

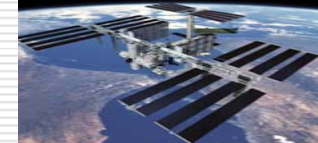
# Радиофизика дистанционного зондирования поверхности Земли

В. Л. Миронов

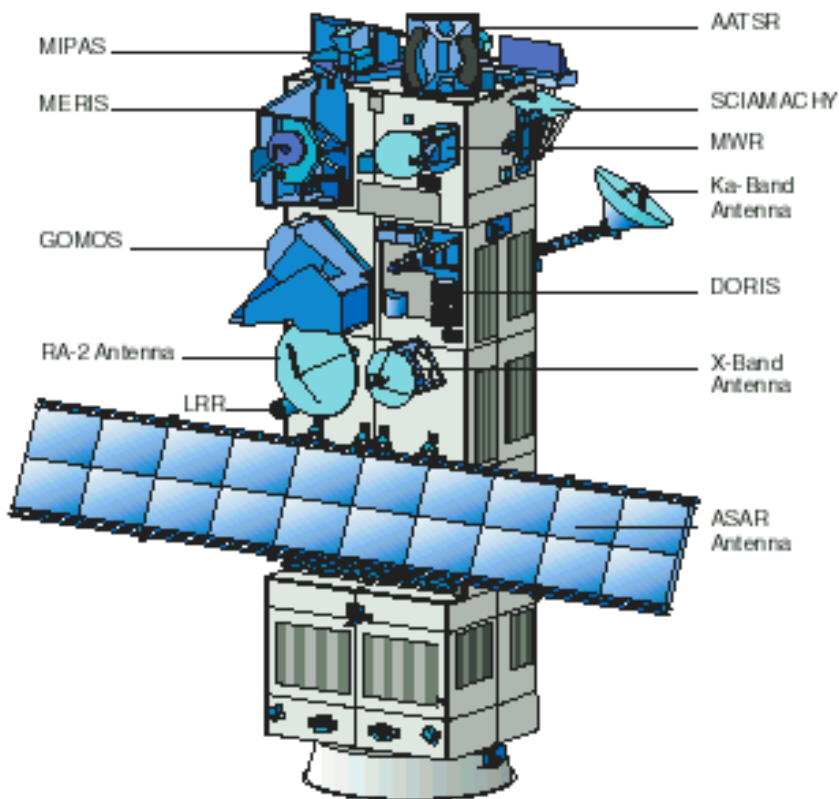
*Институт Физики им. Л.В. Киренского СО РАН*

---

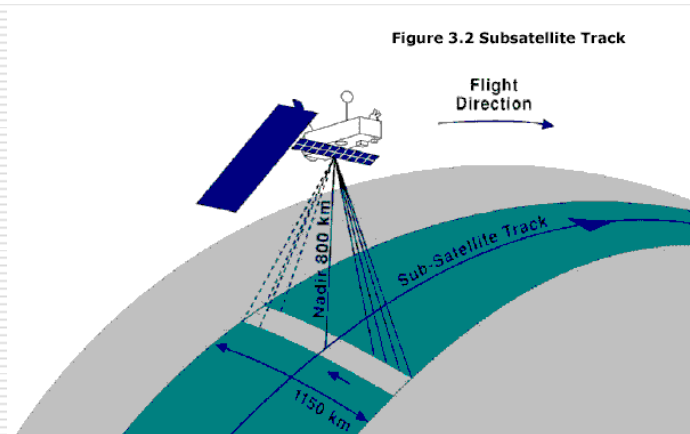


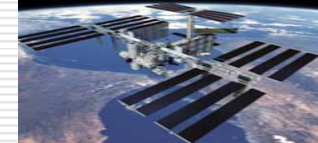


**Инструменты радарного и радиометрического зондирования Земли из космоса. Европейское космическое агенство. Комплексный природоресурстный спутник ENVISAT. Высота орбиты 800км. Угол наклонения  $99^\circ$ . Время жизни 2000-2006.**



- AATSR. Сканирующий оптический радиометр.**
- MERIS. Сканирующий оптический спектрометр.**
- MWR. Микроволновый радиометр.**
- RA-2. Радарный высотомер.**
- ASAR. Радар с синтезированной апертурой.**





## Прием, обработка, архивирование, распространение радиолокационных и радиометрических данных.

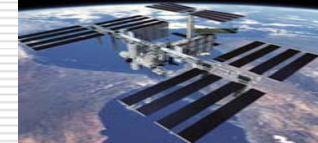
### Интернет сайт системы обеспечения пользователей данными ENVISAT



Пользователи системы обеспечиваются бесплатными программными средствами поиска, оформления электронных заказов и получения данных с использованием сети Интернет.

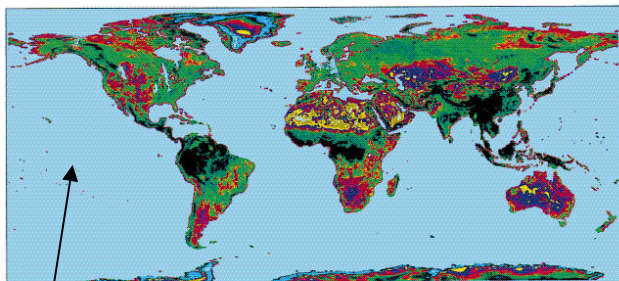
#### Категории пользователей:

1. Фундаментальные и прикладные исследования в области наук о Земле;
2. Исследования в области развития технологий эксплуатации и использования данных системы ENVISAT;
3. Коммерческое применение информационных продуктов дистанционного зондирования Земли.



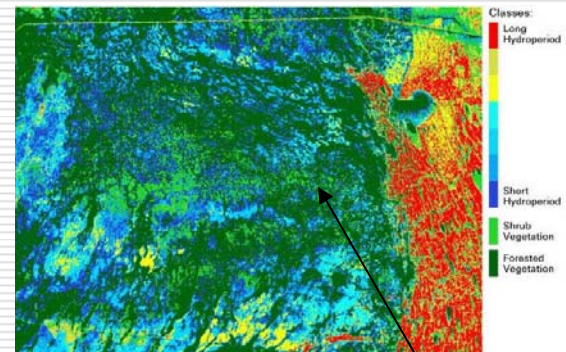
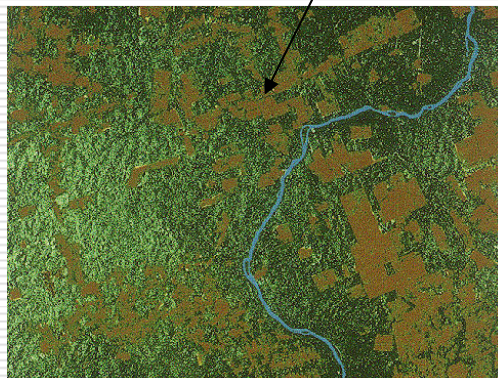
## Примеры радарных данных, предоставляемых системой ENVISAT

### Растительные покровы

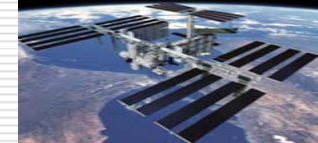


Картина сечения радарного рассеяния в глобальном масштабе. Радарный высотомер RA-2.

Вырубки тропического леса. Бразилия. Амазонка. Радар ASAR.



Классификация растительного покрова. Мичиган. США. Радар ASAR.



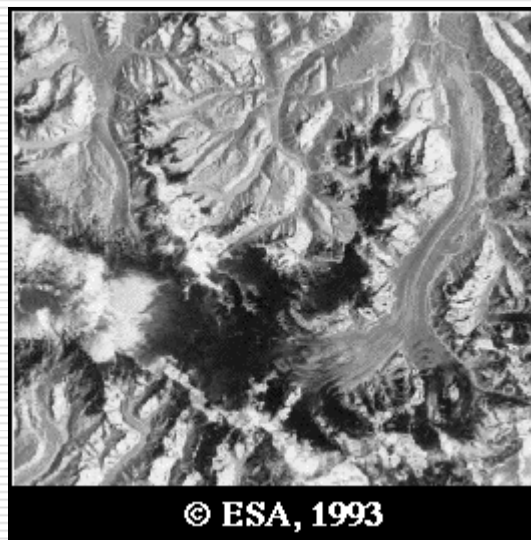
## Примеры радарных данных, предоставляемых системой ENVISAT

### Гидрологические данные

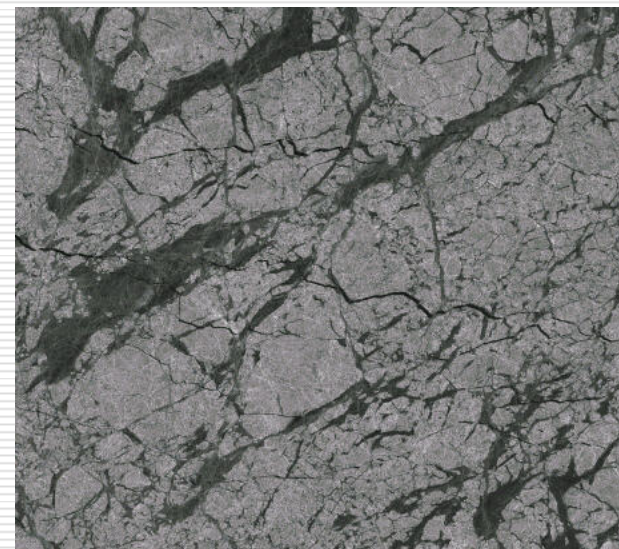


Наводнение на реку  
Маас. Нидерланды  
Радар ASAR.

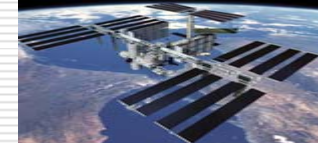
Таяние ледника в  
районе вершины  
Врангеля. Аляска.  
сша. Радар  
ASAR.



© ESA, 1993

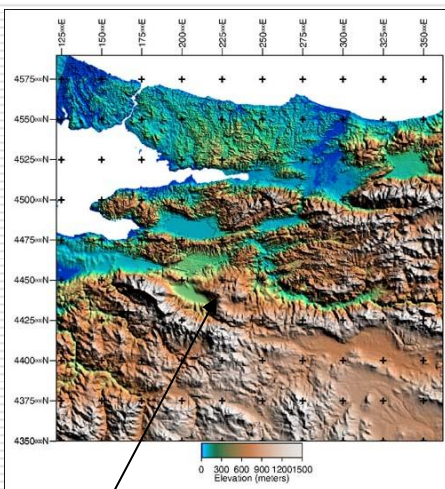


Ледовые поля.  
Море Бюфорта.  
Радар ASAR.



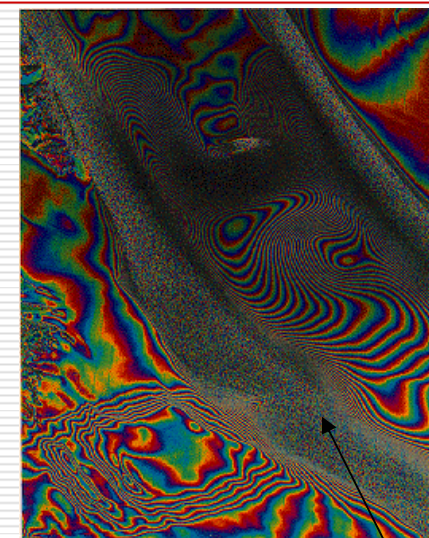
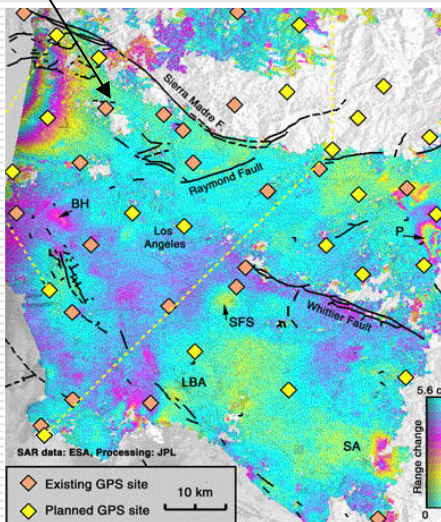
## Примеры информационных продуктов радарного зондирования. Система ENVISAT

### Рельеф местности

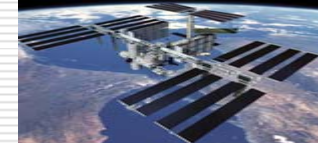


Интерферометрическая радарная модель цифровой карты в зоне землетрясения. Турция. Измир. Радар ASAR.

Интерферометрическая радарная карта просадок грунта. Калифорния. США Радар ASAR.



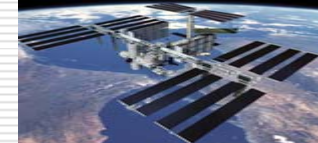
Интерференционная картина перемещения ледового поля. Антарктида. Радар ASAR.



## Основные области использования информационных продуктов радарного/радиометрического зондирования в науках о земле и жизни

<b>Классификация растительных покровов</b>
<b>Влажность почвенных и растительных покровов</b>
<b>Смещения и проседания земной коры</b>
<b>Океанография</b>
<b>Береговые процессы</b>
<b>Морская метеорология</b>

<b>Модели ветрового волнения моря</b>
<b>Перемещения ледников и ледовых полей</b>
<b>Процессы образования и таяния ледовых покровов</b>
<b>Климатология снега</b>
<b>Динамика заболоченных территорий</b>
<b>Морской лед</b>

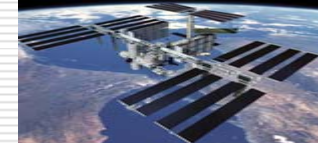


## Основные области коммерческого/промышленного использования информационных продуктов радарного/радиометрического зондирования Земли

<b>Маршрутизация судов в условиях ледового покрытия</b>
<b>Обнаружение разливов нефти на поверхности воды</b>
<b>Обнаружение судов в океане</b>
<b>Батиметрия</b>
<b>Оценки площади занятой посевами</b>
<b>Состояние посевов</b>
<b>Определение влажности почв</b>

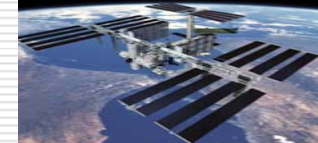
<b>Прогнозирование водного стока рек</b>
<b>Мониторинг наводнений и их последствий</b>
<b>Разведка и добыча нефти и газа</b>
<b>Геологические изыскания и картирование</b>
<b>Землетрясения, вулканическая деятельность</b>
<b>Просадка грунтов</b>





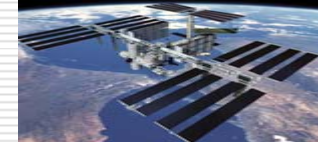
## Сравнительный анализ информативности оптического и радарного/радиометрического зондирования поверхности Земли

Диапазон	Частота/ Длина волны	Влияние атмосф/ ионосф/ погоды	Время суток	Когерент ность/Ин терферо метрия	Поляриметрия	Глубина проник новения
<b>Микро- волно- вый</b>	1,333м – 0,83см	Нет. Слабое. Всепо- годный	Кругло- суточно	Да	Да	Значи- тельная 1мм-10м
		+	+	+	+	+
<b>Оптичес- кий</b>	0,39мкм – 12мкм	Да. Сильное Облачное закры- тие.	Солнеч- ный свет. Местное время 10-15ч	Нет	Нет	Слабая 0,1 - 5,0мкм
		-	-	-	-	-



## Основные направления исследований

- Молекулярная микроволновая **спектроскопия** почв, растительных, водных и ледовых покровов.
- Теоретические и эмпирические **модели собственного радиоизлучения Земли и радарного рассеяния** электромагнитных волн на земных покровах.
- Принципы построения **алгоритмов обработки** данных радиолокации и радиометрии земных покровов, **основанных на физических закономерностях**.
- Создание **баз данных и знаний**, необходимых для практического применения алгоритмов радарного и радиометрического зондирования Земли.
- **Тестирование алгоритмов** дистанционного зондирования **в условиях натурального эксперимента** с использованием аэрокосмических и наземных радио и геофизических измерений.

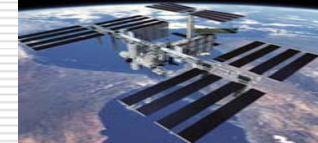


## Молекулярная микроволновая **спектроскопия** почв, растительных, водных и ледовых покровов

V. L. Mironov, M. C. Dobson, V. H. Kaupp, S. A. Komarov, and V. N. Kleshchenko, "Generalized refractive mixing dielectric model for moist soils," IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 42, April 2004

### Рефракционная спектроскопическая модель

- Прототипом созданной нами спектроскопической модели почв в микроволновом диапазоне является полуэмпирическая модель Добсона и др. (1986г). В модели Добсона частотная дисперсия КДП вводится как релаксация Дебая в свободной воде, находящейся вне почвы.
- В отличие от модели Добсона (1986), в созданной спектроскопической модели учитывается релаксация Дебая связанной воды, которая взаимодействует с гидроксильными окончаниями на поверхности почвенных почв.
- Разработан метод измерения параметров Дебая для связанной и свободной воды в почве в условиях взаимодействия почвенной влаги с гидрофильной поверхностью частиц почвы.
- Эти результаты заложили научные основы микроволновой спектроскопии почвенной влаги и влажных почв.
- Основу предложенного метода спектроскопического анализа влажных почв составляют рефракционная модель КДП и релаксационная формула Дебая.



## Молекулярная микроволновая спектроскопия почв, растительных, водных и ледовых покровов

V. L. Mironov, M. C. Dobson, V. H. Kaupp, S. A. Komarov, and V. N. Kleshchenko, "Generalized refractive mixing dielectric model for moist soils," in Proc. IGARSS'02, Toronto, Canada, vol. VI, pp. 3556-3558, 2002, and IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 42, April 2004

### Рефракционная спектроскопическая модель

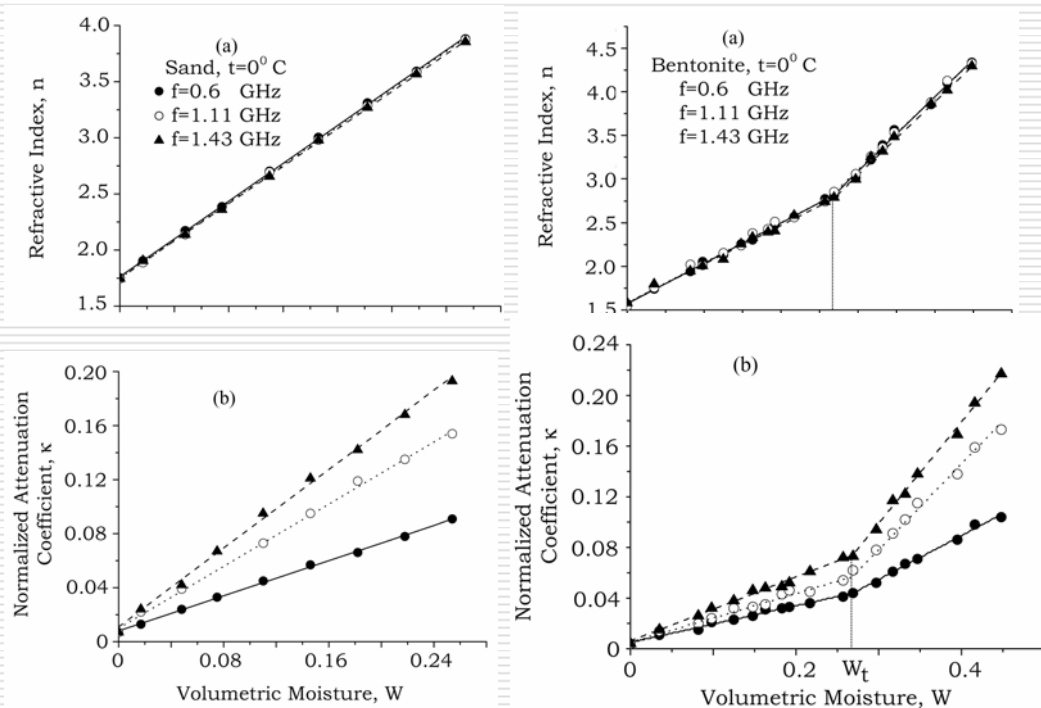
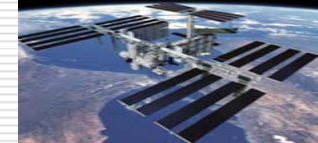


Рис. 1 (слева) и 2 (справа). Измеренные показатели преломления (а) и поглощения (б) для песка (рис. 1) и глины (рис. 2) при  $0^\circ\text{C}$ . Регрессионные зависимости, соотв. рефракционной модели, показаны для частот:  $f = 0.6$  ГГц (сплошная);  $f = 1.11$  ГГц (точки);  $f = 1.43$  ГГц (пунктир).



## Молекулярная микроволновая спектроскопия почв, растительных, водных и ледовых покровов

V. L. Mironov, M. C. Dobson, V. H. Kaupp, S. A. Komarov, and V. N. Kleshchenko, "Generalized refractive mixing dielectric model for moist soils," in Proc. IGARSS'02, Toronto, Canada, vol. VI, pp. 3556-3558, 2002, and IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 42, April 2004

### Рефракционная спектроскопическая модель

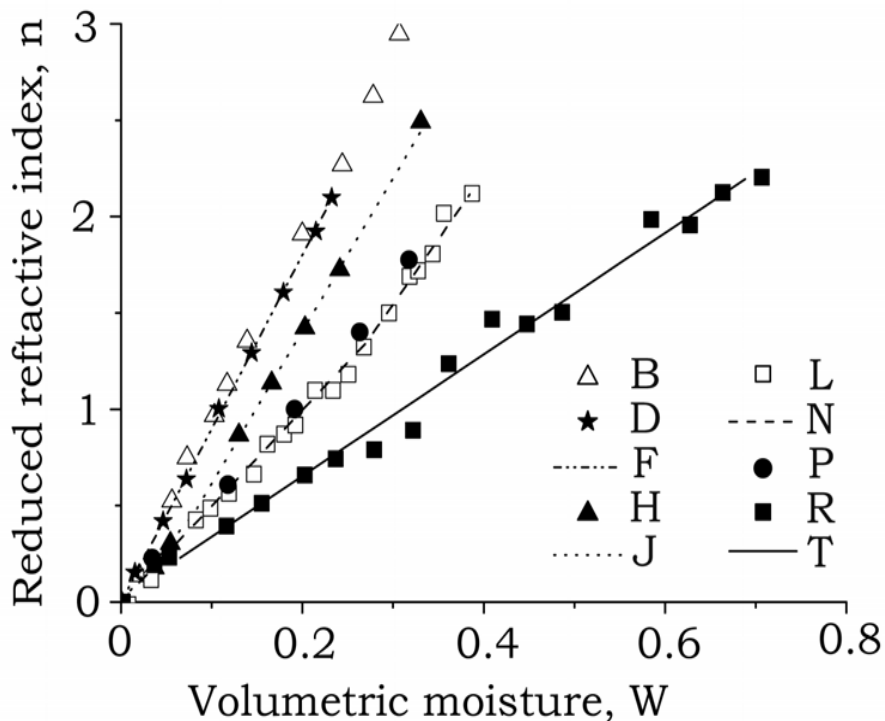
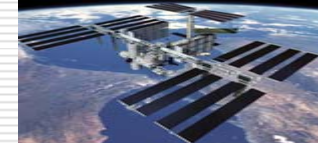


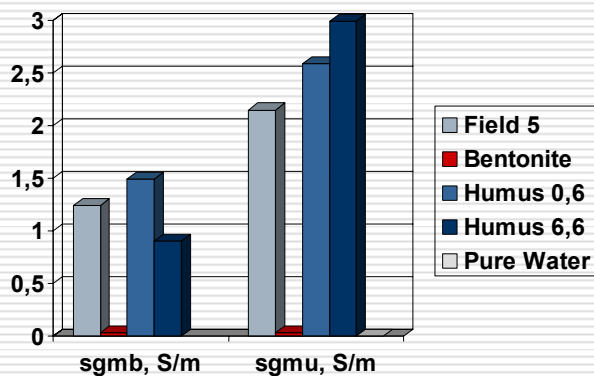
Рис. 4. Измеренные зависимости приведенного показателя преломления от влажности при 22 - 25°C. В-супесч с/х почва (Добсон и др.); D, F-песок (Миронов и др.); H, J – Южн чернозем (Миронов и др.); L, N – бентонит (Миронов и др.); P-глинистая с/х почва (Добсон и др.); R, T – торф (Рычкова и др.). Почвы (частота 1,4 ГГц). Торф (частота 1,1 ГГц).



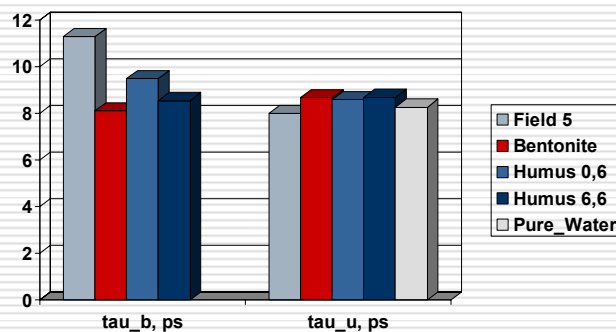
## Молекулярная микроволновая спектроскопия почв, растительных, водных и ледовых покровов

V. L. Mironov, M. C. Dobson, V. H. Kaupp, S. A. Komarov, and V. N. Kleshchenko, "Generalized refractive mixing dielectric model for moist soils," in Proc. IGARSS'02, Toronto, Canada, vol. VI, pp. 3556-3558, 2002, and IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, vol. 42, April 2004

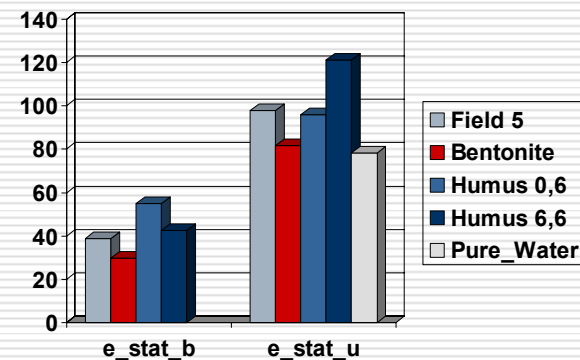
### Параметры релаксации Дебая почвенной влаги, $t=24^{\circ}\text{C}$



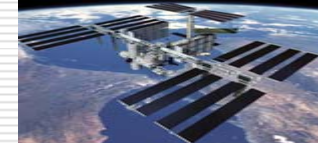
Проводимость связанной  $sgm_b$  и свободной  $sgm_u$  воды.



Время релаксации связанной  $\tau_b$  и свободной  $\tau_u$  воды.



Статическая диэлектрическая проницаемость связанной  $e_{stat_b}$  и свободной  $e_{stat_u}$  воды.

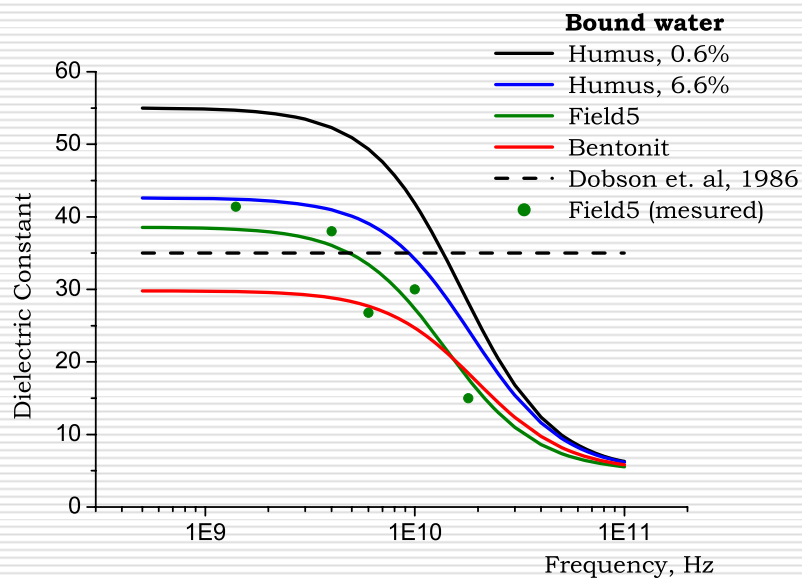


## Молекулярная микроволновая спектроскопия почв, растительных, водных и ледовых покровов

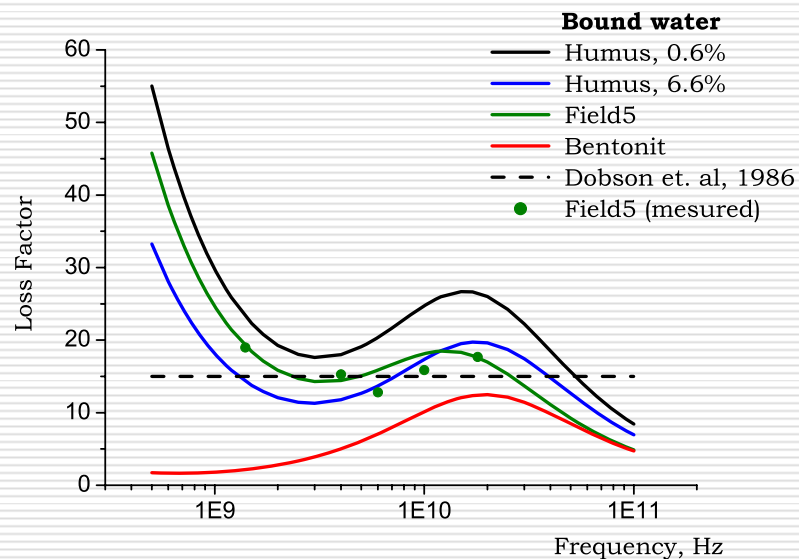
V. L. Mironov, "Spectral Dielectric Properties of Moist Soils in The Microwave Band," in Proc. IGARSS'04, Anchorage, USA, (to be published) 2004.

V.L. Mironov, and P.P. Bobrov, "Soil Dielectric Spectroscopic Parameters Dependence on Humus Content," in Proc. IGARSS'03, Toulouse, France, vol. II, pp. 1106-1108, 2003.

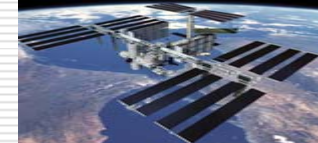
### Спектры релаксации Дебая для связанной почвенной влаги, $t=24^{\circ}\text{C}$



**Действительная часть  
диэлектрической  
проницаемости.**



**Мнимая часть диэлектрической  
проницаемости.**

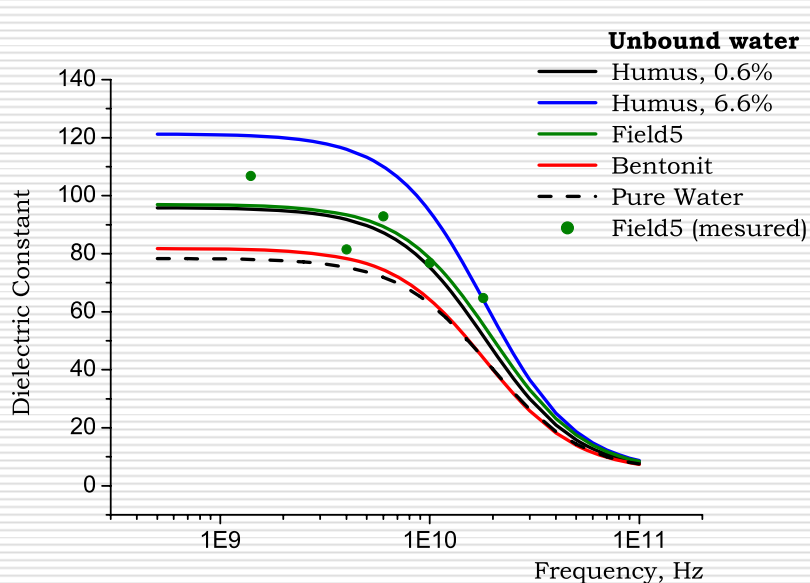


## Молекулярная микроволновая спектроскопия почв, растительных, водных и ледовых покровов

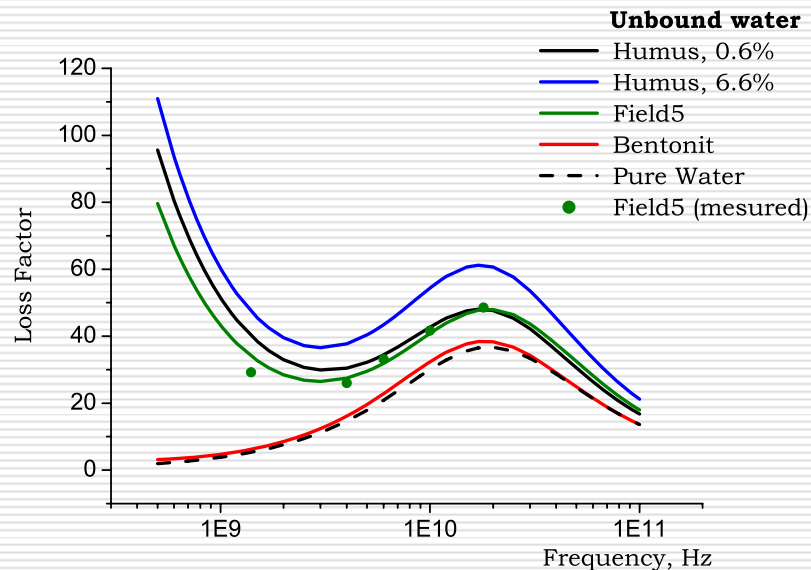
V. L. Mironov, "Spectral Dielectric Properties of Moist Soils in The Microwave Band," in Proc. IGARSS'04, Anchorage, USA, (to be published) 2004.

V.L. Mironov, and P.P. Bobrov, "Soil Dielectric Spectroscopic Parameters Dependence on Humus Content," in Proc. IGARSS'03, Toulouse, France, vol. II, pp. 1106-1108, 2003.

### Спектры релаксации Дебая для свободной почвенной влаги, $t=24^{\circ}\text{C}$

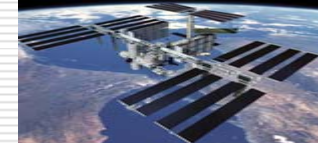


**Действительная часть  
диэлектрической  
проницаемости.**



**Мнимая часть диэлектрической  
проницаемости.**



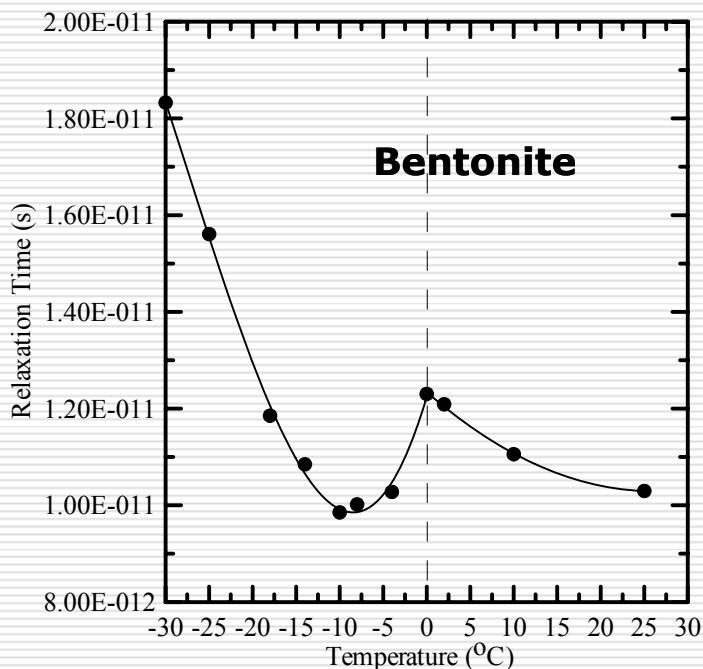


## Молекулярная микроволновая спектроскопия почв, растительных, водных и ледовых покровов

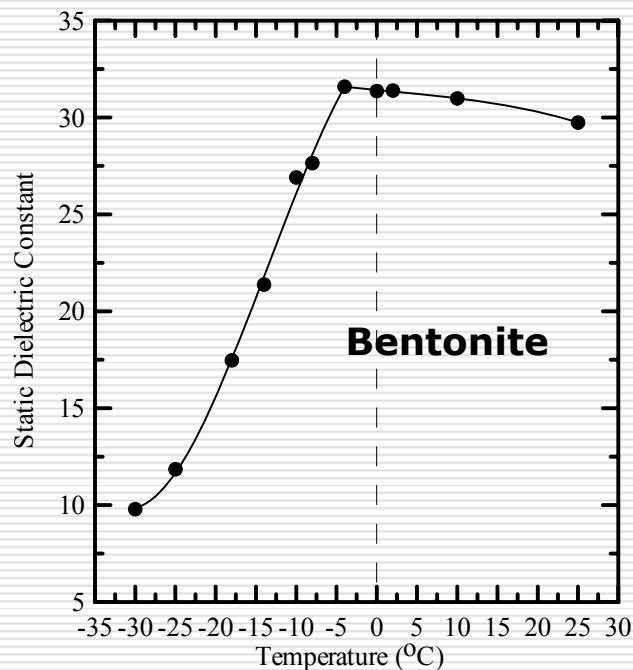
V.L. Mironov, V.H. Kaupp, S.A. Komarov, and V.N. Kleshchenko, "Frozen Soil Dielectric Model Using Unfrozen Water Spectroscopic Parameters," in Proc. IGARSS'03, Toulouse, France, vol. VII, pp. 4172 – 4174, 2003.

### Зависимость релаксационных параметров связанной воды от температуры

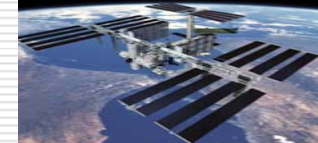
#### Фазовые переходы в связанной воде



Время релаксации.



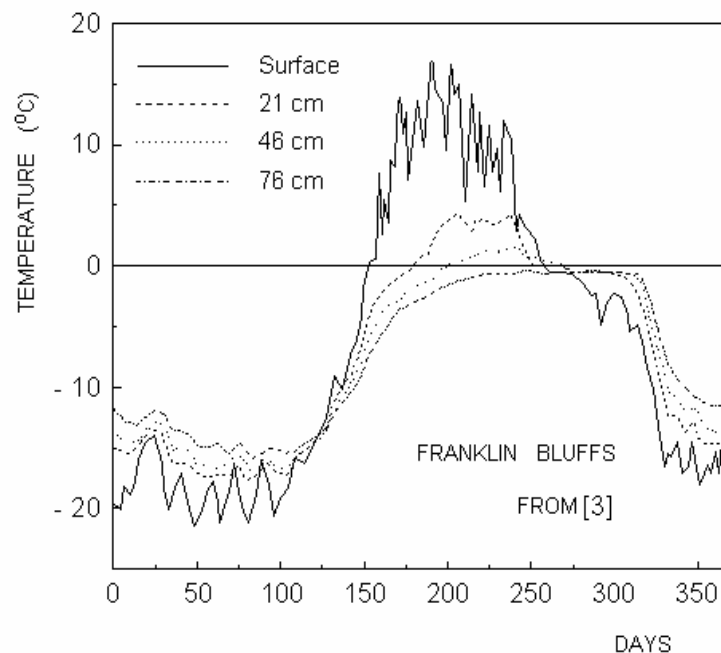
Статическая диэлектрическая проницаемость.



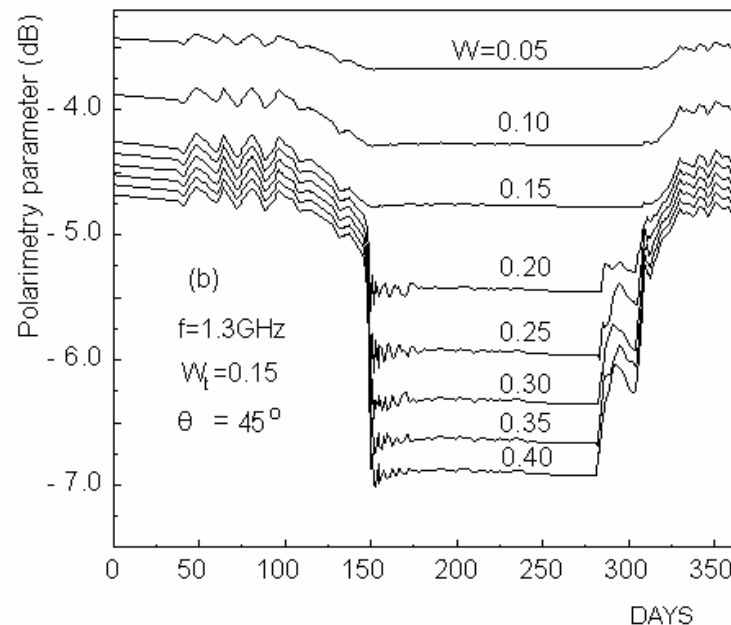
## Теоретические и эмпирические модели собственного радиоизлучения Земли и радарного рассеяния электромагнитных волн на земных покровах

S. A. Komarov, V. L. Mironov, and S. Li, "SAR Polarimetry for Permafrost Active Layer Freeze/Thaw Processes," in Proc. IGARSS'02, Toronto, Canada, vol. V, pp. 2654-2656, 2002.

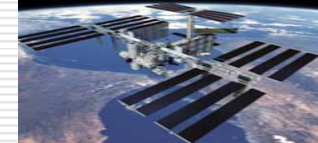
### Модель радарного зондирования активного слоя вечной мерзлоты



Годовой цикл температуры в активном слое вечной мерзлоты.



Годовой цикл параметра поляризации радарного сигнала.



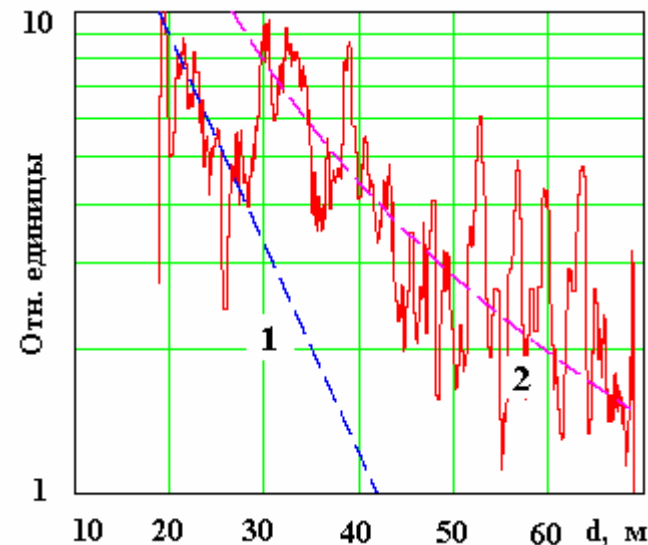
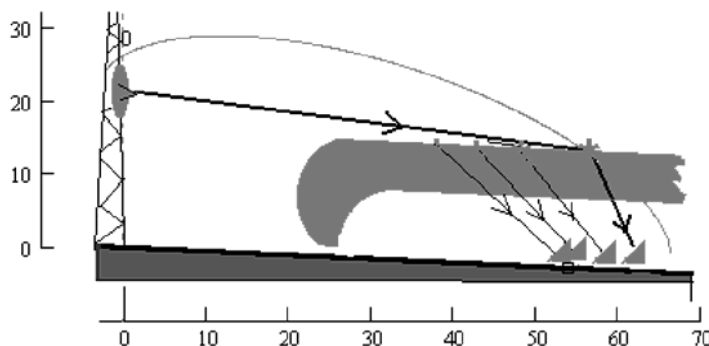
**Теоретические и эмпирические модели собственного радиоизлучения Земли и радарного рассеяния электромагнитных волн на земных покровах**

V.P. Yakubov, , E.D. Telpukhovskiy, K. Sarabandi, V.L. Mironov and V.B. Kashkin, "Attenuation and Depolarization Data Measured for Scattered Field Inside Larch Canopy," in Proc. IGARSS'03, Toulouse, France, vol. VII, pp. 4195 - 4197.

**Радарное рассеяния волн лесным пологом. Боковая волна**



Нано-импульсный радар. 60 пс.  
Пространственное разрешение  
0,03 м

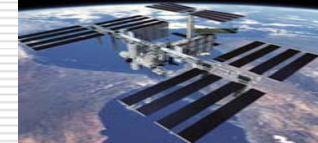


**Градиентная вышка  
КНЦ СО РАН.**

**Схема радарного  
зондирования.**

**Сигнал нано-  
импульсного  
радара, рассеянный  
лесным пологом.**

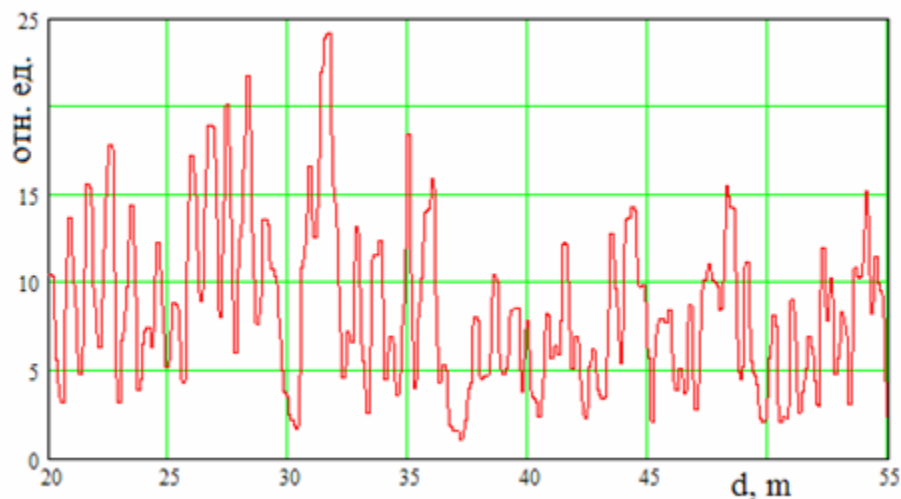
**Стационар «Погорелка»  
ИЛ СО РАН.**



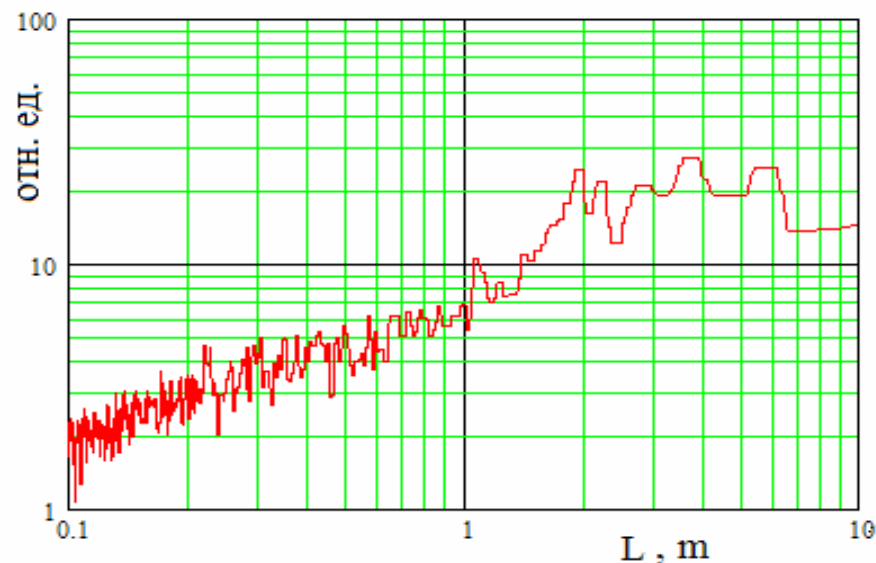
## Теоретические и эмпирические модели собственного радиоизлучения Земли и радарного рассеяния электромагнитных волн на земных покровах

V.P. Yakubov, E.D. Telpukhovskiy, V.L. Mironov, G.M. Tsepelev, and N.A. Moiseenko, «Measured Spectrum and Polarization of Wideband Radar Signal from Forest Stand», in Proc. IGARSS'04, Anchorage, USA, (to be published) 2004.

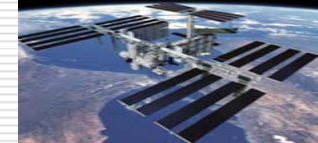
### Радарное рассеяния волн лесным пологом. Пространственные спектры сигнала



Нормированная амплитуда радарного сигнала от полога леса.



Пространственный спектр амплитуды радарного сигнала от полога леса.



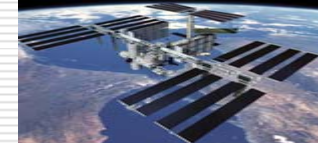
**Теоретические и эмпирические модели собственного радиоизлучения Земли и радарного рассеяния электромагнитных волн на земных покровах**

V.L. Mironov, V.B. Kashkin, and V.I. Kokorin, «Effective Complex Dielectric Constant of Forest Stand Measured with GPS Interferometer», in Proc. IGARSS'04, Anchorage, USA, (to be published) 2004.

**ГЛОНАСС/GPS-интерферометрия электрофизических свойств лесного полога**



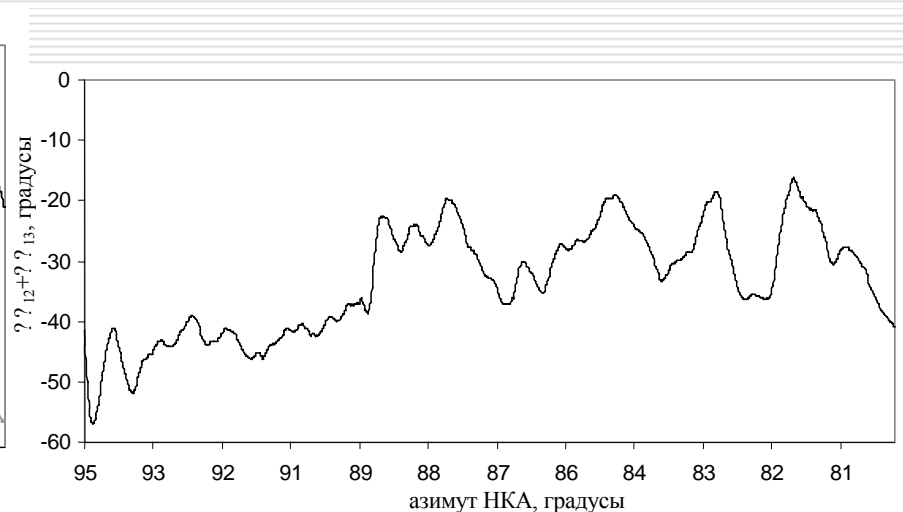
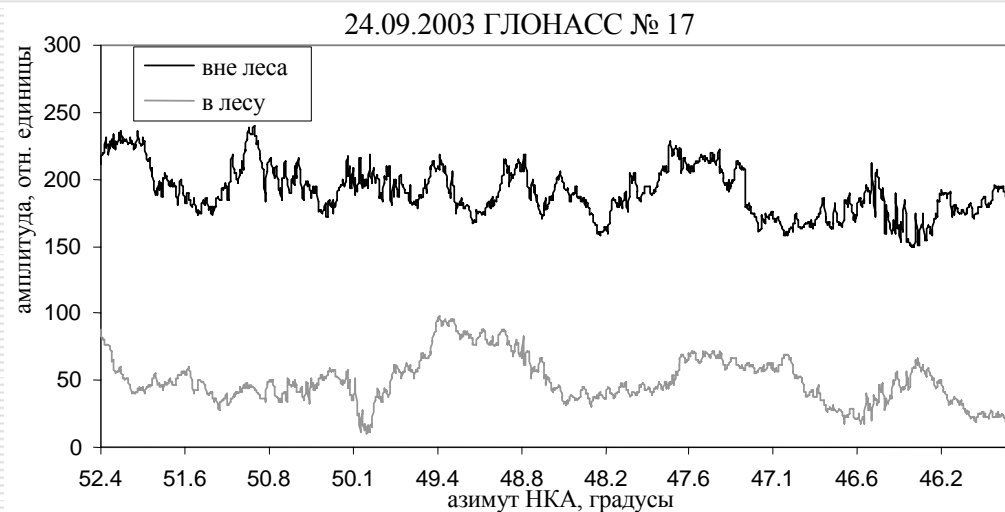
Аппаратура МРК-11 предназначена для определения угловой ориентации объектов по измерению разности фаз между тремя разнесенными в пространстве антеннами. Прибор оценивает значения разности фаз сигналов со среднеквадратической погрешностью 2-3°.



## Теоретические и эмпирические модели собственного радиоизлучения Земли и радарного рассеяния электромагнитных волн на земных покровах

V.L. Mironov, V.B. Kashkin, and V.I. Kokorin, «Effective Complex Dielectric Constant of Forest Stand Measured with GPS Interferometer», in Proc. IGARSS'04, Anchorage, USA, (to be published) 2004.

### ГЛОНАСС/GPS-интерферометрия электрофизических свойств лесного полога

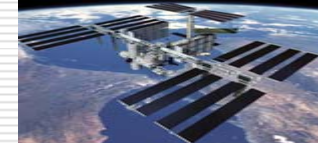


#### Амплитуды сигналов ГЛОНАСС.

#### Разность фаз сигналов ГЛОНАСС.

**Сосновый лес. Высота деревьев: 14-15 м. Толщина стволов: 0,2-0,26 м.  
Расстояние между стволами 3-7 м. Красноярск, август 2003г.**

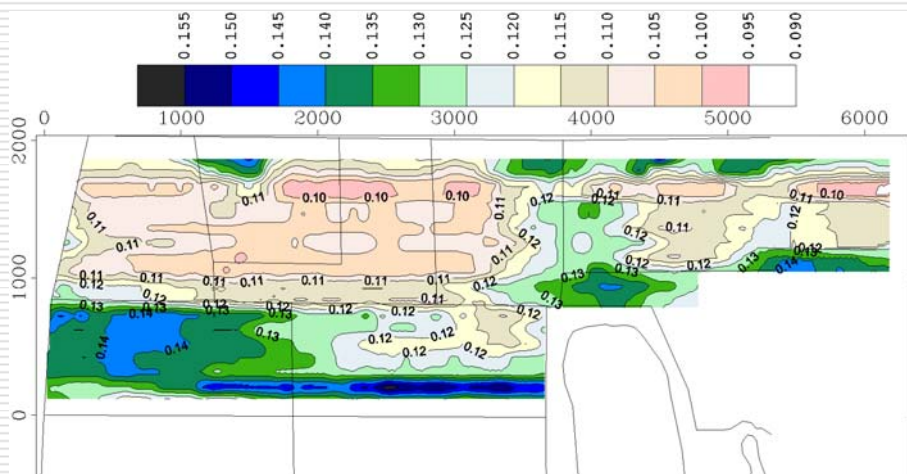
**Эквивалентная комплексная диэл. пр-сть: 1. Действительная часть: 1,004-1,01.  
2. Мнимая часть: 0,008-0,016.**



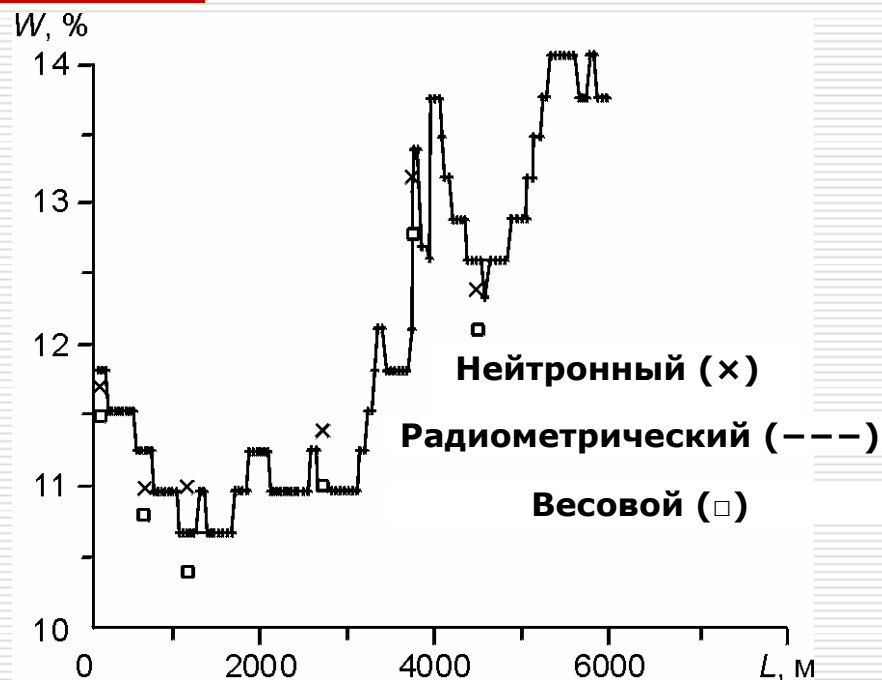
## Тестирование алгоритмов дистанционного зондирования в условиях натурального эксперимента с использованием аэрокосмических и наземных радио и геофизических измерений

Миронов В.Л., Комаров С.А., Евтюшкин А.В., Рычкова Н.В., Комплексный эксперимент по измерению влажности почв на территории Алтайского полигона // Исследование Земли из Космоса. 1998. N 2. С. 81–89.

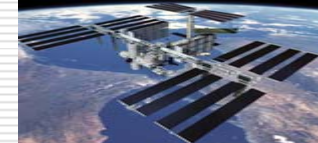
### Самолетная радиометрия влажности почв



Карта влажности почв, полученная с помощью самолетной радиометрии. Частоты: 1,1; 1,43; 1,67 ГГц.



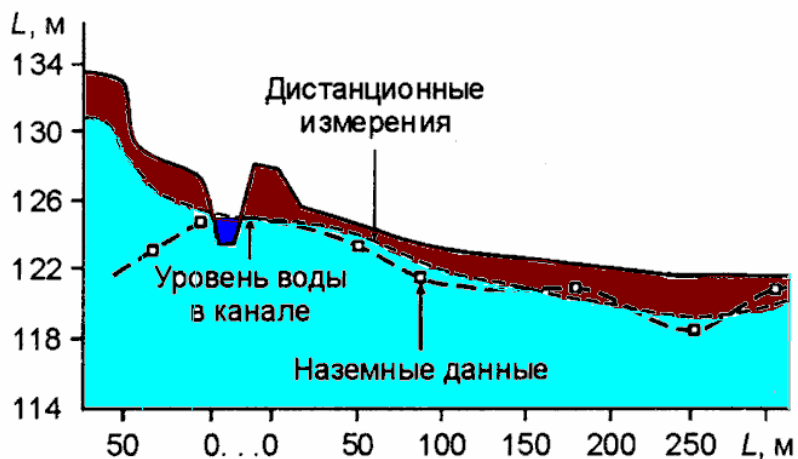
Сравнение влажностей  $W$ , полученных наземным нейтронным (x), самолетным радиометрическим (---) и весовым ( $\square$ ) способами.



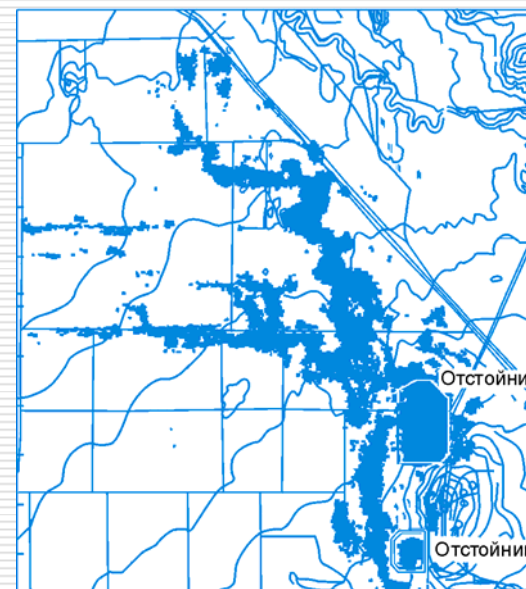
### Тестирование алгоритмов дистанционного зондирования в условиях натурального эксперимента с использованием аэрокосмических и наземных радио и геофизических измерений

Комаров С.А., Миронов В.Л., Романов А.Н., Евтюшкин А.В., «Измерения и алгоритм обработки данных в задаче дистанционного зондирования уровня грунтовых вод» // Исслед. Земли из Космоса. 1998, N 4, С. 98--106.

### Самолетная радиометрия грунтовых вод. Двухчастотный метод 1,43; 13,33 ГГц.

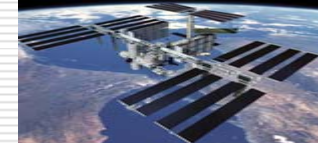


Уровень грунтовых вод в зоне фильтрации. Кулундинский канал (Алтайский край). Самолетные радиометрические и контактные измерения.



Радиометрическое и спектрометрическое картирование территорий, подтопленных близко стоящими грунтовыми водами (<1 м). Фильтрация из отстойников горного комбината. Алтайский край, г. Горняк.

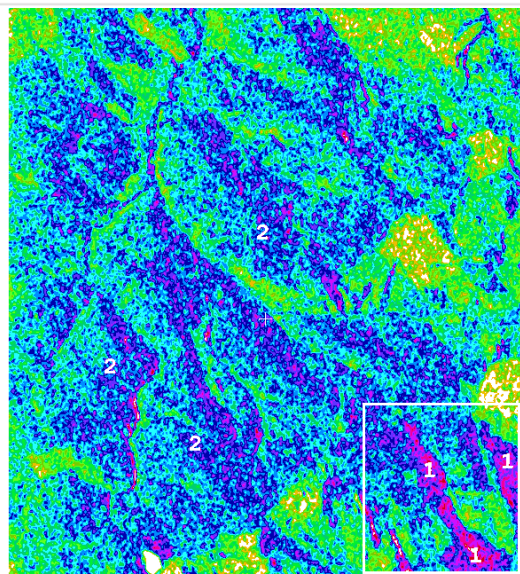




**Тестирование алгоритмов дистанционного зондирования в условиях  
натурного эксперимента с использованием аэрокосмических и наземных радио и  
геофизических измерений**

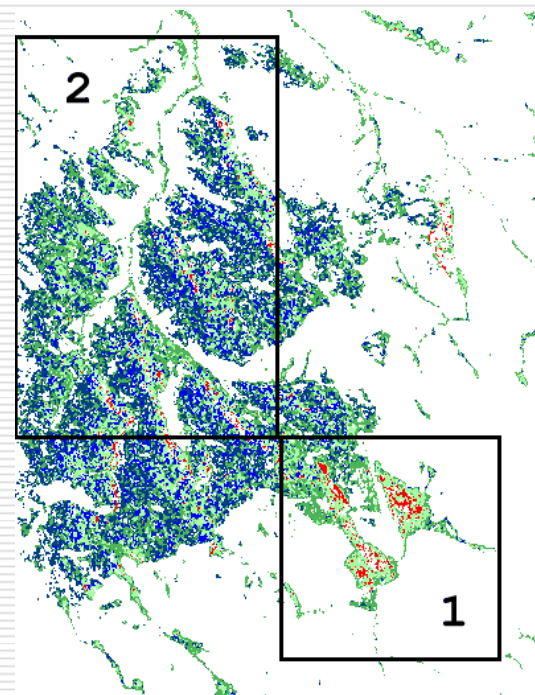
T. V. Baikalova, K. V. Kazantsev, S. A. Komarov, D. N. Lukyanenko, V. L. Mironov, A. V. Yevtyushkin, et. al.,  
"Analysis of forest regions by SAR and optical images," in IGARSS'98, Seattle, USA, v. 3, pp. 1723-1725,  
1998.

**Радарная классификация породного состава леса. L-1,277; C- 5,172 ; X-10 GHz**

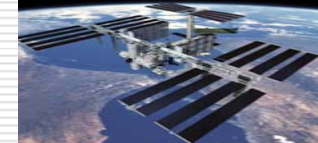


**Псевдо цветное радарное  
изображение участка  
холмистой местности с  
лесным покровом.**

**Радар  
Shuttle  
Imaging  
Radar (USA)  
Предгорья  
Алтая**



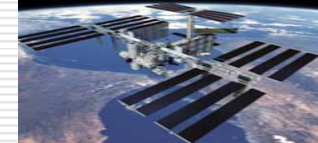
**Классификация породного состава леса с  
применением текстурных признаков флуктуаций  
радарного сечения рассеяния и нейронной сети**



## Научно-организационные предложения

Представленные в докладе результаты получены при сотрудничестве научных коллективов СО РАН, Вузов Сибири и зарубежных университетов:

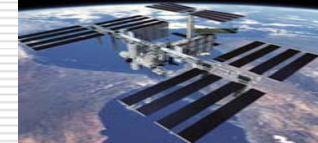
1. Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН (чл.-корр. РАН В.Л. Миронов)
2. СКТБ «Наука» КНЦ СО РАН (чл.-корр. РАН В.Л. Миронов)
3. Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (к.ф.м.н. А.И. Сухинин)
4. Институт оптики атмосферы СО РАН (д.ф.м.н. В.А. Банах)
5. Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН (д.т.н. В.П. Пяткин)
6. Отдел физико-технических проблем БНЦ СО РАН (к.ф.м.н. Т.Н. Чимитдоржиев)
7. Томский государственный университет (д.ф.м.н. Якубов, д.т.н. Е.Д. Тельпуховский)
8. Алтайский государственный университет (д.ф.м.н. С.А. Комаров)
9. Омский государственный педагогический университет (д.ф.м.н. П.П. Бобров)
10. Красноярский государственный технический университет (д.т.н. В.Б. Кашкин)
11. Мичиганский университет (США, Мичиган, Анн-Арбор, Dr. K. Sarabandi)
12. Университет Аляски (США, Аляска, Фэрбэнкс, Dr. Shusun Li)
13. Университет Миссури (США, Миссури, Колумбия, Dr. V. Kaupp)



## Научно-организационные предложения

В настоящее время выполняются следующие научные проекты:

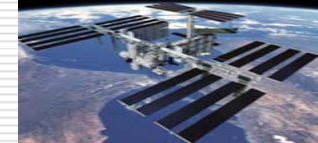
- 
- Радиофизика дистанционного зондирования Земли. (**Программа СО РАН «Новые оптические материалы и технологии» 2004-2006гг**);
1. Разработка методов космической радиолокации и радиометрии Сибири (**ФЦП «Интеграция», Проект И0106, 2003-2006гг., Министерство образования и науки РФ**);
  2. Изучение процессов излучения и рассеяния электромагнитных волн СВЧ-диапазона лесными покровами Сибири» (**Экспедиционные проекты СО РАН, 2001-2004гг**);
  3. Аэрокосмическая радиолокация и радиометрия земных покровов (**Комплексный проект СО РАН, 2003-2005гг.**);
  4. «Разработка моделей и алгоритмов аэрокосмического радарного и радиометрического зондирования активного слоя вечной мерзлоты» (**Программа Президиума РАН 2003-2004гг.**);
  5. Разработка методов космической радиолокации и радиометрии территории Красноярского края (**Программа региональных научных исследований. Администрация Красноярского края, 2003-2006гг.**)



## Научно-организационные предложения

Перспективные научно-организационные мероприятия для проведение фундаментальных исследований и подготовки кадров в области аэрокосмической радиолокации и радиометрии Земли, разработки инновационных технологий дистанционного зондирования и создания условий для их применения в Сибири

- Открытие **лаборатории** радиофизики дистанционного зондирования в Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН.
- Создание в СО РАН совместно с Вузами **корпоративного исследовательского университета**.
- Университет функционирует на базе **программно-целевых методов финансирования и управления**. Ресурсное обеспечение работы университета осуществляется за счет **конкурсных заказов** на выполнение исследований, подготовку кадров и выполнения **коммерческих проектов**.
- Аспирантура и магистратура** по специальностям «радиофизика», «дистанционное зондирование», «геоинформационные технологий».



## Научно-организационные предложения

Перспективные научно-организационные мероприятия для проведения фундаментальных исследований и подготовки кадров в области аэрокосмической радиолокации и радиометрии Земли, разработки инновационных технологий дистанционного зондирования и создания условий для их применения в Сибири

---

- **Центр коллективного пользования** в области приборов ДЗ, лабораторных установок, программных средств, баз данных, информационных сетей, испытательных наземных полигонов и обсерваторий;
- **Инновационный центр** радарного и радиометрического зондирования Земли.
- **Центр международного сотрудничества** в области радарного и радиометрического зондирования Земли. Программы NEESPI, INTAS, CRDF.