

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА АЛЕКСАНДРОВСКОМ ПЛАТО МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ И ГЕОРАДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Кужелев Роман Павлович, Груздева Ирина Дмитриевна,
Манжеева Ирина Тумэновна

Геологический ф-т МГУ, Москва, kuzhelov@gmail.com

Введение.

На территории Александровского плато были проведены геофизические исследования методами электротомографии и георадиолокации (ГРЛ). Работы выполнены с целью изучения геологического строения северо-западной части Александровского плато и левого борта долины реки Вори, а также уточнения границ слоя песков с помощью ГРЛ, который был обнаружен по данным электротомографии как приповерхностный слой высокого сопротивления. Преследовалась цель с максимально высокой точностью (реально 20-30 см) проследить нижнюю границу слоя песков и составить структурную геолого-геофизическую схему по данному участку, а также отобразить ареол распространения песков с сечением стратоизогипс в 1 метр. По данным электротомографии, подошва песков в местах развития максимальной мощности расположена на глубине около 5-6 м.

Кроме этого ставилась задача проведения работ в зимних условиях для испытания технологии георадарной съемки и оценки качества получаемых данных. Основной помехой являлся мощный (до полуметра) слой снега, на границе которого с грунтом должна отражаться значительная часть энергии электромагнитного импульса. Такие условия возбуждения сигнала должны приводить к уменьшению глубинности радиолокационного зондирования.

Таким образом, основными задачами исследований, проводимых на Александровском плато, являлись: исследование границ распространения песков и их структурных особенностей; испытание георадарной технологии при исследовании приповерхностного слоя песков в зимних условиях; сопоставление данных ГРЛ и данных электротомографии, полученных на общих профилях исследования.

Выполненная геологическая интерпретация была основана на следующих фактах:

максимальная глубинность георадара в данной ситуации при удельном сопротивлении песков более 1500 Ом·м, менее 100 Ом·м в водонасыщенных глинах и при центральной частоте прибора 250 Гц должна составлять 5-7 м;

глубинность электротомографии при максимальном разnose АО 100 м составила 30-40 м;

мощность четвертичных ледниковых и аллювиальных отложений по данным бурения на Александровском плато составляет около 20 м;

верхний слой ледниковых отложений повсеместно представлен флювиогляциальными песками и валунно-галечным материалом.

Комплексирование результатов двух методов позволяет получить непрерывный и детальный геолого-геофизический разрез практически от поверхности земли до глубин в несколько десятков метров.

Методика и аппаратура

Проведение исследований методом электротомографии осуществлялось с шагом 1 м и 5 м. Использовалась аппаратура Syscal-Pro (IRYS, Франция) - многоканальный (10 каналов) и многоэлектродный (98 электродов) аппаратный комплекс. Напряжение в питающих линиях АВ составляло 200-400 В. Входное сопротивление измерительных каналов достигает порядка 100 МОм, что обеспечивает высокое качество измеряемых сигналов даже в условиях мерзлого грунта. При регистрации сигналов использовалось накопление. Разносы АО при шаге 5 метров достигали 260 метров, а при шаге 1 метр – до 50 метров. При увеличении разноса для повышения сигнала в приёмных каналах последовательно использовались три разные длины MN. Исследования проводились с применением различных установок – комбинированной трёхэлектродной установкой Шлюмберже, симметричной четырёхэлектродной установкой Шлюмберже, а также с асимметричной четырёхэлектродной установкой.



Рис. 2. Схема расположения профилей ЭТМ и ГРЛ и их взаимное перекрытие.

Проведение исследований методом ГРЛ осуществлялось способом непрерывного вертикального электромагнитного зондирования прибором «ОКО-2» (ЛОГИС, Жуковский) с центральной частотой посылаемого антенной сигнала 250 МГц. Данная частота наиболее точно соответствовала поставленным задачам исследований, обеспечивая достаточно высокую разрешающую способность и, при этом, выдерживая необходимую глубину проникновения сигнала. Выполнение зондирований проводилось с шагом между трассами 10 см,

при этом использовалось 16 накоплений на трассу. Это позволило рассчитывать на повышенную помехоустойчивость полученных данных при высокой скорости производимых измерений. Данные отображались на георадарограмме с развёрткой в 200 нс. Последняя цифра была выбрана исходя из предварительной оценки скорости распространения волн в песчанистых толщах (12-18 см/нс) и ожидаемой глубины обнаружения границы (5-6 м). Максимальная длительность записи отраженных сигналов не должна превышать 100-150 нс. Длина каждого профиля непрерывных измерений составляла 100 м, что исключало возможность накопления ошибки в привязке данных радарограммы к точкам на местности. Измерения на открытой местности проводились с помощью приемника GPS, что давало точность привязки в пределах 3 м, а расстояния дополнительно контролировались с помощью одометра, вмонтированного в георадар. В итоге методом ГРЛ была отснята площадь, покрывающая северную часть Александровского плато, прилегающую к левому борту р. Вори. Размеры площадки исследования составили 900x100 м, при этом шаг между поперечными профилями был равен 100 м. Важной особенностью разбивки профилей явился тот факт, что северная магистраль проходила практически по профилю электротомографии (см. рис. 1). Это в дальнейшем позволило выполнить совместную интерпретацию двух методов.

Стоит отметить, что выполнение этих требований в процессе проведения радиолокационной съёмки позволило с высокой точностью определить положение отражающих границ на получившихся георадарограммах.

Результаты.

При интерпретации данных радиолокации выполнялись следующие условия:

выполнен учёт возможности дискретного изменения скорости электромагнитных волн в слое песков в разных точках среды вследствие резкой неоднородности свойств данного слоя;

исходя из теоретических расчётов и представлений о составе толщи, предполагалось, что скорости распространения волн в верхнем слое песков находятся в пределах 12-18 см/нс;

исходя из данных электротомографии, максимальная мощность толщи песков на изучаемой территории не должна превышать 7-8 метров;

по данным электротомографии слой песков постепенно выклинивается в западном направлении, его граница выходит на поверхность в районе пикетов GPR-A-4 – GPR-A-5.

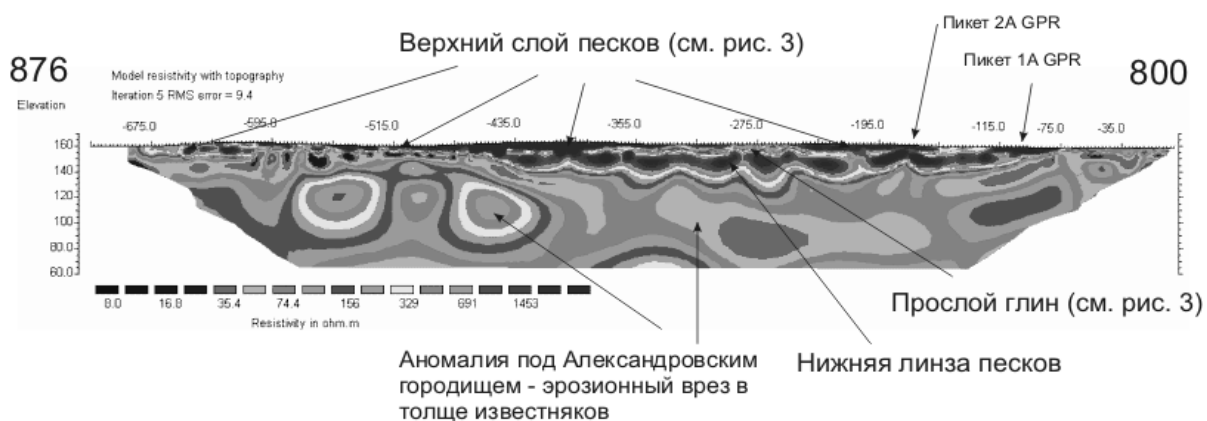


Рис. 3. Результат обработки данных ЭТМ по профилю 800-876.

Для скоростного анализа слоя песков была выделено 50 точек дифракции, которые вызываются крупными глыбами, залегающими в этой толще. Анализ годографов, образованных точками дифракции, позволил построить график зависимости глубины точки дифракции от двойного времени пробега волны. Полученную зависимость можно аппроксимировать функцией вида:

$$H(t) = a \cdot t^b. \quad (1)$$

$$V(t) = \partial H / \partial t \quad (2)$$

Эти соотношения позволяют вывести зависимость

$$V(t) = 2 \cdot a \cdot b \cdot t^{b-1}, \quad (3)$$

и затем, через сложную функцию вывести зависимость $V(H) = V \circ t^{-1}(H)$. где a - коэффициент, который по значению примерно соответствует половинной скорости электромагнитной волны, t - двойное время пробега сигнала до границы и обратно, b - коэффициент, близкий к 1.

На следующем этапе был выполнен пересчёт временных границ, расположенных в песках, в глубинные границы. Необходимо отметить, что в результате подбора кривой (1) наилучшее приближение была достигнуто при относительной погрешности аппроксимации в 1,5 %. Это позволило с точностью 20-30 см определить глубину отражающей границы подошвы песков. Скоростной анализ точек дифракции на различных глубинах слоя показал, что величина скорости в нём изменяется в пределах от 12 до 18 см/нс, что удовлетворяет второму критерию отбора решений при интерпретации.

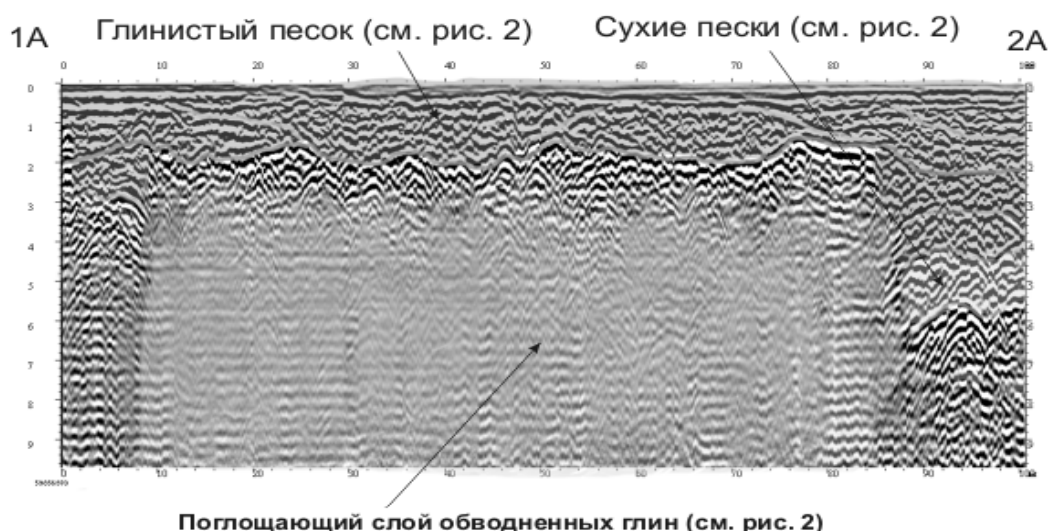


Рис. 4. Результат обработки данных GPR по профилю 1а-2а.

По результатам подбора кривой наилучшего приближения были выведены следующие зависимости: $H(t) = 6,73 \cdot t^{1,1}$. Исходя из соотношения (2), была получена зависимость $V(t) = 14,81 \cdot t^{0,1}$. Поскольку коэффициент имеет размерность скорости, получается, что на времени 1 нс скорость электромагнитной волны на реальной частоте генерации сигнала 175 МГц составляет 14,81 см/нс. На времени 100 нс – 23,47 см/нс. Это указывает на то, что пески в верхней части разреза имеют более высокую глинистость и влажность.

Максимальная глубина отражающей границы слоя песков по данным интерпретации ГРП оказалась на уровне 6 метров, что подтвердило результаты интерпретации данных электротомографии. Как и предполагалось, граница песков выклинивается в районе пикета GPR-A-5, что также подтверждает данные электротомографии. Таким образом, результаты интерпретации удовлетворяют всем требуемым критериям, что позволяет сделать следующие выводы:

по характеру записи волнового поля можно утверждать, что верхний слой моренного плато сложен песками с большим количеством грубообломочного материала;

отмечается большое количество отражающих границ внутри слоя песков, что свидетельствует о его неоднородности;

получены данные радиолокации высокого качества и показаны возможности регистрации отражений с георадаром «ОКО-2» (антенна 250 МГц) границ на глубинах вплоть до 7-8 м при проведении съёмки на мощном снежном покрове.

Полученные георадиолокационные результаты, а также их сопоставление с данными электротомографии, позволяют проинтерпретировать полученные

георадарограммы с высокой степенью уверенности, а также ещё раз отметить высокую точность проведённых геофизических работ. Результатом этих исследований стала возможность получения непрерывного и детального геолого-геофизического разреза практически от поверхности земли до глубин в несколько десятков метров.

Литература:

1. Старовойтов А. В. Интерпретация георадиолокационных данных. Издательство Московского Университета, 2008. 187 с.

ИСТОРИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ УЧЕБНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ НА БАЗЕ ПРАКТИК МГУ В КРЫМУ

Лыгин Иван Владимирович, Епишкин Дмитрий Викторович

Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, ivanlygin@mail.ru

Авторы выражают благодарность всем сотрудникам отделения геофизики, участвовавшим в восстановлении истории практики. Особую признательность авторы относят профессорам В.К. Хмелевскому, В.Р. Мелихову, В.А. Шевнину, М.Л. Владову, А.А. Булычеву, н.с. Д.А. Гилод, доц. Л.А. Золотой.

После 2 курса студенты-геофизики проходят в Крыму Первую геофизическую практику. В настоящее время на Крымском полигоне изучают только гравиразведку и магниторазведку. В предыдущие годы объем геофизических методов был значительно шире и при инициативном подходе со стороны преподавателей и студентов получались интересные научные результаты. Вот некоторые из них.

1959-1965 гг. – строительство и первые годы эксплуатации Ялтинского гидротоннеля, сопровождавшиеся геофизическими работами (рук. В.К. Хмелевской). В результате работ изучен глубинный разрез длиной около 45 км от с. Новопавловка до побережья Черного моря в районе г. Ялта. По результатам интерпретации определена глубина залегания палеозойского фундамента. В целом по профилю наименьшая глубина залегания кровли палеозойского фундамента (около 1,9 км) отмечается в долине р. Бодрак, южнее с.Трудолюбовка в пределах ядра Качинского антиклинория. На наибольшей глубине (до 4-5 км) палеозойские породы находятся, по-видимому, на северных склонах Главной гряды (с. Шелковичное), а не под самым хребтом. К настоящему времени новых данных по глубинному строению Горного Крыма (на основании глубоких скважин, сейсмических исследований) не имеется [1].

1970-1991 гг. – морские геофизические практики по сейсморазведке, магниторазведке, гравиразведке. Результатами этих наблюдений кроме получения навыков студентами являлись и вполне научные результаты.