

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 550.838

И. А. ДОБРОХОТОВА, М. Н. ЮДИН

**О ВЛИЯНИИ МАГНИТНОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ
НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ МЕТОДАМИ
МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

В основе интерпретации результатов полевых наблюдений методами магнитотеллурического поля, бесконечно длинного кабеля, естественного электромагнитного поля и других методов лежит анализ решений задач плоской волны. При этом рассматриваются различные соотношения между проводимостью и геометрическими размерами локальных тел или слоев, слагающих разрез, но влиянием магнитной проницаемости обычно пренебрегают, полагая, что все элементы разреза практически немагнитны.

Однако на практике в районах, где проводятся геофизические работы этими методами, достаточно часто встречаются геологические образования, реальная магнитная проницаемость которых довольно значительна. Это могут быть и ультраосновные интрузии, и пласты железистых кварцитов, и другие высокомагнитные объекты, характерные для данной геологической ситуации.

В последнее время в МГРИ проводится исследование влияния магнитной проницаемости с целью оценки изменений, вносимых ею в частотные характеристики и графики распределения компонент электромагнитного поля, и изучение возможностей использования установленных закономерностей для получения новой геологической информации. При этом вопрос о влиянии магнитной проницаемости рассматривался применительно к горизонтальнослоистым средам и локальным телам. Влияние повышенной магнитной проницаемости локальных тел на поле плоской волны обсуждается в совместной статье в сборнике по ЭЗОПУ. Ниже дается анализ результатов расчета поля плоской электромагнитной волны над горизонтальнослоистыми разрезами, содержащими отдельные горизонты с аномальной магнитной проницаемостью.

Выражение для входного импеданса n -слоистой разреза над горизонтальнослоистой средой в поле плоской электромагнитной волны при условии, что магнитная проницаемость отдельных слоев не равна магнитной проницаемости воздуха μ_0 , приобретает вид:

$$Z_0 = \frac{i\omega\mu_1}{k_1} \operatorname{cth} \left\{ k_1 h_1 + a z \operatorname{cth} \left[\sqrt{\frac{\rho_2 \mu_2}{\rho_1 \mu_1}} \operatorname{cth} (k_2 h_2 + a z \operatorname{cth} \sqrt{\frac{\rho_n \mu_n}{\rho_{n-1} \mu_{n-1}}}) \right] \right\} \quad (1)$$

где h_n , K_n , ρ_n и μ_n соответственно мощность, волновое число, удельное электрическое сопротивление и магнитная проницаемость n -го слоя.

Уже из этого выражения следует, что для многих реально встречающихся ситуаций пренебрежение влиянием магнитной проницаемости может привести к погрешностям при интерпретации полевых материалов. С целью подробного исследования этого вопроса проведены расчеты действительной и мнимой компонент, модуля и аргумента функции для трехслойных разрезов, у которых один из горизонтов обладает повышенными значениями магнитной проницаемости, соответствующей по своим значениям μ основных или ультраосновных пород, а также пластов железистых кварцитов и магнитных руд разного типа.

Для трехслойного разреза формула входного импеданса с учетом магнитной проницаемости его отдельных горизонтов имеет вид:

$$Z_0 = \frac{i\omega\mu_1}{k_1} \operatorname{cth} \left\{ k_1 h_1 + a z \operatorname{cth} \left(\frac{k_1 \mu_2}{k_2 \mu_1} \operatorname{cth} k_2 h_2 + a z \operatorname{cth} \frac{k_2 \mu_3}{k_3 \mu_2} \right) \right\} \quad (2)$$

Если повышенными значениями μ обладает только третий горизонт, что соответствует реальной геологической ситуации, когда разрез представлен сверху вниз наносами, осадочной толщей и высокоомным горизонтом, содержащим вкрапленность магнетита, или низкоомными пластовыми магнетитовыми рудами, то $\mu_1 = \mu_2 = \mu_0$, а $\mu_3 = \mu_0$ и, соответственно:

$$Z_0 = \frac{i\omega\mu_1}{k_1} \operatorname{cth} \left\{ k_1 h_1 + a z \operatorname{cth} \left[\sqrt{\frac{\rho_2 \mu_2}{\rho_1 \mu_1}} \operatorname{cth} (k_2 h_2 + a z \operatorname{cth} \sqrt{\frac{\rho_3 \mu_3}{\rho_2 \mu_2}}) \right] \right\} \quad (3)$$

Чтобы получить представление о том, как повышенная магнитная проницаемость нижнего горизонта влияет на форму кривых МТЗ, были рассчитаны действительная и мнимая компоненты, а также модуль и аргумент приведенного импеданса для разрезов типа H и K с меняющимися значениями μ_3 .

На рис. 1 представлены графики $\operatorname{Re} R$ и $\operatorname{Im} R$ для разрезов типа H со следующими параметрами. Удельное электрическое сопротивление: $\rho_1 = 1$; $\rho_2 = 0,2$; $\rho_3 = 5$; мощность: $h_1 = 1$; $h_2 = 4,0$; магнитная проницаемость: $\mu_1 = 1\mu_0$; $\mu_2 = 1\mu_0$; $\mu_3 = 1, 1,25, 2,5, 5,0, 10\mu_0$. На рис. 1 видно, что повышенная магнитная проницаемость подстилающего горизонта значительно искажает форму кривых в правой асимптотической их части. Это может привести к ошибочному истолкованию результатов полевых наблюдений, в частности к неверной оценке литологического состава подстилающего горизонта, поскольку правая асимптотическая ветвь кривой будет стремиться к значениям, определяемым не только удельным электрическим сопротивлением третьего слоя, но и его магнитной проницаемостью. Однако значительной ошибки в оценке мощности про-

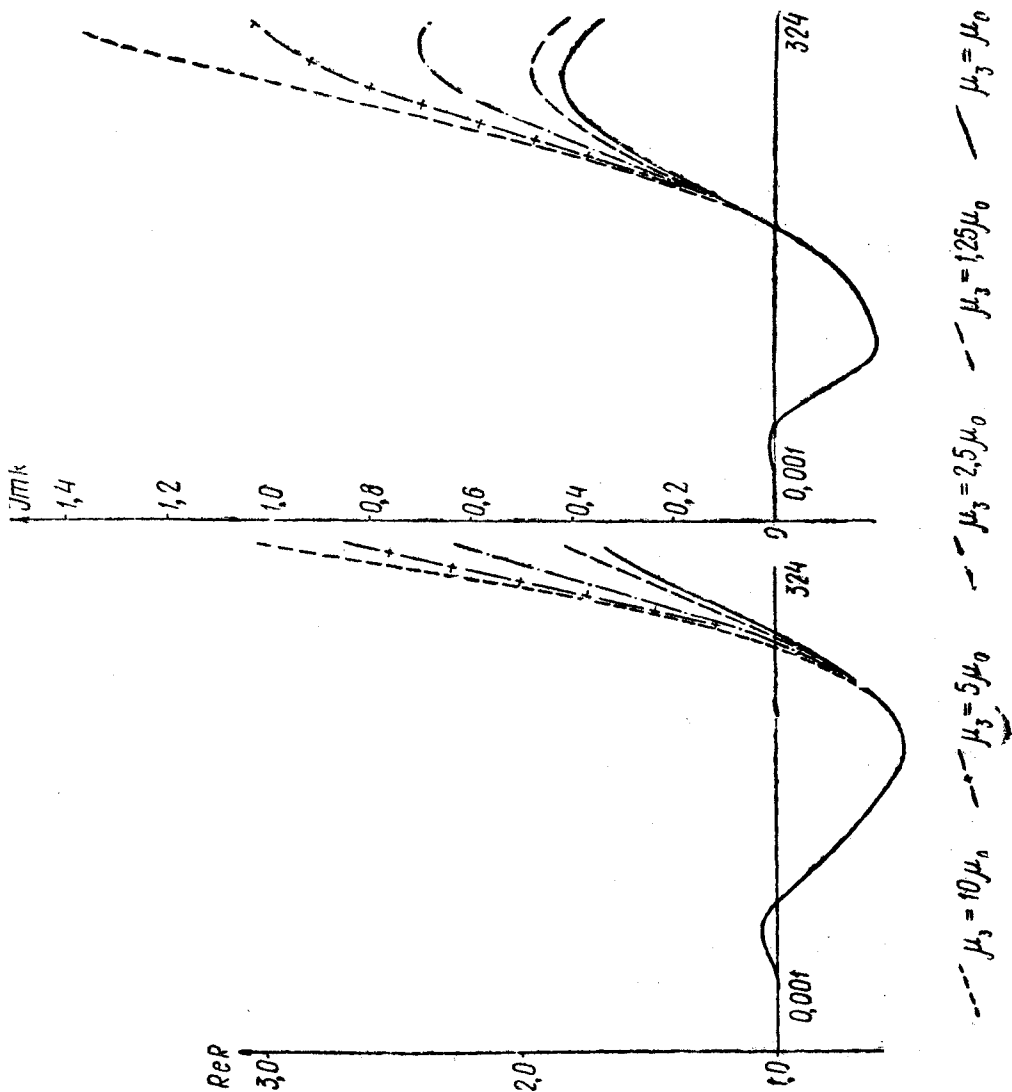


Рис. 1. Графики ReR и ImR над трехслойными разрезами типа H с повышенной магнитной проницаемостью подстилающего горизонта

межуточного горизонта, очевидно, не произойдет. Таким образом, при составлении глубин опорного горизонта искажающее влияние магнитной проницаемости третьего слоя невелико.

Для разрезов типа *K* дело обстоит иначе. Расчеты были проведены для разрезов, характеризующихся следующими параметрами:

$$\rho_1=1; \rho_2=160; \rho_3=1;$$

$$h_1=1; h_2=0,5; 1,0; 2,0; 4,0;$$

$$\mu_1=1; \mu_2=1; \mu_3=1,0; 1,25; 2,5; 5,0; 10,0$$

На рис. 2 даны графики компонент приведенного импеданса, из которых видно, что искажения формы кривых в данном случае куда значительнее, чем для разрезов типа *H*, и, главное, могут привести к существенным ошибкам даже при качественной интерпретации кривых МТЗ. Некоторые из кривых претерпевают настолько значительные изменения, что начинают походить на двуслойные кривые и интерпретация их без учета магнитной проницаемости может дать ошибочные результаты. Чем меньше мощность промежуточного горизонта, тем резче сказывается на форме кривых искажающее влияние магнитной проницаемости третьего горизонта.

В целом же можно сказать, что при проведении работ методами МТЗ в районах, где могут быть встречены пластообразные тела горизонтально залегающих магнитных руд, нельзя проводить не только количественную, но даже качественную интерпретацию без учета влияния магнитной проницаемости, т. е. по разработанным ранее правилам и способам.

Повышенная магнитная проницаемость промежуточного горизонта — также довольно часто встречающаяся в геологических условиях реальность. Примером трехслойных разрезов подобного типа могут служить некоторые геологические ситуации в районах развития траппов, перекрывающих опорный горизонт, являющийся объектом исследования. Влияние повышенной магнитной проницаемости второго горизонта для такого типа разрезов исследовалось на примере трехслойных разрезов типа *K*, для которых были приняты следующие параметры:

$$\rho_1=1; \rho_2=160; \rho_3=1;$$

$$h_1=1; h_2=0,5; 1,0; 2,0; 4,0;$$

$$\mu_1=1\mu_0; \mu_3=1\mu_0; \mu_2=1; 1,25; 2,5; 5,0; 10,0; \mu_0$$

На рис. 3 представлены результаты расчета $\text{Re}R$ и $\text{Im}R$ над этими разрезами. Влияние магнитной проницаемости в этом случае очень наглядно. Повышение магнитной проницаемости полностью аналогично увеличению мощности промежуточного горизонта.

В случае магнитных разрезов меняется принцип эквивалентности. При анализе эквивалентности кривых МТЗ рассматривают только ту часть формулы для входного импеданса, которая зависит от параметров второго горизонта. Для разрезов типа *H* соответствующая асимптотика α имеет вид:

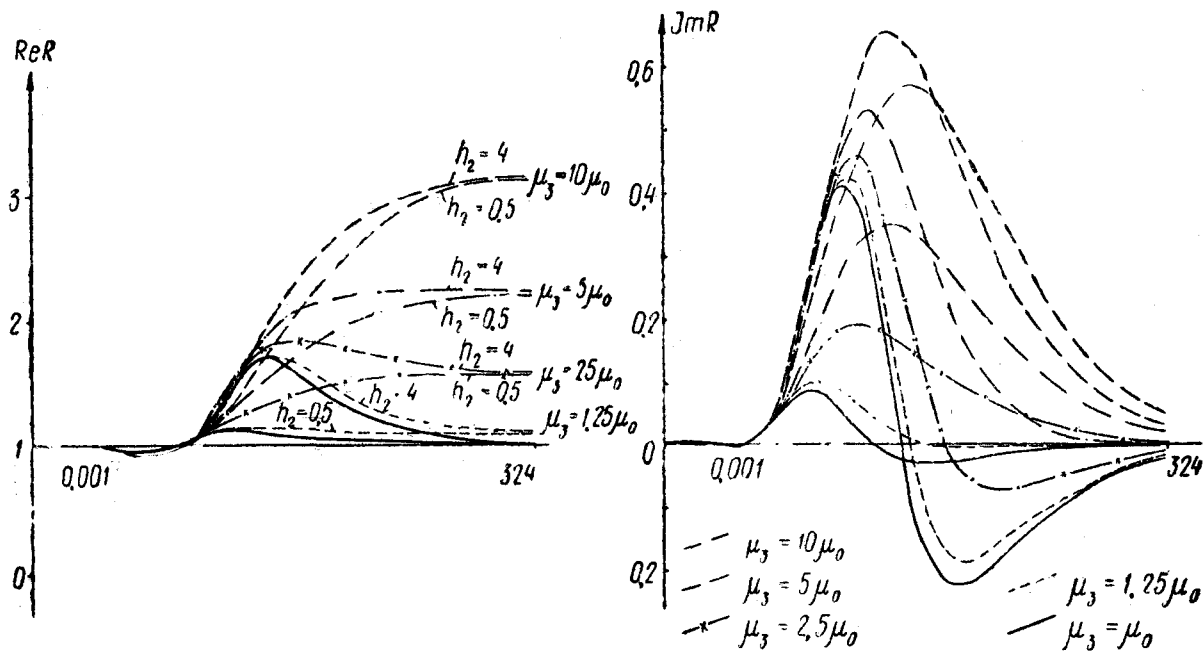
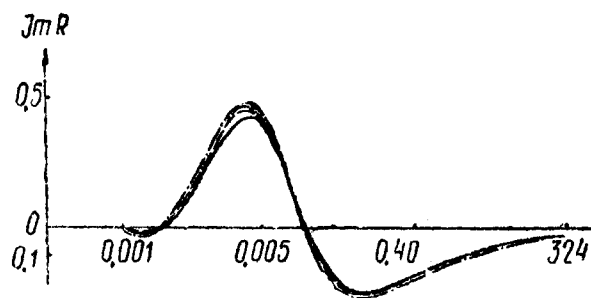
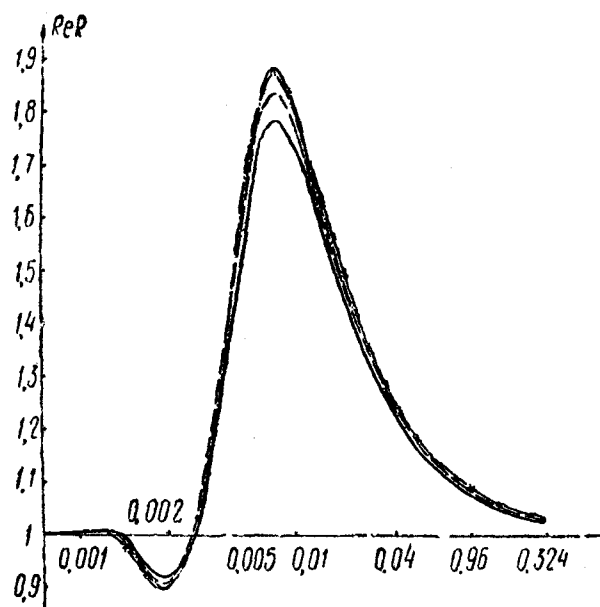


Рис. 2. Графики ReR и ImR над трехслойными разрезами типа K с повышенной магнитной проницаемостью подстилающего горизонта



$$- - h_2 = 0.5, \mu_2 = 10.0$$

$$- \cdot - h_2 = 1, \mu_2 = 5.0$$

$$- \cdot - h_2 = 2.0, \mu_2 = 2.5$$

$$- h_2 = 4.0, \mu_2 = 1.25$$

Рис. 3. Графики $\text{Re}R$ и $\text{Im}R$ над трехслойными разрезами типа K с повышенной магнитной проницаемостью 2-го горизонта ($\mu_2 h_2 = \text{const}$)

$$\alpha = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\rho_3 \mu_3}{\rho_1 \mu_1}} \cdot \frac{1}{1 + S_2 \sqrt{i\omega \mu_3 \rho_3}} \quad (4)$$

где $S_2 = h_2 / \rho_2$.

Согласно выражению для α изменение величины μ_2 не оказывает влияния на форму кривых импеданса и, соответственно, ρ_T . Следовательно, для этих разрезов остается справедливым выполнение принципа эквивалентности по S_2 .

Как известно, для разрезов типа K при $\rho_2 \gg \rho_3$ и достаточно малых $\kappa_2 h_2$ для немагнитных сред выполняется принцип эквивалентности по h_2 . Над разными разрезами наблюдается практически одинаковое электромагнитное поле, если мощность промежуточного горизонта остается постоянной, хотя удельное сопротивление этого горизонта у разных разрезов может меняться в широком диапазоне. Если же промежуточный горизонт обладает повышенными значениями магнитной проницаемости, то преобразование той же части формулы для входного импеданса, которая зависит от параметров второго горизонта, дает:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{\rho_3 \mu_3}{\rho_1 \mu_1}} \left(h_2 \mu_2 \sqrt{\frac{i\omega}{\rho_3 \mu_3}} + 1 \right) \quad (5)$$

Как следует из этого выражения, для разрезов типа K и Q с аномальным значением μ_2 условием эквивалентности является не постоянство мощности второго горизонта, а *постоянство произведения мощности промежуточного слоя на его магнитную проницаемость*. Это положение хорошо иллюстрируется графиками на рис. 3, на которых хорошо видно практическое совпадение кривых $\operatorname{Re} R$, $\operatorname{Im} R$ над разрезами с удельными электрическими сопротивлениями $\rho_1 = 1$; $\rho_2 = 16$; $\rho_3 = 1$. Магнитные проницаемости первого и третьего горизонтов одинаковы и равны магнитной проницаемости воздуха, мощность же и магнитная проницаемость второго горизонта меняются таким образом, что их произведение остается постоянным.

На рисунках видно также, что при малых мощностях второго слоя h_2 при постоянстве произведения $h_2 \mu_2$ графики совпадают с точностью до 1%, однако при увеличении мощности этого слоя погрешность увеличивается. Полезно провести работу по оценке пределов применимости принципа эквивалентности и составить номограммы, которыми можно было бы пользоваться при практической работе.

ВЫВОДЫ

1. Повышенная магнитная проницаемость как второго, так и третьего горизонта существенно влияет на величину приведенного импеданса даже тогда, когда ее значения соответствуют магнитной проницаемости основных и ультраосновных пород ($\mu_2, 3 \approx 1,25\mu_0$).

2. Наиболее резко влияние магнитной проницаемости сказывается на результатах работ над разрезами типа K . Для этих разрезов повышенные значения магнитной проницаемости второго и третьего горизонтов могут привести к существенным изменениям привычных кривых зон-

дирования, коренным образом изменить наши представления о разрезе: а) для разрезов типа K , у которых подстилающий горизонт является магнитным ($\mu_3 \neq \mu_0$), влияние его магнитной проницаемости на форму кривых является значительно более заметным, чем влияние удельного электрического сопротивления второго горизонта; б) применительно к разрезам типа K , у которых магнитным является второй горизонт, меняется само представление о принципе эквивалентности (условием эквивалентности становится $h_2\mu_2 = \text{const}$).

Московский геологоразведочный
институт им. С. Орджоникидзе
