

Эффективные геологические изыскания с низкочастотным георадаром

Efficient geological investigations using low frequency GPR

Яана Густафссон (Jaana Gustafsson) из компании Mala Geoscience говорит о том, как, используя специализированное оборудование, упростить геологические изыскания.

Геологическая информация о глубинном строении разреза чаще всего нужна при поисках подземных вод и месторождений строительных материалов. При решении таких задач применение низкочастотных радарных систем

может оказаться экономически и геологически эффективным. Использование моноблочных антенн с частотой 50 МГц, расположенных в линию, заметно упрощает проведение изысканий и снижает расходы, позволяя вести работу одному оператору. Далее приведены несколько примеров изысканий с разными геологическими задачами на глубину до 20 м.

Введение

Потребность в оперативных, недорогих и надежных способах изысканий связана с необходимостью расширения запасов сырья, в частности пресной воды и строительных материалов (песка, гравия и т. п.). Георадиолокация (ГРЛ) уже давно применяется для изучения разреза почв, обнаружения пустот, определения глубины кровли коренных пород и мощности рыхлых наносов, изучения донных отложений рек и озер, картирования загрязнений подземных вод и др. (Sutinen et al., 1992; van Overmeeren, 1998; Beres et al., 1999; Chamberlain, 2000; Slater et al., Ezzy et al., 2003, и многие другие), и нередко дает адекватные и надежные результаты.

При решении гидрогеологических и геологических задач ГРЛ обычно проводится на частотах 10–50 МГц, реже – до 100 МГц и на непроводящих разрезах дает относительно детальные результаты до глубин 10–50 м. Большинство имеющихся георадаров требует для работы двух операторов, поскольку используются непрочные оптоволоконные кабели и довольно длинные антенны, что чрезмерно усложняет работу. К настоящему времени созданы георадары, с которыми даже на пересеченной местности может работать один оператор. Они позволяют проводить простые и эффективные георадарные исследования, которые без существенного увеличения затрат дополняют точечные геотехнические опробования.

В этой работе рассмотрены принципы работы таких георадаров и приведены несколько примеров использования ГРЛ при решении гидрогеологических и геологических задач.

Методика

При изучении геологического разреза следует применять низкочастотные (10–50 МГц) антенны, обеспечивающие проникновение волны на достаточную глубину. Длина элементов таких антенн велика – до 2 м, и обычно они не экранированы. Все это усложняет проведение полевых работ.

Работы с разделенными неэкранированными приемной и передающей антеннами можно проводить по нескольким методикам (рис. 1; см. Aaltonen, 2003). Чаще всего используются дипольные антенны, размещенные поперек профиля на постоянном расстоянии одна от другой – так называемый способ с сонаправленной поляризацией (Guy et al., 1999; Lehmann et al., 2000; Radzevicius et al., 2000; Van Gestel & Stoffa, 2001 и др.).

При работе с этой нормальной конфигурацией антенн на участке нужно прокладывать довольно широкие просеки, а в работе участвуют как минимум два человека.

Для упрощения работы и создания возможности обслуживания одним оператором в 2003 предложена антенна с диполями, размещенными вдоль профиля друг за другом (Aaltonen, 2003) – так называемая антенна для пресеченной местности, или АПМ (RT antenna - от Rough Terrain).

Поскольку конфигурация антенн влияет на результаты работ, проведено сравнение работ с нормальной конфигурацией и АПМ (Aaltonen, 2003).

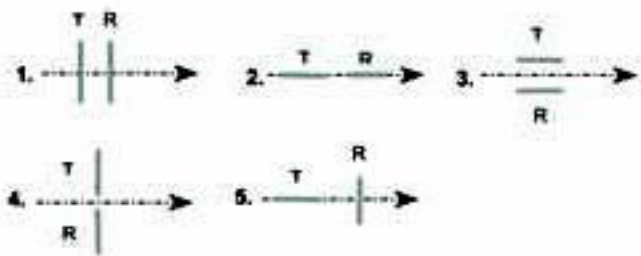


Рис. 1. Конфигурации антенн (Т: передающая, R: приемная). 1: обычная (поперечная перпендикулярно профилю). 2: продольная параллельно профилю. 3: поперечная параллельно профилю. 4: продольная перпендикулярно профилю. 5: крестовая.

Инженерная и экологическая геофизика

При использовании АПМ полярность и диаграмма направленности антенн затрудняют прием отражений с малых глубин. Но при исследовании слоистого разреза и других неполяризуемых объектов, особенно на больших глубинах, разница между конфигурациями невелика. Различия АПМ и нормальной конфигурации как при поиске локальных объектов, так и при изучении слоистого разреза показаны на рис. 2.

Кроме того, у АПМ другая форма луча. Ее диаграмма направленности имеет максимум в направлении поперек профилю. Это значит, что нормальная конфигурация нацелена на разрез под профилем, а конфигурации с антеннами вдоль профиля, чувствительны также и к боковым отражениям. (Aaltonen, 2003)

На рис. 3 показаны разные способы использования АПМ. Поскольку такие антенны изготавливаются единым блоком, их удобно использовать даже на пересеченной местности. Часто можно обойтись без прокладки просек: антенна пройдет везде, где проходит оператор. При необходимости антенну можно буксировать за автомобилем или катером.

АПМ с центральной частотой 50 МГц дает разрешение около 0.5 м и в соответствующих условиях обеспечивает проникновение импульса на глубину 5-25 м. Пройденное расстояние и положение на профиле фиксируется шагомером. Возможно, разумеется, и подключение системы спутниковой навигации. Следует иметь в виду, что точка записи АПМ находится посередине между электронными блоками антенны.



Рис. 2. Сравнение поперечной и продольной антенных систем (Aaltonen, 2003)



Рис. 3. Варианты использования АПМ. При работе с воды антенну помещают в пластиковую трубу.

Результаты

Приведем несколько примеров использования АПМ RAMAC RT с георадаром RAMAC CUII.

Первый пример относится к работам на озере с целью картирования рельефа дна и поиска рыхлых осадков. На радарограммах (рис. 4) ярче всего проявлен рельеф дна и ряд локальных объектов, которым соответствуют гиперболы (некоторые помечены стрелками). Кроме того, ниже дна прослеживаются еще несколько отражений, часть которых соответствует коренным породам, часть – слежавшимся илам.

В этих работах посылка импульса проводилась через фиксированные интервалы времени, а привязка на местности – с помощью дифференциального GPS, дававшего положение каждой трассы на профиле, вдоль которого велась буксировка катером. Положение профиля и итоговое изображение рельефа дна приведены на рис. 5.

В следующем примере АПМ использовалась для прослеживания тонкого (менее 5 м) слоя пахотной почвы, залегающей на коренных породах (кровля коренных показана зеленой линией на рис. 6). Следует также отметить, что в ходе этих работ в коренных породах обнаружены крупные зоны трещиноватости, показанные на рис. 6 красной и оранжевой линиями

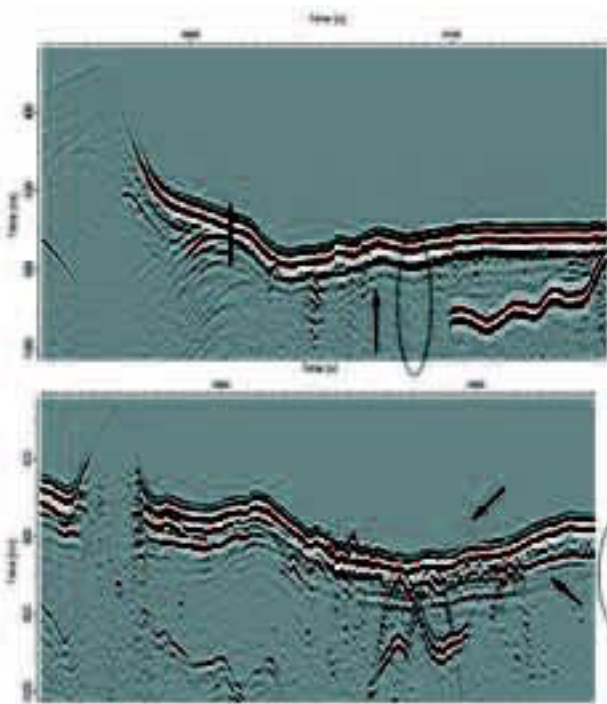


Рис. 4. Работы на озере. По горизонтальной оси отложено время. Стрелками указаны локальные объекты (валуны). Отмечена зона скопления камней. Длительность записи 1970 нс, отсчетов в трассе 1000, трассы следуют через 0.3 с.

Инженерная и экологическая геофизика

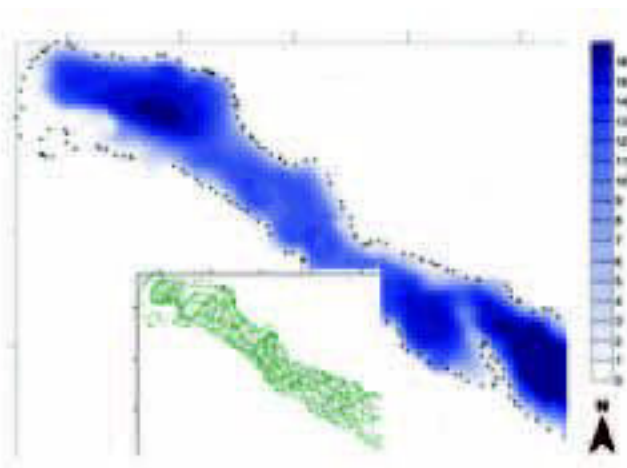


Рис. 5. Результаты ГРЛ на озере при изучении рельефа дна и мощности придонных отложений. Цветом дана шкала глубин. На врезке показан маршрут съемки (буксировки катером).

Кровля коренных прослеживалась легко, хотя почва была глинистой, а энергия радарного импульса в глинах сильно поглощается. Пример приведен на рис.7.

АПМ пригодна также для прослеживания уровня грунтовых вод в непроницаемых породах. Следующий результат получен в песчанистой местности (песок хорошо отсортирован, имеются отдельные валуны). УГВ прослеживается в виде медленно погружающейся поверхности на глубине около 14 м (рис. 8).

Последний пример связан с изучением моренных отложений, строение которых хорошо проявляется в данных ГРЛ (Рис. 9). Обратим внимание, например, на впадину, отмеченную стрелкой. С другой стороны в таких отложениях содержится очень много валунов, и проследить отдельный слой сложно, поскольку картина нарушена перекрывающимися «усами» гиперболических волн. УГВ местами прослеживается, а кровля коренных – нет, скорее всего, потому, что лежит на глубинах более 20 м.

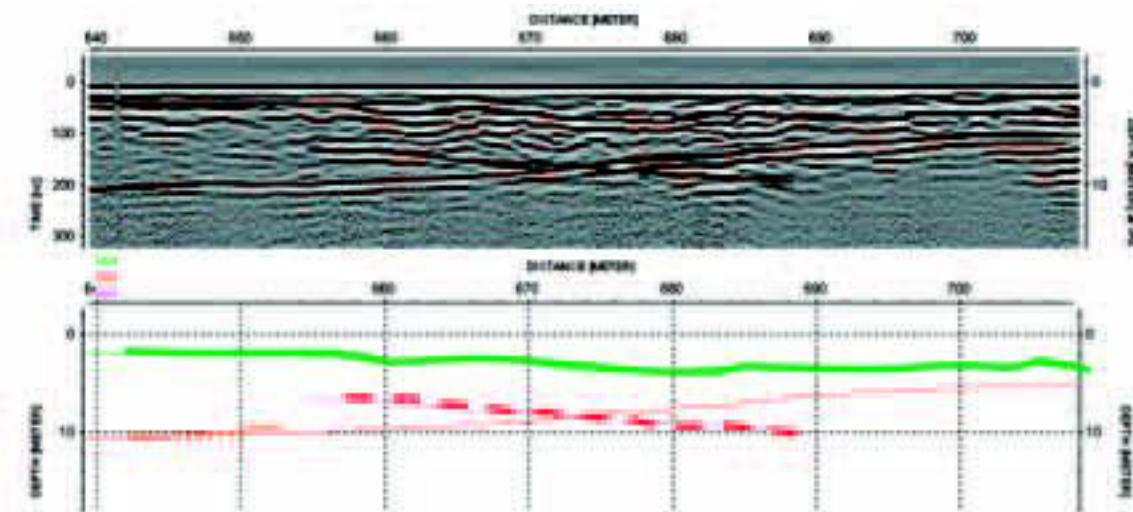


Рис. 6. Пример прослеживания покровных отложений и обнаружения зон трещиноватости в коренных породах. Зеленой линией дана кровля коренных; две красные линии – трещины. Отсчетов в трассе – 408, длительность записи – 581 нс, между трассами 10 см.

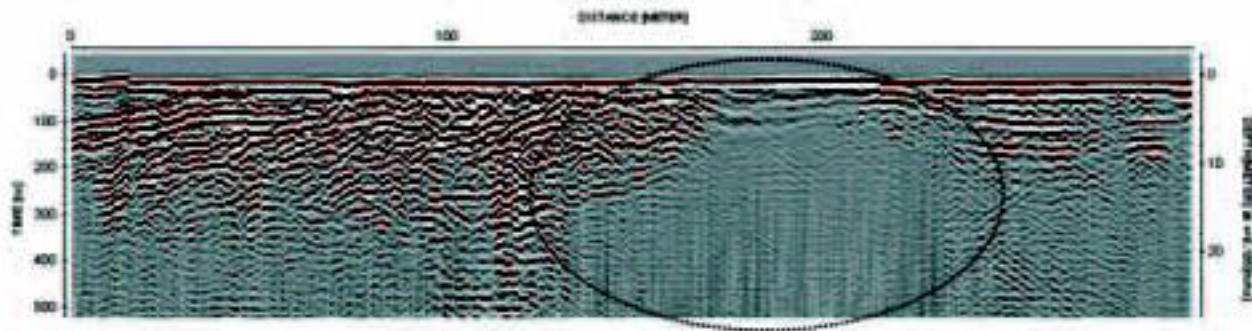


Рис. 7. Проявление проводящих (глинистых) грунтов на радарограмме. На участке 150-220 м проникновение сигнала на глубину ограничено из-за глинистых грунтов.

Инженерная и экологическая геофизика

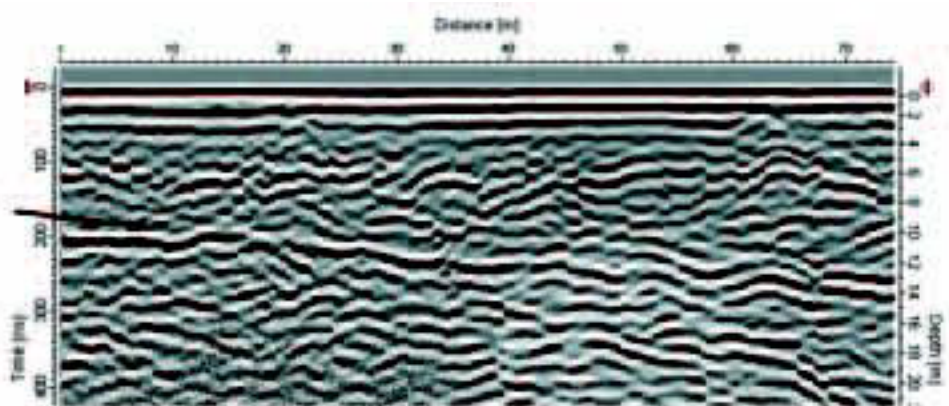


Рис. 8. Прослеживание УГВ (показан стрелкой) в песчаном грунте.

Прослеживание кровли коренных пород затруднено также в районах с твердым уплотненным верхним слоем, который на радарограммах часто не отличается от коренных

Выводы

Низкочастотная ГРЛ оказалась полезной при решении ряда задач: изучение геологического строения разреза на суше и на озерах, прослеживание кровли коренных пород, поиска подземных вод и др. Полевые работы проводятся быстро, в том числе – на пересеченной местности без подготовки профилей.

Оператор, тем не менее, должен знать об ограничениях метода ГРЛ, особенно в проводящих средах. В низкочастотной ГРЛ применяются незранированные антенны, что может привести к появлению дополнительных помех, связанных с тем, что такие антенны излучают сигнал во все стороны и принимают со всех сторон. Помеха обычно выглядит как так называемое воздушное отражение, хорошо определяемое по форме осей синфазности.

Как отмечено выше, представленная система вполне пригодна для изучения слоистого разреза, и более экономична по сравнению с нормальной конфигурацией антенн при полевых работах, особенно по неподготовленным профилям в залесенной местности. Более того, АПМ всегда находится на земле, что обеспечивает хорошее проникновение энергии электромагнитной волны в разрез. Недостатком моноблочной антенны является невозможность работать по методике ОГТ для точного определения скоростей, и следовательно, глубины исследования.

В табл. 1 сравниваются некоторые аспекты эксплуатации обычных антенн с расположением поперек профиля и новых систем с антеннами. Заметим, что обычные незранированные антенны можно развернуть вдоль профиля. Такая конфигурация так же производительна, как и новая АПМ, но для работы нужно два оператора.

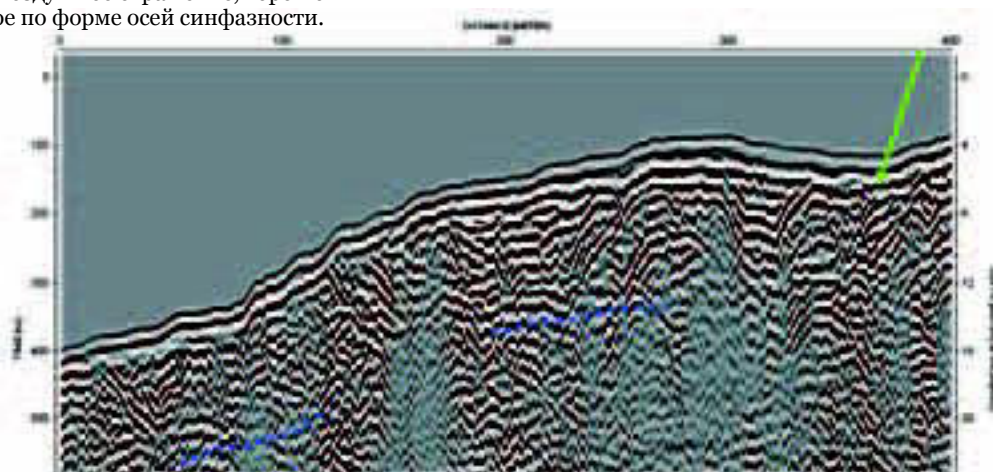


Рис. 9. Применение АПМ при изучении моренных отложений. Местами прослеживается УГВ, ясно видны структуры в почве (зеленая стрелка). Отсчетов в трассе – 320, длительность записи 560 нс, между трассами 15 см

Инженерная и экологическая геофизика

Табл. 1. Потребительские свойства обычных антенных систем и АПМ (Aaltonen, 2003)

	Обычная система		АПМ	
	В лесу	На дороге	В лесу	На дороге
Связь с разрезом	Над землей	Над землей	На земле	На земле
Скорость движения	Очень медленная ходьба	Медленная ходьба	Ходьба или медленная ходьба	Ходьба или буксировка
Прокладка профилей	Нужна	-	Не нужна	-
Численность отряда	2	2	1	1
Грязестойкость и др.	Капризные кабели и разъемы		Прочная и крепкая	

С точки зрения удобства работы в поле можно сказать, что в лесу с АПМ работают на скорости пешехода и медленнее, а на дороге – со скоростью пешехода или транспортного средства, что дает возможность работать быстро и с малыми затратами. АПМ удобна в перевозке, поскольку все части, включая блок управления и компьютер, можно уложить в обычный чемодан весом менее 14 кг.

Geophysics to Engineering and Environmental Problems. March 4-7, 2001, Denver, Colorado.

Sutinen, R., Hanninen, P., Cromwell, R., and Hyvonen, E., 1992. GPR and dielectric classification of glacial material. 4th *International Conference on GPR*, June 8-13, Rovaniemi, Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 16: 133-138.

Van Gestel, J.-P. and Stoffa, P.L., 2001. Application of Alford rotation to ground-penetrating radar data. *Geophysics*, Vol. 66 (6): 1781-1792.

Van Overmeeren, R.A., [1998. Radar facies of unconsolidated sediments in The Netherlands: A radar stratigraphy interpretation method for hydrogeology. *Journal of Applied Geophysics*, 40: 1-18.

Литература

Aaltonen, J. [2003] Increase in measurement capacity of low frequency GPR investigations. *Proceedings of the 9th European meeting of Environmental and Engineering Geophysics EEGS 2003*: Prague, August 31 - September 4, 2003

Beres, M., Huggenberger, P., Green, A.G., and Horstmayer, H. [1999]. Using two- and three-dimensional georadar methods to characterize glacial architecture. *Sedimentary Geology*, Vol. 129 (1-2): 1-24.

Chamberlain, A.T. [2000] Cave detection in Limestone using Ground Penetrating radar. *Journal of Archaeological Science*, Vol. 27: 957-964.

Ezzy, T.R., O'Rourke A.J., Huftile G.J., and Cox M.E. [2003]. Applying ground penetrating radar (GPR) to improve hydrogeological understanding and groundwater modeling within coastal plain setting. *Tecnologia de la intrusion de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos*. IGME, Madrid 2003.

Guy, E.D., Daniels, J.J., and Radzevicius, J., [1999] Demonstration of using crossed dipole GPR antennae for site characterization. *Geophysical Research Letters*, AGU, 26 (22): 3421-3424.

Lehmann, F., Boerner, D.E., Hollinger, K., and Green, A.G. [2000] Multi component georadar data: Some important implications for data acquisition and processing. *Geophysics*, Vol. 65 (5): 1542-1552.

Radzevicius, J., Guy, E.D., and Daniels, J.J. 2000. Pitfalls in GPR data interpretation: Differentiating stratigraphy and buried objects from periodic antenna and target effects. *Geophysical Research Letters*, 27 (20): 3393-3396.

Slater, L.D., Reeve A., and Glaser D., 2001. Improving understanding of peatland hydrogeology using electrical geophysics. *Proceedings of the Symposium on the Application of*