

УДК 69.035.4

*В.В. Туманов, А.И. Компанец, А.И. Архипенко*

**ОЦЕНКА УСЛОВИЙ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ  
ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОРНОЙ ЧАСТИ  
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ  
МЕТОДАМИ**

Семинар № 11

**Б**ольшинство подземных сооружений требуют инженерно-геологических исследований на всех стадиях проектирования и строительства. Особенное значение их всестороннее и тщательное проведение имеет при строительстве тоннелей, как сложных в строительстве и эксплуатации, дорогостоящих, часто уникальных подземных линейных сооружений.

По своему назначению большая часть тоннелей относится к транспортным, гидротехническим, а также коммунальным. Необходимость и экономическая оправданность проектирования дорогостоящих транспортных тоннелей чаще всего возникает при необходимости преодоления значительных естественных преград — горных хребтов (тоннели БАМ, технологические тоннели в горной части Краснодарского Края), а также крупных рек (Гудзон) и морских проливов (Ла-Манш). Именно эти области обычно характеризуются сложным геологическим строением, в том числе наличием тектонических нарушений, повышенной новейшей тектонической активностью и сейсмичностью. Соответственно и инженерно-геологические исследования здесь будут наиболее сложными.

Сложность инженерно-геологических условий при строительстве тоннелей проявляется в виде разнообразных инженерно-геологических процессов и явлений, недостаточное и неполное изучение которых может привести к возникновению значительных трудностей при строительстве, как, например, произошло с Северомуйским тоннелем на БАМ.

По Г.С.Золотареву [1], виды, интенсивность развития, масштабы и другие особенности инженерно-геологических явлений, помимо конструктивно-строительных параметров подземного сооружения, определяется главным

образом факторами геологической среды, как то:

1. комплексами пород, их трещиноватостью, выветрелостью, закарстованностью и механическими свойствами;
2. тектоническими (складчатыми, разрывными) нарушениями и их современными подвижками;
3. подземными водами (распределение, величины напоров, дебит, агрессивность);
4. геоморфологическими условиями и развитием геологических процессов.

Как правило, все эти факторы прямо или косвенно контролируются тектоническими структурами и трещиноватостью. Следовательно, они должны находиться в круге пристального инженерно-геологического изучения.

Инженерно-геологическая съемка, предваряющая строительство тоннелей, помимо геологоразведочных работ, должна сопровождаться (особенно в сложных горно-геологических условиях) относительно недорогими геофизическими исследованиями, с помощью которых может быть уточнен геологический разрез на всю глубину и выявлены неблагоприятные для строительства подземных сооружений явления (карст, мощные зоны тектонических нарушений, другие ослабленные зоны и пр.).

Согласно [2], основными методами геофизического контроля в шахтах и тоннелях являются сейсмоакустические (в том числе с использованием спектрального анализа акустических волн) и электрометрические (электрозондирование и профилирование). Не вызывает сомнения, что при разумном комплексировании этих методов можно получить наиболее полную и достоверную прогнозную информацию о строении и состоянии геологической среды

В данной работе рассмотрены некоторые результаты комплексных сейсмоакустических и электрометрических исследований, выполненных специалистами УкрНИМИ для оценки инженерно-геологических условий строительства дополнительного технологического тоннеля через Маркхотский хребет между нефтебазами «Грушовая» и «Шесхарис» районе г. Новороссийска. Отметим, что подобные исследования были ранее проведены при консультативном участии УкрНИМИ на участках строительства технологических тоннелей через горные хребты «Кобыла» и «Безымянный». В первом случае был дан прогноз о наличии зоны повышенного водопритока, полностью подтвержденный при проходке тоннеля.

Существующий тоннель длиной 3303 м пересекает Маркхотский хребет, связывая нефтебазы «Грушовая» и «Шесхарис». Основная его часть закреплена обделкой из железобетонных блоков с наружным диаметром 5,6 м. Дополнительный тоннель проектируется в 25 м к востоку от существующего, глубина его заложения колеблется от нуля вблизи порталов до 390 м в самой высокой точке хребта. В геологическом строении участка принимают участие, с севера (Грушовая) на юг (Шесхарис), нижнемеловые отложения, представленные глинами, аргиллитами и песчаниками, и более плотные верхнемеловые отложения известняков и песчаников. Граница, разделяющая эти комплексы пород, находится в средней части трассы тоннеля.

Учитывая большую мощность перекрывающих пород (в среднем составляет 210 м), крутое падение геологических слоев и сложный рельеф местности, для получения информации об условиях строительства были применены оригинальные методики геофизических исследований в наземном (электрометрия), подземном (сейсмоакустика) и комбинированном (сейсмодпросвечивание) вариантах. Выбранный комплекс является уникальным и реализован впервые в мировой практике. Результаты сейсмодпросвечивания тоннельной поверхности, выполненного на отдельных участках трассы, использовались для исследования перекрывающей толщи пород с целью оценки структурно-тектонического строения и получения сейсмических характеристик горных пород (сейсмодмикрорайонирование) [3]. Интерес с точки зрения картирования участков ослабленных, трещиноватых пород и обводненных зон на горизонте проектируемого тоннеля представляют данные электрометрии и

сейсмоакустики, полученные путем непрерывных измерений по всей трассе на поверхности и в существующем тоннеле соответственно.

В качестве метода электрометрических исследований был выбран метод электропрофиллирования с фиксированным заземлением питающих электродов по линии тоннеля в его начальной и конечной точках. Таким образом были достигнуты необходимая глубинность исследований и благоприятные условия растекания электрического тока за счет его проникновения во внутреннюю область массива горных пород по линии проектируемого тоннеля. Кроме того, применяемая методика позволила свести к минимуму искажения электрического поля от рельефа и влияние выходов пород разного литологического состава.

Материалы полевых электроразведочных исследований обработаны пакетом "Mathcad". В результате обработки выполнено сглаживание графика исходных значений  $\Delta U_i$  (подбор значений тренда  $\Delta U_i^T$ ), определены величины интенсивности остаточных аномалий по формуле:

$$\Delta U_{\text{ост}} = \frac{\Delta U_i - \Delta U_i^T}{\Delta U_i + \Delta U_i^T} \times 200\%;$$

выполнен пересчет полевых пикетов электропросвечивания по горизонтальному проложению.

Результаты обработки показаны на рис. 1. На приведенном разрезе перекрывающей толщи (рис. 1 а) показаны его основные структурные элементы, установленные по геологическим данным.

Отрицательные остаточные аномалии графика интенсивностью 25-40 % (рис. 1 б) позволяют прогнозировать наличие обводненных, трещиноватых зон и участков дисперсных пород, расположенных в интервалах пикетов 350-500 м, 1180-1280 м, 1330-1430 м, 1880-1950 м и 2780-2980 м. Отметим, что первая и последняя аномальные зоны из перечисленных могут быть искажены краевыми электрическими эффектами.

Кроме низкоомных зон на графике выделяются интенсивные (до 40-60 %) знакопеременные аномалии в интервалах пикетов 2270-2350 м и 2650-2750 м, а также положительные аномалии на пикетах 820-1000 м и 1550-1630 м, первая из которых отличается пилообразным характером графика. С учетом исходной геологической информацией (см. рис 1 а) в первом

приближении указанные зоны можно связать (в приведенном порядке) с наличием тектонического нарушения, выходом относительно крепких монолитных пород, зоной интенсивной трещиноватости пород в районе развития мощных тектонических разломов к югу от осевой части Маркотхского хребта и к региональной границе смены литологии.

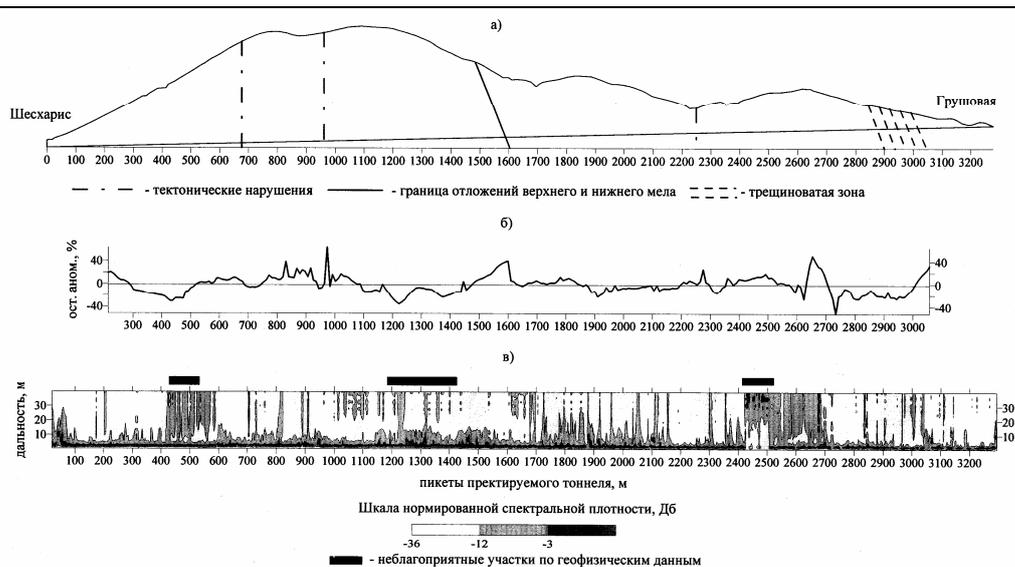
Сейсмоакустические зондирования проводились из действующего тоннеля в сторону проектируемого. Так как получение отражений из-за крутого залегания пород весьма проблематично, выявление в исследуемом массиве геоструктурных аномалий проводилось на основе оценки изменений спектральных особенностей сейсмоакустических сигналов. При этом был учтен опыт исследований [2, 4], показавших, что частотные параметры сейсмоакустических колебаний менее зависят от напряженного состояния среды и несут в основном информацию о существующих в массиве нарушениях и зонах трещиноватости. Кроме того, при анализе результатов обработки сейсмоакустических зондирований использовались исходная геологическая информация, полученная при проходке тоннеля, данные визуальных наблюдений водопроявлений по стенке тоннеля, а также опыт аналогичных исследований. На завершающем этапе интерпретации геофизических материалов проведено сопоставление результатов сейсмоакустики и электрометрии.

Формируемый сложной колебательной системой - горный массив-крепь тоннеля, амплитудно-частотный спектр упругих колебаний, в обобщенном виде (нормированный и усредненный по множеству сигналов с разных пунктов возбуждения в тоннеле) характеризуется наличием основного положительного экстремума на частоте 800-1000 Гц, отражающим прочностные параметры и поперечные размеры крепи. В зонах структурных изменений горных пород с трещиноватостью и блочностью массива и, соответственно, наличием множества колебательных систем, в низкочастотной области спектра сигнала (50-700 Гц) появляются экстремумы различной частоты и интенсивности. В трещиноватых породах в спектре сигнала возникают экстремумы на частотах 50-200 Гц. При этом не наблюдаются видимые изменения в области основного экстремума (800-

1000 Гц) и в высокочастотной части (1000-2000 Гц) сигнала. При насыщенности трещин водой в спектре сигнала появляются экстремумы и на частотах 200-700 Гц вплоть до основного экстремума и также без заметных изменений высокочастотной области (1000-2000 Гц).

Для визуализации материалов обработки данных сейсмоакустических зондирований были выбраны разрезы, построенные с использованием специального программного обеспечения по нормированным обращенным спектрам, которые достаточно полно отражают распределение нормированной спектральной плотности в направлении проектируемого тоннеля (рис. 1 в).

На основании совместного анализа геофизических и геологических материалов выявлен ряд аномалий разной природы. В целом, характер распределения нормированной спектральной плотности и остаточных аномалий электрометрии позволяет разделить изучаемый участок на два блока, граница между которыми расположена ориентировочно на пикете 1600 м. Так, северный участок (справа от границы) представлен, в отличие от южного, чередованием протяженных интервалов изменений спектральных характеристик по всей дальности сейсмоакустических исследований из тоннеля. В соответствии с имеющейся геологической информацией, участок профиля 1600-2150 м можно отнести к переслаивающимся отложениям тонкослоистых глин и глауконитовых песчаников (сюда приурочена низкоомная зона 1880-1950 м), интервал 2400-2700 м - к песчаникам с прослоями аргиллитов, которых далее сменяют глинистые отложения с небольшими прослоями песчаников (низкоомная зона 2780-2980 м). Практическое значение имеет участок резкого смещения главного спектрального экстремума в сторону низких частот на пикетах 2410-2530 м (см. рис. 1 в), что в сочетании с «тектонической» аномалией электрометрии с учетом падения пород позволяет прогнозировать здесь зону нарушенных обводненных пород. Не менее важный интерес представляют также интервалы профиля 420-540 м и 1180-1430 м, на которых наблюдаются низкоомные аномалии и области низкой добротности главного экстремума сейсмического сигнала.



**Результаты геофизических исследований по трассе тоннеля между нефтебазами «Шехарис»-«Грушовая»:** а) - разрез перекрывающей толщи; б) - график остаточных аномалий электрометрии; в) - спектральный разрез

Отметим, что второй участок характеризуется также (по данным сейсмоакустики) ослабленными механическими контактами железобетонной обделки тоннеля с вмещающими породами

В последующем результаты геофизических исследований были подтверждены бурением

разведочных скважин с поверхности и ремонтными работами в тоннеле.

Таким образом, приведенные результаты исследований показывают, что достоверный и оперативный прогноз условий строительства подземных сооружений и тоннелей в частности возможен лишь при реализации и комплексировании геофизических методов. При этом значительно снижается риск аварийных ситуаций, а стоимость строительства увеличивается несущественно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Золотарев Г.С. Вопросы инженерно-геологических исследований для проектирования и строительства подземных сооружений в горно-складчатых областях //Тр. Гидропроекта. – 1974. - Вып. 36.
2. Глушко В.Т., Ямицков В.С., Яланский А.А. Геофизический контроль в шахтах и тоннелях. – М.: Недра, 1987. – 278 с
3. Тиркель М.Г. Применение сейсмоакустических методов прогноза для решения задач горного про-

изводства и строительства//Науковий вісник Національного гірничого університету. Науково-технічний журнал. – Дніпропетровськ, 2003. - №6. – С. 12–15.

4. Гликман А.Г. О физических принципах спектральной сейсмозаземки//Геология, геофизика и разработка нефтяных месторождений. Научно-технический журнал. – Москва, 1998. - №12. – С. 19–24.

## Коротко об авторах

Туманов Виктор Владимирович – зав. отделом эколого-геофизических исследований,  
Компанец Александр Иванович – зав. лабораторией геофизических исследований,  
Архипенко Александр Иванович – зав. сектором приборостроения,  
УкрНИМИ, г. Донецк, Украина.