

УДК 550.372: 624.131.32

С. М. Простов, Н. Ю. Никулин

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА

Аппаратура георадиолокационного мониторинга апробирована при решении задач геотехнологии: при диагностировании аномальных ослабленных зон в насыпных основаниях автомобильных и железных дорог, локальных влагонасыщенных зон в теле дамб гидроотвалов, при контроле процессов ликвидации аварийных ситуаций эксплуатируемых подземных технических сооружений*.

Для исследования рационального частотного диапазона георадиолокационного мониторинга покровных четвертичных отложений, находящихся в основаниях горнотехнических сооружений, рассмотрим зависимости глубины зондирования H и разрешающей способности Δ от центральной частоты f геолокатора.

где ρ – удельное электросопротивление (УЭС) среды, Ом·м; f – частота, Гц; K – постоянная, комплексно учитывающая все неизменяемые параметры зондирования.

Для определения постоянной K можно воспользоваться данными, приведенными в работе [2]: при $f = 250$ МГц и $\rho = 500$ Ом·м $H = 17$ м, откуда $K = 3,01 \cdot 10^{12} \text{ м} \cdot \text{Гц}^{1,5} \cdot (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-0,5}$.

Разрешающая способность, оцениваемая как половина длины волны сигнала,

$$\Delta = \frac{3c}{4f\sqrt{\epsilon}}, \quad (2)$$

где c – скорость света, $3 \cdot 10^8$ м/с; ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость.

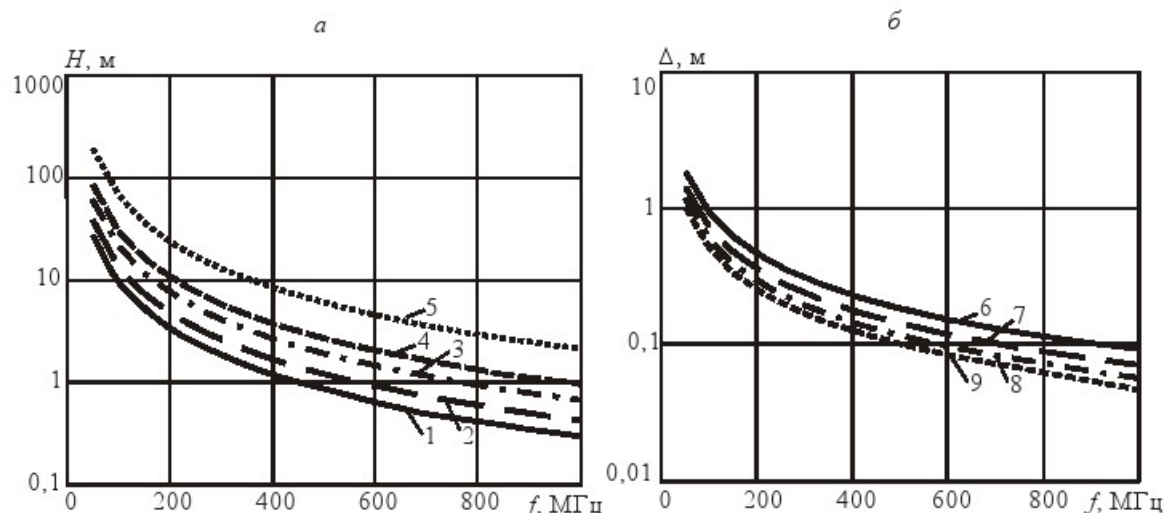


Рис. 1. Графики зависимостей глубины зондирования H (а) и разрешающей способности Δ (б) от частоты f при различных значениях УЭС ρ и диэлектрической проницаемости ϵ :

1 – $\rho = 10$ Ом·м; 2 – $\rho = 20$ Ом·м; 3 – $\rho = 50$ Ом·м; 4 – $\rho = 100$ Ом·м; 5 – $\rho = 500$ Ом·м;

6 – $\epsilon = 6$; 7 – $\epsilon = 10$; 8 – $\epsilon = 15$; 9 – $\epsilon = 20$

Часть параметров, входящих в расчетное выражение, могут быть приняты постоянными: излучаемая мощность, число накоплений, эффективная площадь антенны, полоса пропускания [1, 2]. С учетом затухания электромагнитного сигнала в проводящей среде за счет вихревых токов, а также считая температуру массива постоянной, можно приближенно представить зависимость $H(f)$ как

$$H = \frac{K\sqrt{\rho}}{f^{1,5}}, \quad (1)$$

Графики зависимостей $H(f, \rho)$ и $\Delta(f, \epsilon)$ приведены на рис. 1.

Затухание радиосигнала в различных средах в зависимости от частоты зондирующего сигнала f и объемной влажности k_v представлено на рис. 2.

Оценим средневзвешенные значения электромагнитных параметров ρ и ϵ грунтовых массивов в основаниях горнотехнических объектов в условиях Кузбасса. Значения УЭС различных грунтов Кузбасса получены по результатам ранее проведенных электроразведочных работ и приведены в табл. 1, значения диэлектрической проницаемости для соответствующих грунтов взяты из руководства [3] (приведены диапазоны параметров и средние значения).

*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы

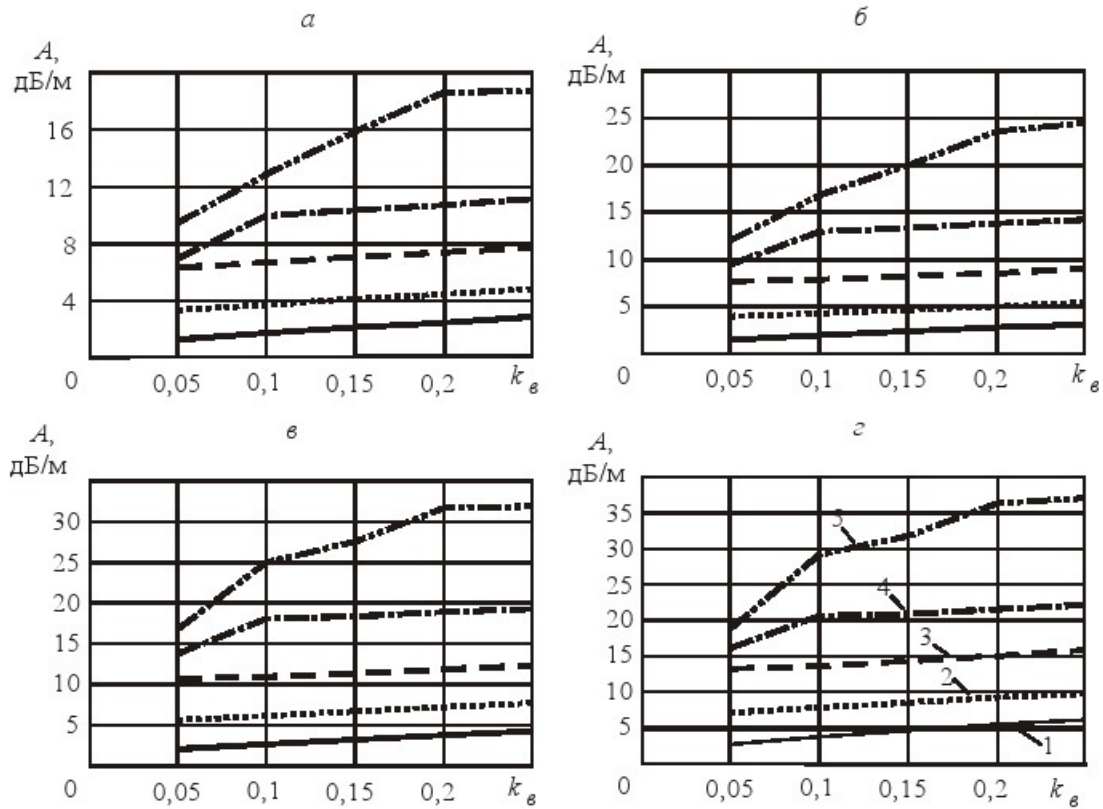


Рис. 2. Зависимости затухания сигнала A на частоте 50 МГц (а), 100 МГц (б), 250 МГц (в) и 400 МГц (г) для разновидностей грунтов: 1 – песок крупнозернистый; 2 – песок мелкозернистый; 3 – супесь; 4 – суглинок; 5 – глина

Таблица 1. Относительная диэлектрическая проницаемость ϵ и удельное электрическое сопротивление ρ грунтов Кузбасса

Объект	ρ_{\min} , Ом·м	ρ_{\max} , Ом·м	$\bar{\rho}$, Ом·м	ϵ_{\min}	ϵ_{\max}	$\bar{\epsilon}$
Копер (рудник «Казский»)	39,2	45,6	42,1	6,1	16,6	11,2
Участок ж/д пути (разрез «Краснобродский»)	15,1	37,3	26,3	9,3	25,4	17,1
Обогатительная установка (поле «Вахрушевское»)	22,7	120,2	71,5	4,2	9,7	6,5

Средневзвешенные значения УЭС и диэлектрической проницаемости для грунтов Кузбасса:

$$\rho_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \rho_k = 46,3 \text{ Ом} \cdot \text{м};$$

$$\epsilon_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \epsilon_k = 11,5,$$

где n – количество объектов.

Из физической природы георадиолокации следует, что для повышения информативности следует стремиться к максимальным значениям H и минимальным значениям Δ . В простейшем случае эта функция может быть выражена следующим образом:

$$F = H + \frac{L}{\Delta}, \quad (3)$$

где L – постоянная из диапазона $L = 3-10 \text{ м}^2$.

Из графической реализации уравнения (3) для

средневзвешенных значений ρ и ϵ следует, что оптимальный диапазон частот георадиолокационного зондирования для грунтов Кузбасса составляет $f = 80-240 \text{ МГц}$ (рис. 3).

Подставим в (3) функции параметров H и Δ , и исследуем уравнение на экстремум: получим дифференциальное уравнение $\frac{dF}{df} = 0$, откуда

можно определить аналитическое выражение для оптимальной частоты:

$$f_{\text{опт}} = \left(\frac{0,5c}{L} K \sqrt{\frac{\rho}{\epsilon}} \right)^{0,4}. \quad (4)$$

Для оценки информативности георадиолокационного контроля применим информационный подход. Количество информации о расположении и размерах аномальной зоны определяют из выражений:

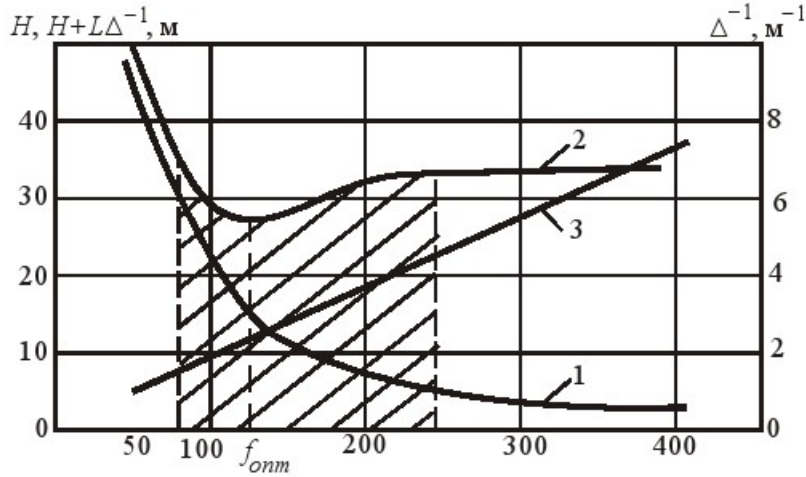


Рис. 3. Определение оптимального диапазона частот при георадиолокации в условиях Кузбасса: 1 - $H(f)$; 2 - $\Delta^{-1}(f)$; 3 - $F=H(f) + L \Delta^{-1}(f)$

$$I_H = 1,445 \ln \frac{H(f)}{X_H}; \quad I_R = 1,445 \ln \frac{X_R}{\Delta(f)}, \quad (5)$$

где X_H, X_R - статистически значимые изменения параметров H и R , определенных методом георадиолокации:

$$X_H = \sqrt{2} t_c \frac{S_H}{\sqrt{n}}; \quad X_R = \sqrt{2} t_c \frac{S_R}{\sqrt{n}}; \quad (6)$$

t_c - критерий Стьюдента, S_H, S_R - среднее квадратичное отклонение

$$S_H = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (H_k - \bar{H})^2}.$$

Геометрические параметры аномальной зоны, аппроксимируемой сферой, приведены на рис. 4.

В табл. 2 приведены экспериментальные данные о параметрах аномальных зон на объектах Кузбасса, выявленных методом георадиолокации.

График зависимости количества информации о параметрах H_{min}, H_{max} , и R аномальных зон от центральной частоты f показан на рис. 5.

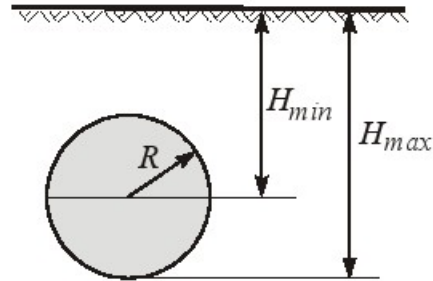


Рис. 4. Схема аномальной зоны: R - эффективный радиус; H_{min} - минимальная фиксируемая глубина аномалии; H_{max} - максимальная глубина аномалии

Анализ графиков показал, что наибольшая суммарная информативность $I_1 + I_3$ для аномальных зон достигается на частоте 150 МГц. При $f < 100$ МГц $I_3 < 0$, при $f > 300$ МГц $I_1 < 0$, т. е. уровень полезного сигнала меньше уровня помехи.

Установленные зависимости позволяют более обоснованно устанавливать частотный диапазон георадиолокационного мониторинга в соответствии с особенностями исследуемого объекта.

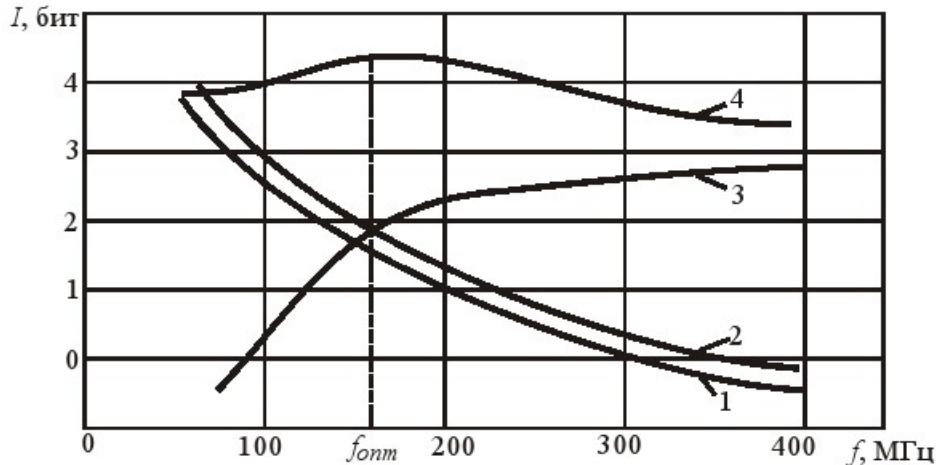


Рис. 5. Зависимость информативности: 1 - I_1 для H_{max} ; 2 - I_2 для H_{min} ; 3 - I_3 для R ; 4 - $I_1 + I_3$

Таблица 2. Параметры и положение аномальных зон на объектах Кузбасса

Объект	H_{min} , м	H_{max} , м	R , м
1. Обоганительная фабрика (ОФ) «Каскад», разрез «Виноградовский»	8,3	10,5	4,9
2. Строительство ОФ, разрез «Талдинский»	2,5	3,5	3,16
3. Главный корпус закладочного комплекса, «Таштагольский рудник»	2,4	3,8	1,87
4. Участок ж/д пути ст. Угольная – ст. Тырган «Краснобродский угольный разрез»	1,4	2,1	2,89
5. Строительство ОФ «Краснобродский угольный разрез» поле «Вахрушевское», участок 1	1,4	2,4	2
6. Строительство ОФ «Краснобродский угольный разрез» поле «Вахрушевское», участок 2	2,1	3,6	3,24
7. Строительство ОФ «Краснобродский угольный разрез» поле «Вахрушевское», участок 3	1,7	2,7	2,24
8. Тоннель глубокого заложения, ОАО «ЗСМК»	10	13	3,87
9. Взлетно-посадочная полоса, аэропорт г. Кемерово	0,8	1,25	3,15
10. Управление лицензирования медико-фармацевтических видов деятельности, г. Кемерово	1,2	2,9	2,92
11. Здание филиала ОАО «СО-ЦДУ ЕЭС», ул. Кузбасская, 29, г. Кемерово	1,25	1,85	0,83
Среднее значение \bar{H} и \bar{R}, м	3,0	4,33	2,82
Среднеквадратичное отклонение S	3,11	3,79	1,08

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изюмов, С. В. Теория и методы георадиолокации / С. В. Изюмов, С. В. Дручинин, А. С. Вознесенский. – М.: Изд-во «Горная книга», МГГУ, 2008. – 196 с.
2. Владов, М. Л. Введение в георадиолокацию / М. Л. Владов, А. В. Старовойтов. – М.: Изд-во МГУ, 2004. – 153 с.
3. Основы георадиолокации: Курс лекций. – М.: НПЦ «Геотех», 2006. – 58 с.

□ Авторы статьи

Простов
Сергей Михайлович,
докт. техн. наук, проф. каф.
теоретической и геотехниче-
ской механики КузГТУ,
e – mail psm.kem@mail.ru.

Никулин
Николай Юрьевич,
аспирант каф. теоретической и гео-
технической механики КузГТУ),
e – mail n.y.nikulin@mail.ru.

УДК 622.831.3

В.Г. Смирнов

ТРЕЩИНООБРАЗОВАНИЕ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ ВПЕРЕДИ ЗАБОЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ ВЫРАБОТКИ

В процессе горных работ в краевой зоне массива создается новая обнаженная поверхность, вблизи которой происходят релаксация и перераспределение напряжений, трещинообразование. Образование плоскостей трещин, параллельных поверхности обнажения, по мнению акад. Христиановича – ключевой момент в возникновении выбросоопасных состояний. К возникновению внезапных выбросов приводит сочетание, по крайней мере, трех факторов: газовый фактор, фактор трещинообразования и местной нарушенности массива, перераспределение горного давления вблизи поверхности обнажения. В настоящей работе обсуждается возможность образования трещин и неустойчивых напряженных состояний

при перераспределении горного давления ненарушенного пласта. Действие газового фактора следует считать усиливающим изучаемые в настоящей статье эффекты. Оно, в частности, подробно рассмотрено Христиановичем [1].

Акад. Шемякин [2] рассмотрел возможность образования трещин за счет упругой энергии, накопленной в объеме тела, прилегающем к рассматриваемой поверхности трещинообразования. Без учета деформаций, возникающих при разгрузке объема вблизи обнаженной поверхности.

Рассмотрим состояние объема угля вблизи поверхности обнажения. При отсутствии смещений по границам пласта с почвой и кровлей [3] происходит выгибание его средней части в сторону