УДК 550.837.76+624.19

А.М. Дерюга, А.В. Набокин

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ ТОННЕЛЯ, ПОГРЕБЕННОГО ЛЕДНИКОМ

Работы проводились с помощью георадара «Грот-10». При этом использовались дипольные широкополосные антенны с центральной частотой 100 МГц. Георадаром измеряется скорость электромагнитных волн $v_{\text{эм}}$ в льдогрунтовой массе, и затем вычисляется параметр ϵ' .

Получаемые в ходе георадарной съемки радарограммы, представляющие собой временные разрезы, преобразовывались в глубинные разрезы, отображающие строение пространства, располагающегося ниже земной поверхности.

Расстояние от нижней площадки до погребенной горной дороги рядом с северным порталом тоннеля — 78,5 м (профиль 1), а от верхней площадки 84,5 м (профиль 2).

Позднее, при проходке скважины диаметром 1,2 м было определено расстояние по вертикали от верхней площадки, где проводились георадиолокационные работы, до дорожного покрытия тоннеля, составившее 83 м, т.е. расхождение данных бурения и георадиолокации всего 1,5 м. Таким образом, результаты георадиолокационных исследований помогли работающим на леднике своевременно сделать правильный вывод о местоположении и глубине залегания тоннеля.

Ключевые слова: георадиолокация, тоннель, георадар, сход ледников, радарограмма, льдогрунтовая масса, Республика Северная Осетия — Алания, Геналдон.

USING GROUND PENETRATING RADAR TO DETERMINE THE TUNNEL LOCATION BURIED UNDER THE GLACIER

The works were carried out with the help of ground penetrating radar "Grot-10". Doublet broadband antennas with the central frequency of 100 MHz were used. Georadar measures the speed of EM waves v_{em} in ice-saturated soil and then the value ϵ' is calculated.

The radargrams received as a result of georadar survey, which represents stacked data (the two-way time is indicated on vertical scale), were transformed into depth sections, which reflect the space structure located below ground.

The distance between the bottom landing and buried mountain road near the north tunnel portal is 78,5 m (profile # 1), and the distance from the upper landing is 84,5 m (profile no. 2).

Later, in the April 2003 during the hole boring with the diameter 1,2 m the vertical distance between the upper landing, where ground penetrating works were carried out, and the carpet road of the tunnel was calculated. This distance appeared to be 83 m, that means, the discrepancy between boring and georadar data (84,5 m) was only 1,5 m. Thus, the results of ground penetrating investigations helped the workers of glacier to make the correct conclusion on time about the location and burial depth of the tunnel.

Key words: ground penetrating radar, location, tunnel, georadar, glacier surge, radargram, ice-saturated soil, the Republic of North Ossetia — Alania, Genaldon.

Ледники Майли и Колка находятся в восточной части центрального Кавказа (республика Северная Осетия — Алания) и выходят на бассейн р. Геналдон. Сход этих ледников произошел 20 сентября 2002 г. (рис. 1—4). В результате льдогрунтовая масса, состоящая из спрессованного снега, льда и обломков горных пород, заполнила долину р. Геналдон на протяжении 15 км. Из-за сужения Геналдонского ущелья у так называемых Кармадонских ворот — двух скал с почти вертикальными склонами, значительная часть объема льдогрунтовой массы накопилась именно здесь, завалив три автодорожных тоннеля, проходящих в ущелье. Мощность слоя льдогрунтовой массы достигала 100 м. Прорвавшаяся дальше масса — уже только селевой поток, пошла вниз по ущелью, накрыв с. Нижний Кармадон, и остановилась примерно в 10 км от Владикавказа. Так как было известно, что в день схода ледника в ущелье находилась группа людей, то вскоре начались их поиски. Поиски было решено сосредоточить над одним из трех тоннелей, находящихся в данном районе.

Рис. 1. Северный портал тоннеля за несколько дней до схода лавины

Рис. 2. Ледник Майли в центральной части

Рис. 3. Фотография места трагедии с вертолета И.В. Галушкина 06.10.2002 г. Стрелками показаны направления движения селевого потока

Рис. 4. Геналдонское ущелье. Скалы, срезанные селевым потоком в 2002 г. Фото И. Короткого, 05.11.2010

Предполагалось, что внутри этого тоннеля могли укрыться люди, находившиеся в момент стихийного бедствия в непосредственной близости от него. Действительно, если допустить, что льдогрунтовая масса была не очень текучей, она могла не полностью заполнить тоннель. Таким образом, в тоннеле могли остаться воздушные полости, в которых могли находиться живые люди или по крайней мере их тела. В связи с тем, что льдогрунтовая масса лавины двигалась со стороны южного портала, было решено сосредоточить поисковые работы рядом с входом в северный портал тоннеля. По просьбе МЧС России, проводившей поисковые работы в районе Геналдонского ущелья, группа специалистов ЗАО «Таймер» в начале октября 2002 г. проводила поиск погребенного тоннеля методом георадиолокации. К моменту прибытия группы на место работ над предполагаемым местом нахождения северного портала тоннеля спасатели уже делали большую воронку направленными взрывами, для того чтобы начать проходку шахты уже со дна этой воронки, а не с поверхности ледовой массы сократив таким образом объем работ. Так как георадиолокационные исследования подземных объектов с поверхности земли требуют, чтобы эта поверхность была сравнительно ровной, то работы пришлось проводить на месте, удаленном от воронки. Проводить георадиолокацию непосредственно над тоннелем было невозможно, так как погребенный ледником горный склон имел здесь слишком большую крутизну, из-за чего генерируемые георадаром радиоволны сильно отражались бы на границе льдогрунтовая масса — скала, а амплитуды отраженных от границы скала — свод тоннеля волн были бы настолько ослабленными, что могли быть неразличимыми. Поэтому пришлось проводить поиск уже не самого тоннеля, а его северного портала и погребенной дороги, подходящей к нему.

Георадиолокационные исследования и их предварительные результаты. Работы проводились с помощью георадара «Грот-10». При этом использовались дипольные широкополосные антенны с центральной частотой 100 МГц. Георадаром измеряется скорость электромагнитных волн $v_{эм}$ в льдогрунтовой массе, и затем вычисляется параметр ϵ' .

Так как поверхность льдогрунтовой массы была весьма неровной, то пришлось расчищать площадки для установки на них антенн (рис. 5). На двух различных по высоте участках (рис. 6) сделаны два профиля, показанные на рис. 7. На рис. 8 приведены осциллограммы радиосигналов георадара, на которых отчетливо видны сигналы, отраженные от границы льдогрунтовая масса — поверхность скалы.

Сразу на месте можно уже было утверждать, что найденный объект находится на глубине 75...90 м. Такая большая глубинность исследования была обеспечена благодаря тому, что льдогрунтовая масса слабо поглощает радиоволны, что позволяет им проходить большие расстояния с небольшим затуханием амплитуды сигнала.

Рис. 5

Рис. 6

Интерпретация радарограмм и определение величины ϵ' льдогрунтовой массы. Получаемые в ходе георадарной съемки радарограммы, представляющие собой временные (где на вертикальной шкале обозначено «двойное время пробега») разрезы, преобразовывались в глубинные разрезы, отображающие строение пространства, располагающегося ниже земной поверхности.

Из осциллограмм видно, что на временных отметках 850 нс (рис. 8, а, профиль № 1) и 915 нс (рис. 8, б, профиль № 2) регистрируются отраженные радиоволны. На профилях — радарограммах (см. рис. 7) эти радиосигналы достаточно устойчивые, т.е. на них прослеживаются линии синфазности радиоимпульсов. Разница между временами пробега радиоволн (65 нс) на этих радарограммах вызвана тем, что высоты площадок, на которых проводились исследования, различаются на 6 м. Учитывая, что на обеих радарограммах отразился один и тот же объект, а исследование его проводилось с разных высот, можно определить, что скорость распространения радиоволн $v_{\text{эм}}$ в льдогрунтовой массе составляет 18,46 см/нс, а действительная часть диэлектрической проницаемости $\epsilon' = 2,64$ ед.

Рис. 7

Рис. 8

Таким образом, расстояние от нижней площадки до погребенной горной дороги рядом с северным порталом тоннеля составляет 78,5 м (профиль № 1), а от верхней площадки 84,5 м (профиль № 2). Из литературы известно, что $v_{\text{эм}}$ в метровом диапазоне волн для пресноводного льда равна 17,3 см/нс ($\epsilon' = 3$) [1], 15,8 см/нс ($\epsilon' = 3,6$) [2], для пресноводного озерного льда 16,7 см/нс ($\epsilon' = 3,23$), речного 15,6...17,8 см/нс ($\epsilon' = 3,7... 2,84$), речного с примесью плотного снега 19,0 см/нс ($\epsilon' = 2,49$) [3], плотного снега ($\epsilon' = 1,5...1,9$) [4]. Стоит отметить, что значение ϵ' льдогрунтовой массы (2,64 ед.) больше похоже на ϵ' снега. Несколько пониженное

значение ϵ' исследуемой нами среды по сравнению со значениями ϵ' пресноводного льда, известными из литературы, можно объяснить тем, что льдогрунтовая масса на момент исследования ее георадаром еще не спрессовалась в плотный лед и при этом еще не начала сильно таять, а значит доля свободной воды ($\epsilon' \approx 80$ [1—5]) в ней была незначительной. В льдогрунтовой массе также присутствовало незначительное количество обломков горных пород, содержалась значительная доля снега, а значит и воздуха, диэлектрическая проницаемость которого равна 1, что в итоге понизило ϵ' льдогрунтовой массы.

Рис. 9. Схема таяния льдогрунтовой массы в Геналдонском ущелье по годам

Рис. 10. Строительство новой дороги в Геналдонском ущелье. Фото И. Короткого, 07.04.2012

Заключение. При проведении георадиолокационных исследований специалистами предполагалось, что отражение было получено от поверхности погребенной горной дороги (см. рис. 6). Позднее, в апреле 2003 г., при проходке скважины диаметром 1,2 м было определено расстояние по вертикали от верхней площадки, где проводились георадиолокационные работы, до дорожного покрытия тоннеля. Это расстояние составило 83 м, т.е. расхождение данных бурения с данными георадиолокации (84,5 м) составило всего 1,5 м. Таким образом, результаты георадиолокационных исследований помогли, работающим на леднике, своевременно сделать правильный вывод о местоположении и глубине залегания тоннеля.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Георадиолокационные исследования верхней части разреза. М. : МГУ, 1999.
2. Электрические характеристики систем горная порода — лед / В.В. Богородский, Г.В. Трепов, Б.А. Федоров, Г.П. Хохлов // ДАН СССР. 1970. Т. 190. № 1. С. 88—90.
3. Финкельштейн М.И., Мендельсон В.Л., Кутев В.А. Радиолокация слоистых земных покровов. М. : Советское радио, 1977.
4. Vickers R.S., Rose G.C. High resolution measurements of snowpack stratigraphy using a short pulse radar. In: Proc. VIII Internat. Symp. on Remote Sensing Envir., Res. Inst. Michigan., 1972. vol. 1.
5. Финкельштейн М.И., Кутев В.А., Золотарев В.П. Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии. М. : Недра, 1986.

REFERENCES

1. Vladov M.L., Starovoytov A.V. *Georadiolokatsionnye issledovaniya verkhney chasti razreza* [Ground Penetrating Radar for Investigating the Upper Part of the Profile]. Moscow, MGU Publ., 1999.
2. Bogorodskiy V.V., Trepov G.V., Fedorov B.A., Khokhlov G.P. Elektricheskie kharakteristiki sistem gornaya poroda — led [Electric Characteristics of the Systems Subsurface Rock — Ice]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Reports of the Soviet Academy of Sciences]. 1970, vol. 190, no. 1, pp. 88—90.
3. Finkel'shteyn M.I., Mendel'son V.L., Kutev V.A. *Radiolokatsiya sloistyx zemnykh pokrovov* [Radiolocation of Foliated Ground]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1977.
4. Vickers R.S., Rose G.C. High Resolution Measurements of Snowpack Stratigraphy Using a Short Pulse Radar. Proc. VIII Internat. Symp. on Remote Sensing Envir., Res. Inst. Michigan., 1972, vol. 1.
5. Finkel'shteyn M.I., Kutev V.A., Zolotarev V.P. *Primenenie radiolokatsionnogo podpoverkhnostnogo zondirovaniya v inzhenernoy geologii* [Using Radiolocation Subsurface Exploration in Engineering Geology]. Moscow, Nedra Publ., 1986.

Поступила в редакцию в октябре 2013 г.

Об авторах: **Дерюга Андрей Михайлович** — кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геологии и геоэкологии, **ФГБОУ ВПО «Московский государственный строительный университет» (ФГБОУ ВПО «МГСУ»)**, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, amd.geolog@mail.ru;

Набокин Андрей Владимирович — кандидат технических наук, инженер, **ЗАО «Таймер»**, Московская область, г. Троицк, ул. Лесная, д. 4 Б, rodhoor@rambler.ru.

About the authors: **Deryuga Andrey Mikhaylovich** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Engineering Geology and Geoecology, **Moscow State University of Civil Engineering (MGSU)**, 26 Jaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; amd.geolog@mail.ru;

Nabokin Andrey Vladimirovich — Candidate of Technical Sciences, engineer, **Closed Corporation “Timer”**, 4 B Lesnaya st., Troitsk, Moscow Region, Russian Federation; rodhoor@rambler.ru.

Для цитирования:

Дерюга А.М., Набокин А.В. Применение георадиолокации для определения местоположения тоннеля, погребенного ледником [Электронный ресурс] // Строительство: наука и образование. 2013. Вып. 3. Ст. 2. Режим доступа: <http://www.nso-journal.ru>.

For citation:

Deryuga A.M., Nabokin A.V. Primenenie georadiolokatsii dlya opredeleniya mestopolozheniya tonnelya, pogrebennogo lednikom [Using Ground Penetrating Radar to Determine the Tunnel Location Buried under the Glacier]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2013. no. 3, paper 2. Available at: <http://www.nso-journal.ru>.