**Высокочастотные методы электроразведки**

Под высокочастотными (ВЧ) методами электроразведки обычно понимают исследования с помощью электрических и магнитных диполей на частотах выше звуковых (от 15 кГц до десятков МГц). Электромагнитные волны этих частот относятся к разряду радиоволн, и подчиняются их законам распространения, поглощения и отражения. Возбуждающие и приемные диполи здесь часто называют антеннами, т.к. они мало чем отличаются от подобных радиотехнических устройств. Радиоволны сильно затухают в земле, поэтому ВЧ методы - малоглубинные: от первых метров до 100-120 м. Из наземных методов разведки наибольшее распространение получили: метод РадиоКИП (радиокомпарации и пеленгации), дипольные электромагнитные методы профилирования (ДЭМП) и зондирования (ДИЗ - дистанционные, ЧЗ - частотные). Ниже рассматриваются некоторые практические аспекты применения этих методов.

**Метод РадиоКИП**

В качестве генератора сигнала используют широковещательные станции ДВ (150-450 кГц) – СВ (525-1200 кГц) диапазона и специальные (навигационные) СДВ (15-30 кГц) станции. Приемник может быть специальным (ПИНП-2, СДВР-3(4), много зарубежных образцов метода СДВ - VLF), либо доработанным бытовым радиоприемником с миливольтметром. Основной способ – определение импеданса (волнового сопротивления среды), путем измерения напряженности электрического и магнитного поля радиостанции. Расчетная формула для эффективного кажущегося сопротивления:

r эфф = (1/2p fm )× |Z|2

f – частота радиостанции, [Гц]

m » m 0 = 4p × 10-7 - магнитная проницаемость, [Гн/м]

Z = Er/ Hj - импеданс, [Ом]

Er – радиальная электрическая составляющая поля

Hj - горизонтальная магнитная составляющая поля

Для амплитудных отчетов, формула вычисления импеданса выглядит так:

Z = [U(Er)/ U(Hj )]× (g/hl)

U(Er) и U(Hj ) – отчеты по измерителю (микровольтметру) [мкВ],

g – коэффициент преобразования (чувствительность) магнитной рамки [Ом×м],

hl - действующая длина электрической приемной линии [м]:

для заземленной линии hl = l (длина линии),

для стелющейся изолированной линии hl = 0,5× l

В качестве магнитной рамки обычно используют ферритовую антенну, расчет чувствительности для нее, при известных параметрах, можно найти в радиотехническом справочнике. Если характеристики антенны неизвестны, то можно строить графики и карты в величинах: |Z|2 или |Z|2/f (если используете несколько частот радиостанций) , которые будут пропорциональны r эфф. Для удобства предоставления результатов, можно ввести свой масштабный коэффициент, или путем сопоставления графиков полученных другими методами, рассчитать согласующий коэффициент.

На рисунке 1 показан пример такого сопоставления. Установленный коэффициент согласования: k = 100, для расчета по ф-ле:

rэфф = k× [U(Er)/ U(Hj )]2

(рабочие измерения проводились по одной радиостанции).

Предоставляемые материалы (графики и карты) в РадиоКИП носят качественный характер, поэтому точного расчета параметров установки не требуется. Ошибки метода обусловлены изменчивостью поля, нестабильностью аппаратуры, влиянием рельефа и методическими просчетами (ориентация антенн, не идентичность наблюдений и т.п.). Для уменьшения погрешностей необходимо проводить учет вариации поля станции и контрольные измерения. Относительная ошибка измерений по Z не должна превышать 10 %.

Глубинность исследований методом РадиоКИП зависит от частоты радиосигнала: чем она больше, тем меньше проникающая глубина электромагнитного поля. Ориентировочную глубину определяют по величине скин-слоя, в котором амплитуда волн данной частоты ослабляется в 2,7 раза:

d [м] » 503(r /f)1/2

Проводя съемку на двух и более частотах можно судить об изменении электросопротивления с глубиной, вплоть до построения качественных геоэлектрических разрезов.

Методика работ определяется используемой аппаратурой. Кроме амплитудных измерений, возможны определения компонент наклона магнитного эллипса поляризации, вещественных и мнимых составляющих электромагнитного поля, амплитудно-фазовые измерения. При амплитудных измерениях желательно исследовать все три компоненты магнитного поля: Hj , Hr, Hz , электрическую составляющую Er , и по возможности Ez (вертикальная телескопическая антенна). Тогда по Hj , Er можно судить об эффективном сопротивлении; по Hr (минимальный сигнал магнитной антенны в горизонтальной плоскости) -контролировать помехи; Hz служит показателем неоднородности разреза, т.к. над горизонтально-слоистой средой эта составляющая отсутствует; по Ez - следить за мощностью и дрейфом сигнала станции. Профиля работ необходимо намечать в направлении на радиостанцию, это необходимо для удобства ориентации электрической антенны (Er), в виде незаземленного провода. При отклонении от пеленга не более 30 градусов, провод (антенна) просто тянется вдоль профиля, не требуя дополнительной ориентации. Длина изолированной линии обычно равняется шагу съемки (от 5 до 20м); точка наблюдения относится к концу стелющейся линии, противоположной (!) , подключаемой к измерителю.

РадиоКИП является самым экспрессным методом электроразведки, аппаратура легко носимая, работа ведется одним оператором; при этом метод решает практически все задачи профилирования. Им прекрасно выделяются обводненные зоны, выходы коренных пород к поверхности, вечная мерзлота и валунистость. Методу не требуется хорошее заземление, поэтому он может использоваться в любой сезон и на любой местности. К недостаткам относятся: нестабильность приема радиостанций (особенно в удаленных местностях), зависимость разбивки профилей от направления на станцию, влияние рельефа профиля и окружающей местности (в горных районах).

Дипольное электромагнитное профилирование (ДЭМП)

Метод ДЭМП основан на принципе возбуждения переменного электромагнитного поля высокой частоты, с помощью электрического или магнитного диполя, и регистрации компонент вторичного вихревого поля на некотором расстоянии. Если в методе РадиоКИП первичное поле дальней станции представляется в виде плоской волны, то в ДЭМП - она сферическая, что делает теоретическую модель более сложной и приближенной. Видимо это сказалось и на практической реализации метода, вследствие малого количества и номенклатуры выпущенного оборудования. ДЭМП скорее считали и считают одним из видов индукционных методов разведки, и соответствующая серийная аппаратура выпускалась только для регистрации магнитных компонент поля. Приборы для импедансных измерений делали только в некоторых научных организациях, в опытных экземплярах. За рубежом этот метод вообще не развивался. Итак, из аппаратуры ДЭМП, к настоящему времени, доступны приборы, основанные на возбуждении и регистрации поля магнитными диполями в виде рамок (АЭММ-3) и ферритовых антенн (ДЭМП-2(3), ДЭМП-СЧ). При этом, возбуждение проводят вертикальным магнитным диполем, а измеряют все три компоненты магнитного поля: Hz, Hr, Hj . Затем по приближенной формуле, либо исходя из теоретической зависимости Hz/Hr от волнового параметра p = r эфф/(r2f) для однородной среды, находят r эфф. Формула для приближенного расчета имеет вид:

r эфф = 2r2f× (Hz/Hr)

r – расстояние между генератором и приемником, [км]

f – частота генератора, [кГц]

Hz/Hr – отношение вертикальной и горизонтальной составляющей магнитного поля.

Более точная формула, аппроксимирующая зависимость для волнового параметра p , записывается так:

r эф = kэф r2f× (Hz/Hr) \_\_\_\_\_ где: \_\_\_\_\_ kэф = 2× (1 - exp[- 0,34× (Hz/Hr)])

Эффективная глубина исследований hэф » r/4 [Р.Б. Журавлева]. Материалы профилирования методом ДЭМП (графики и карты), как и в РадиоКИП, носят качественный характер, однако измерения более стабильны и повторяемы. Погрешность воспроизведения составляет около 5 %. Точку наблюдения относят обычно к точке стояния приемника. Решаемые задачи те же, что и в остальных методах профилирования. Преимущества: работа в любой сезон и на любой местности. Недостатки: необходимость вносить поправки за влияние рельефа профиля.

Дистанционные индукционные зондирования (ДИЗ)

Аппаратурой ДЭМП можно проводить дистанционные (геометрические) зондирования. По сложившейся терминологии их называют индукционными. При работе вдвоем способ таков: Приемник неподвижен, генератор переносится на расстояние r1, r2 …и т.д. С увеличением r глубинность увеличивается. Типичные разносы: r = 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 70, 100 м. Точка зондирования относится к приемнику. Для проведения встречных наблюдений, приемник остается на точке зондирования, а генератор передвигают на расстояния r1, r2 … и т.д. в противоположном направлении и проводят повторные замеры. При работе в одиночку, для быстроты работы: генератор закрепляется, а оператор с приемником перемещается по профилю на расстояния r1, r2 …и снимает показания. Точку наблюдения также относят к приемнику. Тут надо немного пояснить: дело в том, что сравнивая профилирование на постоянном токе (точка наблюдений - середина установки) и ДЭМП, выявлены характерные экстремумы графиков, при отнесении точки записи ДЭМП к приемнику (см.рис.1).

При построении качественных геоэлектрических разрезов встречных систем наблюдений, выявлена хорошая детализация известных элементов разреза, при отнесении наблюдений также к приемнику. Вообще, для уменьшения влияния анизотропии пород разреза, желательно проводить наблюдения дважды: прямым и обратным ходом.

На рисунке 2 представлен пример сопоставления разрезов, пройденных ходом на юг (верхний), ходом на север (средний) и просуммированная трасса (нижняя) над проложенной в земле металлической трубой (диаметром 0,5 м на глубине около 4 м). Как видно из рисунка, труба хорошо выделяется при одиночном проходе только в одном направлении, возможно за счет “экранного” эффекта стенок канавы и таяния снега в северном углу. Однако при суммировании трасс, получаем очень контрастное выделение трубы в разрезе и меньший эхо-сигнал.

Расчет r эф производится по формулам профилирования для данного разноса (приближенным, либо теоретическим). Следует отметить, что построение кривых зондирования и количественная интерпретация затруднительна. Реальные кривые обычно отличаются от теоретических (более дифференцированы), даже во встречных системах наблюдений. Возможно, сказывается влияние токов смещения, на высокой частоте. Отбраковка и сглаживание сильно искажают результат и получаемый разрез, бывает, не стыкуется с геологическими данными. Количественная интерпретация возможна при благоприятных условиях: однородный слоистый разрез, без резких изменений по физическим свойствам. Для корректной отбраковки необходимы измерения на двух-трех частотах, что увеличивает объемы работ, но не всегда приводит к положительным результатам. Поэтому рекомендую результаты зондирований представлять в виде геоэлектрических псевдоразрезов. В качестве оси глубин использовать (в первом приближении) значение r/4, т.к. в отличии от электрического диполя, у которого в однородном поле эффективная мощность проводящего слоя heэф = r/2 , у магнитного диполя он в 2 раза меньше, т.е. hmэф = r/4 [В.С. Титлинов, Р.Б. Журавлева]. Для уточнение глубины, использовать измерения по известным буровым линиям, характерных для данной местности, и привлекать данные других методов, в частности сейсморазведки МПВ.