

УДК 550.837.76+550.836

ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМНЫХ СРЕД ИМПУЛЬСАМИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

© 2002 г. В. С. Якупов, С. В. Якупов

Представлено академиком Г.Ф. Крымским 30.08.2001 г.

Поступило 28.01.2002 г.

Радиолокационное зондирование в обычном его понимании предполагает посылку в изучаемую среду последовательности желательной идентичных электрических импульсов ΔE , длительность и мощность которых при прочих равных условиях определяются поставленной задачей: глубиной залегания, формой и линейными размерами исследуемых объектов, и регистрацию времен возвращения, а также амплитуды и формы отраженных от различных границ раздела сигналов, содержащих дополнительную информацию об их природе, которая может быть извлечена с той или иной полнотой с помощью различных процедур их обработки и анализа. Глубина исследования зависит главным образом от электрических свойств вмещающей среды и исследуемых объектов – величины коэффициента Френеля на самой глубокой границе раздела, потерь на отражения на промежуточных границах раздела, поглощения сигнала во вмещающей их среде и его рассеяния на ее неоднородностях – и от параметров используемой аппаратуры. Идентичность импульсов, вообще зависящая от степени однородности подстилающей среды и возможности ее нарушения в процессе работы, позволяет использовать идею накопления отраженного сигнала и тем самым увеличить его амплитуду. Все перечисленные факторы первой группы, кроме, отчасти, накопления сигналов, относятся к природной среде и не поддаются изменению или управлению. Другая группа факторов, также определяющая возможную глубину зондирования, зависит уже от исследователя: мощность излучающей и чувствительность приемной аппаратур, возможность накопления сигналов и управления геометрией взаимного расположения радиолокационной станции или одного из ее элементов (излучателя или приемника) и объекта исследования.

Здесь мы предлагаем, как нам представляется, принципиально новый способ радиолокационного зондирования (РЛЗ), основанный на изучении распространения в исследуемой среде импульсов магнитного поля. Он предполагает использование в качестве излучающего и приемного устройств горизонтальных магнитных диполей. В качестве мощных излучающих устройств могут быть, например, применены МГД-генераторы [1] или более предпочтительные по своим техническим параметрам и габаритам генераторы магнитного момента на основе сверхпроводников [2]. Принципиальное различие методов радиолокации с использованием импульсов электрического и магнитного полей заключается в том, что при одинаковых для них поглощении и скорости распространения в исследуемой среде радиолокация импульсами магнитного поля позволяет решать не только традиционные задачи радиолокации, но и новые, когда на границах раздела в горизонтально-слоистых средах меняется только магнитная проницаемость. Другое преимущество радиолокации импульсами магнитного поля заключается, как будет показано ниже, в возможности создания радиолокационных станций (РЛС) с большим энергетическим потенциалом.

Оценим энергетический потенциал соответствующей РЛС, т.е. отношение мощности излучателя к минимальной мощности сигнала, еще воспринимаемого приемным устройством, т.е. его чувствительности. Вполне реальное значение мощности МГД-генератора в импульсе длительностью 10^{-4} с, что дает оценку снизу, равно 10^{16} Вт [1], генераторов магнитного момента на основе сверхпроводников того же порядка [2], а современных, возможно, на порядки больше. Плотность энергии отраженного магнитного импульса ΔH равна в системе СГС $W = \mu_0 \Delta H^2 / 8\pi$, где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$. Чувствительность магнитометров на основе эффекта Джозефсона $\leq 10^{-9}$ А/м · Гц = $4\pi / 10^3$ Э. Отсюда $W = 8\pi \cdot 10^{-25}$ эрг/см³ (см. Фриш, Тиморева, 1951, с. 499). Длительность импульса 10^{-4} с, см³ = 10^{-6} м,

10^{-7} эрг = Вт. Окончательно получим $W = \sim 10^{-40}$ Вт. Отсюда энергетический потенциал предлагаемого варианта РЛС может достигать по меньшей мере 560 дБ. Если применить генераторы магнитных моментов на основе сверхпроводников с использованием импульсов полусинусоидальной формы для наиболее экономичной и бездуговой работы генераторов, то возможно накопление отраженных сигналов, например, до 10^4 . Тогда энергетический потенциал РЛС возрастет до ~ 600 дБ.

Рассмотрим возможности предлагаемого метода для решения весьма важной задачи: определения положения в литосфере поверхности с температурой точки Кюри для самого распространенного в литосфере ферромагнитного минерала – магнетита. Эта граница раздела образована изменением импеданса вследствие фазового перехода второго рода – превращения ферромагнетика (магнетита) в парамагнетик. Изменение импеданса при этом незначительно, и традиционные методы электромагнитного зондирования для его обнаружения использовать невозможно. Заманчивость использования радиолокации заключается в том, что погрешность определения положения этой границы раздела уменьшается в этом случае по крайней мере на порядок по сравнению с известным и до сей поры единственным способом ее решения: определения нижней кромки намагниченной части вертикального пласта по результатам магнитной съемки [3]. Но задачу можно пытаться решить методом радиолокации импульсами магнитного поля, выбрав для этого океаническую кору ввиду ее большей однородности по вещественному составу (базальты) и меньшей глубины залегания искомой границы. Управляя геометрией взаимного расположения цели и радиолокационной станции, которую мы предлагаем размещать на свободных от донных отложений однородных по намагниченности участках дна в глубоководных (4–5 км) частях океана, можно “приблизиться” к исследуемой границе и избавиться от поглощения магнитных импульсов в морской воде и донных отложениях.

При вполне реальных предположениях о свойствах базальтов океанической коры (электропроводность 10^{-4} Ом · м [4], магнитная восприимчивость с учетом эффекта Гопкинсона и совпадения индуктивной и остаточной намагниченности по направлению 0.02 СГС [5]), при энергетическом потенциале РЛС с накоплением 600 дБ граница фазового перехода магнетита в парамагнетик может быть определена на глубине до 2400 м от дна океана: на границе магнитных и немагнитных базальтов меняется только магнитная проницаемость и коэффициент Френеля будет равен

$R_{м, нм} = (\sqrt{\mu_m} - \sqrt{\mu_{нм}}) / (\sqrt{\mu_m} + \sqrt{\mu_{нм}})$. Пользуясь соотношением $\mu = 1 + 4\pi\chi$, где χ – магнитная восприимчивость вещества, и пренебрегая величиной $4\pi\chi$ для немагнитных базальтов в сравнении с единицей, получим $R_{м, нм} \approx 2\pi\chi_m \approx 0.125$. Отсюда потери на отражение ($-20 \lg R$) будут равны ~ 14 дБ. Удельное поглощение электромагнитной волны в веществе равно $8.68/2c\rho\epsilon_0\sqrt{\epsilon}$, где c – скорость света, ρ – удельное электрическое сопротивление, ϵ_0 – диэлектрическая постоянная вакуума [6]. Подставляя приведенные при описании геоэлектрического разреза значения, получим $N_{уд} = 0.1$ дБ/м. Общие потери в децибеллах будут примерно равны $5 + 20 \lg h - 20 \lg R + 2hN_{уд} + 40.7$, где h – глубина залегания отражающего слоя, первые два члена – потери вследствие расхождения фронта волны, четвертый – потери вследствие поглощения волны в среде и ~ 40.7 – предельные суммарные потери на рассеяние и деполяризацию волны с учетом ее фокусировки [6] или, при $h = 2400$ м, в сумме ~ 600 дБ. Скорость импульса $v = c/Re\sqrt{\epsilon\mu}$ определяется по прямой волне при достаточном разнесении излучающего и приемного устройств. Глубина исследования может быть увеличена помещением источника излучения и приемника или одного из них в специально пробуренные скважины. Отметим, что в значительно более благоприятных условиях достигнутая глубина исследования равна ~ 50 м [7]. В Арктическом бассейне работы по определению глубины залегания поверхности с температурой точки Кюри могут быть проведены со льда. Для первых попыток изложенной идеи большой интерес представляет, возможно, Исландия.

Итак, предлагается новый метод радиолокации земных сред по изучению распространения в них импульсов магнитного поля, создаваемых и принимаемых с помощью горизонтальных магнитных диполей. Он расширяет область применения методов геофизики в целом, поскольку пригоден для установления положения и тех границ раздела в горизонтально-слоистых средах, на которых меняется только магнитная проницаемость. Значительно расширяется и область традиционного применения радиолокации: в силу значительно большего энергетического потенциала РЛС с применением импульсов магнитного поля становится возможным определение положения границ раздела слабоконтрастных сред, неразличимых при радиолокации импульсами электрического поля, а глубина исследования при прочих равных условиях возрастает более чем на порядок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Велихов Е.П., Волков Ю.М.* Глубинные электромагнитные зондирования с применением импульсных МГД-генераторов. Апатиты, 1982. С. 5–25.
2. Сверхпроводимость в геоэлектроразведке / Под ред. В.С. Суркова, Э.В. Матизена. Новосибирск: Наука, 1977. 102 с.
3. *Булина Л.В.* // Сов. геология. 1961. № 5. С. 134–138.
4. *Ваньян Л.Л., Шиловский П.П.* Глубинная электропроводность океанов и континентов. М.: Наука, 1983. 86 с.
5. *Петрова Г.Н., Печерский Д.М., Лыков А.В.* Магнитные аномалии земных глубин. Киев.: Наук. думка, 1976. С. 55–63.
6. *Богородский В., Бенгли Ч., Гудмандсен П.* Радиогляциология. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 312 с.
7. *Омельяненко А.В., Цариев В.В., Якупов В.С.* Геохимические и геофизические методы поисков рудных месторождений на Северо-Востоке СССР. Магадан, 1985. С. 116–121.