

# **Чувствительность уходящего длинноволнового потока к вариациям характеристик подстилающей поверхности**

**выполнила студентка 551 гр.  
Кравченко Р.В.  
Научный руководитель  
д.ф.-м.н., проф. Лагутин А.А.**

## Актуальность работы

В связи с антропогенными факторами на планете Земля, в последние годы наблюдается дисбаланс между приходящим и уходящим потоками. И для дальнейшего прогнозирования поведения системы <<подстилающая поверхность - атмосфера>> необходимо знать и наблюдать за вариацией основных параметров подстилающей поверхности и атмосферы.

## *Цели и задачи*

### **Цель**

- Исследование чувствительности потока уходящего длинноволнового излучения к вариациям температуры и коэффициента излучения подстилающей поверхности (ПП) с использованием данных спутниковых наблюдений.

### **Задачи**

- Определить, как влияют на поток вариации температуры и коэффициента излучения ПП.
- Поиск наиболее чувствительных частотных интервалов.

Распространение  
электромагнитного  
излучения в  
атмосфере Земли

## Безоблачная атмосфера



$$L_{CLR}(\nu, \theta) = \varepsilon_s(\nu)B(\nu, T_s)\tau(\nu, p_s \rightarrow 0, \theta) + \int_{p_s}^0 B(\nu, T(p)) \frac{d\tau(\nu, p \rightarrow 0, \theta)}{d \ln p} d \ln p,$$

где  $\varepsilon_s(\nu)$  – коэффициент излучения подстилающей поверхности (ПП);  
 $B(\nu, T_s)$  – функция Планка;  
 $T_s$  и  $p_s$  – температура и давление ПП;  
 $\tau(\nu, p \rightarrow 0, \theta)$  – функция пропускания атмосферного слоя.

Функция пропускания атмосферы

$$\tau(\nu, p \rightarrow 0, \theta) = \prod_l \exp\left(-\sec\theta \int_p^0 k_l(\nu, p) c_l(p) dp\right),$$

где

$k_l(\nu, p)$  является коэффициентом поглощения газовой компонентой  $l$ ;

$c_l(p)$  – это отношение смеси компоненты  $l$  на уровне с давлением  $p$ .



# Поток уходящего излучения

**Поток уходящего длинноволнового излучения  
дается выражением:**

$$F = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\infty} \int_0^{2\pi} L_{\nu}(\theta) \sin \theta \cos \theta d\theta d\varphi d\nu .$$

**В которой  $L_{\nu}$  – интенсивность излучения.**

**Данный поток, который характеризует состояние системы “Земля-атмосфера-спутник”, является функционалом температуры ПП, профиля всех газовых компонент, функционалом коэффициента излучения ПП и т.д.**

**НОВЫЙ**

**МЕТОД**

Благодаря методу [1]  
<<эффективного угла>>

формула для потока  
будет иметь более  
простой вид:

$$F = \pi \int_0^{\infty} L_v(\theta_{ef}) dv.$$

## Вариационная производная

Вариация системы – переход от состояния  $\varepsilon_s(\nu)$  к состоянию  $\varepsilon'_s(\nu)$

Вариация функционала:  $\Delta F(\varepsilon_s(\cdot) \rightarrow \varepsilon'_s(\cdot)) = F(\varepsilon'_s(\cdot)) - F(\varepsilon_s(\cdot))$ ,

$\varepsilon_s(\nu_0)$  – коэффициент излучения, характеризующий состояние атмосферы.

Полагаем, что  $\varepsilon'_s(\nu_0) = \varepsilon_s(\nu_0) + \Delta\varepsilon_s(\nu_0)$ , следовательно

$$\begin{aligned} & \Delta F(\varepsilon_s(\cdot) \rightarrow \varepsilon_s(\cdot) + \Delta\varepsilon_s(\cdot)) \\ &= \int \frac{\delta F(\varepsilon_s(\cdot))}{\delta \varepsilon_s(\nu_0) d\nu_0} \delta \varepsilon_s(\nu_0) d\nu_0 + \sum_{k=2}^{\infty} \frac{1}{k!} \int \dots \int \left( \frac{\delta^k F(\varepsilon_s(\cdot))}{\delta \varepsilon_s(\nu_1) d\nu_1 \dots \delta \varepsilon_s(\nu_k) d\nu_k} \right) \delta \varepsilon_s(\nu_1) d\nu_1 \dots \times \\ & \quad \times \delta \varepsilon_s(\nu_k) d\nu_k \end{aligned}$$



## Коэффициент дифференциальной чувствительности

Если  $F$  линейно зависит от  $\varepsilon_s(\nu_0)$ , то

$$\Delta F(\varepsilon_s(\cdot) \rightarrow \varepsilon_s(\cdot) + \Delta \varepsilon_s(\cdot)) = \int \underbrace{\frac{\delta F(\varepsilon_s(\cdot))}{\delta \varepsilon_s(\nu_0) d\nu_0}}_{\text{коэффициент дифференциальной чувствительности}} \delta \varepsilon_s(\nu_0) d\nu_0.$$

$$\frac{\delta F(\varepsilon_s(\cdot))}{\delta \varepsilon_s(\nu_0) d\nu_0} = \pi \int_0^\infty \frac{\delta L(\theta_{ef})}{\delta \varepsilon_s(\nu_0) d\nu_0} d\nu,$$

коэффициент  
дифференциальной  
чувствительности

где

$$\frac{\delta L(\theta_{ef})}{\delta \varepsilon_s(\nu_0) d\nu_0} = B(\nu, T_s) \tau(\nu, p_s \rightarrow 0, \theta_{ef}) \underbrace{\frac{\delta \varepsilon_s(\nu)}{\delta \varepsilon_s(\nu_0) d\nu_0}}_{=\delta(\nu-\nu_0)}.$$

Использовали интенсивность при  
безоблачной атмосфере.

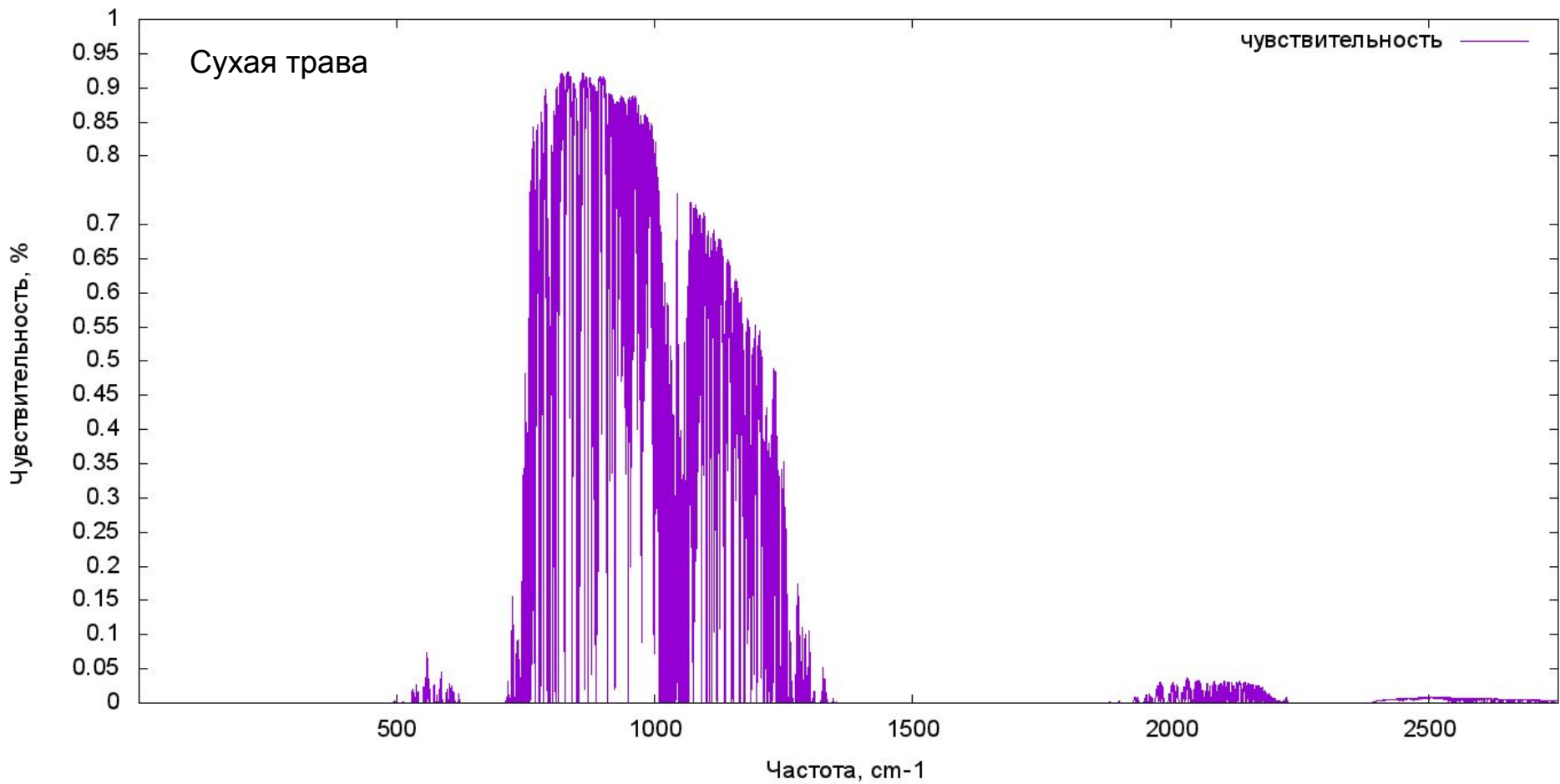
## Чувствительность уходящего длинноволнового потока к вариации коэффициента излучения ПП

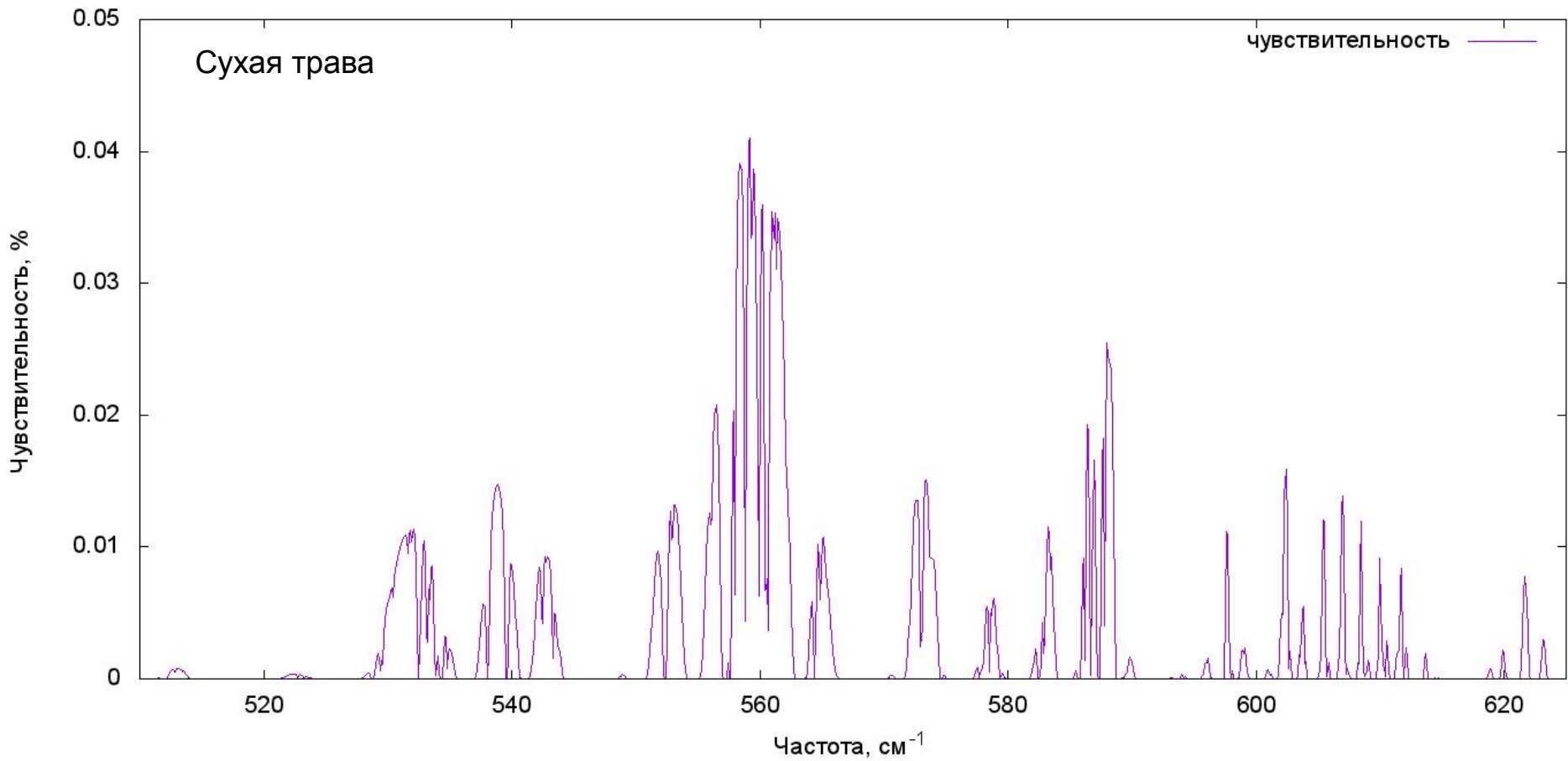
$$\Delta F = \pi B(\nu_0, T_s) \tau(\nu_0, p_s \rightarrow 0, \theta_{ef}) \Delta \varepsilon_s(\nu_0) \Delta \nu_0 \quad \times 100\% \text{ и } \frac{\varepsilon_s(\nu_0)}{\varepsilon_s(\nu_0)}$$

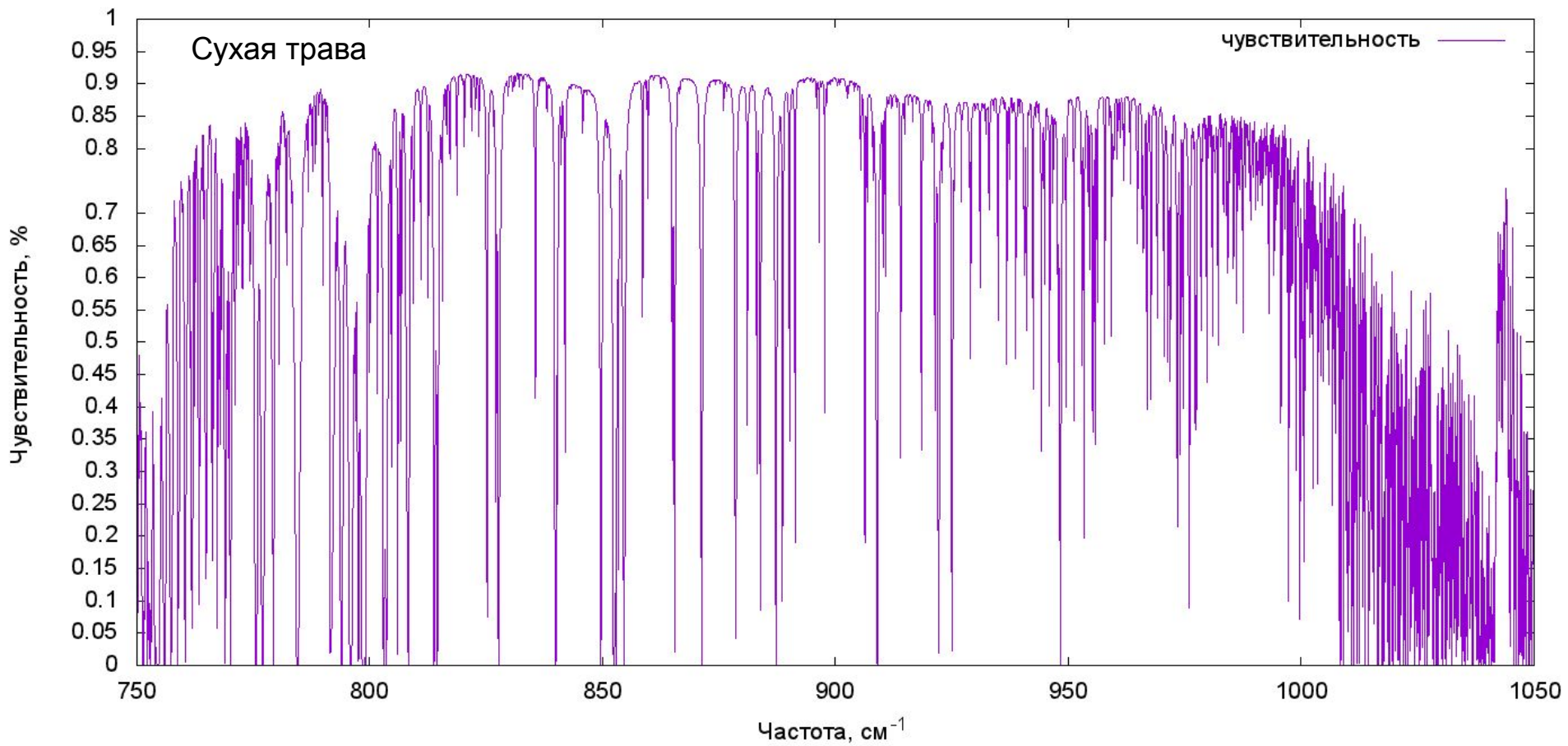
$$\frac{\Delta F}{F} 100\% = \pi B(\nu_0, T_s) \tau(\nu_0, p_s \rightarrow 0, \theta_{ef}) \frac{\varepsilon_s(\nu_0)}{F} \left( \frac{\Delta \varepsilon_s(\nu_0)}{\varepsilon_s(\nu_0)} 100\% \right) \Delta \nu_0,$$

функция чувствительности:

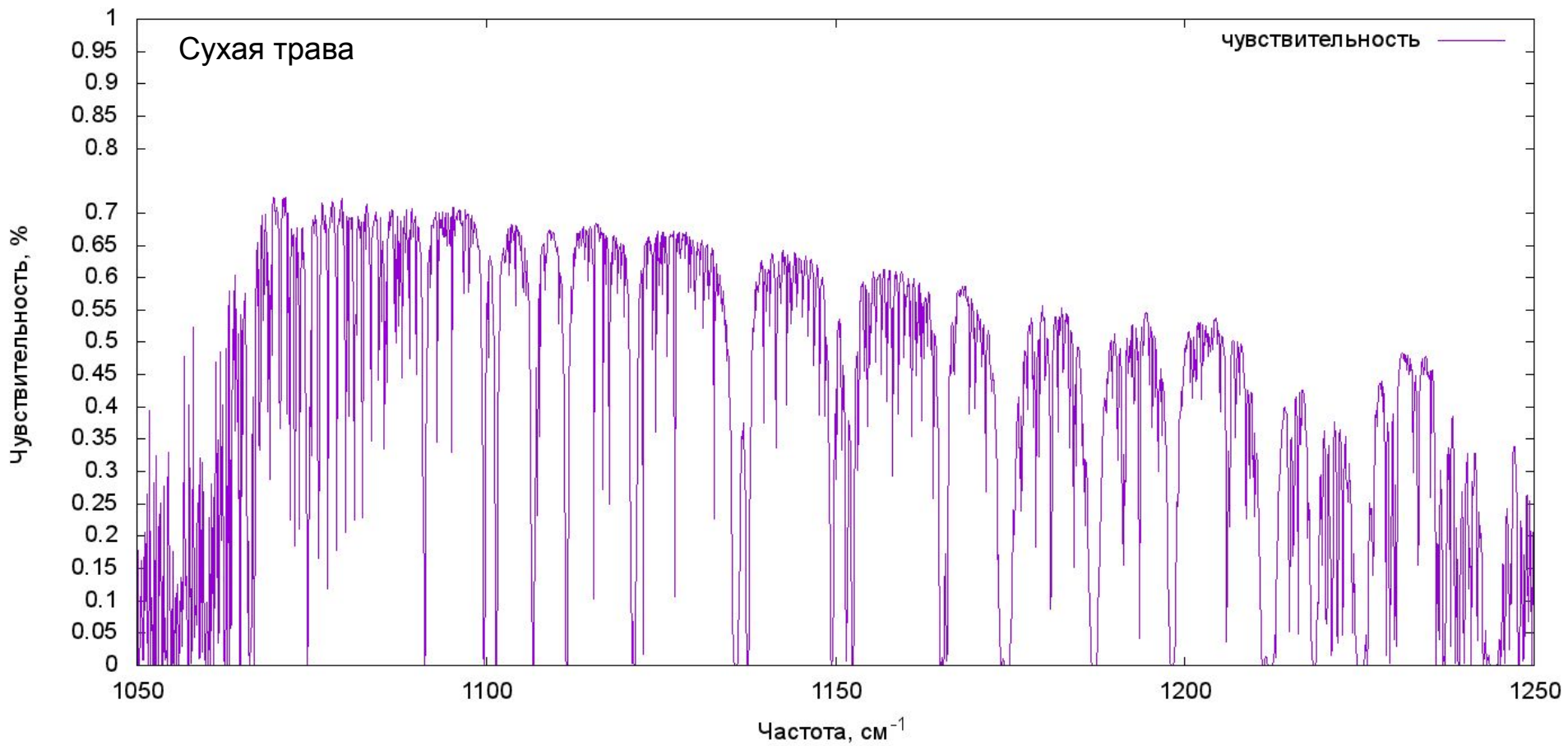
$$S(\nu_0) = \pi B(\nu_0, T_s) \tau(\nu_0, p_s \rightarrow 0, \theta_{ef}) \frac{\varepsilon_s(\nu_0)}{F} 1\%.$$

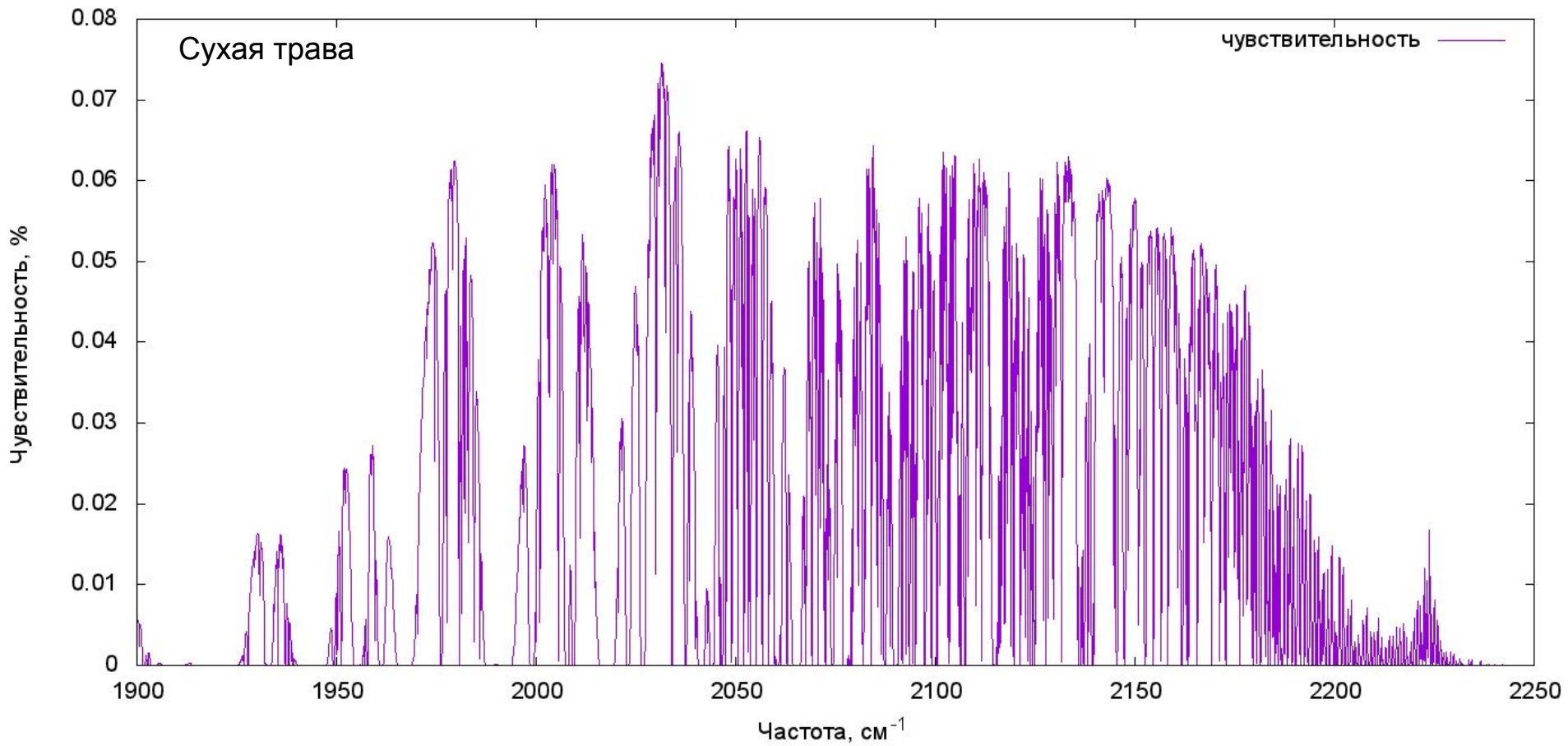


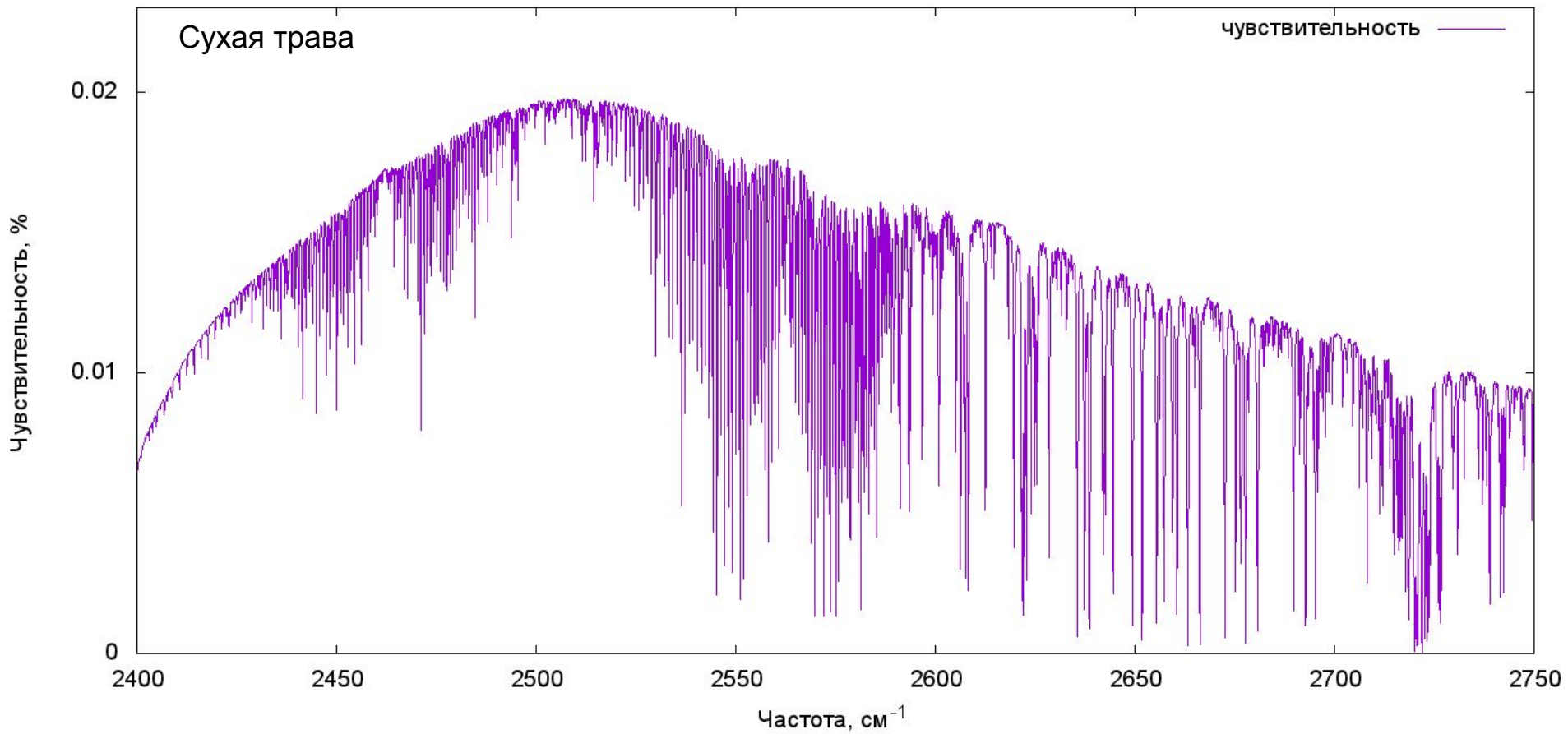


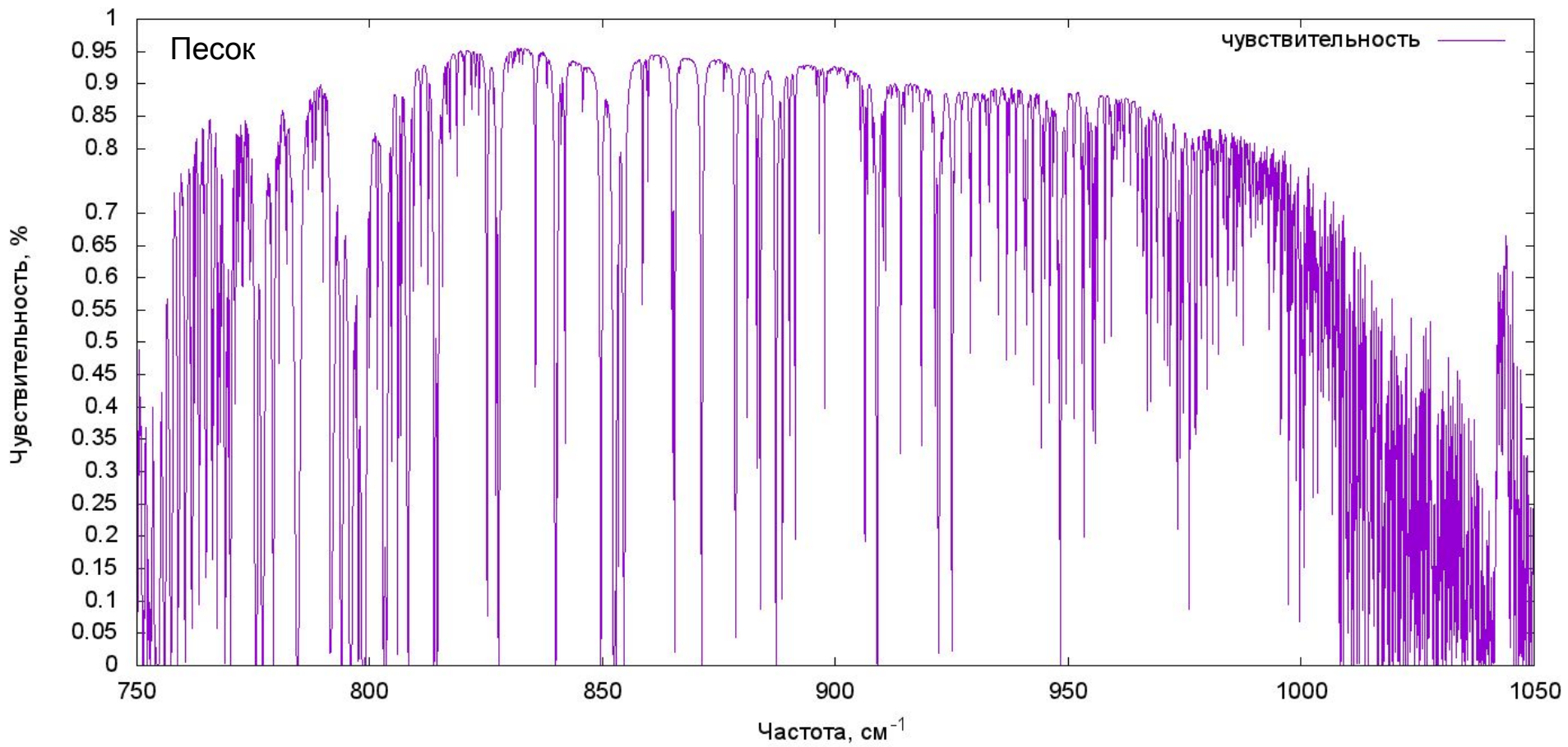












## Коэффициент дифференциальной чувствительности к вариации температуры ПП

Если  $F$  нелинейно зависит от  $T_s$ , то

$$\Delta F(T_s \rightarrow T_s + \Delta T_s) \approx \sum_i \left( \frac{\partial F}{\partial T_{si}} \right) \Delta T_{si}, \quad \text{где}$$

$$\frac{\partial F}{\partial T_s} = \pi \int_0^\infty \frac{\partial L(\theta_{ef})}{\partial T_s} dv,$$

$$\frac{\partial L_\nu}{\partial T_s} = \varepsilon_s(\nu) \tau(\nu, p_s \rightarrow 0, \theta_{ef}) \frac{\partial B(\nu, T_s)}{\partial T_s}$$

$$= \varepsilon_s(\nu) \tau(\nu, p_s \rightarrow 0, \theta_{ef}) \frac{2h^2 \nu^4 e^{\frac{h\nu}{kT_s}}}{kc^2 T_s^2 \left( e^{\frac{h\nu}{kT_s}} - 1 \right)^2}.$$



## Чувствительность уходящего длинноволнового потока к вариации температуры ПП

$$\Delta F = \sum_i \left( \pi \int_0^\infty \varepsilon_s(\nu) \tau(\nu, p_s \rightarrow 0, \theta_{ef}) \frac{2h^2 \nu^4 e^{\frac{h\nu}{kT_s}}}{kc^2 T_s^2 \left( e^{\frac{h\nu}{kT_s}} - 1 \right)^2} d\nu \right) \Delta T_{si} \cdot \left/ \times 100\% \text{ и } \frac{T_s}{T_s} \right.$$

$$\frac{\Delta F}{F} 100\% = \frac{T_s}{F} \sum_i \left( \pi \int_0^\infty \varepsilon_s(\nu) \tau(\nu, p_s \rightarrow 0, \theta_{ef}) \frac{2h^2 \nu^4 e^{\frac{h\nu}{kT_s}}}{kc^2 T_s^2 \left( e^{\frac{h\nu}{kT_s}} - 1 \right)^2} d\nu \right) \frac{\Delta T_{si}}{T_s} 100\%.$$

**Функция чувствительности:**

$$S = \frac{T_s}{F} \sum_i \left( \pi \int_0^\infty \varepsilon_s(\nu) \tau(\nu, p_s \rightarrow 0, \theta_{ef}) \frac{2h^2 \nu^4 e^{\frac{h\nu}{kT_s}}}{kc^2 T_s^2 \left( e^{\frac{h\nu}{kT_s}} - 1 \right)^2} d\nu \right) 1\%.$$

## Выводы

1. Предложен новый подход расчета коэффициентов дифференциальной чувствительности уходящего потока к вариациям характеристик ПП.
2. Получены коэффициенты дифференциальной чувствительности уходящего потока к вариациям характеристик ПП
3. С использованием данных спектрорадиометра AIRS установлена чувствительность уходящего длинноволнового потока к вариациям коэффициентов излучения ряда типов ПП.

Исследования проводились при поддержке стипендии Губернатора Алтайского края имени летчика-космонавта Г.С. Титова.



**Благодарю за  
внимание!**