

**Исследование свойств почв
микроволновым радиометрическим
методом в процессах промерзания и
оттаивания**

Бобров П.П., Миронов В.Л., Яценко А.С.

***Институт физики им. Киренского КНЦ СО РАН,
Красноярск, Россия, тел./факс.: +7-3912-49 46 89;***

email: rsdvm@ksc.krasn.ru

***Омский государственный педагогический университет
644099. Омск, наб. Тухачевского, 14. E-mail: bobrov@omgpi.ru.***

Тел: (3812) 23-51-38

SMOS

The Soil Moisture and
Ocean Salinity Mission

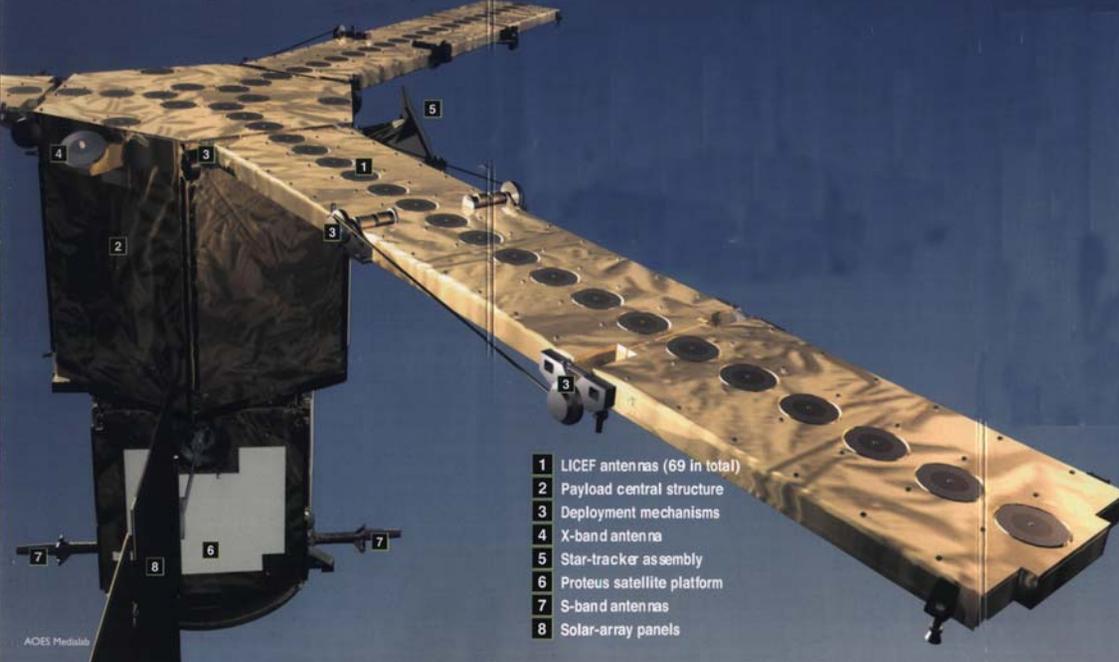




Рис. 1. Радиометрический комплекс на длины волн 3.6, 5 и 11 см.
(Омский педагогический университет)



Радиометрический комплекс на длины волн 4.3 и 21 см.
(Институт физики им. Л.В. Киренского КНЦ СО РАН)

Коэффициент излучения: $\chi = 1 - R$

$R = \left| \frac{\dot{n} - 1}{\dot{n} + 1} \right|^2$ - коэффициент отражения при вертикальном зондировании;

$\dot{n} = \sqrt{\dot{\epsilon}} = n + jk$ - комплексный показатель преломления почвы;

n – показатель преломления почвы (действительная часть комплексного показателя преломления);

k – показатель поглощения (мнимая часть комплексного показателя преломления).

$$\chi = \frac{T_{я}}{T}$$

$T_{я}$ – радиояркостьная температура почвы, измеряемая дистанционно с помощью микроволнового радиометра;

T – термодинамическая температура почвы, измеряемая дистанционно с помощью инфракрасного термометра.

где

Почва содержит некоторую объёмную долю свободной воды:

$$W_u = W - W_t, \quad W_t - \text{максимальное содержание связанной влаги.}$$

Показатель преломления и показатель поглощения незамерзшей почвы определяют из соотношений, найденных из обобщённой рефракционной модели:

$$n_1 = n_t + (n_u - 1) \cdot W_u \quad \kappa_1 = \kappa_t + \kappa_u \cdot W_u$$

где n_t и κ_t - показатель преломления почвы и показатель поглощения, соответственно, при влажности почвы равной W_t ;

n_u κ_u - показатель преломления и показатель поглощения свободной воды, соответственно, определяемые по модели Дебая для заданной частоты и температуры.

Уравнения регрессии для частоты 1,67 ГГц:

$$n_t = 5,21 \cdot W_t + 1,66$$

$$K_t = 0,77 \cdot W_t + 0,12$$

и для частоты 6 ГГц:

$$n_t = 4,97 \cdot W_t + 1,64$$

$$K_t = 0,86 \cdot W_t + 0,1$$

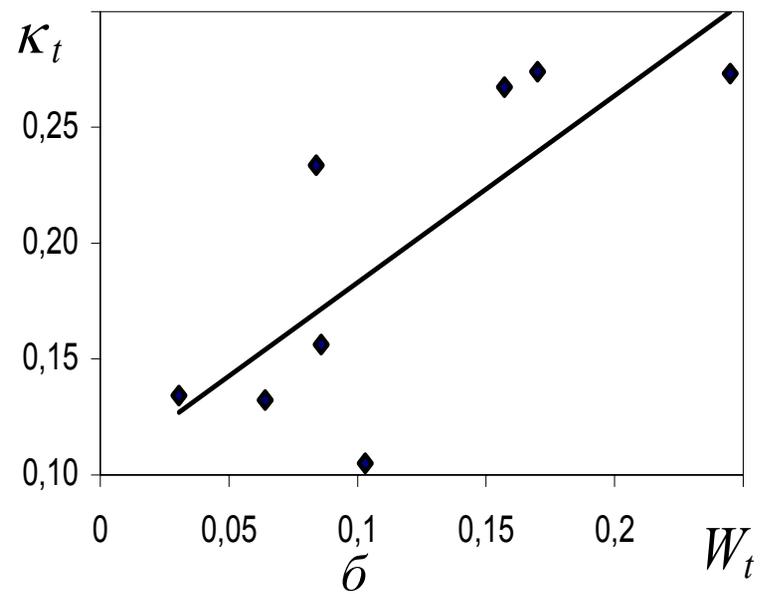
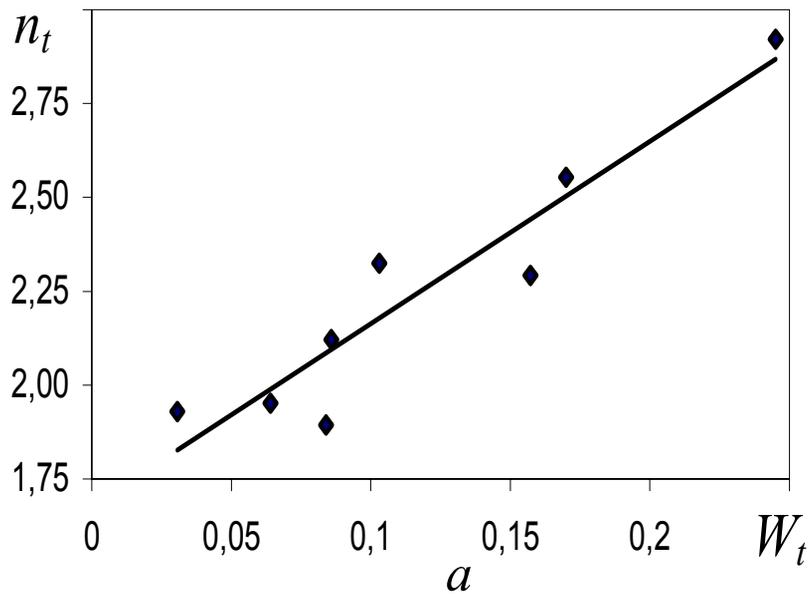


Рис. 3. Зависимости показателя преломления $n_t(a)$ и показателя поглощения $\kappa_t(\bar{b})$ от максимального содержания связанной воды W_t (в объемных долях) для различных типов почв на частоте 6 ГГц.

Комплексный показатель преломления промерзшей почвы определяем из соотношений, также полученных из обобщённой рефракционной модели:

$$n_2 = n_t + (n_c - 1) \cdot W_c$$

$$K_2 = K_t + K_c \cdot W_c$$

где $n_c = 1,77$ – коэффициент преломления льда;

$\kappa_c = 0,028$ – показатель поглощения льда;

$W_c = \rho \cdot W_u$ – объемная доля льда;

$\rho = 1,09$ - отношение плотности воды к плотности льда.

Разность коэффициентов излучения χ_2 промерзшей и χ_1 незамерзшей почвы:

$$\Delta\chi = \chi_2 - \chi_1 = \left| \frac{\dot{n}_1 - 1}{\dot{n}_1 + 1} \right|^2 - \left| \frac{\dot{n}_2 - 1}{\dot{n}_2 + 1} \right|^2$$

Поскольку n_t и κ_t входят в выражения как для χ_2 , так и для χ_1 , поэтому $\Delta\chi$ лишь слабо зависит от этих величин, а следовательно, и от W_t , что позволяет осуществить параметризацию максимального содержания связанной воды W_t .

Можно получить уравнения регрессии для определения объёмной доли свободной воды W_u при любом W_t как параметре.

В частности для $W_t = 0,15$ и частоты 6 ГГц:

$$W_u = 2,0 \cdot \Delta\chi^2 + 0,81 \cdot \Delta\chi + 5 \cdot 10^{-4}$$

для частоты 1,67 ГГц:

$$W_u = 2,10 \cdot \Delta\chi^2 + 0,82 \cdot \Delta\chi + 5 \cdot 10^{-4}$$

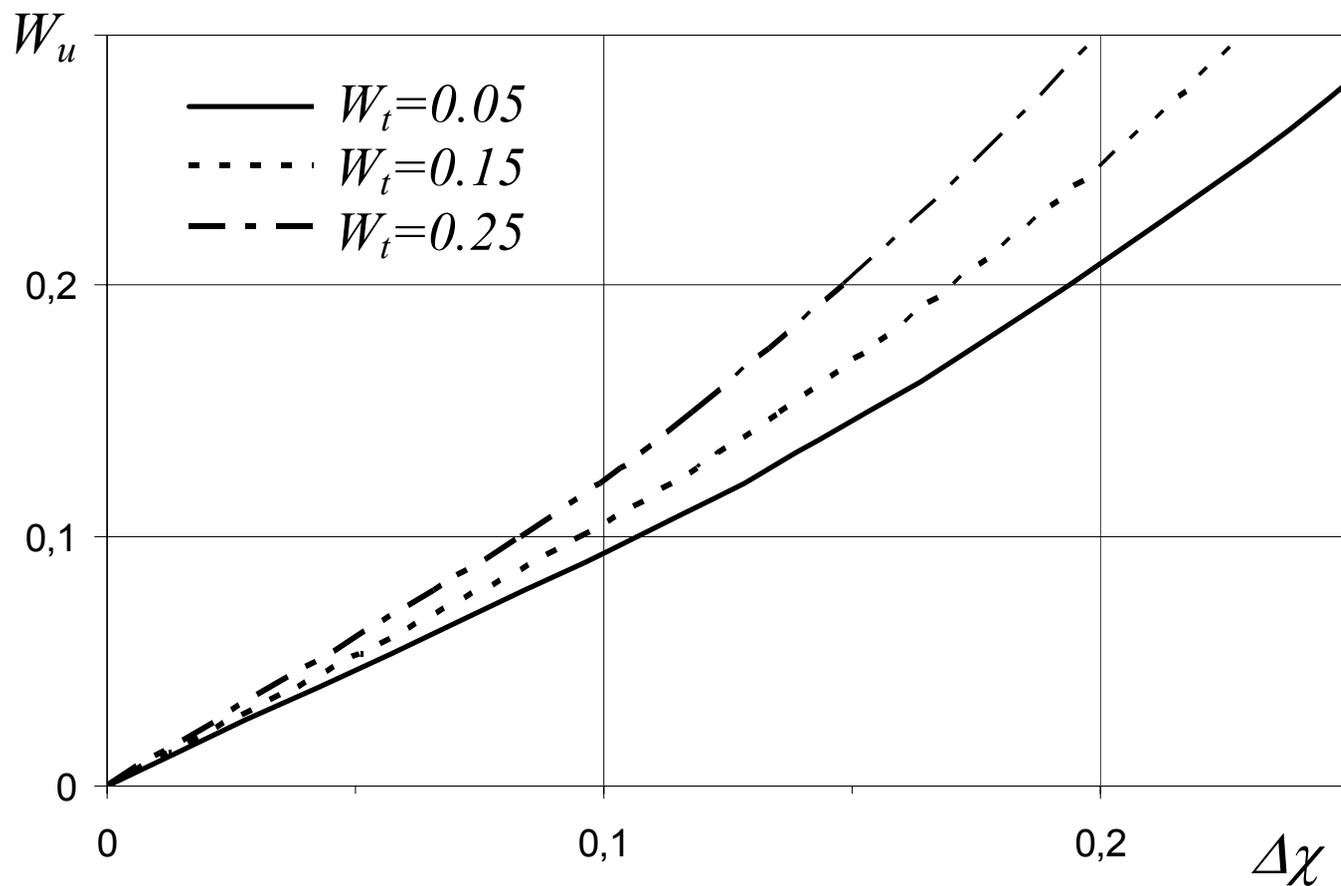


Рис. 4. Зависимости объемной доли свободной воды W_u от разности коэффициентов излучения мерзлой и незамерзшей почв на частоте 6 ГГц для разных значений максимального количества связанной воды W_t (в объемных долях).

По двум измеренным значениям коэффициента излучения незамёрзшей и промёрзшей почвы можно найти первое приближение для объемной доли свободной воды W_u , приняв в качестве нулевого приближения для W_t значение, равное среднему для всех типов почв. После этого по измеренному значению коэффициента излучения промёрзшей почвы

$$\chi_2 = 1 - \left| \frac{\dot{n}_2 - 1}{\dot{n}_2 + 1} \right|^2$$

и по первому приближению для объемной доли свободной воды можно найти первое приближение для максимального содержания связанной воды W_t , а затем уточнить количество свободной воды W_u . Этот итерационный процесс можно продолжить до получения значений W_t и W_u с заданной точностью.

Полная влажность почвы W определяется как

$$W = W_t + W_u.$$

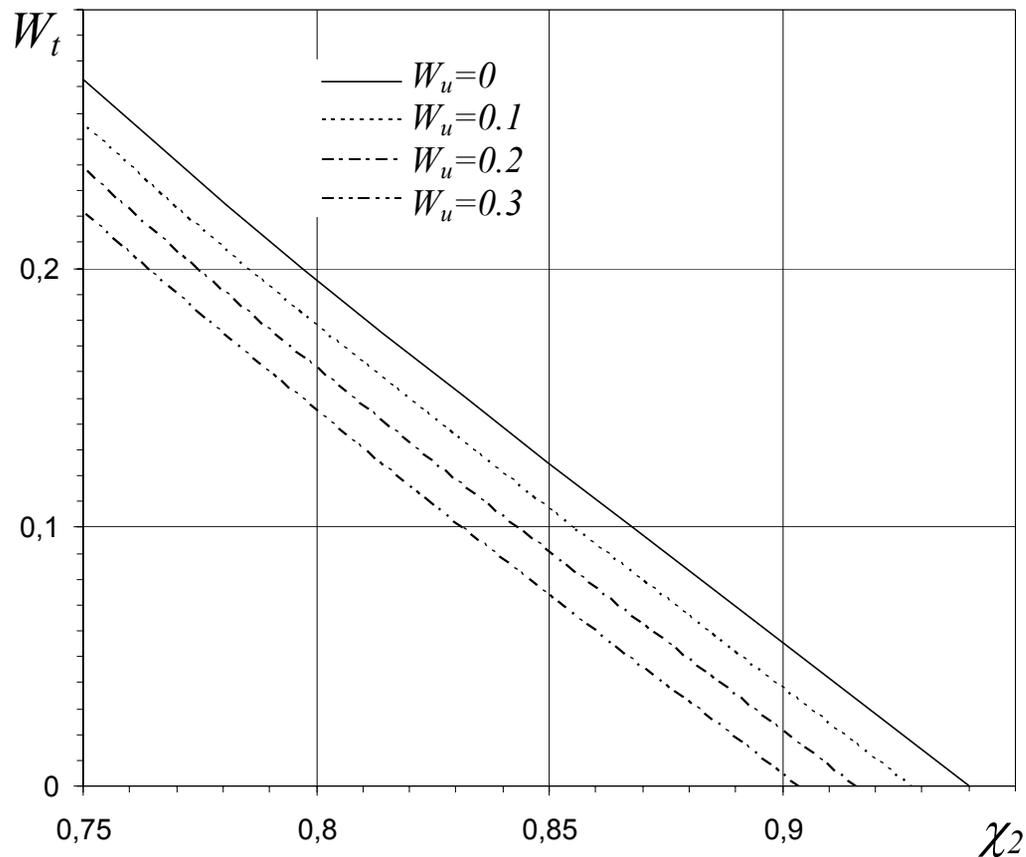


Рис. 5. Зависимости максимального содержания связанной воды W_t (в объемных долях) от коэффициента излучения мерзлой почвы χ_2 на частоте 6 ГГц при различных значениях доли свободной воды W_u .

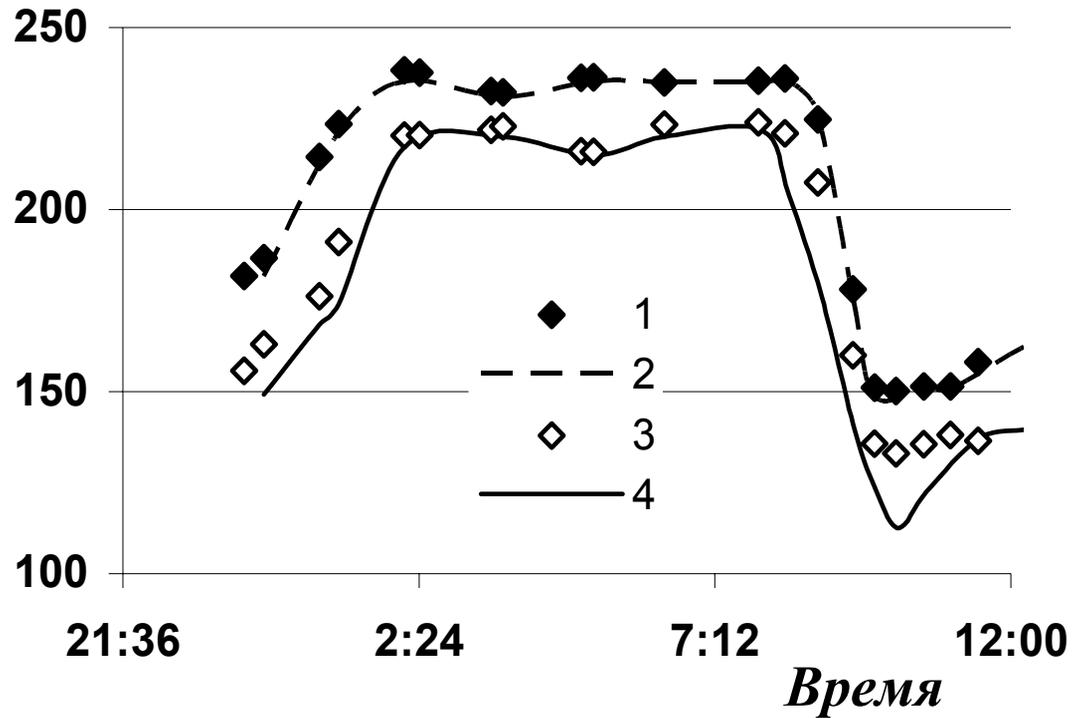


Рис. 6. Изменение радиояркостной температуры почвы в процессе промерзания и последующего оттаивания
 1,2 - экспериментальные данные и рассчитанные на длине волны 3,6 см значения, соответственно;
 3,4 - экспериментальные данные и рассчитанные на длине волны 5 см значения, соответственно.

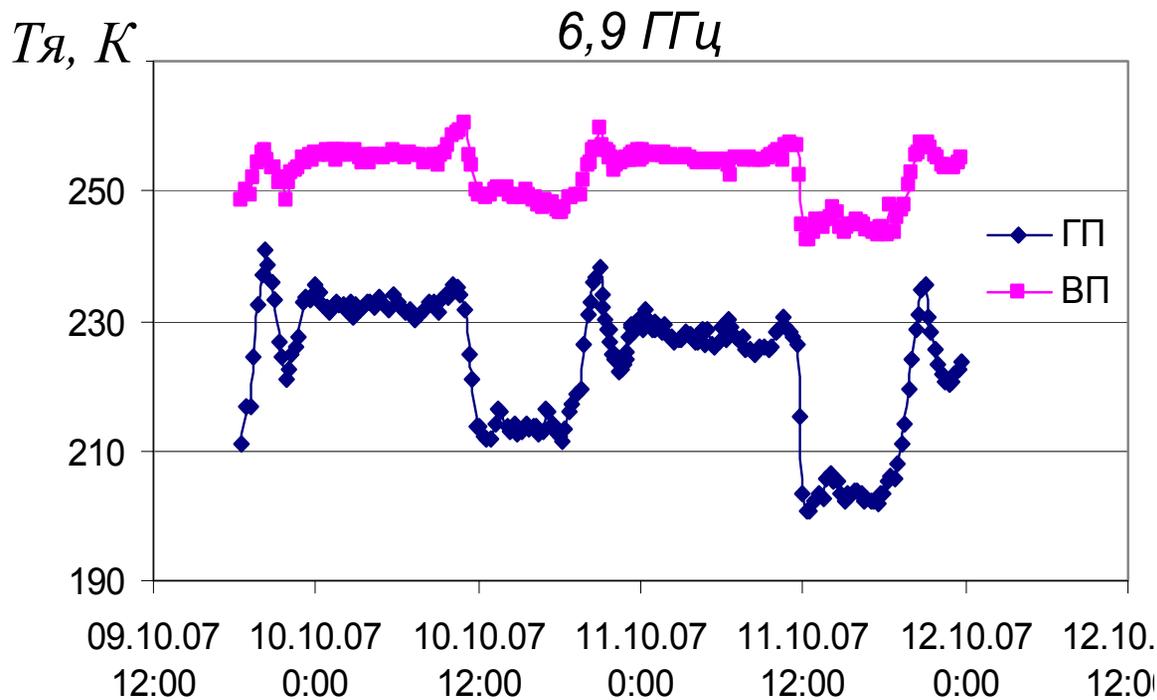


Рис.. Изменение радиояркостной температуры на длине волны 4,35 см в процессе промерзания (до глубины 7 см) и оттаивания поверхностного слоя почвы.

Промерзание поверхностного слоя началось одновременно с началом эксперимента. Максимальной толщины в 7 см промерзший слой достиг 10 октября в 10:00. К этому моменту осцилляции радиояркостной температуры длине волны 4,35 см сильнее выраженные на горизонтальной поляризации (угол зондирования 45 гр.) и вызванные отражением от границ промерзшего слоя прекратились, так как нижняя граница промерзшего слоя опустилась ниже предельной глубины зондирования. Появление на поверхности почвы после 10 часов тонкого оттаявшего слоя привело к появлению небольших осцилляций и резкому падению радиояркостной температуры. Следующее промерзание началось 10 октября в 19:00. Картина изменения радиояркостной температуры почти полностью повторяется, только значения стали немного меньше из-за подтягивания влаги к поверхности в предыдущем цикле промерзания.

Таблица 1

№ участка	Коэфф. излуч. незамёрзшей почвы χ_1	Коэфф. излуч. промёрзшей почвы χ_2	$\chi_2 - \chi_1$	W_u	W_t	W радиофизическим способом	W термостатно-весовым способом
1	0,714	0,813	0,099	0,10 0,105	0,16 (1-е прибл.) 0,16 (2-е прибл.)	0,265	0,27
2	0,690	0,842	0,151	0,17 0,16	0,105 (1-е прибл.) 0,11 (2-е прибл.)	0,27	0,28

