

УДК 556.3

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ТРАСС ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ ТОННЕЛЕЙ
В ГОРНО-СКЛАДЧАТЫХ РАЙОНАХ

С. С. МАНУКЯН *

Кафедра геофизики ЕГУ, Армения

В работе выполнен анализ работ по исследованию трасс гидротехнических тоннелей в горно-складчатых областях с применением комплекса геофизических методов. Это позволит обобщить решаемые задачи и определить методику проведения указанных исследований.

Keywords: hydrotechnical tunnel, geophysical method, mountain-fold area.

Введение. Известно, что образование горно-складчатых областей является закономерной стадией развития подвижных зон земной коры. Кроме складок эти области характеризуются также наличием тектонических нарушений, региональным метаморфизмом пород, усиленным проявлением магматической деятельности. Тектонические нарушения, особенно крупные, постоянно сопровождаются участками и зонами милонитизации, брекчирования и дробления пород. При выборе трасс гидротехнических тоннелей явление расчленения скальных и полускальных пород на тектонические блоки имеет большое значение в связи с образованием участков и зон разрушения пород, которые могут являться причиной их малой устойчивости, большой деформируемости, местного повышения сейсмичности, сосредоточенной фильтрации воды и их большой обводненности. Указанные особенности инженерно-геологического и гидрогеологического строения горно-складчатых областей необходимо выявить уже на стадии проектно-изыскательских работ любых подземных горных сооружений. В комплекс исследуемых методов при решении указанных задач особое место занимают геофизические методы.

Опыт применения геофизических методов. При строительстве гидротехнических тоннелей в горно-складчатых районах, которые часто являются и сейсмически опасными территориями (как, например, в Армении), необходимо выполнять детальные инженерно-геологические работы и сейсмическое микрорайонирование как на стадии проектирования, так и в ходе строительства объектов. Опыт показывает, что при этом полевые геофизические исследования на стадии проектирования тоннелей используются для детального литологического картирования территории, определения

* E-mail: manoukyansargis@gmail.com

глубин залегания коренных пород и мощностей наносных образований, выявления контактов тектонических нарушений, зон трещиноватостей, обводненности пород и оценки сейсмогеологических условий. Опыт проведенных целевых работ в отдельных странах показывает следующее. При строительстве *Северо-Муйского* тоннеля БАМ (РФ) основной проблемой стало выявление локальных тектонических нарушений, которые являлись помехой при проходке тоннеля (А.П. Иваненкова, А.П. Карасев; 2009) [1, 2]. По результатам магниторазведки, структура магнитного поля оказалась сложно интерпретируемой. Четко картировались лишь мощные и протяженные тектонические нарушения и отдельные блоки пород. С целью решения задачи по выделению близповерхностных локальных разломов дополнительно были проведены исследования методом естественного электрического поля в динамическом варианте, которые проводились в течение суток с временным интервалом 2 ч. Установление динамики естественного электрического поля позволило картировать энергоактивные тектонические нарушения, характеризующиеся современной тектонической активностью.

На первом этапе изысканий при строительстве тоннеля *Адлер-горно-климатический курорт “Альпика-Сервис”* (РФ) изучались инженерно-геологические и гидрогеологические условия района с целью определения возможного распространения опасных геологических процессов [3, 4]. Оценивались состояние массива (особенно его геодинамический характер), тектонические нарушения горных пород, активность и направленность тектонических движений. Полевые исследования включали сейсморазведку, сейсмоакустику, электроразведку и сверхширокополосное георадиозондирование. На основании выполненных комплексных работ решены следующие задачи: расчленение геологического разреза по физическим параметрам, картированы тектонические нарушения и зоны повышенной трещиноватости, оценена обводненность пород, выявлены зоны ослабления и поверхностей скольжения на оползневых участках, оценена геодинамическая активность оползней, а также составлена карта сейсмического микрорайонирования по трассе тоннеля. По результатам проведенных комплексных работ проведена оценка и получено представление об инженерно-геологических условиях трассы тоннеля.

Сравнительно детальные геофизические исследования были проведены вдоль трассы *Рокского* тоннеля (РФ) [5–7]. Использовался комплекс сейсморазведки и геолокационного зондирования. На первом этапе выполнено детальное изучение пород вдоль трассы тоннеля, в результате чего дифференцирован разрез трассы на отдельные блоки, отличающиеся по литологическому составу, структурно-тектоническим особенностям, физическим параметрам, гидрогеологическим условиям. На втором этапе каждый обособленный блок исследовался сейсмическим методом для определения упругих свойств пород (Павленкова, Смелянская; 1969). На основании этих данных вычислены физико-механические характеристики выделенных пород и блоков. Данные частотного спектра сейсмических записей использовались для выделения спектральных особенностей различных тектонических блоков и прогнозирования среди них интервалов с аномальным горным давлением (Берзон; 1957). Исследования были проведены методом геолокационного зондирования и различными модификациями сейсмических наблюдений. По данным

упругих свойств разреза рассчитаны инженерно-геологические свойства среды, ее плотность и упругие параметры. Физико-механические параметры разреза, характеризующие геотектонические условия, определены на основании известных математических соотношений упругих параметров среды и ее механических свойств. Для детального исследования межскважинного пространства широко применялись разные модификации геофизических методов. Одним из наиболее результативных является резонансно-акустический метод контроля. Метод основан на использовании явления акустического резонанса. Причиной возникновения резонанса является наличие в массиве различных границ (областей ослабленных механических контактов) между слоями. Проведенным комплексом геофизических исследований удалось решить структурно-тектонические и геотехнические задачи, что позволило техническим службам предусмотреть мероприятия при реконструкции и возможные осложнения геотектонического характера в процессе дальнейшей эксплуатации комплекса.

При исследовании трассы тоннеля *Аландсас* (Швеция) использованы методы электрического сопротивления: комбинированного профилирования и зондирования (ВЭЗ) (Dahlin T., 1996, 1998, 1999). В результате получены данные вариаций электрического сопротивления пород вдоль трассы, в частности выделены зоны низких электрических сопротивлений. В отдельных участках установлены высокие электрические сопротивления пород, что особо характерно для зон трещиноватых скальных образований. Сравнение полученных результатов с данными буровых работ показало, что метод электрического сопротивления дает представление о структуре и изменениях плотности пород исследованной трассы.

При исследовании трассы тоннеля *Гуадарамма* (Испания) использовался комплекс геофизических методов (Galera J.M., Peral F. Rodriguez A., 2004): томография электрического сопротивления, 3D-интерпретирование томографии электрического сопротивления, межскважинная сейсмическая томография. В результате этих исследований выявлены разрывные нарушения и зоны высокой трещиноватости пород.

Геофизические изыскания при исследовании трассы тоннеля *Телангана* (Индия) выполнены методами ВЭЗ и электропрофилирования. В целом выявлены ослабленные зоны и контакты блоков пород (Rahul M.S., 2014).

Для исследования геологического разреза трассы тоннелей *Мае Нгад–Мае Куанг* (Таиланд) были проведены следующие изыскательские работы (Marions E., Benissi P., 1998): пройдены 28 буровых скважин, выполнено сейсмическое профилирование и зондирование. Литология района представлена интрузивными гранитоидами триасового периода и кислыми магматическими породами пермского периода, встречаются также известняки и сланцы. Исходя из данных проведенных работ выбрана оптимальная трасса для минимизирования риска при проходке тоннеля.

Тоннель *Кол ди Тенда* является самым важным тоннелем в Альпах, он соединяет город Империя (Италия) с Ниццей (Франция) (Bieniawski Z.T., 1993). Литология района представлена известняковыми глинами, известняками и конгломератами. Для выяснения структуры горных пород по трассе тоннеля проведена сейсморазведка и электропрофилирование. Глубина

исследований 200–300 м. В результате выполненных работ выявлены разрывные нарушения района, а также установлен литологический состав пород трассы.

В ходе изысканий трассы тоннеля *Кэпитал Хилл* (Канберра, Австралия) использованы методы сейсморазведки и электроразведки (Jesson E.E., Kevil L., 1962). Получена детальная информация о состоянии пород, в частности о мощности выветренной зоны (около 30 м), составлены литологические разрезы трассы.

При проектировании тоннеля *Корк* (Ирландия) исследованы следующие параметры пород трассы [1]: толщина покрывающего слоя, глубинная литология коренных пород. Для решения этих задач использовался комплекс следующих изысканий: буровые скважины, метод 2D-электросопротивления, геофизические исследования с помощью вертолета, радиолокационная интерферометрия, рефракционное сейсмическое моделирование.

Метод *двухмерного электросопротивления* дал информацию о физической характеристике пород. Глубина исследования достигала 120 м.

Геофизические исследования с помощью вертолета дали данные о магнитных, радиометрических и электромагнитных свойствах пород. По аномальным данным установлены разрывные нарушения и ослабленные зоны.

Радиолокационная интерферометрия является методом для изучения просадок в ходе строительства тоннеля с использованием данных спутников. При этом получены данные о вертикальных перемещениях блоков пород.

Методом *сейсмического профилирования* получены данные о скоростях распространения сейсмических волн в породах трассы тоннеля, обусловленных изменениями их плотностных характеристик и водоносности.

В Республике Армения были проведены геофизические исследования вдоль проектируемой трассы тоннеля по переброске стока р. Воротан в бассейн р. Арпа (ИВПиГ 1979 г.). Геофизические работы проведены с целью изучения геологического строения трассы, в частности для выделения отдельных литологических разностей пород, установления их прослеживаемости, мощности и наличия контактов разнородных пород. Для стадии ТО получена объективная информация для межскважинных участков, составлены инженерно-геологические разрезы трассы тоннеля. Глубина геофизических исследований определялась глубиной будущего тоннеля и составляла от 50–60 до 150–200 м. При проведении полевых работ использовались следующие модификации электроразведки: методы вертикального электроразведывания, электропрофилирования и метод радиокип. В целом установлено, что разрез трассы довольно сложный – она проходит, в частности, по диатомитовым глинам, иногда с прослоями песка и гравия, по порфиритовым туфобрекчиям и интрузивным породам (габбро, габбро монцонитам).

Выводы и рекомендации. Обобщение и анализ результатов выполненных в разных странах геофизических работ при строительстве гидротехнических тоннелей, в особенности в горно-складчатых районах, позволяет сделать следующие основные выводы и предложения в отношении поставленных задач и методики выполнения полевых геофизических исследований. Основными задачами на стадии проектирования и в ходе строительства гидротехнических тоннелей являются:

- выполнение на первой стадии сейсмического микрорайонирования территории;

- проведение детального литологического картирования участка для определения глубин залегания коренных пород и мощностей покровных образований;

- выявление тектонических нарушений, зон трещиноватостей, обводненности и оценка сейсмогеологических условий.

Указанные исследования в частности необходимо выполнить вдоль проектируемой трассы тоннеля и обязательно по двум профилям: параллельному ей и отстоящему от нее на расстояние, несколько меньшее глубины тоннеля.

Исходя из современного состояния развития геофизических методов и в зависимости от ожидаемых геологических условий рекомендуется применение следующего комплекса методов:

- для картирования приповерхностных отложений – метод естественного электрического поля, комбинированное электропрофилеирование, георадиолокация и, возможно, радиокип.

- для глубинного объемного картирования до уровня оси тоннеля – использование дипольного и сплошного электрического зондирования на постоянном токе, а на переменном токе – зондирование методом становления поля, в обязательном порядке также модификации сейсморазведки (в том числе сейсмотомографию) и, возможно, магниторазведку.

По мере проходки тоннеля в комплексе инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий мы рекомендуем использование также геофизических методов подземной геофизики для решения следующих задач: проверка и уточнение геолого-геофизического строения участка; изучение окрестностей выработок на расстояния от нескольких метров до нескольких десятков метров для выяснения литологии, обводненности, трещиноватости пород и оценки горнотехнических свойств грунтов, окружающих тоннель; проведение опережающих исследований перед забоем тоннеля, а также для изучения крепости пород и их устойчивости. Указанные задачи в ходе строительства тоннелей решаются комплексом методов: электроразведка в разных модификациях, сейсморазведка и ультразвуковые наблюдения, возможно сейсмоакустическое прослушивание шумов за забоем выработки.

Поступила 31.05.2017

ЛИТЕРАТУРА

1. **Redpath B.B.** Seismic Refraction Exploration for Engineering Cite Investigations. U.S. NTIS, Dept. of Commerce, 1973.
2. **Огильви А.А.** Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990, 501с.
3. **Островский А.Б.** и др. Отчет о результатах инженерно-геологической съемки масштаба 1:25000 Черноморского побережья Кавказа между гг. Туапсе и Анапа. ГФ ЦК ПГО, 1995.
4. **Боголюбов А.Н., Зыков Ю.Д.** и др. К вопросу о связи между геофизическими и инженерно-геологическими параметрами грунтов. // Тр. ПНИИИС, 1976, вып. 51, с. 46–62.
5. **Ляховицкий Ф.М., Хмелевской В.К., Яценко З.Г.** Инженерная геофизика. М.: Недра, 1989, 252с.
6. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. М.: Недра, 1985.
7. **Хмелевской В.К.** Опережающая электрическая разведка проходки тоннелей методом ВЭЗ. // Горный журнал, 1984, № 11, с. 7–11.

Ս. Ս. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ԵՐԿՐԱՑԻՋԻԿԱԿԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄԸ
ԼԵՌՆԱԾԱԼՔԱՎՈՐ ԳՈՏԻՆԵՐՈՒՄ ՋՐԱՏԵԽՆԻԿԱԿԱՆ
ԹՈՒՆԵԼՆԵՐԻ ՍԱՅՐՈՒԴԻՆԵՐԻ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅԱՆ ԺԱՍԱՆԱԿ

Ա մ փ ո փ ո մ

Աշխատանքում վերլուծվել են լեռնաձաքավոր գոտիներում ջրատեխնիկական թունելների մայրուղիների հետազոտության ժամանակ, երկրաֆիզիկական կոմպլեքս եղանակի կիրառմամբ կատարված աշխատանքները: Դա թույլ կտա ընդհանրացնել առաջացած խնդիրները և որոշել նշված հետազոտությունների մեթոդիկան:

S. S. MANUKYAN

GEOPHYSICAL METHODS APPLICATION
AT THE INVESTIGATION OF HYDROTECHNICAL TUNNELS TRACES
IN MOUNTAIN-FOLDED AREAS

Summary

In the article multiple examples of geophysical investigations in mountain-folded areas for hydrotechnical tunnel constructing are analyzed. Mountain-folded areas have difficult structure and for investigations is required a special complex of geophysical methods.