

УДК 550.837.76 (470.21)

Подповерхностное георадарное зондирование горно-геологических сред Кольского полуострова

А.И. Калашник, Д.В. Запорожец, А.Ю. Дьяков, А.Ю. Демахин

Горный институт КНЦ РАН

Аннотация. В работе изложены методические подходы к проведению современных высокотехнологичных и информативных неразрушающих георадарных определений для целей подконтурного зондирования (профилирования) горно-геологических сред. Приведены результаты георадарных съемок на экспериментальных участках Хибинского и Ковдорского горнорудных районов, а также в переходной зоне "суша – водоем". Отличительной особенностью выполненных работ являлось получение результатов в режиме реального времени и с пространственной привязкой GPS.

Abstract. The paper deals with methodological approaches of carrying out advanced high-technological and informational non-destructive georadar measurements for the purpose of subcontour exploration (profiling) of mining-geological environment. The results of georadar surveys at experimental sites of Khibiny and Kovdor mining regions, as well as in transitional zone "land-water" have been given. The peculiar feature of fulfilled works was obtaining results in real time mode and using GPS system.

Ключевые слова: геологическая среда, приповерхностная структура, георадар, подповерхностное зондирование, радарограммы, интерпретация, геологические разрезы, оценка состояния

Key words: geological environment, subsurface structure, georadar, subsoil probing, radarograms, interpretation, geological profiles, assessment of condition

1. Введение

Подповерхностное зондирование горно-геологических сред с использованием радиолокационных комплексов (в общепринятой терминологии – георадара) основано на использовании классических принципов радиолокации (Владов, Старовойтов, 2005). Антенной георадара излучаются сверхкороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды) длительностью 1.0-1.5 периода квазигармонического сигнала и с достаточно широким спектром излучения. Центральная часть сигнала определяется типом антенны. Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью георадара. Для формирования зондирующих импульсов используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжений (ударный метод возбуждения).

Излучаемый в исследуемую среду импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается приемной антенной (рис. 1), усиливается в широкополосном усилителе и преобразуется в цифровой код для обработки. В результате обработки полученная информация отображается в виде волнового или плотностного профиля – радарограммы.

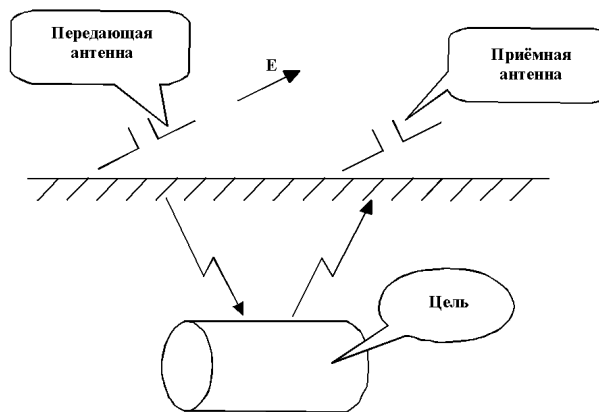


Рис. 1. Схема георадарных определений

2. Области применения

Георадарные определения в настоящее время получают широкое применение в различных областях, среди которых в первую очередь необходимо выделить геологию, горное дело, транспортное, промышленное и гражданское строительство, экологию и др.

В геологии применение георадарных определений позволяет строить геологические разрезы; определять положение уровня грунтовых вод, толщину льда, глубину и профиль дна рек и озёр; определять границы распространения полезных ископаемых, положение карстовых воронок и пустот; выявлять локальные проявления месторождений полезных ископаемых.

Для задач горного дела почвенное зондирование с помощью георадарных комплексов дает возможность: обследовать борты, уступы и бермы в карьерах; кровлю, потолочины и целики в

подземных горных выработках; обнаруживать полости и кварцевые гнезда; выявлять природные и техногенные разрывные нарушения в законтурном массиве пород.

В транспортном строительстве: производить оценку оснований под транспортные сооружения; определять глубину промерзания в грунтовых массивах и дорожных конструкциях; определять содержание влаги в грунте земляного полотна и подстилающих грунтовых основаниях.

В промышленном и гражданском строительстве: определять качество и состояние бетонных конструкций (мостов, зданий и т.д.), состояние дамб и плотин; выявлять оползневые зоны, места расположения инженерных сетей (металлических и пластиковых труб, кабелей и других объектов коммунального хозяйства).

В экологии: производить оценку загрязнения почв; обнаруживать утечки из нефте- и водопроводов; обнаруживать места захоронения экологически опасных отходов.

3. Методика исследований

Методика георадарных определений включает в себя два основных способа георадарной съемки: профилирование и зондирование (Владов, Старовойтов, 2005). При профилировании георадар перемещается по линии (трассе), и при каждом измерении передающая и приемная антенны находятся в одной точке линии. При зондировании выбирается одна точка и далее приводится ряд регистраций отраженных сигналов при разносе антенн передатчика и приемника в разные стороны на равные расстояния.

Для проведения нижеизложенных исследований использовалось профилирование, так как экранированные антенны георадара содержат передающий и принимающий модуль типа "бабочка" в едином корпусе.

4. Цели (направления) исследований

В Горном институте КНЦ РАН развивается направление георадиолокационных исследований при помощи георадарного комплекса Ramac/GPR X3M, оснащенного экранированными антеннами 100, 500 и 800 МГц, что позволяет получать непрерывную информацию об основных элементах строения участков массивов горных пород с выделением (идентификацией) его аномалий (разрывные нарушения, полости, влагонасыщенные грунты и т.п.).

Задачи, решаемые с помощью георадара при освоении горнорудных месторождений, могут быть разделены на две категории с характерными для каждой приемами исследований, способами обработки, типами отображения объектов и представления результатов исследования.

К первой категории относятся геологические, гидрогеологические и инженерно-геологические задачи освоения месторождений горнопромышленного комплекса, такие как:

- получение информации об основных элементах строения породных массивов;
- определение состояния массивов пород, наличие зон естественной и техногенной трещиноватости, разрывных зон;
- определение состояния и структуры конструктивных элементов горных выработок: бортов и берм в карьерах, целиков и потолочин рудников.

Вторая категория задач включает в себя инженерные изыскания для строительства и реконструкции зданий, дорог, котлованов и других сооружений при освоении месторождений полезных ископаемых.

5. Результаты исследований

С применением георадарного комплекса Ramac/GPR X3M были проведены полевые георадиолокационные исследования:

1. В переходной зоне "береговой склон – крупномасштабный водоем" (полевые определения на озере Имандра, центральная часть Кольского полуострова). При этом во внимание принимались три группы основных задач: 1) геологические (уточнение литологии и структуры геологического разреза переходной зоны); 2) фазовые состояния флюидов (насыщенность грунтов, осадков, илов; толщина ледового покрова, мощность промерзания, наличие жидкой фазы, полостей, пор, трещин и т.п.); 3) поисковые (связанные с обнаружением и идентификацией искусственных (техногенных) объектов на дне водоемов, в осадочных слоях, илах и ледовом покрове).

Фрагмент георадиолокационного профиля, полученного с использованием комплекса Ramac/GPR X3M с экранированной антенной 100 МГц, представлен на рис. 2. Анализ полученных результатов позволяет выявить следующие особенности флюидосодержащей природной системы: толщина ледового покрова составляет около 1.5 м; на границе илистых отложений с водой отмечается резкая смена волновой картины, что дает возможность четко определить глубину водоема на исследованном

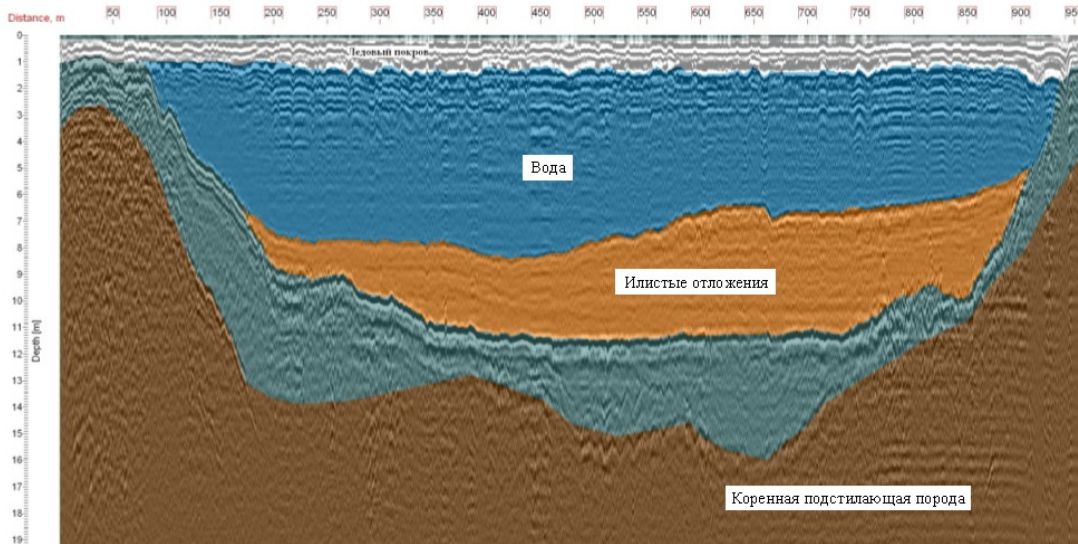
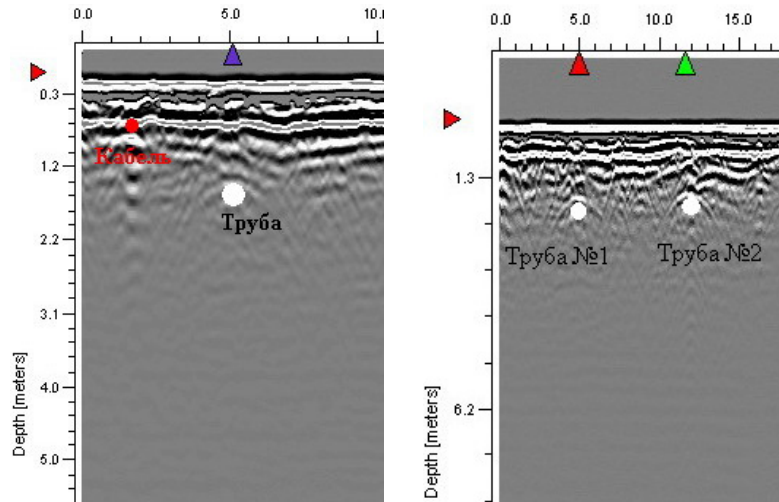


Рис. 2. Фрагмент георадарного профиля переходной зоны "береговой склон – водоем"

Рис. 3. Фрагменты радарограмм с идентифицированными объектами искусственного происхождения



участке, которая составляет 6-8 м; подошва илов идентифицирована по интенсивным осям синфазности более сложной формы по сравнению с донным отражением и поэтому уверенно выделяется; коренные отложения отличаются от современных илов на радарограмме характером осей синфазности; глубина залегания коренных пород составляет от 2-3 м у берега, до 14-16 м при удалении от береговой черты.

На рис. 3 приведены примеры обнаружения и идентификации объектов искусственного происхождения (трубы различного диаметра, кабели).

2. Предгорье Ковдорского горнорудного массива, представляющего собой флюидосодержащую природно-техническую систему, подвергающуюся периодическим взрывным (волновым) воздействиям.

Схема георадиолокационных и сейсмических определений показана на рис. 4. При этом общая длина профилей составила около 160 м при угле их наклона порядка 30°.

На рис. 5-6 приведены фото общего вида и этапов проведения полевых работ.

Рис. 4. Схема проведения полевых работ

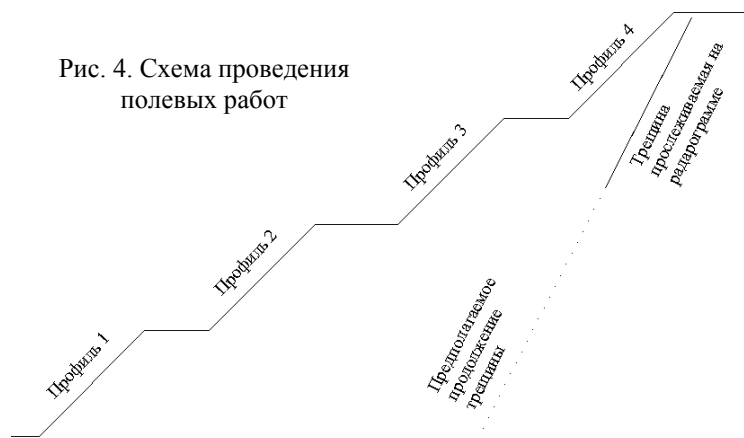




Рис. 5. Общий вид проведения полевых работ



Рис. 6. Проведение полевых работ

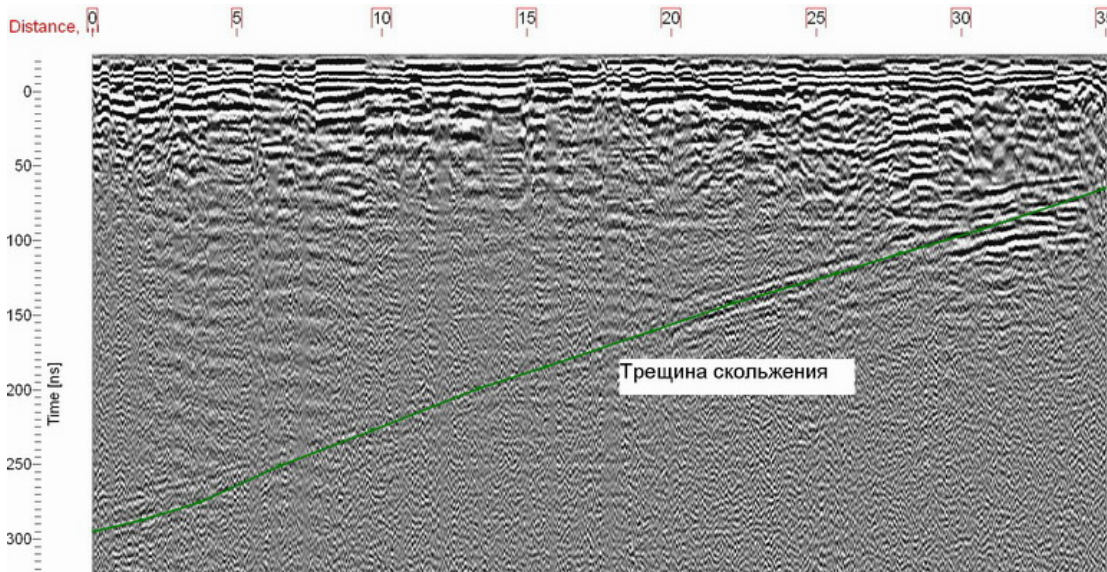


Рис. 7. Радарограмма с выделенной трещиной скольжения (сдвига)

Анализ волновых картин на радарограммах, полученных при проведении исследований, подтвердил возможность применения методов неразрушающего подповерхностного зондирования в подобных условиях с достаточной достоверностью получения данных и их количественной и качественной интерпретации. На одном из участков (рис. 7) прослеживается трещина скольжения (сдвига) по всей длине профиля, как видно на радарограмме, от отметки 300 нс времени прохождения волны к отметке в 75 нс. Выявлено также, что приповерхностная зона представляет собой сильнотрещиноватые раздробленные породы. О динамике процесса деформирования массивов пород данного участка можно было бы судить по результатам мониторинга в течение предположительно одного-двух лет.

3. На западном склоне горы Айкуайвенчорр Хибинского горнорудного массива (центральная часть Кольского полуострова). Полевые георадиолокационные определения проведены на склоне протяженностью 515 м и перепадом высоты от вершины до нижней точки склона приблизительно 300 м. Исследованный участок имел снежный покров с повышенной влажностью и локальными обнажениями грунта. Глубина снега составляла в среднем 80-90 см, а на отдельных участках достигала 1.5 м. По результатам камеральной обработки полевых исследований построена радарограмма (рис. 8), на которой можно выделить несколько слоев. Снежный покров четко прослеживается по длине всего профиля в виду большой разницы диэлектрической проницаемости на границе сред "снег – морена". На участках 0-55 м, 85-160 м, 220-230 м, 305-315 м снежный покров отсутствует. Вторым слоем была выделена морена, мощность которой составляет от 2 м на вершине горы до 5 м к подножью. При анализе профиля на участке 0-270 м можно увидеть увеличение мощности морены с 2 до 5 м, а на участке – 270-515 м уменьшение с 5 до 3.5 м. Граница морены с коренной породой менее уверенно идентифицируется ввиду суглинистых отложений в составе верхнего слоя и повышенной влажностью исследуемой области, обусловленной активным таянием снега.

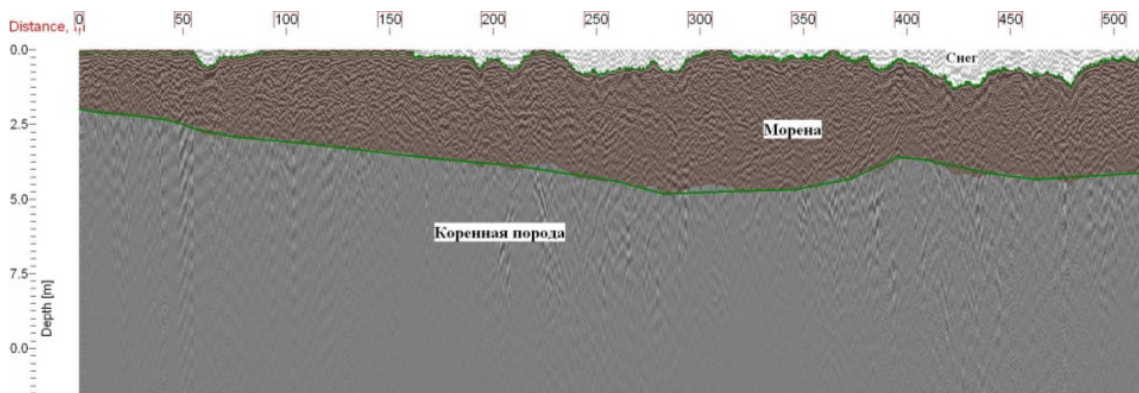


Рис. 8. Радарограмма по результатам георадиолокационных работ на склоне горы Айкуайвенчорр Хибинского горнорудного массива (центральная часть Кольского полуострова)

6. Заключение

Проведенные исследования с применением георадарного комплекса Ramac/GPR X3M показали:

- георадарные определения для целей подконтурного зондирования (профилирования) участков массивов горных пород (геологических сред) являются наиболее современным, высокотехнологичным и информативным средством неразрушающих измерений, позволяющим получать результаты в режиме реального времени и с пространственной привязкой GPS;
- точность определения зависит от типа антенны (обратно пропорциональна глубине зондирования) и от физико-механических свойств и состояния приконтурных участков породных массивов;
- георадарные определения высокоинформативны не только для естественных породных массивов, но и для насыпных грунтовых сооружений, дамб, плотин, и позволяют осуществлять как оценку исходного (первоначального) состояния, так и мониторинг развития деформационных процессов, трещиноватости, структуры и т.п.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-05-00145).

Литература

Владов М.Л., Старовойтов А.В. Введение в георадиолокацию. *М., МГУ*, 153 с., 2005.