

М. И. ФИНГЕЛЬШТЕЙН, В. А. КУТЕВ, О. П. ВЛАСОВ

РАДИОЛОКАЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ГРУНТОВЫХ ВОД ПОД СЛОЕМ ПЕСКА

(Представлено академиком Ю. Б. Кобзаревым 6 II 1974)

В последнее время развивается радиолокация слоистых сред. Например, радиолокационное зондирование с борта самолета с достаточно высоким разрешением реализовано посредством обычных радиоимпульсов в ледниках Антарктиды ⁽¹⁾, где затухание радиоволн на частотах в несколько десятков мегагерц весьма мало (порядка 10^{-3} дб/м). Однако затухание в грунтах и горных породах оказывается на тех же частотах на 3—4 порядка выше, что в основном до последнего времени ограничивало реализацию методов радиолокационного глубинного зондирования с борта самолета.

Как известно, затухание при распространении радиоволн в грунтах и породах, как правило, снижается с уменьшением несущей частоты колебаний. Так, например, затухание в песчаном грунте с влажностью 3% уменьшается с 25 дб/м на частоте 3000 Мгц до 1,5 дб/м на частоте 150 Мгц ⁽²⁾.

Однако недостатком применения весьма низкочастотных колебаний является ограниченная ширина полосы частот, что приводит к низкой разрешающей способности при радиолокационном зондировании.

Разрешающая способность по толщине слоя (неоднородности) для импульсного метода равна $\delta h = c\tau_n/2 \operatorname{Re}\sqrt{\epsilon}$ (где τ_n — длительность используемых зондирующих импульсов, $\operatorname{Re}\sqrt{\epsilon}$ — реальная часть корня из комплексной диэлектрической проницаемости $\epsilon = \epsilon_r(1 - j \operatorname{tg} \delta)$, c — скорость света), так что при $\operatorname{Re}\sqrt{\epsilon} = 2$ и $\delta h = 5$ м требуемая длительность импульсов $\tau_n = 67$ нсек.

В ряде работ, касающихся распространения радиоволн в земной коре на частотах порядка единиц и десятков мегагерц, антенны предполагаются погруженными в рассматриваемую среду (см., например, ⁽³⁾) или находятся на ее поверхности. Исключением является теоретическая работа ⁽⁴⁾, в которой рассмотрено распространение широкополосных видеоимпульсов в среде воздух — земля — вода и показана возможность обнаружения воды под слоем сухой земли на глубине 10 м.

Так как для улучшения проникновения радиоволны внутрь слоя требуется уменьшение несущей частоты, а для сохранения высокого разрешения необходимо иметь небольшую длительность импульса, то в качестве зондирующих сигналов целесообразно использовать импульсы, образованные путем ударного возбуждения широкополосных весьма низкочастотных антенн ⁽⁵⁾. Этот метод следует применять тогда, когда между длительностью зондирующих импульсов и полосой пропускания частот антенны выполняется соотношение $\tau_n \approx 1/\Delta f_A$. При этом оптимальная длительность возбуждающего импульса должна соответствовать $\tau_n \approx 0,5/f_0$, где f_0 — резонансная частота используемой антенны.

Данный метод практически реализован при радиолокационном зондировании пресноводного льда ⁽⁶⁾ и в наших работах по радиолокационному зондированию морского льда ^(7, 8).

В сентябре 1973 г. метод ударного возбуждения антенны был нами использован при осуществлении радиолокационного зондирования уровня пресных грунтовых вод и неоднородностей под слоем песка с борта самолета в Каракумах. Для этой цели была применена аппаратура, подобная упоминаемой в работе (7), но с другой антенной системой, в которой $f_0 \approx 70$ МГц (см. (6)). Длительность возбуждающего импульса $\tau_a \approx 7$ нсек. (на уровне 0,5).

Отраженный от воды сигнал характеризуется рис. 1. На рис. 2 даны осциллограммы, на которых видны два сигнала: отраженный от границы воздух — песок и отраженный от границы песок — грунтовые воды (или другие неоднородности). (Кадры даются с интервалом 2 сек. по линии

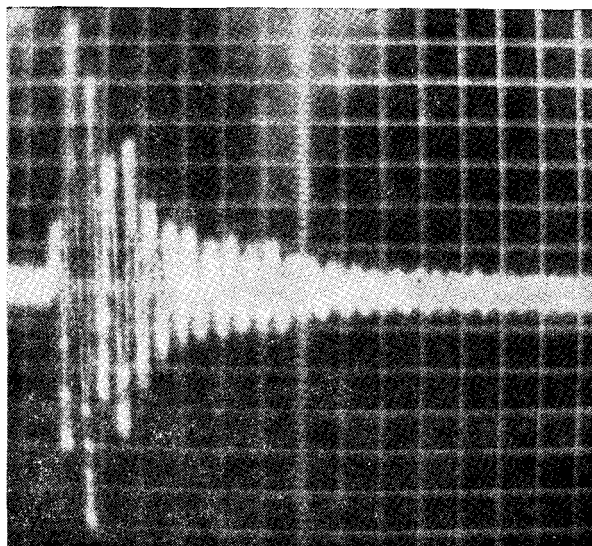


Рис. 1. Осциллограмма импульса, отраженного от воды (1 клетка соответствует 30 нсек.)

полета). Были получены также осциллограммы с тремя сигналами. На том же рисунке даны зависимости интервала запаздывания Δt_s между максимумами сигналов, отраженных от границ слоя песка от пути L , т. е. «разрезы» слоев песка на участках пути. Средняя скорость самолета 160 км/час, высота полета 200–400 м. Если воспользоваться приближенным значением $\text{Re}\sqrt{\epsilon} \approx \sqrt{\epsilon_q} \approx 2$ для района проведения эксперимента, то толщина слоя песка $h_{\pi} \approx c\Delta t_s/2\sqrt{\epsilon_q}$, т. е. h_{π} (м) $\approx 0,075 \Delta t_s$ (нсек.). Следовательно, согласно рис. 2, толщина зондируемого слоя изменялась от 7,5 до 26 м. Максимальное зарегистрированное значение интервала времени $\Delta t_s = 407$ нсек. (что соответствует глубине зондирования около 30 м). Эти результаты согласуются с геологическими данными в районе проведения эксперимента.

В связи с неровностями поверхности (барханы), достигающими по высоте 10–15 м, сигнал от верхней границы заметно флуктуировал. Имели место также флуктуации сигнала, отраженного от нижней границы. В процессе горизонтального полета на отдельных участках наблюдались стабильное положение сигнала от нижней границы и флуктуации временного положения сигнала от верхней границы.

Таким образом, доказана возможность практической реализации достаточно простыми средствами радиолокационного глубинного зондирования, что, на наш взгляд, открывает новые возможности в геологической разведке.

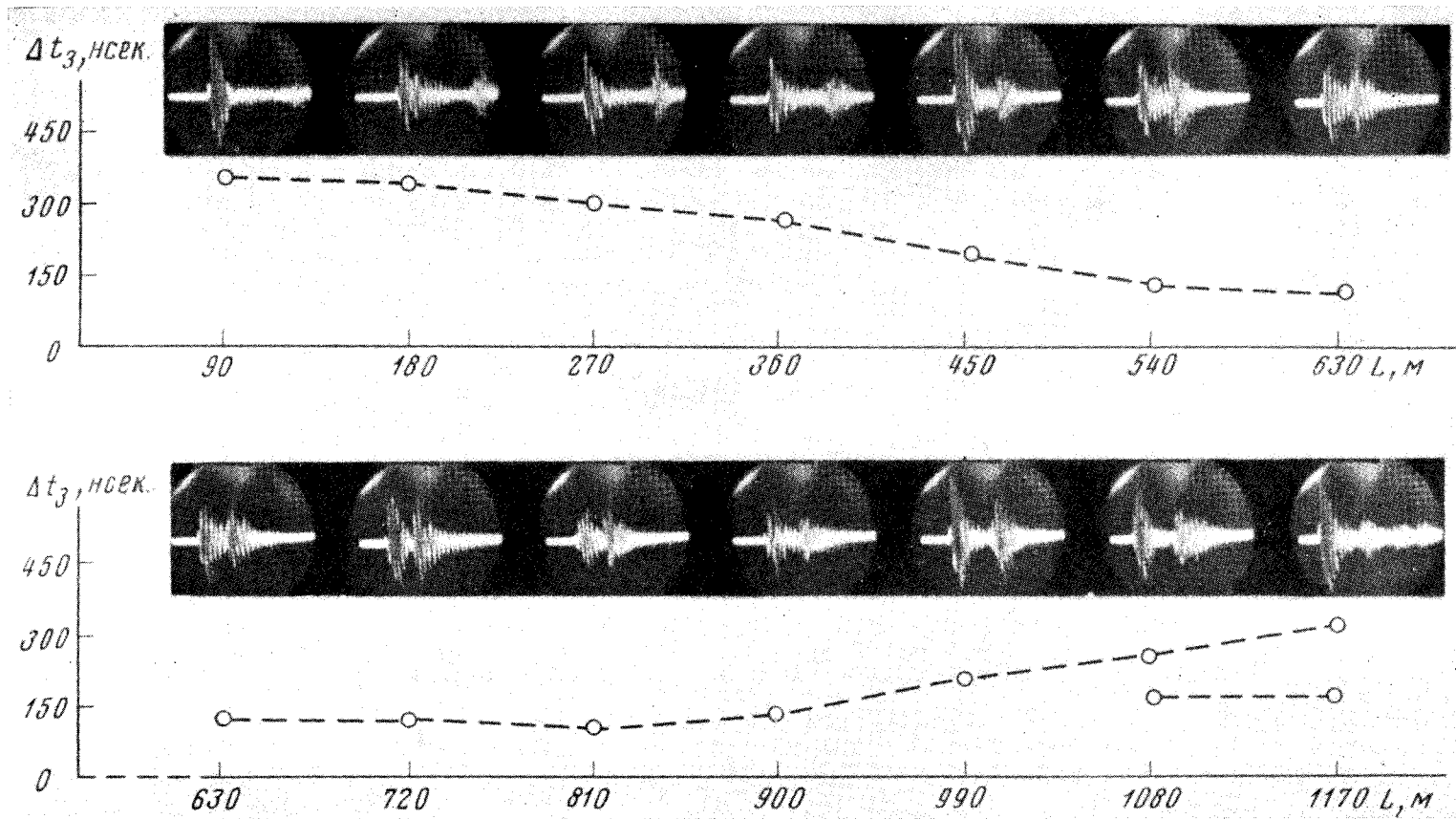


Рис. 2. Осциллограммы импульсов, отраженных от границ песка, и соответствующий «разрез» вдоль пути самолета (на осциллограмме 1 клетка соответствует 30 нсек.)

В разработку использованной аппаратуры важный вклад внесли В. Г. Глушнев и Н. П. Соловьев. Организацию летного эксперимента и его геологическое обеспечение провели Б. В. Шилин, В. А. Морозов и В. И. Горный.

Поступило
6 II 1974

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Богородский, Физические методы исследования ледников, 1968. ² Ю. И. Лещанский, Г. Н. Лебедева, В. Д. Шумилин, Изв. высш. учебн. завед., Радиофизика, т. 14, № 4, 562 (1971). ³ J. R. Wait, J. A. Fuller, IEEE Transactions, AP-19, 6, 796 (1971). ⁴ K. Sivaprasad, K. C. Stotz, IEEE Transactions, GE-11, 3, 161 (1973). ⁵ J. C. Cook, Trans. Am. IEEE, part 1 (Commun. and Electronics), v. 79, 51, 588 (1960). ⁶ M. A. Meyer, Proc. of 4th Symposium on Remote Sensing, University of Michigan, April, 1968, p. 183. ⁷ М. И. Финкельштейн, В. Г. Глушнев, ДАН, т. 203, № 3, 578 (1972). ⁸ М. И. Финкельштейн, В. А. Кутев, Радиотехника и электроника, т. 10, № 12, 2107 (1972).