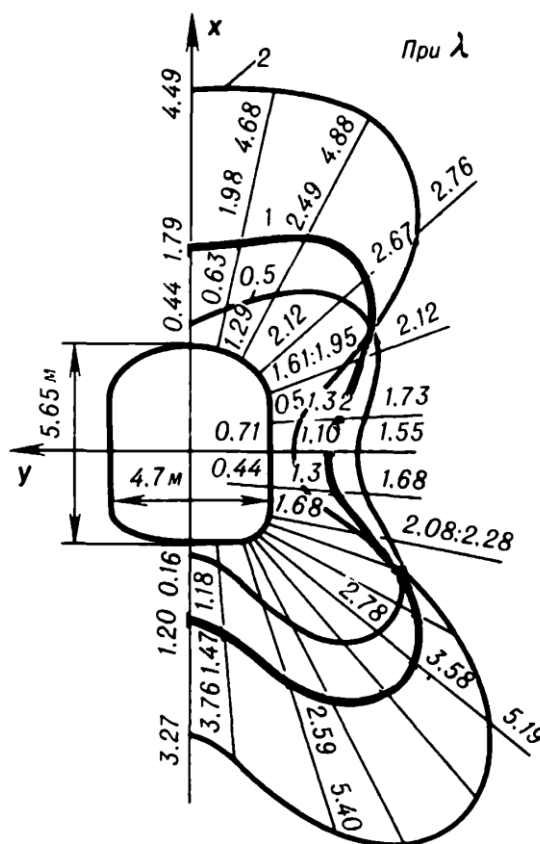


Рисунок 2.4 – Эпюры нормальных тангенциальных напряжений $\sigma_{\theta}/\gamma H$ на контуре сечения выработки при различных значениях коэффициента бокового давления в массиве λ

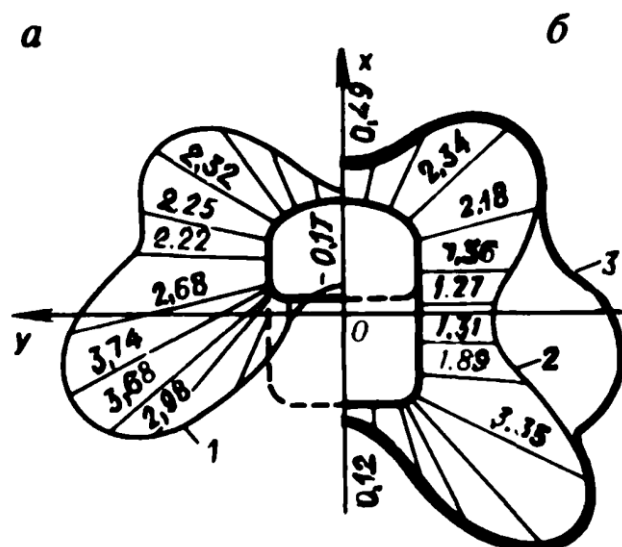


Рисунок 2.5 – Эпюры нормальных тангенциальных напряжений $\sigma_{\theta}/\gamma H$ на контуре сечения выработки ($\lambda=0,5$) при поэтапном раскрытии сечения: а – раскрытие верхней части выработки (калотты); б – полное раскрытие профиля: 1 – на первом этапе; 2 – на втором этапе; 3 – огибающая напряжений

2.4. Описание используемых методик и аппаратуры

2.4.1. Комплекс методов системы горнотехнического мониторинга

Комплекс методов системы изысканий и горнотехнического мониторинга для выявления и изучения тектонических нарушений, оценки и прогноза их современной геодинамической активности включает в себя следующие геофизические, геомеханические и геодезические методы:

- сейсморазведка в варианте непрерывного профилирования на преломленных волнах (МПВ);
- электроразведка (ВЭЗ, СГ, СДВР и др.);
- георадиолокация методом сверхширокополосного импульсного зондирования;
- геомеханические наблюдения (прямые измерения деформаций крепей);
- геодезические методы контроля смещений реперов и инклинометрия скважин;
- регистрация электромагнитного излучения (ЭМИ).

Полевые сейсмические наблюдения с помощью 24-х канальной сейсмостанции типа МСС-1 выполнялись по методике непрерывного сейсмопрофилирования методом преломленных (МПВ) и рефрагированных волн. Шаг между сейсмоприемниками 5 м. При проведении работ использовалась 7-и точечная система наблюдений с возбуждением колебаний ударным способом. Регистрация велась на открытом канале с частотой оцифровки

– 2,0 кГц, для усиления полезного сигнала использовалось накопление. Сейсмоприемники устанавливались в грунт. Кроме того, были выполнены работы по сеймопросвечиванию.

На стадии первичной обработки, с помощью «прикладного» программного обеспечения сеймостанции, снимались времена первых вступлений и первых фаз продольной (P) и поперечной (S) (или релеевской (R)) волн, возникающих в массиве горных пород. Проводилась увязка взаимных времен прослеженных волн. Строились годографы первых вступлений продольных, поперечных и (или) релеевских волн, по которым определялись скорости в верхней части разреза. Рассчитывались разностные годографы, по которым определялись граничные скорости для разных типов волн, что в последующем на стадии интерпретации позволяло контролировать результаты машинной обработки сейсмических материалов. Необходимо заметить, что первичная обработка материалов сейсмических наблюдений осложнена тем, что полезный сигнал присутствует на фоне многочисленных техногенных помех (работы в условиях города). Всё это потребовало использования дополнительных фильтров полученного сигнала.

Дальнейшая обработка наблюденных материалов производилась с использованием пакета программ сейсмической томографии. Результатами обработки являются скоростные разрезы по P - и S (R)-волнам.

Необходимо заметить, что сеймотомографические разрезы строятся программой обработки, исходя из правил геометрической сеймики, где не учитывается длина волны. Преломленная волна (головная) по опорному преломляющему горизонту распространяется не по границе контакта, а по самому опорному (высокоскоростному) горизонту и несет информацию обо всем массиве пород верхней части опорного горизонта, захватываемых при прохождении волны (в нашем случае, как правило, горизонта относительно «сохранных» пород). Массив пород, захватываемый волной, определяется длиной этой волны. Длина волны (в данном случае «головной») определяется как частное от деления скорости прохождения данной волны на ее частоту. На данном объекте частота продольных головных волн составляет порядка 100 Гц $\pm$ 50 Гц. Скорости продольных волн по опорному (относительно «сохранные» породы) горизонту составляют, как правило, 2000 м/с и выше. Полученная длина волны в среднем равна не менее 20 м. Таким образом, мы получаем характеристики пород на глубину ниже последнего, имеющегося на томографическом разрезе, горизонта более чем на 20 м.

Для определения физико-механических и деформационных параметров горных пород использовались стандартные методики и известные из теории упругости соотношения и зависимости [101].

Полевые электроразведочные измерения осуществлялись аппаратурой СЭР-1. Величина тока в питающей линии, в зависимости от условий заземлений АВ, составляла 20-100 мА, что обеспечивало устойчивые измерения разности потенциалов ΔU между точками М и N. Работы выполнялись на частоте 19.5 Гц. Дальнейшая обработка материалов для получения электротомографического разреза по профилям выполнялась с помощью компьютерной программы RES2DINV, которая автоматически находит двумерную (2-D) модель сопротивления среды для данных, полученных с помощью томографических методик [102 - 106]. В результате обработки получали томографическую двумерную (2-D) модель сопротивления среды в Ом·м.

Исследования методом **электромагнитного импульсного сверхширокополосного зондирования (ЭМИ СШП)**, основанного на синтезировании изображения структуры геологического разреза или инженерного сооружения по отраженному сигналу при распространении электромагнитного импульсов наносекундной длительности, проводились сотрудниками НПФ «Геодизонд». Данный метод позволяет при измерениях в фиксированных точках дневной поверхности подробно дифференцировать различные инженерно-геологические элементы в разрезе и идентифицировать их на основе собственных геоэлектрических свойств.

Метод регистрации ЭМИ. Для оперативного контроля геодинамического состояния горного массива и конструкций горной выработки, зон возможных вывалов, выбросов, мест возникновения горных ударов в рамках системы горнотехнического мониторинга на строящихся и действующих тоннелях в Сочинском регионе проводились режимные наблюдения нетребующим контакта с исследуемым массивом методом ЭМИ на этапах изысканий, строительства и эксплуатации транспортных тоннелей. Использовался прибор «АНГЕЛ» разработки ВНИМИ и прибор ЕЭМИ-ПМ (созданный на основе аппаратуры «АНГЕЛ») разработки НИПИИ «Ленметрогипротранс» и НПП «ЭРА».

Комплекс для регистрации ЭМИ (рис. 2.6) – «Ангел» предназначен для оценки параметров нестационарных геофизических полей, связанных с разрушением горных пород. В шахтных условиях комплекс используется для контроля устойчивости горных пород, а также экспресс – прогноза удароопасности участков массива. Базовое назначение комплекса – анализ переменного магнитного поля на контролируемом участке выработки, определение обобщенных показателей импульсного естественного излучения горных пород в зоне опорного давления.

Комплекс выполнен во взрывозащищенном исполнении с уровнем и видом взрывозащиты «РО Ia X» по ГОСТ 12.2.020-78, ГОСТ 2783.0-81 и ГОСТ 22782.5-78 и в пылевлагозащищенном исполнении IP54 по ГОСТ 14254-80. Комплекс может применяться

для работы в горных выработках, в том числе опасных по газу, пыли и внезапным выбросам. Комплекс относится к переносной аппаратуре индивидуального использования. Технические данные комплекса для регистрации электромагнитного излучения АНГЕЛ указаны в таблице 2.1.



Рисунок 2.6 – Комплекс регистрации ЭМИ «Ангел»

Аппаратура АНГЕЛ в автоматическом режиме выполняет в течение заданного интервала времени прием на антенну, расположенную в выработке, сигналов переменного магнитного поля и выделяет импульсную составляющую нестационарных сигналов, связанную с естественным излучением горных пород. Фиксированное направление приема излучения задают ориентацией антенны.

Таблица 2.1. – Технические данные комплекса АНГЕЛ

Технические данные комплекса АНГЕЛ	
Регистрируемые частоты	20-50 кГц
Питание комплекса	Встроенный аккумуляторный блок номинальным напряжением 7,2 В
Ток потребления	Не более 45 мА
Время непрерывной работы	Не менее 20 часов
Время сохранения данных	Не менее 100 часов
Интерфейс с компьютером	Последовательный RS-232C
Управление работой	Программное, по командам оператора с функциональной клавиатуры
Температурный диапазон	+5 - +35 град.С (относительная влажность воздуха до 100% при 25 град. С)
Габаритные размеры и масса устройств комплекса	
Блок регистрации	172ммX72ммX240мм, 3.0 кг
Приемная антенна ПА-3А	266ммX415ммX33мм, 0.6 кг
Преобразователь АЭ	Диаметр 50ммX230мм, 0.7 кг
Автоматическое зарядное устройство	92мX95ммX175мм, 1.2 кг

Аппаратура оценивает по выборке пиковых амплитуд импульсов, генерируемых горными породами, параметры Ам и В распределения импульсов по амплитуде. Параметр Ам является оценкой аномального порогового уровня пиковых амплитуд импульсов. Параметр Ам поля ЭМИ рассчитывается в каждом цикле как среднее арифметическое по самым старшим уровням, где их суммарное количество превышает 64 события. Затем с учетом усиления это среднее арифметическое значение пересчитывается в микровольты. Параметр Ам является оценкой аномального порогового уровня пиковых амплитуд импульсов и отражает характер и интенсивность импульсного излучения пород, которая в свою очередь связана с интенсивностью деформирования и разрушения в зоне опорного давления подземных выработок.

Параметр В – это оценка скорости нарастания пиковых амплитуд импульсов выше порогового уровня, показатель соотношения интенсивности мощных и слабых сигналов. Сочетание параметров Ам и В показывает характер и интенсивность импульсного излучения пород. Показатели интенсивности излучения связаны с интенсивностью деформирования и хрупкого разрушения пород в зоне опорного давления. Это позволяет по оценке их сочетания отнести контролируемый участок выработки к опасным или неопасным по разрушению в динамической форме. Регистрация вариаций в автоматическом или ручном режиме используется для контроля во времени физических процессов.

В состав комплекса АНГЕЛ входят датчики – преобразователи электромагнитной эмиссии, представляющие собой рамочную магнитную антенну в электростатическом экране

с предварительным усилителем (или без него) и полосовым фильтром. Направление приема задается фиксированной ориентацией антенны в выработке во время накопления информации об излучении пород. Питание схемы антенны осуществляется от блока регистрации по соединительному кабелю. Обмотка приемной антенны преобразует импульсное ЭМИ в электрический сигнал, который усиливается предварительным усилителем и поступает на вход блока регистрации [26].

Для измерения параметров ЭМИ также применяли переносной прибор типа «ЕЭМИ-ПМ» построенный на основе аппаратуры «АНГЕЛ» на обновленной приборной базе. Этот прибор регистрирует электромагнитные импульсные сигналы в полосе частот 13-75 кГц. Частота дискретизации сигнала 304638 Гц. За одно событие принимается максимум в последовательности из 32 отсчетов. За 1 секунду накапливается 9520 таких событий, которые распределяются по 2048 линейным уровням.

2.1.1. Геомеханическая аппаратура

Основой данной диссертационной работы являются совместные геоэлектрические и геомеханические наблюдения при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей в Сочи. Выполняемые натурные геомеханические наблюдения ставят своей целью комплексную оценку состояния единой деформируемой системы «крепь - массив» [106]; контролируются следующие показатели состояния системы:

- параметры НДС крепей и обделок;
- устойчивость призабойной части подземных выработок;
- суммарное воздействие массива на крепь и другие.

Для контроля изменений НДС в натуральных условиях при производстве работ, связанных с горнотехническим мониторингом в строящихся тоннелях в Сочи использовались два вида датчиков – деформометров.

Первый из них – преобразователи линейных деформаций измерительные струнные ТБ-200 (РФ), предназначенные для измерения статических относительных линейных деформаций сжатия и растяжения бетонных конструкций при контрольных наблюдениях и натурных исследованиях. Датчики линейных деформаций ТБ-200 (см. рис. 2.7), представляют собой струну, закрепленную между двумя опорными шайбами внутри металлической тонкостенной трубы. Измеряемым параметром является период колебания струны в микросекундах. Измерительная база составляет 200 мм.



Рисунок 2.7. – Внешний вид готовых к установке струнных датчиков ТБ-200

Второй вид датчиков – замоноличиваемые струнные тензометры, производства компании Soil Instruments (UK) – датчики, предназначенные для измерения деформаций в железобетонных конструкциях. Измерительный сенсор датчика состоит из струнного элемента, прикрепленного к специальным фланцам на концах корпуса датчика и вторичного преобразователя в виде электромагнитной катушки. Корпус датчика изготовлен из нержавеющей стали. Измерительная база составляет 150 мм.

Датчики крепились обычной вязальной проволокой на внешнем и внутреннем конурах двутавровой арки (рис.2.8). При возведении крепи из армоарок монтаж датчиков осуществлялся в центре поперечного сечения арматурного каркаса (рис.2.9). Все датчики были установлены в субвертикальном положении.

После замоноличивания датчика блок с электромагнитной катушкой, установленной на корпусе датчика, фиксирует любые деформации.

На этапе строительства тоннеля датчики опрашивались индивидуально (в ручном режиме) с помощью портативного считывающего устройства RO-1-VW-3 или переносным цифровым периодометром ПЦП-1. В соответствии с рекомендациями, показанными в программе работ, по установленным струнным датчикам, нулевым показанием является съем информации после возведения крепи. Далее, с учетом интенсивности проходки (отставания забоя) и формирования НДС, выполняются дальнейшие измерения.

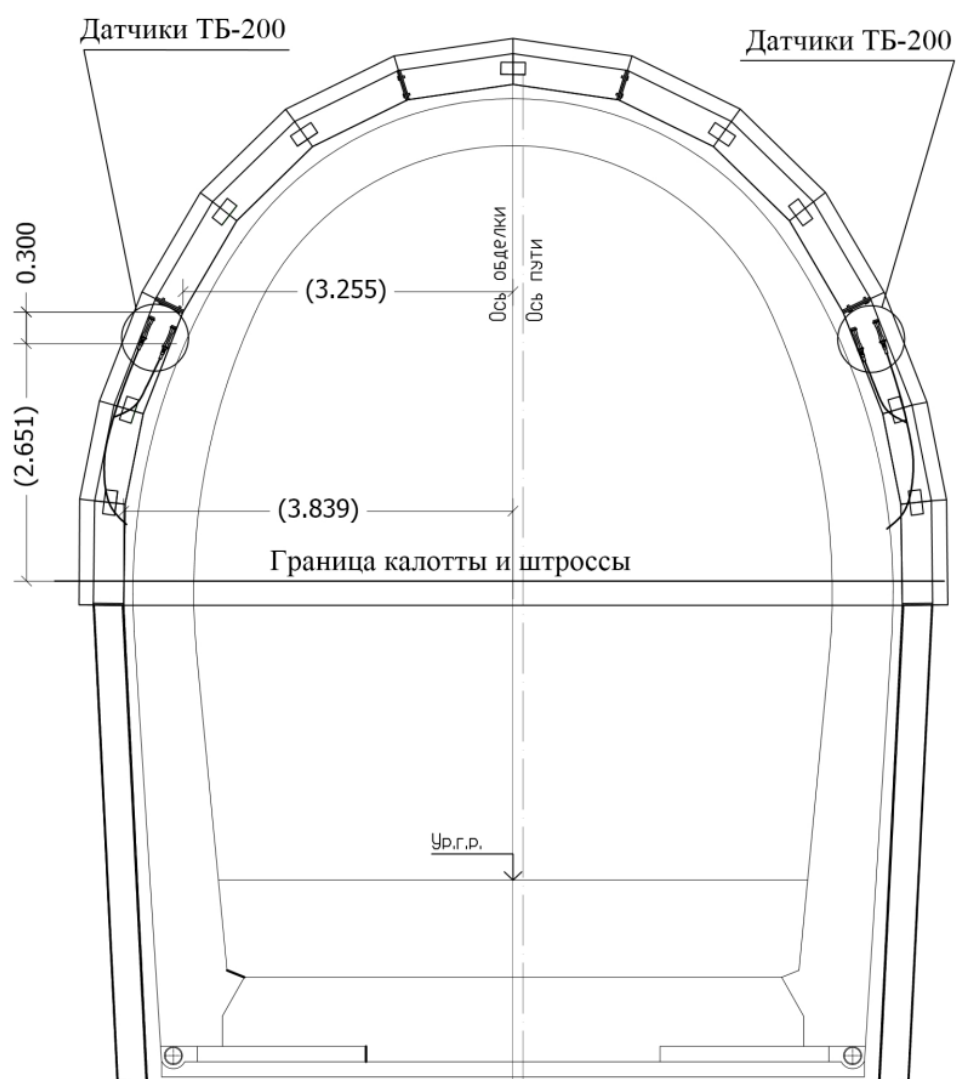


Рисунок 2.8. - Схема расположения датчиков в крепи на ПК 19644+62,5 (Тоннель №6-бис)

Замоноличиваемые тензометры работают по принципу стандартных струнных датчиков: возбуждение колебаний струны и «считывание» результата возбуждения (преобразование колебаний в электрический сигнал) осуществляется электромагнитной катушкой. Любое изменение натяжения струны приводит к изменению ее собственной частоты колебания и прямо пропорционально значению деформации конструкции, за которой ведется наблюдение.



Замоноличиваемый тензометр (рис. 2.10) представляет собой герметичную трубку со струной внутри, прикрепленную с каждой стороны к круглым стальным пластинкам (фланцам), которые в свою очередь используются для передачи нагрузок с конструкции, за которой ведется наблюдение, на датчик. Блок с электромагнитной катушкой устанавливают в середине корпуса датчика непосредственно перед заливкой бетона. Встроенный термистор обеспечивает также запись измеренных температурных значений. Технические данные приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. – Технические данные замоноличиваемых струнных тензометров

Датчик	
Диапазон измерений	3000 микрострейн
Разрешающая способность	1 микрострейн
Погрешность	0,1% частотной манипуляции
Температурный диапазон	От -20 до 80 град. С
Активная длина датчика	150 мм
Материал	Нержавеющая сталь
Масса	58 г
Размеры	157x19 мм
Корпус катушки	
Тип	Герметичный, съемный, с термистором
Тип термистора	NTC 3 кОм
Погрешность термистора	0,5 град. С
Разрешающая способность термистора	0,1 град. С
Масса катушки	12 г
Тип кабеля	4-х жильный с полиуретановой оплеткой, экранированный, диаметр 4 мм

Относительные деформации бетона определяли по результатам измерений периода колебаний струнных датчиков ТБ-200 по формуле:

$$\varepsilon_{ni} = \left[\left(\frac{A}{T_1^2} + \frac{B}{T_1} \right) - \left(\frac{A}{T_0^2} + \frac{B}{T_0} \right) \right] * 10^{-5}, \quad (2.6)$$

где:

А и В – постоянные коэффициенты датчика, определяемые заводом изготовителем при его градуировке; T_1 и T_0 - период колебаний струны датчика в мксек, в текущей и в нулевой сериях измерений.

Нормальные тангенциальные напряжения в любой рассматриваемый момент времени t определяются с учетом ползучести бетона (см. таблицу 2.3) по формуле:

$$\sigma(t) = \varepsilon(t)E(t) - \int_{t_0}^t K(t, \tau)\sigma(\tau), \quad (2.7)$$

где $E(t)$ - модуль упругости бетона в рассматриваемый момент времени; $\varepsilon(t)$ - деформация в рассматриваемый момент времени; $\sigma(\tau)$ - напряжение упругой составляющей деформирования бетона; $K(t, \tau)$ - ядро ползучести, определяемое по формуле:

$$K(t, \tau) = E(t) \left(\frac{1}{E(\tau)} + c(t) \right), \quad (2.8)$$

где $c(t)$ - мера ползучести, принимаемая по таблице 2.3 [27].

Модуль упругости бетона тесно связан с ростом прочности при его нагружении в раннем возрасте и может быть определен при помощи аппроксимации:

$$E(t) = E_0(1 - \alpha_1 e^{-\beta_1 t} - \alpha_2 e^{-\beta_2 t}), \quad (2.9)$$

где E_0 - модуль упругости бетона; $\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2$ - параметры, подобранные по экспериментальным данным.

Таблица 2.3. Зависимость меры ползучести бетона во времени от возраста нагружения

Возраст нагружения	Мера ползучести бетона $C(t, \tau) 10^{-5} \text{ МПа}^{-1}$ при длительности нагружения $(t - \tau)$, сут						
0	10	25	50	100	200	500	1000
0,125	10	16	20	24	27	31	32
10	1,1	1,76	2,23	2,67	3,06	3,48	3,6
30	0,85	1,41	1,8	2,18	2,52	2,89	3
112	0,5	0,8	1,18	1,45	1,7	1,92	1,98
205	0,35	0,67	0,88	1,09	1,26	1,42	1,46
512	0,21	0,46	0,65	0,8	0,91	0,98	1

При расчете напряжений приняты следующие допущения:

1. Деформации и напряжения в арматуре связаны законом Гука; арматура деформируется вместе с бетоном;
2. Бетон представляет собой линейно-деформируемый упруго-ползучий материал;
3. В пределах поперечного сечения бетон является однородным по составу и возрасту;
4. Принимается гипотеза плоских сечений.

2.5. Общие сведения об объектах исследований

2.5.1. Совмещенная (автомобильная и железная) дорога Адлер – горноклиматический курорт «Альпика Сервис»

Стратиграфия и литология. Исследуемый район, расположенный в пределах южного склона Главного Кавказского хребта, характеризуется развитием мезозойских и кайнозойских толщ большой мощности (более 2 км) [110].

В истоках Мзымты вскрываются гранодиориты палеозоя, на которых с угловым несогласием залегают базальты и порфировидные андезибазальты (ранее именуемые диабазы и диабаз-порфириты соответственно) нижней юры, перекрытые мощной толщей вулканогенно-терригенных флишеподобных отложений нижнесредней юры: известковистые аргиллиты, алевролиты и песчаники. Вулканогенные отложения выделены в «порфировую серию»: лавы базальтов и андезибазальтов, туфы и туфогенные породы.

В средней части территории распространены отложения верхней юры, представленные мощной толщей толстослоистых рифовых и биогенных известняков, слагающих массив Ах-Цу.

Южнее юрские отложения сменяются породами мелового возраста – тонкослоистыми известняками, известковыми аргиллитами, алевролитами и песчаниками. На остальной части трассы распространены терригенно-карбонатные породы палеогена: пестроцветные глинистые мергели с горизонтами известняков и аргиллитов.

Таким образом, наибольшее практическое значение для строительства проектируемых тоннелей имеют породы «порфировой серии» (38 – 44 км), терригенно-вулканогенные среднеюрские (31 км) бетагской и айбгинской свит, карбонатные верхнеюрские кацирхской свиты (21 – 24 км), карбонатные верхнемеловые казачебродской свиты (12-20 км), субфлишевые отложения палеогена (ахштырская, мацестинская свиты).

Четвертичные отложения широко развиты во всех структурно-фациальных зонах. Наиболее распространены коллювиальные, коллювиально-пролювиальные, коллювиально-оползневые и оползневые накопления в виде глыбово-щебнистого навала с глинистым и карбонатно-глинистым заполнителем мощностью до 10 – 20 метров. Среди оползневых образований в бортах речных долин и балок преобладают глины и суглинки с обломками и блоками четвертичных и коренных пород мощностью 3 – 5, нередко до 15 – 40 метров.

Тектоника. Район Сочи-Адлер относится к краевой части Абхазского микроконтинента и включает в себя геоантиклиналь Ахцу-Кацирха и Адлерскую тектоническую депрессию [110, 111]. Горстовая структура Ахцу ограничена с севера Кепшинским сбросом, с юга Монастырским взбросом общекавказского заложения. Краевая часть граничит по

Кепшинскому разлому с миогеосинклинальной Чвижепской зоной. Монастырский взброс входит в унаследованную систему Чемитокваждинского-Краснополянского глубинного разлома, выделенного на схемах районирования как «шовная зона Ахцу-Кацирха» - с общекавказской ориентировкой $130 - 310^0$. Разломная зона Кепшинского сброса имеет ширину 20 – 25 м, она скрыта толщей четвертичных отложений; в поднятом крыле наблюдается аномально высокая раскрытая трещиноватость.

В конце трассы находится сложный тектонический узел продольных структур Мзымтинской шовно-депресссионной зоны и поперечных структур Пшехо-Адлерской зоны (район поселка Эсто-Садок), которая представляет собой широкую полосу развития поперечных и диагональных к оси Кавказского мегасвода разрывов, ограничивающих соответствующие тектоноформы.

Основные дизъюнктивные структуры региона заложены в орогенический этап развития альпийской геосинклинали – воздымание ее осевой части и интенсивное складкообразование по периферии. Происходили субгоризонтальные движения с образованием взбросо-надвигов. Так сформирована запрокинутая складка хребта Псехако; крупные региональные разрывные нарушения и оперяющие структуры определяют блоковое строение массива. Участок входит в состав Ачипсинского грабена, ограниченного с севера Эстосадовским сбросом, а с северо-запада системой оперяющих разрывных дислокаций высоких порядков (взбросо-надвиг).

В распространении трещиноватости и нарушений наблюдается четкая приуроченность к основным разрывным структурам. Первая система трещин ориентирована по системе поперечных региональных структур Пшехо-Адлерской зоны первого порядка, вторая согласуется с продольной структурой второго порядка – Мзымтинской шовной зоной. Эта первичная трещиноватость представлена гладкостенными, тонкими и волосяными субвертикальными трещинами, создающими блочность 0,8 – 1,0 м и существенно не влияющими на устойчивость пород. Участки пересечения систем трещин и сместителей создают ортогональную сеть с повышенной дробленостью и милонитизацией шириной до 20 метров.

Сейсмичность территории согласно СНиП II-7-81* составляет 8 баллов при 10% вероятности возможного превышения и 9 баллов при 5 % и 1 % вероятности возможного превышения.

Современные геологические процессы и явления. Регион, в котором ведется строительство автодороги, является одним из сложнейших по проявлениям всех известных опасных природных геологических процессов, за исключением явлений, связанных с многолетней мерзлотой. Широкое развитие имеют процессы, связанные с просадочностью

грунтов: эрозионные, селевые, подтопления и затопления, гравитационные, карст. Из них при строительстве тоннелей наибольшую опасность создают гравитационные процессы (оползни, обвально-осыпные явления) на припортальных участках и карст в глубине пересекаемых тоннелями массивов. В последнем случае разнообразные формы проявления карста, встреченные тоннелем, могут приводить к потере устойчивости пород и возникновению непрогнозируемых по величине водопритоков и прорывов подземных вод.

Поскольку опасность ситуации, выраженной в активности того или иного геологического процесса, определяется множеством факторов – геологических, геоморфологических, экзогенных, ее оценка возможна только на конкретных участках строительства того или иного тоннеля.

Наиболее опасны, с точки зрения, развития оползневых явлений породы терригенной формации верхнего палеогена и терригенно-карбонатной – нижнего и среднего палеогена. Умеренно опасны по развитию оползневых, обвально-осыпных и эрозионных процессов породы терригенной формации юры и терригенно-карбонатной нижнего мела.

Опасны по развитию обвально-осыпных процессов вулканогенно-терригенные породы нижней - средней юры и карбонатной верхней юры и верхнего мела.

По карсту наиболее опасны карбонатные породы верхней юры и нижнего мела.

2.5.2. Строительство нового Байкальского тоннеля на перегоне Дельбичинда-Дабан Восточно-Сибирской железной дороги

Трасса нового однопутного тоннеля пересекает Байкальский хребет на участке перевала Даван в субширотном направлении и проходит в 30 м параллельно трассе старого тоннеля длиной 6686 м, который был построен в период с 1977 по 1983 гг. Байкальский хребет имеет сложное геолого-тектоническое строение, высокую сейсмичность, развитые разнообразные склоновые процессы. Перевал Даван расположен на водоразделе рек Кунермы и Гоуджекита с высотными отметками порядка 800-1200 м.

Горный массив, включающий тоннель сложен преимущественно изверженными породами ирельского комплекса субщелочных гранитоидов среднего протерозоя. В основном это граносиениты, диорит-сиениты и гранито-гнейсы с порфировидной и гнейсованной текстурой. Массив скальных пород разбит трещинами тектонического происхождения и выветривания.

По геоморфологическим признакам и геологии участок тоннеля подразделяется на три части: западную, центральную и восточную.

Западная часть состоит из двух структурно-тектонических блоков: Западно-портального от ПК 70+50 до ПК 76+70 длиной по трассе тоннеля 620 м и Кунерминского – 2500 м (ПК 45+50 – ПК 70+70). Общая протяженность Западного участка около 3100 м с наибольшими высотными отметками порядка 300 м, имеются склоны крутизной 20° и более. Мощность зоны Кунерминского разлома в месте пересечения его тоннелем составляет около 800 м. Единого мнения у специалистов сейсмогеологов об активности Кунерминского разлома в мезокайнозой нет.

В пределах припортальной выемки с поверхности залегают глыбово-щебенистые грунты с песчано-суглинисто-дресвяным заполнителем. Гранулометрический состав их следующий: дресва – 14.5-38.5%; песок – 34.7-54.7%; пылеватых и глинистых частиц – 6.8-50.8%. Естественная влажность заполнителя составляет 5-11.5%. Обломочный материал представлен средне-и крупнозернистыми плотными граносиенитами, серого цвета со слабо выраженной слоистостью. Сверху массив скальных пород покрыт рыхлым слоем 2.5-5 м.

По материалам геологической документации, которая велась при проходке транспортно-разведочно-дренажной штольни и основного тоннеля [112, 113] от западного портала пикет 76+70 до пикета 70+20 скальный массив сложен чередованием порфировидных бластомилонитизированных субвулканических образований (метасубвулканиты, ортогнейсы по гранитоидам). Породы на указанном интервале трещиноватые влажные, но устойчивые. Дебит 4-5 м³/час на интервале от 76 пикета по пикет 67+80. Крепость пород по Протоdjяконову 8-10.

На интервале пикетов 70+20 ÷ 67+20 блок гранитогнейсов сильно трещиноватых, средней устойчивости длиной по трассе тоннеля 109-110 м находится между 50-ти метровой зоной катаклазитов и зоной тектонических брекчий такой же мощности. В этих зонах нарушений породы совершенно неустойчивые. Азимут падения зон порядка 120° угол падения 30-40°.

Далее по трассе тоннеля на интервале пикетов 67+20 ÷ 58+80 была пройдена довольно водообильная зона с прерывистыми струями и сосредоточенными выходами до 1-2 м³/час, а со всего интервала до 155 м³/час. Всего на протяжении от пикета 69+40 до 44+90 проходка велась в массиве гранито-гнейсов средне- и мелкозернистой структуры. Было встречено две зоны дробления и катаклаза на пикетах 58+80 ÷ 58+30 и на пикетах 53+70 ÷ 52+70. Встречались и более мелкие трещиноватые зоны мощностью от 0.6 до 15 м, отдельные трещины тонкие (1-4 мм), извилистые, часто не выдержанные по простиранию с углом падения близким к вертикальному. С учетом азимута падения зон, определенных при строительстве первого тоннеля, можно оценить их положение по трассе второго тоннеля

Центральный (Даванский) участок Байкальского тоннеля простирается от ПК 45+50 до ПК 22. Наибольшие глубины заложения тоннеля на этом участке не превышают 230 м. На пикете 41 находится шахтный ствол глубиной 180 м, который при проходке служил для расширения фронта работ и ускорения строительства, а при эксплуатации для выполнения функций по вентиляции и ведению обслуживания систем тоннеля.

Весь центральный участок на уровне тоннеля сложен грано-сиенитами с дайковыми телами гнейсо-гранитов. Породы трещиноватые и сильнотрещиноватые с небольшими участками раздробленных пород. В целом породы устойчивые и осложнений при проходке не создавали.

Восточный участок Байкальского тоннеля расположен между восточным порталом ПК 8+77.5 и ПК 22. По геологии он отличается от предыдущих участков. Наибольшая глубина заложения 160 м. Восточный участок включает собственно Восточно-портальный (ПК 9+00 – ПК 16+48), а также Преддаванский (ПК 16+48 – ПК 20+38) блоки. Здесь наиболее характерные тектонические нарушения отмечаются на границах блоков.

С пикета 22+10 до 21+25 по тоннелю при проходке встречены габбро-диабазы залегающие наклонно с азимутом падения 150° и углом падения 45°. Породы здесь трещиноватые, но крепкие (крепость по Протоdjяконову 8-10) и устойчивые. Наблюдался слабый, местами сильный капез.

На интервале пикетов 21+25 ÷ 20+30 находится блок грано-сиенитов с азимутом падения 120° и углом падения 30°. Породы прочностью по Протоdjяконову 8-10, трещиноватые, слабый капез.

Сиенито-диориты трещиноватые и сильно трещиноватые крепостью по Протодяконову 6-8 и 4-6 на пикетах 20+30 ÷ 16+20 характеризуются как устойчивые. Массив насыщен водой, капез от слабого капеза до непрерывных струй. Дебит интервала порядка 40 м³/час.

Зона зелено-сланцевого диафтореза по трассе тоннеля находится на пикетах 16+20 ÷ 12+50. Сильнотрещиноватый участок этой зоны с породами средней устойчивости крепостью 6-8 имеет капез и сосредоточенные выходы воды струями под напором на пикетах 14+30 и 16+20, остальная часть зоны со слабым капезом и устойчивыми трещиноватыми породами крепостью 8-10.

Ближнюю к восточному portalу часть тоннеля слагают гранито-гнейсы и амфиболовые ортогнейсы влажные, трещиноватые, но устойчивые с разной крепостью от 6-8 до 12.

В целом по тоннелю было выделено 53 участка с различной степенью устойчивости горных пород [112]. Всего установлено 5 степеней устойчивости. Наименее устойчивыми являются зоны дробления Кунерминского и Восточно-портального взбросо-надвигов, а также межблоковые разрывные нарушения, зоны контактов и диафтореза. При проходке на таких участках происходили вывалы пород объемом до 5 м³, отстрелы мелких кусков и отслоения глыб объемом до 1 м³. Горное давление в пределах таких неустойчивых зон достигало 30 т/м, трещинная пустотность до 0.29%. Породы при одноосном сжатии выдерживали нагрузки 600 – 1200 кг/см².

Кроме указанных зон, к слабо устойчивым следует отнести зоны тектонических нарушений более высоких порядков, выполненных слюдисто-хлоритовым или монтмориллонитовым материалом.

Обводненность скального массива по трассе тоннеля невысокая. Водоприток при окончании проходки тоннеля составлял 470 м³/час. Наиболее водообильными были зоны тектонических нарушений, где происходили прорывы подземных вод с дебитом до 60.5 м³/час.

По тектоническим нарушениям Кунерминского и Восточного надвигов, а также на участках ПК 10+73, ПК 13+70, ПК 19+50, 41+00, 54+00 и 64+00 проявлялись крупные аномалии радона, что косвенно подтверждает геодинамическую активность горного массива в районе расположения тоннеля.

По данным детальных сейсмогеологических исследований [5], район расположения тоннеля относится к 8-ми балльной сейсмической зоне за счет транзитных землетрясений со стороны Байкало-Кичерского эпицентрального поля.

2.5.3. Строящийся железнодорожный тоннель №6 бис

В геологическом строении территории принимают участие палеогеновые отложения, являющиеся коренными породами, и покровные четвертичные континентальные образования.

Стратиграфия. На дневной поверхности дочетвертичные отложения представлены только отложениями олигоцена. Они согласно залегают на эоценовых мергелях. Это прибрежно-морские песчано-глинистые породы мощностью в несколько сотен метров. В пределах исследованного участка обнажаются породы сочинской свиты.

Сочинская свита ($P_3^{1-2}_{sc}$) залегает согласно с постепенным переходом от хостинской свиты нижнего олигоцена и по возрасту относится к нижнему – среднему олигоцену. Она прослеживается от реки Сочи до реки Гнилушка. Представлена серыми аргиллитами (название предложено В. П. Витман, 1951 год) с более или менее частыми прослоями алевролитов и редкими маломощными (1-3 до 10-15 см) прослоями песчаников. В целом толща пород тонкослоистая с плитчатой отдельностью (плитчатость часто не совпадает со слоистостью), но нередко массивная со скорлуповатой отдельностью. Слоистые разности пород часто известковистые. На плоскостях слоистости встречаются присыпки песка, чешуйки мусковита, рыбные и растительные остатки. В нижней части толщи среди серых аргиллитов с прослоями песчаников отмечены пропластки черных разлитованных аргиллитов мощностью от 0,05 до 0,15 м (в верховьях реки Гнилушка).

Среди четвертичных отложений, в соответствии со стратиграфической схемой, разработанной А. Б. Островским в 1968 году, на данном участке выделены верхнеплейстоценовые и голоценовые образования.

Оползневые образования карангатского возраста ($dp Q_{III}^1$) отмечены на левых склонах реки Сочи и ручья Верещагинский. Они представлены в основном смещенными, преимущественно по плоскостям напластования, породами сочинской свиты олигоцена. Элементы залегания пластов смещенных пород в основном сохранились и совпадают с истинными. В некоторых случаях они образуют мелкие складки, которые В. П. Витман (1958 год) относит к результатам оползневой деятельности.

От коренных пород (аргиллитов и алевролитов с тонкими прослойками песчаников) оползневые образования отличаются несколько нарушенной структурой, более мягкие, сильно трещиноватые. Сплошность пород нарушена зияющими трещинами или выполненными глиной. Мощность изменяется от 4 до 26 метров.

Голоценовые образования представлены аллювиальными, делювиальными и оползневыми генетическими тпами.

Аллювиальные отложения первой надпойменной террасы (а Q¹_{IV}) отмечены в долинах реки Гнилушка и ручья Верещагинский. В них они выполняют эрозионный врез новоэвксинского переуглубления (новочерноморские террасы). В составе этих террас преобладают глины с небольшим количеством примесей плохо отсортированного материала, максимальная мощность которых до 5 метров.

Оползневые голоценовые образования (dp Q_{IV}) развиты весьма широко в бассейнах ручья Верещагинский и реки Гнилушка. Они занимают в основном нижние их части. Состав пород преимущественно глинистый, с примесью дресвы и щебня, реже более крупных обломков аргиллитов и песчаников. На отдельных оползнях отмечаются пакеты коренных пород, вмещенных в раннем голоцене.

Проллювиальные голоценовые отложения (p Q_{IV}) развиты в устьевых частях на склонах ручья Верещагинский и реки Гнилушка. Они представлены глинами, суглинками с дресвой и щебнем коренных аргиллитов и песчаников, с плохо окатанной галькой тех же пород. Мощность обычно 2-3 метра.

Делювиальные голоценовые образования (d Q_{IV}) выделяются на уположенных молодых (голоценовых) эрозионных склонах и уступах, на стенках срыва голоценовых оползней. Представлены они современным почвенным горизонтом, серыми и бурыми глинами и суглинками со щебнем и дресвой коренных пород.

Техногенные насыпи и отвалы (t Q_{IV}) занимают значительные площади в среднем и нижнем течении реки Гнилушка. Для насыпей использовались глинистые грунты покровных отложений, а также раздробленные коренные породы из выемок и срезок. В указанных выше местах мощность не превышает 3-4 метра. Гравийно-галечный материал в насыпях использовался в основном при устройстве дорог

Тектонические особенности описываемой территории определяются ее положением в пологоскладчатой Абхазской структурно-фациальной зоне Закавказского массива вблизи сочленения этой зоны с расположенной севернее геосинклинальной складчатой системой южного склона Большого Кавказа [110], а также сочетанием указанных структур с тектоническими структурами поперечного и субмеридионального направления. В связи с этим залегание олигоценовых отложений, представляющих породы верхнего яруса Абхазской зоны, здесь отчетливо нарушено складчатостью. Складки, в основном, пологие, плавные, различно ориентированные, местами осложненные тектоническими разрывами.

В соответствии с региональной тектонической схемой [110], территория располагается в пределах Сочинской синклинальной складки, которая входит в состав субмеридиональной Пластунской синклинальной депрессии.

Из-за отсутствия в толще олигоценых пород маркирующих горизонтов и плохой обнаженности территории, ее тектоническое строение в деталях изучено слабо. Значительное число замеров элементов залегания коренных пород, выполненных обычно в неглубоких горных выработках, позволяет предположить наличие здесь пологих складок разного порядка, по-видимому изогнутых в плане, флексур и тектонических разрывов. Однако, выделить конкретные структуры, определить из взаимоотношения и выявить их возможную роль в развитии экзогенных геологических процессов пока не удастся.

Простираение пород сочинской и хостинской свит преимущественно субмеридиональное с отклонениями в северной части территории к северо-западу, а в южной – нередко к северо-востоку. В долине реки Гнилушка простираение пород местами субширотное. Угол падения пород обычно изменяется, иногда на коротких расстояниях, от 10-15 до 20-30°.

Выявление разрывных тектонических нарушений в районе затрудняется не только отсутствием маркирующих горизонтов в коренных породах, но и тем, что на эти нарушения в приповерхностной зоне пород нередко накладываются оползневые их деформации. Поэтому описаний тектонических нарушений в пределах участка практически нет. Характер речной сети района с параллельным расположением основных рек позволяет предположить, что наиболее протяженными и выдержанными из разрывных нарушений здесь являются меридиональные.

Физико-геологические процессы и явления. Основными факторами, осложняющими строительство железнодорожного тоннеля 6 бис, являлись опасные геологические процессы, включающие широко распространенные оползневые, эрозионные и повсеместное интенсивное выветривание глинистых аргиллитов низкой и весьма низкой прочности, слагающих коренные породы олигоцена.

Типизация оползней, включенных в кадастр СК ГЭ центра, была основана на классификации Е. П. Емельяновой (1968 год) по геологическим условиям их зарождения. На всей территории города Сочи преобладают глубокие оползни, приуроченные к наклонным поверхностям ослабления в коренных породах. На данном участке таких оползней 5 (№№ 680, 1428, 948, 872 и 2017), тогда как поверхностных (в покровных образованиях) насчитывается 4 (№№ 1423, 1424, 870 и 981).

Глубокие оползни характеризуются большой длительностью развития (от плейстоцена до современности) и ярусностью строения. Нижние ярусы образовались в ранний период при воздействии, в основном, эрозии (на речных склонах) и абразии (на морских склонах) на коренные породы. В более поздние времена базисы эрозии понизились, в подножьях речных склонов образовались контрфорсы из аллювиально-пролювиального

материала, которые изолировали коренные породы от воздействия эрозии, и нижние ярусы оползней, сложенные смещенными и раздробленными блоками и пакетами коренных пород (в данном месте аргиллитов), стабилизировались. Однако глинистые отложения, покрывающие эти ярусы до настоящего времени продолжают периодически двигаться отдельными очагами. Ведущим фактором активизации этих очагов является периодическое обильное обводнение склонов атмосферными осадками.

Кроме интенсивного промачивания оползневых масс, как атмосферными осадками, так и подземными водами, на его активизацию заметным образом влияют подсечка склонов боковой эрозией и техногенные факторы, особенно их подрезка.

Выпадение атмосферных осадков и повышение уровня грунтовых вод способствует увеличению влажности пород склона. В зависимости от условий увлажнения, физико-химические и физико-механические свойства грунтов изменяются по сезонам года и в значительных пределах. Лабораторными исследованиями (Постников В. В., 1964) установлено, что в г. Сочи сезонные колебания влажности глинистых отложений на крутых оползневых склонах происходят в пределах 4,5-метрового поверхностного слоя, а значительные изменения наблюдались до 2,5 метров. При естественной влажности в 20% прочность глинистых пород характеризуется средними значениями $C = 0,36 \text{ кг/см}^2$ и $\varphi = 18^{\circ}30'$, а при влажности от 20 до 25 %, соответственно $C = 0,24 \text{ кг/см}^2$ и $\varphi = 14^{\circ}$. При этом повышение влажности всего на 5 % вызывает увеличение веса единицы объема породы на 8-10%. Достаточно значительный интервал колебания влажности грунтов – 10-15% - обуславливает развитие процессов набухания и разуплотнения, приводящих к потере их прочности. В период осенне-зимнего максимального увлажнения она снижается в 2-3 раза (Емельянова, 1972), что приводит к резкой потере устойчивости пород на склоне.

Подземные воды также влияют на химический состав и физико-химическую обстановку вмещающих пород и приконтактную зону водоупора. Такое воздействие подземных вод в оползневых накоплениях, разнообразных литологически, особенно результативно. Коренные породы сочинской свиты (аргиллиты) за счет выщелачивания теряют около 27% первоначального солевого состава. Ежегодно по этой причине активизируются от 20 до 52% количества оползней.

По причине боковой эрозии паводковыми водами ручьев (реки и крупные ручьи в основном зарегулированы) активизируются 3-11% количества оползней (мелкие балки на оползнях № 948,870, ручье Веречагинский и оползни №№ 1423, 1424).

Другие природные факторы – такие, как выветривание, на активизацию оползней практически не влияет (оно влияет, в основном, косвенно, разрыхляя породы).

Также заметно усилилось влияние техногенного фактора. Ускорение движения (или резкая активизация) происходит в случае глубокой подрезки нижних частей блоков или языков этих оползней. Надо отметить, что техногенный фактор, кроме непосредственного воздействия на оползни, оказывает также косвенное на многие из них через эрозию (как линейную, так и плоскостную), обводнение, выветривание, суффозию. Известно достаточное количество примеров активизации оползней после нарушения естественного стока грунтовых вод при строительстве вдоль подножья склона длинных сооружений; а также поверхностных (особенно ливневых) вод при их концентрированном сбросе на тело оползня и пр.

Современные оползневые процессы в районе строительства тоннеля № 6 бис не прекращаются. Они захватывают глинистые и глинисто-щебнистые грунты на глубину 2,0 - 2,5 м от поверхности земли.

Из других неблагоприятных экзогенных геологических процессов проявляются эрозия, суффозия и площадной смыв.

Южный портал тоннеля № 6 бис расположен в пределах оползня № 981, ось тоннеля пересекает его тело от подошвы до водораздела.

Оползень развивается в четвертичных отложениях без захвата коренных пород. Мощность оползня разведочными выработками не определена. По результатам визуальных признаков она не превышает 3-4 метра. В смещении принимают участие делювиально-оползневые глины по коренным породам (аргиллитам сочинской свиты олигоцена) или по тем же глинам.

Глава III. Контроль геомеханических процессов по электромагнитному излучению

3.1. Регистрация ЭМИ в горных выработках и на дневной поверхности

3.1.1. Цели и методы выявления опасных разрывных тектонических нарушений

В данном разделе приведены результаты регистрации ЭМИ на дневной поверхности над горными выработками и внутри них в комплексе методов системы горнотехнического мониторинга. Основной целью данных работ является прогноз возможной активизации опасных геомеханических процессов при строительстве в подземных условиях на основе данных режимных наблюдений. Комплексом геофизических и геомеханических методов решались вопросы оценки устойчивости крепи и вмещающего массива на пройденном участке выработки тоннеля, особое внимание уделялось интервалам с выделенными тектоническими нарушениями, подсеченными выработкой при проходке. С помощью метода ЭМИ оценивалась (качественно) геодинамическая активность (или ее отсутствие) в этих интервалах, по интенсивности излучения.

Большей частью опасными являются тектонические разрывные нарушения с нарушением их сплошности, возникающей в случае превышения предела прочности пород тектоническими напряжениями [30]. Известны многочисленные случаи деформаций инженерных сооружений со смещениями и разрушениями по разрывным нарушениям [31, 32 и др.], поэтому принято считать разрывные тектонические смещения (РТС) в качестве самостоятельного опасного геологического процесса.

Быстрые разовые РТС и тектонический крип (медленные пластические смещения) необходимо учитывать при инженерных изысканиях, а также в период строительства и эксплуатации подземных сооружений в рамках горнотехнического мониторинга, так как режим разрывных тектонических смещений в массивах горных пород нестационарный. Сочетание относительно медленных тектонических смещений (крипа) с практически мгновенными импульсными сеймотектоническими разрывными смещениями, наблюдаются на территориях с высокой сейсмичностью (более 8 баллов) [33] и активным проявлением оползневых процессов и карста, к которым относится и Сочинский регион.

В практике инженерных изысканий, выделяют три основных типа разрывных нарушений - разломы, разрывы и трещины; их смещения обычно характеризуются длительной унаследованностью, что позволяет использовать при их выявлении активных или древних активизированных разрывов, получивших отражение в рельефе [33]. Такими признаками могут быть уступы в рельефе, ступенчатость продольного профиля рек, наличие цепочек родников с термальными и минеральными водами и т. д.

Активными разрывными тектоническими смещениями считаются:

- современные разрывы, смещения по которым происходят в настоящее время и зафиксированы инструментально геофизическими и геодезическими методами, при сопоставлении разновременных карт, исторических материалов и т. п.;
- молодые разрывы, смещения по которым происходили в четвертичном периоде;
- новейшие разрывы с максимальными для данной территории амплитудами смещений.

Прогноз РТС, используемый для проектирования строительства подземных сооружений, опирается на изучение региональных особенностей тектонической обстановки и заключается в выявлении активных тектонических разрывов и количественной оценке скоростей связанных с ними современных тектонических смещений. В основе прогнозных оценок лежат измеренные значения амплитуды и скорости современных РТС за определенный период наблюдений. Продолжительность и повторяемость необходимых для такой оценки геодезических и геофизических измерений зависят от тектонических условий строительства и особенностей сооружения. Соответственно выбираются методика измерений и чувствительность используемой аппаратуры [33].

3.1.2. Общие сведения об объектах исследований

Изучение геодинамической активности проводилось по трассам авто- и железнодорожных тоннелей строящихся для Сочинской Олимпиады, Байкальском железнодорожном тоннеле. Причем на Сочинских тоннелях геодинамическая активность наблюдалась на всех этапах от изысканий, при строительстве и начале эксплуатации.

Строительство совмещенной (автомобильной и железной) дороги протяженностью около 50 км проектировалось в Адлерском районе города Сочи с 2008 года, на южном склоне Западного Кавказа. По условиям проектирования по трассе, начиная с ПК 148, предусматривалось сооружение 6-ти железнодорожных тоннелей общей протяженностью 10488,0 м, 3-х автодорожных тоннелей общей протяженностью 7532,0 м и 3-х штолен общей протяженностью 9136,0 м.

Трасса нового Байкальского тоннеля на Байкало-Амурской железнодорожной магистрали пересекает Байкальский хребет на участке перевала Даван в субширотном направлении. Новый тоннель проходит в 30 м параллельно трассе старого тоннеля длиной 6686 м, который был построен в период с 1977 по 1983 гг. Байкальский хребет имеет сложное геолого-тектоническое строение, высокую сейсмичность, развитые разнообразные склоновые процессы. Перевал Даван расположен на водоразделе рек Кунермы и Гоуджекита с высотными отметками порядка 800-1200 м.

3.1.3. Выявление и изучение зон тектонических нарушений и характеристика геодинамической активности горных пород при геолого-геофизических изысканиях

На рисунке 3.1 приведена карта фактического материала по Южному portalу тоннельного комплекса №1, на ней указано расположение профилей сейсморазведочных, электроразведочных, георадиолокационных работ и профилей ЭМИ. Типичное расположение геофизических профилей – вдоль трассы проектируемого тоннеля. Поскольку объем проведенных комплексных геофизических исследований на различных объектах очень обширный, в данной главе приводятся наиболее характерные примеры исследования тектоники и геодинамики комплексом методов.

Сейсмические исследования. Выполнялись для определения следующих параметров геологического разреза:

- мощности четвертичных отложений и выветрелых коренных пород;
- выявления зон тектонических нарушений вдоль трасс проектируемых тоннелей по совмещенной дороге «Адлер – нижняя станция горнолыжного курорта «Роза Хутор» и по возможности, определения направления их падения;
- поиска зон ослабленных и трещиноватых пород;
- изучение оползневых участков по трассе тоннелей;
- определения физико-механических и деформационно-прочностных параметров типовых горных пород по трассе тоннелей.

Для определения структуры массива грунтов и пород и их физико-механических свойств определялись скорости Р и S-волн в этих породах и грунтах, на основании которых, в дальнейшем, производились расчеты деформационно-прочностных свойств. Для решения этих задач использовалось сейсмоакустическое профилирование методом преломленных волн (МПВ). Методика получения необходимых результатов данным методом хорошо проработана и изучена, а сам метод достаточно оперативен.

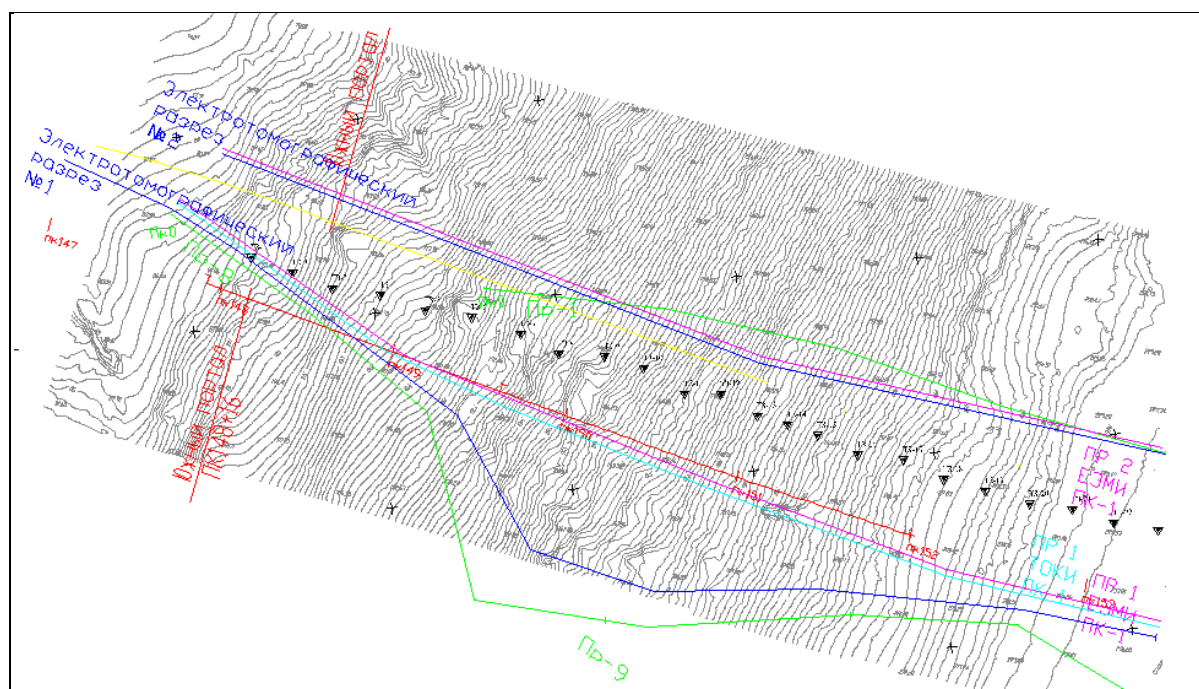


Рисунок 3.1 – Карта фактического материала по южному portalу комплекса №1. Точки зондирования методом ЭМИ СШП показаны черными треугольниками; профили сейсморазведочных работ показаны зелеными линиями. Синими линиями показаны профили электроразведочных работ, голубым цветом показан профиль регистрации токов промышленной частоты, фиолетовым цветом – профиль ЭМИ. Также условно показаны трассы тоннелей – железнодорожного красным цветом, автомобильного – желтым цветом.

Полученные сейсмические разрезы по трассе проектируемых тоннелей, являются основой для картирования тектонических нарушений, определения мощности рыхлых отложений, а также оценки глубины до опорного горизонта (ослабленные трещиноватые коренные породы или относительно сохранные коренные породы). Результаты сеймопрофилирования по трассе тоннельного комплекса №1 были использованы при составлении сводной прогнозной характеристики геологической ситуации по материалам всех выполненных геофизических работ (см. рис. 3.6).

Ниже представлены сейсмотомографические разрезы по профилю №1 расположенному в районе южных порталов тоннельного комплекса №1 (см. рис. 3.2). На сейсмических разрезах, исходя из структуры распределения скоростей сейсмических волн, выделяются три - четыре выдержанных по своим свойствам, горизонта. Первый слой – «зона малых скоростей», представленная нерасчлененным почвенно-растительным слоем, рыхлыми отложениями различного состава, а также иногда элювием, характеризуется $V_p \sim 0,4 - 1,0$ км/с и $V_s \sim 0,2 - 0,5$ км/с. Мощность слоя составляет от 0 до 5 м, в среднем 0 – 0,5 м.

Ниже залегают коренные породы, как правило, разделяющиеся на выветрелые и относительно «сохранные».

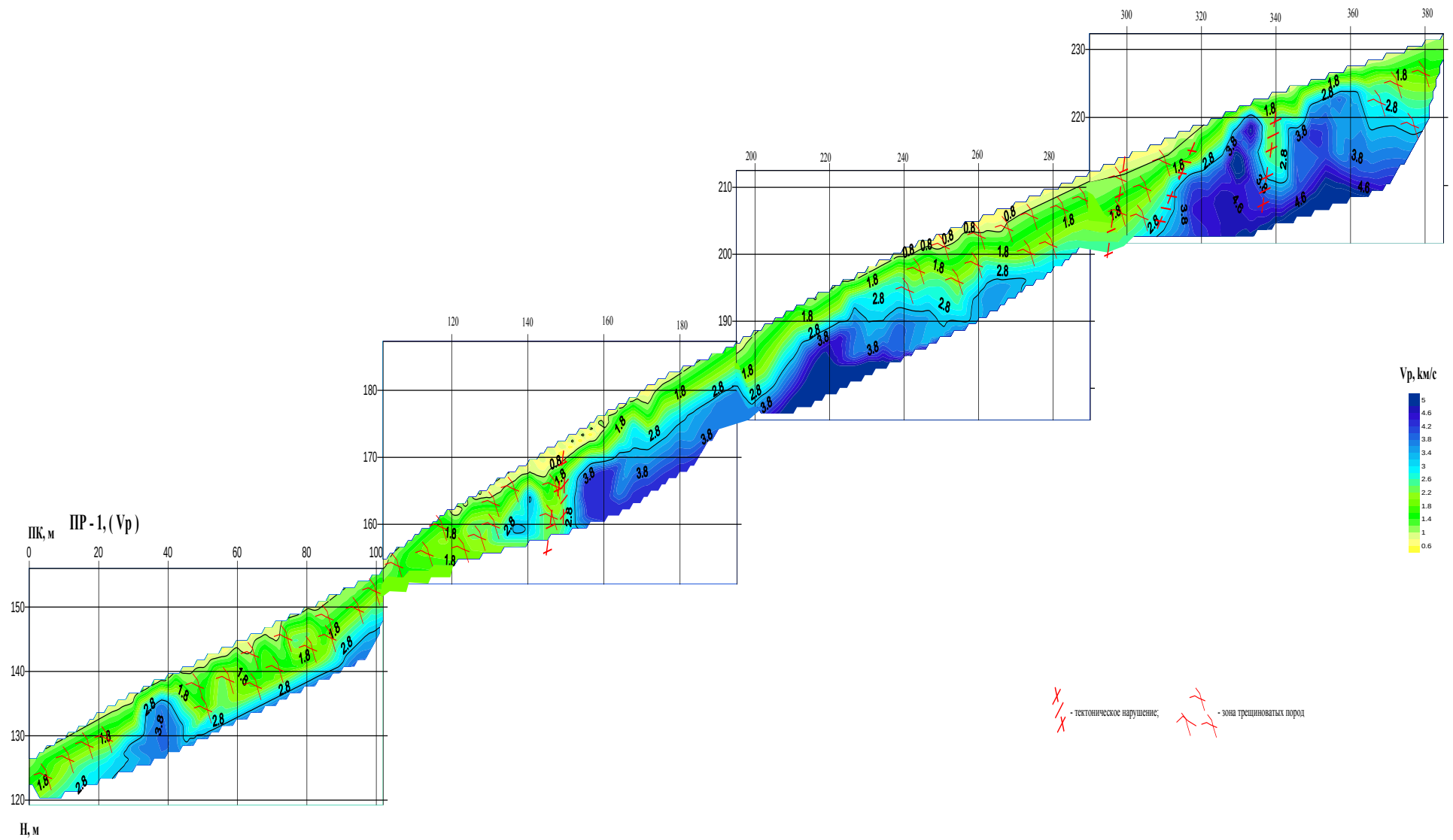
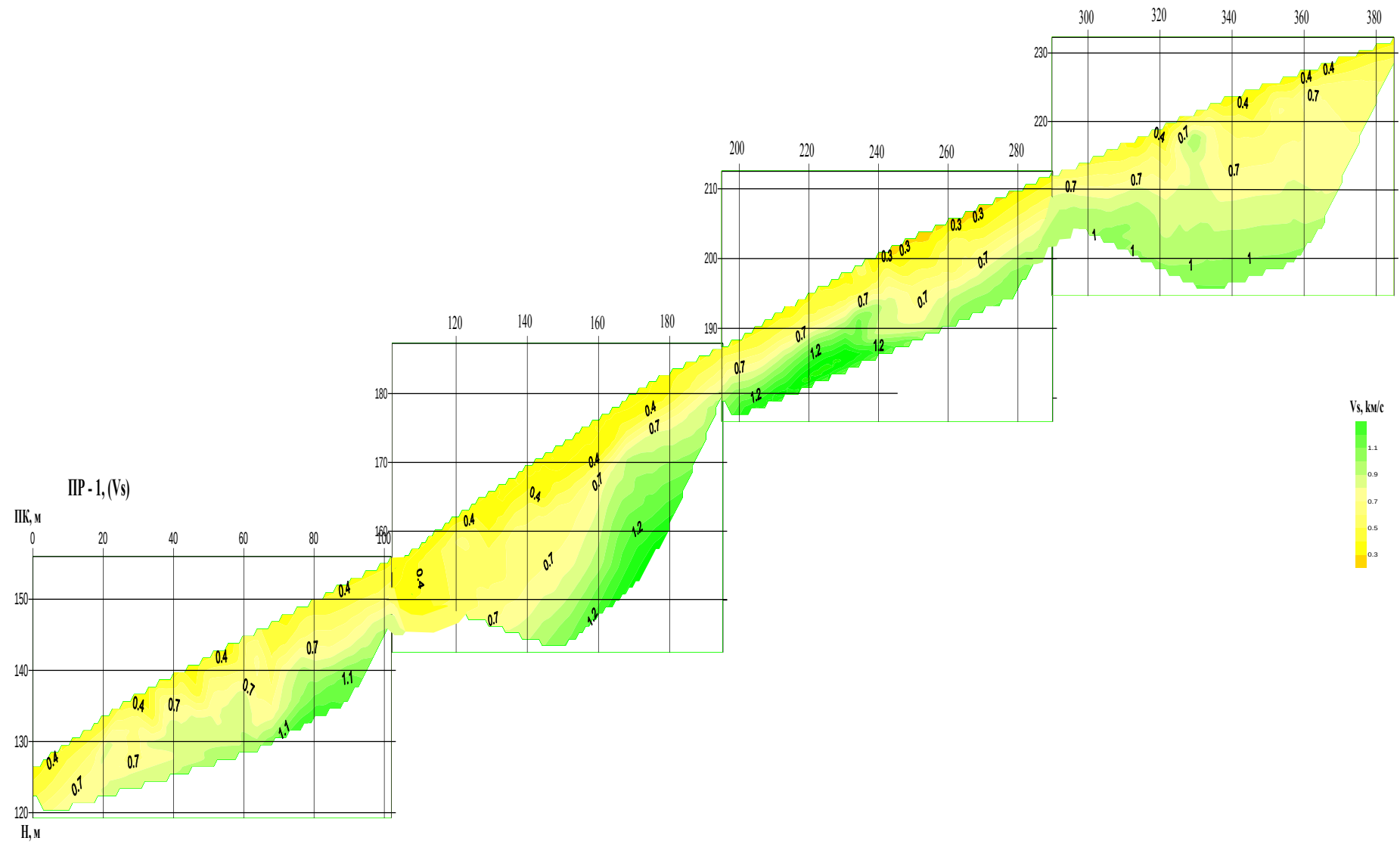


Рисунок 3.2 - Томографические разрезы по скоростям продольной (V_p) и поперечной (V_s) волн на профиле ПР-1.



Продолжение рисунка 3.2.

По геологическим данным породы по трассам автомобильного и железнодорожного тоннелей №1 представлены породами Казачебродской свиты (пестроцветные известняки, мергели, пелитоморфные известняки с линзами кремней).

Непосредственно в районе южного портала железнодорожного тоннеля №1 (по геологическим данным возможно залегание наряду с известняками и алевролитов) (ПР-8):

- коренные породы, затронутые выветриванием, характеризуются $V_p \sim 1,8$ км/с и $V_s \sim 0,6$ км/с. Мощность слоя до 10 м;
- относительно «сохранные» коренные породы характеризуются $V_p \sim 2,8$ км/с и $V_s \sim 1,0$ км/с;
- породы либо тектонически измененные, либо другого состава (возможно алевролиты), имеют $V_p \sim 1,8$ км/с и $V_s \sim 0,6$ км/с.

Участок от ПК148+30 до ПК 152+70 (ПР-1 и ПР-8):

- коренные породы, затронутые выветриванием, характеризуются $V_p \sim 2,0 - 3,4$ км/с и $V_s \sim 0,8 - 1,6$ км/с. Мощность слоя от 2 до 12 м;
- относительно «сохранные» коренные породы характеризуются $V_p \sim 3,8 - 4,6$ км/с и $V_s \sim 1,3 - 2,0$ км/с;

ЭМИ СШП исследования. Выполнялись для решения следующих задач:

- определения структуры массива грунтов и пород;
- выявления зон тектонических нарушений вдоль трасс проектируемых тоннелей по автодороге Адлер - Красная поляна и по возможности, определения направления их падения;
- определения строения и свойств пород на участках оползней;
- поиска зон ослабленных и трещиноватых пород;
- определения обводненных зон.

Места расположения точек ЭМИ СШП наблюдений представлены на карте фактического материала (см. рис. 3.1).

На участке проектируемых тоннелей (железнодорожный тоннель №1 и автомобильный №1) в горном массиве были выявлены некоторые инженерно-геологические и гидрогеологические особенности (см. рис. 3.3, разрез представлен по профилю в районе южного портала тоннельного комплекса №1). Тектоническая зона выделена на ПК 154+00 - 155+00.

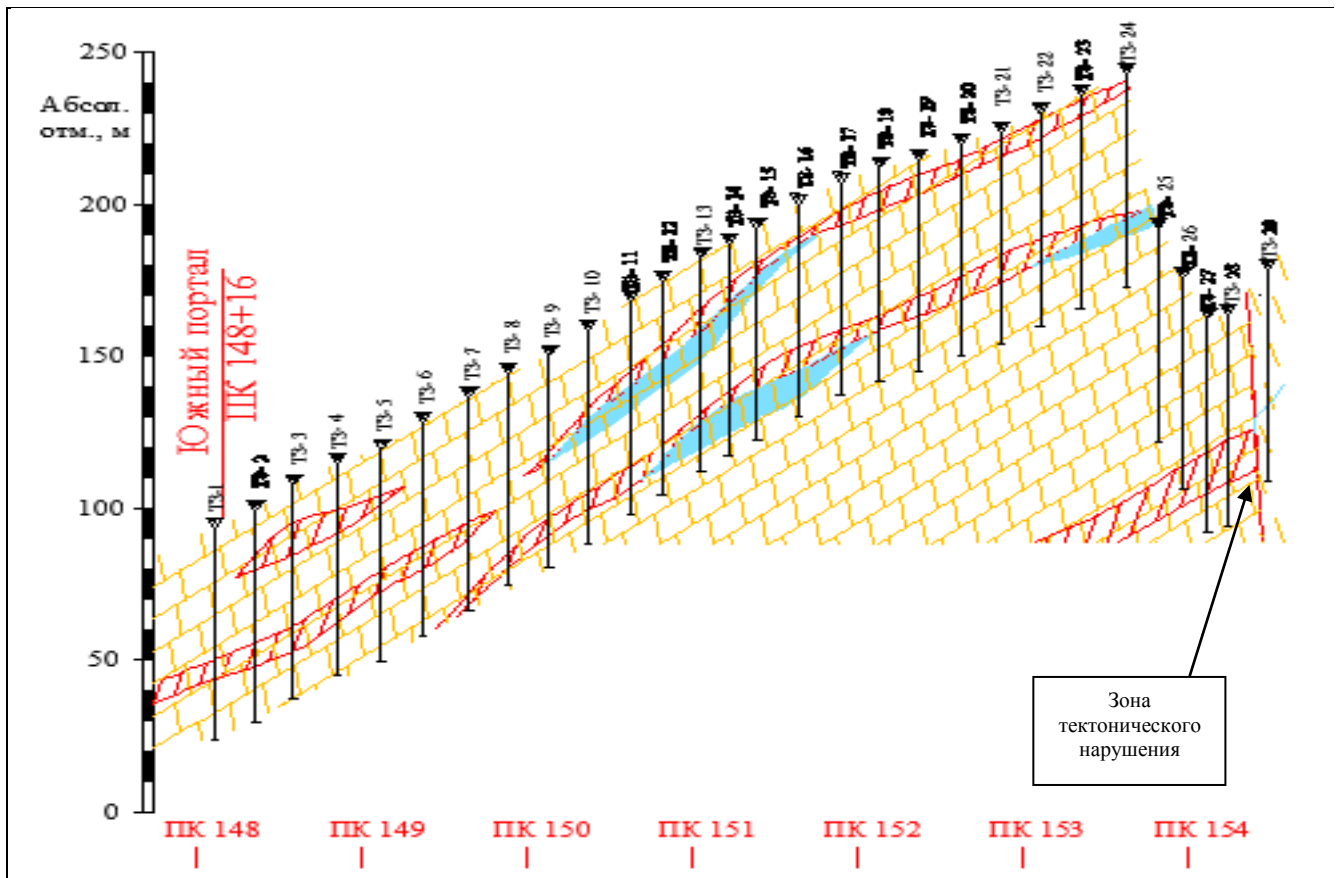


Рисунок 3.3 – Разрез по данным ЭМИ СШП

Электроразведочные работы выполнены для выявления зон тектонических нарушений (в том числе для оценки направления выходов тектонических нарушений с дневной поверхности на горизонт тоннеля), оценки глубины залегания не выветрелых коренных горных пород и зон повышенной водонасыщенности горного массива (местоположения обводненных зон) вдоль проектируемой трассы. Учитывая сложный характер рельефа, проектную глубину заложения тоннелей, а также цели и задачи работ в качестве методов исследований были выбраны следующие методы: вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ), электропрофилирование симметричной установкой, и электропрофилирование методом токов промышленной частоты (полученные результаты также были использованы при обработке материалов регистрации ЭМИ).

Электропрофилирование. Выполнено для выявления тектонических нарушений (в том числе для оценки направления выходов тектонических нарушений с дневной поверхности на горизонт тоннелей) и зон повышенной водонасыщенности горных пород (местоположения обводненных зон) вдоль трассы проектируемой совмещенной дорогой.

Электропрофилирование методом токов промышленной частоты. В результате работ данным методом были выявлены зоны с высоким уровнем промышленных помех (были учтены

при интерпретации результатов регистрации ЭМИ). Этот метод применялся для уточнения в плане расположения зон тектонических нарушений и участков с повышенной обводнённостью горных пород.

Электропрофилирование симметричной и несимметричными установками. Выполнялось в районе Южного портала тоннельного комплекса №1. Результаты приведены на рисунке 3.4.

По результатам электроразведочных работ сделан вывод о том, что по линии проектируемого тоннеля №1 отмечается чередование блоков пород повышенного (преимущественно известняки) и пониженного сопротивления (песчано-глинистые породы). При этом границы блоков хорошо выражены высокими значениями градиентов электросопротивлений (крутое залегание или сбросовая тектоника). Тоннель №1 по данным ВЭЗ проходит по достаточно однородному высокоомному разрезу (более 300 – 500 Ом·м), представленному средне – сцементированными песчано – карбонатными породами мезозоя.

Основные зоны тектонических нарушений и/или литологические границы по данным электропрофилирования по профилю выделялись на следующих местах на Южном портале тоннельного комплекса №1:

- в районе ПК147+10, ПК148+10, от ПК149+25 до ПК149+65 (сделано предположение о наличии здесь карстовой зоны);
- в районе ПК150+10, ПК150+70, ПК151+70 и ПК152+35.

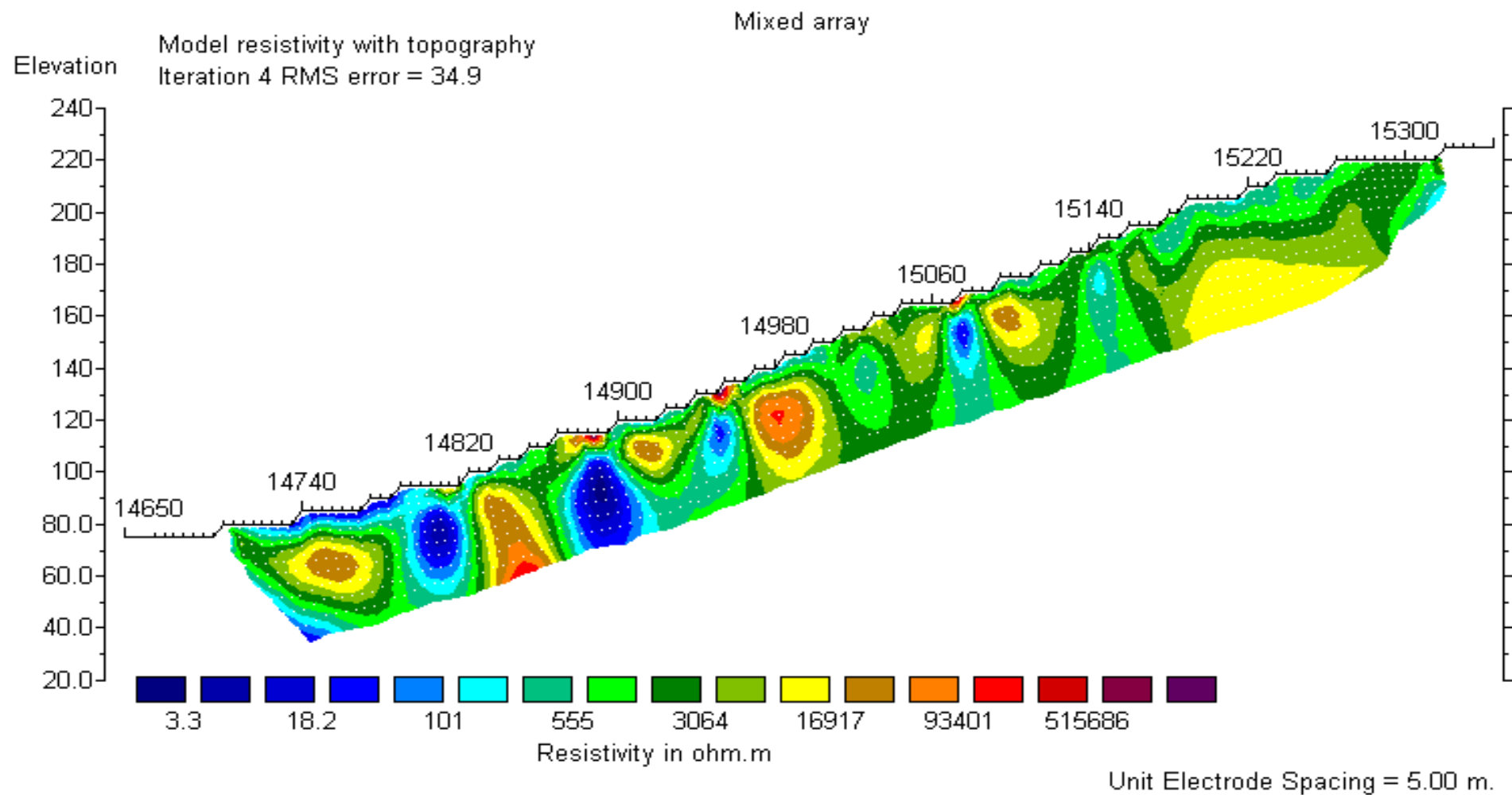
Участки повышенной обводнённости горного массива прогнозировались в следующих местах в районе Южного портала тоннельного комплекса №1 в районе ПК147+00, ПК148+10, ПК148+90, от ПК149+25 до ПК149+65, в районе ПК150+70 и ПК151+30 (см. рис. 3.6).

Результаты оценки современной геодинамической активности горного массива методом регистрации ЭМИ

Графики изменения по профилям 1 и 2 (см. рис. 3.1) параметров поля ЭМИ (в районе Южного портала тоннельного комплекса №1) и основные, выделяемые по результатам измерений, особенности поля ЭМИ по профилям приведены на рис. 3.5.

При интерпретации данных ЭМИ были выделены геодинамически активные зоны по проектируемой трассе (участки наиболее неустойчивых грунтов, которые, как правило, приурочены к границе аномально высоких значений поля ЭМИ):

- участок в районе ПК148+40 ;
- участок в районе ПК149+25 - 149+65;
- участок в районе ПК150+10;
- участок в районе ПК151+20;
- участок в районе ПК152+50.



Horizontal scale is 4.89 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 1.50
First electrode is located at 14650.0 m.
Last electrode is located at 15345.0 m.

Рисунок 3.4 – Электротомографический разрез. Южный участок трассы железнодорожного тоннеля №1.

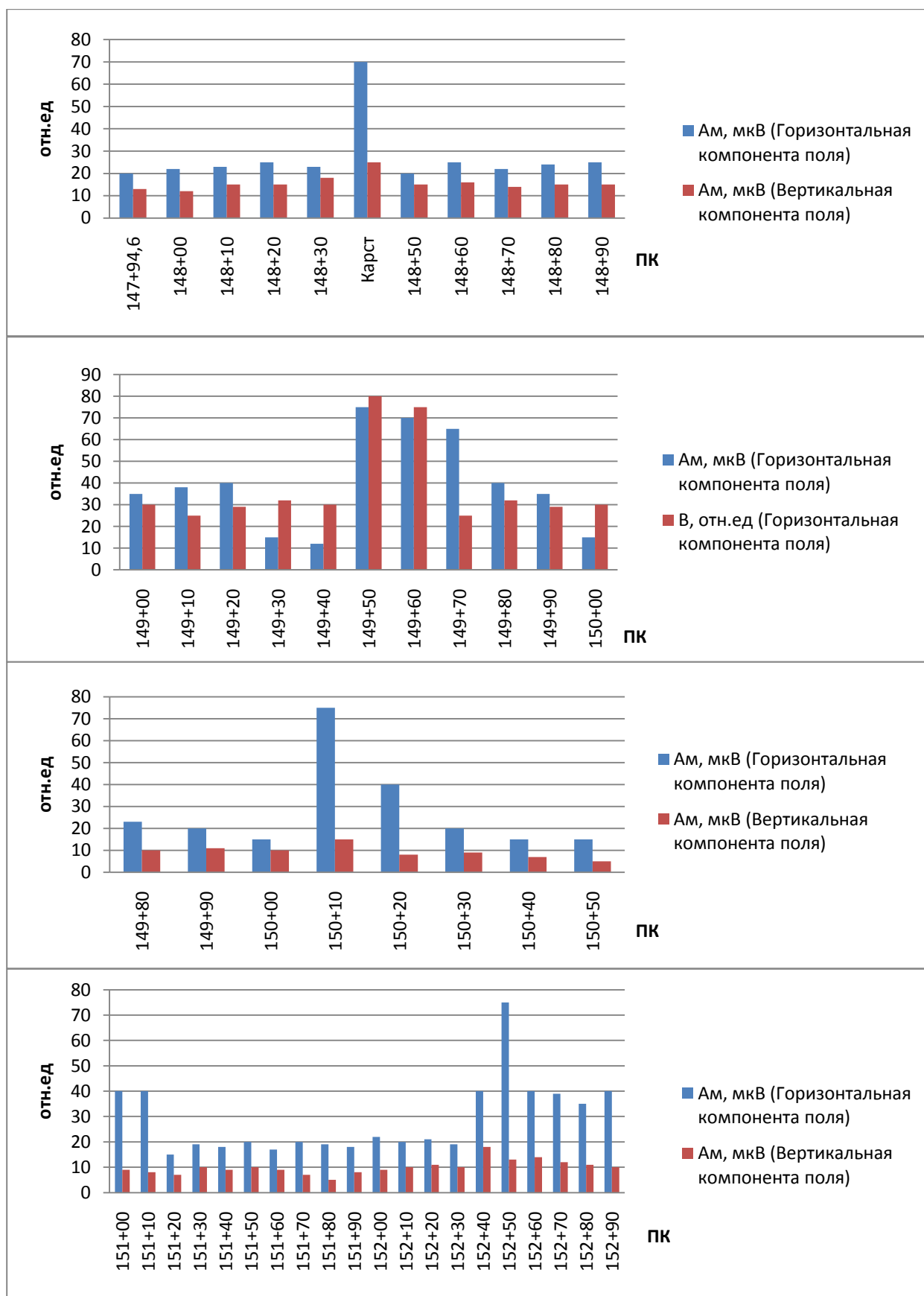


Рисунок 3.5 . - Результаты регистрации поля ЭМИ по трассе железнодорожного тоннеля.
Южный портал тоннельного комплекса №1

**Краткая оценка результатов геофизических работ при изысканиях в районе
Южного портала тоннельного комплекса №1 в сравнении с фактической
исполнительной геологией**

Проходка железнодорожного тоннеля №1 с южной стороны началась с ПК 147+94,60. По данным исполнительной геологии с момента врезки до ПК 148+00 находятся мергели слабой устойчивости, малопрочные, разуплотненные и обводненные (коэффициент крепости по Протодяконову 1,5 – 2,0 – 20-30%; 4,0 – 70-80%). Далее следует зона в районе ПК 148+00 – 148+05 с мергелем средней устойчивости (коэффициент крепости по Протодяконову 2,5 – 25%; 4,0 – 75%), после чего до ПК 148+15 наблюдаются породы слабой устойчивости, местами переработанные до «рухляка» (коэффициент крепости по Протодяконову 1,2 – 60-70%; 4,0 – 6,0 – 30-40%) и далее до ПК 148+72 породы средней устойчивости (коэффициент крепости по Протодяконову 2,2 – 5,0). Смена мергелей на известняки происходит в районе вскрытия карстовой полости на ПК 148+43 (см. рис. 3.7 – 3.8) (Данные взяты из геологического отчета строительной компании по исполнительной геологии автомобильного и железнодорожного тоннеля №1).

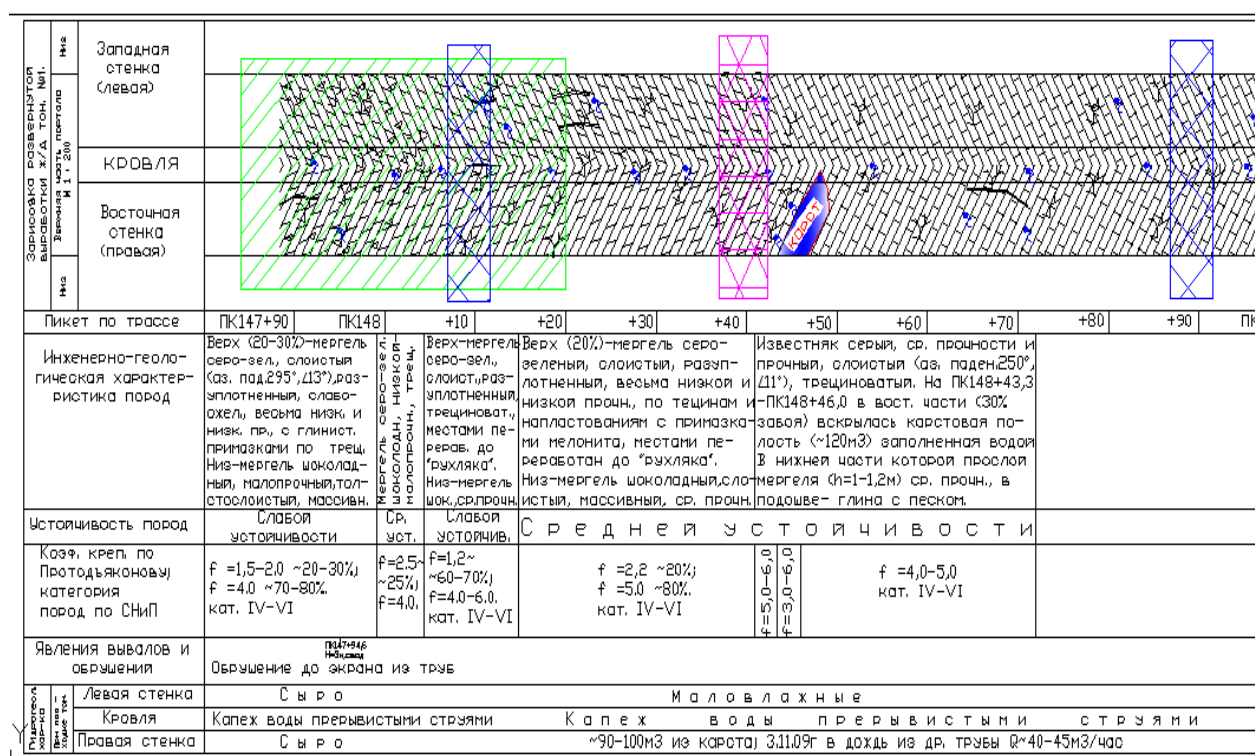


Рисунок 3.7 – Исполнительная геология железнодорожного тоннеля №1 со стороны Южного портала. Штриховкой показаны зоны аномалий выделенных геофизическими методами при изысканиях: зеленым – сейсморазведочные работы, синим – электроразведочные работы, фиолетовым – ЭМИ



Рисунок 3.8 – Карстовая полость на ПК 148+43,30 - 148+46,00

Методами инженерной сейсморазведки при изысканиях участок врезки тоннеля и далее до ПК 148+20 был выделен, как аномальный. Здесь прогнозировался участок менее прочных пород разуплотненных за счет различных факторов как экзогенных, так и эндогенных, более трещиноватых. В пределах этой зоны электроразведкой был выделен участок в районе ПК 148+10 – здесь прогнозировался участок повышенной обводненности и зона тектонического нарушения. Также аномальная зона по данным электроразведки выделялась на ПК 148+90.

Аномалия, выделенная методом ЭМИ, находится на ПК 148+40. По факту проходки в районе этого пикета (ПК 148+43,30 - 148+46,00) в восточной части вскрыта карстовая полость (120 м³), заполненная водой (см. рис. 3.8).

На рисунке 3.9 представлена исполнительная геология продолжение рисунка 3.7.

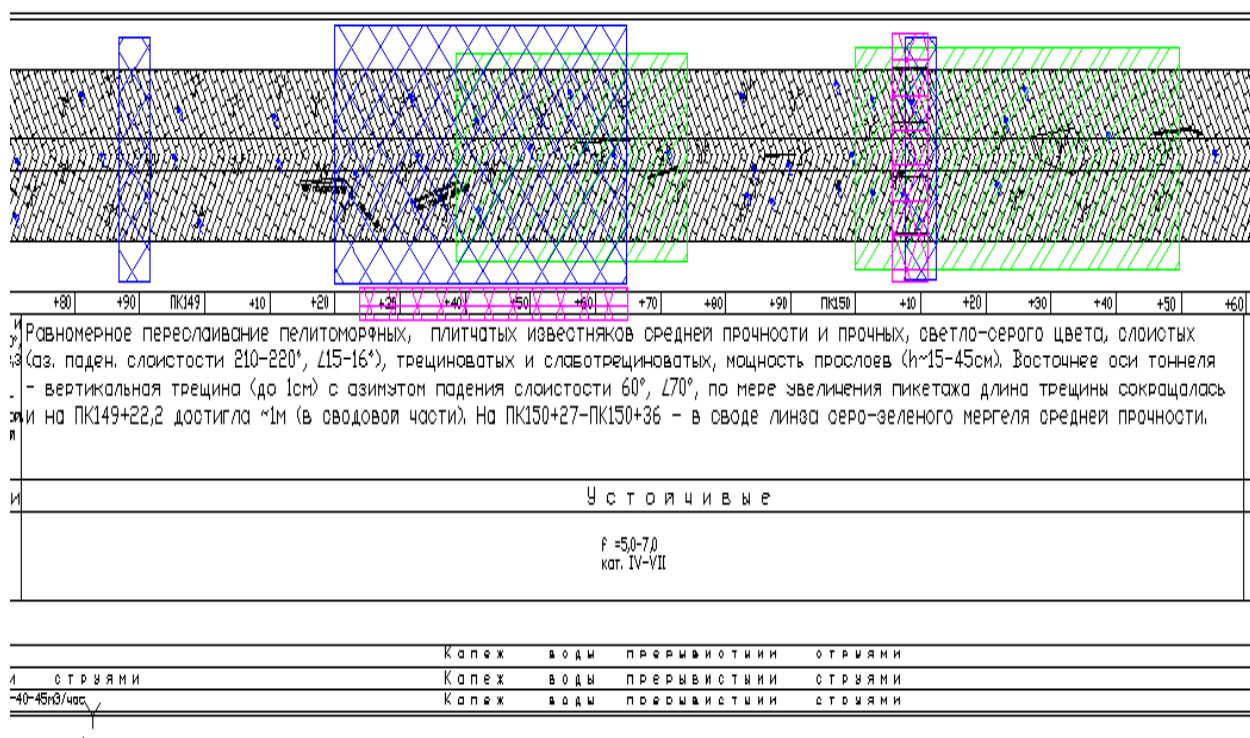


Рисунок 3.9 – Исполнительная геология железнодорожного тоннеля №1 со стороны Южного портала. Штриховкой показаны зоны аномалий выделенных геофизическими методами при изысканиях: зеленым – сейсморазведочные работы, синим – электроразведочные работы, фиолетовым – ЭМИ

На втором представленном интервале методами инженерной геофизики при изысканиях были выделены аномальные зоны в районе пикетов ПК 149+20 – 149+75 и 150+00 – 150+50. Аномалии поля ЭМИ, зафиксированы на ПК 149+25 – 149+65 и на ПК 150+10. Стоит отметить, что весь указанный интервал представлен плитчатыми устойчивыми известняками трещиноватыми и слаботрещиноватыми (коэффициент крепости по Протоdjаконову 5-7). Также на данном интервале восточнее оси тоннеля при проходке прослеживалась вертикальная трещина раскрытием до 1 см. По мере увеличения пикетажа длина трещины сокращалась и на ПК 149+22,2 достигла 1 м в сводовой части.

На рисунке 3.10 представлено продолжение рисунка 3.9.

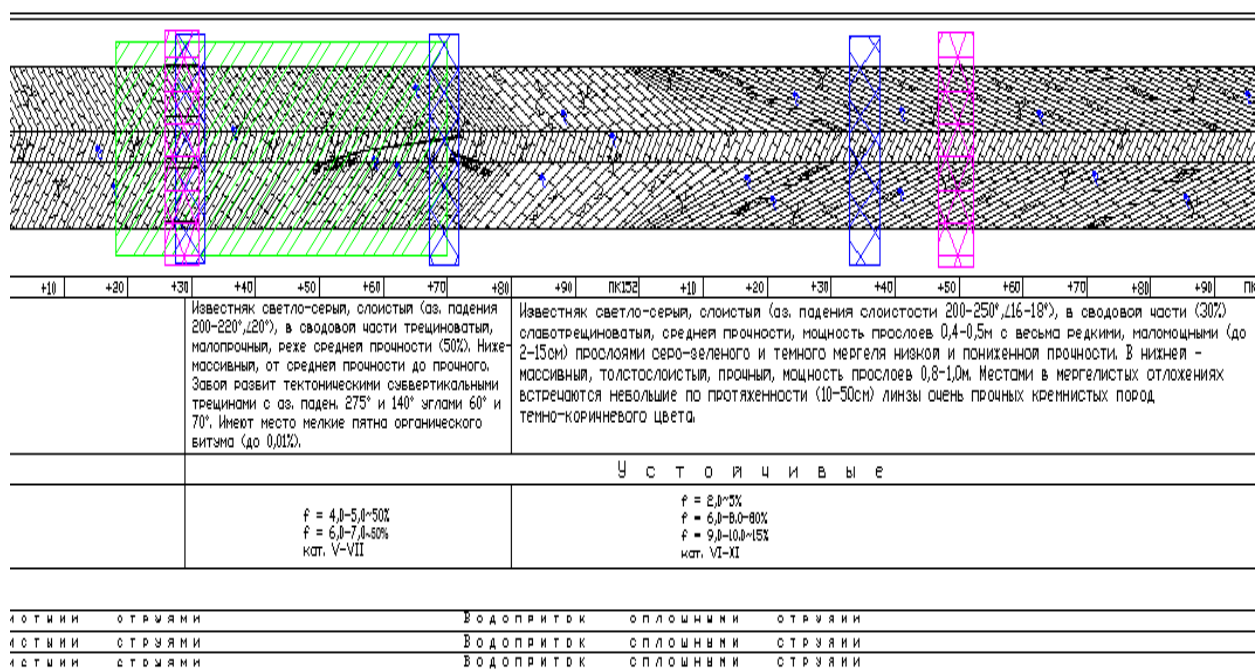


Рисунок 3.10 – Исполнительная геология железнодорожного тоннеля №1 со стороны Южного портала. Штриховкой показаны зоны аномалий выделенных геофизическими методами при изысканиях: зеленым – сейсморазведочные работы, синим – электроразведочные работы, фиолетовым – ЭМИ

В пределах третьего выделенного интервала в районе припортального участка железнодорожного тоннеля №1 при изысканиях выделялись геофизические аномалии в районах ПК 151+20 – 151+70, а также отдельные аномалии на ПК 152+35 (электроразведочные работы) и на ПК 152+50 (ЭМИ). Первый из выделенных аномальных интервалов характеризовался при проходке переходом от переслаивания известняка и мергеля средней устойчивости (коэффициент крепости по Протодяконову 4-5) к известнякам устойчивым на ПК 151+30 (на данном пикете отмечается аномальная зона по всем выполняемым геофизическим методам) (коэффициент крепости по Протодяконову 4 - 5 – 50%; 6,0 – 7,0 – 50%). Кроме этого в районе прогнозируемого нарушения по факту проходки забой был разбит тектоническими субвертикальными трещинами. Окончание аномального интервала при проходке отмечалось сменой на менее крепкие известняки с линзами прочных кремнистых пород (коэффициент крепости по Протодяконову 2,0 – 5%; 6,0 – 8,0 – 80%; 9,0 – 10,0 – 15%).

В результате анализа полученных данных установлено, что аномальные зоны, выделенные по повышенной интенсивности ЭМИ на дневной поверхности над тоннелями, соответствуют областям проявления геодинамической активности массива горных пород, приуроченным к геологическим неоднородностям в массиве, выявленных комплексом геофизических методов, а также по факту проходки тоннеля.

3.1.4. Оценка существующей геодинамической активности в районе выявленных тектонических нарушений на примере комплексных геофизических изысканий на Байкальском тоннеле

Для получения исходных данных для проектирования строительства нового Байкальского железнодорожного тоннеля на основе оценки состояния горного массива по данным геофизических исследований осенью 2013 года проводились сейморазведочные и сейсмоакустические исследования, электроразведывание и электропрофилирование. Оценка современной геодинамической активности массива горных пород при комплексных инженерно-геофизических изысканиях по трассе нового Байкальского тоннеля общей длиной 7200 м, выполнялись методом ЭМИ.

По данным сейморазведочных работ были выделены зоны тектонических нарушений и даны физико-механические характеристики вмещающих пород: зоны тектонических нарушений, зон дробления, мелонитизации и катаклаза, а также породы зоны выветривания по трассе проектируемого тоннеля развиты по всей трассе тоннеля и характеризуются $E_0 \sim 2300 - 9800$ МПа. Наиболее прочными породами по трассе тоннеля являются габбро-диабазы, характеризующиеся статическим модулем деформации $E_0 \sim 17000 - 24000$ МПа. Остальные породы характеризуются $E_0 \sim 8000 - 17000$ МПа.

По материалам электроразведочных работ выявлены основные особенности строения массива горных пород, тектонические нарушения и границы литологических разностей по трассе проектируемого тоннеля: структурно горный массив представлен гранито-гнейсами, с наличием многочисленных тектонических нарушений. В целом горные породы массива высокоомные, что указывает на их малую пористость (трещиноватость); а также выполнен прогноз местонахождения обводнённых участков горного массива по трассе проектируемого тоннеля и зон с повышенным водопритоком при проходке тоннеля.

Оценка существующей геодинамической активности массива горных пород, производилась профилированием с регистрацией поля электромагнитного излучения горного массива.

По результатам регистрации ЭМИ (см. рис. 3.11 – 3.14) в транспортно-дренажной штольне Байкальского тоннеля был выделен ряд геодинамически активных зон. Все зоны, в которых регистрировались повышенные значения ЭМИ – потенциально зоны с повышенной геодинамической активностью – сведены в таблицу 3.1, с указанием характера аномалии ЭМИ, а также возможной причиной возникновения аномалии.

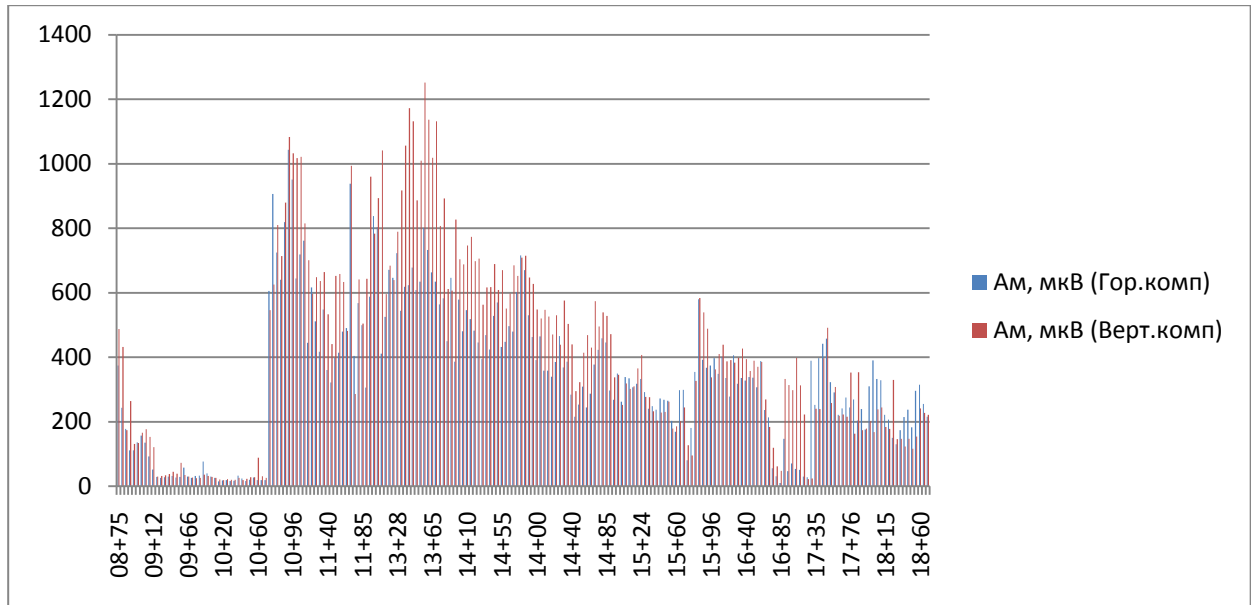


Рисунок 3.11 – Результаты регистрации ЭМИ. Припортальный участок с железобетонной подковообразной обделкой (Восточный портал – ПК 11+20); участок тектонического нарушения с железобетонной подковообразной обделкой (ПК 13+00 – 13+70)

Средние значения параметров поля ЭМИ по данному интервалу: Ам = 377 мкВ. По интервалу выделяются следующие аномальные зоны геодинамической активности вмещающего массива (интенсивность ЭМИ превышена в 2-3 раза): ПК 08+75 – 09+20; ПК 10+70 – 15+00; ПК 15+80 – 16+50; Район ПК 17+50.

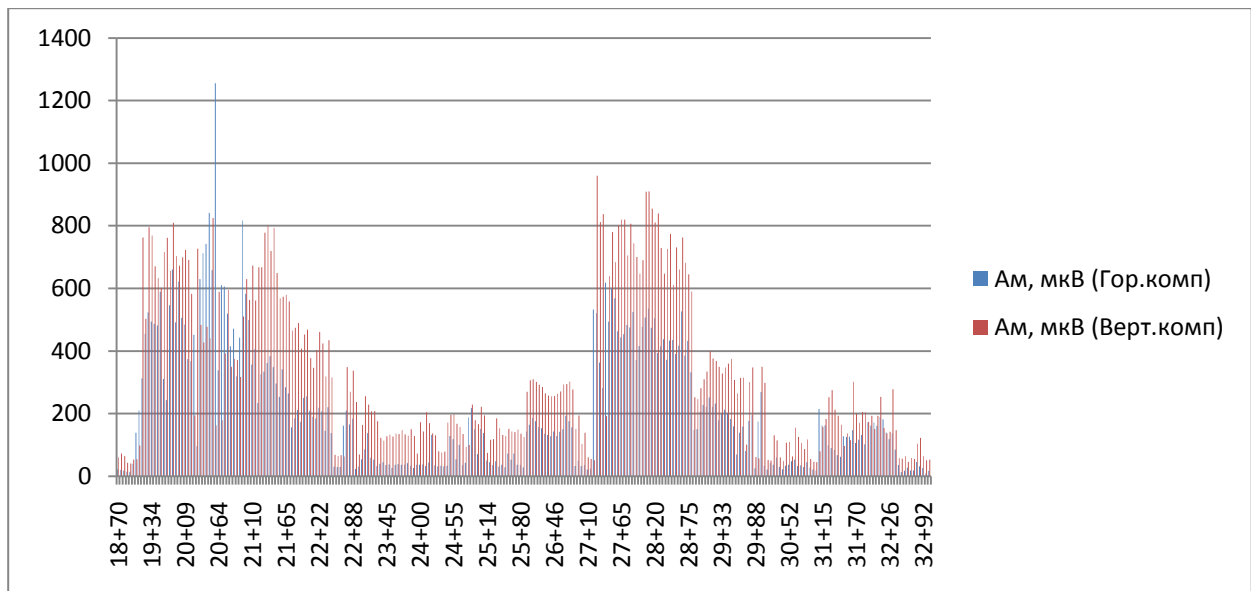


Рисунок 3.12 - Результаты регистрации ЭМИ на ПК 18+70 – 33+00

Средние значения параметров поля ЭМИ по данному интервалу: Ам = 270 мкВ. По интервалу выделяются следующие аномальные зоны геодинамической активности вмещающего массива (интенсивность ЭМИ превышена в 2-3 раза): ПК 19+10 – 22+00; ПК 27+25 – 28+80.

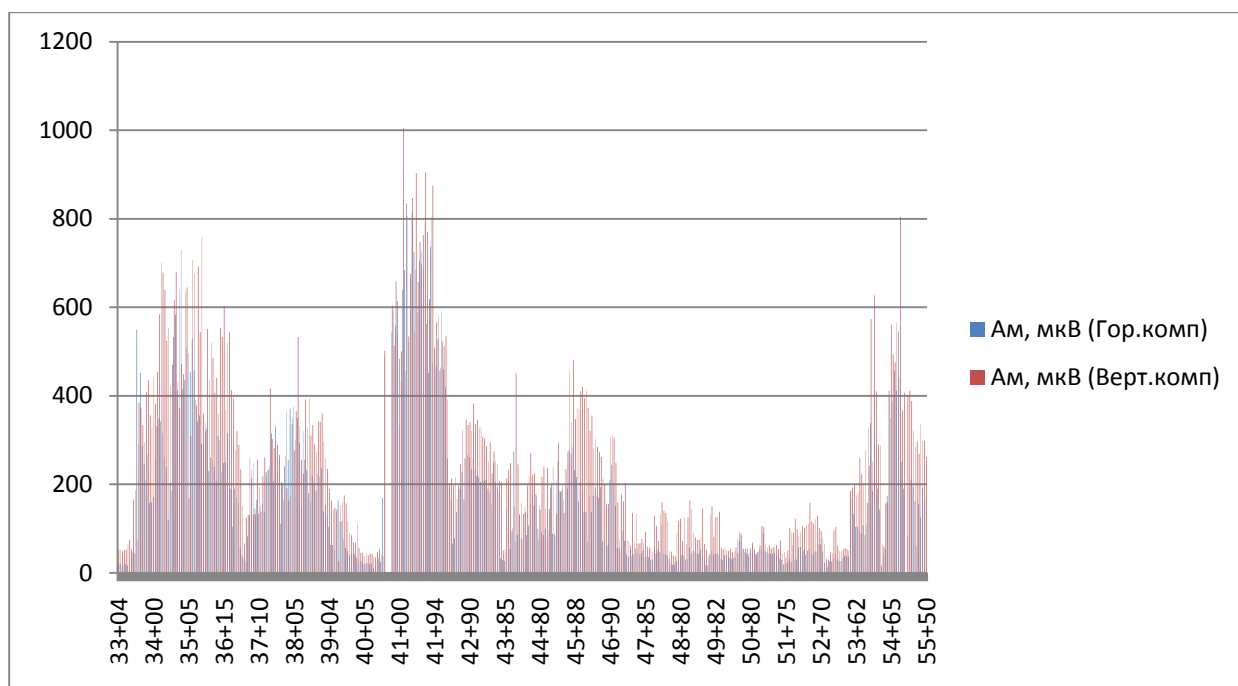


Рисунок 3.13 – Результаты регистрации ЭМИ на ПК 33+00 – 50+50

Средние значения параметров поля ЭМИ по данному интервалу: Ам = 214 мкВ. По интервалу выделяются следующие аномальные зоны геодинамической активности вмещающего массива (интенсивность ЭМИ превышена в 2-4 раза): ПК 33+50 – 36+40; Район ПК 38+15; ПК 40+60 – 42+30; ПК 42+80 – 47+00; ПК 52+00 – 55+00.

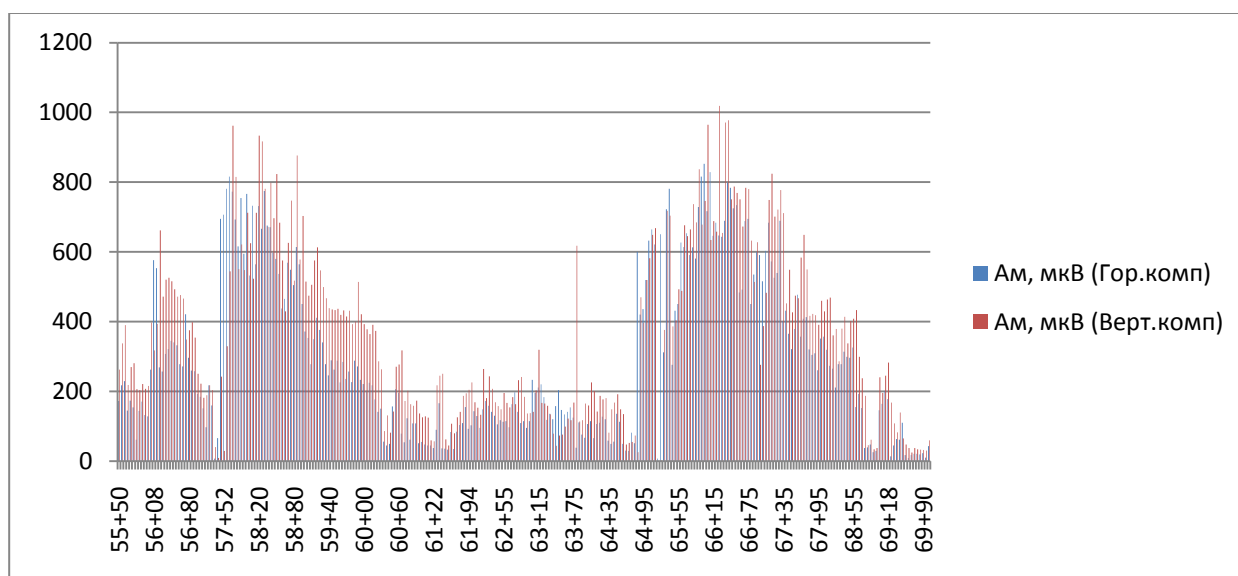


Рисунок 3.14 – Результаты регистрации ЭМИ на ПК 50+00 – 70+00

Средние значения параметров поля ЭМИ по данному интервалу: Ам = 331 мкВ. По интервалу выделяются следующие аномальные зоны геодинамической активности вмещающего массива (интенсивность ЭМИ превышена в 2-3 раза): Район ПК 56+20; ПК 57+70 – 59+20; ПК 62+00 – 63+50; ПК 64+80 – 67+70.

Таблица 3.1

№	ПК	Характер аномалии ЭМИ	Возможная причина аномалии	Основные аномалии, выделенные в ходе сейсморазведочных работ	Основные аномалии, выделенные в ходе электроразведочных работ
Аномальные зоны, выделенные по измерениям ЭМИ, проведенным 12.10.2013 г.					
1	08+75 – 09+20	Слабая	Припортальная зона, отдельные крупные протяженные тектонические трещины	Припортальная зона, ослабленные и разуплотненные породы	Для участка от восточного портала до ПК22+10 характерна резкая изменчивость электрического поля, что связано с наличием блоков пород различной литологии и большого количества тектонических нарушений на данном участке
2	10+70 – 15+00	Интенсивная	Отдельные крупные протяженные тектонические трещины	С ПК 10+20 и далее до ПК 14+60 выделяются тектонические нарушения	

3	15+80 – 16+50	Слабая	Зона милонитизации и катаклаза. На ПК 16+48 заканчивается диафторито-гранито-гнейсовая толща и начинается сиенито-диорито-гнейсовая толща (ПК тоннеля)	С ПК 15+30 до 17+10 выделяются тектонические нарушения	
4	Район ПК 17+50	Слабая	Зона милонитизации и катаклаза	Зона разуплотненных пород	
5	19+60 - 20+20	Слабая	Отдельные крупные протяженные тектонические трещины. На ПК 20+38 заканчивается сиенито-диорито-гнейсовая толща и начинается очково-граносиенито-гнейсовая толща (ПК тоннеля)	Зона ослабленных и разуплотненных пород, связанная с изменением геологических условий	
6	21+15 -22+00	Интенсивная	Отдельные крупные протяженные тектонические трещины	Тектонические нарушения на ПК 20+70, 20+90	

7	Район ПК 23+60	Слабая	Влияние дайкового и жильного комплекса среднего протерозоя	Тектоническое нарушение на данном ПК	От ПК22+10 до ПК34+00 наблюдается однообразный литологический состав, осложненный некоторым количеством тектонических нарушений (в районе ПК23+60 , ПК26+00, ПК27+80, от ПК28+45 до ПК30+10)
8	25+13 – 27+50	Интенсивная	Влияние дайкового и жильного комплекса среднего протерозоя	Тектонические нарушения на ПК 26+00, 26+50, 27+60, 27+80	
Аномальные зоны, выделенные по измерениям ЭМИ, проведенным 04.10.2013 г.					
9	08+75 – 09+25	Слабая	Припортальная зона, отдельные крупные протяженные тектонические трещины		Для участка от восточного портала до ПК22+10 характерна резкая изменчивость электрического поля, что связано с наличием блоков пород различной литологии и большого

					количества тектонических нарушений на данном участке
10	12+20 – 13+00	Слабая	Отдельные крупные протяженные тектонические трещины	Тектонические нарушения выделяются на ПК 12+90, 13+00	
11	14+40 – 14+60	Слабая	Зона милонитизации и катаклаза	Тектоническое нарушение на ПК 14+50	
12	15+00 – 16+50	Интенсивная	Зона милонитизации и катаклаза. На ПК 16+48 заканчивается диафорито-гранито-гнейсовая толща и начинается сиенито-диорито-гнейсовая толща (ПК тоннеля)	С ПК 15+30 до 17+10 выделяются тектонические нарушения	
13	17+00 – 17+50	Интенсивная	Зона милонитизации и катаклаза	Зона разуплотненных пород в районе ПК 17+50	
14	18+00 – 18+50	Интенсивная	Отдельные крупные протяженные тектонические	Тектоническое	

			трещины	нарушение на ПК 18+60	
15	19+10 – 22+00	Интенсивная	Отдельные крупные протяженные тектонические трещины, влияние дайкового и жильного комплекса среднего протерозоя. На ПК 20+38 заканчивается сиенито-диорито-гнейсовая толща и начинается очково-граносиенито-гнейсовая толща (ПК тоннеля)	Тектонические нарушения на ПК 20+70, 20+90	
16	27+25 – 28+80	Интенсивная	Влияние дайкового и жильного комплекса среднего протерозоя	Тектонические нарушения на ПК 27+60, 27+80, 28+20 – 28+60	От ПК22+10 до ПК34+00 наблюдается однообразный литологический состав, осложненный некоторым количеством тектонических нарушений (в районе ПК23+60, ПК26+00, ПК27+80, от ПК28+45 до ПК30+10);
17	33+50 – 36+40	Интенсивная	Влияние дайкового и жильного комплекса среднего протерозоя, отдельные крупные	Тектонические нарушения на ПК 33+70, 37+00 – 37+20	От ПК34+00 до крупной тектонической зоны (зона надвига от ПК45+15 до

			протяженные тектонические трещины	(крупное), 37+40	ПК46+70). Здесь трассу тоннеля пересекают несколько согласных с основным нарушением и оперяющих его тектонических трещин. Большинство их находится в районе: ПК34+00, ПК37+40; ПК40+50, ПК42+55 и ПК44+40
18	Район ПК 38+15	Интенсивная	Отдельные крупные протяженные тектонические трещины	Крупное тектоническое нарушение на ПК 38+10	
19	40+60 – 42+30	Интенсивная	Отдельные крупные протяженные тектонические трещины	Тектонические нарушения на ПК 40+60, 41+60. Зона ослабленных и разуплотненных пород: V_p снижается с 5 до 3 км/с; V_s снижается с 2,5 до 1,7 км/с	Тектонические трещины в районе ПК 40+50, 42+50
20	Район ПК 42+80	Слабая	Зона тектонического шва и тектонических нарушений	Тектоническое нарушение на ПК 42+60	Тектонические трещины в районе ПК 42+50

			(надвиг)		
21	45+50 – 47+00	Слабая	Зона тектонического шва и тектонических нарушений (надвиг). На ПК 45+50 заканчивается очково-гранитосиенито-гнейсовая толща и начинается катаклазит-гранито-гнейсовая толща (ПК тоннеля)	Тектонические нарушения на ПК 45+10, 45+30, 47+40. Зона ослабленных и разуплотненных пород: V_p снижается с 5 до 3,6 км/с; V_s снижается с 2,5 до 1,9 км/с	Выделяется крупная тектоническая зона на ПК 45+15 – 46+70
22	52+00 – 55+00	Интенсивная	Влияние мощной зоны милонитизации и катаклаза	Тектонические нарушения на ПК 52+00, 52+50, 52+90, 53+60 – 54+30	От ПК46+70 до ПК54+70 и здесь отмечен мало трещиноватый участок без значимой тектоники с незначительными нарушениями на ПК53+70 и ПК54+40
23	Район ПК 56+20	Интенсивная	Отдельные крупные протяженные тектонические трещины	Аномалия ЭМИ окружена в районе данного ПК тектоническими нарушениями в районе ПК 55+80 – 56+00 и в районе ПК 56+40 –	Выделяется тектоническая зона на ПК 56+00

				56+80	
24	57+70 – 59+20	Интенсивная	Отдельные крупные протяженные тектонические трещины, зона милонитизации	Тектоническое нарушение на ПК 57+80, 58+40 – 58+60, крупное тектоническое нарушение выделяется на ПК 59+00 – 59+40. Зона ослабленных и разуплотненных пород: V_p снижается с 5 до 3,5 км/с; V_s снижается с 2,4 до 1,8 км/с	Выделяются тектонические зоны на ПК 57+80, 58+70
25	62+00 – 63+50	Слабая	Система отдельных крупных протяженных тектонических	Выделяется система отдельных	Выделяется тектоническая зона на ПК 60+10 – 68+30

			трещин	тектонических нарушений на ПК 61+60 – 64+60	
26	64+80 – 67+70	Интенсивная	Система отдельных крупных протяженных тектонических трещин	Тектонические нарушения на ПК 64+60 – 65+00 и на участке ПК 67+60 – 68+20. Зона ослабленных и разуплотненных пород: V_s снижается с 2,6 до 1,6 км/с	Район крупного тектонического нарушения с большим количеством соосных и оперяющих трещин
27	70+40 – 71+13	Слабая	Чередование порфиroidов, бластомилонитов и ортогнейсов по гранитоидам, система тектонических трещин. На ПК 70+50 заканчивается катаклазит-гранито-гнейсовая толща и начинается порфировидная метасубвулканическая бластомилонит-ортогнейсовая	Тектонические нарушения на ПК 70+30, 70+60, 70+80	Тектонические нарушения на ПК 69+ 70, 70+50

			толща (ПК тоннеля)		
28	Район ПК 71+70	Интенсивная	Чередование порфироидов, бластомилонитов и ортогнейсов по гранитоидам, система тектонических трещин	Аномалия ЭМИ окружена в районе данного ПК тектоническими нарушениями на ПК 71+60 и ПК 71+80	Выделяется тектоническая зона на ПК 71+60
29	73+25 – 75+00	Интенсивная	Припортальная зона, чередование порфироидов, бластомилонитов и ортогнейсов по гранитоидам, система тектонических трещин	Тектонические нарушения на ПК 73+25, 73+60, 74+00 – 75+00	Выделяются тектонические зоны на ПК 73+50, 75+40

По результатам анализа данных, полученных стандартными геофизическими методами, при комплексном исследовании горнотехнических условий вдоль трассы существующего Байкальского тоннеля экспериментально установлено следующее. Аномальные зоны, выделенные по повышенным значениям параметров ЭМИ внутри Байкальского тоннеля, соответствуют областям проявления слабой геодинамической активности массива горных пород, приуроченным к геологическим неоднородностям (тектоническим нарушениям) в массиве, выявленных комплексом геофизических методов.

3.2. Электромагнитное излучение на оползневых склонах и местах осадок дневной поверхности в результате суффозионных процессов

3.2.1. Контроль НДС оползневого склона методом регистрации ЭМИ

В данной главе приведены примеры аномального проявления ЭМИ в областях активизации геомеханических процессов на оползневых склонах и местах осадок дневной поверхности в результате деятельности суффозионных процессов.

В рамках мониторинговых работ на оползневых склонах в Сочи в составе комплекса методов, проводилась оценка устойчивости припортовых участков строящихся и действующих тоннелей в Сочи методом ЭМИ. В результате данных исследований получена информация о качественных зависимостях между излучениями ЭМИ и деформациями оползневого массива, а также деформациями дневной поверхности при суффозионной осадке.

3.2.2. Результаты мониторинговых работ на оползнях

3.2.2.1. Мамайский оползень

Одним из примеров прогнозирования геодинамической активности оползнеопасного склона с помощью метода ЭМИ можно считать проводимые мониторинговые наблюдения на перегоне Дагомыс-Сочи, где участок железной дороги пересекает оползневой склон – Мамайский оползень. Этот участок Северо-Кавказской железной дороги известен как оползневый с 1914 г., когда здесь, в нижней части абразионного склона, в 20-70 м от уреза моря, он впервые был подрезан полувыемкой железной дороги на высоту до 10-20 м. Глинистые породы в откосе вскоре начали оползать на полотно дороги. Противооползневые мероприятия (подпорные стены с дренажами, сеть поверхностных водотоков, гидросмыв оползневых пород) оказались малоэффективными – оползень продолжал разрастаться вверх по склону. В 1950-52 г.г. вдоль дороги построена закрытая галерея (тоннель №4) протяженностью около 500 м.

Мамайский оползневой массив по характеру смещения пород и морфологии склона разделяется на 2 части:

1) верхняя часть мощностью 3-6 м состоит из делювиально-пролювиальных отложений и не представляет угрозы сохранности конструкциям тоннеля, так как эта часть оползня просто переползает поверх кровли галереи вниз, на пляжевую полосу, где затем уносится в море. Причем активность этого сползания ранее была обусловлена, в основном, периодическим обводнением массива природными осадками. В последние же

10-15 лет эта активность в большей степени связана уже с искусственным замачиванием верхних участков оползня из многочисленных индивидуальных прудов и бассейнов и с протечками из многочисленных разрывов из 3-х городских водоводов;

2) нижняя часть является так называемым древним (верхнечетвертичным) оползнем и состоит из блоков коренных пород и перекрывающих их глинисто-щебенистого покрова. Поверхность сдвига залегает на глубинах не менее 30-40м. Это подтверждено многочисленными скважинами, вскрывающими блоки сдвинутых коренных пород с различной ориентацией слоистости, глиной трения по плоскостям. Данная часть оползневого массива условно стабилизирована, а на его поверхности имеет развитие древняя терраса – Карангатская терраса, сложенная гравийно-галечниковыми отложениями. Однако техническая деятельность человека привела в движение грунтовые массы не только поверхностного оползня, но и древние оползневые массы, на что указывают данные инклинометрических измерений в скважинах и отдельные сооружения, стоящие на довольно глубоких сваях (12-15 м).

Основание действующего тоннеля №4 (крытая галерея) было устроено на сдвинутых блоках коренных пород древнего оползня, особенно заметно это в районе Северного портала. Однако устойчивость этих коренных пород весьма условна, о чем свидетельствуют количественные показатели приращений напряженно-деформированного состояния по длине тоннеля и динамика раскрытия швов между заходками обделки.

Во время проведения мониторинговых работ отмечались обширные очаги активного развития оползневого процесса на вышележащем склоне. В составе переползаемых поверх тоннеля грунтов, кроме обломков и глин сочинской свиты, встречены глыбы песчаника и мергеля Мамайской свиты, залегающей над Сочинской, а также песчано-гравийно-галечный грунт Карангатской террасы, что также указывает на значительную глубину захвата грунтов оползевым смещением. Таким образом, действующий тоннель №4 (крытая галерея) по сути, выполняет функцию удерживающего сооружения. Тоннелем №4 перекрыт сток грунтовых вод с поверхности вышележащего оползневого склона, что приводит к интенсивному замачиванию грунтов в дождевые периоды и провоцирует активизацию оползневого процесса.

Выше отметок 45-50 м, а у Северного портала галереи – выше 30 м склон застроен 1-3 этажными частными жилыми домами. Дополнительная пригрузка головной части оползневого склона, хозяйственная деятельность, связанная, в том числе с дополнительным неорганизованным водосбросом, непрофессиональные попытки укрепления склона отдельными владельцами только ухудшают общую ситуацию. В 2006 –

2007 годах оползень довольно четко оконтуривался стенками срыва высотой от 0,3-0,5 до 2-3 м. Поверхность его неровная, ступенчатая, разбитая многочисленными трещинами.

Мониторинговые наблюдения за состоянием оползневого массива и конструкциями тоннеля №4, проводимые ОАО ЛМГТ с 2006 года, на 2007 год позволяли констатировать следующее:

1. В зонах границы Воронцовского надвига и оползней-потоках, расположенных вблизи тоннеля, отмечается повышенная геодинамическая активность оползневого массива.

2. На участке надтоннельных пластичных пород оползней-потоков и зоны границы Воронцовского надвига происходит вовлечение в оползневой процесс прилегающих к ним относительно сохранных грунтов, о чем свидетельствуют изменение обводненности и строения оползневого массива.

3. Нестабильность и изменчивость физико-механических параметров горных пород, слагающих оползневой массив, говорит об изменении состояния, свойств и строения тела оползней-потоков, расположенных вблизи тоннеля. Прослеживается тенденция сдвижения тела оползня одновременно с подстилающими его блоками ослабленных коренных пород с захватом более устойчивых пород, залегающих рядом с ранее активной частью оползня в зоне границы Воронцовского надвига.

4. Существенные изменения и колебания гидростатического давления и уровня подземных вод говорят о постоянном периодическом возникновении динамических сил, влияющих на устойчивость оползневых склонов.

5. По материалам инклинометрии практически во всех скважинах отмечено относительное смещение, связанное с подвижкой вмещающих пород. В частности, установлено, что практически все скважины искривились и сместились на 0.8-1.2 м на глубине свыше 20 м и на 3-3.2 м на поверхности, а одна скважина на 4.4 м. Азимуты направления смещения (деформации) стволов скважин колеблются от 200° до 268° и практически повсеместно совпадают с направлением склонов локального рельефа местности.

6. Геодезический мониторинг сдвижения поверхности оползневого склона показал, что максимальное смещение склона наблюдается в районе границы Воронцовского надвига.

7. Оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций тоннеля показывает на медленный тренд напряжений в сторону сжатия стенки тоннеля, прилегающей к оползню, и растяжения стенки с морской стороны. Наиболее опасными изменениями следует считать периодическое приращение растягивающих напряжений,

которое, превышая прочностные показатели бетона на растяжение, приводило к появлению трещин в обделке и дальнейшему разрушению материала крепи при наличии водопроявлений.

Наряду с методами комплексного мониторинга в районе Мамайского оползневого массива и по тоннелю (сейсморазведка, электроразведка, комплекс геофизических и гидрогеологических исследований в скважинах, геодезические измерения и др.), оценивалось качественное состояние оползневого массива методом ЭМИ. В том числе по профилю №3 в районе Северного портала тоннеля №4 профильные измерения поля ЭМИ проводились в 2006 - 2007 г. г. (рис. 3.15).

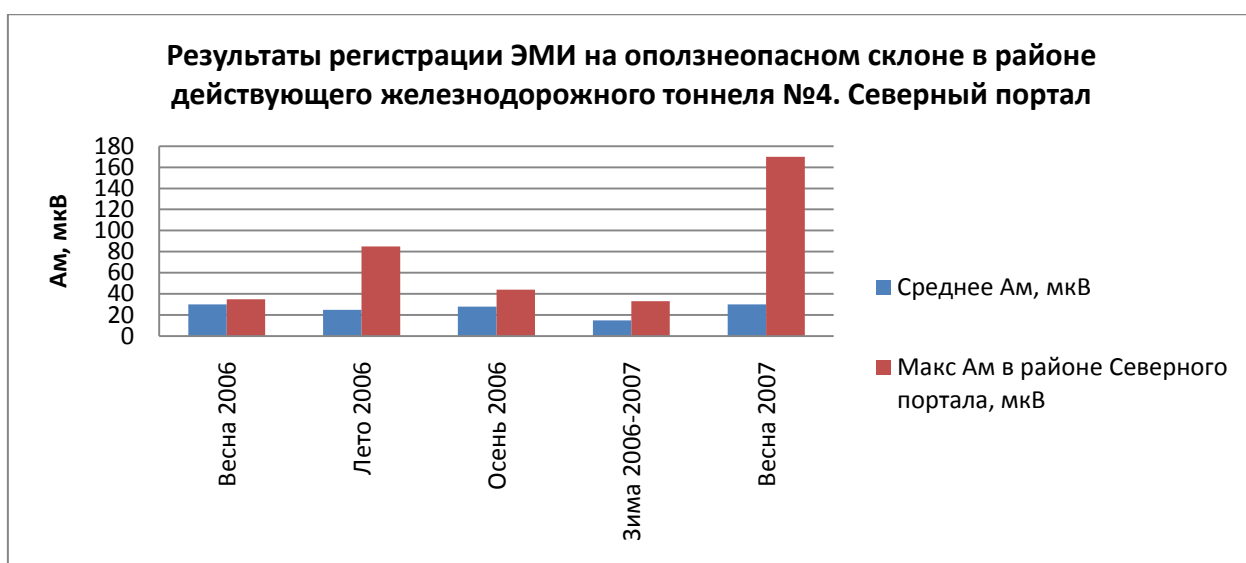


Рисунок 3.15. – Результаты регистрации ЭМИ на оползнеопасном склоне

На представленной гистограмме видно, что при измерениях поля ЭМИ весной 2006 года средние фиксируемые значения поля по профилю не превышали 30 – 45 мкВ. Всплески интенсивности поля ЭМИ отмечались лишь летом 2006 (до 85 мкВ) в начале профиля (в непосредственной близости к Северному portalу тоннеля). Средние значения амплитудного параметра поля ЭМИ в марте 2007 также не превышали 40 мкВ, однако, в районе Северного портала тоннеля №4 фиксировалось превышение фоновых значений более чем в 5 раз (до 170 мкВ). В результате комплексного анализа проведенных наблюдений методом ЭМИ весной 2007 года было сделано заключение о том, что «продолжается постепенное вовлечение в оползневый процесс новых прилегающих участков горных пород, ранее относительно устойчивых. После дождей (или дополнительного поступления воды в оползневый массив из других источников) возможна дальнейшая активизация оползня в районе ж/д пути в 20-80 метрах от Северного портала тоннеля».

Анализ всех методов комплексного горнотехнического мониторинга по данному объекту в марте-апреле 2007 позволил сделать вывод о существенном повышении вероятности схода оползня рядом с Северным порталом. Это предупреждение в виде заключения в начале апреля 2007 г. было передано Заказчику (ДКРС) и службам СКЖД для подготовки сценария реагирования на возможный сход оползня. В конце апреля того же года мероприятия по предотвращению начались реализовываться, правда несколько запоздало. Но и этого хватило, чтобы весьма существенно снизить ущерб и убытки от схода оползня, который все-таки произошел 2 мая 2007 года на участке 20-80 м от Северного портала с выносом грунтовых оползневых масс на железнодорожный путь. В мае-июне 2007 г. на данном участке были завершены работы по строительству противооползневых сооружений.

3.2.2.2. Тоннель №8 (Хоста)

Еще одним примером прогнозирования геодинамической активности оползневого склона с помощью метода ЭМИ можно считать проводимые мониторинговые наблюдения на участке железной дороги с двумя тоннелями (№8 и №8бис) в Сочи. Работы выполнялись с целью контроля состояния конструкций тоннелей и вмещающего его горного массива, а также состояния оползневого склона над тоннелями.

В феврале 2011 года был проведен очередной цикл измерений. К этому периоду в рамках проекта строительства второго однопутного железнодорожного тоннеля в исследуемом массиве были возведены порталные стенки на обоих порталах проектируемого тоннеля, такой конструкции, что бы пригрузить зоны выемки порталов на момент проходки. Тогда же начались работы по возведению подпорной стенки у подножья склона. По результатам проведенного анализа результатов геофизических работ в феврале 2011 г., заказчику было выдано заключение о неблагоприятной динамике развития ситуации в центральной части исследуемого массива.

Приблизительно через месяц, в зоне, выделенной ранее как зона разуплотнения, в период с 5 по 14 апреля произошла подвижка грунта с образованием зоны отрыва (см. рис. 3.16). По результатам профилирования ЭМИ 5 апреля 2011 на поверхности исследуемого склона в центральной части оси тоннеля была зафиксирована высокая интенсивность ЭМИ (по параметру Ам до 200 мкВ). А 14 апреля, в день образования отрыва, на склоне по профилю наблюдений ЭМИ были зафиксированы всплески ЭМИ по амплитудному параметру ЭМИ до 400 мкВ (3.17).



Рисунок 3.16 – Фотография места отрыва оползня 14 апреля 2011 года.

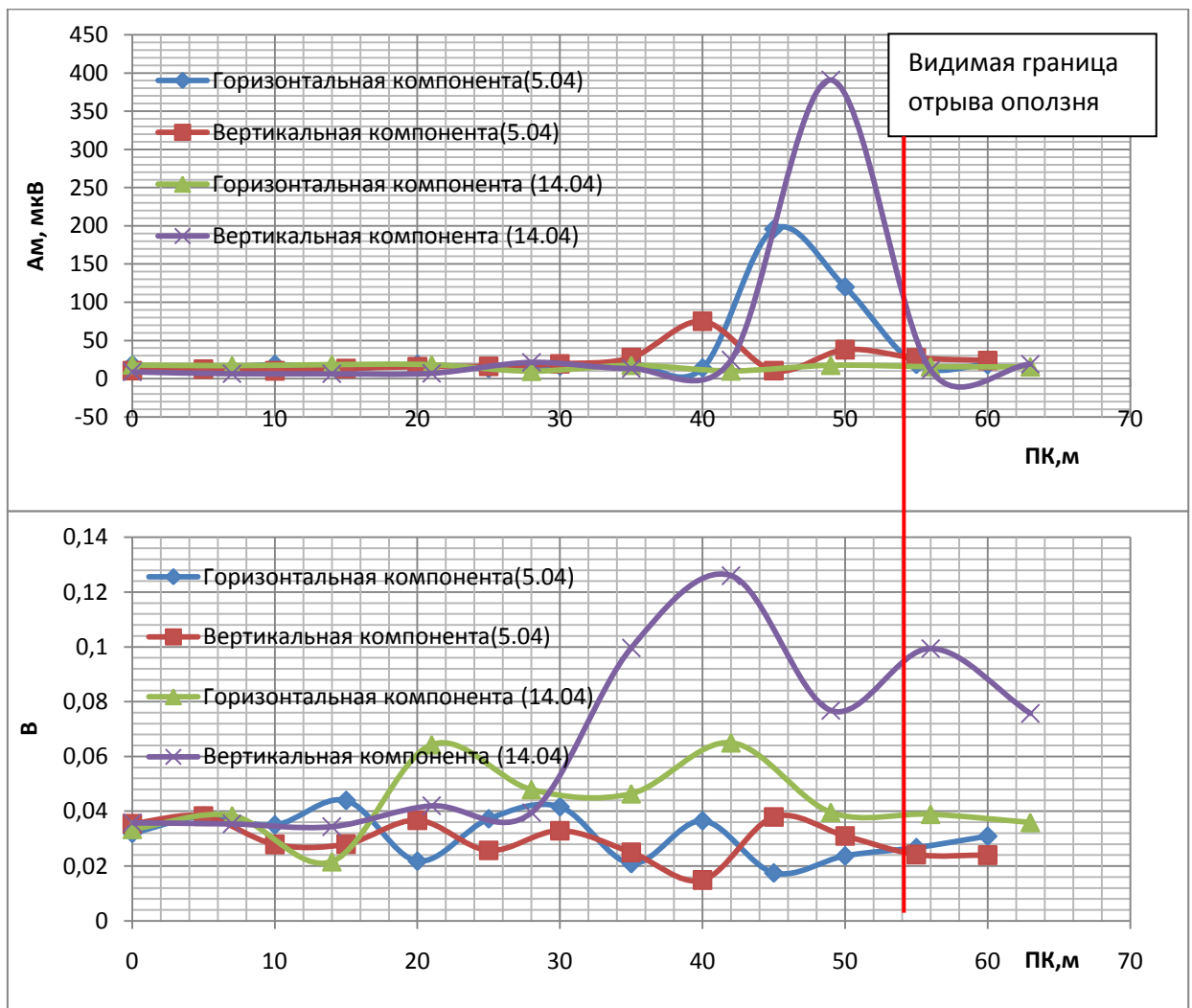


Рисунок 3.17 – График изменения параметров Ам и В поля ЭМИ на поверхности по профилю №5. Пикет 0 м находится на вершине горы. На пикете 54 м визуально наблюдается граница отрыва оползня.

3.2.2. Результаты мониторинговых работ в районе осадок дневной поверхности в результате суффозионных процессов

Железнодорожный тоннель №6 бис строился в массиве оползневого склона на территории Сочи. В связи с появлением трещин в расположенных рядом со строящимся тоннелем пятиэтажном жилом здании и здании торгового центра «Сокол», специалистами НИО Ленметрогипротранса были оперативно выполнены комплексные геофизические исследования по изучению причин и динамики развития деформационных процессов на участке. Схема геофизических профилей приведена на рис.3.18.

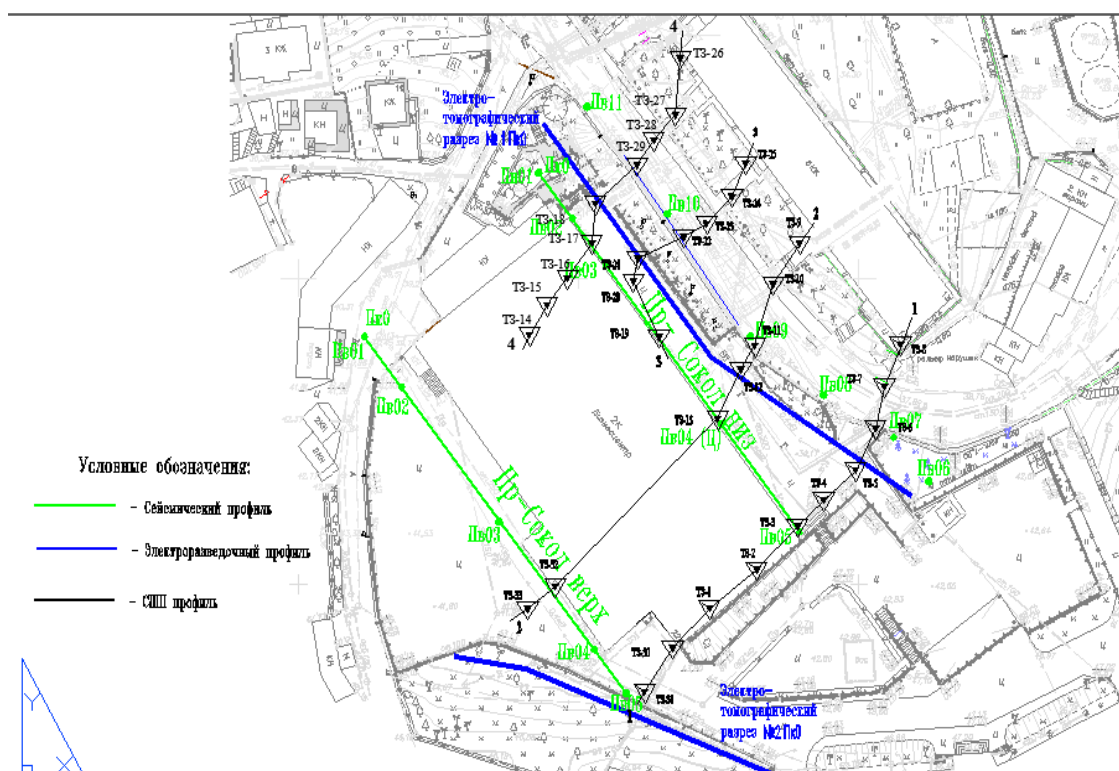


Рисунок 3.18. – Схема геофизических профилей комплексных геофизических исследований по изучению причин и динамики развития деформационных процессов на Северном портале тоннеля №6бис СКЖД

В результате анализа геофизических данных было сделано заключение о том, что причиной исследуемых осадок дневной поверхности и деформаций зданий, является направленный отток подземных вод из пор и трещин обводненных грунтов в направлении строящегося тоннеля. Поровое давление в грунтах понизилось, и грунты стали деформироваться под действием тех же нагрузок, которые ранее они выдерживали.

Далее приведены некоторые результаты геофизических работ.

3.2.2.1. Сейсмические исследования

Сейсмические исследования выполнялись для определения состояния массива пород и грунтов и их деформационных характеристик в целях предупреждения негативных последствий, связанных с проходкой тоннеля 6 бис, для бизнес-центра и прилегающих территорий.

Для этого необходимо определить скорости Р и S-волн (или релеевской R) в этих породах, на основании которых производятся расчеты деформационных свойств.

Для решения данных задач использовалось сейсмоакустическое профилирование методом преломленных волн (МПВ). Методика получения необходимых результатов данным методом хорошо проработана и изучена.

Результаты сейсморазведочных работ

В этом разделе рассматриваются результаты обработки сейсмических наблюдений методами преломленных волн по профилям, проложенным в районе здания бизнес-центра (рис. 3.18). Пикетаж сейсмопрофилей условный.

Сейсмотомографические разрезы по скоростям продольных и поперечных (и релеевских) волн, являющиеся основанием для выделения ослабленных зон, а также для расчета деформационно-прочностных характеристик представлены на рис. 3.19- 3.21.

ПР – СоколВерх расположен вдоль здания.

На сейсмических разрезах по продольным, поперечным и релеевским волнам выделяются две зоны ослабленных грунтов приповерхностного слоя: ПК10 – ПК18 и ПК38 – ПК47 (см. рис. 3.19.), они характеризуются $V_p \approx 0,2 - 0,6$ км/с и $V_s \approx 0,08 - 0,2$ км/с. Там, где прослеживаются зоны с аномально высокими скоростями (ПК5 – 9; ПК30 – 35; ПК60 - 70), – на поверхности расположены люки различных коммуникаций (лучше всего видно на разрезе по релеевским волнам). Рыхлые отложения характеризуются $V_p \approx 0,2 - 1,6$ км/с и $V_s \approx 0,1 - 0,3$ км/с. Аргиллиты залегают на глубинах 6 – 7 м и характеризуются скоростями $V_p \approx 1,6 - 2,2$ км/с и $V_s \approx 0,4 - 0,7$ км/с.

ПР – СоколНиз расположен также вдоль здания, но с противоположной стороны.

На сейсмических разрезах по продольным, поперечным и релеевским волнам можно выделить зону ослабленных грунтов приповерхностного слоя: ПК35 – ПК55 (см. рис. 3.19). По геологическим данным в начале профиля глубина до коренных пород – 14,5 м, в центре профиля – 14 м. То есть глубина уменьшается с увеличением пикетажа. На разрезе по продольной волне в конце профиля в нижней части разреза вероятнее всего

прослеживаются коренные аргиллиты на глубинах уже 5 – 10 м, они характеризуются $V_p \approx 1,6 - 2,2$ км/с и $V_s \approx 0,4 - 0,7$ км/с. Рыхлые отложения характеризуются $V_p \approx 0,4 - 1,6$ км/с и $V_s \approx 0,1 - 0,3$ км/с.

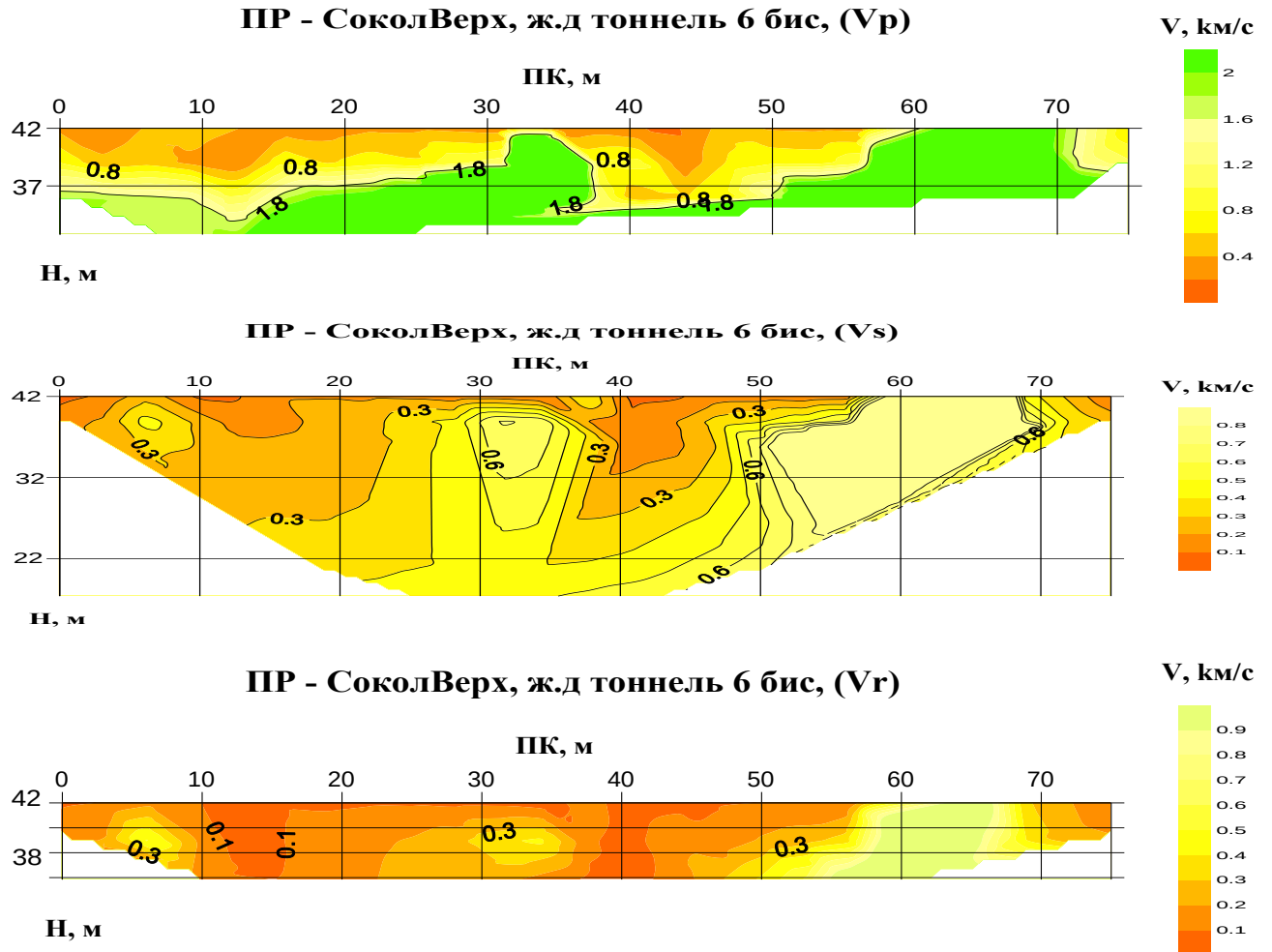


Рисунок 3.19. - Томографические разрезы по скоростям продольной(V_p), поперечной(V_s) и релеевской(V_r) волн на профиле ПР - СоколВерх

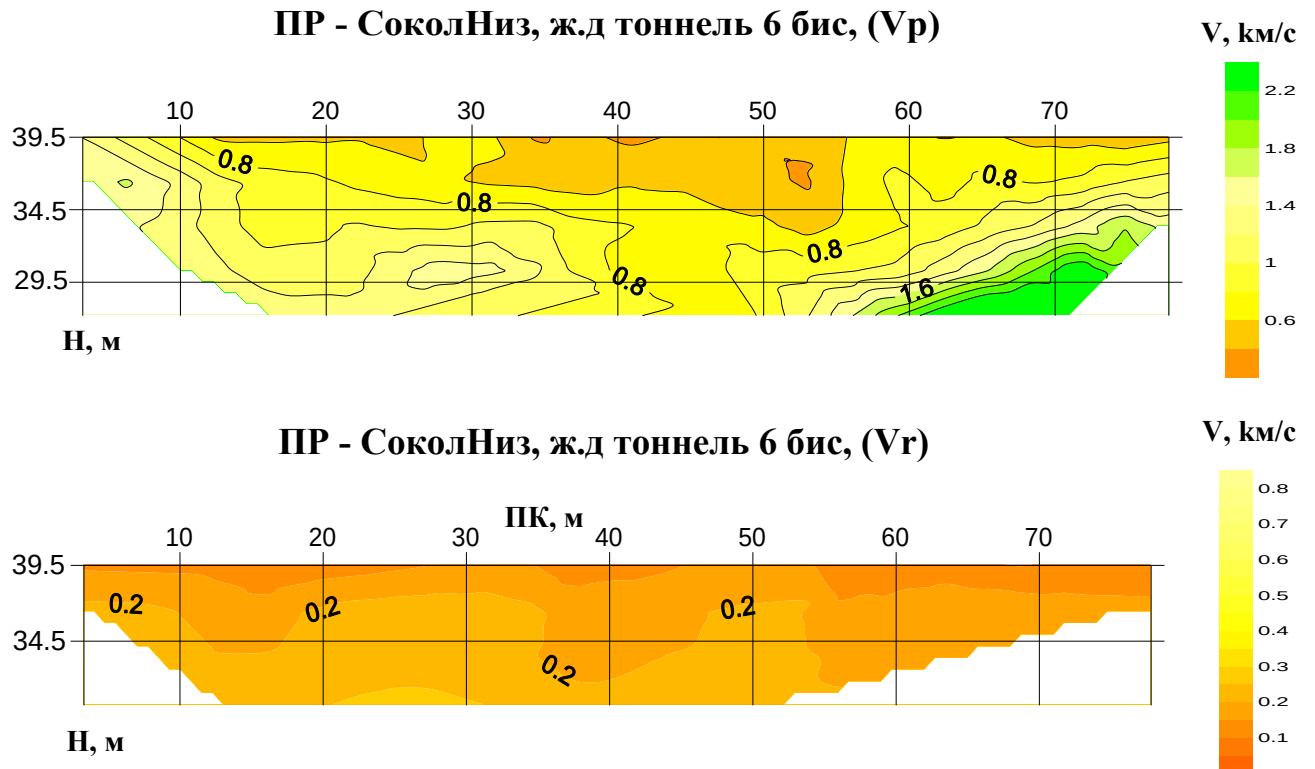


Рисунок 3.20 - Томографические разрезы по скоростям продольной(V_p) и релеевской(V_r) волн на профиле ПР - СоколНиз

Дополнительно на данном участке было выполнено сейсмодосветивание с пунктами возбуждения колебаний ПВ6 – ПВ11 (схема расположения пунктов удара представлена на рис. 3.18).

Результаты сейсмодосветивания на данном участке представлены на рис. 3.21

Просветивание по релеевским волнам малоинформативно (мала разрешающая способность из-за большой длины волны). В результатах просветивания по первым вступлениям продольной волны было много ошибок связанных с неточностью определения времени вступления волн по причине большого количества помех. Поэтому более всего следует доверять просветиванию по фазе продольных волн. Однако надо учитывать, что абсолютное время прихода фазы волны больше, чем у первых вступлений, и соответственно скорости при просветивании по фазе продольной волны меньше, чем в действительности. Таким образом, прорисовка неоднородностей лучше всего при просветивании по фазе продольной волны, а скорости более правильно определены при просветивании по первым вступлениям продольной волны.

На рис. 3.21. выделяются две низкоскоростных аномалии.

Первая зона разуплотнения прослеживается на ПК 50 - 83 (по оси X) и ПК 5 – 12 (по оси Y). На поверхности зоне соответствует трещина в плитке на площадке перед домом. От тоннеля данная зона отделена более плотными (неразмытыми) грунтами.

Вероятнее всего появление данной зоны вызвано повреждением канализации, с постепенным разжижением грунтов и последующей фильтрацией (с выносом грунта) в зону строящегося тоннеля, по зоне разжиженных грунтов вдоль канализационных коммуникаций.

Вторая зона прослеживается от начала профиля до ПК 29 (по оси X) и ПК 2 – 14 (по оси Y) – напротив ресторана, где также прошла трещина по полу вестибюля. Данное нарушение может быть, и не связано с канализацией. Вызывает настороженность тот факт, что со стороны строящегося тоннеля данная аномалия не ограничена более плотными грунтами и возможно здесь происходил, а может и происходит вынос грунтов в тоннель.

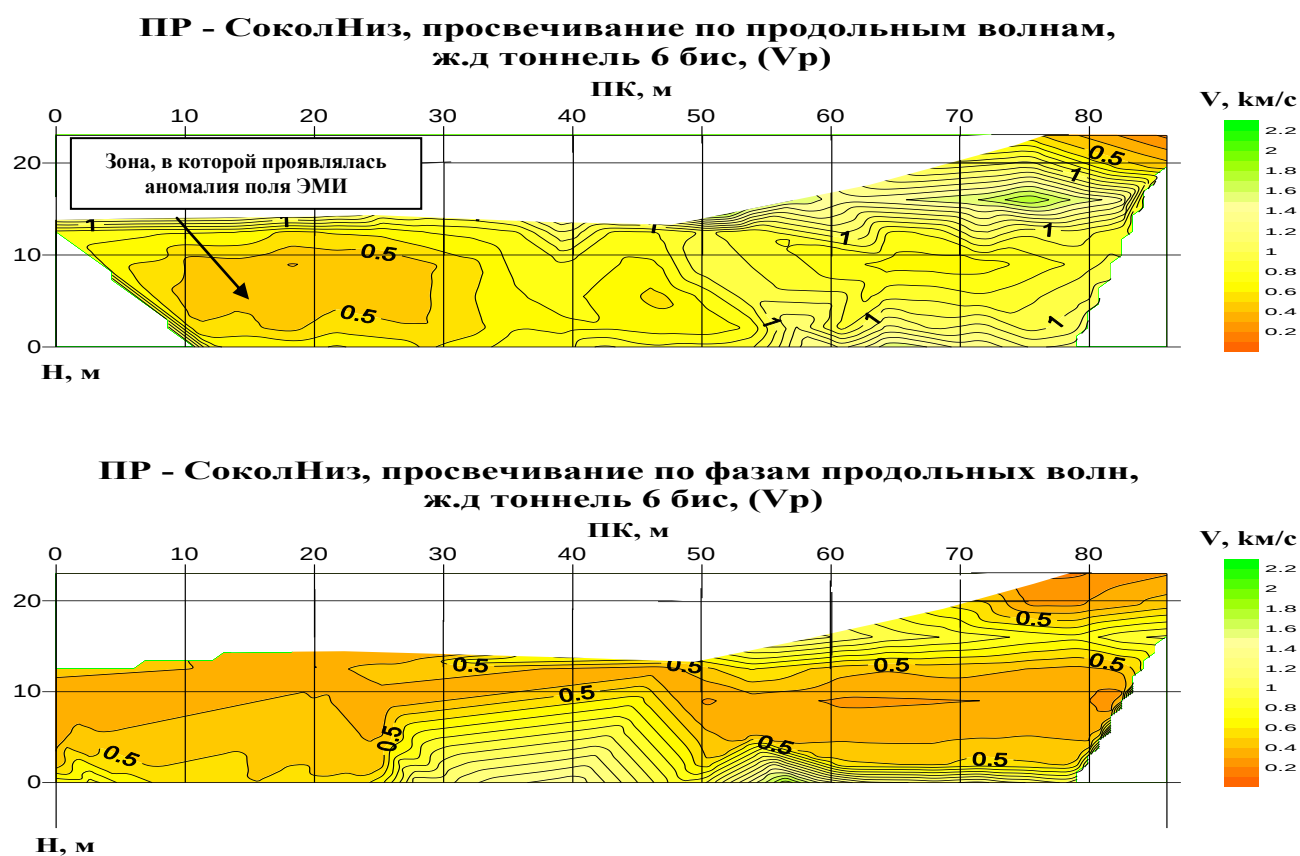
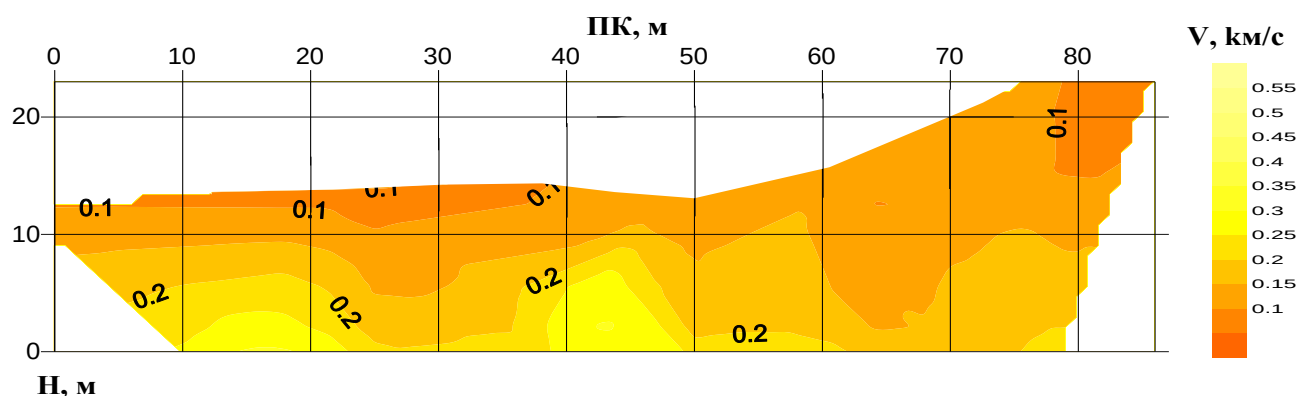


Рисунок 3.21 - Томографические разрезы просвечивания по скоростям и фазам продольной(V_p) и релеевской(V_r) волн на профиле ПР – СоколНиз

**ПР - СоколНиз, просвечивание по релеевским волнам,
ж.д. тоннель 6 бис, (Vr)**



Продолжение рисунка 3.21.

3.2.2.1.1. Выводы по результатам сейсмических исследований

Используя при интерпретации результатов работ дополнительно материалы, полученные при более ранних исследованиях [45] (до проходки тоннеля) можно сделать следующие выводы по результатам сейсмических исследований:

1. Зоны ослабления поверхностных грунтов вероятнее всего связаны с зонами тектонических нарушений выявленных при работах, проведенных до проходки тоннеля. Видимо подвижки в этих зонах вызвали нарушения целостности канализационных коммуникаций, что вызвало разжижение грунтов с постепенной фильтрацией и суффозией в существующие тектонические зоны. Появились осадки поверхности и трещины в плитке перед зданием по пер. Горького, д. 22.

2. После проходки тоннеля произошло ускорение фильтрации и выноса грунтов в выработку тоннеля. Процесс проседания поверхности ускорился.

Таким образом, исходя из результатов сейсмических наблюдений, следует предположить, что образование зон ослабленных грунтов приповерхностного слоя не связано с тоннелем. Тоннель только ускорил развитие ослабленных зон.

На рис. 3.22. представлена интерпретационная план-схема результатов сейсмических работ выполненных на данном участке до и после проходки тоннеля.

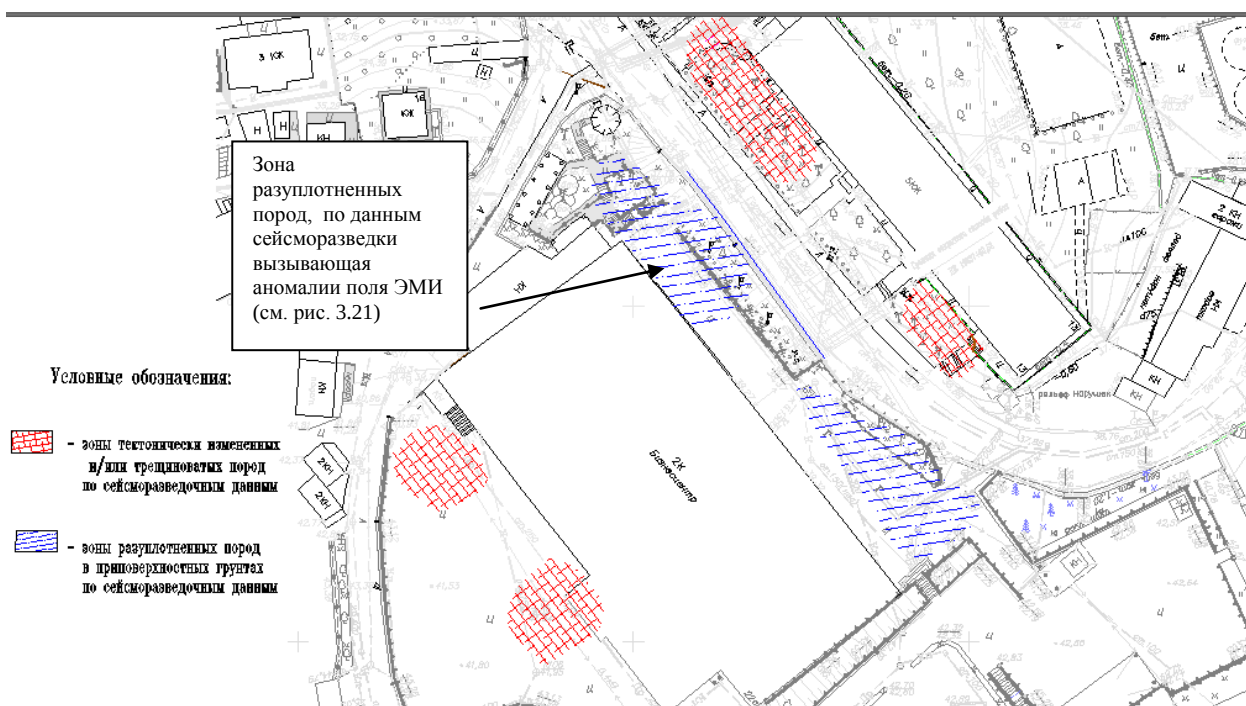


Рисунок 3.22. - Интерпретационная план-схема выявленных участков ослабленных (тектонических и /или разуплотненных) зон в коренных породах и приповерхностных грунтах по результатам сейсморазведочных работ

3.2.2.2. Исследования методом ЭМИ СШП зондирования

Работы по зондированию выполнялись специалистами НПФ Геодизонд. Задачами исследований методом ЭМИ СШП являлись оценка инженерно-геологической ситуации в горном массиве под зданием бизнес - центра и вблизи него на участке видимых разрывов дневной поверхности и выявление причин, приведших к их возникновению.

Для решения поставленных задач были проведены изыскания методом ЭМИ СШП зондирования. Данный метод позволяет при измерениях в фиксированных точках дневной поверхности подробно дифференцировать различные инженерно-геологические элементы в разрезе и идентифицировать их на основе собственных геоэлектрических свойств.

ЭМИ СШП измерения выполнялись вблизи и внутри здания бизнес - центра, а также на участке между бизнес - центром и пятиэтажным жилым домом по пер. Горького, д. 22 (рис. 3.18). Для привязки пунктов измерений к плану местности использовался персональный навигационный прибор GPS.

Обследование объекта методом ЭМИ СШП зондирования представляло собой фиксированные измерения на дневной поверхности в пунктах (точках) “стояния” измерительных антенн геофизического комплекса. При этом в каждой точке наблюдения в подповерхностные структуры излучался электромагнитный импульсный сигнал и здесь же производилась регистрация приемным устройством отраженного сигнала.

Результаты обследования методом СШП. Геофизическое зондирование горного массива выполнялось по четырем линиям профилей, пересекающие видимые разрывы дневной поверхности. Расстояния между точками зондирования варьировались от 4 до 10,6 м. Глубина измерений – 20,0 м от уровня дневной поверхности.

Общее количество ЭМИ СШП измерений составило 33 точки.

Дифференциация исследованного геологического разреза на литологические разности в каждом пункте геофизического наблюдения производилась на основе амплитудных, фазовых и частотных характеристик электромагнитных волн.

Ниже приводится описание и характеристика геофизических признаков, использованных для интерпретации выделенных в разрезах точек зондирования следующих геологических разностей: глины полутвердой с дресвой, гравием до 10-15% и с примесью органических веществ; глины пластичной; аргиллитов выветрелых, трещиноватых, низкой прочности и малопрочных с прослоями песчаников средней прочности.

Глины полутвердые, выделенные в разрезах участка, по результатам ранее проведенных инженерно-геологических изысканий, характеризуются высокими и средними значениями амплитуды корреляционных функций отраженного сигнала и периодом колебаний электромагнитной волны от 25 до 38 нс. Глины пластичные, наличие которых в разрезах объекта предполагается по данным описываемых геофизических ЭМИ СШП исследований, имеют малые и средние значения корреляционных функций сигнала, слабо выраженный период колебаний электромагнитной волны и частую изменчивость «min» и «max» амплитуды («залитость» сигнала). Аргиллиты выветрелые, выделенные в процессе предшествовавших инженерно - геологических работ, характеризуются преимущественно средними и малыми амплитудными значениями АК- и ВК функций отраженного сигнала, периодом колебаний электромагнитной волны $45 \div 55$ нс.

Помимо дифференциации разрезов горного массива на инженерно-геологические элементы, в процессе ЭМИ СШП зондирования выделялись локальные участки грунтов, имеющие нарушения сплошности среды, а именно выявлялись разуплотнения в глинистых грунтах и трещиноватые зоны в коренных породах. Интервалы, относящиеся к таким нарушениям, характеризуются низкими (стремящимися к нулю) значениями амплитуд АКФ и ВКФ отраженного электромагнитного сигнала.

Кроме того, в разрезах точек зондирования выявлялись признаки, относящиеся к проявлению обводненности литологических разностей. Для этого использовался поисковый критерий, основанный на нулевой разности фаз длинноволнового и коротковолнового спектров ЭМИ СШП сигнала: одновременно сопоставляются функции

обеих частей спектра отраженного сигнала сканирующим “окном” заданного размера (определенным количеством точек формы сигнала). При нулевых значениях данного параметра породы считаются обводненными.

Ниже приводятся основные особенности геологического строения в районе бизнес-центра «Сокол», установленные по результатам геофизических ЭМИ СШП исследований и представленные на рисунках 3.23 – 3.27:

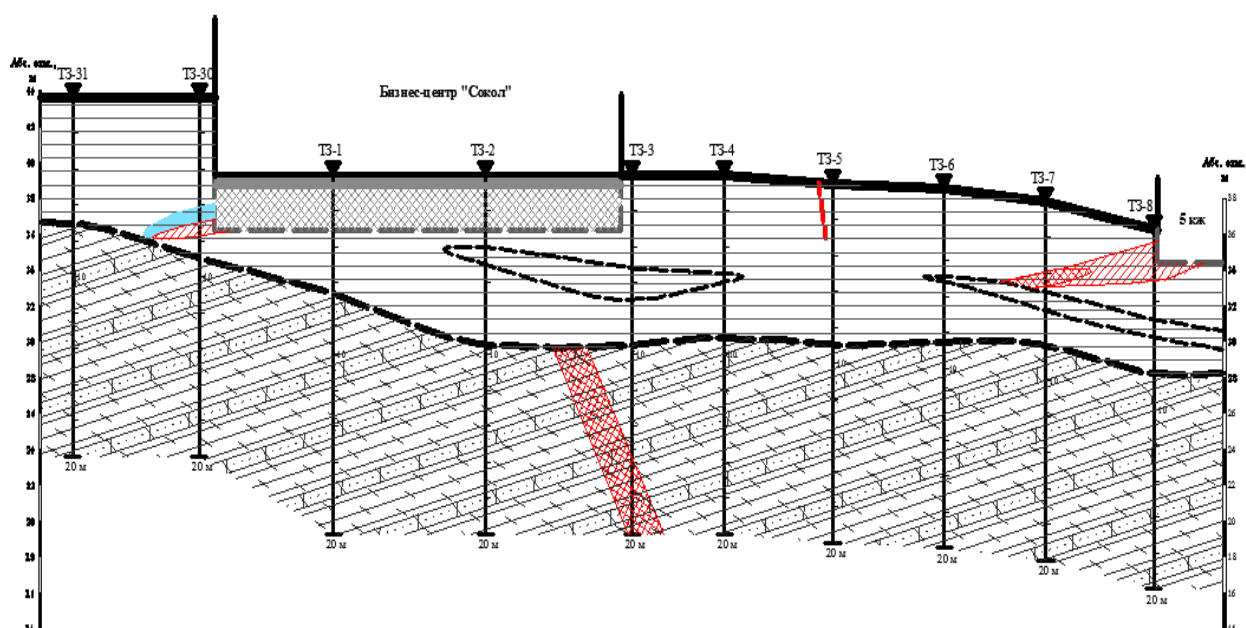


Рисунок 3.23. - Инженерно-геологический разрез по линии 1-1 в районе бизнес-центра "Сокол" в г. Сочи по данным ЭМИ СШП зондирования

- граница между четвертичными глинистыми отложениями и коренными аргиллитами отмечается на глубинах от 7.0 м (в точке зондирования ТЗ-31) до 14,4 м (в ТЗ-20), при этом абсолютные отметки границы варьируются от 36.6 (в ТЗ-31) до 21,9 м (в ТЗ-9), что указывает на общее северо-восточное ее падение;

- в толще глинистых отложений, представленных, преимущественно глинами полутвердыми с дресвой и гравием (до 10-15%), были выявлены линзообразные тела глин предположительно пластичных, мощность которых варьируется от 0,5 (в ТЗ-13) до 4,5 м (в ТЗ-11);

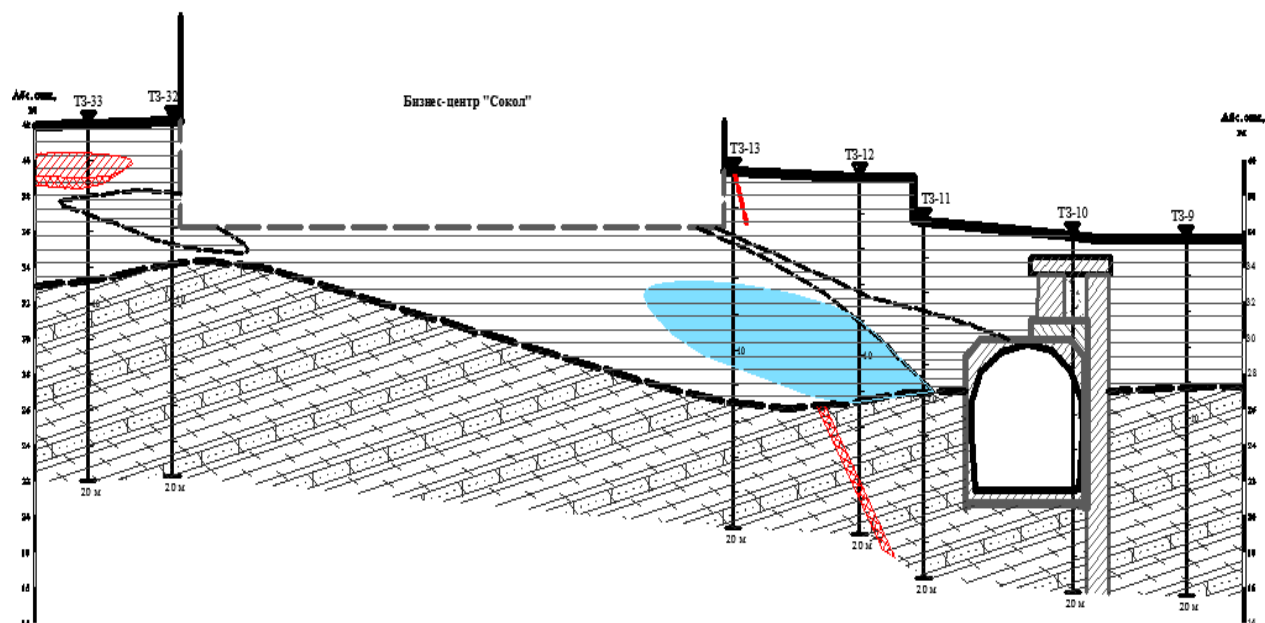


Рисунок 3.24. - Инженерно-геологический разрез по линии 2-2 в районе бизнес-центра "Сокол" в г. Сочи по данным ЭМИ СШП зондирования

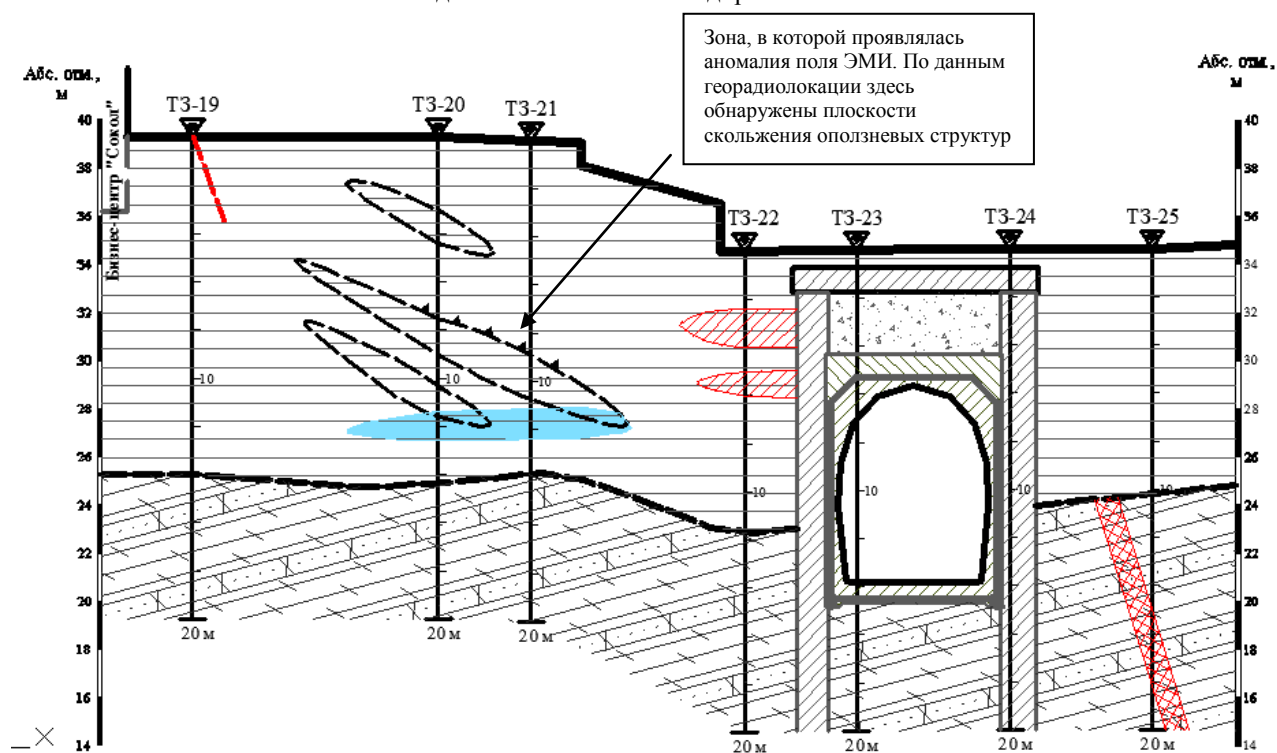


Рисунок 3.25. - Инженерно-геологический разрез по линии 3-3 в районе бизнес-центра "Сокол" в г. Сочи по данным ЭМИ СШП зондирования

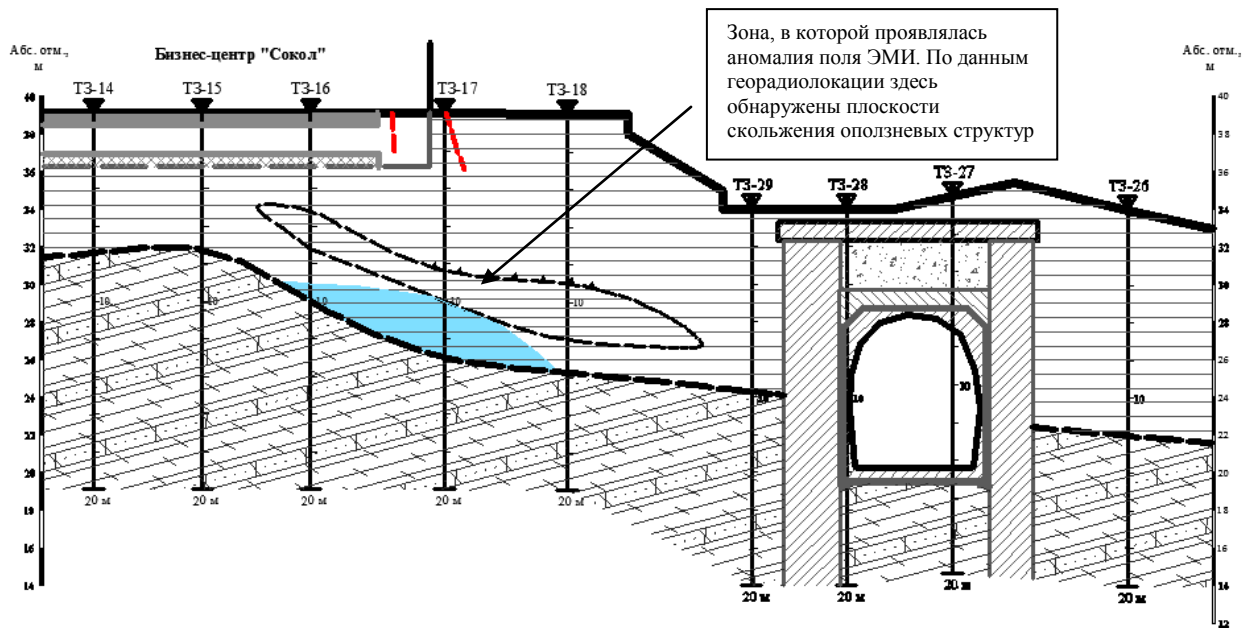


Рисунок 3.26. - Инженерно-геологический разрез по линии 4-4 в районе бизнес-центра "Сокол" в г. Сочи по данным ЭМИ СШП зондирования

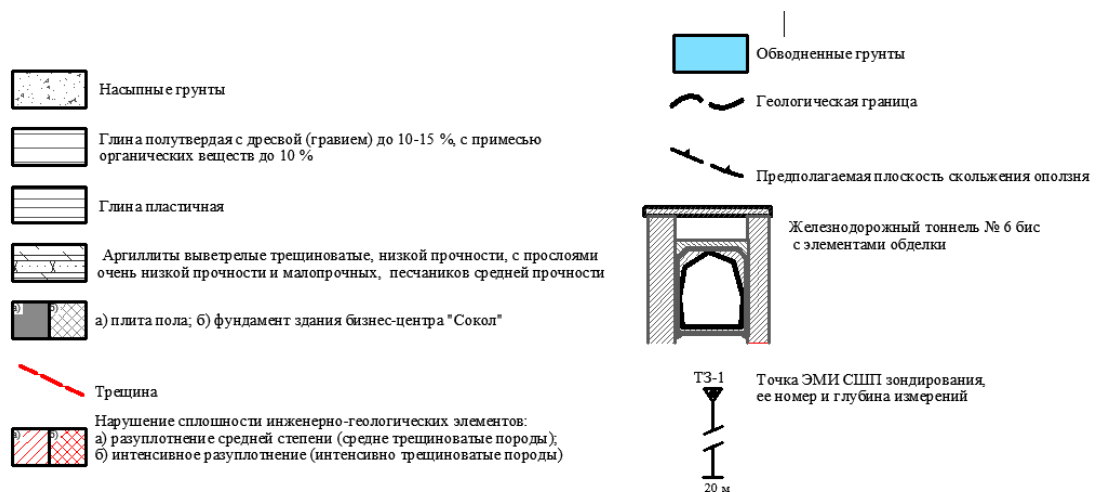


Рисунок 3.27. – Условные обозначения для рисунков 3.23 – 3.26

- граница между четвертичными глинистыми отложениями и коренными аргиллитами отмечается на глубинах от 7,0 м (в точке зондирования ТЗ-31) до 14,4 м (в ТЗ-20), при этом абсолютные отметки границы варьируются от 36,6 (в ТЗ-31) до 21,9 м (в ТЗ-9), что указывает на общее северо-восточное ее падение;

- в толще глинистых отложений, представленных, преимущественно глинами полутвердыми с дресвой и гравием (до 10-15%), были выявлены линзообразные тела глин предположительно пластичных, мощность которых варьируется от 0,5 (в ТЗ-13) до 4,5 м (в ТЗ-11);

- выявлены предполагаемые плоскости скольжения оползневых структур в точках измерений ТЗ-20, ТЗ-21, ТЗ-17 и ТЗ-18, глубина залегания которых от 7,5 до 9,0 м;

- в верхней части толщи четвертичных глин отмечаются интервалы разуплотненных грунтов различной степени интенсивности, мощности которых варьируются от 0,7 (в ТЗ-30) до 2,2 м (в ТЗ-8);

- в толще коренных алевролитов отмечаются предположительно крутопадающие структуры интенсивно трещиноватых пород - мощности трещиноватых интервалов в точках измерений варьируются от 1,0 м (в ТЗ-12) до 4,4 м (в ТЗ-3);

- участки обводненных грунтов выявлены в толще четвертичных отложений вблизи здания бизнес - центра в интервале глубин с абсолютными отметками от 26,1 м (ТЗ-17) до 37,5 м (ТЗ-30). Мощности интервалов обводненных грунтов варьируются от 0,7 (в ТЗ-30) до 4,7 м (в ТЗ-13). Сосредоточение участков обводненных грунтов отмечается также под зданием бизнес - центра и со стороны его северо-восточной стены.

Выводы по результатам ЭМИ СШП. По результатам ЭМИ СШП обследования горного массива под зданием и вблизи здания бизнес – центра «Сокол» в строении геологических разрезов были установлены следующие предполагаемые осложняющие признаки, способные повлечь образование видимых трещин на дневной поверхности участка:

- прослой и линзы глин, предположительно, пластичных во вмещающей толще глин полутвердых. При этом в ряде случаев в основании глин пластичных отмечается обводненность грунтов;

- предполагаемые плоскости скольжения оползневых структур внутри глинистых отложений, выявленные в разрезах массива по линиям 3-3 и 4-4 к северо-востоку от здания бизнес-центра;

- наличие трещинных структур, отмечаемых в коренных аргиллитах.

Положение указанных выше геологических элементов с потенциально неблагоприятными свойствами, установленных в результате проведенных ЭМИ СШП исследований, детально представлено на инженерно-геологических разрезах горного массива по линиям 1-1 ÷ 4-4 (см рис. 3.23 ÷ 3.26).

3.5.2.3. Электроразведочные работы

Электроразведочные работы методом электротомографии были выполнены для оценки структуры и обводненности грунтов. Были выполнены электроразведочные работы по двум электротомографическим профилям: №1 перед зданием торгового центра «Сокол» - для определения мест ослабленных и обводненных грунтов и №2 - для оценки глубины залегания коренных пород по сравнению с разрезом по профилю №1. (Схему

расположения профилей смотри на рисунке 3.18, начало профилей совпадает с подписями их номеров на схеме).

Электротомографический разрез по профилю №1 (см. рис. 3.28):

- глубина залегания неразрушенных коренных пород - 20 м;
- в районе пикетов 43 м и 62 м выделяются канализационные коммуникации, вокруг и ниже которых ослабленные и обводненные грунты. Отметим, что обводненность здесь носит локальный характер;
- в районе пикета 80 м (под въездом на территорию) также располагается канализационный коллектор. Однако здесь ослабленная и обводненная зона больше (возможно, протечка более существенная);
- обводненные грунты до пикета 38 м мощностью около 4 м.

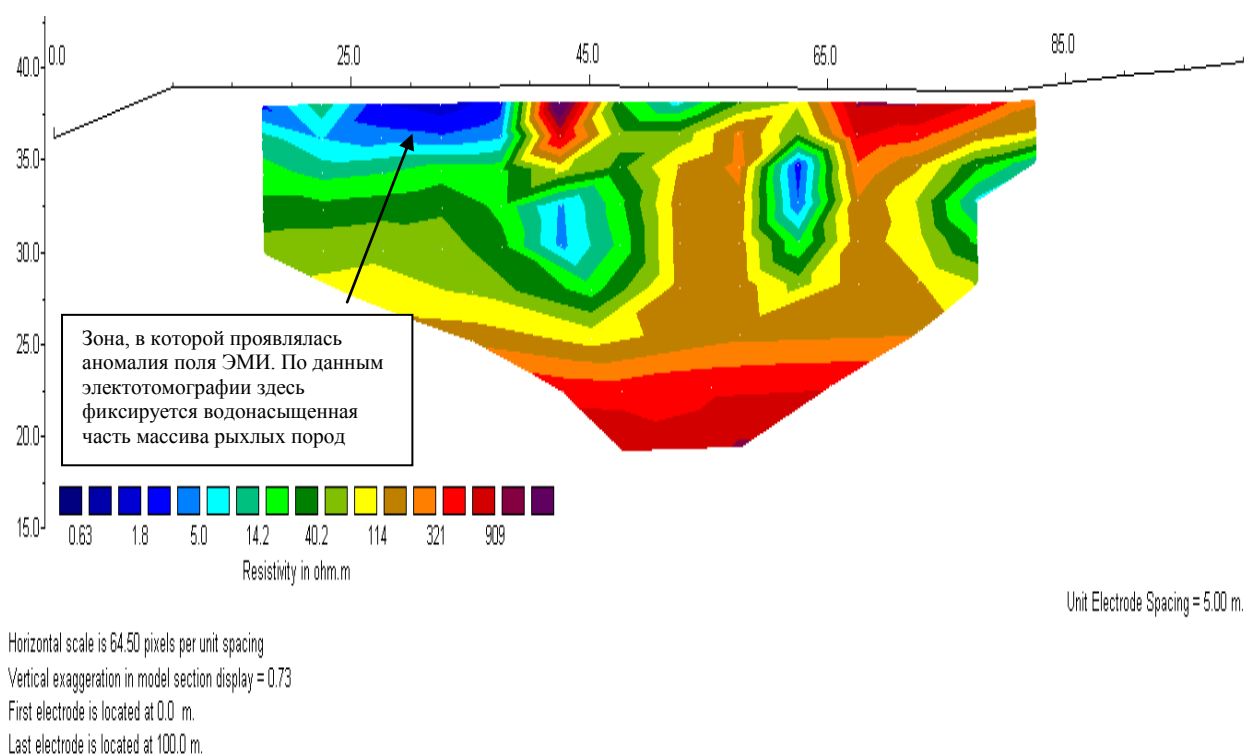


Рисунок 3.28. – Электротомографический разрез по профилю №1. Оси в метрах

3.2.2.4 Оценка геодинамической активности массива на участках осадок дневной поверхности методом регистрации ЭМИ

Геодинамическая активность горных пород на участке исследований оценивалась по интенсивности проявления электромагнитного излучения (ЭМИ). С помощью метода ЭМИ определялась активность деформационных процессов в горном массиве, и выделялись зоны активного деформирования.

Работы методом ЭМИ выполнялись по пяти профилям с шагом 5 метров с помощью аппаратуры «Ангел».

Первый этап наблюдений поля ЭМИ был произведен 10.01.2012. На рис. 3.29, 3.30 четко выделяются аномалии на профилях №№ 2 и 3, расположенных между зданиями с трещинами. Наибольшая аномалия ЭМИ располагается по профилю № 2 у северного торца торгового центра «Сокол». Несколько меньшая по интенсивности аномалия зафиксирована по профилю № 3 у южного торца пятиэтажки. По профилям №№ 1 и 4 аномалий не отмечено, поле ЭМИ находилось во время измерений на уровне фона.

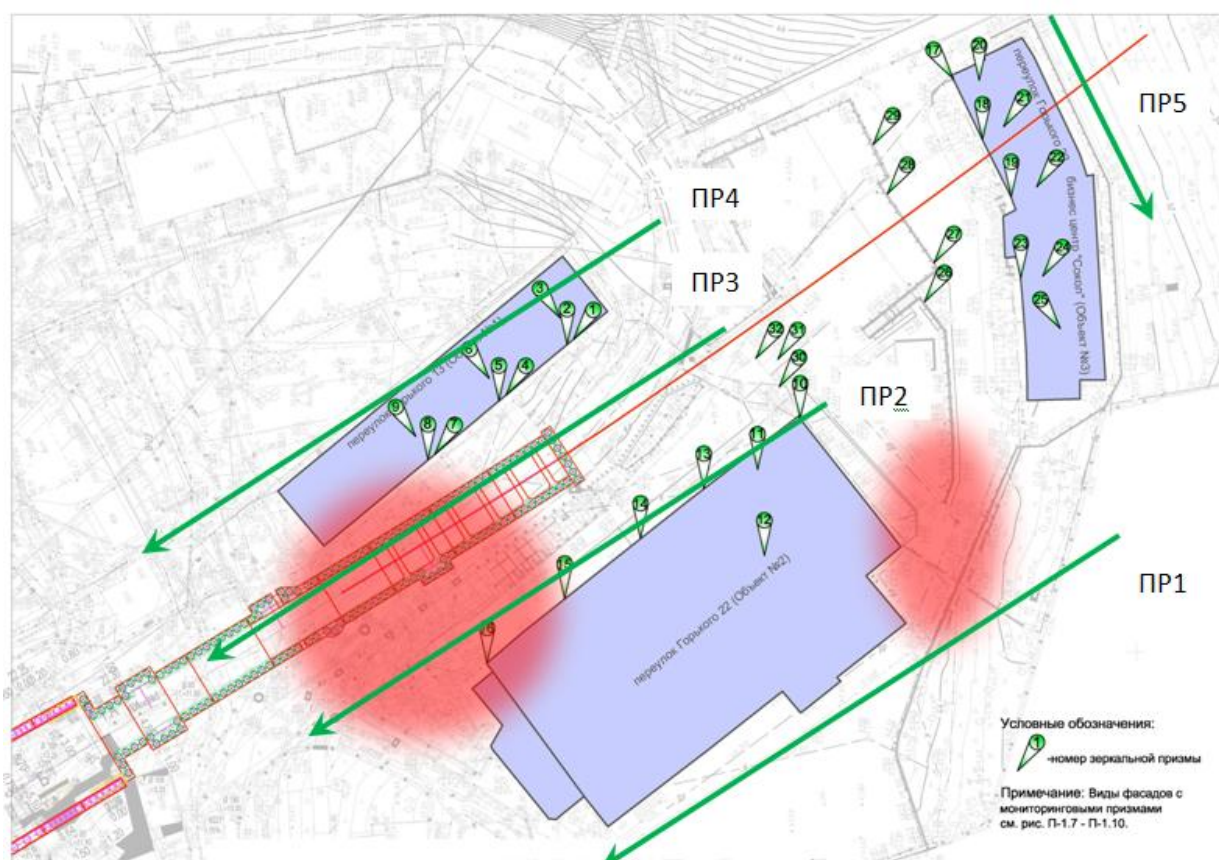


Рисунок 3.29. – Схема профилей метода ЭМИ и положение anomalously active zones

При повторных измерениях ЭМИ по тем же профилям 13.01.2012 г. аномалия ЭМИ в районе южного торца пятиэтажки проявилась менее интенсивно. Далее интенсивность

этой аномалии продолжала слабеть (рис. 3.31). А при измерениях 18.01.2012 г. эта аномалия ЭМИ полностью исчезла, что указывает на снижение динамической активности напряженно-деформированного состояния в этой зоне. Последнее может быть обусловлено тем, что в этом месте на забое тоннеля в это время оборудовали экран из труб и нагнетался раствор. Комплекс мероприятий по укреплению массива горных пород впереди забоя способствовал его упрочнению и снизил активность проявления деформационных процессов на этом участке, а, следовательно, и интенсивность поля ЭМИ.

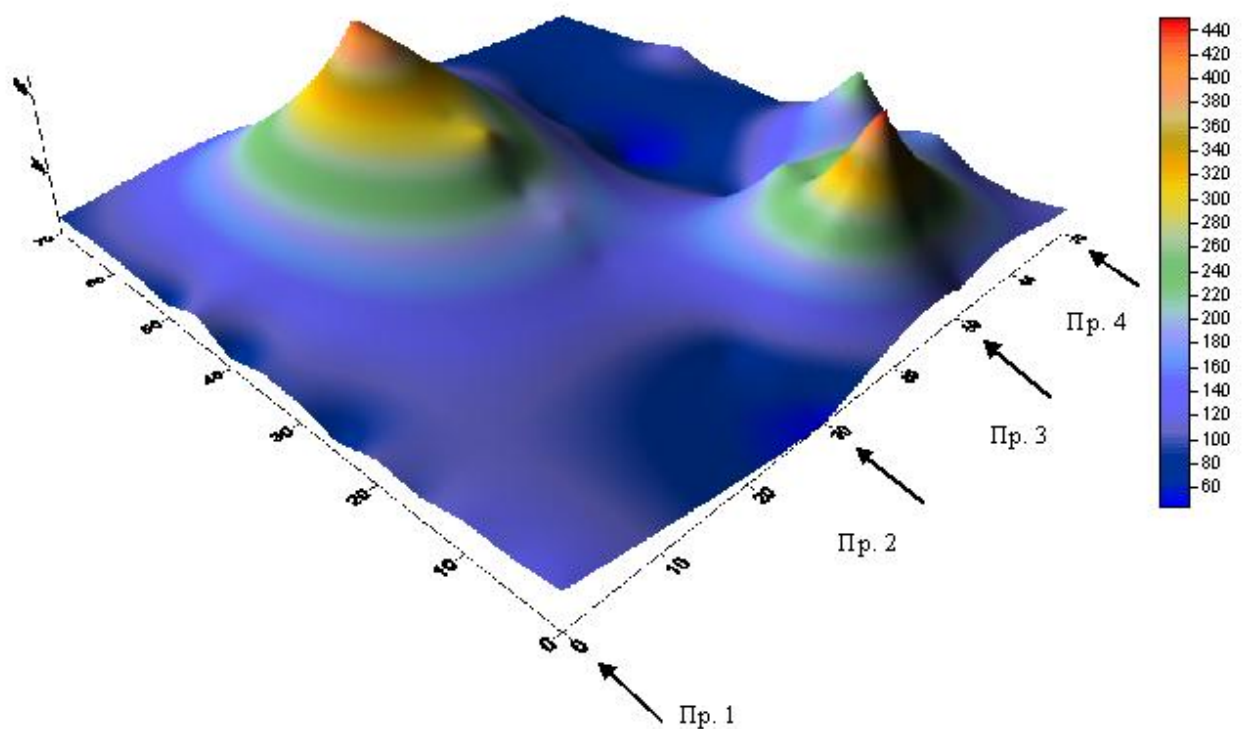


Рисунок 3.30. – Трехмерный образ аномалий ЭМИ по данным измерений 10.01.2012 г. Забой тоннеля на пикете 19637+75,0. Шкала интенсивности ЭМИ в отн.ед, оси в метрах

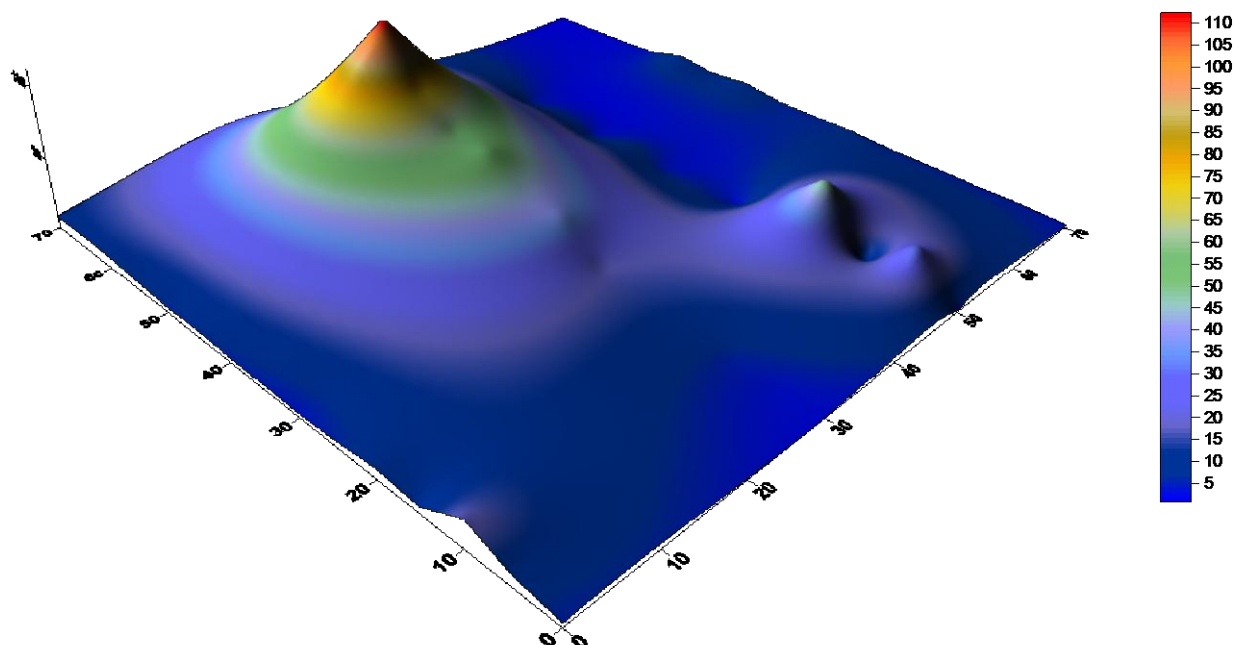


Рисунок 3.31. – Трехмерный образ аномалий ЭМИ по данным измерений 16.01.2012 г. Забой тоннеля на пикете 19637+82.5. Шкала интенсивности ЭМИ в отн.ед, оси в метрах

По данным измерений 28.01.2012 г. отмечалось общее снижение интенсивности поля ЭМИ по всем профилям на участке исследований. Аномалия ЭМИ у северного торца торгового центра «Сокол» также уменьшилась, что визуально заметно по уменьшению размеров и амплитуды аномалии (рис. 3.32).

Однако уже при измерениях 30.01.2012 г. фоновые значения поля ЭМИ вернулись к уровню, который наблюдался 18.01.2012 г. с выделением аномалии в районе северного торца торгового центра «Сокол» (ресторан «Сокол»). Причем размеры аномалии и ее амплитуда также вернулись к прежним значениям (рис. 3.33). При максимальных проявлениях аномалии поля ЭМИ по второму профилю у здания торгового центра ее протяженность по этому профилю составляла до 50 м и более.

В районе выделяемой при всех измерениях аномалии поля ЭМИ 28.01.2012 г. были обследованы помещения ресторана «Сокол». Визуально развитие отмеченных ранее деформаций не фиксировалось, за исключением трещины проходящей вдоль всего торгового центра на уровне 2 м от лицевого фасада внутри здания. Здесь визуально наблюдалось дальнейшее раскрытие отмеченной трещины.

Необходимо отметить, что в районе этой аномалии развивались процессы трещинообразования и отслаивания плитки на втором этаже бизнес - центра (на стене

мебельного центра с одной стороны и кондитерской «Сокол» с другой). Эти трещины не были зафиксированы, так как арендаторы соответствующих помещений не придали значения этим проявлениям (подобные проявления наблюдались арендаторами помещений еще до строительства тоннеля).

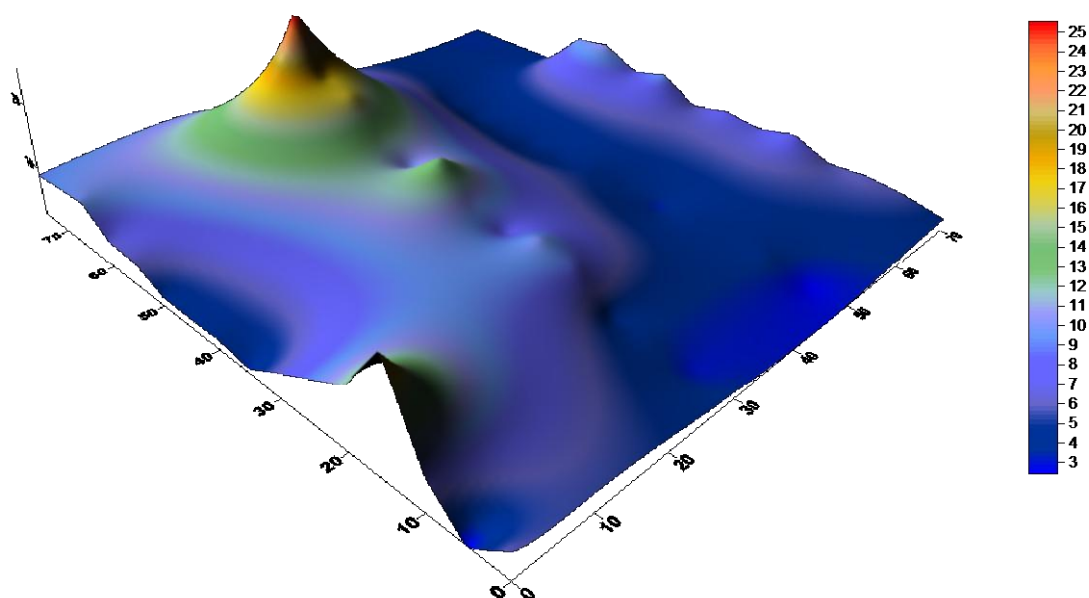


Рисунок 3.32. – Трехмерный образ аномалий ЭМИ по данным измерений 28.01.2012 г. Забой тоннеля на пикете 19637+88.5. Шкала интенсивности ЭМИ в отн.ед, оси в метрах

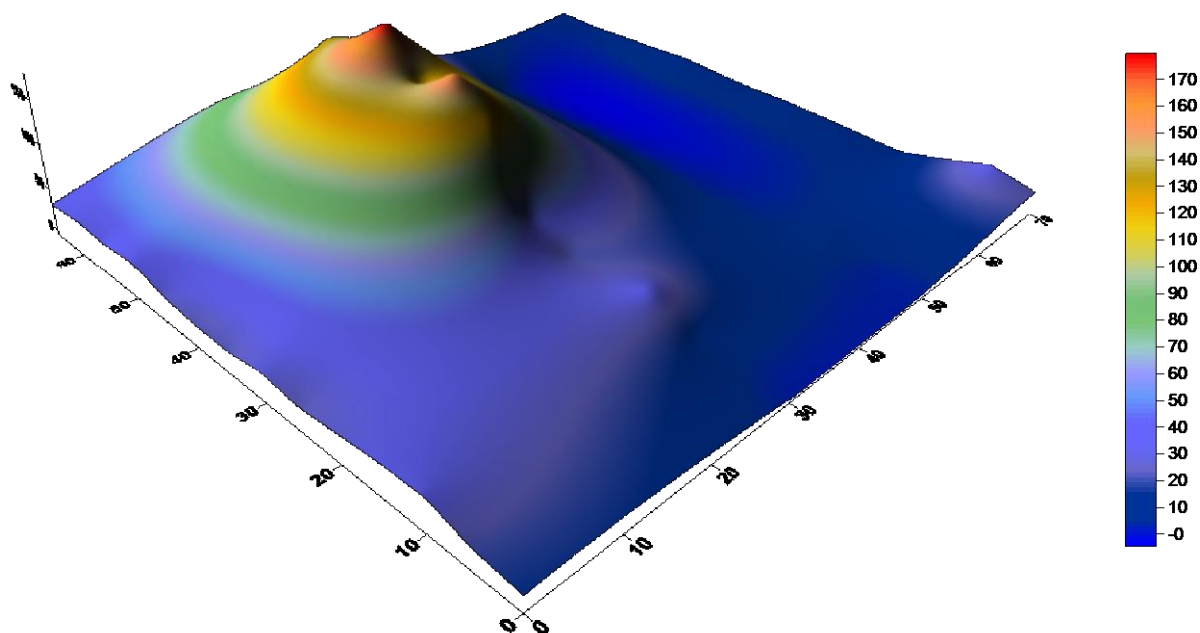


Рисунок 3.33. – Трехмерный образ аномалий ЭМИ по данным измерений 30.01.2012 г. Забой тоннеля на пикете 19637+89.5. Шкала интенсивности ЭМИ в отн.ед, оси в метрах

По данным измерений поля ЭМИ 7.02.2012 г. (рис. 3.34) аномалия по профилю №2 проявлялась слабее обычного, но появилась отчетливая аномалия в начале профиля №4, которая ранее не отмечалась. Динамика процесса геодинамической активности на участке исследований по данным наблюдений поля ЭМИ прослеживается во времени как смена циклов увеличения и спада интенсивности ЭМИ. Так при измерениях 16.02.2012 г. аномалия ЭМИ по профилю №2 опять стала достаточно четко выраженной. На этом рисунке также заметна полоса несколько повышенных значений поля ЭМИ отличающимся от синего фона сиреневым цветом, которая проходит от названной аномалии в направлении на пикет 10 профиля №1. Эта полоса была заметной и ранее, например, на рисунке 3.32 при измерениях 28.01.2012 г. Было сделано предположение, что эта полоса отражает местоположение локальных микросмещений, просачивания подземных вод к тоннелю. Необходимо отметить, что именно здесь предположительно находятся трубы канализации диаметром до 1,5 м. Траектория линии аномалии поля ЭМИ также визуальнo прослеживалась и на поверхности (от одного канализационного люка (колодца) к другому). При измерениях поля ЭМИ 28.02.2012 г. была получена картина распределения аномалий ЭМИ похожая на ту, что была 7.02.2012 г.

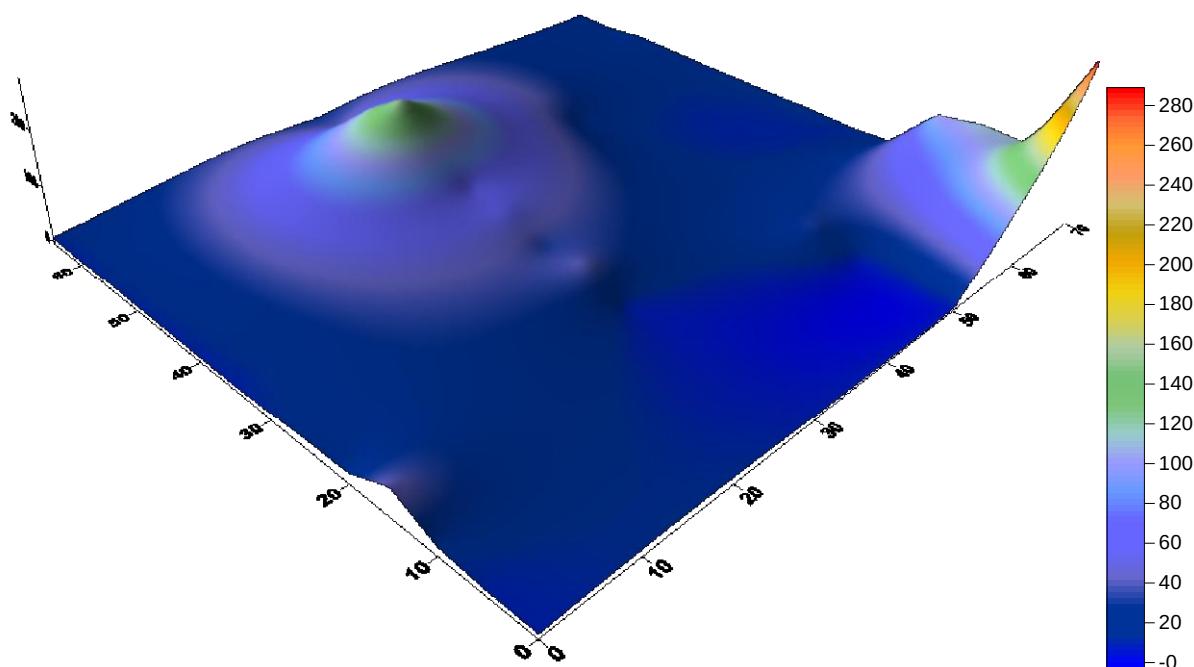


Рисунок 3.34. – Трехмерный образ аномалий ЭМИ по данным измерений 07.02.2012 г.. Шкала интенсивности ЭМИ в отн.ед, оси в метрах

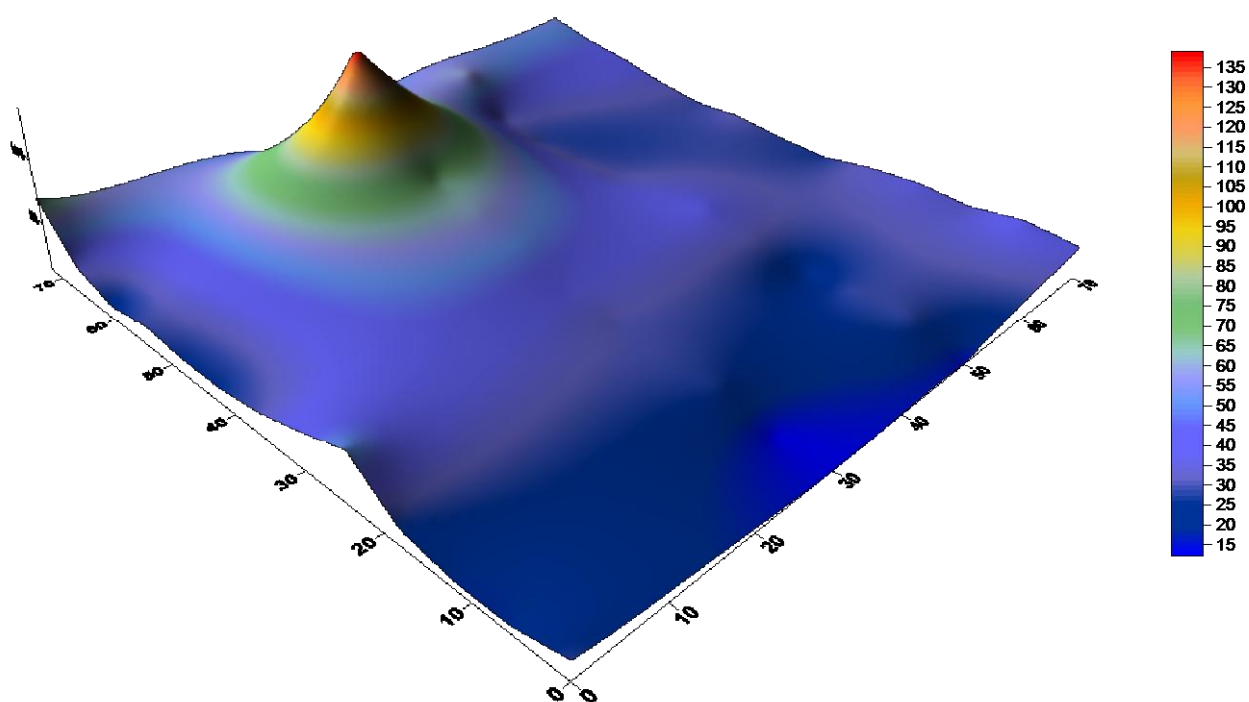


Рисунок 3.35. – Результаты регистрации поля ЭМИ на северном портале тоннеля №6бис. 02.05.2012. Шкала интенсивности ЭМИ в отн.ед, оси в метрах

Во II квартале 2012 года измерения поля ЭМИ по профилям №№1-4 (а также по дополнительному мониторинговому профилю №5) проводились 28 марта 2012, 16-24 апреля 2012, 2-11 мая 2012 года (рис. 3.35). По данным наблюдений были сделаны следующие выводы. Аномалия поля ЭМИ в районе северного торца бизнес центра «Сокол» (объект №2) регистрировалась на всех этапах наблюдений во II квартале 2012 года, она также продолжилась в сторону пятиэтажного жилого дома (его северного торца). Это связывалось с подработкой пандуса на Северном портале тоннеля №6 бис, разработкой ниш и другими работами в тоннеле в районе уровня выявленной аномалии поля ЭМИ.

Внутри здания в районе выделенной аномалии ЭМИ во II квартале 2012 года наблюдается активное трещинообразование. При наблюдениях в марте-апреле-мае 2012 года неоднократно фиксировалась аномалия в районе южного торца здания бизнес центра «Сокол» (объект №2). Здесь повышенная интенсивность поля ЭМИ связывалась с процессами деформации грунтов ниже дневной поверхности. Причинами могут служить осадки грунтов недалеко от места зарегистрированной аномалии, а также сезонные природные колебания.

Таким образом, по данным наблюдений поля ЭМИ по четырем профилям на участке исследований были выделены зоны геодинамической активности массива пород и прослеживалась динамика их пространственно-временного изменения. Наиболее ярко проявляющаяся аномалия поля ЭМИ (выделявшаяся практически на каждом этапе профильных наблюдений с разной интенсивностью) соответствует аномалиям выделенным в этом же районе методами инженерной сейсморазведки, георадиолокационной съемки и электроразведки. На указанных рисунках стрелками показаны нарушения, которые могли вызвать возмущения поля ЭМИ в этом районе.

По данным метода ЭМИ в этой части участка, где профиль № 2 ЭМИ практически совпадает с профилем №1 электроразведочных работ, устойчиво фиксировалась аномалия поля ЭМИ характеризующая здесь геодинамическую активность. Низкоомная, водонасыщенная часть массива рыхлых пород обладает повышенной чувствительностью к изменению напряженно-деформированного состояния и склонна к деформированию, подвижкам и осадкам, особенно после сооружения тоннеля и формирования зоны разгрузки подземных вод по направлению к его Северному portalу. Кроме того, именно этим обстоятельством (высокой чувствительностью к деформациям) можно объяснять существование аномалии ЭМИ в этой части участка исследований оползневого склона.

По данным георадиолокации в районе часто проявляющейся аномалии поля ЭМИ выявлены предполагаемые плоскости скольжения оползневых структур (глубина залегания от 7,5 до 9 м). При комплексном анализе сделан вывод, о том, что подобные осложняющие признаки способны повлечь образование видимых трещин на дневной поверхности участка.

В данном разделе работы по результатам натурных измерений, экспериментально получена качественная взаимосвязь аномального проявления ЭМИ с геодинамической активностью в местах оползневой деятельности и местах осадок дневной поверхности в результате деятельности суффозионных процессов.

3.3. Количественная оценка связи ЭМИ и НДС крепи и массива

3.3.1. Общие положения

В данной главе приведены результаты расчетов количественных соответствий параметров ЭМИ и НДС крепи и массива на примере экспериментальных исследований при строительстве тоннеля №6 бис на участке Сочи-Адлер Северокавказской железной дороги с июля 2011 по август 2012 и выполнена их комплексная интерпретация.

Эти наблюдения имели своей целью переход от качественного анализа НДС крепи (и пропорциональному НДС вмещающего массива) методом ЭМИ к количественным прогнозным показателям, позволяющим проводить диагностику предразрушающего состояния участков массивов и удовлетворительно описывающих подготовку и сопровождающие процесс проявления горного давления соответствующими изменениями в структуре сигналов электромагнитного излучения на различных стадиях его нагружения. Были созданы базы данных совместных измерений ЭМИ и НДС, после чего эти данные были подвергнуты регрессионному анализу.

Разработка метода, способного дать экспресс-оценку и прогноз проявления геодинамических процессов во вмещающем массиве представляется крайне важной и перспективной задачей для системы комплексного горнотехнического мониторинга на всех этапах существования тоннеля. Прогноз при строительстве и эксплуатации подземных сооружений должен быть направлен на выявление предвестников опасных проявлений геодинамики. Для прогнозирования геодинамической активности необходимо выбрать интегральный показатель, с помощью которого можно характеризовать надежность подземного сооружения. Такой показатель должен чутко реагировать на приближения деформаций и напряжений в крепях и обделке к их предельным значениям [8]. Методы горной геофизики, использующие в качестве такого показателя геофизические поля, представляются одним из важнейших направлений исследований в разработке методов прогноза динамических событий в массиве горных пород.

Геофизические методы прогноза геодинамических событий основаны на сопоставлении измеренных в разных пунктах горных выработок параметров геофизических полей с критическими. В качестве относительных характеристик напряженно-деформированного состояния пород в зоне опорного давления используют вариации естественных или наведенных искусственно геофизических полей [35]. Критические значения параметров соответствуют переходу участка в удароопасное состояние. Физическая сущность параметров различается в зависимости от специфики метода, но все они функционально связаны с реакцией пород на нагрузки в виде

деформаций. Обычно используют относительное изменение (степень аномальности) контролируемого физического параметра среды в зоне опорного давления по сравнению с его значением в нетронутом массиве или интенсивностью естественного поля [36].

3.3.2. Экспериментальные исследования взаимосвязей НДС системы крепи с параметрами ЭМИ при строительстве тоннеля №6 бис на участке Сочи-Адлер Северокавказской железной дороги

В рамках данной работы с июля 2011 по август 2012 автором проводились экспериментальные исследования взаимосвязи НДС с ЭМИ временной арочно-бетонной крепи и вмещающего массива строящегося железнодорожного тоннеля №6 бис.

Строительство однопутного тоннеля №6 бис велось в центре города Сочи (район железнодорожного вокзала) на Южном портале с мая 2011 года, на Северном портале с осени 2011 года. Проходка железнодорожного тоннеля №6 бис осуществлялась типовым горным способом, стреловыми проходческими комбайнами с погрузкой грунта в подземные автопоезда МоАЗ (рис. 3.36). Заходка составляла от 1 до 3 м, расстояние между арками от 0,75 до 1 м.



Рисунок 3.36. – Южный портал тоннеля № 6бис

Рядом находится действующий однопутный железнодорожный тоннель №6, по которому было организовано интенсивное движение пассажирских и грузовых поездов в северном и южном направлении (рис. 3.37). Расстояние между осями тоннелей от 25 до 35 метров. Проходка велась в тонкослоистых плитчатых аргиллитах, разной степени

трещиноватости и обводненности с редкими маломощными ($h = 1 - 1,5$ см) прослоями мелкозернистого песчаника.

При возведении временной крепи в тоннеле №6 бис устанавливали по одной полигональной сварной раме из двутавра № 30 на усиленных участках, и по одной (две) арматурной арке на не усиленных. Бетонирование временной крепи выполнялось с помощью технологии набрызг-бетонирования оборудованием Roboshot.

При строительстве железнодорожного тоннеля №6 бис струнными тензодатчиками (см. главу II) было оснащено девять сечений временной крепи.



Рисунок 3.37. – Южный портал железнодорожного тоннеля № 6бис (слева) и действующего тоннеля № 6 (справа)

На ПК 19644+62.5, 19644+42.0 (рис. 3.38), 19638+10.0, 19637+80.0 измерительными тензометрическими приборами оснащено два узла по два датчика при проходке калотты. При установке на стальные двутавровые арки, датчики были закреплены вязальной проволокой к приваренным кускам арматуры после соединения сегментов стальной арки. Величина заходки на рассматриваемых участках составляла 1 метр с установкой одной полигональной сварной рамы из двутавра №30.

На ПК 19644+22.5, 19643+30.0, 19642+30.0, 19641+15.0, 19639+00.0 измерительными тензометрическими приборами оснащено четыре узла при проходке калотты. Установка датчиков осуществлена в центре поперечного сечения арматурного каркаса перед выполнением набрызгбетонных работ. Крепление датчиков к каркасу выполнено вязальной проволокой. Величина заходки на рассматриваемых участках составляла от 0,75 до 1 м с установкой одной арматурной арки.

В районе указанных выше опытных участков с датчиками НДС по правой и левой стене тоннеля были размечены места для установки антенны прибора Ангел, с целью наблюдения вариаций ЭМИ одновременно со снятием показаний по датчикам.



Рисунок 3.38. – Монтаж датчиков в двутавровую арку на ПК 19644+42.0

Эти наблюдения имели своей целью переход от качественного анализа НДС массива методом ЭМИ к количественным прогнозным показателям, позволяющим проводить диагностику предразрушающего состояния участков массивов и удовлетворительно описывающих подготовку и сопровождающие процесс проявления горного давления изменения в структуре сигналов электромагнитного излучения на различных стадиях его нагружения.

Метод ЭМИ является косвенным методом исследования и с его помощью нельзя напрямую оценить величину компонент напряжений или деформаций. Чтобы использовать метод ЭМИ для оценок НДС массивов горных пород в окрестностях тоннелей, необходимо было установить количественные корреляционно - статистические взаимосвязи с параметрами, которые используются в механике горных пород. Для установления корреляционных связей необходимо было создать базы данных в виде временных рядов, в которые должны были входить параметры ЭМИ и параметры геомеханических измерений (с указанием пикетов и времени наблюдений). Получение репрезентативных выборок для статистического анализа является основной задачей сбора и первичной обработки данных для установления корреляционных взаимосвязей между параметрами ЭМИ и напряженным состоянием массива. Такие взаимосвязи и должны

использоваться в решении задач оценки и контроля НДС массива горных пород и обделок тоннелей с помощью экспресс метода ЭМИ.

В рамках данной работы такие базы данных были созданы, параметры поля ЭМИ подверглись регрессионному анализу. Сопоставляя данные полученные с датчиков напряженно-деформированного состояния крепи с данными ЭМИ в этих же точках получали графики зависимости указанных выше параметров и вычислялись коэффициенты корреляции.

При мониторинговых исследованиях важно определить критерии для прогноза участков массива горных пород в окрестностях тоннеля переходящих в критическое напряженно-деформированное состояние и создающих угрозу устойчивости тоннеля. Решение этой задачи в настоящее время осуществляется комплексом маркшейдерско-геодезических, геомеханических методов исследования НДС массива горных пород и крепи и экспресс-метода регистрации ЭМИ бесконтактным способом для качественной оценки динамической активности массива горных пород.

По данным маркшейдерской службы тоннеля, смещения внутреннего контура крепи зафиксировано на участке Южного портала (ПК 19644+51.8), где смещения составили 40-50 мм. Большая часть этих смещений реализовалась в первые три дня, затем ситуация стабилизировалась. На интервале ПК 19643+59.0 ÷ 19643+45.0 смещения в крепи достигали 20 мм. На остальных участках смещения внутреннего контура крепи не превышало 10 мм, что сопоставимо с точностью измерений.

Полагая, что процессы ЭМИ и изменений НДС в окрестностях тоннеля являются случайными и определяются случайным характером деформирования среды, и перераспределения НДС под влиянием ведения горнопроходческих работ был проведен статистический анализ взаимосвязи амплитудного параметра ЭМИ и напряжения σ по трем сечениям с датчиками деформаций в строящемся тоннеле №6 бис. Схема расположения сечений с датчиками показана на рис. 3.39.

При обработке экспериментальных данных чаще используется не функциональная связь между измеряемыми значениями разных параметров, а статистические зависимости между ними. Различие между этими видами зависимостей состоит в том, что функциональная зависимость определяет взаимосвязь между переменными, а статистическая – указывает, что распределение одной случайной величины зависит от того, какое значение принимает другая случайная величина. Одной из мер линейной статистической зависимости между двумя переменными является коэффициент корреляции. Он показывает, как ярко выражена тенденция к росту одной переменной при

увеличении другой. Коэффициент корреляции (r) изменяется в пределах от -1 до $+1$. При $r < 0$ взаимосвязь между двумя парными переменными обратная, при $r > 0$ - прямая.

Необходимо отметить, что при мониторинге строящегося железнодорожного тоннеля №6 бис в 2011 г. изменение напряженного состояния бетонной крепи по всем замерным станциям на опытных участках оценено как незначительное (сжимающие напряжения в бетоне не превышали 2.5 МПа или 10% от несущей способности).

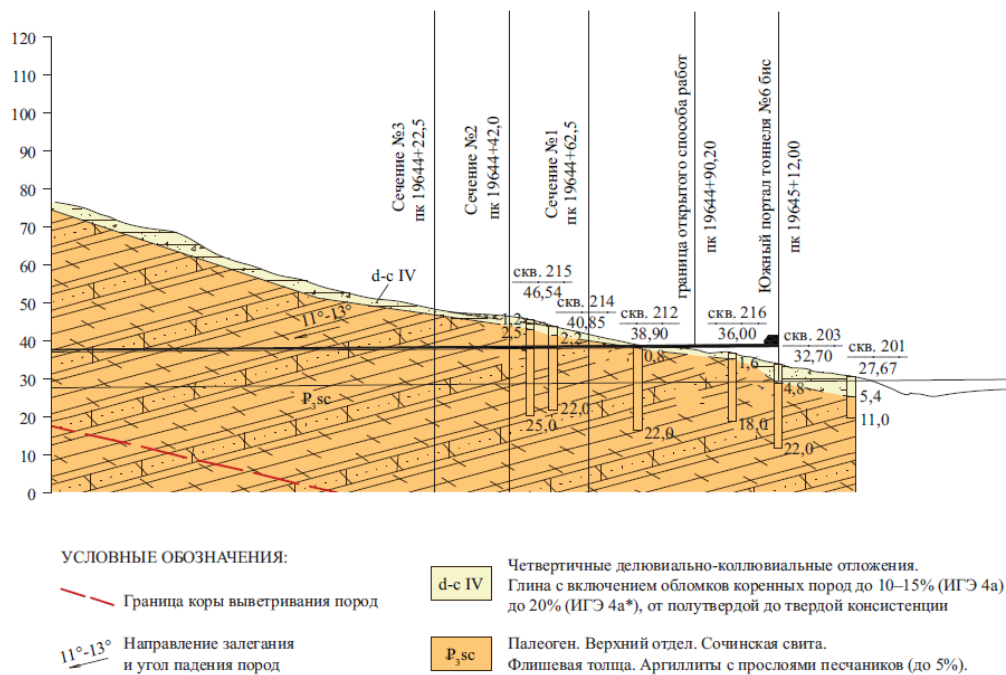


Рис. 3.39. - Схема сечений с датчиками деформаций в крепи тоннеля №6 бис со стороны Южного портала: сечение 1 на ПК 19644+62,5; сечение 2 на ПК 19644+42; сечение 3 на ПК 19644+22,5.

Рассмотрим результаты совместных определений параметра Ам поля ЭМИ и напряжений. По первому сечению можно отметить лишь единичные случаи совпадения по времени пиков Ам и деформаций на внутреннем контуре крепи: 17.07, 20.07, 03.08, 08.08 и 20.10. В целом картина изменений Ам и В во времени достаточно сложная, что отражается в изрезанности графиков ЭМИ. Однако наблюдаются периоды относительно низкого уровня поля ЭМИ, например, со второй половины июня до середины июля, и с 24 октября вплоть до последних замеров 26 ноября. По деформометрам в эти периоды отмечались тенденции к уменьшению деформаций (напряжений).

На первом сечении полученные значения коэффициентов корреляции для совокупности данных, аппроксимированных зависимостью $\lg A_m$ от σ , прямой линией относительно невелики: от 0.110 до 0.397. Корреляция выше для данных совместных измерений слева по ходу от Южного портала. Характер распределений для $\lg A_m$ и σ различный. Неравномерность распределений заметно больше у параметра σ .

По данным совместных наблюдений поля ЭМИ, деформаций и напряжений на втором сечении в тоннеле №6 бис по левой стороне тоннеля можно выделить два интервала активизации поля ЭМИ по параметру Ам и соответствующего изменения деформаций (напряжений) со сменой знака (сжатие-растяжение) на внутреннем контуре крепи (см. рис. 3.40). Первый – с середины июля до конца августа, второй – практически весь октябрь (интервалы показаны красными линиями со стрелками).

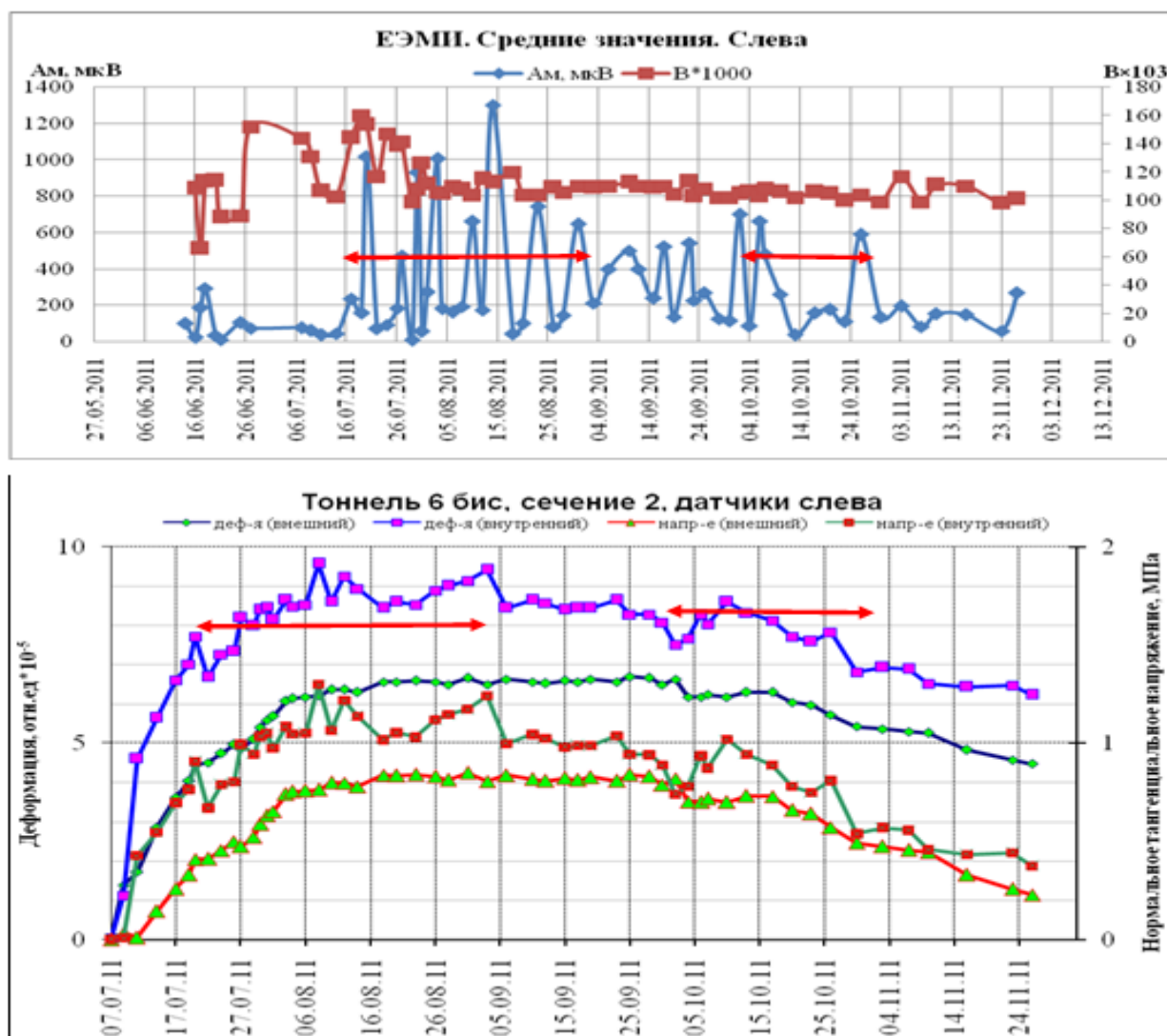


Рис. 3.40 - Исходные данные по ЭМИ (верхний рисунок) и деформациям (напряжениям) (нижний рисунок) по второму сечению в тоннеле №6 бис

По правой стороне деформации по внутреннему контуру были в 2.5 раза больше, чем по внутреннему контуру на левой стороне и в июле-августе приращения нормальных тангенциальных напряжений на внутреннем контуре с правой стороны тоннеля достигали 2 МПа и более. Активность проявления поля ЭМИ с правой стороны была практически на тех же временных интервалах.

Корреляционная взаимосвязь между параметрами $\lg A_m$ и σ , которые определены при измерениях в сечении 2 тоннеля №6 бис заметно выше (рис. 3.41). Более тесная связь получена по данным измерений слева, здесь коэффициент корреляции $r = 0.516$.

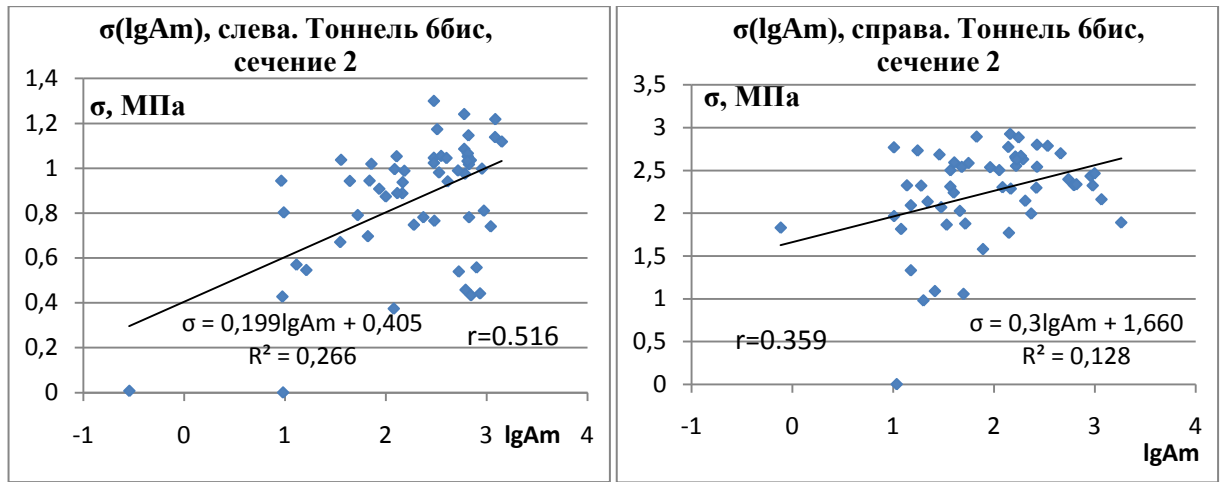


Рис. 3.41. - Графики взаимосвязи, уравнения регрессии и коэффициенты корреляции параметра $\lg A_m$, где A_m в мкВ и σ в МПа по данным 56 парных значений полученных на втором сечении в тоннеле №6 бис в период наблюдений с 14.06 по 26.11. 2011 г.

По данным измерений с 7 июля по 20 августа 2011 года в сечении 2 тоннеля №6 бис были получены данные, для которых было характерно следующее. Распределения сравниваемых параметров были визуально похожими (рис. 3.42) и рассчитанные коэффициенты корреляции получились достаточно высокими (рис. 3.43) 0,599 - 0,859.

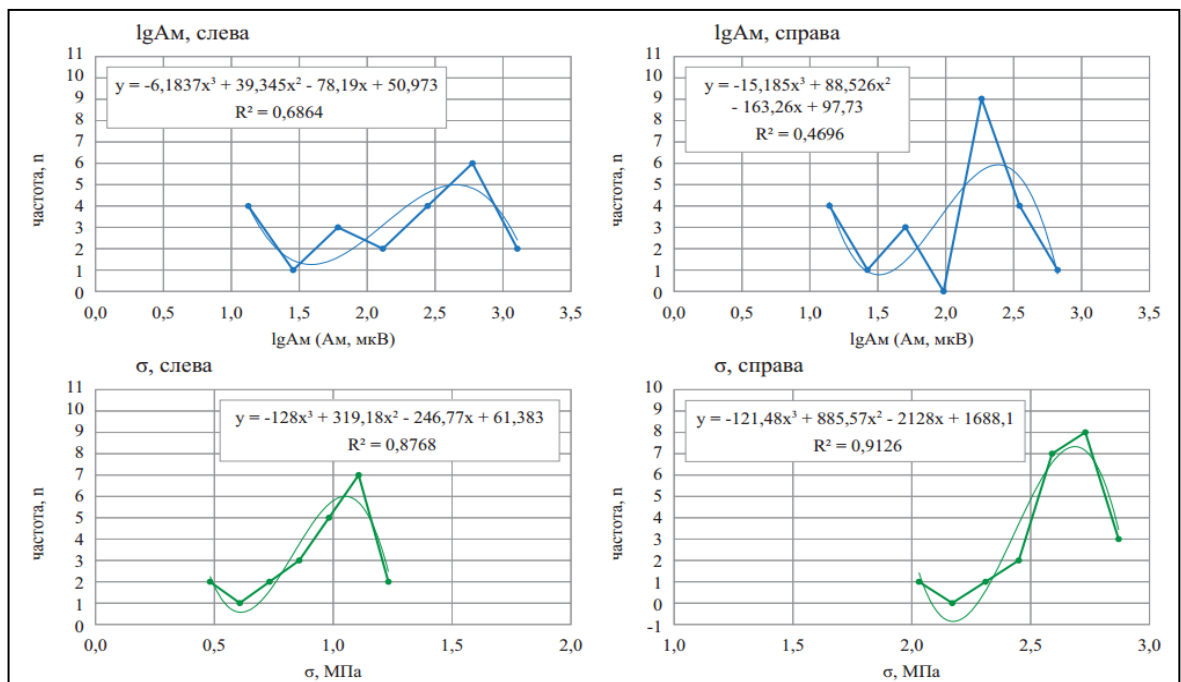


Рис. 3.42 Полигоны частот эмпирических распределений $\lg A_m$ (Ам, мкВ) и σ , МПа и расчет линии тренда по второму сечению за период наблюдений с 7.07 по 20.08.2011 г

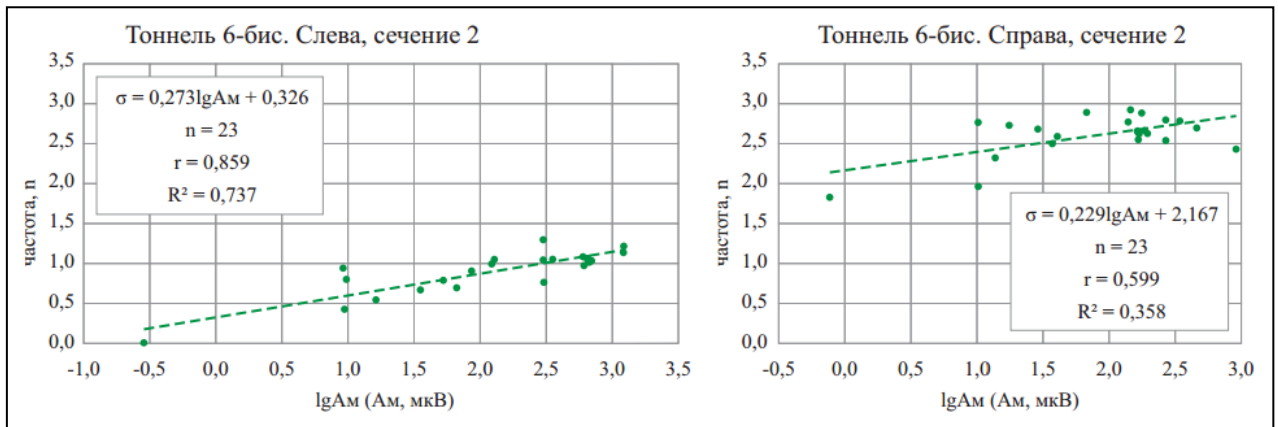


Рис. 3.43. Графики взаимосвязи, уравнения регрессии и коэффициенты корреляции параметра $lgAm$, где Am в мкВ и σ в МПа по данным 23 парных измерений, полученных на втором сечении в тоннеле №6 бис в период наблюдений с 7.07 по 20.08.2011 г

Показанные результаты получены по меньшей выборке, при активизации процесса интенсивного изменения НДС системы «крепь - массив» в период 07.07.2011 – 20.08.2011.

3.3.3. Исследования взаимосвязи проявлений ЭМИ с изменениями НДС в районе опытных участков №№ 1- 5 при подходе и разработке штроссовой части тоннеля №6 бис

В ходе анализа работ, показанных выше, было установлено, что большие значения коэффициентов корреляций ЭМИ и НДС получаются по меньшим выборкам, в период активизации процесса интенсивного изменения НДС системы «крепь - массив». Поэтому дальнейшие исследования взаимосвязи ЭМИ и изменений НДС в тоннеле №6 бис нуждались в проявлениях геодинамической активности во вмещающем тоннель массиве. Такие проявления были зафиксированы датчиками НДС на каждом опытном участке во время разработки уступа штроссы в непосредственной близости от каждого из участков.

Проходка забоя калотты тоннеля №6 бис со стороны Южного портала была остановлена 12.12.2011 на ПК 19640+07,00. В это время начата разработка понижения от Южного портала. Сначала проходка велась открытым способом (под железобетонной плитой) (арки не ставились), далее началась разработка закрытым способом с установкой двутавровых арок (на припортальном участке, а затем арматурных арок с ПК 19644+30). Ход продвижения правой и левой (против пикетажа) части уступа штроссы тоннеля №6 бис со стороны Южного портала показан в таблице 3.2. Цветом выделены даты, когда разработка штроссы велась в сечениях, оснащенных датчиками НДС по калоттной части.

В процессе продвижения уступа штроссы тоннеля №6 бис со стороны Южного портала контролировалась устойчивость вмещающего массива и конструкции тоннеля в

местах ведения проходческих работ по шести замерным станциям методом ЭМИ. Замерные станции приурочивались к опытным участкам оснащенными датчиками контроля НДС.

Проходка левой и правой частей штроссы производилась отдельно. Сначала разрабатывалась левая сторона, опережая уступ правой стороны на расстояние до 10 метров, затем начиналась проходка по отстающей правой части, также с дальнейшим опережением левого уступа. Заходка всегда составляла 4 метра. На рисунке 3.44 представлен вид с калоттной части на опережающий уступ с левой (по пикетажу) стороны и отстающий уступ с правой стороны. На фотографии специалист снимает показания с датчиков НДС во втором сечении.

Таблица 3.2. - Ход продвижения правой и левой (против пикетажа) части уступа штроссы тоннеля
№6 бис со стороны южного портала

Дата	ПК слева	ПК справа	Сечение датчиков НДС (отсчет с Южного портала)
19.12.2011	44+71	44+71	
22.12.2011	44+70	44+70	
26.12.2011	44+64	44+70	
28.12.2011	44+59,47	44+65,47	1-ое сечение
29.12.2011	44+56	44+59	
06.01.2012	44+47	44+53,70	
08.01.2012	44+36	44+52	2-ое сечение
11.01.2012	44+36	44+29,11	
15.01.2012	44+20	44+12,7	3-е сечение
18.01.2012	44+08,20	43+97,70	
27.01.2012	43+54	43+43	
30.01.2012	43+34	43+27	
06.02.2012	43+24	43+20	4-ое сечение
08.02.2012	43+19	43+16	
10.02.2012	43+13	43+16	
14.02.2012	42+82	42+73	
25.02.2012	42+32	42+20	5-ое сечение
28.02.2012	42+16	42+12	



Рисунок 3.44. – Разработка уступа с левой (по пикетажу) стороны, с отставанием правой (по пикетажу) части. Район второго сечения датчиков НДС

В районе замерной станции №1 (ПК 19644+62,5) уступ штроссы находился в конце декабря – начале января. Результаты наблюдений поля ЭМИ в этом районе (рис.3.45 – 3.49) показали повышение значений поля (на порядок) после разработки тоннеля на полное сечение. Повышение значений началось 06.01.2012, когда уступ прошел дальше замерной станции на 14 м по левой стороне и на 8 м по правой. С 26.01.2012 значения поля ЭМИ по правой стороне снизились до уровня декабря 2011, а по левой стороне и в конце февраля фиксировались аномальные всплески поля ЭМИ, что свидетельствовало о существующих неравномерных напряжениях в массиве.

В период, соответствующий проходке штроссы в районе данного опытного участка на всех графиках отмечаются аномальные изменения НДС.

Слева по внутреннему датчику 28.12.11: $\sigma = 0,3$ МПа – 11.01.12: $\sigma = 0,9$ МПа – 30.01.12: $\sigma = 0,7$ МПа – 02.02.12: $\sigma = 1,0$ МПа; по внешнему датчику 28.12.11: $\sigma = 0,6$ МПа – 18.01.12: $\sigma = 0,3$ МПа – 30.01.12: $\sigma = 0,5$ МПа.

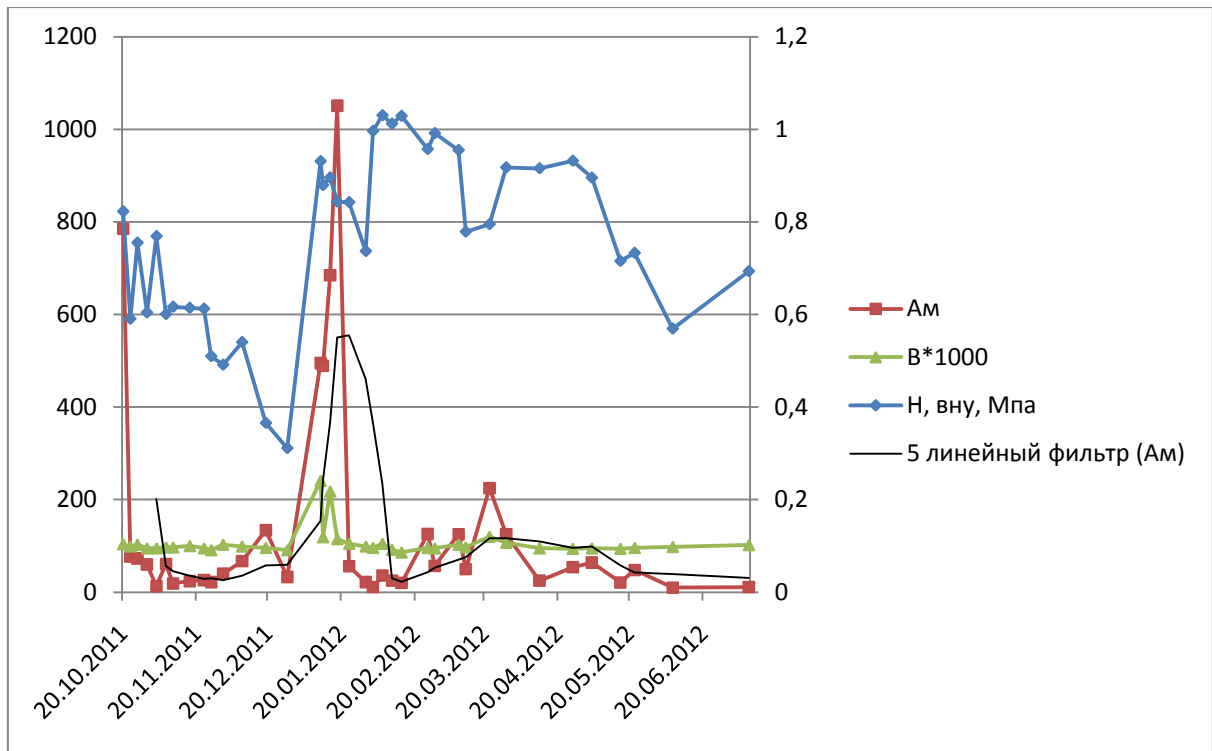


Рисунок 3.45 – Результаты регистрации вариаций поля ЭМИ на замерной станции №1.

Сопоставление с кривой развития нормальных тангенциальных напряжений в бетоне на внутреннем датчике

слева

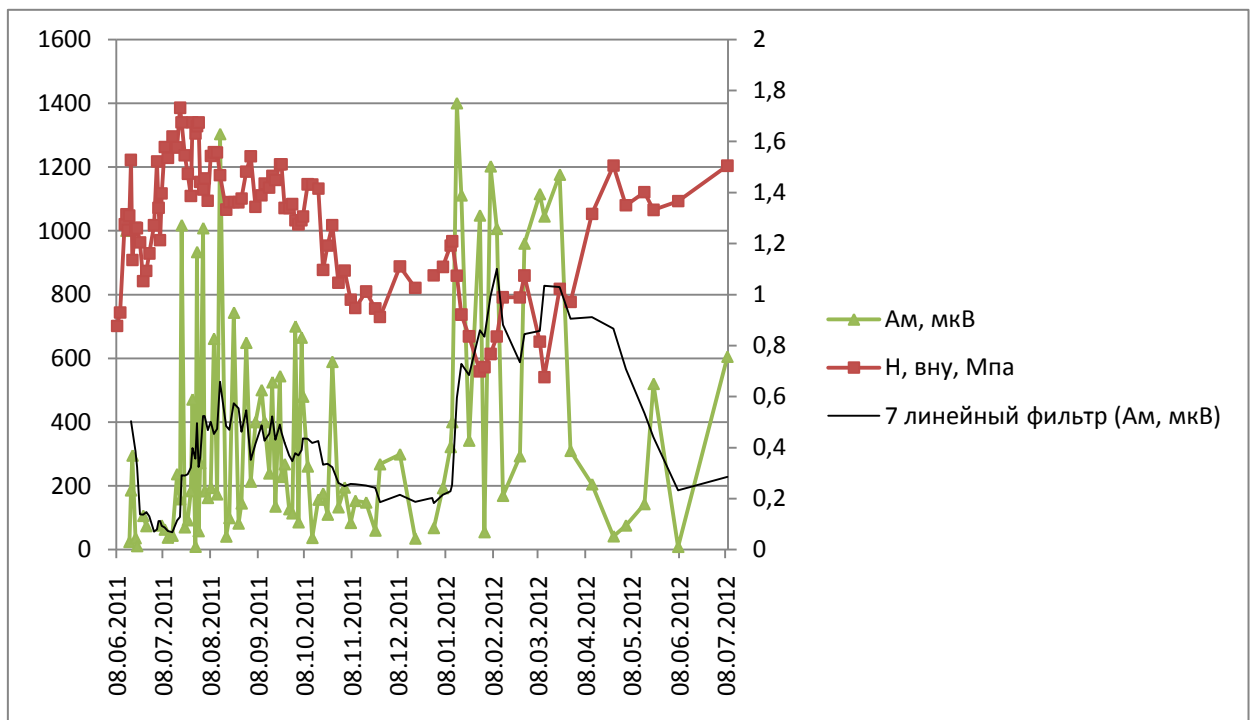


Рисунок 3.46 – Результаты регистрации вариаций поля ЭМИ на замерной станции №1.

Сопоставление с кривой развития нормальных тангенциальных напряжений в бетоне на внутреннем датчике

справа

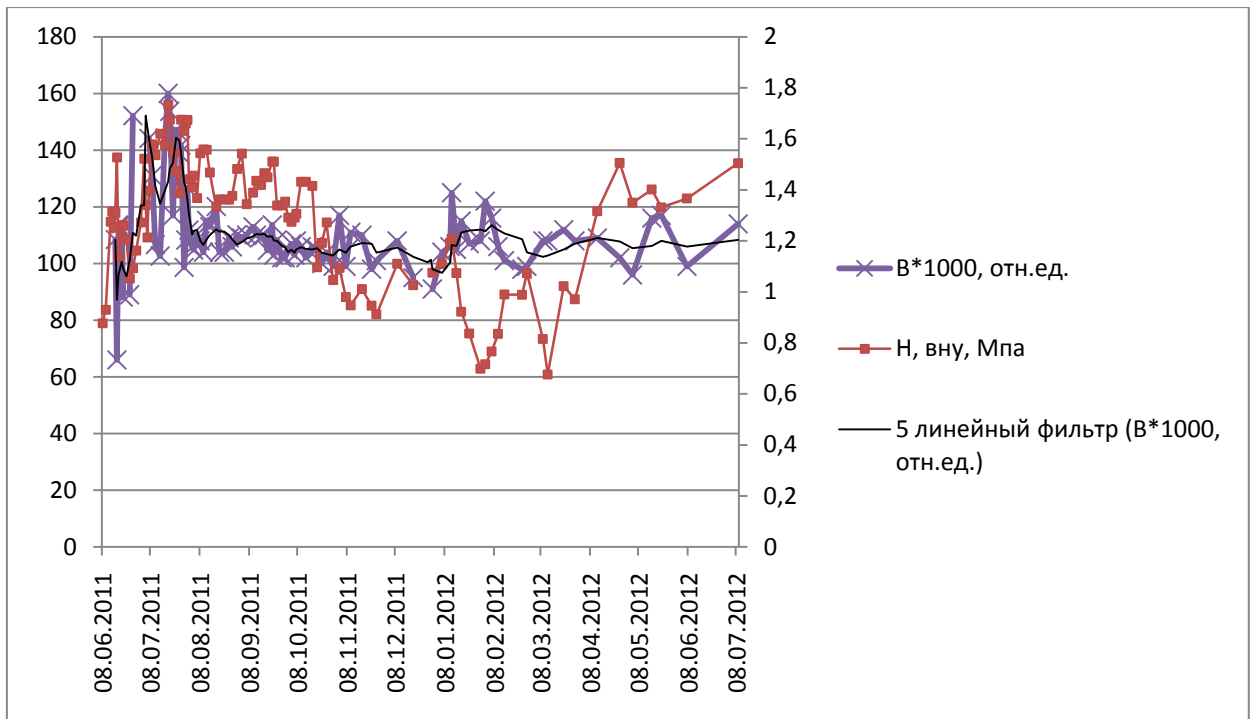


Рисунок 3.47 – Результаты регистрации вариаций поля ЭМИ на замерной станции №1.

Сопоставление с кривой развития нормальных тангенциальных напряжений в бетоне на внутреннем датчике
справа

Справа по внутреннему датчику 28.12.11: $\sigma = 0,9$ МПа – 11.01.12: $\sigma = 1,2$ МПа – 30.01.12: $\sigma = 0,7$ МПа; по внешнему датчику до 18.01.12: $\sigma = 0,0$ МПа – 02.02.12: $\sigma = 0,3$ МПа – 10.02.12: $\sigma = 0,1$ МПа.

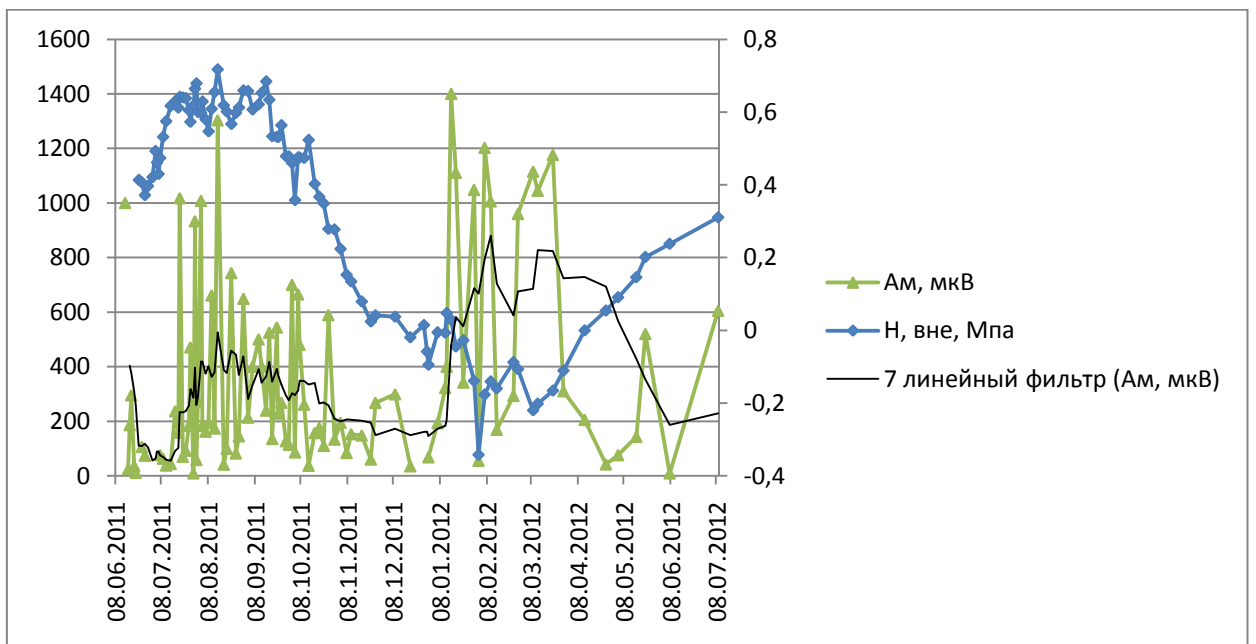


Рисунок 3.48 – Результаты регистрации вариаций поля ЭМИ на замерной станции №1.

Сопоставление с кривой развития нормальных тангенциальных напряжений в бетоне на внешнем датчике
справа

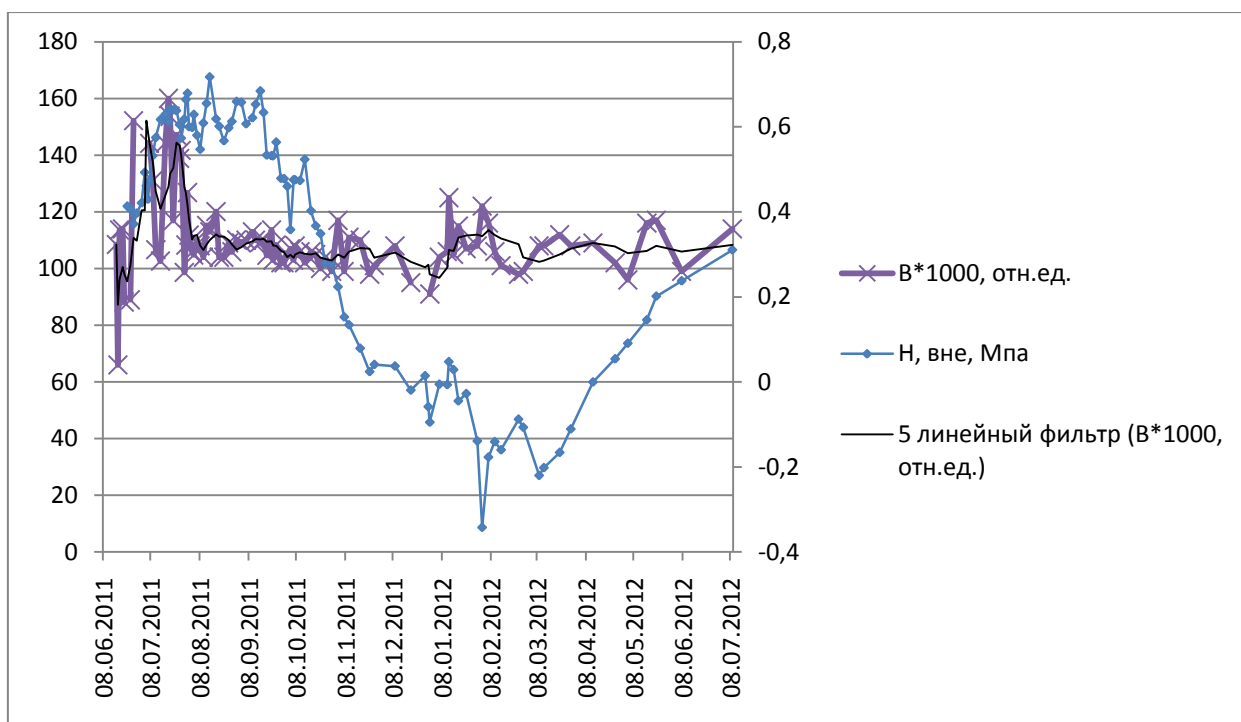


Рисунок 3.49 – Результаты регистрации вариаций поля ЭМИ на замерной станции №1.

Сопоставление с кривой развития нормальных тангенциальных напряжений в бетоне на внешнем датчике
справа

В районе замерной станции №2 (ПК 19644+42) уступ штроссы находился 6.01 – 10.01.2012. Результаты наблюдений поля ЭМИ в этом районе (рис. 3.50 – 3.51) показали повышение значений поля еще до подхода уступа к замерной станции №2 (замерная станция №1 находится южнее всего на 20 м) по обеим сторонам выработки.

НДС. Слева по внутреннему датчику 19.12.11: $\sigma = 0,6$ МПа – 31.12.11: $\sigma = 0,3$ МПа – 15.01.12: $\sigma = 0,8$ МПа; по внешнему датчику 19.12.11: $\sigma = 0,2$ МПа – 14.02.12: $\sigma = 1,0$ МПа.

Справа по внутреннему датчику 19.12.11: $\sigma = 0,8$ МПа – 31.01.12: $\sigma = 0,0$ МПа – 11.01.12: $\sigma = 1,2$ МПа; по внешнему датчику до 19.12.11: $\sigma = -0,1$ МПа – 31.12.11: $\sigma = -1,0$ МПа – 06.01.12: $\sigma = -0,1$ МПа.

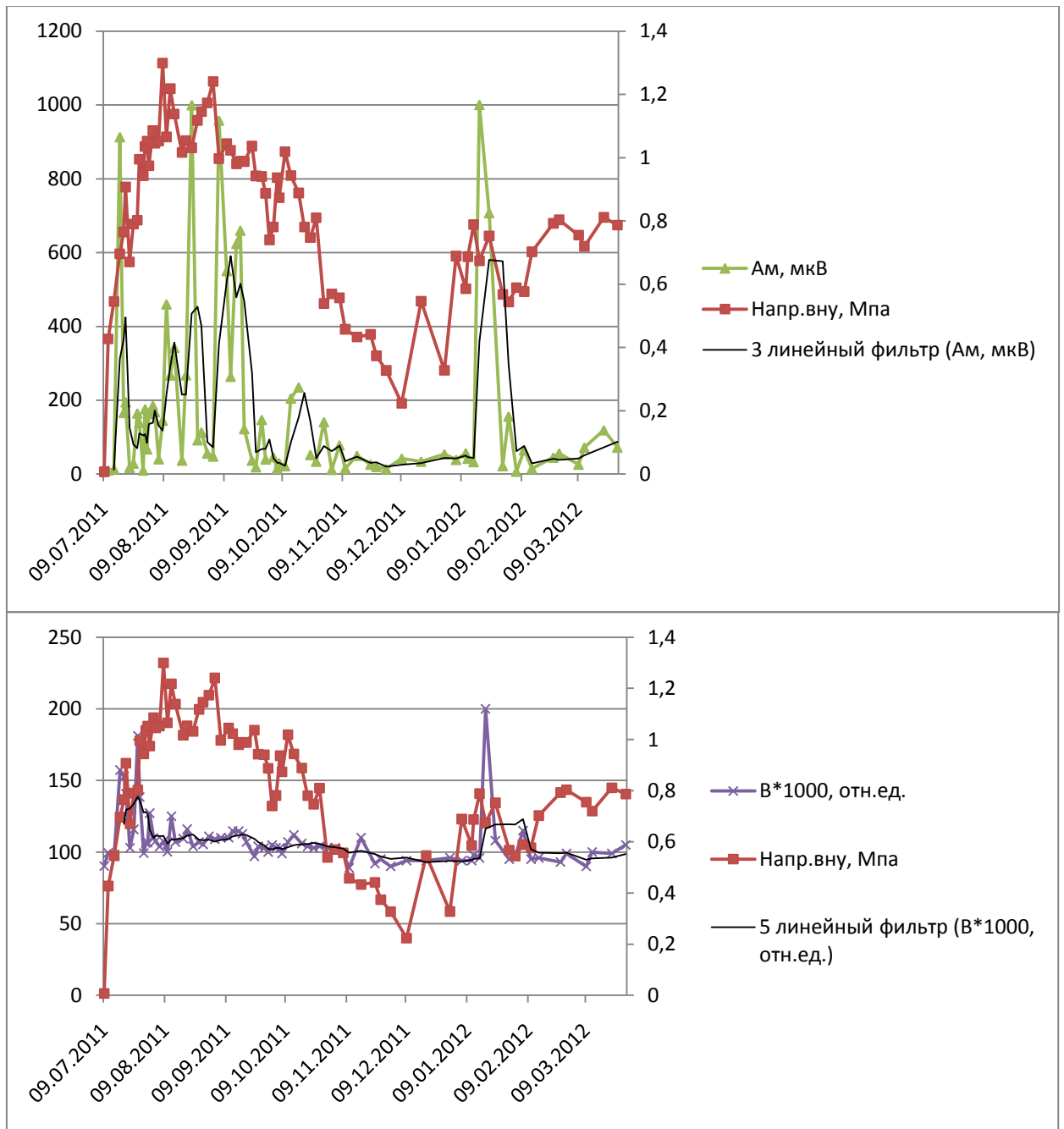


Рисунок 3.50. – Результаты регистрации вариаций поля ЭМИ на замерной станции №2
Сопоставление с кривой развития нормальных тангенциальных напряжений в бетоне на внутреннем датчике
слева

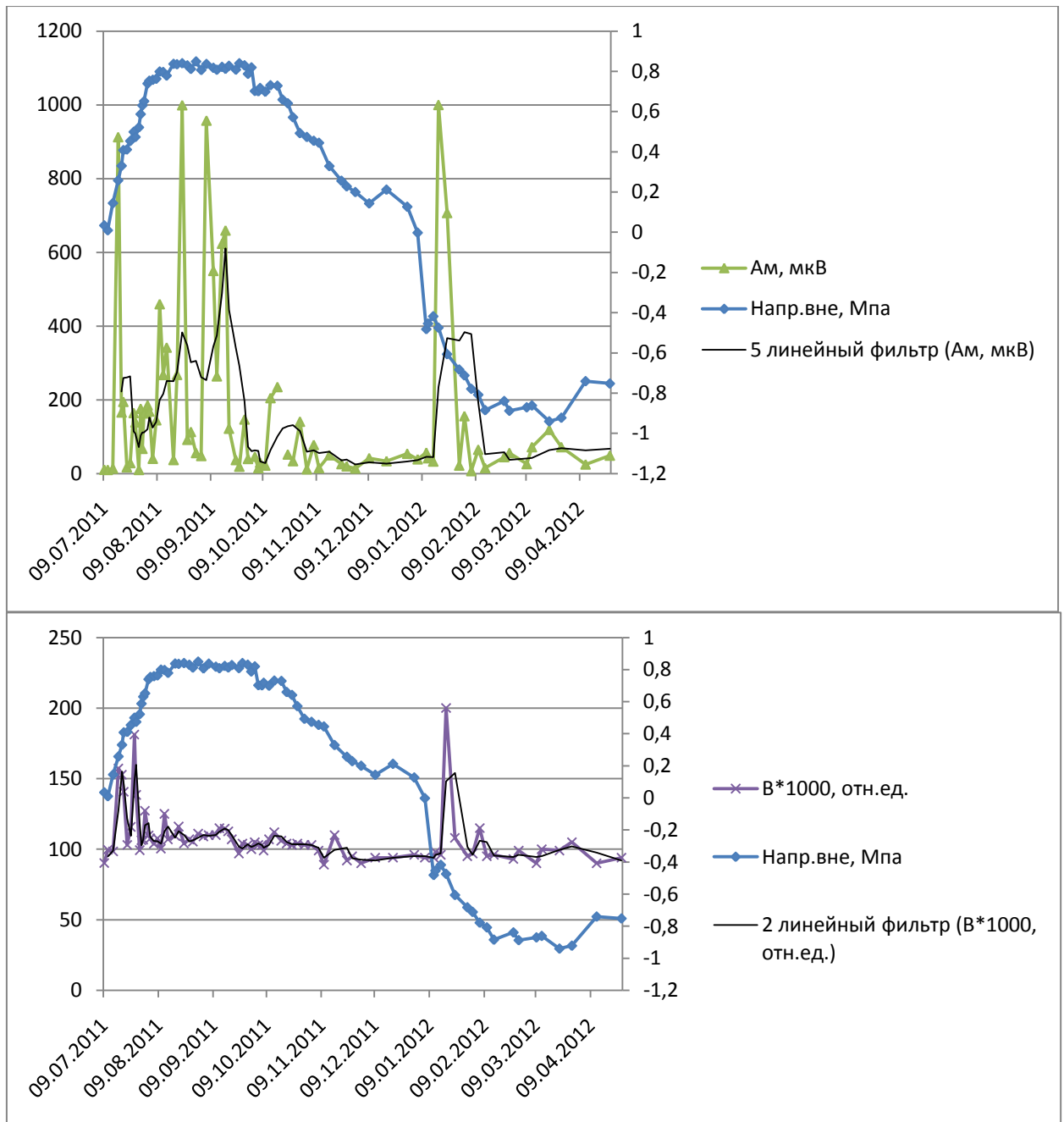


Рисунок 3.51 – Результаты регистрации вариаций поля ЭМИ на замерной станции №2

Сопоставление с кривой развития нормальных тангенциальных напряжений в бетоне на внешнем датчике
слева

В районе замерной станции №3 (ПК 19644+22,5) уступ штрассы находился 15.01.2012. Результаты наблюдений поля ЭМИ в этом районе показали повышение значений поля ЭМИ после отхода уступа штрассы от наблюдательной станции №3 на 20-30 метров, после чего отмечались всплески аномальных значений поля до 1 мВ до середины февраля.

НДС. Слева и справа по сводовым датчикам деформации за период наблюдений, в котором происходила проходка штрассы в районе этого опытного участка, колебались в

пределах 0,1 – 0,2 МПа. По боковым датчикам слева 11.01.12: $\sigma = 1,5$ МПа – 12.01.12: $\sigma = -0,5$ МПа – 23.01.12: $\sigma = -1,0$ МПа; справа 11.01.12: $\sigma = 1,0$ МПа – 23.01.12: $\sigma = 2,0$ МПа.

В районе замерной станции №4 (ПК 19643+20) уступ штрассы находился в начале февраля 2012. Результаты наблюдений поля ЭМИ в этом районе показали увеличение значений с фоновых 20-30 мкВ на порядок до подхода штрассы, а также при проходе уступа штрассы через замерную станцию №4.

НДС. Слева и справа по боковым датчикам деформации за период наблюдений, в котором происходила проходка штрассы в районе этого опытного участка, колебались в пределах 0,1 – 0,3 МПа. По сводовым датчикам слева 23.01.12: $\sigma = 3,0$ МПа – 30.01.12: $\sigma = 4,0$ МПа – 08.02.12: $\sigma = 3,2$ МПа; справа 30.01.12: $\sigma = 5,0$ МПа – 08.02.12: $\sigma = 4,5$ МПа.

В районе замерной станции №5 (ПК 19642+20) уступ штрассы находился в конце февраля 2012. Результаты наблюдений поля ЭМИ в этом районе (рис. 3.52) показали увеличение значений с фоновых 20-40 мкВ до 120 мкВ при разработке штрассы и при проходе уступа штрассы через замерную станцию №5.

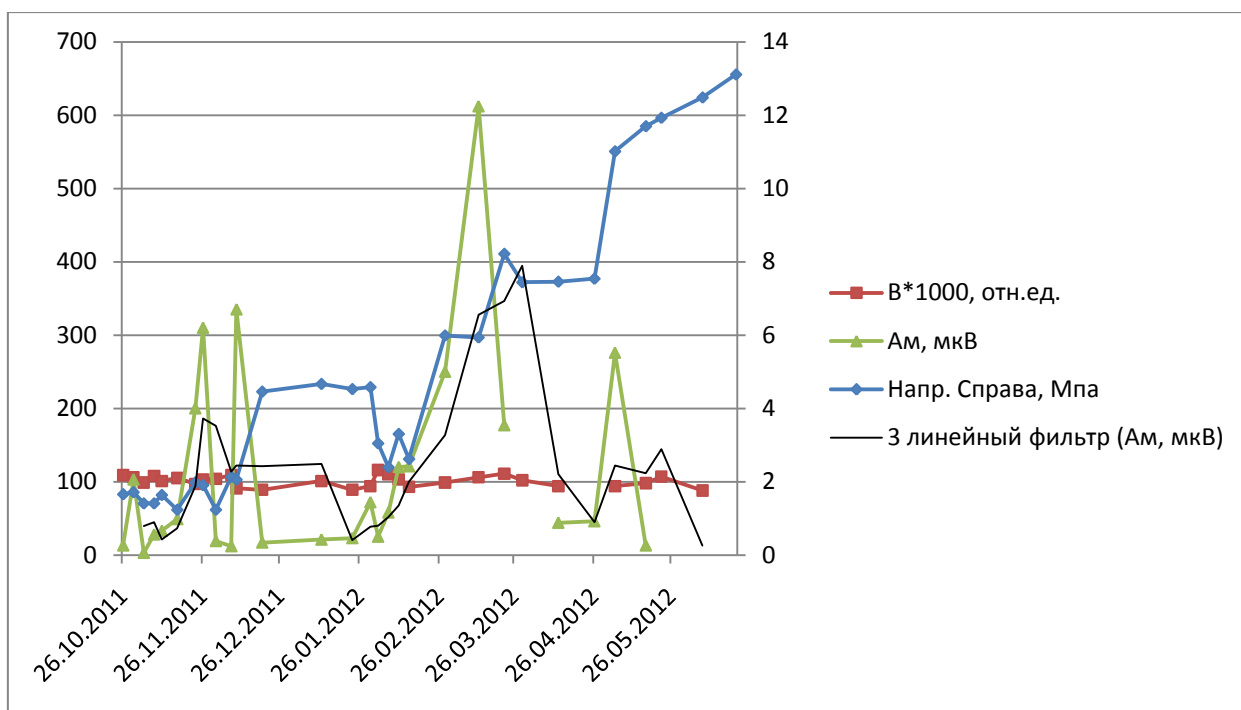


Рисунок 3.52 – Результаты регистрации вариаций поля ЭМИ на замерной станции №5

Сопоставление с кривой развития нормальных тангенциальных напряжений в бетоне на боковом датчике справа

НДС. Слева и справа по боковым датчикам деформации за период наблюдений, в котором происходила проходка штрассы в районе этого опытного участка, колебались в пределах 0,1 – 0,5 МПа. По сводовым датчикам слева 14.02.12: $\sigma = 5,0$ МПа – 28.02.12: $\sigma = 4,0$ МПа после чего датчик отказал; справа 14.02.12: $\sigma = 3,0$ МПа – 28.02.12: $\sigma = 6,0$ МПа и далее рост напряжений продолжался до середины марта.

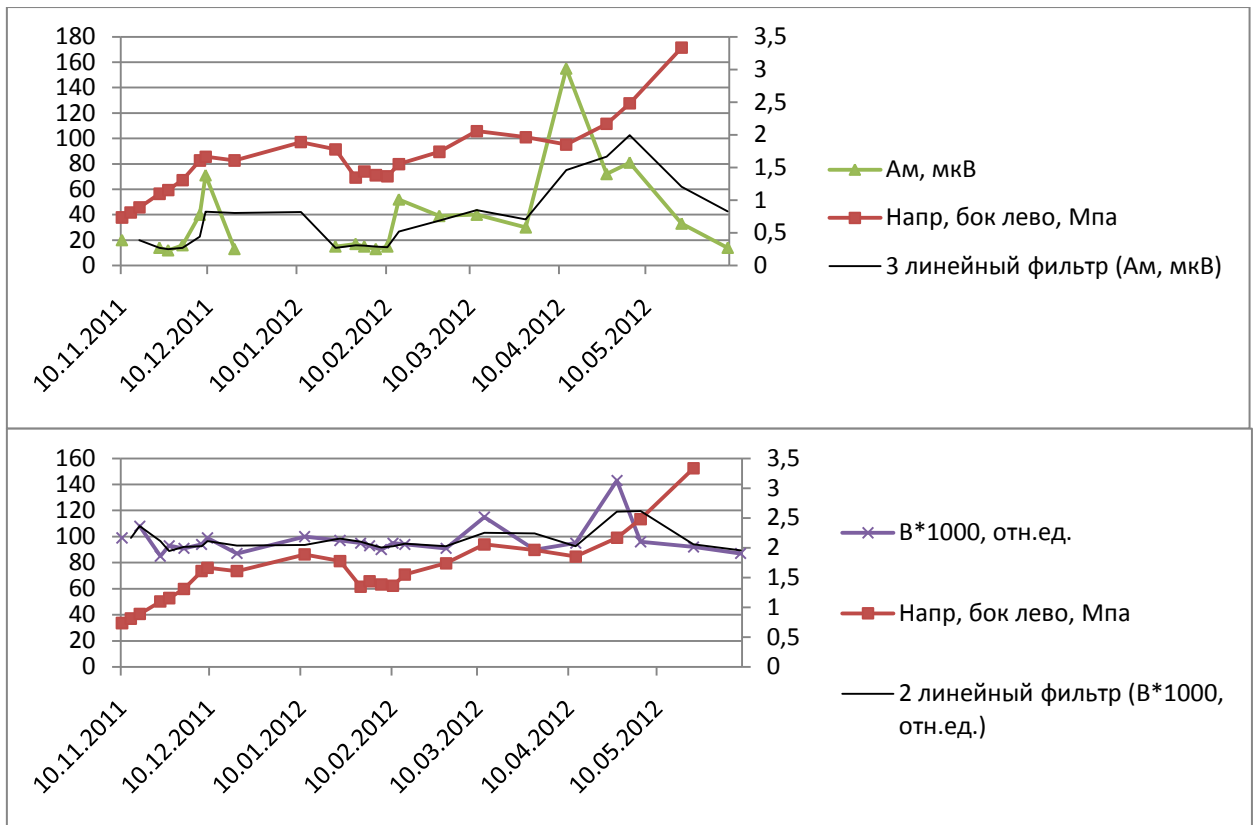


Рисунок 3.53 – Результаты регистрации вариаций поля ЭМИ на замерной станции №6.

Сопоставление с кривой развития нормальных тангенциальных напряжений в бетоне на боковом датчике
слева

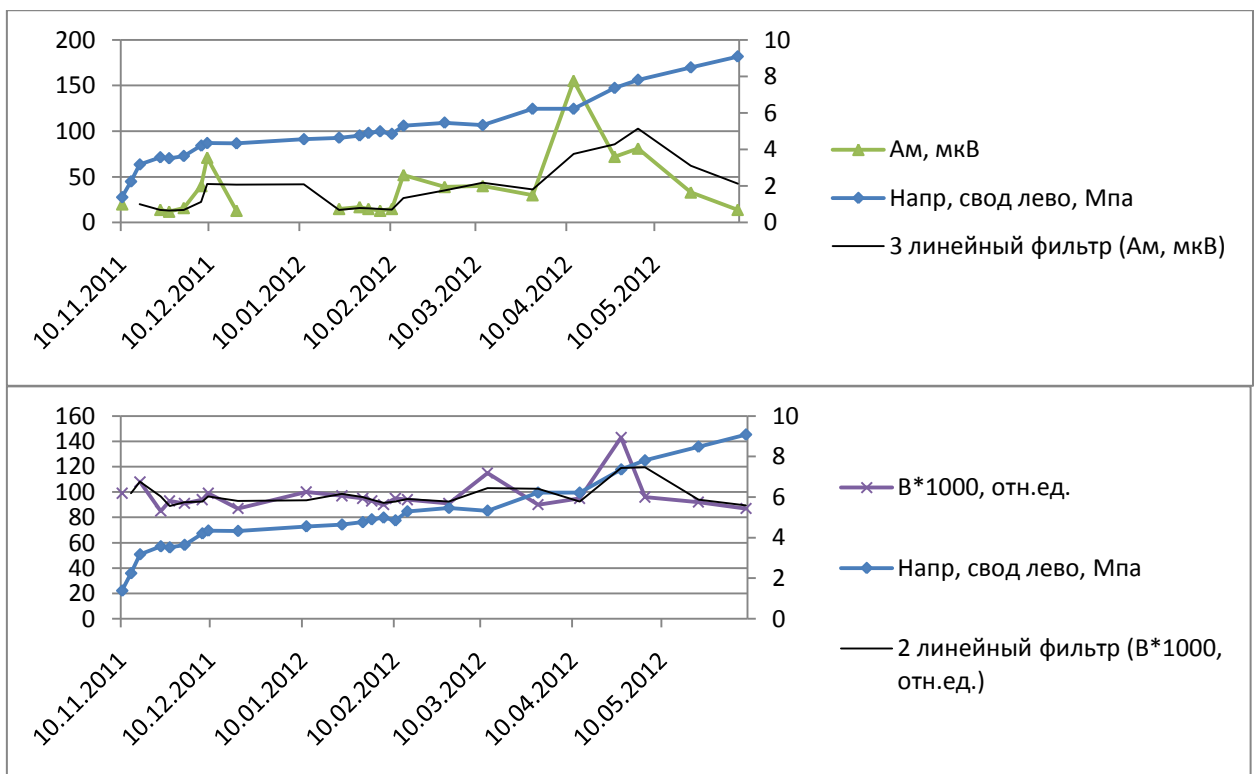


Рисунок 3.54 – Результаты регистрации вариаций поля ЭМИ на замерной станции №6.

Сопоставление с кривой развития нормальных тангенциальных напряжений в бетоне на сводовом датчике
слева

По замерным станциям №№ 1 – 6 были построены графики корреляционной зависимости датчиков НДС с данными по измерениям параметров поля ЭМИ. Примеры оценки взаимосвязи показаны на рис. 3.55– 3.57.

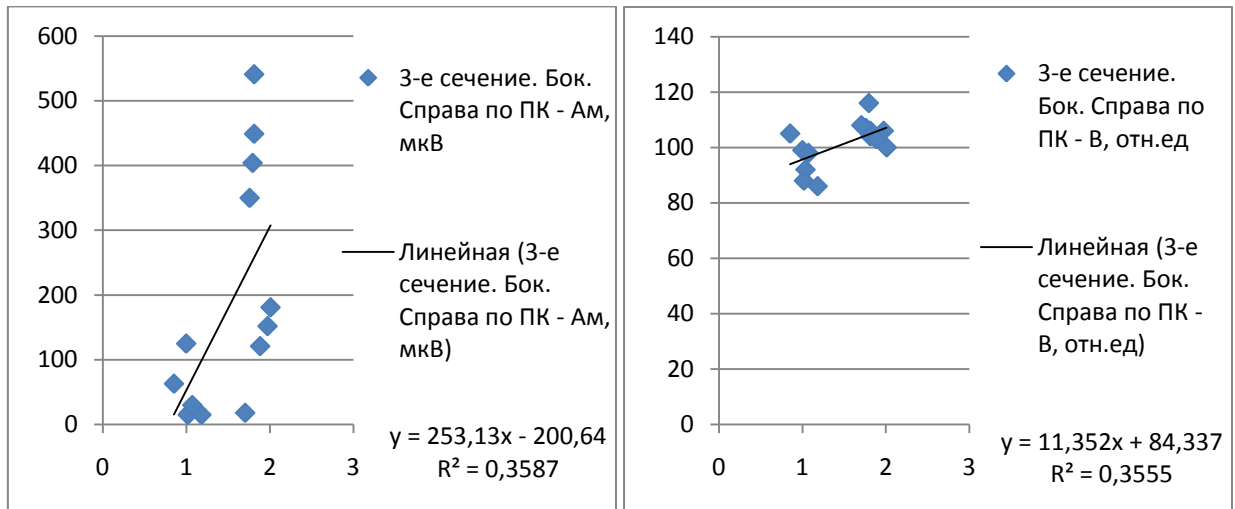


Рисунок 3.55 - Графики взаимосвязи, уравнения регрессии и коэффициенты корреляции параметра A_m (левый график) и параметра V (правый график), где A_m в мкВ, V в отн.ед. и σ в МПа полученных на третьем сечении в тоннеле №6 бис в период наблюдений с 01.12.2011 по 02.02.2012 (во время разработки штроссы в районе этого сечения). Справа по ПК, боковой датчик

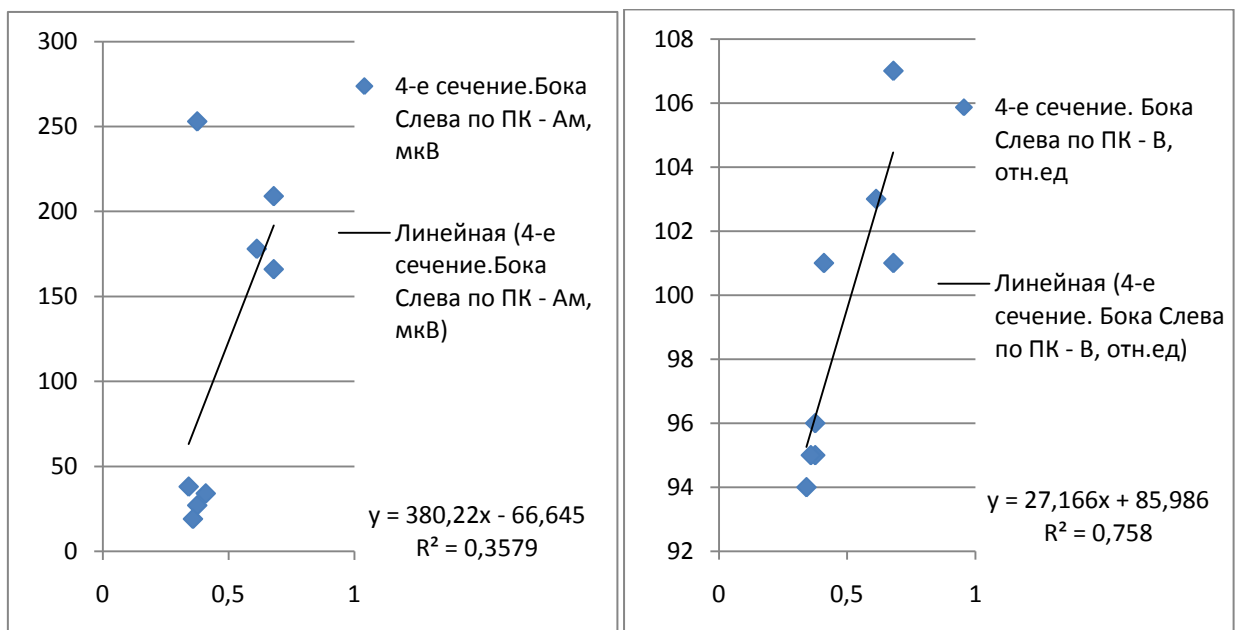


Рисунок 3.56 - Графики взаимосвязи, уравнения регрессии и коэффициенты корреляции параметра A_m (левый график) и параметра V (правый график), где A_m в мкВ, V в отн.ед. и σ в МПа полученных на четвертом сечении в тоннеле №6 бис в период наблюдений с 11.01.2012 по 14.02.2012 (во время разработки штроссы в районе этого сечения). Слева по ПК, боковой датчик

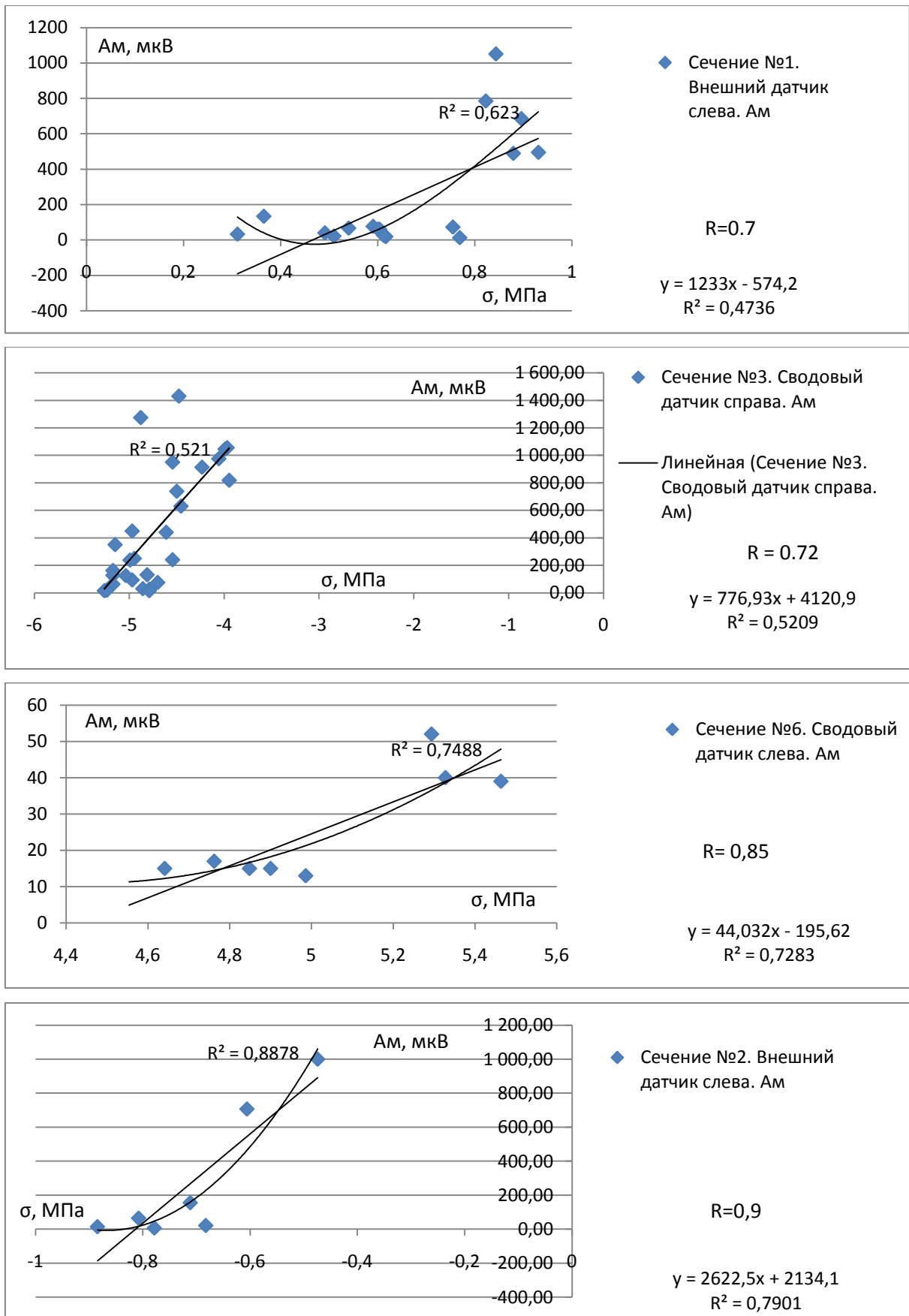


Рисунок 3.57 - Графики взаимосвязи, уравнения регрессии и коэффициенты корреляции параметра Ам (левый график) мкВ и σ в МПа полученных в тоннеле №6 бис для сечений № 1, 2, 3 и 6 во время разработки штроссы в районе каждого сечения

Таблица 3.3. Коэффициенты корреляции параметров поля ЭМИ и σ , Мпа, полученных на сечениях 1-5 в строящемся тоннеле 6 бис

Пункт наблюдений, Сечение №№	R (Ам, мкВ) Амплитудный параметр поля ЭМИ	R (В, отн.ед.) Количественный параметр поля ЭМИ
6 бис. №1 Справа (внешний)	0,5 – 0,6	0,5 – 0,6
6 бис. №1 Слева (внешний)	0,05 – 0,65	0,65 – 0,72
6 бис. №1 Справа (внутренний)	0,5 – 0,6	0,5 – 0,6
6 бис. №1 Слева (внутренний)	0,65 – 0,70	0,65 – 0,70
6 бис. №2 Слева (внешний и внутренний)	0,5 – 0,6	
6 бис. №2 Справа (внешний и внутренний)		
6 бис. №3 Справа (свод и бок)		
6 бис. №3 Слева (свод и бок)		
6 бис. №4 Справа (свод и бок)		
6 бис. №4 Слева (свод и бок)		
6 бис. №5 Слева (свод)	0,70 – 0,84	0,7 – 0,8
6 бис. №5 Справа (бок)	0,6 – 0,7	0,6 – 0,7
6 бис. №5 Справа (свод)	0,7 – 0,9	0,7 – 0,9
6 бис. №6 Слева (бок)	0,76 – 0,90	0,76 – 0,90
6 бис. №6 Слева (свод)	0,80 – 0,95	0,80 – 0,95

Таким образом, в ходе количественного анализа взаимосвязей ЭМИ и НДС крепи в строящемся тоннеле №6 бис, при небольших изменениях НДС, которые составили 5 – 20% от разрушающих напряжений, получены следующие закономерности:

При регистрации интенсивности электромагнитного излучения с параметром $A_{норм} < 2$ скорость изменения НДС $\sigma' = 0$ (геодинамическая активность не проявляется); при $A_{норм} = 2 \div 4$ - $\sigma' = 0,02 - 0,04$ МПа/сут (геодинамическая активность проявляется слабо); при $A_{норм} = 4 \div 6$ - $\sigma' = 0,06 - 0,18$ МПа/сут (происходит интенсивное деформирование существующих в массиве микротрещин); при $A_{норм} > 6$ - $\sigma > 0,18$ МПа/сут (происходит формирование очага макроразрушения, обусловленного ускоренным развитием микродефектов в массиве горных пород).

3.3.4. Влияние вариаций магнитного поля Земли при регистрации ЭМИ

Напряженность магнитного поля Земли изменяется со временем, и эти изменения называют вариациями магнитного поля Земли. По временному интервалу вариации делят на вековые, суточные и короткопериодические [101].

Для обоснования правомерности регистрации ЭМИ в разное время суток в районе опытных участков с датчиками-деформометрами в тоннеле № 6 бис были проведены опытные работы по непрерывной регистрации ЭМИ в условиях тоннеля. Данные работы показали незначительное отличие хода ЭМИ в разное время суток – не более 0,1 – 1%.

Глава IV. Разработка методики идентификации геомеханических процессов по регистрации электромагнитного излучения

4.1. Введение

В систему комплексного горнотехнического мониторинга объектов подземного строительства [1] входит система обоснования безопасности подземной выработки при геодинамических воздействиях. Одними из основных методов геодинамических наблюдений являются геофизические наблюдения, с помощью которых, в том числе, решаются задачи контроля за действием различных техногенных факторов и влиянием их на состояние и свойства геологической среды, а также выявление в массиве наиболее деформируемых участков; контроля за состоянием зон разгрузки вокруг подземных выработок; контроля за изменением НДС внутренних частей массива и выявления областей возможного развития необратимых геомеханических процессов.

Геомеханические процессы в массиве горных пород могут проявляться в виде динамических явлений, к которым относятся, прежде всего, такие вредные последствия горного давления, как стреляния, толчки, микроудары, горные удары и выбросы, известные уже свыше двухсот лет во многих горнопромышленных районах мира.

Наиболее яркая особенность, находящая отражение в объединении этих явлений, состоит в «динамичности», т.е. в развитии со скоростями, воспринимаемыми как весьма быстрое перемещение, требующее значительных запасов энергии. Реализация этой энергии в виде динамических проявлений происходит далеко не всегда и зависит от ряда особых обстоятельств, что и дает руководящие принципы для того, чтобы отличить опасную ситуацию от неопасной [115], и спрогнозировать возможность перехода одной стадии в другую. Такая возможность представляется реалистичной уже потому, что само по себе деформирование вмещающего массива и формирование горного давления имеют место во всех случаях, независимо от того, происходят динамические явления или они не возникают. В условиях же, когда активизация геодинамического явления возможна, эти процессы определяют возможность разработки методов прогноза.

Горные удары обычно происходят при глубинах разработки свыше 200 м, а в гористой местности, где имеют место высокие тектонические напряжения и горные удары (удары горно-тектонического типа) или их признаки в ряде случаев проявляются уже с глубин 50 – 100 м [116]. То есть реальным результатом протекания геомеханического процесса перераспределения НДС в горной выработке неглубокого заложения, при соответствующих условиях, может быть и динамическое разрушение в виде горного

удара. Кроме того, при горно-тектонических ударах в выработках возникает множество вторичных очагов разрушений на участках ослабленных зон, на контактах тектонических нарушений и дайковых тел [117], которые также должны подлежать выявлению и оценке по геодинамической активности.

В результате многолетнего изучения природных и техногенных факторов возникновения горных ударов определены основные стадии этих геодинамических явлений [117], первая из которых - стадия, предшествующая горному удару: система горных пород достигает такого напряженно-деформированного состояния, при котором становится возможным переход отдельных ее участков в предельное состояние. Именно на этой стадии необходимо прогнозировать возможное развитие процесса.

При исследованиях горно-тектонических ударов установлено, что динамические явления с высоким энергетическим классом, которые происходят в глубине массива, являются в основном следствием мгновенного образования протяженной трещины в монолитном крепком не нарушенном массиве горных пород [117, 118-119]. Возможность прогнозирования в этом случае определяет тот факт, что этап формирования очага разрушения сопровождается активизацией процессов взаимодействия, группирования и накопления микротрещин.

С тектоникой, как правило, связаны события с меньшим энергетическим классом, так как разломы проявляют постоянную активность «дышат» и периодически разгружаются [117], что также может вызывать деформацию и разрушение горных выработок и вмещающих массивов, и также должно подлежать прогнозу и оценке.

На рудниках и шахтах принята трехуровневая схема прогноза горных ударов [120]:

1. Контроль за региональным изменением напряженно-деформированного состояния массива горных пород;
2. Контроль за изменением напряженно-деформированного состояния в пределах шахтного поля;
3. Локальный прогноз категории удароопасности участков массива горных пород, а также оценка эффективности мер предотвращения горных ударов.

1 и 2 осуществляется микросейсмическим, электрометрическим и деформационным методами; 3 осуществляется геомеханическими и геофизическими методами или визуальными наблюдениями за разрушением приконтурного массива выработок.

К геофизическим методам контроля относится и метод регистрации ЭМИ.

Метод ЭМИ изначально и разрабатывался, главным образом, для исследований и прогноза таких крупных геодинамических событий как горные удары на рудниках и шахтах пройденных на больших глубинах, а также землетрясений [76 – 78, 85]. Основой

метода ЭМИ являлись лабораторные исследования на образцах горных пород, однако, перенос результатов полученных на образцах на массив горных пород всегда имел определенные трудности из-за необходимости учета масштабного эффекта.

Также всегда существует проблема определения начала подготовки геодинамического события (как в горных выработках, так и в отношении деформаций в результате суффозионных и оползневых процессов), так как от этого зависит насколько надежно и своевременно можно отслеживать процесс изменения НДС и его направленность, чтобы применять необходимые меры предупреждения опасных последствий. Кроме этого, не были выработаны количественные взаимосвязи ЭМИ с геомеханическими параметрами для прогноза развития геодинамических процессов на начальных стадиях деформирования.

Таким образом, выбранная тема исследований предусматривает обоснование закономерностей проявления слабых деформаций крепей и вмещающих массивов на начальных этапах деформирования с вариациями параметров электромагнитного излучения. Данная тема также подразумевает разработку методики, которая позволяет в непрерывном режиме решать задачи контроля развития деформаций в крепях подземных объектов неглубокого заложения, контролировать и прогнозировать деформирование вмещающих пород и земной поверхности на всех этапах строительства и во время эксплуатации по регистрации электромагнитного излучения горных пород. Оперативное выявление наиболее деформируемых областей во вмещающем массиве на ранней стадии методом регистрации электромагнитного излучения позволит заблаговременно выполнить в этих зонах комплекс маркшейдерских, геомеханических, геофизических и других обследовательских работ и перейти к принятию обоснованных инженерных мер.

4.2. Общие положения методики

На основе выполненных в работе теоретических и экспериментальных исследований разработана методика выявления областей активизации слабых геомеханических процессов на начальной стадии деформирования по регистрации электромагнитного излучения для решения задач комплексного горнотехнического мониторинга объектов подземного строительства, в рамках которой предлагается следующее.

1. Использовать метод регистрации ЭМИ в качестве «сигнального» метода экспресс-анализа активизации слабых геомеханических процессов в районе

проектируемых транспортных тоннелей, для оконтуривания областей под детальные исследования комплексом геолого-геофизических методов.

2. Применять метод регистрации ЭМИ для оперативного обнаружения зон активизации геомеханических процессов во вмещающем массиве в период строительства и эксплуатации, в качестве метода предваряющего проведение комплексных геофизических и геомеханических наблюдений в этих зонах в рамках горнотехнического мониторинга.

3. Проводить совместные наблюдения ЭМИ и НДС в горных выработках неглубокого заложения на этапах строительства и эксплуатации, с возможностью сокращения количества устанавливаемых в крепь струнных датчиков напряженно-деформированного состояния и увеличения шага их установки, за счет установления коэффициентов корреляции ЭМИ – НДС для соответствующих горнотехнических и инженерно-геологических условий.

4.3. Разработка критериев проявления ЭМИ

На основе обобщения экспериментальных взаимосвязей ЭМИ с НДС разработаны критерии проявления аномального ЭМИ при активизации слабого геомеханического процесса, по которым ведется выявление в массиве наиболее «активных» (деформируемых) участков. Полученные критерии позволяют оценить степень геодинамической активности массива горных пород, выявить величину опасного изменения ЭМИ, начиная с которого, аномальную область необходимо обследовать комплексом геофизических, геомеханических, маркшейдерских и других специальных методов.

Фоновый уровень ЭМИ для разных инженерно-геологических условий не одинаков, поэтому при разработке критериев опасного изменения ЭМИ, измеренные значения ($A_{изм}$) нормировались на среднее ($A_{средн}$) для каждого опытного участка.

$$A_{норм} = A_{изм} / A_{средн} \quad (4.1)$$

При анализе экспериментальных данных совместной регистрации ЭМИ – НДС на сечениях с датчиками №№1 – 6, кривые напряжений были разбиты на участки с разными скоростями нарастания напряжений σ' (рис.4.1), после чего были выявлены количественные соответствия между аномальными значениями $A_{норм}$ и σ' .

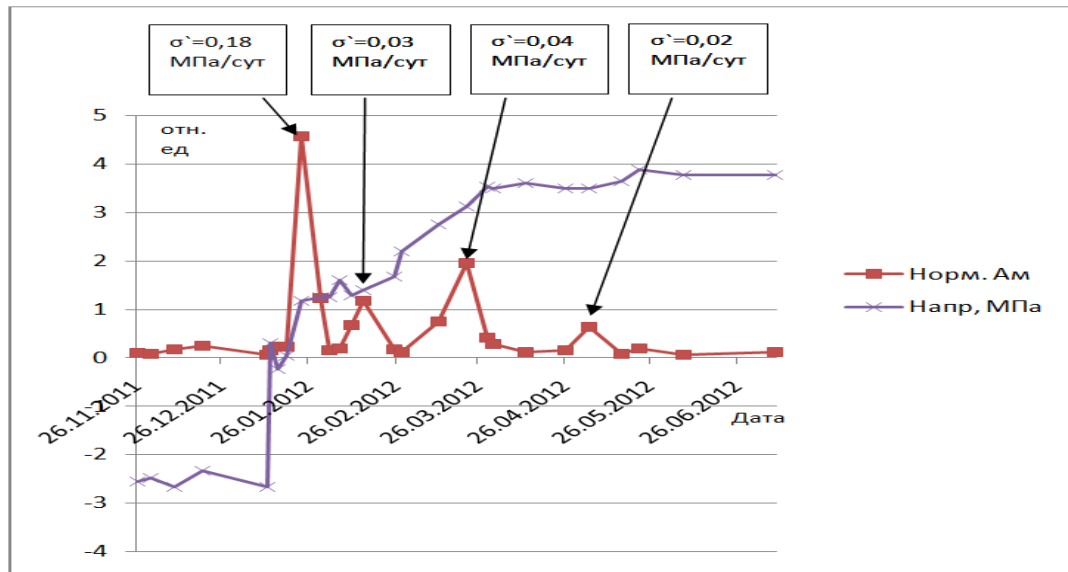


Рисунок 4.1 – Результаты совместных наблюдений ЭМИ и НДС в районе сечения №3 слева. Стрелками показаны аномалии амплитудного параметра ЭМИ и даны значения скорости нарастания напряжений σ' в интервалах проявления этих аномалий, которые использованы для установления критериев

По результатам анализа натуральных данных совместной регистрации ЭМИ – НДС на сечениях с датчиками №№ 1 – 6 в строящемся тоннеле № 6 бис была построена гистограмма (рис.4.2), показывающая взаимосвязи $A_{\text{норм}}$ со скоростью нарастания напряжений на всех опытных участках σ' .

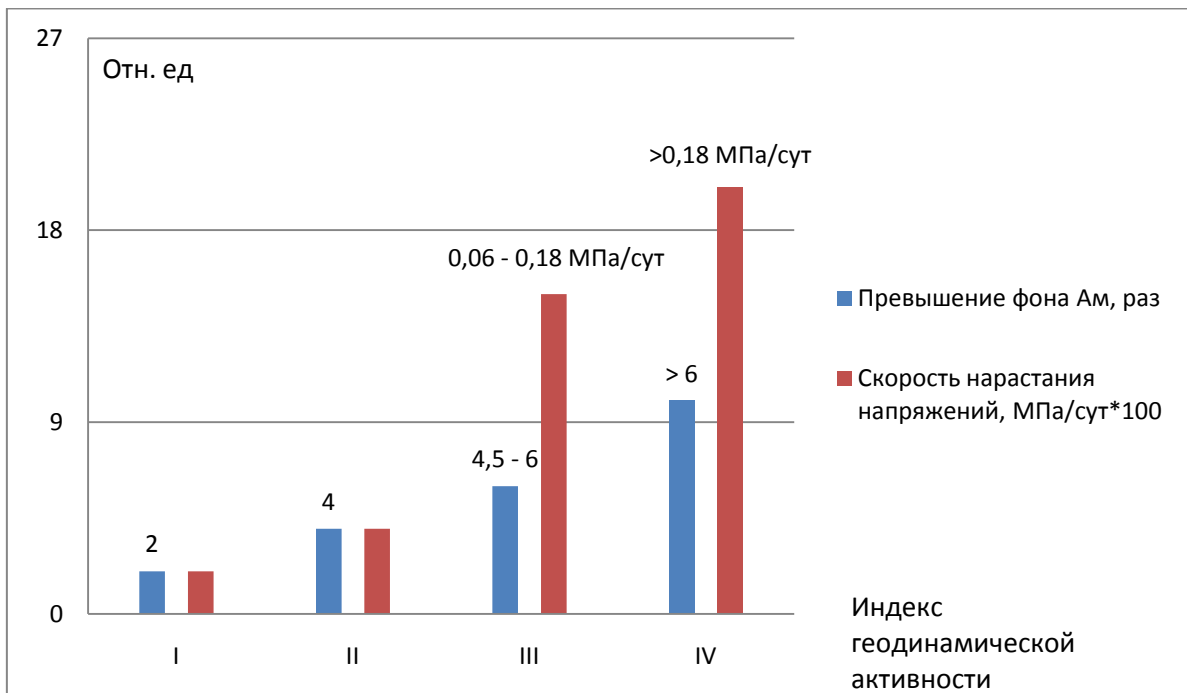


Рисунок 4.2 – Гистограмма распределения $A_{\text{норм}}$ и σ' по экспериментальным данным в тоннеле №6 бис

По данным представленным на рис. 4.2 можно сделать следующие выводы: при регистрации аномалий амплитудного параметра ($A_{\text{норм}}$), численно превышающих общий фоновый уровень ЭМИ более чем в 4 раза, можно говорить о протекании достаточно интенсивного процесса геодинамической активности в исследуемом массиве горных пород и необходимости применения дополнительных комплексных методов обследования. При превышении значений амплитудного параметра ЭМИ над фоном более чем в 6 раз - о начале этапа формирования очага разрушения, обусловленного ускоренным развитием микродефектов в массиве горных пород.

На основе обобщения экспериментальных взаимосвязей ЭМИ с НДС разработаны критерии проявления аномального ЕЭМИ при активизации геодинамического процесса (таб. 4.1).

Таблица 4.1

Критерии проявления ЭМИ при активизации геодинамических процессов				
№	Индекс геодинамической активности	Изменение НДС σ, МПа/сутки	Амплитуда ЭМИ, $A_{\text{норм}}$, отн. ед.	Характеристика геодинамической активности
1	I	0	1 - 2	Не проявляется
2	II	$\leq 0,04$	2 - 4	Проявляется слабо
3	III	0,04 – 0,18	4 - 6	Фиксируется геодинамическая активность, связанная с интенсивным деформированием существующих трещин в исследуемом массиве горных пород и образованием новых микротрещин
4	IV	$>0,18$	>6	Фиксируется начало этапа формирования очага макроразрушения, обусловленного ускоренным развитием микродефектов в массиве горных пород

4.4. Состав методики

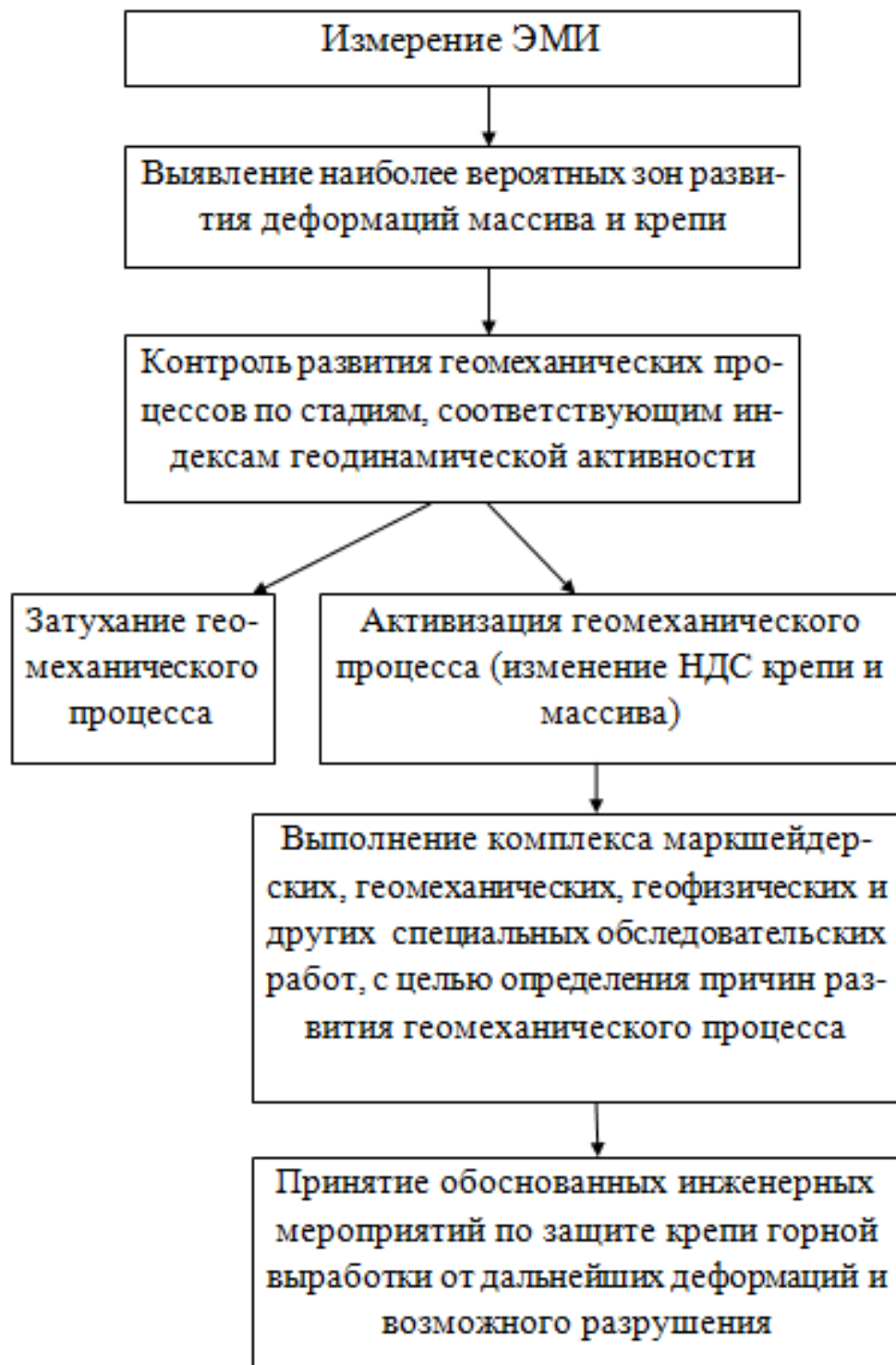


Рисунок 4.3 – Блок-схема состава методики идентификации геомеханических процессов по регистрации электромагнитного излучения

4.5. Обоснование методики

1. Индекс геодинамической активности I. Геодинамическая активность не проявляется.

2. Индекс геодинамической активности II.

2.1. На начальном этапе исследований при проведении изыскательских работ на порталных склонах проектируемых транспортных тоннелей в Сочи было установлено, что аномальные зоны, выделенные по повышенным значениям параметров ЭМИ на дневной поверхности над тоннелями, соответствуют областям проявления геодинамической активности массива горных пород. В естественном состоянии массива аномальные амплитуды ЭМИ не превышали фон более чем в 2-4 раза. В результате комплексных геолого-геофизических изысканий в районе выделенных методом ЭМИ аномальных зон выявлены разнородные геологические неоднородности. Все выделенные геофизическими работами неоднородности нашли свое подтверждение по факту последующей проходки тоннелей.

2.2. В ходе анализа данных, полученных стандартными геофизическими методами, при комплексном исследовании горнотехнических условий вдоль трассы существующего Байкальского тоннеля экспериментально установлено следующее. Аномальные зоны, выделенные по повышенным значениям параметров ЭМИ внутри Байкальского тоннеля (превышение фона в 2-4 раза), соответствуют областям проявления геодинамической активности массива горных пород, приуроченным к геологическим неоднородностям (тектоническим нарушениям) в массиве, выявленных комплексом геофизических методов. По результатам исследований ЭМИ вдоль трассы существующего Байкальского тоннеля составлена таблица взаимосвязи тектонической нарушенности вмещающего массива по данным комплексных геофизических наблюдений с областями аномального проявления ЭМИ. Все выявленные аномалии ЭМИ подтверждаются теми или иными неоднородностями, выявленными при комплексных геофизических работах.

2.3. При активизации процесса интенсивного изменения НДС крепи в период 07.07.2011 – 20.08.2011 в районе второго сечения строящегося тоннеля №6 бис фиксировались аномальные значения ЭМИ, превышающие фон в 3-4 раза. По данным маркшейдерской службы тоннеля, в этот период зафиксировано смещения внутреннего контура крепи 40-50 мм.

3. Индекс геодинамической активности III. Исследования взаимосвязи ЭМИ – НДС проводились во время разработки нижнего уступа тоннеля №6 бис, когда процессы изменения НДС активизировались. При регистрации ЭМИ в этот период фиксировались

аномалии превышающие фон в 2 – 6 раз. Это позволило сделать вывод, что при регистрации аномалий амплитудного параметра $A_{\text{норм}}$, численно превышающих общий фоновый уровень ЭМИ более чем в 4 раза, можно говорить о протекании достаточно интенсивного процесса геодинамической активности в исследуемом массиве горных пород. Необходимо также отметить, что изменения НДС на всем протяжении строительства тоннеля №6 бис не превосходили 5 – 20% от разрушающих. По данным результатов исследований на модельных образцах [97-100], такие изменения НДС соответствуют начальным этапам деформации, на которых наблюдается локальное разрушение при неупругом сжатии, вызванное смыканием открытых трещин и почти линейно-упругое состояние породы без заметного изменения ее структуры.

4. Индекс геодинамической активности IV. В ходе регистрации ЭМИ в областях активизации геодинамических процессов на оползневых склонах в Сочинском регионе были зафиксированы аномальные амплитуды ЭМИ превышающие фон в 5 – 10 раз (в местах просадок дневной поверхности в результате активизации деятельности суффозионных процессов – в 2 – 4 раза). При этом визуально отмечалось деформирование дневной поверхности и прилегающих сооружений, образование линий отрыва и движение оползневых масс по склону.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором теоретических и экспериментальных исследований дано новое научно обоснованное техническое решение задачи оперативной идентификации геодинамических процессов во вмещающем массиве горных пород по регистрации электромагнитного излучения вблизи выработок неглубокого заложения.

Эта задача имеет важное экономико-технологическое значение для обеспечения проектно-изыскательских, строительных и эксплуатационных служб сведениями, необходимыми и достаточными для определения влияния строительства, технологии и режима эксплуатации объектов подземного строительства на активизацию опасных геомеханических процессов в режиме реального времени. Целью предоставления такой информации является определение аномальных областей для последующих детальных комплексных геотехнических наблюдений, а также выбор наиболее безопасных технологий строительства и технологических режимов эксплуатации.

Основные научные результаты и выводы работы, полученные лично автором, заключаются в следующем.

1. Обосновано применение метода регистрации электромагнитного излучения на дневной поверхности над горными выработками и внутри них для обнаружения и контроля изменений НДС крепи и массива при изменениях напряжений 5 – 20 % от разрушающих.

2. Установлены количественные взаимосвязи параметров электромагнитного излучения и НДС крепи и массива на начальной стадии деформирования при изменениях напряжений 5 - 20% от разрушающих: наиболее тесная корреляционная связь параметров ЭМИ – НДС: 0,87 – 0,95, соответствуют участкам с наибольшей скоростью изменения НДС (0,11 - 0,18 МПа/сутки).

3. Показана возможность прогноза местоположения и момента сдвижения (отрыва) тела оползня, а также контроля процесса деформации вмещающего массива в местах деятельности суффозионных процессов при регистрации электромагнитного излучения по профилям на припортальных склонах объектов подземного строительства.

4. Разработаны количественные критерии для оперативной оценки геодинамической активности массива горных пород в выработке. При регистрации аномалий амплитудного параметра $A_{норм} = 1-2$ геодинамическая активность не проявляется; при $A_{норм} = 2-4$ геодинамическая активность проявляется слабо; при $A_{норм} = 4-6$ происходит интенсивное деформирование существующих в массиве микротрещин;

при $Anorm > 6$ происходит формирование очага макроразрушения, обусловленного ускоренным развитием микродефектов в массиве горных пород.

5. Разработана методика оперативной идентификации и прогнозирования геодинамических процессов в массиве горных пород и грунтов по регистрации электромагнитного излучения.

Методика позволяет оперативно выявить наиболее вероятные зоны развития деформаций массива и крепи и прогнозировать негативное воздействие геомеханических процессов, происходящих во вмещающем массиве на состояние крепи выработки по мере проявления стадий геодинамической активности, начиная со стадии упругого деформирования.

Выявление наиболее деформируемых областей во вмещающем массиве на ранних стадиях и контроль развития геомеханических процессов позволяет заблаговременно выполнить комплекс маркшейдерских, геомеханических и геофизических работ и перейти к принятию обоснованных инженерных мероприятий по защите крепи горной выработки от разрушения.

Литература

1. Методическое руководство по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. – М.: УРАН ИПКОН РАН, НИПИИ «Ленметрогипротранс», 2009.- 68 с.
2. Власов С. Н., Маковский Л. В., Меркин В. Е. при участии А. Э. Куплиса, В. Ф. Сарабеева, В. В. Торгалова. «Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов» // - 2-ое изд. доп. – М.: ТИМР, 2000
3. Шамелис И. М. «Тоннели и их восстановление», Часть II. – Л.: РТА, 1956
4. Теличенко В. И. Зерцалов М. Г., Конюхов Д. С., Королевский К. Ю., Король Е. А. «Современные технологии освоения подземного пространства мегаполисов». Научное издание. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 322 с.
5. СНиП II-7-81 "Строительство в сейсмических районах"
6. Проскуряков В. М., Шабаров А. Н., Фрид В. И., Баранов В. А. / «Экспресс-оценка динамических явлений на угольных пластах методом ЭМИ» / Научное издание. Кемеровское книжное издательство, 1991. 95 стр.
7. Яковицкая Г. Е. «Разработка метода и измерительных средств диагностики критических состояний горных пород на основе электромагнитной эмиссии», Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук: 25.00.20. – М.: РГБ, 2007
8. Dov Bahat, Avinoam Rabinovich, Vladimir Frid. Tectonofractographic and Electromagnetic radiation Methods. Springer Berlin Heidelberg New York. Library of Congress Control Number: 2004108439. – 2005. – 579 с.
9. Курления М. В., А. Г. Вострецов, Г. И. Кулаков, Яковицкая Г. Е. «Регистрация и обработка сигналов электромагнитного излучения горных пород», Новосибирск, Издательство Сибирского отделения Российской Академии Наук, 2000 г.
10. Сальников В. Н. Электромагнитные системы литосферы и техногенеза. Томск, ТПИ, 1991. – 381 С. Деп. в ВИНТИ 18.03.1991, № 1156-B91.
11. Вознесенский А. С., Набатов В. В., Набатов В. В. Методика оценки напряженно-деформированного состояния массива пород методом регистрации электромагнитного излучения // Известия вузов. Горный журнал. 2004, №5, с. 16-23
12. Защинский А. А. Саломатин В. Н., Мاستов Ш. Р., Методические рекомендации по применению методов регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли при изучении оползневого процесса., Симферополь, 1983. – 75 с.

13. Набатов Владимир Вячеславович. Разработка системы геофизического мониторинга состояния целиков и кровли выработок подземного гипсового рудника :Дис. ... канд. техн. наук : 25.00.16, 25.00.20 : Москва, 2004 163 с. РГБ ОД, 61:04-5/3599
14. Тамарин, Денис Владимирович. Разработка скважинного эмиссионного метода выявления потенциально опасных по разрушению зон в условиях гипсового рудника. 25.00.16, кандидат технических наук. Год: 2007. Патент: Способ определения напряженного состояния горных пород (патент РФ № 2398964)
15. Сурков В. В. Электромагнитные эффекты приземлетрясениях и взрывах. - М.: МИФИ. 2000. - 448 с.Яворович Л. В. «Взаимосвязь параметров электромагнитных сигналов с изменением напряженно-деформированного состояния горных пород», Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00.20. - М.: РГБ, 2005 (Из фондов Российской Государственной Библиотеки)
16. Хатиашвили Н. Р., Гогошидзе Д. А., Зилипимиани Д. О. / «Об электромагнитном излучении при подготовке землетрясений и горных ударах в шахтах Ткибули» // Сообщ. АН СССР, 1983. – Т. 110. - №2. – с. 305 – 308
17. Тюрикова Л. А., Авербух Б. Г., Москвитин Н. И., Кротова Н. А./«Исследование параметров радиоизлучения при нарушении адгезии полимер-твердое тело»// ДАН СССР. – 1971. – Т.201, №4. – с. 833 – 836
18. Трикель М. Г., Туманов В. В., Савченко А. В., Юфа Я. М., Шурховечкий С. А., Сухинина Е. В./УкрНИМИ НАНУ. Наукові праці Укр НДМІ НАН України, №1, 2007. С. 55 – 68
19. Ogawa T. Electromagnetic radiation from rocks [Text]/T. Ogawa, K. Oike, T. Minura//Journal Geophys Research – 1985. Vol. 90. -D4. – P.6245 – 6249.
20. Указания по бесконтактным геофизическим методам прогноза степени удароопасности участков угольных пластов и рудных залежей. Л.: ВНИМИ.- 1981. – 37 с.
21. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, склонных к горным ударам// Л.: ВНИМИ. – 1980. – 148 с.
22. Исаев Ю. С. «Научное сопровождение проектирования, строительства, реконструкции и эксплуатации транспортных тоннелей». Журнал «Метро и Тоннели». Метро и тоннели. №6. –М, 2011.
23. Безродный К.П., Басов А.Д., Романевич К.В. "Контроль напряженно-деформированного состояния массива горных пород при строительстве тоннелей

- методом ЕЭМИ. //Известия ТулГУ. Науки о Земле. Вып. 1. - Тула: Изд-во ТулГУ, 2011. С. 227-234.
24. Безродный К.П., Исаев Ю.С., Басов А.Д., Романевич К.В. Проблемы оценки напряженно-деформированного состояния горных пород методом ЕЭМИ. //«Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», Всероссийская конференция с участием иностранных ученых (2011; Новосибирск). Труды Всероссийской конференции «Геодинамика и напряженное состояние недр Земли», посвященной 80-летию академика М.В. Курлени (с участием иностранных ученых) (3-6 октября 2011 г.). В двух томах. Т. 1. – Новосибирск: Ин-т горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 2011. С. 233-238.
 25. Соболев Г.А., Демин В.М. Механозлектрические явления в Земле. М.: Наука. 1980. 215с.
 26. Соболев Г.А., Гохберг М.Б. и др. Электромагнитные предвестники землетрясений. М.: Наука. 1982.
 27. Соболев Г.А. Физические основы прогнозирования разрушения горных пород при землетрясениях. М. 1987.
 28. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. М.: Недра, 1967.- 288 с.
 29. Хатиашвили Н.Г. Электрические явления при деформировании и разрушении горных пород // Физические свойства горных пород и минералов при высоких давлениях и температурах.- Тбилиси: Мецниереба, 1974.- С. 290 - 293.
 30. Ямщиков В. С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов. Учебник для вузов. М., Недра, 1982. 296 с.
 31. А.С. N 1110552 (СССР). Способ контроля нарушения сплошности массива горных пород / Ямщиков В.С., Шкурятник В.Д., Лыков К.Г. и др. -Опубл. в БИ, 1984, N25.
 32. А.С. N 1086160 (СССР). Способ определения напряженного состояния массива горных пород /Ямщиков В.С., Шкурятник В.Д., Лыков К.Г. и др. -Опубл. в БИ, 1984, N 14.
 33. Воробьев А.А., Гордеев В.Ф., Малышков Ю.П. и др. Импульсное электромагнитное излучение силикатных стекол при симметричном изгибе// Стекло и керамика. 1978.- N 10.- С.10-12.
 34. Воробьев А.А. О возможности электрических разрядов в недрах Земли // Геология и геофизика. 1970. - N 12. - С.3-13.
 35. Воробьев А.А., Сальников В.Н. Наблюдения радиоволн и аномальные изменения электропроводимости при нагревании образцов горных пород и минералов // ФТПРПИ. 1976. - N 5. - С.3-15.

36. Воробьев А.А., Заводовская Е.К., Сальников В.Н. Изменение электропроводности и радиоизлучение горных пород и минералов при физико-химических процессах в них//ДАН СССР. 1975.-Т.220, N 1. - С.82 - 85.
37. Мастов Ш.Р., Гольд Р.М., Яворович Л.В. Влияние масштабного фактора на электромагнитную эмиссию/Томск, политех, институт.- Томск, 1987.- 12 е.- Деп. в ВИНТИ 19.11.87, N 8167- В87.
38. Яворович Л.В., Гольд Р.М., Ласуков В.В. Исследование амплитуды электромагнитного сигнала при ударном воздействии на образцы горных пород с различной пористостью // ФТПРПИ.- 1999.- №6.- С. 33-40.
39. Беспалько А.А., Гольд Р.М., Яворович Л.В., Дацко Д.И. Возбуждение электромагнитного излучения в слоистых горных породах при акустическом воздействии // ФТПРПИ.- 2003.- №2.- С. 8-15.
40. Беспалько А.А., Гольд Р.М., Яворович Л.В. Влияние электризации кальцитов на параметры электромагнитных сигналов при импульсном акустическом воздействии // Физическая мезомеханика.- 2004.- Том 7, №5.- С. 95-101.
41. Курленя М.В., Яковицкая Г.Е., Кулаков Г.И. Стадийность процесса разрушения на основе исследования ЭМИ-излучения// ФТПРПИ. 1991.- N 1.-С. 44-49.
42. Курленя М.В., Кулаков Г.И., Яковицкая Г.Е. Спектрально-временной анализ электромагнитной эмиссии при трещинообразовании образцов горных пород//ФТПРПИ. 1993. - N 1. - С. 3 - 13.
43. Курленя М.В., Вострецов А.Г., Яковицкая Г.Е. Об одной модели сигналов электромагнитного излучения нагруженных горных пород//ФТПРПИ. 1996.-N3.-С. 9-17.
44. Набатов Владимир Вячеславович. Разработка системы геофизического мониторинга состояния целиков и кровли выработок подземного гипсового рудника :Дис. ... канд. техн. наук : 25.00.16, 25.00.20 : Москва, 2004 163 с. РГБ ОД, 61:04-5/3599
45. Тамарин Денис Владимирович. Разработка скважинного эмиссионного метода выявления потенциально опасных по разрушению зон в условиях гипсового рудника : диссертация...кандидата технических наук : 25.00.16 Москва, 2007 154 с. РГБ ОД, 61:07-5/2839.
46. Вознесенский А.С., Набатов В.В. Оценка трещинообразования в массиве с гипсосодержащими породами методом регистрации электромагнитного излучения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2003, №3, с. 3-12.

47. Вознесенский А.С., Набатов Вяч. В., Набатов Вл. В. Методика оценки напряженно-деформированного состояния массива пород методом регистрации электромагнитного излучения // Известия вузов. Горный журнал. 2004, №5, с. 16-23.
48. Вознесенский А. С. Системы контроля геомеханических процессов: Учебное пособие. М.: Издательство МГГУ, 1994, 147 с.
49. Вознесенский А.С., Тамарин Д.В., Набатов Н.Н., Коновалов Е.Н. Электромагнитное излучение и акустическая эмиссия в гипсе при его деформировании. // Горный информационно-аналитический бюллетень. Москва, 2005, №5, с. 83-86.
50. Ржевский В.В. Новик Г.Я. Физики горных пород. М., 1973.-293 с.
51. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. Изд.е 2-е. М., «Недра», 1976.
52. Куксенко В. С. «Модель перехода от микро к макроразрушению твердых тел»/ В. С. Куксенко // Сборник «Физика прочности и пластичности». – Л.: Наука. – 1986. С. 36 – 41
53. Беспалько А. А., Хорсов Н. Н. «Комплекс для исследования напряженно-деформированного состояния горных пород в шахтах» // Геодинамика и напряженное состояние недр Земли: межд. конф., Новосибирск: [сборник докладов]. Новосибирск, 2004 г.
54. Яворович Л. В. «Взаимосвязь параметров электромагнитных сигналов с изменением напряженно-деформированного состояния горных пород», Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 25.00.20. - М.: РГБ, 2005 (Из фондов Российской Государственной Библиотеки)
55. Гридин О. М., Гончаров С. А. Электромагнитные процессы: Учеб. для вузов. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», 2009. – 498 с.: ил. (ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА)
56. Финкель В. М., «Портрет трещины», 1981. 160 стр.
57. <http://prikmex.chat.ru/3.htm>
58. Scholz C.H., Sykes L. R., Aggarawal Y.P. Earthquake prediction: A physical basis // Science. – 1973. – Vol. 181.- P. 803.
59. Литовченко И. Н., Чалова В. С. Гипотезы возникновения и модели очагов землетрясений // электронный ресурс: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/analit/an4977.pdf>

60. Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974. 54 с.
61. Курленя М. В., Опарин В. Н., Яковицкая Г. Е. Способ прогноза разрушения массива горных пород/. -Опубл. в Б.И. 1992. -№22. А.с. 1740665 СССР.
62. Курленя М. В., Кулаков Г. И., Опарин В. Н., Яковицкая Г. Е. Способ контроля состояния массива горных пород. А.с. 180026 СССР./ Опубл. в Б.И.-1993.-№9.
63. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твердых тел. Вестник АН СССР. 1968. - №3. - С. 46 - 52.
64. Микромеханика разрушения и кинетическая концепция прочности твердых тел. Прогнозирование разрушения, неразрушающий контроль прочности // <http://prikmex.chat.ru/3.htm>
65. www.triadaholding.ru
66. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968, 483 с.
67. Турчанинов И. А. Руководство по определению напряженного состояния горных пород в массиве ультразвуковым методом. Изд. Кольского филиала АН СССР, Апатиты, 1970.
68. Турчанинов И.А., Иофис М.А., Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. Л.: Недра, 1989. — 488 с: ил.
69. Куксенко В.С., Томилин Н.Г. Электростатические явления при деформировании горных пород.// Физические основы прогнозирования разрушения горных пород, СибГАУ, Красноярск, 2002. С. 9-14.
70. Мирошниченко М.И., Куксенко В.С. Излучение электромагнитных импульсов при зарождении трещин в твердых диэлектриках// ФТТ. 1980.Т. 22, №5.-С. 1531-1533.
71. Горяинов Н.Н., Ляховицкий Ф.М. Сейсмические методы в инженерной геологии. М., Недра, 1979, 143 с.
72. Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Яценко З.Г. Инженерная геофизика.- М.:Недра,1989.-252с.
73. Электроразведка: Справочник геофизика. В двух книгах / Под ред. В.К. Хмелевского и В.М. Бондаренко. Книга первая.-2-е изд., перераб. и доп.- М.:Недра,1989.-438с.
74. Захаров В.Н., Фейт Г.Н., Малинникова О.Н., Аверин А.П. Энергия колебаний горных пород в зонах ведения горных работ при отработке угольных месторождений подземным способом. XX сессия Российского акустического общества / Физическая акустика. Нелинейная акустика. Распространение и дифракция волн. Геологическая акустика. М.: ГЕОС. – 2008. - Т.1. - С. 309-312.

75. Захаров В.Н., Малинникова О.Н., Харченко А.В. Акусто-вибрационные процессы в призабойной зоне при ведении горных работ. Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках//Материалы XVII Международной научной школы им. академика С.А. Христиановича. – Симферополь. – 2009. С.116-120.
76. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках / Под ред. И. М. Петухова, А. М. Ильина, К. Н. Трубецкого. – М.: Издательство АГН, 1997. – 376 с.: илл.
77. Скакун А. П. Контроль напряженного состояния углей и пород вблизи выработок на основе регистрации электромагнитной эмиссии: Сб. научн. Тр. / ВНИМИ. – Л., 1989. – С. 63 – 75
78. Петухов И. М., Линьков А. М. Механика горных ударов и выбросов. М., Недра, 1983, 280 с.
79. Богословский В. А., Жигалин А. Д., Хмелевской В.К. «Экологическая геофизика» : Учебное пособие. – М.: Издательство МГУ, 2000. – 256 с.
80. Шкуратник В. Л. «Эмиссионные эффекты «памяти» в горных породах» / Шкуратник В. Л. // М.: Наука. – 1997. – 215 с.
81. Геофизика: учебник / Под ред. В. К. Хмелевского. – 2-е изд. – М.: КДУ, 2009. – 320 с. : ил., табл.
82. Перельман М.Е., Хатиашвили Н. Р. / «Электромагнитное излучение при трещинообразовании и хрупком разрушении твердых тел» // Сообщ. СССР. – 1980. – Т. 99. - №2. – с. 357 – 360
83. Гордеев В. Ф., Малышков С. Ю., Малышков Ю. П., Шталин С. Г., Поливач В. И. // «Контроль напряженно-деформированного состояния оползневого склона методом регистрации естественных электромагнитных шумов» // Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН // Тезисы докладов научного симпозиума геодинамическая безопасность мониторинг и прогноз, 17 – 19 марта 2010 г., Красноярск
84. Беспалько А. А., Хорсов Н. Н. «Комплекс для исследования напряженно-деформированного состояния горных пород в шахтах» // Геодинамик и напряженное состояние недр Земли: межд. конф., Новосибирск: [сб. докл.]. Новосибирск, 2004 г.
85. Беспалько А. А., Яворович Л. В., «Вариации электромагнитной эмиссии при изменении НДС массивов горных пород после массового взрыва» // Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений: Тезисы докладов

- III Международной конференции – с. Паратунка, Камчатская обл., 16 – 21 августа 2004 г. – Петропавловск-Камчатский, 2004. – с. 79 – 81 (78237263)
86. Stepanow A.W. Uber den Mechanismus der plastischen Deformation // Zeitschrift fuer Physik, 1933. – Bd. 81, H. 7-8. – S. 560 – 564
87. Саломатин В. Н. Методические рекомендации по применению метода регистрации естественного импульсного электромагнитного поля Земли при изучении оползневых процессов / Л. А. Защинский, В. Н. Саломатин, Ш. Р. Матов. — Симферополь : Мингео УССР, Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР, 1983. — 74 с
88. Тархов Г. А. Основы геофизической разведки методом радиокип. – М., Госгеолитиздат, 1961. – 215 с.
89. Семенов А. С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л., Недра, 1974, - 391 с.
90. Александров М. С., Бекленева З. М., Гладштейн Н. Д. и др. Флуктуация электромагнитного поля Земли в диапазоне СНЧ. М., Наука, 1972, - 195 с.
91. Бару Н. В., Кононов И. И., Соломоник М. Е. Радиопеленгаторы-дальномеры ближних гроз. Л., Гидрометеиздат, 1976, - 143 с.
92. Хесс В. Радиационный пояс и магнитосфера. М., Атомиздат, 1972. – 352 с.
93. Матов Ш.Р., Ласуков В.В. Теоретическая модель генерации электромагнитного сигнала в процессе хрупкого разрушения // Изв. АН СССР. Физика Земли. - 1989.- №6.- С.38-48.
94. Воронин В.С. Набрызгбетонная крепь. / Воронин В.С. М., Недра, 1980. – 199 с., ил.
95. KAYAMEK'2004-VII. Bölgesel Kaya Mekaniği Sempozyumu / ROCKMEC'2004-VIIth Regional Rock Mechanics Symposium, 2004, Sivas, Türkiye. An insight into the New Austrian Tunnelling Method (NATM), M. Karakus& R.J. Fowell.
96. Erroneous Concepts behind NATM K. Kovári Swiss Federal Institute of Technology Zurich Lecture given at the Rabcewicz-Geomechanical Colloquium in Salzburg, Octobre 14, 1993.
97. РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ АРХИТЕКТУРЫ И СТРОИТЕЛЬНЫХ НАУК, пособие по комплексному освоению подземного пространства крупных городов. М. – 2004.
98. Свойства пород и устойчивость горных выработок / Усаченко Б.М. – Киев: Наук. думка, 1979. – 136 с.
99. Булычев Н. С. Механика подземных сооружений в примерах и задачах. – М.: Недра. 1989, 259 с.

100. Применение технологии набрызгбетонирования в Новоавстрийском Методе Туннелирования (НАТМ) / М.М. Козерема // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. тр. — Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2009. — Вип. 83. — С. 181-187. — Бібліогр.: 5 назв. — рос.
101. Рекомендации по изучению методами инженерной сейсмики статических и динамических характеристик деформируемости скальных оснований гидросооружений в северной строительно-климатической зоне». – ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева – 1985 г.
102. Dahlin, T. 2000. Short note on electrode charge-up effects in DC resistivity data acquisition using multi-electrode arrays. *Geophysical Prospecting*, , 48, 181-187.
103. Dahlin, T., 2001. The development of DC resistivity imaging techniques. *Computers & Geosciences* 27, 1019–1029.
104. Griffiths, D.H., Barker, R.D., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. *J. Appl. Geophysics* 29, 211–226.
105. Edwards, L.S., 1977. A modified pseudosection for resistivity and IP. *Geophysics*, 42, 1020-1036. Loke, M.H. and Barker, R.D.. 1996a. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. *Geophysical Prospecting*, 44, 131-152.
106. Loke, M.H., Barker, R.D., 1996b. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophysical Prospecting* 44, 499– 523.
107. Ritz, M., Robain, H., Pervago, E., et al. 1999. Improvement to resistivity pseudosection modelling by removal of near-surface inhomogeneity effects: application to a soil system in south Cameroon. *Geophysical Prospecting* 47 (2): 85-101
108. Бобачев А.А., Марченко М.Н., Модин И.Н., Перваго Е.В., Урусова А.В., Шевнин В.А. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред. // *Физика Земли* 1995 - N 12 - с.79-90.
109. Бобачев А.А., Модин И.Н., Перваго Е.В., Шевнин В.А. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред. М., 1996, 50 с. // *Разведочная геофизика. Обзор. АОЗТ "Геоинформмарк". Выпуск 2.*
110. Геология СССР, т. IX, Северный Кавказ, ч. 1 — Геологическое описание. Главный редактор А. В. Сидоренко. Редактор В. Л. Андрушук, соредакторы: А. Я. Дубинский, В. Е. Хаин. М.: «Недра», 1968, стр. 760.
111. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. М.: Недра, 1968, 483 с.
112. Лобанов М.П., Никифоров А.И., Новоселов В.И. и другие. Под ред. Бухарова А.А. Отчет о результатах комплексной документации Байкальского

- тоннеля и притрассовых горных выработок Байкало-Амурской магистрали. (Отчет горного отряда по работам 1977-82 гг) в 3-х томах. Том 1, кн.1. Текст отчета. Иркутск, 1982.
113. Словеснов Г.Ф. Пояснительная записка к исполнительному инженерно-геологическому разрезу Байкальского тоннеля на БАМе. Автор: главный геолог БТС. Пос. Нижнеангарск, 1983 г.
 114. Патент РФ № 2398964. Способ определения напряженного состояния горных пород.
 115. Петухов И. М., Линьков А. М. Механика горных ударов и выбросов. М., Недра, 1983, 280 с.
 116. Прогноз и предотвращение горных ударов на рудниках / Под ред. И. М. Петухова, А. М. Ильина, К. Н. Трубецкого. – М.: Издательство АГН, 1997. – 376 с.: илл.
 117. Еременко В. А. Природные и техногенные факторы возникновения горных ударов при разработке железнорудных месторождений Западной Сибири // ГИАБ. – 2012. - №11.
 118. Stacey, T.R. & Orllepp, W.D. Yielding rock support - the capacities of different types of support, and matching of support type to seismic demand. Proc. 1st International Seminar on Deep and High Stress Mining, Perth, Western Australia - 2002. - С. 83-96.
 119. B. G. Tarasov, Y. Potvin Absolute, relative and intrinsic rock brittleness at compression. Sixth International Seminar on Deep and High Stress Mining 2012. - Perth 2012. - 28-30 March 2012, Australia. - С. 313-324.
 120. Указания по безопасному ведению горных работ на месторождениях Горной Шории, склонных к горным ударам / ВостНИГРИ, ВНИМИ. – Новокузнецк, 1991. – 90 с.
 121. Вознесенский А.С., Шкуратник В.Л., Набатов В.В., Куткин Я.О. Оценка устойчивости массива пород вокруг выработок по результатам контроля электромагнитного излучения в приконтурной области, 2012, ГИАБ, №10, с. 94-102
 122. Набатов В.В., Гайсин Г.М., Вознесенский А.С., Георадиолокационная оценка качества контакта «грунт-обделка» в условиях тоннелей метрополитена, 2013, ГИАБ, № 9, С. 157-163
 123. Вознесенский А.С., Шкуратник В.Л., Набатов В.В., Куткин Я.О., Оценка устойчивости приконтурного массива пород по результатам совместных скважинных измерений параметров акустической и электромагнитной эмиссии, 2013, ГИАБ №8, С. 64-70

124. Вознесенский А.С., Буянова Д.С., Установление закономерностей влияния трещиноватости пород кровли на результаты электрометрических измерений, 2013, ГИАБ, №9, С. 53-58.
125. Вознесенский А. С., Набатов, В. В., Пончуков Н. П. Определение мощности защитного целика в кровле выработок гипсового рудника георадарами // ГИАБ, 2005, №2, с. 10-16.
126. Вознесенский А.С. Исследование вариации усилий прижима ротора и горизонтального давления грунтов при щитовой проходке выработок. [Текст] / Вознесенский А.С., Мазеин С.В. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 2. С. 38-45.
127. Кузнецов С. В., Савостьянов Е. В. Организация контроля состояния массива горных пород при разработке рудных месторождений // Системы контроля горного давления. М.: ИПКОН, 1989. С. 42 – 53.
128. Мазеин С. В., Потапов М. А. Мониторинг грунтового давления и объема выемки обводненного массива для безопасной проходки щитом // Безопасность труда в промышленности. – 2012. – №11. – С. 58–63
129. Мазеин С.В. Прогноз стадийности подвижек грунта в продольной мульде поверхности над тоннелем по контролируемым параметрам щитовой проходки // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 3. – С. 288–293
130. Мазеин С.В. Непрерывное геоакустическое зондирование (прогноз) включений и нарушенных зон в грунтах при щитовой проходке тоннелей // Горный журнал. – 2010. – №5 . – С. 81–84
131. Мазеин С.В. Разработка математических моделей для прогнозных осадок дневной поверхности по данным контроля грунта и технологических показателей ТПМК // Горный информационно-аналитический бюллетень. –2009. –№ 2. –С. 98–109
132. Мазеин С.В., Павленко А.М. Зависимость осадок дневной поверхности от свойств породного массива и технологических параметров тоннелепроходческих механизированных комплексов (ТПМК) // Горный информационно-аналитический бюллетень. –2007. – № 6. – С. 171–176
133. Мазеин С.В., Павленко А.М. Влияние текущих параметров щитовой проходки на осадку поверхности // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 5. – С. 133–138

134. Собисевич Л.Е., Рогожин Е.А., Собисевич А.Л., Канониди К.Х., Кендзера А.В., Марченко А.В., Орлюк М.И. Аномальные волновые возмущения, наведенные Сычуаньским землетрясением 20 апреля 2013 г. ($M_s=7.0$) // Геофизический журнал, том 36, № 4, с. 37-49
135. Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Канониди К.Х. О механизме формирования очагов глубокофокусных землетрясений // Доклады Российской Академии наук, том 459, № 1, с. 1391-1396
136. Гульельми А.В., Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л., Лавров И.П. О форшоках сильных землетрясений // Физика Земли, № 4, с. 43-49