

П7
307

П7
307

**ТРУДЫ
МОСКОВСКОГО
ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОГО
ИНСТИТУТА
им. С.Орджоникидзе**



ТОМ
XXVIII



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЕ НЕДР
МОСКВА 1955

(30)

электродви-
машаем силу
оужений

(31)

избежание
м разности
акже напря-
вленное для
огда сопро-
ловие (23)

(23')

(24')

(30')

(25')

(28')

опротивле-
м кафедры
е резуль-

А. Г. ТАРХОВ

РАДИОВОЛНОВОЙ МЕТОД ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ

В начале двадцатых годов текущего столетия видный советский геофизик А. А. Петровский предложил новую модификацию высокочастотной электроразведки, которая получила название радиотеневого метода или способа радиоволнового просвечивания (Петровский, 1925). По причинам, которые будут ясны из последующего изложения, мы предпочитаем называть эту модификацию радиоволновым методом электроразведки.

Этот метод основан на том, что проводящие геологические объекты, например рудные тела, сильно поглощают радиоволны; поэтому, если на пути распространения электромагнитной энергии от точки излучения к точке приема имеется такой объект, то позади него напряженность поля резко падает, т. е. возникает участок радиотени. Проведя наблюдения при нескольких различных положениях генератора, как это видно из простых геометрических построений, можно установить местоположение, форму и размеры рудных тел.

Следует заметить, что многие другие разновидности высокочастотной электроразведки, разработанные впоследствии оказались менее эффективными по своим разведочным возможностям. Так, интерференционный метод, в котором регистрируется эффект взаимодействия первичного и вторичного полей, обладает очень малой глубиной, поскольку первичное поле обычно резко преобладает над вторичным. Еще меньше глубина у так называемого емкостного метода; измеряемая емкость антенн практически зависит от электрических свойств лишь поверхностных слоев земной коры. В этом нельзя не усмотреть известной аналогии с переходными сопротивлениями заземлений в электроразведке постоянным током.

Работы по радиоволновому методу проводились А. А. Петровским и его учениками вплоть до начала Великой Отечественной войны, но в очень небольших объемах и при мало совершенном техническом оснащении, а затем и вовсе были прекращены. Лишь в 1946 г. исследования этого метода были возобновлены во Всесоюзном институте разведочной геофизики и продолжались до конца 1949 г. За этот период была разработана лабораторная и полевая аппаратура, проведены экспериментальные исследования, уточнены теоретические представления о физико-геологических основах метода.

Интерес к высокочастотной электроразведке возрос за последние годы в связи с установлением того факта, что руды многих типов месторождений цветных и редких металлов не обладают сплошной гальванической проводимостью, и рассчитывать поэтому на успех применения ме-

тодик с использованием постоянных полей не приходится. С другой стороны выяснилось, что в ряде районов большое практическое значение мог бы иметь способ геофизических исследований, позволяющий выявлять рудные тела, пропущенные разведочными горными выработками и буровыми скважинами.

Этим и было вызвано составление настоящего краткого обзора современного состояния развития радиоволнового метода, обзора, ни в коей мере не претендующего на полноту, а лишь преследующего цель облегчить дальнейшие разработки и внедрение этого перспективного способа в геолого-разведочную практику.

1. Не следует полагать, что при работе радиоволновым методом искомые рудные тела действительно во всех случаях создают «радиотень», т. е. вызывают появление зоны полного прекращения приема. Наоборот, такие случаи можно считать скорее редким исключением.

На рис. 1 представлены результаты работ радиоволновым методом на одном медноколчеданном месторождении. Как видим, в области геометрической тени слышимость становится весьма малой, а внутри рудного тела, залегающего в серицитовых сланцах, совершенно пропадает.

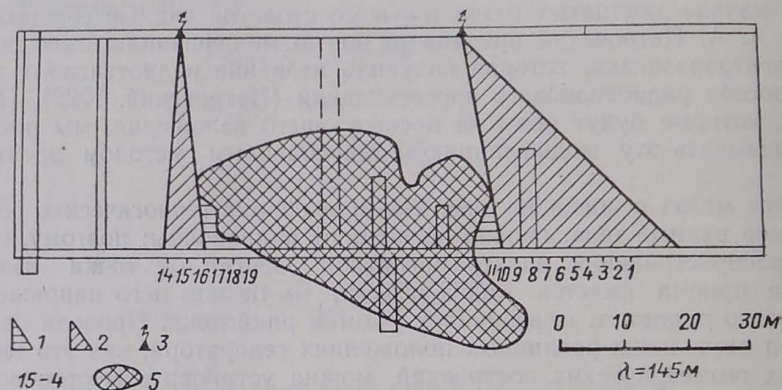


Рис. 1. Результаты работ радиоволновым методом на медноколчеданном месторождении

1 — зона молчания; 2 — зона слышимости; 3 — точки стояния генератора; 4 — точки стояния приемника; 5 — рудное тело

В таком чистом виде явление наблюдается лишь в особо благоприятной обстановке.

Для этого необходимо прежде всего, чтобы передающая установка находилась в достаточном удалении от искомых геологических объектов. Чаще всего это условие не выполняется, и действительное распределение электромагнитных полей оказывается значительно более сложным, чем это следует из геометрических соображений.

Попутно отметим, что именно по этой причине первые попытки создания теории распространения радиоволн вдоль земной поверхности, исходя из аналогии с распространением света, оказались неудачными, так как аналогия в этом случае может быть проведена лишь до известных пределов. Конечно, свет и радиоволны — однородные электромагнитные явления, различающиеся между собой только количественно — частотой колебаний. Между тем это количественное различие означает одновременно и различие качественное, не позволяющее, в частности, применить к радиоволнам законы геометрической оптики.

Дело в том, что при изучении световых явлений источник всегда удален от границ раздела на расстояния, во много раз превышающие длину световой волны. В случае же радиопередачи объекты почти всегда находятся вблизи от генератора. Вследствие этого процессы отра-

жения, преломления и дифракции имеют гораздо более сложный характер.

По образному выражению академика Мандельштама (Мандельштам, Папалекш, Щеголев, 1945), распределение электромагнитного поля зависит не только от свойств среды, находящейся на пути распространения радиоволн, но и от условий, имеющих место на «взлетной» и «посадочной» площадках, т. е. на участках расположения генератора и приемника.

Положение осложняется еще тем, что для достижения наибольшей дальности действия установки нужно пользоваться возможно более длинными волнами. Между тем при заданных размерах неоднородностей и кривизнах их сечений влияние дифракции резко увеличивается с ростом длины волны. Из-за этого внутри теневой области может даже возникнуть «блестящее» пятно, соответствующее увеличению напряженности поля, и нередко появляется «полутень», отвечающая понижению слышимости.

Наконец, проводящие рудные тела не только сильно поглощают электромагнитное поле, но при некоторых условиях могут, индуктивно возбуждаясь, сами стать вторичными излучателями, что и позволяет обнаружить их наблюдениями в горных выработках или на дневной поверхности.

Характерным в этом отношении представляется рис. 2, на котором изображены результаты эксперимента, проведенного на одном из медно-никелевых месторождений. При расположении генератора под землей (длина волны $\lambda = 250$ м) оказалось, что по профилю на поверхности рудные жилы, близко расположенные к генератору, отмечаются четко выраженными максимумами напряженности, т. е. в данном случае имеет место не ослабление, а наоборот, усиление поля.

В результате взаимодействия различных полей может возникнуть даже типично интерференционная картина распределения напряженности: чередование экстремумов разного знака. Теоретическое исследование вопроса распространения радиоволн в неоднородных средах, каковыми следует считать в общем случае горные породы, очень сложно, и его решение удалось получить только для простейших случаев (Фок, 1946), да и то в неявном виде. Есть основания полагать, что численные расчеты по выведенным формулам окажутся далеко не легкими.

Указанным определяется необходимость проведения в широких масштабах модельных исследований, методика которых в основном может считаться разработанной (Тархов, 1953). Воспроизведя на модели условия, типичные для того или иного месторождения, можно опытным путем найти способы геологической интерпретации результатов работ по радиоволновому методу.

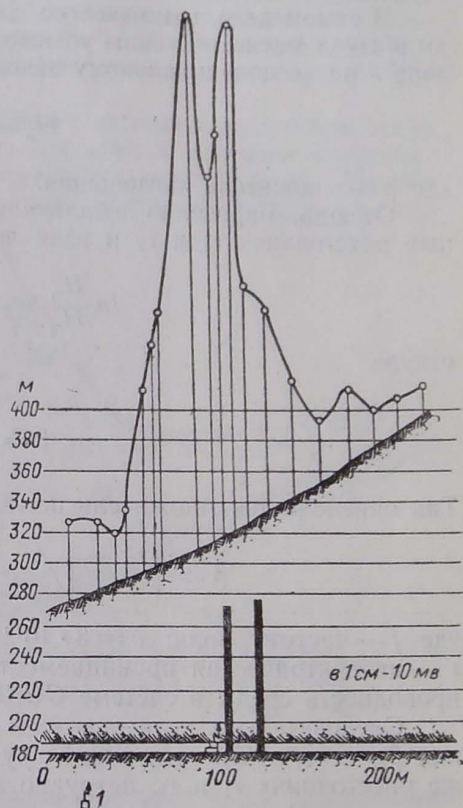


Рис. 2. Результаты работ радиоволновым методом над медно-никелевыми жилами

1 — точка стояния генератора

2. Измерив напряженности электромагнитного поля, можно не только чисто качественно оценить результаты наблюдений по радиоволновому методу в части выявления объектов с резко отличными от вмещающих пород электрическими свойствами, но и найти некоторые средние или эффективные значения электропроводности и диэлектрической проницаемости совокупности горных пород, находящихся на пути распространения радиоволн.

В самом деле, как известно, для простейшего случая плоской волны, амплитуда магнитной силы убывает с увеличением расстояния до генератора r по экспоненциальному закону:

$$H_r = H_0 e^{-\beta r}, \quad (1)$$

где β — множитель поглощения.

Отсюда, определив амплитуды в двух точках H_{r_1} и H_{r_2} на различных расстояниях r_1 и r_2 и взяв логарифм их отношения, получим

$$\ln \frac{H_{r_1}}{H_{r_2}} = -\beta (r_1 - r_2),$$

откуда

$$\beta = \frac{\ln \frac{H_{r_1}}{H_{r_2}}}{r_2 - r_1}. \quad (2)$$

Так определяется множитель поглощения. С другой стороны,

$$\beta = \frac{2\pi f}{c} \sqrt{\varepsilon} \sqrt{-\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{2\sigma}{\varepsilon f}\right)^2}}, \quad (3)$$

где f — частота поля; $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек — скорость света в вакууме; ε — диэлектрическая проницаемость среды в системе CGSE; σ — электропроводность среды в системе CGSE.

Следовательно, если опытным путем найти два множителя поглощения β_1 и β_2 , соответствующие двум различным частотам f_1 и f_2 при тех же расстояниях r_1 и r_2 , нетрудно вычислить отдельно σ и ε среды по следующим формулам, вытекающим из формулы (3):

$$\sigma = 22,8 \cdot 10^{18} \frac{\beta_1 \beta_2}{f_1 f_2} \sqrt{\frac{f_2^2 \beta_1^2 - f_1^2 \beta_2^2}{\beta_2^2 - \beta_1^2}}, \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{22,8 \cdot 10^{18}}{f_1 f_2} \frac{f_2^2 \beta_1^4 - f_1^2 \beta_2^4}{\beta_2^2 - \beta_1^2}. \quad (5)$$

Можно показать, что относительные погрешности в определении этих величин будут

$$\delta \sigma = \frac{2\delta H}{(r_2 - r_1)(\beta_2 - \beta_1)}, \quad (6)$$

$$\delta \varepsilon = \frac{4\delta H}{(r_2 - r_1)(\beta_2 - \beta_1)}, \quad (7)$$

причем δH — относительная погрешность измерения амплитуды магнитного поля.

Полагая $\delta H = 5 \div 10\%$ и используя теоретические зависимости β от f по формулам (6) и (7), легко найти значения f_1 и f_2 , r_1 и r_2 , обеспечивающие достаточную точность определения σ и ε .

В наших работах $\delta \sigma$ не превышала 20—25%, а $\delta \varepsilon$ иногда доходила до 50%.

Повышения точности можно достичь как уменьшением погрешности отдельных измерений амплитуд, так и увеличением числа наблюдений при различных расстояниях до генератора. Подчиняя экспериментальные данные определенным зависимостям, усредняя и выравнивая их, нетрудно уточнить результаты вычислений.

Опробование этой методики в различных районах показало близкое совпадение полученных результатов с данными измерений на постоянном токе. Это, кстати отметим, является одним из доказательств несостоятельности вывода некоторых зарубежных авторов¹ о наличии дисперсии электрических свойств горных пород в диапазоне частот, используемых при электроразведочных работах.

Весьма показателен опыт, поставленный на одном медно-никелевом месторождении. Генератор был помещен под землей, а измерения проводились по склону горы, сложенной ультраосновными породами. Как это изображено на рис. 3, часть профиля, выше пикета 100 м, проходит над рудоносным пластом, содержащим убогую вкрапленность (около 1%) электропроводных минералов—пентландита и халькопирита. Наносы практически отсутствуют.

Как и следовало ожидать, имеет место резко выраженный максимум напряженности приблизительно над генератором (по нормали к дневной поверхности). В обе стороны от этого пункта поле ослабевает, что соответствует увеличению расстояния: генератор—приемник. Обращает на себя внимание факт асимметрии графиков; в левой части рисунка ослабление поля происходит медленнее, чем в правой. Следовательно, даже небольшое содержание в породе проводящих компонент, не связанных между собой, вызывает заметное повышение электропроводности в переменном поле.

Расчеты по формулам (2), (4), (5) дают для левой половины рисунка $\sigma = 4,9 \cdot 10^6$ CGSE, что отвечает удельному сопротивлению $\rho = 1800$ ом; для правой получаем соответственно $\sigma = 1,3 \cdot 10$ CGSE и $\rho = 700$ ом.

Таким образом, радиоволновой метод может быть с успехом применен и на таких объектах, которые не обладают сплошной гальванической проводимостью (например, рудные вкрапленники). В этом его существенное преимущество перед способами электроразведки, использующими постоянное или низкочастотное переменное поле.

3. Работы по радиоволновому методу обычно проводятся при помехе в приемно-передающей аппаратуре в горные выработки или буровые скважины, причем могут встретиться три различных случая.

В первом из них генератор и приемник разделены толщей горных пород и обходные пути прохождения радиоволн исключены. Очевидно, что

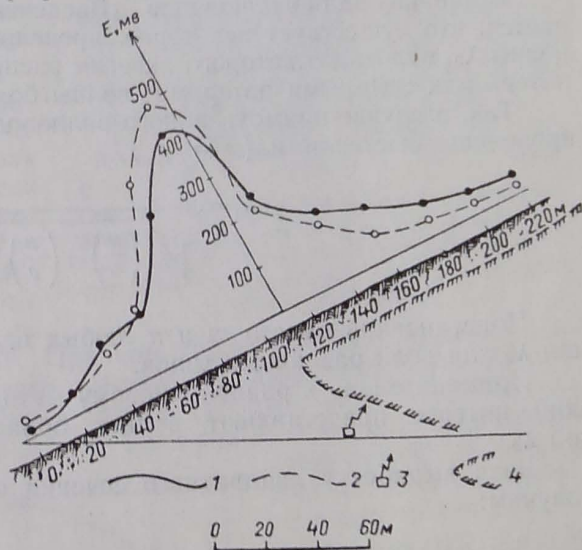


Рис. 3. Профиль напряженности электрического поля над пластом с убогой рудной вкрапленностью

1 — измерения при $f = 7 \cdot 10^6$ гц; 2 — измерения при $f = 4 \cdot 10^6$ гц; 3 — точка стояния генератора; 4 — контур рудоносного пласта

¹ См., например, нашу работу 1948 г.

при этих условиях напряженность поля в точке приема, кроме мощности передатчика, зависит только от электрических свойств пород.

Более сложная обстановка имеет место в случае, когда наряду с прямой волной по кратчайшему пути, в точку приема приходят и волны, распространяющиеся по выработкам. Вследствие интерференции колебаний, могущих находиться в разных фазах, поле резко искажается, что затрудняет практическое использование результатов измерений.

Последний случай относится к наблюдениям в условиях прямой видимости. Распространение радиоволн при этом определяется, с одной стороны, электрическими свойствами пород, окружающих выработку, а с другой — канализацией энергии вдоль горной выработки.

Так или иначе горные выработки, являясь своеобразными радиоволноводами, оказывают влияние на распространение электромагнитной энергии под землей, которое может быть определено на основании следующего.

В теории радиоволноводов (Введенский, Аренберг, 1946) доказано, что существует некоторое, предельно большое, значение длины волны λ_0 , вплоть до которого энергия распространяется в волноводах без потерь или с малыми потерями; волны более длинные быстро затухают.

Так, в случае прямоугольного волновода сечением $a \times b$ с бесконечно проводящими стенками ($\sigma = \infty$)

$$\lambda_0 = \frac{2}{\sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2}}. \quad (8)$$

Подстановкой вместо m и n любых целых чисел получают значения λ_0 для волн различных типов.

Применительно к радиоволновому методу электроразведки практический интерес представляют волны, обладающие наибольшей величиной λ_0 .

Взяв выработку квадратного сечения $a=b=2,5$ м, по формуле (8) получим:

$$\lambda_0^E = 3,5 \text{ м (электрическая сила),}$$

$$\lambda_0^H = 5,0 \text{ м (магнитная сила).}$$

Волноводные свойства горных выработок в чистом и полном виде могут проявляться только при использовании более коротких волн.

Если стенки волновода обладают хотя и большой, но все же конечной электропроводностью, возникают потери, и поле, сохраняя волновой характер, убывает по экспоненциальному закону даже при волнах, короче критической волны λ_0 .

Коэффициент затухания электрической силы дается выражением

$$\gamma = \frac{1}{V_{2\sigma c}} \cdot \frac{\left(\frac{a}{b}\right)\left(\frac{n}{b}\right)^n + \left(\frac{m}{a}\right)^2}{a \left[\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2\right]^{3/4}} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_0^E}{\lambda}\right)^{3/2}}{\sqrt{\left(\frac{\lambda_0^E}{\lambda}\right)^2 - 1}}, \quad (9)$$

где λ — применяемая длина волны; σ — электропроводность в CGSM.

Отсюда получается условие минимального затухания:

$$\lambda_{\gamma_{\min}} = 0,58 \lambda_0. \quad (10)$$

Для выбранного случая подземной выработки выражение (10) дает $\lambda_{\gamma_{\min}} = 2$ м. Две последние формулы, очевидно, имеют смысл лишь при

$\lambda < \lambda_0$; к тому же они выведены без учета токов смещения. Использование их в радиоволновом методе поэтому ограничено и чаще приходится руководствоваться качественными суждениями.

Возьмем в качестве примера графики затухания электрического поля вдоль штрека, пройденного по кварц-серицитовым сланцам с сопротивлением около 300 ом при различных частотах поля (рис. 4). Как видим, в полулогарифмическом масштабе они хорошо укладываются на прямые, угловые коэффициенты которых меняются в соответствии с изменением множителя поглощения β .

Воспользовавшись формулами (1) и (2), вычислим значения β для разных частот поля и представим их графически (рис. 5). Начиная с относительно низких частот до $f = 20 : 37,5$ мггц ($\lambda = 15 : 8$ м), имеет место возрастание β , что объясняется увеличением поглощения с ростом частоты¹. При еще более высоких частотах величина β падает, что обусловлено влиянием волноводных свойств выработки. Критическая волна в этом случае достигает $\lambda_0 = 10 : 12$ м вместо ранее полученной величины 3,5 м. Вызвано это расхождение конечной электропроводностью горных пород, вследствие чего имеет место некоторое проникновение энергии внутрь, эквивалентное кажущемуся увеличению сечения выработки.

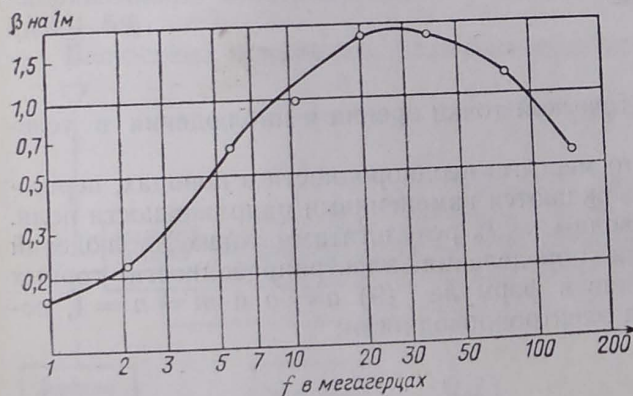


Рис. 5. Зависимость коэффициента поглощения поля от частоты (в мегагерцах)

или $\frac{1}{r^2}$, и зависимости в полулогарифмическом масштабе перестали бы быть линейными. Это значит, что большая доля энергии проходит вдоль выработки, служащей как бы направляющей.

Также интересно то экспериментально установленное обстоятельство, что напряженность поля обычно резко падает на участках, где сечение выработок увеличивается; аналогично влияние дополнительных, секущую главную, выработок.

На рис. 6 и 7 даны типичные примеры таких влияний, наблюдавшихся в выработках, пройденных в ультраосновных породах с сопротив-

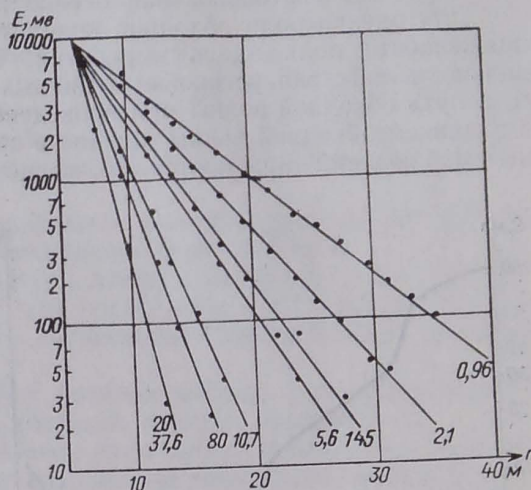


Рис. 4. Экспериментальные зависимости напряженности поля E_{mv} от расстояния r_m в горной выработке. Цифры у графиков означают частоту в мегагерцах. Начальные точки совмещены

Тот факт, что напряженность поля в выработке подчиняется в этом случае зависимости (1), весьма важен. Если учитывать малое удаление от передатчика, в формулу (1) должен был бы еще войти множитель $\frac{1}{r^2}$

¹ См. формулу (3).

лением от $1 \cdot 10^4$ до $1 \cdot 10^5$ ом. Это также свидетельствует в пользу того, что часть энергии распределяется внутри выработки, и поэтому изменению сечения отвечает соответствующее изменение объемной плотности энергии и, следовательно, напряженности поля.

Для оценки роли обходной волны следует проводить измерения напряженности поля вдоль выработки. Если окажется, что предельная дальность действия установки в данных условиях составляет, например, r_1 , а путь обходной волны при проведении поисковых работ — r_2 и $r_2 > r_1$, с влиянием обходной волны можно не считаться. В случае же $r_2 < r_1$ данные наблюдений нуждаются во введении соответствующих поправок.

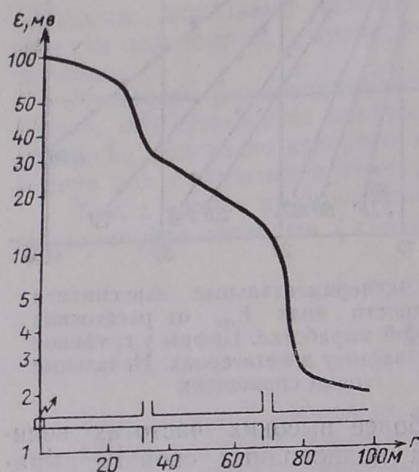


Рис. 6. Влияние боковых выработок на напряженность поля под землей. Генератор находится в начале координат

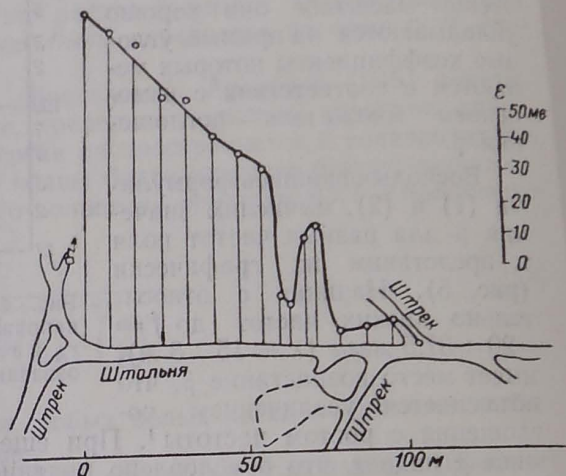


Рис. 7. Влияние подземных камер на напряженность поля под землей

Небезинтересны с практической точки зрения и наблюдения в условиях прямой видимости.

Во-первых, замечено, что местные неоднородности в породах, пересекаемых выработками, сопровождаются изменениями напряженности поля.

Во-вторых, при длине волны $\lambda \leq \lambda_0$ результатами таких наблюдений можно воспользоваться для определения электропроводности горных пород. В самом деле, положив в формуле (9) $a = b$ и $m = n = 1$, получим такое выражение для электропроводности:

$$\sigma = \frac{0,24 \cdot 10^{10}}{a^3 \gamma_E^2} \cdot \frac{\left(\frac{\lambda_0}{\lambda}\right)^3}{\left(\frac{\lambda_0}{\lambda}\right)^2 - 1} \text{ CGSM.} \quad (11)$$

Имеются основания полагать, что при этом будет возможно выявление не вскрытых рудных тел, находящихся в некотором удалении от горных выработок.

Особого упоминания заслуживает то, что имеющиеся в выработках искусственные проводники (тросы шахтного подъема, воздухопроводные трубы, электрические проводные линии) сильно влияют на вынос энергии и перераспределение поля. Избавиться от этого или учесть искажения трудно, поэтому в настоящее время приходится ограничиваться участками, возможно более удаленными от таких проводников. Инте-

ресно, что влияние откаточных рельс, обычно хорошо заземленных на всем протяжении, проявляется значительно слабее.

Весьма интенсивен вынос энергии по кабелям, на которых аппаратура опускается в скважины. Создание эффективных мер защиты от этого явления — задача первой очереди.

Заметим еще, что, повидимому, недоучетом обходных волн объясняются сообщения о будто бы достигнутом радиопросвечивании горных пород на расстояния в несколько километров (Fritsch, 1948). По нашим данным, предельная дальность действия применяемой сейчас аппаратуры для радиоволнового метода даже в наиболее благоприятных условиях не превышает 200—300 м.

4. Вышеизложенным и определяются основные требования, предъявляемые к аппаратуре для радиоволнового просвечивания.

Первое требование — аппаратура должна обеспечивать достаточную воспроизводимость наблюдений, что достигается стабилизацией излучения генератора и сохранением постоянства коэффициента усиления приемника.

В проведенных к настоящему времени работах по радиоволновому методу нами применялся лишь шахтный вариант аппаратуры.

При исследованиях в подземных выработках каких-либо специальных приспособлений для автоматического регулирования мощности генератора не требуется; регулировку проще осуществить по прибору, включенному в антенну или в отсасывающий контур. Скважинный генератор, конечно, в таком приспособлении нуждается.

В качестве задачи будущего необходимо указать на желательность разработки рациональных схем импульсного излучения, дающих возможность значительного увеличения мощности, а следовательно и дальности действия, при относительно малом расходе источников питания.

Приемное устройство принципиально может быть осуществлено в различных вариантах; важно лишь, чтобы оно позволяло измерять напряженность электромагнитного поля с погрешностью, не превосходящей $\pm 5\%$.

Блок-схема приемника, использовавшегося нами, дана на рис. 8.

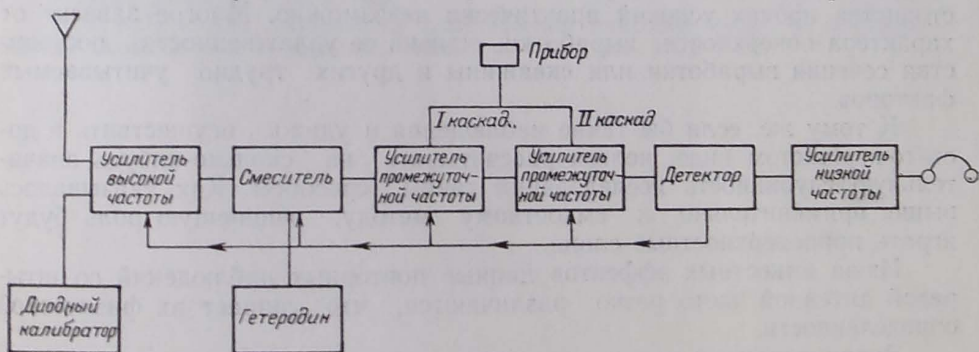


Рис. 8. Блок-схема полевого радиокомпаратора

Как видим, он состоит из усилителя высокой частоты, гетеродина, смесителя, двух каскадов усиления промежуточной частоты, детектора и усилителя низкой частоты. В отличие от обычного супергетеродинного приемника в нем еще имеются диодный калибратор, подключаемый для контроля усиления к входному контуру, и измерительный прибор с компенсационным элементом, стоящий в цепи усиления промежуточной частоты. На выходе стоит телефон, используемый при настройке в случае приема модулированных колебаний.

Сравнением показаний прибора с данными радиоконпарационных измерений можно установить переводной коэффициент для перехода

к абсолютным значениям напряженности поля. Впрочем, в большинстве случаев можно ограничиться относительными значениями.

Вторым важным требованием, предъявляемым к аппаратуре, следует считать достаточно широкий диапазон частот.

Как было указано выше, процессы прохождения радиоволн через горные породы, поглощения энергии, возбуждения геологических объектов, дифракции, отражения и преломления зависят от длины электромагнитной волны. Такая же зависимость характерна и для эллиптической поляризации поля. В зависимости от конкретной геологической обстановки и поставленной задачи выгоднее работать иногда на одном, иногда на другом участке диапазона. Опыт показал, что наиболее употребительны частоты в пределах 0,6—6,0 мГц. Конечно, совсем не обязательно весь диапазон частот размещать в одном комплекте, хотя достичь этого и возможно, по крайней мере для шахтного варианта аппаратуры.

И третье требование — использование для приема только замкнутых антенн. Оно определяется тем, что при работах под землей показания прибора в сильной степени зависят от расстояния открытой (например, штыревой) антенны до стенки выработки. Некоторое воздействие оказывает и тело наблюдателя. Поэтому для достижения воспроизводимости результатов приходится прибегать к целому ряду предосторожностей: устанавливать приемник, при повторных измерениях, в строго определенном месте, удалять от прибора на время измерения обслуживающий персонал, самому наблюдателю становиться в постоянном положении, иногда прибегать к удлинненным ручкам для дистанционного управления и т. д. Учитывая реальные условия наблюдений в подземных выработках, нельзя не признать, что все это крайне замедляет и усложняет работу, а нередко даже делает ее невозможной.

Правда, при прочих равных условиях, изменение электрических свойств пород вдоль выработки сказывается на емкостной связи между приемником и землей; будут вследствие этого меняться и показания прибора. Однако использовать это обстоятельство в геологических целях затруднительно, хотя бы уже потому, что добиться необходимого постоянства прочих условий практически невозможно. Многое зависит от характера поверхности выработки, степени ее увлажнения, постоянства сечения выработки или скважины и других трудно учитываемых факторов.

К тому же, если бы такие наблюдения и удалось осуществить в достаточно чистом виде, нельзя рассчитывать на сколько-нибудь значительную глубинность исследований таким способом. Как указывалось выше, применительно к емкостному методу, решающую роль будут играть приповерхностные слои.

Из-за емкостных эффектов данные повторных наблюдений со штыревой антенной часто резко различаются, что лишает их физической определенности.

Экранированная рамка позволяет полностью избавиться от таких искажений. Необходимо только, чтобы антенный эффект рамки, возникающий из-за недостаточно совершенного экранирования или вследствие асимметрии входных цепей приемника, был по возможности мал; во всяком случае он не должен превышать по величине 10%. Кроме того, с помощью рамки гораздо легче определить положение вектора поля.

По этим причинам, хотя теоретически измерения электрической или магнитной сил, связанных уравнениями Максвелла, равноценны, практически следует использовать только магнитную силу.

Конечно, для скважинного приемника изготовление соответствующей рамки затруднительно, но, возможно, в этих целях удастся применить магнитные антенны в виде малогабаритных катушек с сердечниками.

Шахтный генератор обязательно должен работать на рамку. Для скважинного генератора тоже желательны замкнутые антенны, позволяющие получить направленную передачу, но возможно применение и открытых антенн. Однако при этом необходимо учитывать то обстоятельство, что условия излучения вдоль оси скважины не будут постоянными.

5. В техническом отношении наблюдения по радиоволновому методу могут быть в последующем значительно изменены и усовершенствованы. Так, вместо измерения напряженности полей различных частот можно было бы исследовать катодным осциллографом характер поля импульсной передачи на различных расстояниях от генератора. При этом высокие гармоники, очевидно, будут затухать быстрее, чем низкие. Много возможностей при решении задач геологической разведки имеет интерференционный метод, применявшийся до сих пор только для измерения расстояний (Мандельштам, Папалекси, 1947).

Можно полагать, что на основе накопленного опыта радиоволнового метод прочно войдет в геологоразведочную практику и окажет существенную помощь в решении многообразных задач.

ЛИТЕРАТУРА

- Введенский Б. А. и Аренберг А. Г. Радиоволноводы, ч. I. Государственное издательство технико-теоретической литературы, 1946.
- Мандельштам Л. И., Папалекси Н. Д. и Шеголев Е. Я. Измерения скорости распространения радиоволн вдоль земной поверхности. Сборник, Гостехиздат, 1945.
- Мандельштам Л. И., Папалекси Н. Д. Интерференционные методы исследования распространения радиоволн и их применение к измерению расстояний. Полное собрание трудов Л. И. Мандельштама, т. II, АН СССР, 1947.
- Петровский А. А. Радио в горной разведке. Известия Института прикладной геофизики, вып. 1, 1925.
- Тархов А. Г. О сопротивлении и диэлектрической постоянной горных пород в переменных электрических полях. Материалы ВСЕГЕИ. Геофизика, сб. № 12, 1948.
- Тархов А. Г. Моделирование переменных электромагнитных полей в целях геофизической разведки. Изв. АН СССР, серия геофизич. № 4, 1953.
- Фок В. А. Поле плоской волны вблизи поверхности проводящего тела. Изв. АН СССР, серия физич. т. I, № 3, 1946.
- Fritsch V. Die Ausbreitung hochfrequenter hertzscher Felder in Kalilagär — Stätten. Geofisica pura e applicata, Milano, vol. XII, fasc. 1—2, 1948.