

ГОРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ
ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ В Г. СОЧИ

РОМАНЕВИЧ К.В.

В статье рассматривается состав комплекса горно-экологического мониторинга при строительстве транспортных тоннелей в Сочинском регионе. В качестве одного из перспективных направлений определения активности геодинамических зон и картирования разупрочненных пород в заобделочном пространстве тоннелей выделен метод естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ). Дана краткая характеристика метода и приведен пример совместного исследования геоэлектромагнитных и геомеханических процессов при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей в Сочи.

Ключевые слова: горно-экологический мониторинг, транспортные тоннели, Сочи, напряженно-деформированное состояние (НДС), геофизические методы исследований, метод естественного электромагнитного излучения (ЕЭМИ).

УДК 62

Территория строительства транспортных тоннелей на Черноморском побережье, и в частности в Сочи, находится в сложных геологических условиях, характеризующихся высокой тектонодинамической активностью и связанными с ней сейсмичностью и экзогенными проявлениями. Кроме того, проходка многих участков осложнена наличием горных пород со сложными условиями залегания и обладающих различными физико-механическими свойствами, обилием разрывных нарушений, неблагоприятной геоморфологической ситуацией и проявлением опасных геологических процессов.

В связи с этим, очевидна необходимость проведения горно-экологического мониторинга, включающего систему постоянных и непрерывных наблюдений, анализа и прогноза современного геодинамического состояния геологической среды, а также оценку негативного влияния горных работ на окружающую среду и безопасность при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей, и других подземных сооружений.

При строительстве, вводе в эксплуатацию, эксплуатации, реконструкции, восстановлении, консервации и ликвидации транспортные тоннели, равно как и все остальные подземные сооружения, в случае возникновения аварийной ситуации представляют серьезную опасность для находящихся в них людей и оборудования. Чрезвычайные ситуации в транспортных тоннелях носят характер техногенных катастроф с выходом из строя инженерных систем, сооружений и полным прекращением эксплуатации объекта.

Основными факторами, определяющими состояние промышленной безопасности строительства и эксплуатации транспортных тоннелей в пределах горного отвода являются [1]:

- эндогенные процессы (современные тектонические движения земной коры, землетрясения и связанные с ними явления);
- экзогенные геологические процессы (склоновые явления, карстово-суффозионные явления, просадки грунта, криогенные процессы, горные удары, разрушение крепи, внезапные обрушения подземных выработок и другие).

Высокие темпы строительства транспортных тоннелей требуют высокого уровня промышленной безопасности и качественного научного сопровождения, что достигается благодаря разработанной и внедренной ОАО НИПИИ Ленметрогипротранс системе горно-экологического мониторинга при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей.

Для практической реализации системы горно-экологического мониторинга при сооружении тоннелей для транспортного обеспечения Олимпийских объектов в Сочи создана специальная научно-исследовательская группа для сопровождения строительства и оперативного решения задач снижения вредного влияния горных работ на окружающую среду, обеспечения производственной безопасности при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей.

Основными задачами горно-экологического мониторинга являются:

- обеспечение безопасности при сооружении и эксплуатации транспортных тоннелей;
- оценка состояния окружающей среды при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей;

- прогноз состояния окружающей среды, в том числе изменений, вызванных техногенными авариями; последующая разработка рекомендаций по предупреждению техногенных аварий, предотвращению или снижению вредного влияния проходческих работ и эксплуатации на окружающую среду.

Преодоление тоннелем большого диаметра зон разломов и других геологических аномалий – сбросов и сдвигов, совпадающих с простиранием пластов, – сопровождается значительными водопритоками и большим горным давлением. В зонах тектонических разломов, при наличии сильнотрещиноватых и неустойчивых грунтов, резко возрастает горное давление на крепь, приток подземных вод и газов, возможны вывалы и обрушения грунтов, разрушения временной крепи и обделки выработки. Практически мгновенный выброс горных пород в подземные выработки происходит под действием горного давления или газа и горного давления, в результате чего происходит энергетическая разгрузка массива горных пород.

Нередко причиной аварий могут быть такие природные явления, как оползни, снежные лавины, сели, камнепады. При неудачном расположении участков выработок в пределах неустойчивых склонов, подверженных этим явлениям, что характерно для района строительства, участки подземного сооружения могут быть деформированы или разрушены.

Для прогнозирования времени, интенсивности и характера проявления горного давления в выработках, а также оползневых, селевых и других явлений на дневной поверхности необходим постоянный инструментальный контроль напряженно-деформированного состояния массива в рамках горно-экологического мониторинга.

Осуществление работ по строительству подземных сооружений сопровождается геодинамическими процессами – непрерывным изменением напряженно-деформированного состояния горного массива вблизи контура выработки, проявляющимся в развитии процессов трещинообразования и разрушения. Своевременный и надежный контроль в рамках горно-экологического мониторинга при строительстве транспортных тоннелей позволяет обеспечивать высокую эффективность использования технологического оборудования и повышает безопасность ведения горных работ.

Основными методами геодинамических наблюдений являются:

1) **Геодезическо-маркшейдерские наблюдения.** Наблюдения за надземными сооружениями в зоне влияния тоннеля; наблюдения за деформациями конструкций тоннеля; наблюдения за состоянием окружающего массива грунта за пределами ограждающих конструкций тоннеля; наблюдения за существующими подземными сооружениями.

2) **Сейсмологические наблюдения.** Регистрация местных (региональных) землетрясений; сейсмоакустические наблюдения для локального контроля горного массива с целью прогнозирования горных ударов и внезапных выбросов породы и газа в непрерывном и дискретном режимах наблюдений; сейсмометрические исследования для исследования колебаний тоннеля и вмещающего массива при сейсмических воздействиях, а также исследования вибраций, например, прохождение поезда, во взаимосвязи с характерными сочетаниями внешних факторов, обусловленных геологическими, техническими и климатическими условиями.

3) **Геомеханические наблюдения.** Выполняемые при строительстве и эксплуатации натурные наблюдения ставят своей целью комплексную оценку состояния системы тоннель – вмещающий массив. Необходимы наблюдения за такими явлениями, как 1) разрушение обделки тоннеля под воздействием горного давления, гидростатики, температурных градиентов, морозного пучения; 2) затопления тоннеля грунтовыми водами; 3) сдвигами, сбросами, разрушением обделок при землетрясениях.

4) **Гидрогеологические наблюдения.** Наблюдения за уровнем режимом производятся путем замеров гидростатического давления.

5) **Оценка устойчивости оползневых склонов.** Геодезическая сеть наблюдений, скважинные наблюдения, оценка НДС массива, геофизические наблюдения.

6) **Система экологического мониторинга в транспортных тоннелях.**

7) **Геофизические наблюдения** включают в себя сейсмо- и электроразведочные работы, с помощью которых проводится: 1) выделение области взаимодействия тоннеля с вмещающим массивом; 2) уточнение инженерно-геологических условий с выделением аномальных зон впереди забоя тоннеля; 3) контроль действия различных техногенных факторов и влияния их на состояние и свойства геологической среды, а также выявление в массиве наиболее «активных» (деформируемых) участков; 4) контроль состояния зон разгрузки вокруг подземных выработок; 5) контроль изменения НДС внутренних частей массива и выявления областей возможного развития необратимых деформационных и фильтрационных процессов; 6) получение фактических деформативно-прочностных характеристик массива при проходке тоннеля.

В настоящее время инженерами ОАО НИПИИ «Ленметрогипротранс» производится горно-экологический мониторинг при строительстве транспортных тоннелей на совмещенной (автомобильной и железной) дороге Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис». До начала ведения горнопроходческих работ по результатам комплексных изысканий было оценено инженерно-геологическое, гидрогеологическое и геодинамическое состояние горных массивов, был дан прогноз напряженного состояния пород вблизи и в пределах участков динамического влияния тектонических зон для учета этого напряженного состояния при оценке устойчивости горных выработок и конструктивных элементов обделки. По результатам изыскательских работ, на основании обработки всей имеющейся геологической информации были даны инженерно-геологические условия строительства тоннелей. На основе обобщения результатов инженерно-геологических работ, выполненных на стадии изысканий и исполнительной документации, проводимой при проходке тоннелей, были выделены зоны значительной мощности, где отмечалась различная по масштабам перемежаемость участков раздробленных пород и участков с породами различной трещиноватости. Раздробленность пород часто наблюдается до состояния песка и песчано-глинистого материала. Эти зоны, как правило, обводнены и имеют сложный характер по литологическому и вещественному составу, а, следовательно, и по физико-механическим свойствам [2].

Из имеющихся представлений о геологическом строении тектонических зон последовала необходимость исследования динамической устойчивости пород в этих зонах к знакопеременным нагрузкам природного и техногенного происхождения комплексом геомеханических и геофизических исследований.

В настоящее время динамическая устойчивость тектонически нарушенных пород в массиве является слабо изученной областью, в связи с чем проводимая система комплексного горно-экологического мониторинга и получаемые в результате исследований даже косвенные данные о закономерностях и особенностях формирования и проявления напряженно-деформированного состояния вмещающего массива весьма важны и интересны. Они значимы для понимания главнейших факторов, определяющих свойства массива и его поведение при проходке тоннеля, а также прогноза его последующего взаимодействия с обделкой тоннеля и другими инженерными сооружениями.

Проблема надежной оценки динамической устойчивости нарушенных пород в массиве и возможность выделения в разрезе массивов динамически неустойчивых разностей грунтов, прогнозной оценки последствий их динамической неустойчивости геофизическими методами без проведения буровых работ и лабораторных исследований остается чрезвычайно актуальной в целом, а для проектирования и строительства тоннелей она сегодня стоит особенно остро.

Работа тоннельно-проходческих комплексов, многочисленного горного оборудования, буровзрывные работы, движение тяжелого транспорта, работа различного строительного оборудования часто формирует значительное по интенсивности и сложное по структуре вибрационное поле в массивах грунтов, служащих основанием для тоннелей. Дополнительные сложности возникают при проектировании и проходке тоннелей в сейсмически активных районах, которым является город Сочи и Черноморское побережье в целом.

В рамках горно-экологического мониторинга на транспортных тоннелях в Сочи для расчленения разреза и для косвенной оценки динамической устойчивости массивов грунтов по факту проходки тоннеля проводятся сейсморазведочные работы по методике непрерывного сейсмопрофилирования методом преломленных и рефрагированных волн.

С целью прогнозирования инженерно-геологических и гидрогеологических условий впереди забоя тоннеля проводятся геофизические исследования методом электромагнитного импульсного сверхширокополосного (ЭМИ СШП) зондирования, основанного на синтезировании изображения структуры геологического разреза по отраженному сигналу при распространении электромагнитного импульса наносекундной длительности.

В ходе исследований установлено, что в массиве тектонически нарушенных пород картируются зоны разупрочнения, размер которых в зависимости от динамической нагрузки, состава, строения и свойств самого грунта составляет от 0,5 до 1,0 метра. Иногда естественные зоны разупрочнений подсекаются тоннелем (Рис. 1).



Рис. 1. Зона разупрочнения (карстовая полость, заполненная глиной), выявленная при проходке автодорожного тоннеля №1 со стороны южного портала

Одним из видов геофизических наблюдений, предназначенных для решения задач геодинамического мониторинга за такими зонами с целью выявления в массиве наиболее «активных» (деформируемых) участков, является бесконтактный метод регистрации электромагнитной эмиссии – естественного электромагнитного излучения – ЕЭМИ.

В настоящее время оценка напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкций из диэлектрических материалов, горных пород основана на регистрации электромагнитных сигналов, возникающих при механическом нагружении диэлектрических твердых тел, для осуществления контроля возникновения критической ситуации (с точки зрения возникновения разрушения) считается одной из перспективных. Лабораторными экспериментами на образцах горных пород в процессе их нагружения доказано, что генерация электромагнитной эмиссии возникает уже на первых стадиях нагружения, составляющих единицы и первые десятки процентов от разрушающих напряжений и сопровождает весь процесс изменения напряженно-деформированного состояния [3].

Впервые в СССР электромагнитное излучение было зарегистрировано при нагружении образцов горных пород в Томском политехническом институте в 1970-х гг. А.А. Воробьев предложил использовать электромагнитное излучение, сопровождающее процесс нагружения твердых диэлектрических тел, в качестве информационного канала, свидетельствующего о той или иной стадии развития разрушения нагружаемого тела. Основой для этого представления послужило следующее положение: в силу того, что появление электромагнитной эмиссии

связано с разрушением деформируемого тела, то возникающие электромагнитные импульсы характеризуют как начальную дефектность, повреждаемость тела, так и особенности развития разрушения при действии на тело нагрузок.

На протяжении долгого времени исследования по ЕЭМИ проводятся в странах бывшего СССР: в Украине, Грузии, Армении, Казахстане, Узбекистане, Киргизии. 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 и в странах дальнего зарубежья: в США, Канаде, Японии, Китае, Индии, Чехии [4].

Тем не менее, до настоящего времени не удалось установить четкую и однозначную взаимосвязь между характеристиками НДС массива горных пород и параметрами вариаций естественного электромагнитного излучения. Причины неудач, видимо, лежат во всё еще слабой изученности самого явления, особенно в природных условиях, так как практически все, что нам сейчас известно, получено при исследованиях с образцами горных пород, бетона и других материалов в лабораторных условиях при испытаниях на прессах при разных режимах и видах деформирования. Применяемая ранее аппаратура позволяла изучать отдельные параметры сигналов ЕЭМИ (количество импульсов в единицу времени на заданном уровне селекции, среднюю амплитуду). Поэтому до сих пор нет четких критериев взаимосвязей изменений НДС с параметрами поля ЕЭМИ в местах, где известны координаты, время и энергия проявления горного давления.

Для выработки критериев, позволяющих 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, необходимы исследования физических и геомеханических процессов, происходящих в подземных горных выработках при проведении горных работ.

В рамках комплекса горно-экологического мониторинга на транспортных тоннелях совмещенной (автомобильной и железной) дороги Адлер – горноклиматический курорт «Альпика-Сервис» ведется непрерывная оценка устойчивости призабойной зоны строящихся тоннелей и контроль оползневых процессов на припортальных участках. Используются разработанные ВНИМИ измерительные комплексы «Ангел», позволяющие производить оценку параметров нестационарных геофизических полей, связанных с разрушением горных пород, а также экспресс-прогноз удароопасности участков массива на основании сигналов ЭМИ. Прибор работает на частоте 31 кГц. Программа накопления и анализа данных оценивает несколько параметров сигналов ЕЭМИ, из которых наиболее информативным считается амплитуда сигнала.

На рис. 2 показаны временные графики средних значений параметра Ам поля ЕЭМИ и напряжений. Графики построены по данным одновременных измерений на замерных станциях деформаций на пикетах 135+22,5 и 135+82,5 в автодорожном тоннеле №1 со стороны северного портала (тоннельный комплекс №1). Опытные участки определения НДС крепи в природных условиях оснащены датчиками ТБ-200. Струнные датчики линейных деформаций ТБ-200 представляют собой струну, закрепленную между двумя опорными шайбами внутри металлической тонкостенной трубы. Измеряемым параметром является период колебания струны в микросекундах. Измерения проводятся переносным цифровым периодометром ПЦП-1.

Замеры ЕЭМИ проводились у правой и у левой по ходу к забою стенок тоннеля вблизи датчиков-деформометров. Стрелками показаны всплески ЕЭМИ при соответствующих значениях напряжений. Хотя ряды значений по оси времен получали через неравные интервалы времени и есть пропуски, можно заметить, что после всплеска излучения ЕЭМИ через некоторое время происходит изменение напряжений.

Так, 6 августа 2010 г. был отмечен всплеск излучения ЕЭМИ (наибольшее значение Ам =175 мкВ), наибольшие изменения напряжений произошли и были определены 9 и 12 августа и составили в итоге ко второму всплеску ЕЭМИ порядка 1,2 МПа.

Второй всплеск излучения ЕЭМИ (Ам=110 мкВ) был зафиксирован 12 августа. Наблюдения поля ЕЭМИ проводились 16, 17, 19 и 23 августа, однако параметр поля Ам при этих замерах был небольшой величины и менялся в пределах от 10 до 55 мкВ. Самые большие изменения напряжений за этот же временной интервал составили порядка 0,4 МПа.

Третий всплеск излучения ЕЭМИ (с наибольшим значением Ам=175 мкВ) случился 25 августа спустя 13 дней после второго всплеска и некоторого снижения геодинамической активности с 12 по 25 августа. При замерах деформаций 25 и 27 августа было определено изменение напряжений на 0,2 МПа. Тогда же 27 августа был зарегистрирован четвертый всплеск излучения ЕЭМИ с

максимальным значением параметра $A_m=300$ мкВ, но при измерениях 29 августа значения поля ЕЭМИ резко понизились ($A_m=10-20$ мкВ). Напряженное состояние по данным измерений деформаций с 27 августа по 1 сентября продолжало меняться на относительно небольшие величины. Наибольшее суммарное значение напряжения сжатия 1 августа составило 2 МПа. По другому деформометру при замере 27 августа напряжение составило 0,5 МПа, а 29 августа отмечено изменение знака напряжений (растяжение), которое продолжалось при замерах деформаций 1 сентября. К сожалению, между 1 сентября и последующим 9 сентября измерения деформаций не проводили. 9 сентября самое большое растягивающее напряжение составило -1,4 МПа.

Полагая за фоновые значения A_m до 50 мкВ (в данном случае) все значения выше фона могут быть связаны с деформациями и изменениями напряженного состояния. Важно, что всплески ЕЭМИ происходят раньше деформаций. Можно рассчитывать, что подобные прогностические свойства ЕЭМИ проявляются как при больших, так и при относительно небольших изменениях напряженного состояния пород.

Еще один момент, который надо иметь в виду: видимо наибольшим изменениям (всплескам) ЕЭМИ соответствуют большие изменения деформаций-напряжений, но с большим отставанием по времени. Это заметно по замерам конца августа – начала сентября. Запаздывание деформаций-напряжений от всплесков ЕЭМИ в данном случае составляет от 2 до 4-5 суток. Ясно, что для более определенных выводов необходимы дополнительные статистически значимые результаты, которые можно получить при массовых долговременных наблюдениях и в ходе специальных экспериментов.

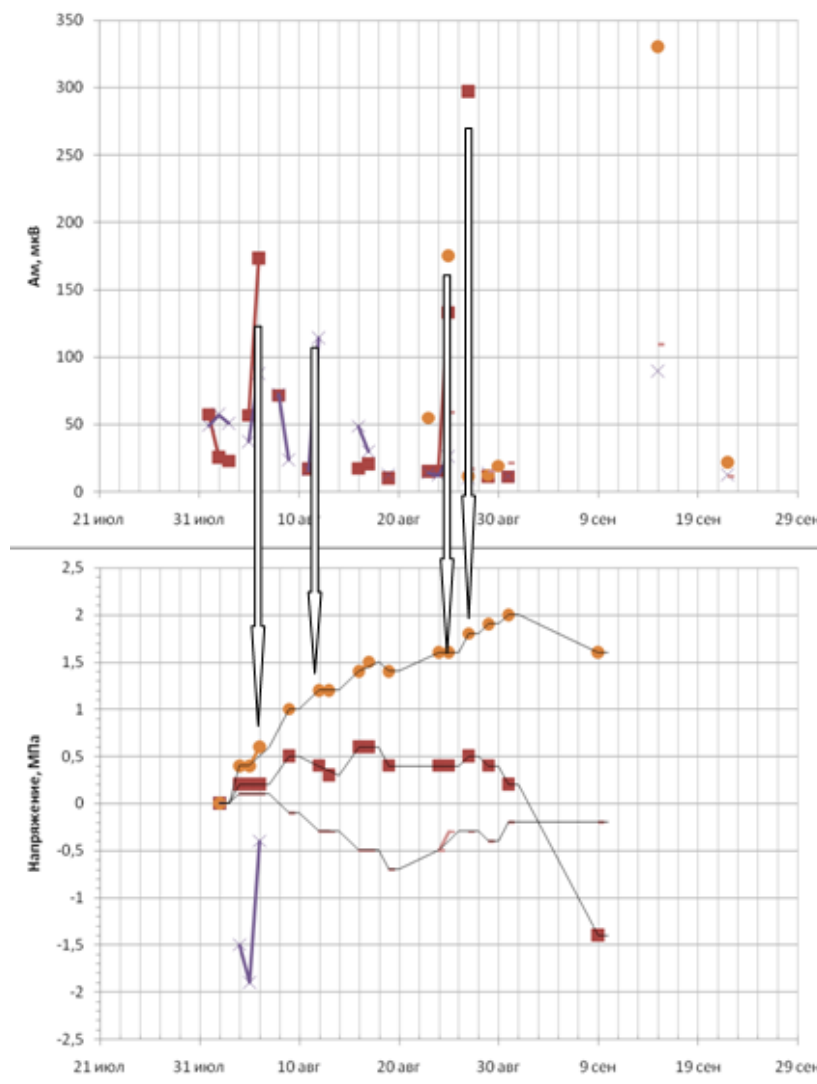


Рис. 2. Результаты одновременных определений параметров поля ЕЭМИ и напряжений (деформаций) на автодорожном тоннеле №1, сечения 1 и 2 (замерные станции деформаций на ПК 135 и) в июле-августе-сентябре 2010 года

Приведенный анализ носит предварительный характер, поскольку основан на очень коротком и неравномерном по времени интервале наблюдений. Запаздывание может быть оценено точнее при непрерывных измерениях; временные ряды уже в сотни значений можно будет применять для статистических расчетов. В связи с этим, в настоящий момент в непрерывном режиме ведутся исследования физических и геомеханических процессов, происходящих в строящихся транспортных тоннелях Сочи.

Примечания:

1. Методическое руководство по комплексному горно-экологическому мониторингу при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей. М.: УРАН ИПКОН РАН, НИПИИ «Ленметрогипротранс», 2009. 68 с.

2. Штыров В.Г. Оценка инженерно-геологических условий территории олимпийской трассы Адлер – Горноклиматический курорт «Альпика-Сервис», для обоснования проектных решений при сооружении тоннелей щитовым способом // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 2 (29). С. 175–179.

3. Яворович Я.В. Взаимосвязь параметров электромагнитных сигналов с изменением напряженно-деформированного состояния горных пород. Диссертация кандидата технических наук: 25.00.20. М.: РГБ, 2005 г. (из фондов Российской государственной библиотеки).

4. 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. Новосибирск, 2007.

Сведения об авторе:

Романевич Кирилл Викторович,
аспирант Сочинского государственного
университета, научный сотрудник НИО ОАО
НИПИИ «Ленметрогипротранс» (г. Санкт-
Петербург).

E-mail: kirillromanevich@gmail.com

MOUNTAIN-ECOLOGIC MONITORING OF
TRANSPORT TUNNELS CONSTRUCTION AND OPERATION

ROMANEVICH K.V.

The article is concerned with mountain-ecologic monitoring of Sochi transport tunnels construction. As one of the promising trends of fault activity and weakened rocks mapping in the behind the annulus space of tunnels we used natural electromagnetic emission measurements. The article gives brief characteristics of the method and cites the example of geoelectromagnetic and geomechanic processes joint survey of transport tunnels construction and operation.

Keywords: mountain-ecologic monitoring, transport tunnels, Sochi, mode of deformation.

UDC 62