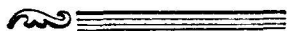


Вестник МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА



№ 2 — 1966



УДК 624.131.1 (477.95)

В. К. ХМЕЛЕВСКОЙ

ОПЫТ ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ КРЫМСКОГО ТОННЕЛЯ

При строительстве одного из тоннелей в Крыму решено приступить к строительству тоннеля без предварительных инженерно-геологических изысканий, заменив последние непрерывной опережающей геолого-геофизической разведкой. Этим было достигнуто по крайней мере трехкратное снижение стоимости инженерно-геологических изысканий, сокращение на один-два года сроков строительства и вместе с тем получение достаточно точных сведений о геологическом строении, обводненности, инженерно-технических и прочностных свойствах, температурном режиме и газоносности пород, что способствовало безаварийной проходке тоннеля.

Подобная опережающая разведка проходки тоннеля является одним из первых примеров в мировой практике тоннелестроения.

Геолого-геофизические изыскания в районе трассы тоннеля проводились в течение четырех лет комплексной партией, причем геолого-гидрогеологическое обслуживание осуществлялось сотрудниками Института минеральных ресурсов (г. Симферополь) под руководством Б. Н. Иванова, а геофизическая разведка — силами сотрудников и студентов кафедры геофизики геологического факультета Московского университета под руководством автора.

Некоторым результатам геофизической разведки в зоне Крымского тоннеля посвящена данная работа.

В геологическом отношении зона тоннеля расположена в синклинии юго-западного Крыма и сложена карбонатной верхнеюрской толщей (верхний структурный комплекс) и песчано-сланцевой толщей средней юры и таврической серии ($T_3 + I_1$) (нижний структурный комплекс). Трасса тоннеля с севера и юга проходит по песчано-сланцевым, а в центре по карбонатным породам.

Сложные условия рельефа, малая геологическая изученность, закарстованность и возможная обводненность при высоких гидростатических напорах вод — вот, что было известно о трассе тоннеля перед началом строительства.

Разведка трассы обычными методами потребовала бы бурения ряда скважин, в том числе нескольких глубиной до километра в извест-

няках высокой крепости при очень сложных условиях доставки оборудования к месту работ. Этого удалось избежать благодаря применению геофизических методов исследования вместе с детальными геологической, карстологической и гидрогеологической съемками и документацией проходки тоннеля.

Перед геофизическими исследованиями, проводимыми в зоне тоннеля в процессе его строительства, стояли следующие задачи: 1) изучение местоположения кровли песчано-сланцевого водоупора, 2) расчленение верхнеюрской карбонатной толщи и выявление зон тектонических нарушений для построения геолого-структурной карты и геологического разреза трассы тоннеля; 3) изучение трещиноватости, крепости и обводненности пород; 4) опережающая геофизическая разведка проходки тоннеля и выдача прогнозов геологического строения трассы тоннеля на несколько десятков метров перед забоем.

Выполнение поставленных задач осуществлялось путем проведения широкого комплекса геофизических методов исследования.

В начале работ в опытным порядке опробовались практически все геофизические методы и изучались физические свойства пород, а в дальнейшем применялись лишь те методы, которые решают поставленные задачи.

В ходе работ разрабатывались новые варианты геофизических работ, велись теоретические расчеты, моделирование и разработка новых способов интерпретации данных геофизической разведки и учета искажающего влияния рельефа.

Сведения о физических свойствах пород района, полученные как по литературным данным, так и по результатам геофизических исследований с поверхности, в тоннеле и в двух неглубоких скважинах, пробуренных вблизи северного портала, а также испытаний образцов приводятся в таблице.

Т а б л и ц а

Физические свойства пород зоны тоннеля

Порода	Средняя плотность, г/см ³	Удельное электрическое сопротивление, ом·м	Скорость распространения упругих волн, км/сек
Верхнеюрские известняки	2,60	100—5000 (средние 500—1000)	4—5
Верхнеюрская карбонатная брекчия (переслаивание песчаников, конгломератов, известняков, цементированных глинистым материалом)	2,60	50—400 (средние 200—300)	3—4
Среднеюрские песчаники и аргиллиты	2,58	30—100	3—4
Среднеюрские алевролиты и сланцы	2,55	10—50	2—3
Породы палеозойского фундамента	> 2,60	> 100	—

П р и м е ч а н и е. Породы района работ практически немагнитны.

Из таблицы видно, что плотностные и магнитные свойства разных пород мало отличаются друг от друга, поэтому, по данным гравиметрической и магнитной съемки как на поверхности, так и в тоннеле, аномалий нет.

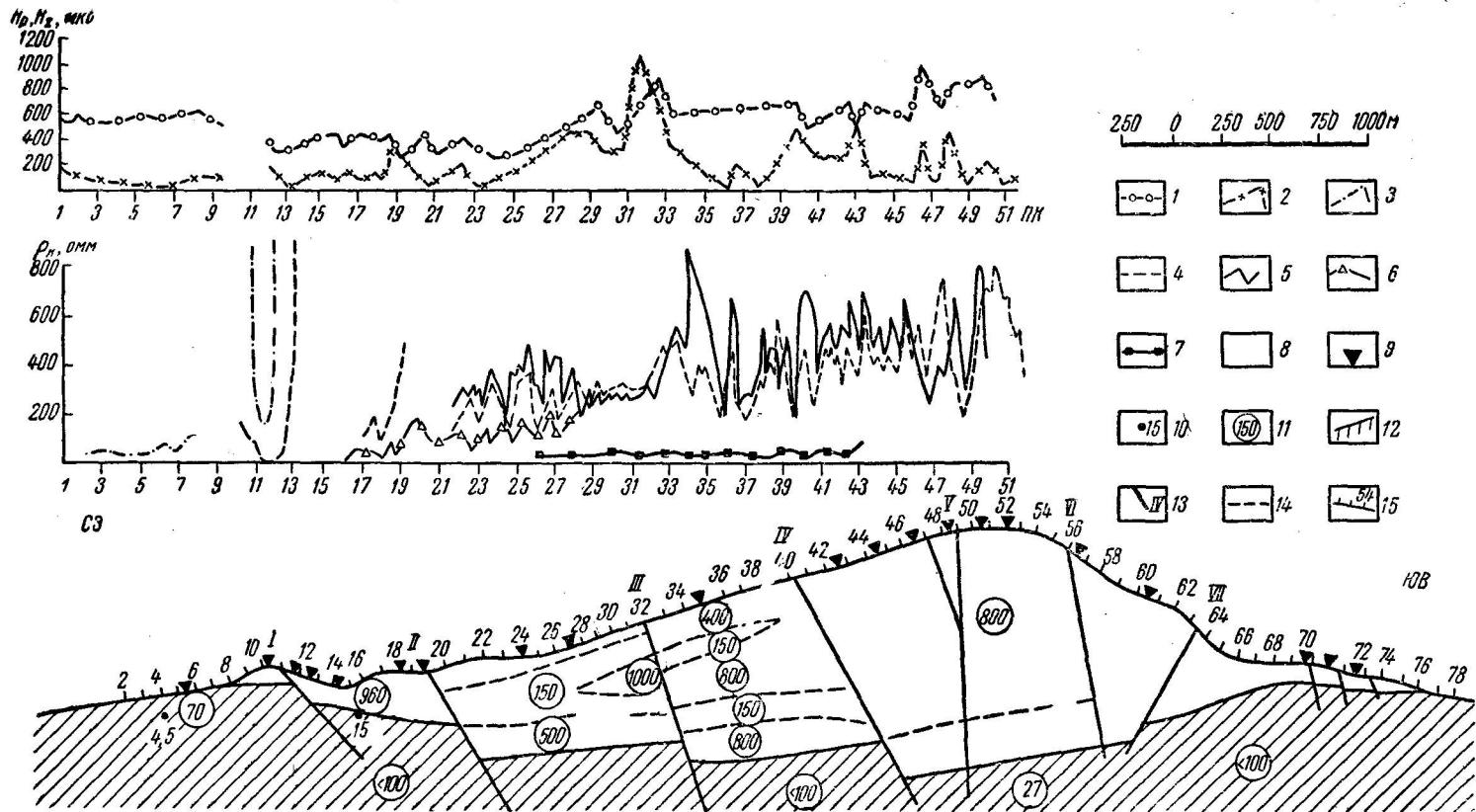


Рис. 1. Геолого-геофизический разрез: 1 — график изменения напряженности горизонтальной составляющей радиополя; 2 — график изменения вертикальной составляющей радиополя; графики кажущихся сопротивлений, полученные по данным электропрофилеирования с разносами: 3 — АВ=250 м; 4 — АВ=600 м; 5 — АВ=1200 м; 6 — АВ=4300 м; 7 — АВ=7200 м; 8 — верхнеюрские карбонатные породы; 9 — точки электрических зондирований на поверхности; 10 — некоторые подземные электрические зондирования в тоннеле; 11 — удельные электрические сопротивления пород, ом·м; 12 — поверхность среднеюрской песчано-сланцевой толщи водоупора; 13 — зоны тектонических нарушений; 14 — основные границы геозлектрических горизонтов; 15 — точки геофизических наблюдений на поверхности

Как отмечалось выше, в тоннеле за точкой 15 располагались верхнеюрские карбонатные породы, сложенные известняками и карбонатной брекчией.

Глубина залегания кровли песчано-сланцевых отложений под карбонатными породами определялась с помощью электрических зондирований как с поверхности земли, так и из тоннеля. Причем для учета искажающего влияния рельефа вертикальные зондирования проводились по нескольким азимутам, а дипольные зондирования на хребте выполнялись двумя установками: осевой и экваториальной [3, 4].

Примером определения глубины залегания песчано-сланцевых пород под выработкой является зондирование в тоннеле (рис. 2, ПЭЗ-17). Судя по этой кривой, известняки, пройденные выработкой, имеют удельное электрическое сопротивление около $300 \text{ ом} \cdot \text{м}$ (начальное сопротивление занижено за счет разрыхления и увлажнения пород в процессе строительства с помощью взрывных работ, т. е. первый горизонт на кривой характеризует ослабленную зону вокруг выработки). Примерно в 10 м под выработкой расположены песчано-сланцевые породы, о чем свидетельствует понижение сопротивлений на правой ветви кривой.

Верхнеюрские карбонатные породы в зависимости от состава, трещиноватости и обводненности обладают удельным электрическим сопротивлением от 150 до $1000 \text{ ом} \cdot \text{м}$, скоростью распространения упругих продольных волн от 3 до 5 км/сек , отличаются хорошей температуропроводностью (термический градиент $1-1,5^\circ\text{C}/100 \text{ м}$).

По данным электропрофилеирования с разными разносами, радиокомпарационных наблюдений и зондирований, по северному склону в зоне тоннеля выявлено несколько тектонических нарушений (рис. 1). Так, в районе пк 19 имеется аномалия типа «контакта» радиокомпарационного метода (максимум вертикальной составляющей радиополя, перегиб горизонтальной составляющей). В районе пк 19—20 наблюдается перегиб графиков ρ_k электропрофилеирования с разными разносами, свидетельствующий о наличии контакта пород с разными электрическими свойствами. По зондированиям в районе пк 12—19 песчано-сланцевые породы залегают метров на 200 выше, чем на пк 20—24. Это и позволяет выделить здесь региональный сброс, наклоненный к югу с опущенным южным крылом.

Как видно из рис. 1, на пк 19—28 графики сильно изрезаны. Такое непостоянство сопротивлений как по простиранию, так и с глубиной объясняется непостоянством литологии, раздробленностью, закарстованностью и увлажненностью пород. Трещины заполнены либо глинистым материалом, либо водой, поэтому зоны трещиноватости выделяются минимумами кажущихся сопротивлений. В этом интервале наблюдается частая смена пород (известняки, песчаники, аргиллиты), сильная трещиноватость и обильная увлажненность, что и подтвердило прогноз. Из-за увлажненности выработки начальные сопротивления по зондированиям небольшие ($30-100 \text{ ом} \cdot \text{м}$), но в нескольких десятках метров от выработки чувствуется влияние высокоомных известняков. Так, по ПЭЗ-26 (рис. 2) известняки расположены примерно в 15 м от оси выработки.

На пк 28—33 по электропрофилеированию ρ_k практически постоянно по профилю при разных длинах питающей линии, что свидетельствует об однородности этого участка, слабой нарушенности и обводненности. Проходка подтвердила этот прогноз: в указанном интервале породы слабо трещиноваты, а водопритоки практически отсутствовали.

Новое крупное нарушение (сброс), по данным наземной геофизической съемки, выделяется в районе пк 32. Здесь наблюдается «клас-

мощью которых удалось оценить положение кровли песчано-сланцевой толщи и выявить основные зоны нарушений.

В интервале пк 65—78 ставились многоазимутальные трехэлектродные зондирования. Интерпретация усредненных кривых этих зондирований, несмотря на сильное искажение рельефом и блоковым строением участка, позволила вместе с геологическим картированием дать прогноз строения этого участка, который вполне удовлетворительно подтвердился последующей проходкой.

Таким образом, опыт опережающей геолого-геофизической разведки Крымского тоннеля оказался вполне эффективным и может быть рекомендован для строительства тоннелей и иных горных выработок. Примененный комплекс геофизических методов исследования (наземных и подземных) вместе с геолого-гидрогеологической документацией выработки и геолого-карстологической съемкой позволил прямо в процессе строительства выдавать материал для составления рабочих чертежей выработки, минуя стадию технического проектирования, и вести опережающую разведку литологии пород, их обводненности и инженерно-технических свойств, что способствовало удешевлению и ускорению строительства.

Полученный геофизический материал в связи с уникальностью тоннеля является достаточно ценным для дальнейшего изучения Горного Крыма. Он позволил решить ряд важных геологических проблем для Крыма, таких, как оценка глубины залегания палеозойского фундамента (она равняется 4000—4500 м), определение положения кровли песчано-сланцевой толщи вдоль зоны тоннеля, выявление блокового строения верхнеюрской карбонатной толщи и картирование ряда сбросов, трещиноватых, закарстованных и обводненных зон.

Опыт систематических подземных геофизических работ, проводимых непрерывно в процессе строительства тоннеля, показывает, что электроразведка может быть применена для обследования окрестностей горных выработок с целью инженерно-геологической документации выработки, изучения литологии и обводненности пород в радиусе до 100 м и опережающей разведки перед забоем на расстояние до 100 м, а микросейсморазведка может быть применена не только для инженерно-геологической документации, но и для оценки прочностных и инженерно-технических свойств пород методами гораздо более быстрыми и дешевыми, чем применяющиеся в настоящее время.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелевской В. К. Методы подземной электроразведки. «Геофизические исследования», сб. 1. Изд-во МГУ, 1964.
2. Хмелевской В. К. Основы теории подземных электрических зондирований. «Геофизические исследования», сб. 1. Изд-во МГУ, 1964.
3. Хмелевской В. К. Дипольные зондирования вдоль вершины хребта. «Разведочная и промысловая геофизика», 1962, № 44.
4. Хмелевской В. К., Огильви А. А., Либерман А. А. Особенности вертикального геоэлектрического разреза Ялтинского и Ай-Петринского горных массивов. «Труды Комплексной карстовой экспедиции АН УССР», вып. 1. Изд-во АН УССР, Киев, 1963.
5. Хмелевской В. К., Фролов А. Д. Измерение напряженности радиоволнового поля широкополосных станций для геологического картирования. «Разведка и охрана недр», 1958, № 5.

Поступила в редакцию
24. 12. 1964 г.

Кафедра
геофизики