



УДК 550.84.02

Б.И. Резников, к.ф.-м.н., доцент ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ключевые слова: магнитотеллурического зондирование, обработка сигналов.

Наблюдаемый в практике магнитотеллурического зондирования (МТЗ) большой разброс результатов и их рассогласование по компонентам может иметь объяснение, связанное с выбором длины массивов данных, особенностями обработки результатов и от времени проведения измерений.

Вопросы связанные с низкочастотной радиолокацией геоэлектрического разреза (вертикального профиля проводимости недр Земли) важны и актуальны, поскольку, наряду с решением чисто научных, академических проблем геофизики, позволяют решать и практические задачи поиска полезных ископаемых, обнаружения подземных источников пресной и солёной воды, а также подземных пустот (карстов) в целях безопасности строительства жилых и промышленных объектов.

Земные недра в общем случае представляют собой слоистую структуру пород с различной электропроводностью, а электромагнитные поля проникают в толщу Земли на глубину, зависящую от частоты, высокочастотные волны лишь в тонкий приповерхностный слой, низкочастотные на значительную глубину (скин-эффект). Измеряя отношение амплитуд вариаций электрического и магнитного полей (поверхностный импеданс) на различных частотах, можно судить о структуре электропроводности и толщине слоёв подземных пород.

Следует заметить, что однозначно трактуемые решения получаются только для плоскостойкой (одномерной) структуры недр. Наличие в Земле двумерных или трёхмерных неоднородностей, а также наклона слоёв в каком то из направлений приводит к смещению кривых зондирования и их деформации, а также к рассогласованию результатов при измерениях на двух ортогональных направлениях (север-юг и запад-восток). Если не удаётся разумно объяснить эти несоответствия, берут среднеквадратичные значения, а сами результаты зондирования не удаётся интерпретировать без привлечения дополнительной сейсмологической или геологической информации, разброс результатов при этом может достигать 30-40%.

По нашему мнению, такой разброс результатов и их рассогласование по компонентам может иметь и другое объяснение, связанное с выбором массивов данных и особенностями обработки результатов измерений. Действительно, упомянутые выше источники электромагнитных полей (грозовые разряды) являются иррегулярными, распространяющимися цугами конечной длительности. Так, основной моделью грозовой активности (главного источника когерентных вариаций ЭМП) является модель трех основных мировых центров гроз, Азиатского, Африканского и Американского, активизирующихся по очереди в 17-18 часов местного времени. Местные грозы также

имеют свои временные рамки, их максимум приходится на период май июнь в утренние и вечерние часы [1- 3].

Трактовка результатов МТЗ по шумовому сигналу тогда должна зависеть как от времени проведения измерений, так и от способа обработки результатов (длины выбранных реализаций). При неудачном выборе временного интервала данных для обработки к когерентным цугам грозовых и иных источников все больше подмешиваются сигналы ближних некогерентных источников и некогерентного шумового фона, при этом кросс – когерентность электрических и магнитных полей падает, результаты должны терять достоверность.

Глубину, на которой электромагнитное поле, меняющееся с круговой частотой колебаний ω ($\omega = 2\pi f = 2\pi/T$, f – частота, T – период), затухает в e раз, называют *толщиной скин-слоя* h_δ . Из теории следует, что над однородным немагнитным полупространством с удельным сопротивлением ρ :

$$h_\delta = \sqrt{2\rho/\omega\mu_0} \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная. Видно, что чем меньше частота колебаний поля, тем глубже оно проникает в землю. Кроме того, толщина скин-слоя определяется сопротивлением среды, в низкопроводящей среде поле затухает с глубиной медленнее, чем в проводящей.

Существенная особенность метода МТЗ заключается в том, что параметры источника не известны и меняются во времени. Наиболее важной характеристикой, используемой в методе МТЗ, является *импеданс* Z . В случае горизонтально-слоистой среды

$$Z = E_x / H_y = - E_y / H_x \quad (2)$$

где E_x и E_y – горизонтальные электрические, а H_x и H_y – магнитные компоненты ЭМП. Над однородным полупространством [1, 2]

$$|Z| = \sqrt{\omega\mu_0\rho} \quad \text{или} \quad \rho = \frac{1}{\omega\mu_0} \cdot |Z|^2 \quad (3)$$

Эксперимент по проведению магнитотеллурического зондирования был выполнен нами в сентябре 2003 года в долине Волги вблизи пос. Лысково Нижегородской области. Измерительная установка состояла из двух взаимно перпендикулярных электродных линий длиной 200 м каждая, являющихся датчиками электрического поля E_x и E_y , и двух взаимно ортогональных индукционных датчиков магнитного поля H_x и H_y .

Обработка результатов измерений заключалась во временном спектральном анализе вариаций поля. Далее определялись компоненты тензора импеданса Z_{xy} и Z_{yx} на различных частотах, при этом контролировалась функция когерентности всех пар компонент ЭМП, показывающая наличие корреляции (линейной связи) между различными компонентами поля. Значения функции когерентности для разноименных пар E_x и H_y , E_y и H_x в исследуемом диапазоне частот составляли величины 0,5 – 0,8 при практически нулевой когерентности одноименных компонент поля E_x и H_x , E_y и H_y , что доказывает правомочность импедансного подхода к задаче определения электропроводности разреза, расчеты дают вполне устойчивые значения импеданса во всем частотном диапазоне. Результаты обработки позволяют сделать следующие выводы.

На высоких частотах кажущееся сопротивление приблизительно совпадает с удельным сопротивлением приповерхностных слоев, так как толщина скин-слоя

стремится к нулю при $f \rightarrow \infty$. Можно предположить, что удельное сопротивление приповерхностных слоев порядка 100 – 200 Ом м. Далее, с уменьшением частоты кажущееся сопротивление падает, а на частоте примерно 10 Гц кривые испытывают перелом с восходящими ветвями вплоть до периода 1 секунда.

Довольно глубокий провал кажущегося сопротивления на промежуточных частотах свидетельствует о наличии слоя с относительно высокой проводимостью, обусловленной, может быть, наличием в месте зондирования засоленных подземных вод или иных проводящих пород. Можно оценить общую глубинность зондирования примерно в 1,5 км, а для глубины залегания кровли проводящего слоя получить величину примерно 200 метров. На самых низких частотах (примерно 1 Гц) кажущееся сопротивление стремится к удельному сопротивлению подложки и составляет величину 20 – 50 Ом м.

Результаты (кривая зондирования рассчитанная по реализации сигналов длительностью в 1 час) имеют имеют ярко выраженную особенность, - кривые МТЗ для направлений С-Ю и З-В расходятся в высокочастотной области. Обычно это объясняют существенной географической анизотропностью места проведения измерений, либо наклоном слоев разреза в одном из направлений. Наличие русла реки Волги, текущей в данном месте примерно в восточном направлении, казалось бы, должны подтвердить эти предположения.

Однако, результаты проведенной нами обработки ряда реализаций различной длительности показывают, что причиной расхождения кривых как в высокочастотной, так и в низкочастотной области может быть выбор реализации излишней длины. Обнаружена потеря когерентности сигналов на часовой реализации (до 0,3 и ниже), как в низкочастотной (вблизи единиц Гц), так и в высокочастотной (100 – 200 Гц) области диапазона.

Причины данного явления, по нашему мнению, могут заключаться в том, что при увеличении длительности реализации к не регулярным цугам дальних грозových источников все больше подмешиваются сигналы ближних некогерентных источников и глобального некогерентного шума, кросс – корреляция электрических и магнитных полей падает, импедансный подход перестает работать, а результаты МТЗ теряют достоверность. Напротив, в отобранных по величине когерентности компонент ЭМП массивах длительностью 5 – 10 минут все эти несоответствия пропадают, когерентность близка к единице во всем диапазоне частот, а импедансные кривые практически сливаются.

Аналогичные проблемы при интерпретации результатов МТЗ могут появиться и при неудачном выборе времени проведения измерений. Так, на кривых МТЗ длительности 10 минут, полученных вблизи 17:00 местного времени, когда основным грозovým источником ЭМП является Африканский мировой центр гроз, в волне, приходящей с юга, практически отсутствует компонента поля E_x , что проявляется на результатах МТЗ в «провале» компоненты кажущегося удельного сопротивления ρ_x . Аналогичный «провал» в компоненте ρ_y наблюдается на кривой МТЗ, полученной примерно в 02 часа местного времени, когда волны приходят в основном с западного направления.

Список литературы:

- [1] Жданов М.С., Электроразведка. М. Наука, 1986.
- [2] Бердичевский М.Н., В.И. Дмитриев. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. Москва, Недра, 1992.
- [3]. Бердичевский М.Н., В.И. Дмитриев и др. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. Москва, Диалог-МГУ, 1997.
- [4] Ваньян Л.Л., Дебабов А.С., Юдин М.Я. Интерпретация данных магнитотеллурических зондировании неоднородных сред. М., Недра, 1984.

FEATURES SIGNAL PROCESSING FOR INTERPRETATION OF RESULTS OF MAGNETOTELLURIC SOUNDING

Key words: magnetotelluric sounding, signal processing.

Observed in the practice of magnetotelluric sounding (MTS), a large scatter of results and their misalignment components may be the explanation associated with the selection of the length of the data arrays, processing of results and time of measurement.