

В. В. БОГОРОДСКИЙ, М. Н. ВИТУШКИНА

РАДИОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ СКРЫТЫХ ТРЕЩИН В ПОКРОВНЫХ ЛЕДНИКАХ

(Представлено академиком Е. К. Федоровым 22 III 1971)

В настоящей работе обсуждается в основном применение радиометрического * метода для обнаружения скрытых трещин.

Для исследования возможности дистанционного и всепогодного обнаружения скрытых трещин в покровных ледниках радиометрическим методом в работе были рассмотрены

тепловое с.в.ч. радиоизлучение гладкой и сильно шероховатой поверхности ледника, изменение излучения, обусловленное наличием полости в леднике в зависимости от угла скольжения, оптической толщины и влажности снежного покрова, степени шероховатости стенок полости, используемой поляризации;

требования, предъявляемые к антенне, антенно-фидерному тракту и приемному устройству радиометрического обнаружителя трещин, обеспечивающие надежную работу при минимальных весе, габаритах и потребляемой энергии.

Из работы ⁽³⁾ следует, что радиояркостная температура поверхности ледника, нарушенной полубесконечной трещиной с гладкими вертикальными стенками, превышает радиояркостную температуру ненарушенной поверхности ледника на величину

$$\Delta T_{я\ 31} = T_3 R_{31}^2, \quad (1)$$

где T_3 — термодинамическая температура ледника (среда 3), R_{31} — модуль коэффициента отражения потока теплового излучения на границе раздела сред 3 — 1 (ледник — воздух), рассчитываемый по формулам Френеля.

Расчеты показывают, что прирост радиояркостной температуры $\Delta T_{я\ 31}$ при заданном угле скольжения и известной относительной диэлектрической проницаемости излучающей среды всего оказывается большим при использовании горизонтально поляризованной составляющей излучения по сравнению с вертикально поляризованным.

Если излучение полубесконечной полости поступает в атмосферу через промежуточный слой снега (среда 2) с малой оптической толщиной, то прирост радиояркостной температуры $\Delta T_{я\ 321}$ определяется соотношением квадратов коэффициентов отражения потока излучения от границ раздела сред 3 — 2 и 2 — 1:

$$\Delta T_{я\ 321} = T_3 (1 - R_{21}^2) (R_{32}^2 - R_{21}^2). \quad (2)$$

На рис. 1 представлены расчетные зависимости прироста радиояркостной температуры, обусловленного излучением открытой полости ($\Delta T_{я\ 31}$) или полости, скрытой слоем снега ($\Delta T_{я\ 321}$) в зависимости от угла скольжения, вида поляризации волн и влажности снега.

Из рис. 1 следует, что промежуточный слой снега может иметь как согласующее ($\Delta T_{я\ 321} > \Delta T_{я\ 31}$), так и рассогласующее действие ($\Delta T_{я\ 321} < \Delta T_{я\ 31}$) в зависимости от его состояния, угла скольжения и вида поляризации.

* Метод пассивной радиолокации или радиотеплолокации ^(1, 2).

Расчетные значения прироста радиояростной температуры $\Delta T_{я}$, °K, от трещины с гладкими вертикальными стенками в зависимости от толщины и состояния снежного покрова

Угол скольжения	Поляризация	Толщина снежного покрова, м								
		без снега	снег сухой				снег влажный			
			0	0,5	1,0	2,0	3,0	0,5	1,0	2,0
15°	Вертикальная	23,118	14,150	13,527	12,364	11,300	22,968	22,136	20,566	19,107
	Горизонтальная	130,974	30,020	28,700	26,231	23,974	24,868	23,969	22,268	21,145
45°	Вертикальная	6,575	5,815	5,662	5,370	5,095	4,016	3,906	3,696	3,500
	Горизонтальная	42,080	25,540	23,893	22,667	21,506	7,375	7,181	6,810	6,458

При значительной оптической толщине промежуточного слоя величина прироста радиояростной температуры $\Delta T_{я\ 321}$ определяется, кроме того, глубиной слоя и тангенсом угла электрических потерь слоя

$$\Delta T_{я\ 321} = T_3 (1 - R_{21}^2) (R_{32}^2 - R_{21}^2) e^{-\tau_2}. \quad (3)$$

Расчетные значения изменений радиояростной температуры, которые следует ожидать при приеме теплового излучения полубесконечной полости с гладкими вертикальными стенками в покровном леднике при углах скольжения $\theta = 45^\circ$, $\theta = 17^\circ$, сведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что наличие скрытой полости в ледяном покрове приводит к повышению радиояростной температуры на 5—6,5° K при приеме вертикально поляризованной составляющей излучения.

Для вычисления прироста радиояростной температуры за счет излучения полости с сильно шероховатыми стенками был использован графический метод. Результаты расчета представлены в табл. 2.

В сантиметровом диапазоне волн прямоугольная полость с сильно шероховатыми стенками, глубина кото-

рой равна или в четыре раза превосходит ширину, увеличивает радиояростную температуру теплового излучения ненарушенной поверхности на 1,8—2,3° K при угле скольжения 45° и на 1,5—2° K при угле скольжения 17°.

Радиометрический обнаружитель трещин должен иметь высокую чувствительность при малых весе, габаритах и потребляемой мощности. Это требование является определяющим при разработке основных его элементов: антенны, приемного устройства, индикатора. Величину необходимой чувствительности радиометра можно рассчитать исходя из определенного типа поляризации, метода обзора и ожидаемых контрастов радиояростной температуры.

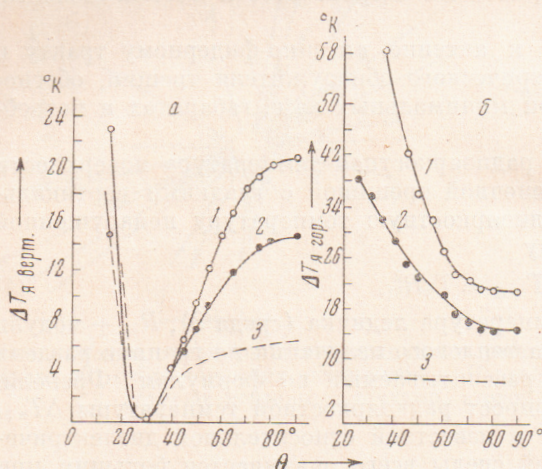


Рис. 1. Зависимость изменения радиояростной температуры, обусловленного трещиной от угла скольжения при вертикальной (а) и горизонтальной (б) поляризации: 1 — трещина открыта, 2 — скрыта слоем сухого снега, 3 — скрыта слоем влажного снега

Таблица 2

Расчетные значения прироста радиояркой температуры $\Delta T_{я}$, °К, от трещины с шероховатыми стенками, имеющей различные отношения n ширины к глубине

Угол скольже- ния	Частота, Ггц	n			Угол скольже- ния	Частота, Ггц	n		
		1 : 1	2 : 1	4 : 1			1 : 1	2 : 1	4 : 1
17°	3,0	1,54	1,79	1,95	45°	3,0	1,79	2,07	2,30
	10,3	2,18	2,56	2,82		10,3	2,61	2,87	3,08
	15,2	4,36	5,13	5,64		15,2	5,02	5,64	6,41
	23,5	11,79	12,82	14,36		23,5	13,13	14,83	16,51
	75,0	23,59	29,23	30,77		75,0	27,06	29,02	36,66

Если выбрать наиболее сложные условия работы обнаружителя (прием вертикально поляризованной составляющей излучения и углы скольжения, близкие к углам Брюстера), то, как следует из проведенного выше расчета, динамическая чувствительность радиометра должна измеряться долями градуса Кельвина для обнаружения скрытых трещин с гладкими стенками или трещин с шероховатыми стенками.

Чувствительность 0,7° К при 1 гц была реализована в специально разработанном малогабаритном модуляционном радиометре, построенном по схеме прямого усиления с усилителем на туннельных диодах на входе. Конструкция однозеркальной антенны с рупорным облучателем обеспечила малый коэффициент рассеяния ($\beta = 0,19$), а размещение приемного устройства вблизи антенны позволило снизить потери в антенно-фидерном тракте до 1 дБ. Электронный самописец типа ЭПП-9 фиксировал текущее значение антенной температуры, связанное с радиояркой температурой излучения исследуемой поверхности через параметры антенно-фидерного тракта и шумовую температуру излучения фона.

Испытание радиометрического обнаружителя трещин проводилось в естественных полунатурных условиях и позволило сделать следующие выводы:

каждое пересечение трещины во льду лучом антенны сопровождалось регистрацией изменения радиояркой температуры на выходном индикаторе;

радиометрическое приемное устройство с чувствительностью 0,7° К при полосе выходного фильтра 1 гц позволяет обнаруживать ледниковые трещины шириной 0,5—0,1 м, расположенные перпендикулярно направлению приема излучения на расстояниях 9 и 20 м от антенны при углах скольжения 48 и 17° соответственно.

Подробнее экспериментальные результаты изложены в (4). Теоретические исследования и проведение эксперимента подтвердили возможность применения радиометрического метода для обнаружения скрытых снежными мостами трещин.

Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт
Ленинград

Поступило
15 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. В. Богородский, Физические методы исследования ледников, 1968.
² Г. В. Трепов, Радиолокационное зондирование ледников и других геофизических объектов, Диссертация, Л., 1970. ³ В. В. Богородский, М. Н. Витушкина, Тр. Арктич. и антарктич. н.-и. инст., 295, Физика льда (1970). ⁴ М. Н. Витушкина, Там же, 295, Физика льда (1970).