

УДК 550.8.028 (056)

DOI: 10.23671/VNC.2014.1.55410

## КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МЕТОДОВ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ (МПВ) И ГЕОЛОКАЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ГЕОТЕКТОНИЧЕСКИХ И ГЕОТЕХНИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗРЕЗА РОКСКОГО ТОННЕЛЯ

© 2014 Х.О. Чотчаев, с.н.с., В.Д. Шепелев

Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Россия, 362002,  
г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi\_ras@mail.ru

Рассматривается вопрос реконструкции Рокского тоннеля и проблемы, связанные с ним. Сделано детальное изучение пород вдоль горных выработок для дифференцирования разреза на отдельные блоки. Проведены геофизические исследования, а также горнопроходческие работы по реконструкции деривационной выработки.

**Ключевые слова:** комплексирование, геофизические исследования, геолокационное зондирование.

Стратегическое значение Транспортной Кавказской автомобильной магистрали в современной региональной политике явилось основной причиной огромных инвестиций в реконструкцию существующего тоннельного комплекса и в строительство новых объектов дорожного сервиса в виде дополнительных тоннелей и защитных галерей. Справедливости ради следует сказать, что необходимость капитального ремонта транспортного тоннеля назрела давно, если учесть низкое качество принятого в эксплуатацию тоннельного сооружения, незащищённость отдельных участков трассы от камнепадов, селевых и лавинных сходов, что в комплексе служили причиной временного прекращения движения по Транскаму на участке Бурон – км 93+300 (транспортный тоннель). Особые условия накладывает нахождение тела туннеля на территории с высокой сейсмической опасностью мощных близлежащих разломов [Заалишвили, Рогожин, 2010]. Анализ современных вероятностных карт сейсмической опасности, построенных с учетом потенциала разломов, показывает ее повышенный уровень [Заалишвили и др., 2011].

В известных конфликтных событиях, при переброске миротворческого контингента, кроме технического износа тоннельного комплекса, выявились и стратегические упущения, связанные с одновременным использованием транспортного и деривационного тоннелей.

Отметим ещё одну особенность состояния этой магистрали и в особенности её тоннельного комплекса. Выработки проходились встречными забоями: с юга грузинскими специалистами, с севера – российскими. Геологическая документация так же велась раздельно и к моменту ввода комплекса в эксплуатацию в конце 1984 года, геологическая информация не была систематизирована, отчёт не был составлен и в соответствующие фонды поступить не мог. Полевые материалы долгое время оставалась у исполнителей и в местных фондах полевых партий. Дезорганизация в народном хозяйстве после 1985 года, включая и геологию, из года в год отодвигала составление окончательного отчёта из-за отсутствия финансирования. В 90-е годы исполнители выживали вне геологии, фонды были ликвидированы, по-

левые материалы утеряны. Фактические разрезы выработок уже были замурованы под торкрет бетоном в деривационной штольне и сплошными бетонными стенами почти метровой толщины в транспортном тоннеле. Таким образом, к началу реконструкции тоннельного комплекса геологическая информация ограничивалась данными прогнозной металлогенической карты Горной Осетии [Ольховский, Агибалова, 1973], инженерно-геологическими изысканиями в районе Рокского перевала [Ольховский, Тибилев, 1998], и результатами инженерно-геологических изысканий к проекту по объекту «Реконструкция автомобильной дороги Алагир – Нижний Зарамаг [Кулаев, Кучиев, 2008].

К сожалению, указанные работы характеризуют геологию района по маршрутным наблюдениям и описанием обнажений, орографии, тектоники и не обладают практически никакой информацией о геолого-тектонической ситуации в выработках, расположенных на глубине порядка 950 м от поверхности. Эти работы являются уточнением общего геологического строения Центрального Кавказа [Милановский, Хайн, 1963] и глубинные особенности на уровне выработки не затрагивают

Между тем, для определения масштабов работ по реконструкции тоннельного комплекса, а так же для обеспечения безопасности людей и техники в ходе работ, требовалось детальное знание геологической ситуации в выработках, включая степень тектонической активности отдельных разломов, состояние трещиноватых зон и их причастность к возможным горным ударам, гидрогеологический режим разреза, наличие ослабленных зон, способных к обрушению, физико-механические характеристики пород. Это позволит значительно поднять уровень проводимых работ и исключит возможные неожиданные, трудно объяснимые события, научно обоснованный прогноз которых, тем не менее, необходим [Заалишвили и др., 2004]. Эти особенности геологического разреза были изучены комплексом геофизических методов, включавший способ непрерывного геолокационного зондирования в обеих горных выработках, сейсмические наблюдения (МПВ) [Никитин, 1981] в деривационной штольне, запись микросейсмического фона колебаний и затуханий импульса в зависимости от расстояния с использованием механического источника упругих колебаний [Ляховицкий, Парфиянович, 1964; Заалишвили, 2000]. Геофизические исследования сопровождались бурением ряда горизонтальных и восстающих скважин в характерных точках деривационной штольни, выделенных по аномальному водопритоку, проявлению горного давления в виде повышенной трещиноватости в бетоне или в активных тектонических зонах, выраженных интенсивным обрушением торкрет бетона и обильным капезом по всему периметру выработки.

Комплекс геофизических исследований предусматривал на первом этапе детальное изучение пород вдоль горных выработок для дифференцирования разреза на отдельные блоки, отличающиеся по литологическому составу, структурно-тектоническим особенностям, физическим параметрам, гидрогеологическому режиму. Блоки дополнительно дифференцировались на зоны смятия, трещиноватости, тектонических нарушений и обводнений. На втором этапе каждый обособленный блок исследовался сейсмическим методом, для определения упругих свойств [Павленкова, Смелянская, 1969] пород и отдельных аномальных зон (табл. 1). Используя эти определения, вычислены физико-механические характеристики выделенных пород и блоков (табл. 2).

Анализ данных геолокационного зондирования не подтвердил ожидаемую литологическую дифференцируемость разреза на блоки с контрастными значениями

дизлектрической проницаемости. Крутое залегание пород, незначительная мощность отдельных прослоек в монотонно сменяющихся флишевых пачках обеих свит не способствуют выделению каких-либо коррелируемых границ стратиграфического характера [Епинатьева, 1955]. Общим для волнового разреза является тектоническая дифференцируемость, включая трещиноватость. Плотность тектонических изменений на единицу интервала явилась единственной мерой, характеризующей состояние разреза. Этот параметр в комплексе с геологической информацией [Кулаев, Кучиев, 2008] был использован для выбора участков наблюдения сейсмическими методами, общее количество которых составило 9.

Данные частотного спектра сейсмических записей (рис. 1) использовались для выделения спектральных особенностей [Берзон, 1957] различных тектонических блоков и прогнозирования среди них интервалов с аномальным горным давлением.

На сейсмограммах записи амплитуды колебаний (рис. 2) для определения поглощающих свойств пород (рис. 3) наблюдается заметное увеличение видимого периода [Справочник геофизика, 1966; Заалишвили, 2000] колебания с расстоянием, что связано со значительным разуплотнением пород за счёт трещиноватости, обуславливающей значительное поглощение высокочастотных составляющих спектра колебаний [Заалишвили, 2000], что может быть использовано для количественной оценки этого параметра [Гурвич, 1970].

Для оценки физико-механических свойств пород использованы методические рекомендации по применению упругих характеристик пород в экспериментально-статистических формулах и результаты научных исследований [Методические рекомендации, 1976; Методические рекомендации, 1985; Заалишвили, 2000]. Для определения плотности пород можно использовать одну из формул:

$$\gamma = 1,719 + 0,00029V_p \quad (1)$$

$$\text{или } \gamma_{ск} = 1,38 + 0,00033V_p \quad (2)$$

Для рассматриваемого случая коренных пород наиболее приемлема формула:

$$\gamma_{ск} = 0,5/V_S^{0,4} \quad [\text{Заалишвили, 2000}],$$

где  $V_S$  в км.

Для вычисления модуля упругости (динамического)  $E_d$ , модуля сдвига  $\mu$  и постоянной сцепления «С» использованы соответственно следующие формулы [Павленкова, Смелянская, 1969; Савич и др., 1969]:

$$E = 102,94 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma \cdot \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \cdot \frac{(1+\sigma)(\sigma-2\sigma)}{(1-\sigma)} \cdot V_p^2 \quad (3)$$

где  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

$$\mu = 102,94 \cdot 10^{-4} \cdot \gamma \cdot V_S^2, \quad (4) \quad C = 0,0773 \sqrt{\mu} - 0,075 \quad (4)$$

$$\text{или } C = 0,00236V_S - 0,067. \quad (5)$$

Модуль деформации массива вычислен по формулам:

$$E_{деф} = 0,0709V_p + 0,6064V_S - 47,4 \quad \text{или} \quad E_{деф} = 0,773V_S - 36,9 \quad (6)$$

Корреляционные коэффициенты и стандартный уровень ошибок приведенных формул лежат в пределах соответственно 0,75-0,88 и 2-5%.

Из физико-механических свойств горных пород часто используется предел прочности на сжатие ( $\sigma_{сж}$ ), равный напряжению одноосного сжатия образца, при котором он разрушается. Предел прочности характеризует крепость пород с точки зрения переносимых нагрузок. Расчет  $\sigma_{сж}$  неводонасыщенных скальных пород через их упругие свойства выполнен по формуле [Богаченко, Кулик, 1972; Савич и др., 1969]:

$$\sigma_{сж} = \frac{VP2\gamma(1-2\nu)}{(1-\nu)C} \quad (7)$$

( $\sigma_{сж}$  – в Па,  $V_p$  – в м/с,  $\gamma$  – в кг/м<sup>3</sup>), где коэффициент  $C$  устанавливается путем получения корреляционных связей при экспериментальных геолого-геофизических наблюдениях. Он приблизительно равен: 240 – для рассматриваемых пород (известняки, мергели), 180 – для метаморфических и древних (доюрских) эффузивных пород, 120 – для древних интрузивных пород, 60 для молодых (послеюрских) скальных пород.

Геофизические исследования были нацелены на изучение горно-геологических и горнотехнических задач для инженерного решения проекта реконструкции Рокского тоннельного комплекса и его дальнейшего безопасного функционирования. Если изменения геотехнических условий разреза за время эксплуатации комплекса затрагивают вопросы технологии работ и безопасности в процессе реконструкции, то геотектонические особенности дополнительно требуют прогнозирования и учёта возможных экстремальных осложнений в течение дальнейшей длительной эксплуатации. В период подготовки инженерно-геологического обоснования разреза для проходки тоннельного комплекса изыскания не могли быть обеспечены глубинными геофизическими исследованиями из-за отсутствия кадрового и аппаратного ресурса. Работы ограничились картированием приповерхностных мелких нарушений вдоль профиля, расположенного на высотах до 1100 м над горизонтом тоннеля, результаты которых коррелировать на уровень выработок не имело существенного значения.

Таким образом, геолого-техническое состояние разреза выработок могло базироваться на уровне маршрутных геологических данных без каких-либо количественных и качественных определений параметров и масштабов неблагоприятных факторов воздействия на инженерное сооружение. В этих условиях применение геофизических методов на объекте позволило инструментально уточнить характер возможных событий, их реальные масштабы, основные физико-механические параметры пород, индикаторы геотехнического состояния среды и способы их оценки [Инструкция по применению..., 1977].

Результаты геофизических исследований представлены структурно-тектоническим разрезом вдоль линий полотна транспортной тоннели (рис. 3), а таблицы вычисленных значений физических и механических параметров разреза по отдельным интервалам. Дифференцирование разреза проведено на основе воздействия структурных особенностей разреза на волновую картину геофизических полей. Учёт литологического состава флишевой толщи, признанного не содержащим маркирующих границ по диэлектрической проницаемости, не проводился.

Таблица 1

**Скорости продольных ( $V_p$ ), поперечных ( $V_s$ ) волн  
и коэффициент Пуассона ( $\sigma$ )**

№ точки	№ профиля	$V_p$ , m/s	$V_s$ , m/s	$V_s/V_p$	Коэффициент Пуассона
					$\sigma = \frac{0.5 - \left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2}{1 - \left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2}$
1	PR0001-P0001	2690	1570	0,584	0,242
	PR0003-P0004				
	PR0003-P0003				
	PR0004-P0004				
2	PR0005-P0001	2475	1400	0,566	0,264
	PR0007-P0004				
	PR0006-P0002				
	PR0007-P0006				
3	PR0008-P0001	2960	1660	0,560	0,272
	PR0008-P0008				
	PR0009-P0002				
	PR0009-P0005				
4	PR0011-P0001	2670	1720	0,642	0,149
	PR0011-P0010				
	PR0011-P0002				
	PR0011-P0003				
5	PR0012-P0001	2560	1620	0,635	0,162
	PR0012-P0003				
	PR0012-P0002				
	PR0012-P0004				
6	PR0013-P0001	2475	1500	0,606	0,209
	PR0014-P0012				
	PR0014-P0004				
	PR0013-P0004				
7	PR0015-P0001	2500	1560	0,624	0,181
	PR0015-P0005				
	PR0015-P0002				
	PR0016-P0002				
8	PR0017-P0001	2400	1520	0,632	0,168
	PR0019-P0001				
	PR0018-P0002				
	PR0020-P0004				
9	PR0021-P0001	2730	1630	0,598	0,221
	PR0022-P0001				
	PR0021-P0002				
	PR0023-P0002				

Таблица 2

**Физико-механические свойства горных пород по геофизическим данным**

№ п/п	Плотность пород по фоновым источникам место взятия пробы – поверхностные об- нажения		Физико-механические свойства по геофизическим данным										
	Техтинская свита, т/м <sup>3</sup>	Мамисонская свита, т/м <sup>3</sup>	Пункт на- блюдения, интервал	Плот- ность, г/см <sup>3</sup>	Модуль упругости динами- ческий E <sub>гр</sub> ГПа	Величина $\frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}$ для опреде- ления E <sub>ср</sub> ГПа	Модуль упругости статичес- кий E <sub>ср</sub> ГПа	Модуль де- формации массива E <sub>деф</sub> , ГПа	Модуль сдвига (μ), ГПа	Постоян- ная ссе- пления (C), МПа	Предел прочности на одно- осное сжа- тие, МПа		
1.	Глинистые извест- няки 2.66-2.69	то же, 2.65-2.71	T1 32 <sup>50</sup> -34 <sup>90</sup>	2,48	15,21	1,190	12,78	1,094	6,29	5,52	50,9		
2.	Известковые пес- чанники 2.64-2.71	Мергель груборасслан- цованный 2.66-2.68	T2 28 <sup>80</sup> -31 <sup>20</sup>	2,42	12,36	1,235	10,00	0,977	4,88	4,85	39,6		
3.	Органогенно-об- ломочные извест- няки 2.66-2.70	Переслаивающие мер- гели и полосчатые из- вестковые песчаники 2.67-2.71	T3 23 <sup>86</sup> -26 <sup>26</sup>	2,56	18,24	1,266	14,41	1,169	7,26	5,93	58,5		
4.	Мергели 2.66-2.72		T4 20 <sup>83</sup> -23 <sup>23</sup>	2,48	17,12	1,064	16,10	1,185	7,56	6,06	60,7		
5.	-	-	T5 17 <sup>82</sup> -20 <sup>22</sup>	2,45	15,37	1,075	14,30	1,116	6,61	5,66	54,0		
6.	-	-	T6 12 <sup>80</sup> -15 <sup>20</sup>	2,42	13,43	1,136	11,82	1,038	5,60	5,20	45,4		
7.	-	-	T7 9 <sup>12</sup> -11 <sup>52</sup>	2,43	14,23	1,099	12,95	1,123	6,09	5,43	49,3		
8.	-	-	T8 5 <sup>81</sup> -8 <sup>21</sup>	2,40	13,23	1,075	12,31	1,092	5,71	5,25	46,0		
9.	-	-	T9 3 <sup>20</sup> -5 <sup>60</sup>	2,50	19,18	1,149	16,70	1,182	5,76	5,28	55,6		



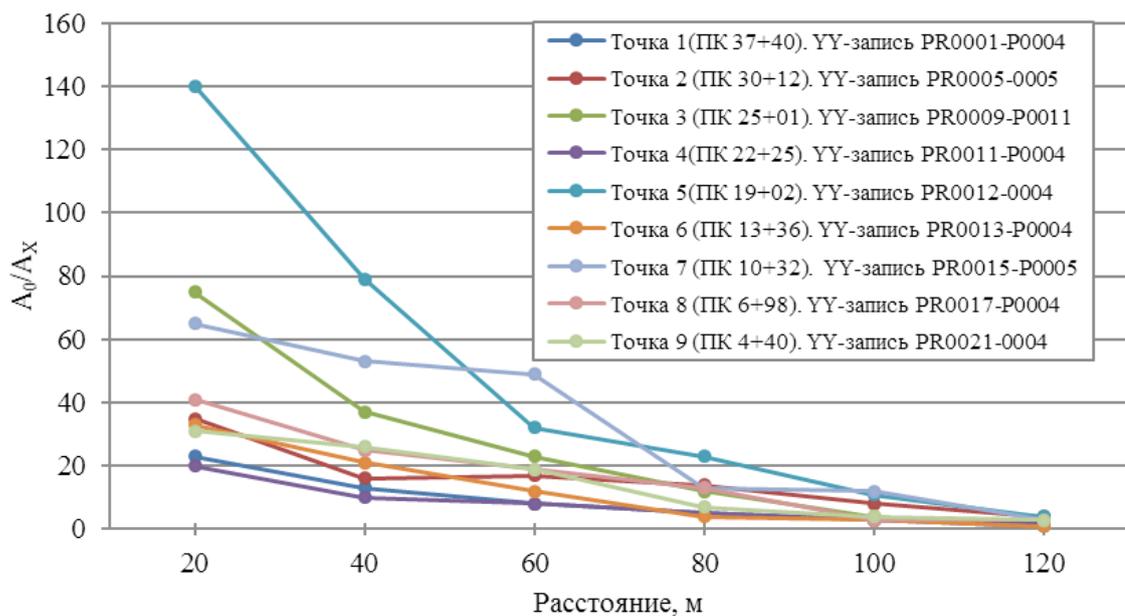


Рис. 3. Кривые зависимости амплитуды колебания от расстояния для различных интервалов выработки.

тектонической деятельности и второстепенной ролью трещиноватости. Первые две зоны характеризуются развитием серий нарушений и интенсивной трещиноватости. Мощность нарушений достигает 20 м. Основные нарушения следует ожидать в интервалах 3240-3280 м, 2930 м, 2600 м, 1600 м, 1500 м, и 180-260 м. Ослабленные породы могут проявиться в интервале 3560-3620 м, 1600-1940 м и в полосе 300-600 м. В пределах приведенных участков по основным нарушениям ожидается избыточный приток воды.

Более детальное дифференцирование разреза позволяет выделить участки возможных вывалов в интервалах 3560-3590 м, 3655-3670 м, 3690-3715 м.

Интервал 2740-2780 м, возможно, характеризует зону контакта пород двух свит, так как к северу от него наблюдается усиление тектонических проявлений в виде отдельных нарушений и трещиноватости. Структурами, формировавшими зону контакта, являются мощные тектонические нарушения на отметках 2600 м и 2500 м, севернее которых интервал 1940-2380 м характеризуется чередованием устойчивых и ослабленных участков, где повышенное внимание при горнопроходческих работах требуется на всём участке. К северу от отметки 1940 м до отметки 1450 м участок характеризуется чередованием зон трещиноватости и серий крупных нарушений (1480 м, 1600 м). Возможно, что отмеченные выше две основные и три второстепенные зоны, с такими крупными локальными нарушениями, как выделенные на отметках 250 м, 1600 м, 2600 м, являются субширотными структурами высших порядков регионального Халацинского разлома.

Геофизические исследования проводились параллельно с горнопроходческими работами по реконструкции деривационной выработки, и текущие результаты исследований оперативно использовались для корректировки горных работ на предупреждение вывалов, обрушений горных пород, поступления напорных трещинных вод.

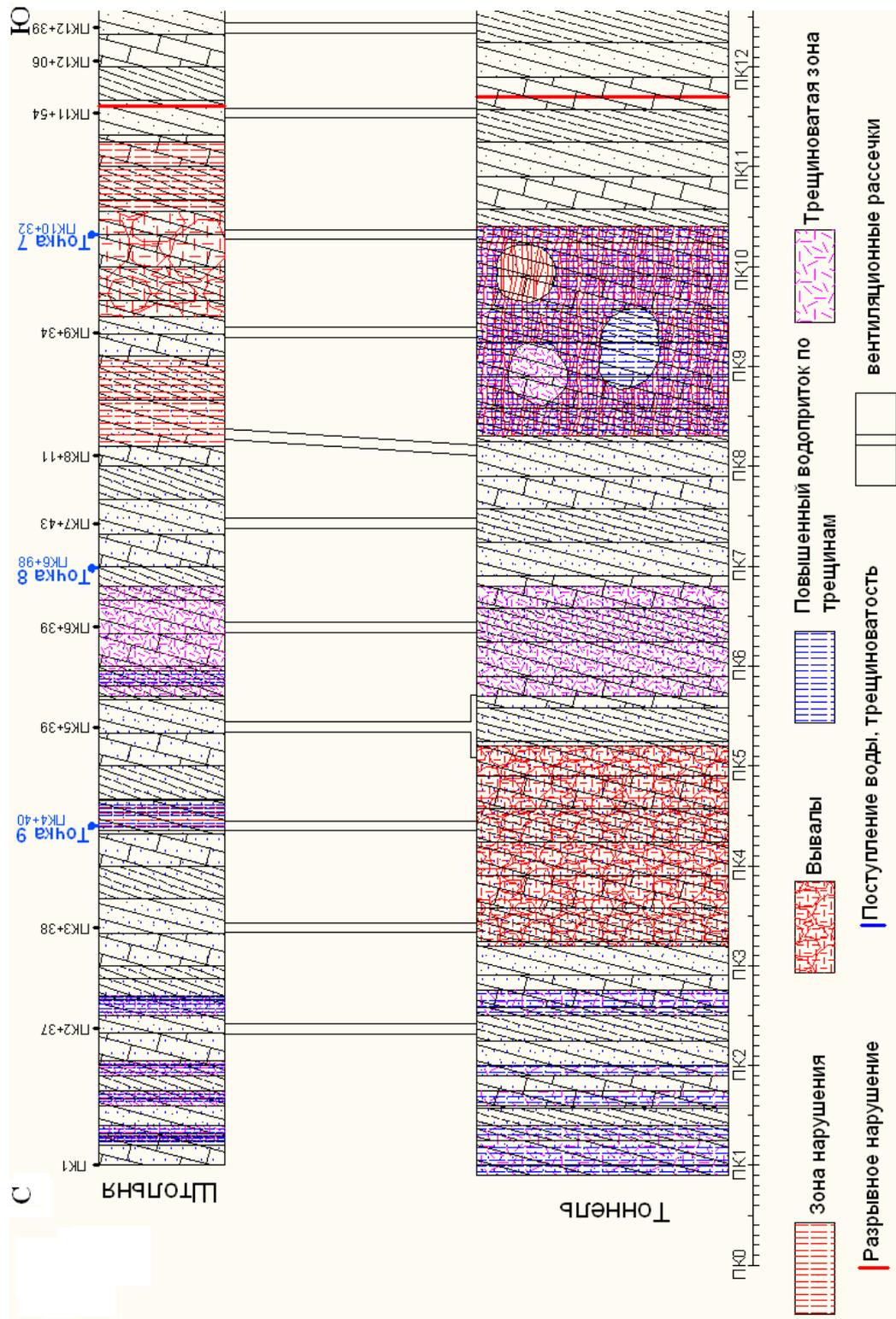


Рис.3. Фрагмент геоэлектрического разреза вдоль лотка транспортного тоннеля

## Выводы

Проведенный комплекс геофизических исследований был направлен на решение структурно-тектонических и геотехнических задач, что позволило бы техническим службам предусмотреть особенности при реконструкции и возможные осложнения геотектонического характера в процессе дальнейшей эксплуатации комплекса;

В русле целевого назначения исследования были проведены методом геолокационного зондирования и различными модификациями сейсмических наблюдений для изучения упругих, поглощающих и инженерно-сейсмологических свойств пород.

На базе полученных результатов упругих свойств разреза рассчитаны инженерно-геологические свойства среды, включая плотность и упругие параметры. Физико-механические параметры разреза, характеризующие геотектонические условия, определены на основе математических соотношений упругих параметров среды и её механических свойств;

По данным геолокационного зондирования, разрез вдоль выработок дифференцируется, в основном, по структурно-тектоническим признакам;

Из-за крутого падения флишевой толщи и малых мощностей пластов, отсутствуют объекты отражений, и литологический фактор не работает;

Выделены две мощные зоны нарушений и три второстепенные, в пределах которых имеет место наложение разрывной тектоники и трещинообразования, по всей видимости, за счёт горного давления. Обозначен контакт техтинской и мамисонской свит на уровне выработок, сделано предположение, что их контакт имеет тектоническую природу. Выделенные зоны увязаны с элементами Техтинской антиклинальной структуры;

Дана качественная оценка зонам нарушений, их водоотдаче и устойчивости, выделены основные интервалы зон нарушений, трещиноватости, участки возможных вывалов пород и водопритока;

Отмечается, что признаком зон активной трещиноватости является низкое значение коэффициента Пуассона. Обладающие наименьшими значениями этого параметра породы, представленные в точках 4-7 (рис. 3), характеризуются в волновых разрезах электромагнитного поля как зоны интенсивной трещиноватости. Показатель трещиноватости можно использовать в качестве признака для качественной оценки тектонической ситуации;

На основе анализа спектрограмм записей микросейсмических колебаний многоканальной сейсмостанции, сделано предположение о связи высокочастотной части спектра с зонами интенсивной трещиноватости, связанными с горным давлением.

## Литература

1. Берзон И.С. Высокочастотная сейсмика. – М.: изд-во АН СССР, 1957.
2. Богаченко С.Е., Кулик Б.Ю. Оценки прочностных свойств грунтов сейсмическими методами // Транспортное строительство. – 1972. – № 11.
3. Гурвич И.И. Сейсмическая разведка. – М.: Недра, 1970.
4. Епинатьева А.М. О преломленных волнах в средах со слабой скоростной дифференциацией. // Известия АН СССР, сер. геофиз. – М., 1955. – №

5. Заалишвили В.Б. Физические основы сейсмического микрорайонирования. М: ОИФЗ РАН, 2000, с. 367.
6. Заалишвили В.Б., Рогожин Е.А. Оценка сейсмической опасности территории на основе современных методов детального сейсмического районирования и сейсмического микрорайонирования // В сборнике: Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. Труды института геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук. 2010. С. 251-262.
7. Заалишвили В.Б., Невская Н.И., Харебов А.К. Анализ инструментальных записей схода ледника Колка по данным локальной сети сейсмических наблюдений // Вестник Владикавказского научного центра. 2004. Т. 4. №3. С. 58
8. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт // Геология и геофизика Юга России. 2011. №1. С. 48-58.
9. Инструкция по применению сейсморазведки в инженерных изысканиях для строительства. РСН 45-77. – М., Госстрой РСФСР, 1977.
10. Кулаев И.Г., Кучиев А.А. Технический отчёт о результатах инженерно-геологических изысканий к инженерному проекту по объекту «Реконструкция автомобильной дороги Алагир (автомобильная дорога «Кавказ») – Нижний Зарамаг до границы с Республикой Грузия, тоннель км 93+300в РСО-Алания». ООО, Севосгелогоразведка, 2008.
11. Ляховицкий Ф.М., Парфиянович В.А. Использование ударной установки в производственных сейсмических работах // В сб.: «Разведочная геофизика». – Вып. 1. – М.: Недра, 1964.
12. Методические рекомендации по применению сейсмоакустических методов для изучения физико-механических свойств связных грунтов. – М.: ЦНИИС, 1976.
13. Методические рекомендации по определению состава, состояния и свойств грунтов сейсмоакустическими методами. – М.: ЦНИИС Минтрансстрой, 1985.
14. Милановский Е.Е., Хайн В.Е. Геологическое строение Кавказа. Очерки региональной геологии СССР. – М: изд-во МГУ, 1963. – Вып.8.
15. Никитин В.Н. Основы инженерной сейсмологии. – М.: изд-во МГУ, 1981.
16. Ольховский Г.П., Агибалова В.В. Отчёт по инженерно-геологическим изысканиям в районе Рокского перевала. СОГКЭ, Северо-Кавказское ТГУ, 1973.
17. Ольховский Г.П., Тибилев С.М. Отчет по теме: «Составление специализированной геологической основы масштаба 1:50000 для прогнозной металлогенической карты Горной Осетии», ГПП, Владикавказ, 1998.
18. Павленкова Н.И., Смелянская Т.В. Методы определения скоростей по годографам преломленных волн // В кн.: «Геофизический сборник». – Вып. 29. – Киев: «Наукова думка» – 1969.
19. Савич А.И., Коптев В.И., Никитин В.Н., Яценко З.Г. Сейсмоакустические методы изучения скальных массивов пород. – М.: Недра, 1969.
20. Справочник геофизика, т. IV. «Сейсморазведка». – М.: Недра. 1966

DOI: 10.23671/VNC.2014.1.55410

**INTEGRATION OF SEISMIC SURVEY AND GEOLOCATION  
SENSING METHODS FOR ALLOCATION OF GEOTECTONIC  
AND GEOTECHNICAL FEATURES OF THE ROKI TUNNEL  
CROSS SECTION**

© 2014 Chotchaev Kh.O., Senior Scientist, Shepelev V.D.

Center of Geophysical Investigations of Vladikavkaz Scientific Centre RAS and  
RNO-A, Markova str. 93a, Vladikavkaz, Russia, 362002, E-mail: cgi\_ras@mail.ru,

The question of the reconstruction of the Roki Tunnel and associated problems are considered. The detailed investigation of the rocks along the mine workings to differentiate cross-section into separate blocks was performed. Geophysical surveys were conducted, and mining workings on the reconstruction of derivative working as well was also performed.

**Keywords:** aggregation, geophysical surveys, geo-location sensing.