

*Всероссийская конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2006 г.*

Бобров П.П.* , Кривальцевич С.В. , Яценко А.С.*****

Моделирование динамики радиояркостной температуры промерзающих и оттаивающих почв

***Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН,**

**** Омский государственный университет,**

*****Омский государственный педагогический университет**

E-mail: bobrov@omgpu.omsk.edu; Тел: (3812) 23-51-38



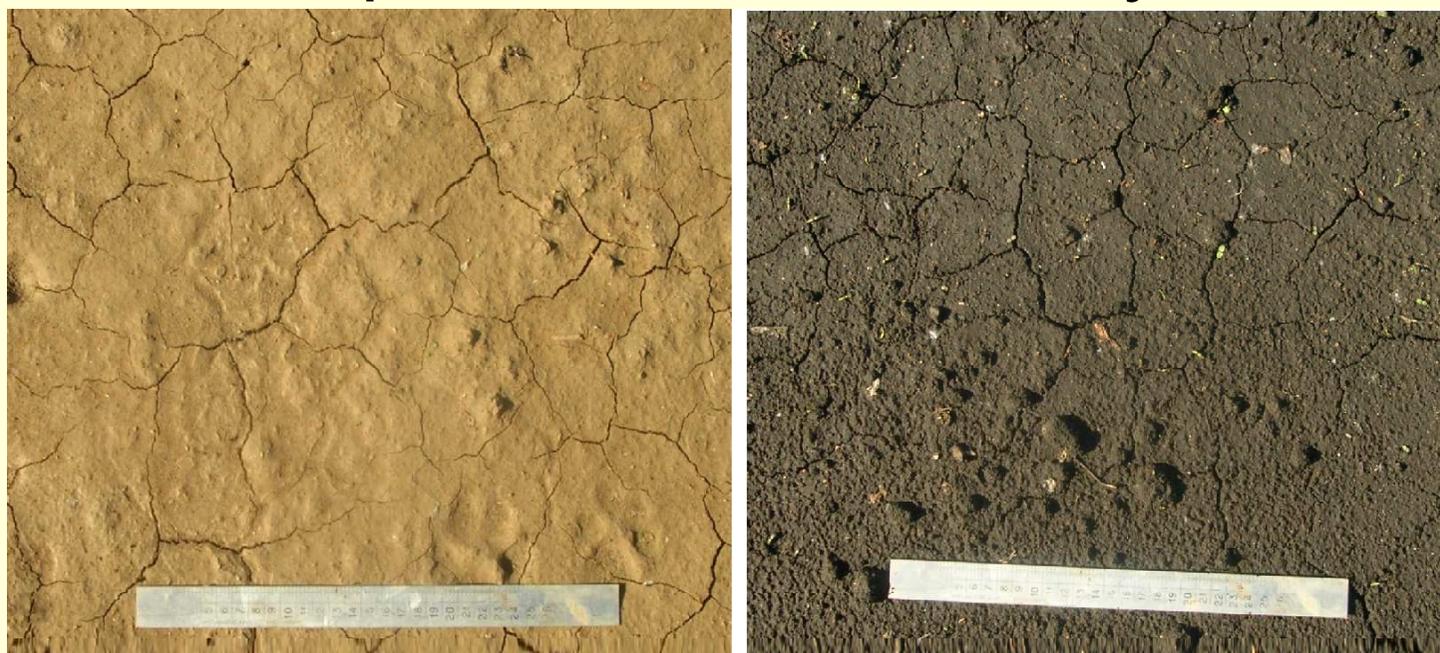
РАДИОМЕТРЫ

1. Средняя длина волны **3,6 см** (диапазон частот 7,9-8,4 Гц). Полоса пропускания 500 МГц (6,2%).
Флуктуационная чувствительность 0,5 К при $\tau = 1$ с.
2. Средняя длина волны **5 см** – (приемник ПК7-20). Полоса пропускания 30 МГц (0,5%).
Флуктуационная чувствительность 1 К при $\tau = 16$ с.
3. Средняя длина волны **11 см** (диапазон частот 2,55-2,75 Гц). Полоса пропускания 200 МГц (7,7%).
Флуктуационная чувствительность 0,5 К при $\tau = 1$ с.

Гидрофизические характеристики почв

№ участка	Содержание физической глины, %	Содержание песка, %	Содержание гумуса, %	Максимальная гигроскопичность, %	Наименьшая полевая влагоемкость, %	Макс. содержание связанной воды W'_t , г/г
1	36,1	46,0	6,6	7,3	38,7	0,12
2	43,9	28,4	0,6	5,4	34,8	0,05

Вид поверхности почвенных участков



Модель диэлектрической проницаемости

$$\sqrt{\varepsilon} = n - j\kappa$$

Незамерзшая почва

$$n = 1 + \frac{n_m - 1}{\rho_m} \cdot \rho_d + (n_b - 1) \cdot W$$

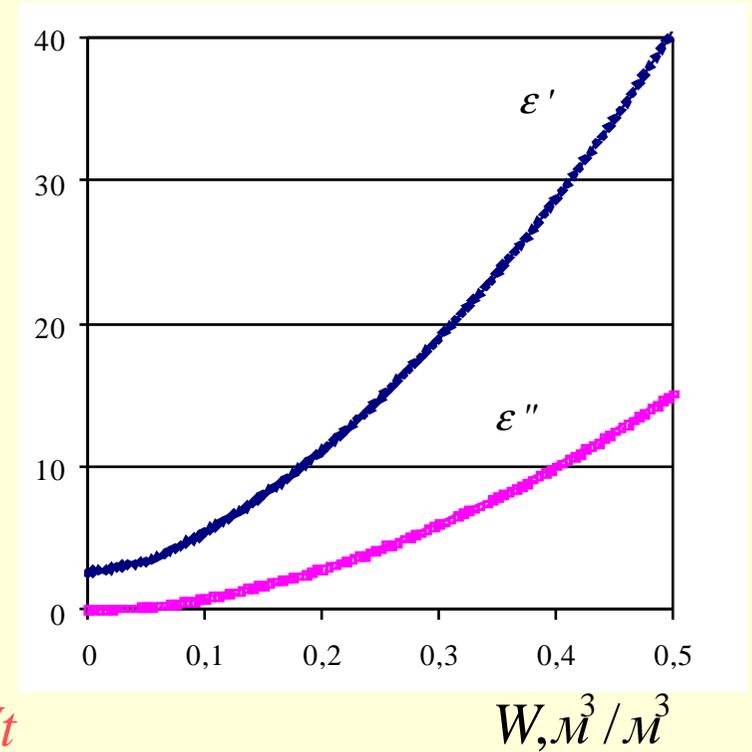
$W < W_t$

$$\kappa = \frac{\kappa_m}{\rho_m} \cdot \rho_d + \kappa_b \cdot W$$

$$n = 1 + \frac{n_m - 1}{\rho_m} \cdot \rho_d(W) + (n_b - 1) \cdot W + (n_u - 1)(W - W_t)$$

$W > W_t$

$$\kappa = \frac{\kappa_m}{\rho_m} \cdot \rho_d + \kappa_b \cdot W + \kappa_u (W - W_t)$$



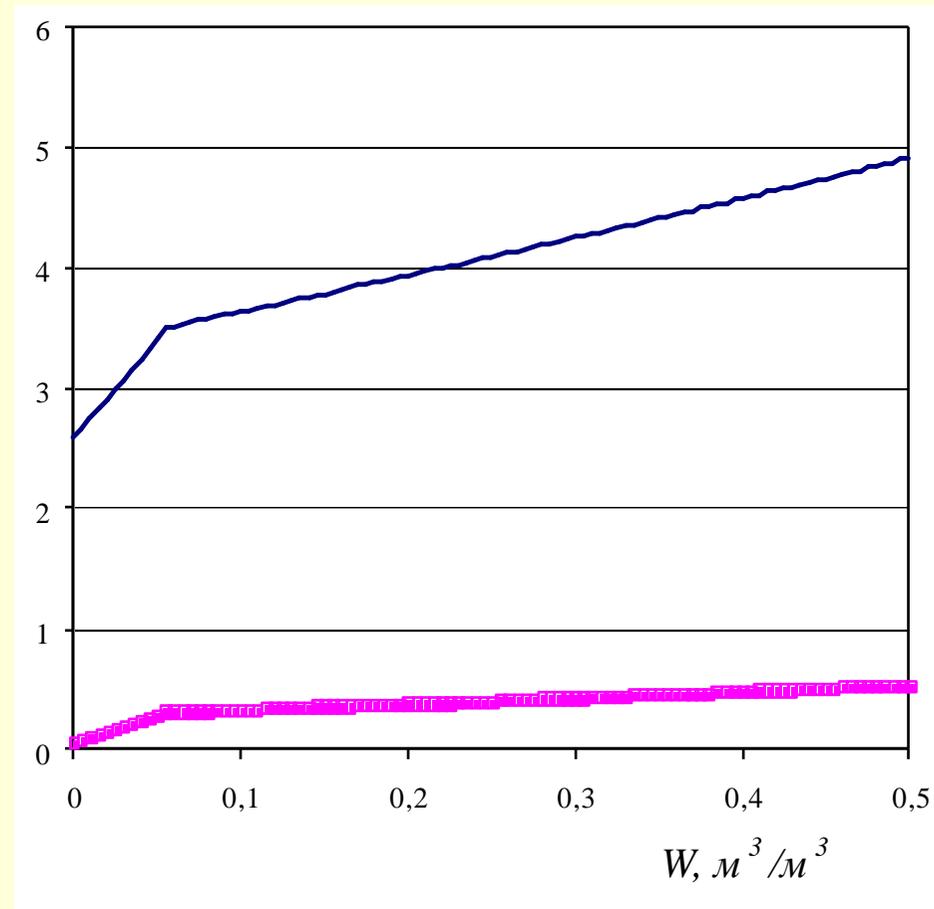
Замерзшая почва

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

$$\kappa = \kappa_t + \kappa_c \cdot W_c$$

$$n_t = 1 + \frac{n_m - 1}{\rho_m} \cdot \rho_d + (n_b - 1) \cdot W_t$$

$$\kappa_t = \frac{\kappa_m}{\rho_m} \cdot \rho_d + \kappa_b \cdot W_t$$



$n_c=1,77$, $\kappa_c=0,028$ – действительная и мнимая части показателя преломления льда;
 $W_c = \rho W$ – объемная доля льда; $\rho = 1,09$ - отношение плотности воды к плотности льда.

Моделирование радиояркостной температуры

$$T_{Я} = (1 - |r|^2) \cdot T_{ТД}$$



$$r_0' = \frac{r_0 + r_1' \exp(2jk_1 \Delta Z_1)}{1 + r_0 r_1' \exp(2jk_1 \Delta Z_1)}$$

r_0' - комплексный коэффициент отражения многослойной среды на границе почва-воздух;

r_0 - комплексный френелевский коэффициент отражения на этой границе (определяется по формуле Френеля для однородной среды);

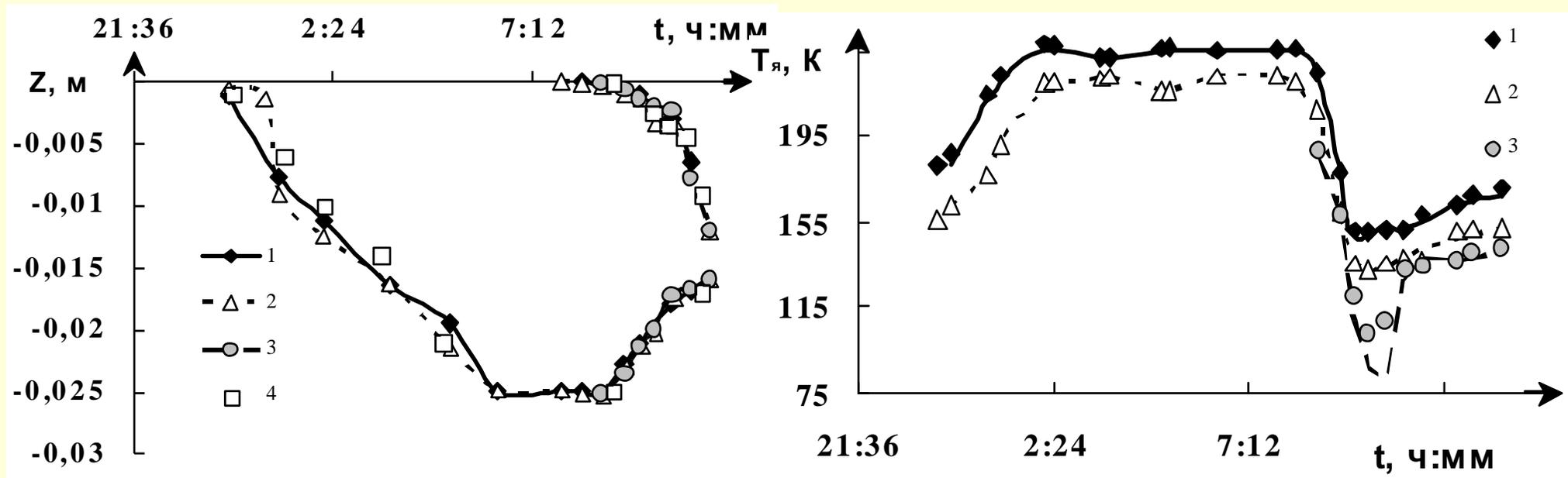
r_1' - комплексный коэффициент отражения на границе от многослойной среды, лежащей ниже первого слоя, и определяемый по (2), но со сменой индексов 0 на 1 и 1 на 2;

$k_1 = k_0 \sqrt{\epsilon_1 - \sin^2 \theta}$ - комплексное волновое число среды первого слоя;

$k_0 = 2\pi/\lambda_0$ - волновое число в вакууме,

ΔZ_1 - толщина слоя.

Динамика радиояркостной температуры малоугумусной насыщенной влагой почвы на длинах волн 3,6, 5 и 11 см процессе промерзания и оттаивания (влажность 0,45-0,55 см³/см³)



а

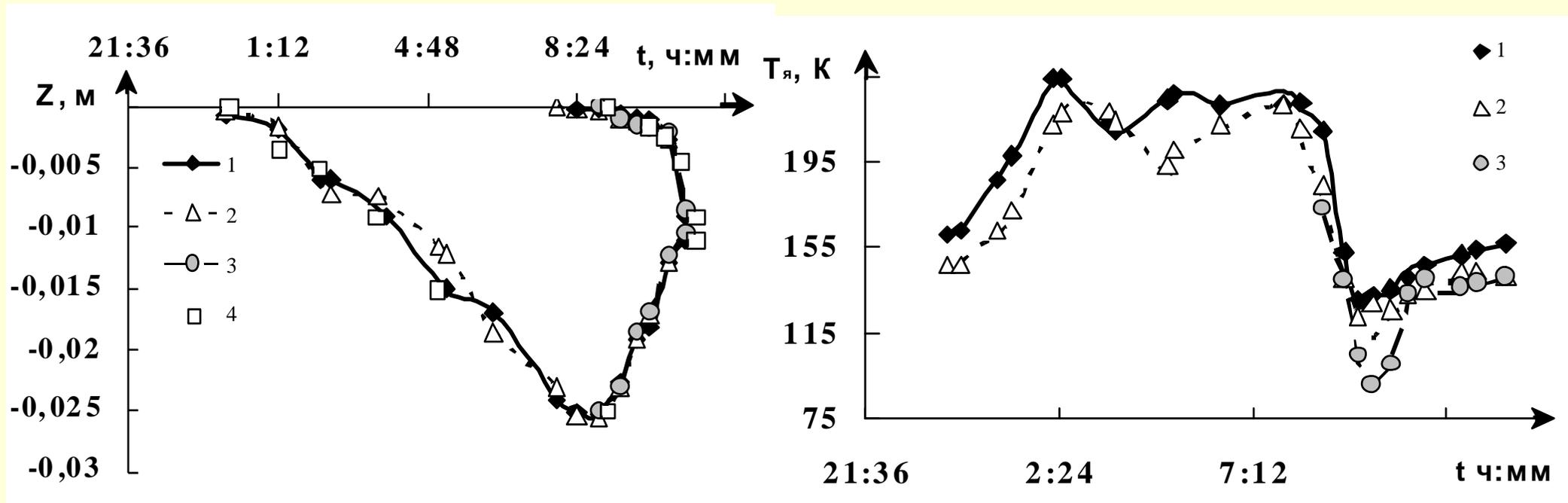
б

Результаты эксперимента 19.04.06 - 20.04.06 г.

а - изменение координат верхней и нижней границ замёрзшего слоя почвы с течением времени; 1,2,3 - по результатам моделирования на длинах волн 3,6, 5 и 11 см, соответственно; 4 - по данным прямых измерений;

б - изменение радиояркостной температуры почвы с течением времени; 1,2,3 по данным эксперимента (маркеры) на длинах волн 3,6, 5 и 11 см, соответственно; и по результатам моделирования (линии).

Динамика радиояркостной температуры насыщенной влагой богатой гумусом почвы на длинах волн 3,6, 5 и 11 см процессе промерзания и оттаивания (влажность 0,45-0,55 см³/см³)



a

б

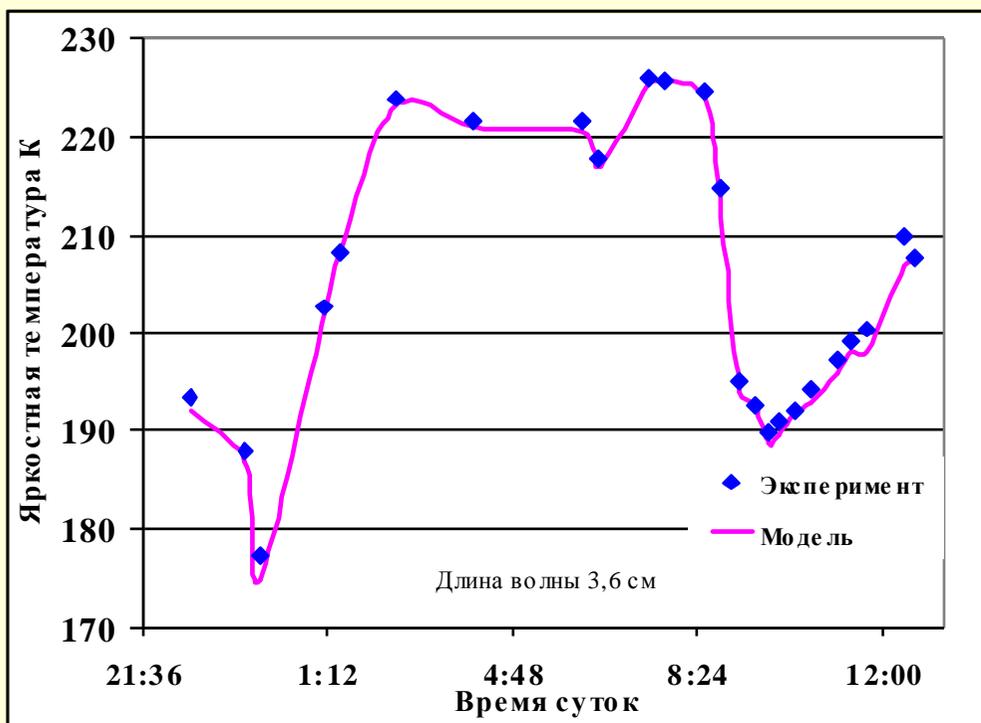
Результаты эксперимента 19.04.06 - 20.04.06 г.

a - изменение координат верхней и нижней границ замёрзшего слоя почвы с течением времени; 1,2,3 - по результатам моделирования на длинах волн 3,6, 5 и 11 см, соответственно; 4 - по данным прямых измерений;

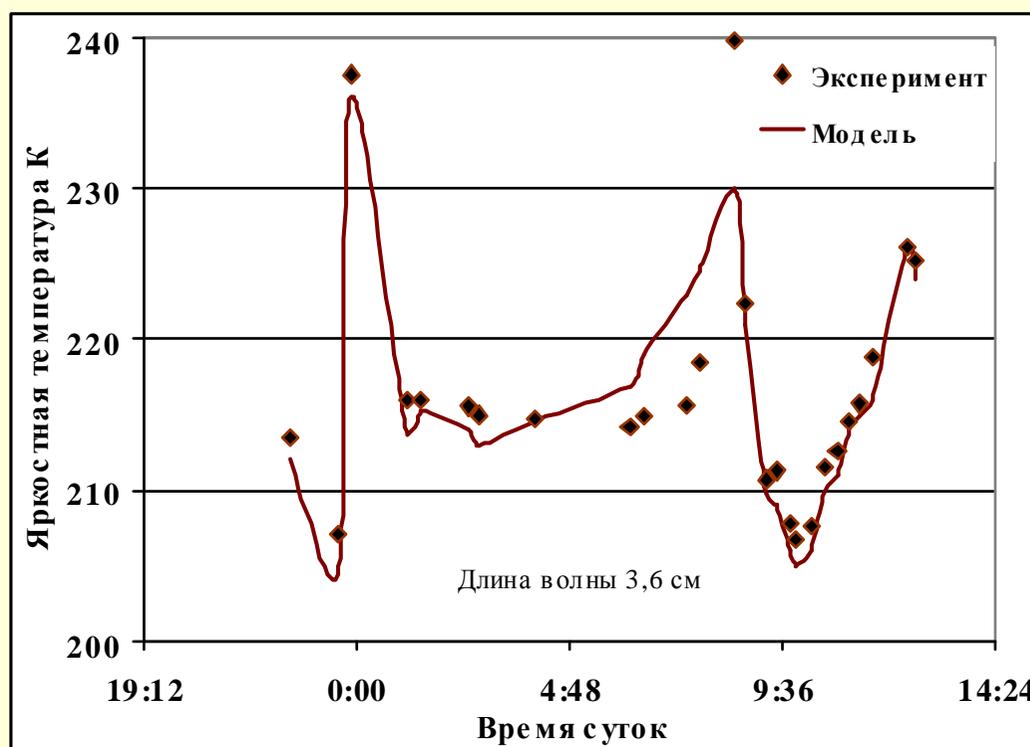
б - изменение радиояркостной температуры почвы с течением времени; 1,2,3 по данным эксперимента (маркеры) на длинах волн 3,6, 5 и 11 см, соответственно; и по результатам моделирования (линии).

Динамика радиояркой температуры двух почвенных участков на длине волны 3,6 см в процессе промерзания и оттаивания

Результаты эксперимента 30.04.06 -01.05.06 г.
(влажность 0,28-0,35 см³/см³)

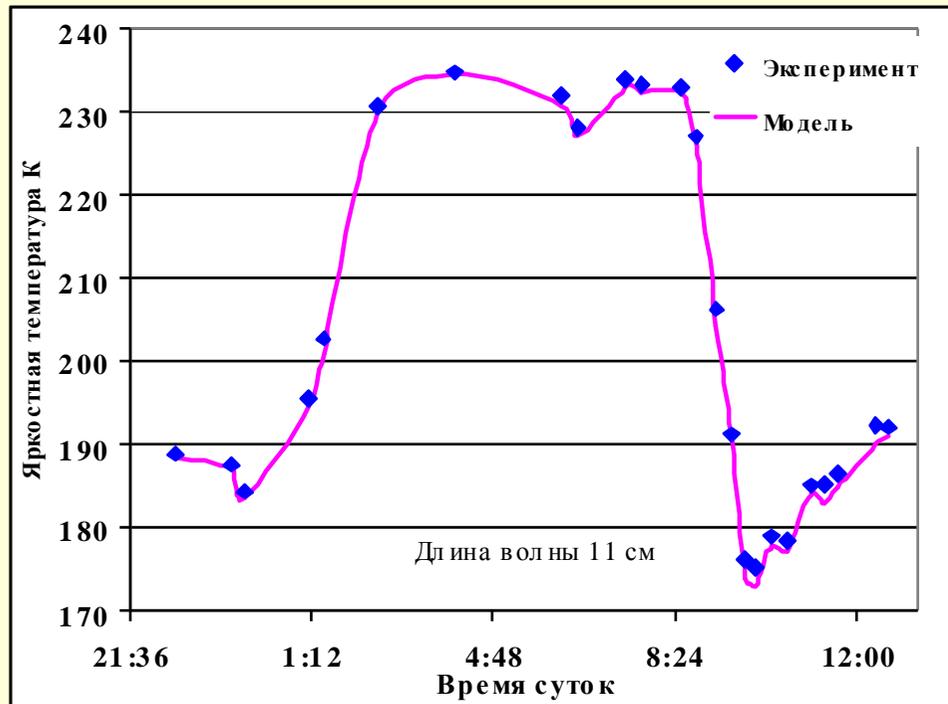


Участок с низким содержанием гумуса

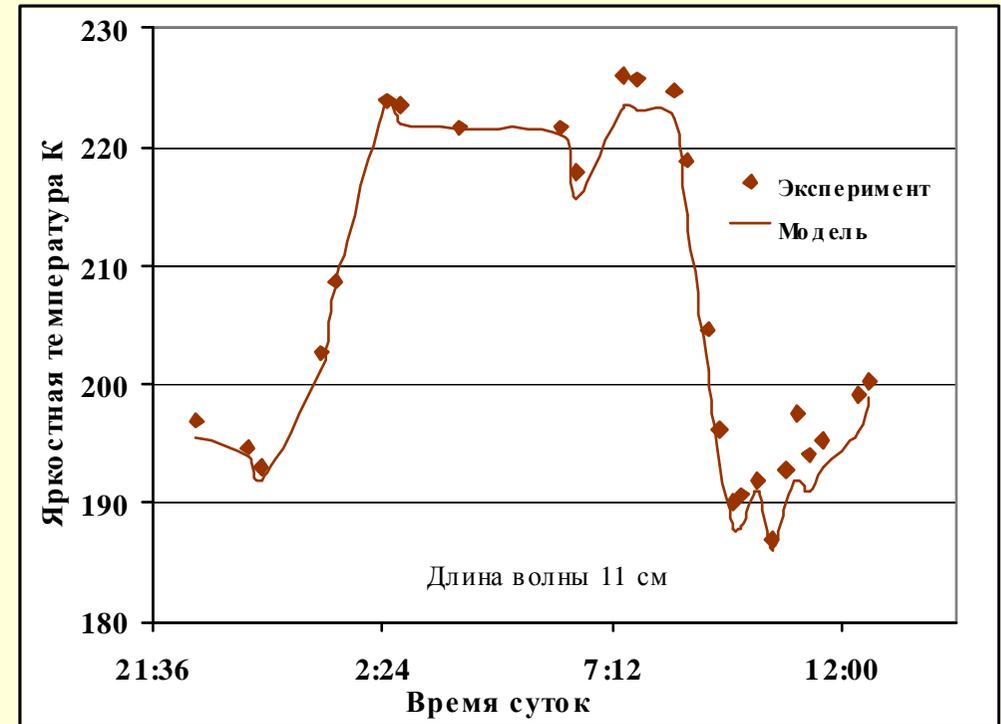


Участок с высоким содержанием гумуса

Динамика радиояркой температуры двух почвенных участков на длине волны 11 см в процессе промерзания и оттаивания

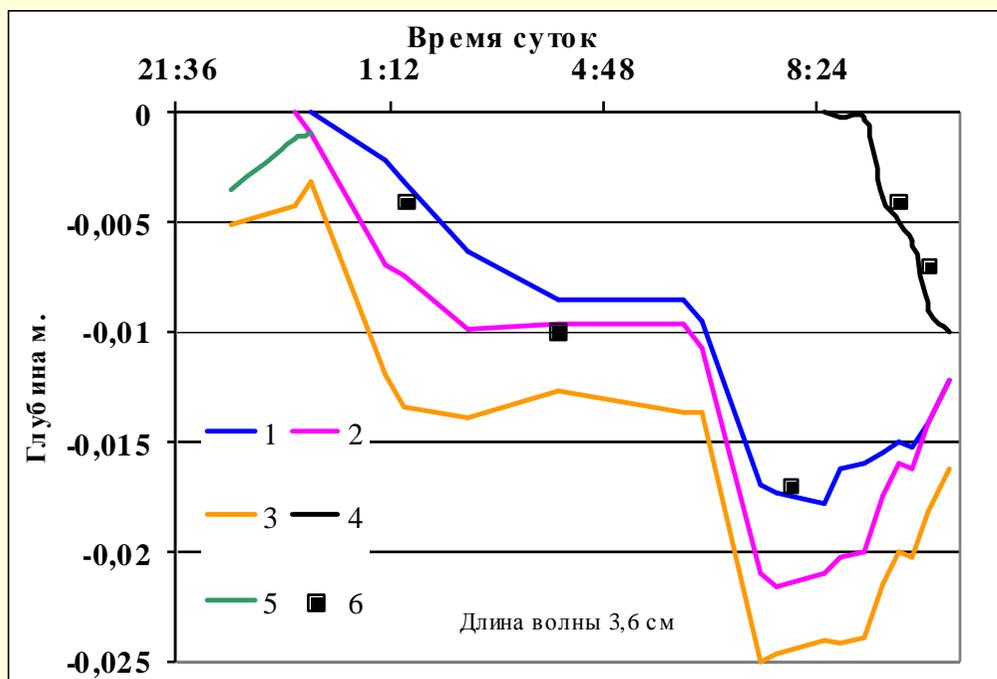


Участок с низким содержанием гумуса

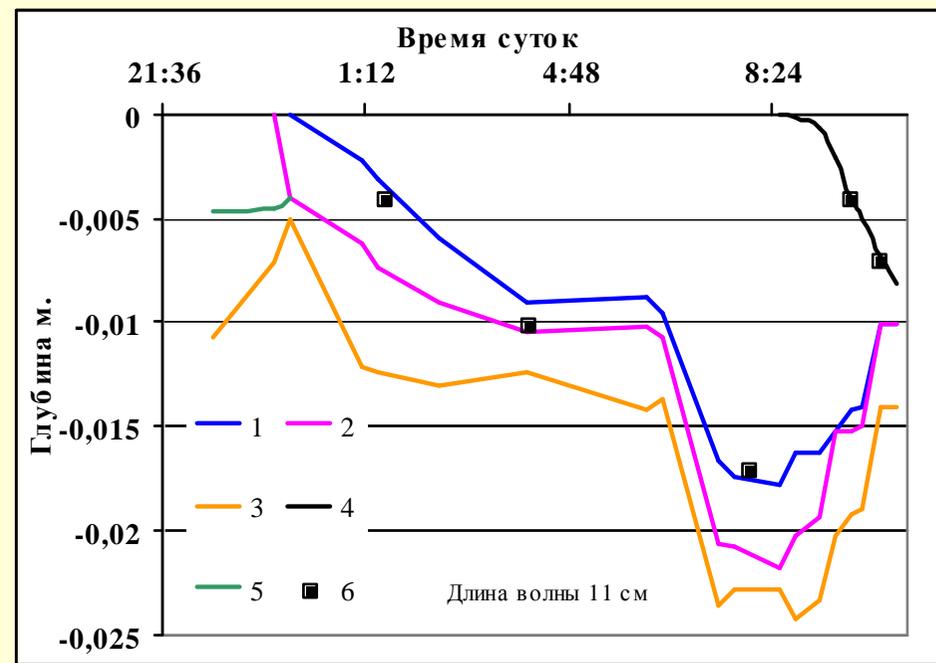


Участок с высоким содержанием гумуса

Изменение слоистой структуры малогумусной почвы в процессах промерзания и оттаивания



Моделирование структуры на длине
волны 3,6 см

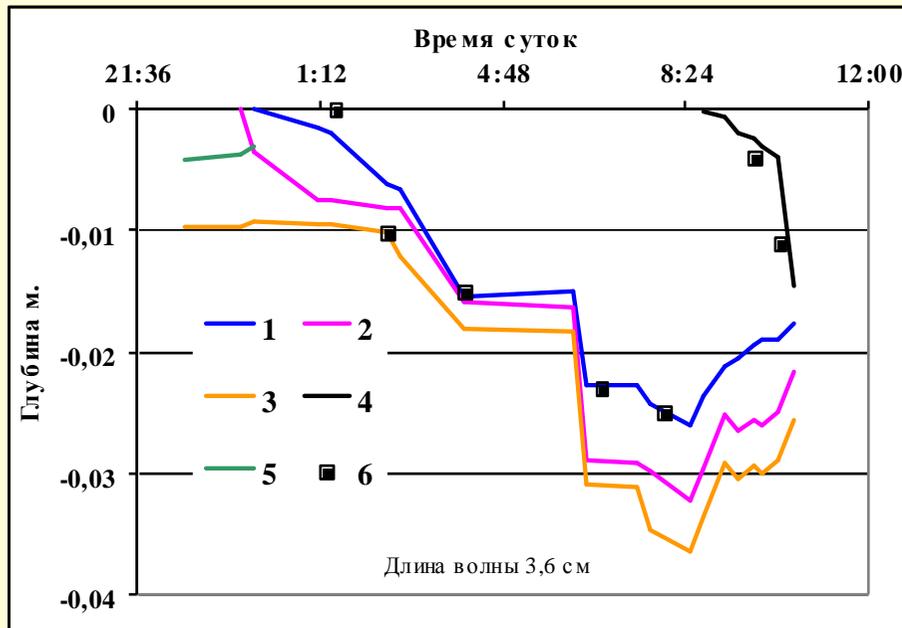


Моделирование структуры на длине
волны 11 см

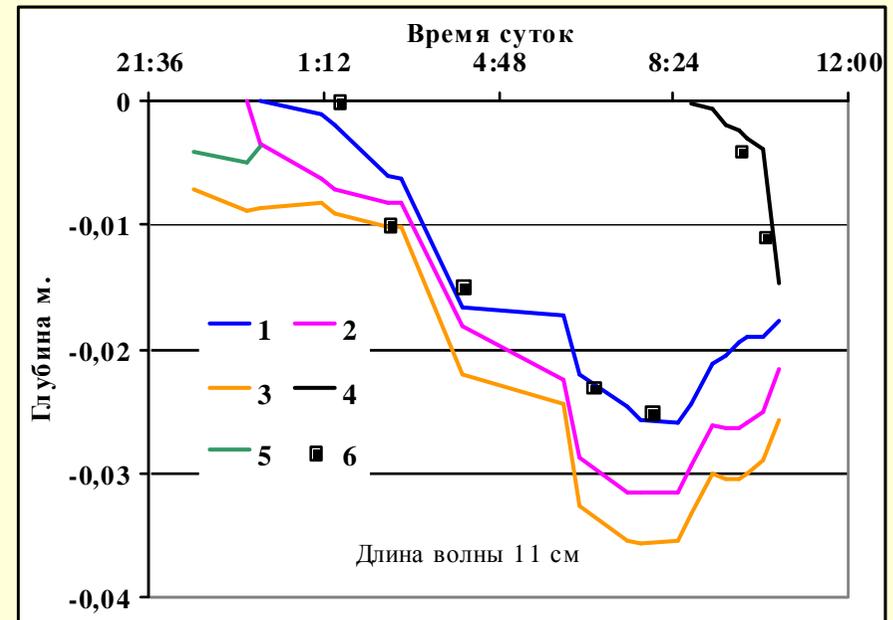
1-5 – границы слоев, используемых при моделировании.

6 – экспериментально определяемые границы мерзлого слоя

Изменение слоистой структуры богатой гумусом почвы в процессах промерзания и оттаивания



Моделирование структуры на длине волны 3,6 см



Моделирование структуры на длине волны 11 см

1-5 – границы слоев, используемых при моделировании.

6 – экспериментально определяемые границы мерзлого слоя

Выводы:

С использованием временного ряда данных о радиояркостной температуре на двух-трех длинах волн для промерзающих и оттаивающих почв возможно восстановление слоистой структуры почвы.

При моделировании слоистой структуры почвы необходимо учитывать наличие на границе фронта промерзания переходного слоя и подтягивание влаги в незамерзшей почве к холодному фронту.

**СПАСИБО
ЗА
ВНИМАНИЕ!**

Значения диэлектрической проницаемости почвенных слоев на длинах волн 3,6 и 11 см, полученные при моделировании радиояркой температуры в эксперименте 01.05.06.

№ слоя	Описание	Участок 1 (гумус 0,6%)		Участок 2 (гумус 6,6%)	
		$\lambda=3,6$ см	$\lambda=11$ см	$\lambda=3,6$ см	$\lambda=11$ см
1	Оттаявший сверху слой	17,2-j5,3	19-j2,85	13,3-j4,5	15,4-j2,8
2	Промерзший слой	4,05-j0,41	4,18-j0,39	5,2-j1,3	5,2-j0,8
3	Переходный слой (промерзающий)	9,8-2,5j	10,6-1,6j	8,9-j2,75	9-j1,53
4	Переходный слой (увлажненный)	20,6-5,3j	23-3,5j	19,9-j7,4	21,1-j4
5	Непромерзшая почва	15,5-j4,7	17-j2,5	12,2-j4,2	14,5-j2,6

Данные о влажности, плотности и максимальном
количестве связанной воды почвенных участков по
СЛОЯМ

Участок	Влажность по слоям, см ³ /см ³			Плотность по слоям, г/см ³			W _t , см ³ /см ³		
	0-1 см	1-2 см	2-3 см	0-1 см	1-2 см	2-3 см	0-1 см	1-2 см	2-3 см
	<i>Данные на 20.04.06</i>								
1	0,52	0,41	0,33	1,4	1,1	1,0	0,17	0,13	0,12
2	0,58	0,45	0,42	1,6	1,4	1,4	0,08	0,07	0,07
	<i>Данные на 01.05.06</i>								
1	0,27	0,34	0,35	1,0	1,2	1,1	0,12	0,14	0,13
2	0,28	0,26	0,26	1,4	1,4	1,3	0,07	0,07	0,07