

126-141 / 505 19 фото
126, 128

Алексей А. Чухланцев, д.ф.-м.н. В.Ф. Крапивин,
А.А. Халдин, д.ф.-м.н. Александр А. Чухланцев
Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва,

МИКРОВОЛНОВОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ СУХОГО СНЕГА

А.А. Чулкинцев, В.Ф. Крапивин, А.А. Халдин, А.А. Чулкинцев



Ключевые слова: снег, снежный покров, микроволновое излучение, моделирование.

Key words: snow, snow cover, microwave radiation, modeling.

В работе проведен анализ известных модельных представлений о радиометровом излучении снежного покрова в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн. Рассмотрена методика и приведены результаты поларизационных измерений интегрального коэффициента отражения слоя снега, проведенных в контролируемых условиях на частотах 6,8 и 18,7 ГГц. Полученные зависимости поларизационной разности коэффициентов отражения от толщины снежного слоя сопоставлены с результатами натурных измерений коэффициента излучения снежного покрова. Показано, что поларизационная разность растет с увеличением толщины слоя снега и зависит от типа (зернистости) снежного покрова.

Analysis of known model representations for the radiothermal radiation from the snow cover in centimeter and millimeter range of electromagnetic waves is realized. Methodic is considered and results of polarized measurements of integral reflection coefficient for the snow layer are given for the experiments realized in the controlled conditions for the frequencies 6.8 and 18.7 GHz. Received dependencies between the polarized difference of reflection coefficient and snow layer thickness are compared with the results of in-situ measurements of the reflection coefficient for the snow cover. It is shown that polarized difference grows with the increase of the snow layer thickness and depends on the type (graininess) of snow cover.

Введение.

Дистанционное зондирование снежного покрова представляет значительный практический интерес. Для прогноза уровня лавоопасных вод и схода снежных лавин, определения запасов пролотаивной влаги и пресной воды в горном снеге важным является мониторинг такой компоненты гидрологического цикла, как влагоспас (водный эквивалент) снежного покрова суши [1-6]. Картирование водного эквивалента снега в глобальном масштабе, кроме того, позволяет выявить проявления климатических изменений. Помимо этого, снежный покров морского льда играет центральную роль в обмене энергии и массы на границе океан — морской лед — атмосфера [7]. Вышеказанное объясняет тот факт, что определение параметров снежного покрова по данным дистанционного зондирования в опти-

ческом и радио диапазонах является задачей исследования многочисленных начальных коллективов.

Связь характеристик собственного микроволнового излучения снежного покрова с его параметрами выявлена достаточно давно [8-11]. Однако при разработке методов определения водного эквивалента снега по данным радиометрических измерений в микроволновом и миллиметровом диапазонах длин волн исследователи наталкиваются на ряд трудностей. В частности, в миллиметровом и сантиметровом диапазоне длин волн сухой снег является средой с сильным объемным рассеянием. С одной стороны, данное обстоятельство приводит к росту интегрального коэффициента отражения снежного слоя с увеличением его толщины, что, в принципе, и позволяет проводить оценки последней по данным радиометрических измерений. С другой стороны, задача моделирования микроволнового излучения снега в указанном диапазоне весьма усложняется. Последнее связано с тем, что плотность лишь ограниченно используется для решения задачи о распространении электромагнитной волны в снеге известные теоретические результаты, полученные для случая расположения рассеивателей в дальней зоне по отношению друг к другу [12]. В связи с этим для нахождения характеристик излучения снежного покрова в микроволновом диапазоне используются, как правило, полуэмпирические модели, связывающие коэффициент пропускания и отражения слоя снега с его геофизическими параметрами (толщиной слоя, размером кристаллов, плотностью и др.) [1]. Однако виду сложности, как правило, сложной структуры снежного покрова, данные модели оказываются неоднозначными, что затрудняет их использование для решения обратной задачи определения параметров снега по данным радиометрических измерений в микроволновом диапазоне.

Недавние исследования выявили перспективность использования поларизационных радиометрических измерений в диапазоне частот 10-90 ГГц для мониторинга снежного покрова. Данные этих исследований показывают, что с увеличением высоты снежного покрова увеличивается не только интегральный коэффициент отражения снежного слоя, но и поларизационный индекс (отношение разности яркостных температур на вертикальной и горизонтальной поларизациях к их сумме) или поларизационная разность (разность яркостных температур на вертикальной и горизонтальной поларизациях). Данный факт указывает на то, что проведение измерений в дополнительных (поларизационных) каналах может повысить точность оценок водного эквивалента снежного покрова.

В данной работе проведен анализ известных модельных представлений о радиотепловом излучении снежного покрова в сантиметровом и миллиметровом диапазоне длин волн. Рассмотрена методика и приведены результаты поларизационных измерений интегрального коэффициента отражения слоя снега, проведенных в контролируемых условиях на частотах 6,8 и 18,7 ГГц. Полученные зависимости поларизационной разности коэффициентов отражения от толщины снежного слоя сопоставлены с результатами натурных измерений коэффициента излучения снежного покрова. Показано, что поларизационная разность растет с увеличением толщины слоя снега и зависит от типа (зернистости) снежного покрова.

В работе используется классификация снега, предложенная в [1]:

- свежавывапавший снег (зернистость отсутствует);
- мелкозернистый снег (характерный размер кристаллов льда меньше 1 мм);
- среднезернистый снег (характерный размер кристаллов льда 1-2 мм);
- крупнозернистый снег (характерный размер кристаллов льда 2-5 мм).

Следует также отметить, что, наряду с использованием поляризационной разности, как индикатора высоты снежного покрова, возможно использование поляризационного индекса [15], так как в последнем случае поляризационная разность делится на поляризационную сумму коэффициентов излучения, которая, за счет роста диффузной компоненты коэффициента отражения, с высотой снега уменьшается.

Заключение

Данная работа посвящена анализу особенностей поляризационных характеристик микроволнового излучения системы рассеивающий слой - шероховатая поверхность на примере снежного покрова. Слой сухого снега является прозрачным для дециметровых волн и полупрозрачным для сантиметровых и миллиметровых волн. Поэтому для определения его характеристик используются измерения на высоких частотах (10-90 ГГц). Ослабление излучения на этих частотах в слое сухого снега определяется, в основном, рассеянием излучения на кристаллах снега. Поглощение весьма мало по сравнению с рассеянием, так как минимальная диэлектрическая проницаемость льда в указанном диапазоне не превышает 0,05 [11]. Эффективная диэлектрическая проницаемость снега в указанном диапазоне частот растет с увеличением размера кристаллов и частотой из-за увеличения минимой части диэлектрической проницаемости за счет рассеяния на кристаллах. Кроме того, ввиду того, что относительно небольшая часть эффективной диэлектрической проницаемости снега составляет 1,2-1,8 [1]. В связи с этим, оптически толстый слой сухого снега имеет угловые зависимости коэффициента излучения на вертикальной и горизонтальной поляризации близкие по характеру к этим зависимостям для диэлектрического полупрозрачного с учетом уменьшения коэффициента излучения на обеих поляризациях на величину диффузного коэффициента отражения, определяемого объемным рассеянием (смотри Рис.5).

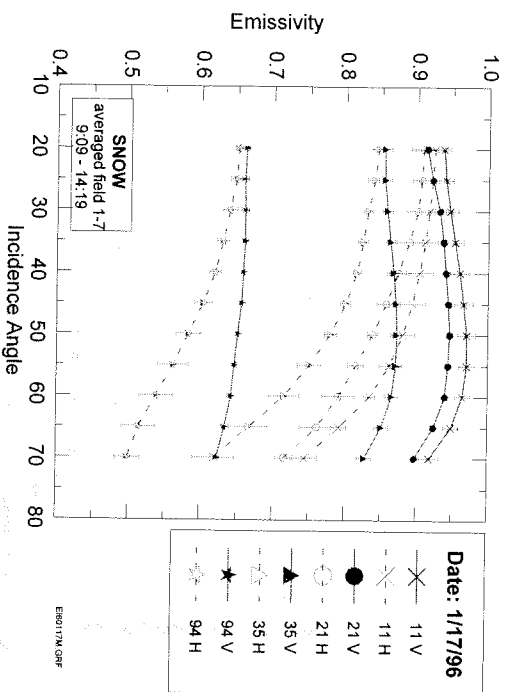


Рис.5. Угловые зависимости коэффициента излучения сухого снега на частотах 11, 21, 35 и 94 ГГц [19].

Шероховатый мерзлый почвенный покров в сантиметровом и миллиметровом диапазоне имеет характеристики излучения, близкие к характеристикам излучения черного тела. Коэффициент излучения естественной мерзлой почвы на вертикальной и горизонтальной поляризации оказывается близким к единице для углов наблюдения 0 - 60°. Поэтому поляризационные характеристики излучения системы почва - снежный слой в сантиметровом и миллиметровом диапазоне длин волн определяются, в основном, свойствами самого снежного слоя. Появление на поверхности почвы приводит к уменьшению коэффициента излучения (смотри Рис.2) за счет роста коэффициента отражения слоя снега, который по мере увеличения толщины слоя стремится к своему асимптотическому значению. Коэффициент отражения включает в себя диффузную компоненту, определяемую объемным рассеянием на неоднородностях снежного покрова (кристаллах льда) и когерентную компоненту, которая определяется отражением от слоя снега, как диэлектрического слоя с некоторым эффективным значением диэлектрической проницаемости. Эффективное значение диэлектрической проницаемости зависит от соотношения между размерами неоднородностей и длиной волны и, соответственно, растет с увеличением размеров кристаллов, что проявляется в увеличении поляризационной разности (смотри рис.3,7) с увеличением зернистости снега. Диффузная компонента коэффициента отражения также определяется размерами неоднородностей и также растет с увеличением зернистости снега (рис.6). При этом, как диффузная, так и когерентная компонента интегрального коэффициента отражения растет с увеличением толщины снежного слоя, что и делает возможной оценку последней по данным поляризационных микроволновых радиометрических измерений.

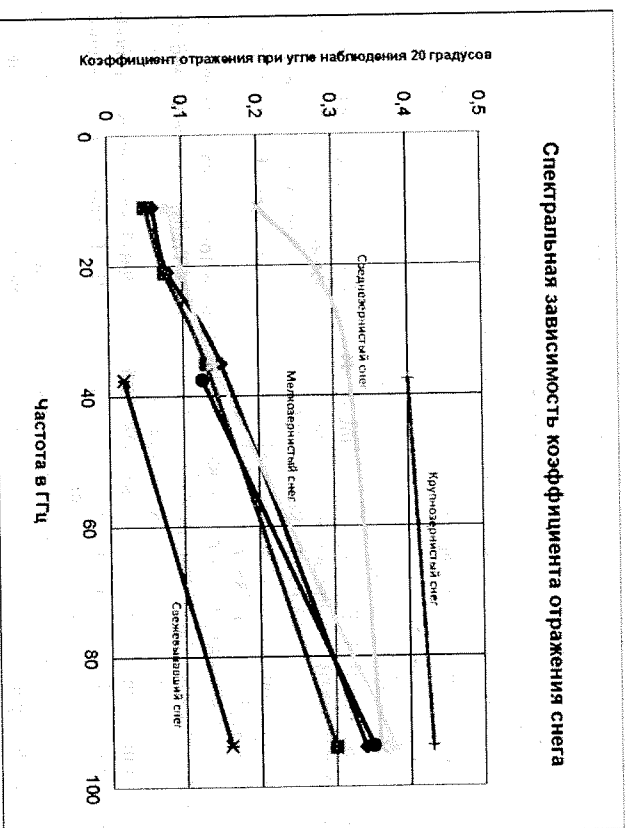


Рис.6. Спектральная зависимость коэффициента отражения оптически толстого слоя снега.