



# Оценка изменчивости спектральных отражательных характеристик природных и антропогенных поверхностей для радиометрической калибровки спутниковых сенсоров

**ЛОМАКО А.А., ЛИТВИНОВИЧ Г.С., СТАРОВОЙТ А.И.**

НИИ Прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко БГУ, Минск, Беларусь



# Цель и задачи

## Цель:

оценка изменчивости спектральных отражательных характеристик природных и антропогенных объектов при использовании стационарного измерительного устройства для выбора наиболее информативных типов калибровочных поверхностей

## Задачи:

- проведение мультивременных измерений спектральных отражательных характеристик различных природных и антропогенных объектов;
- оценка пространственной изменчивости спектральных отражательных характеристик объектов;
- оценка временной изменчивости спектральных отражательных характеристик объектов.



# Аппаратура для измерений: сканирующий высотный калибровочный пункт

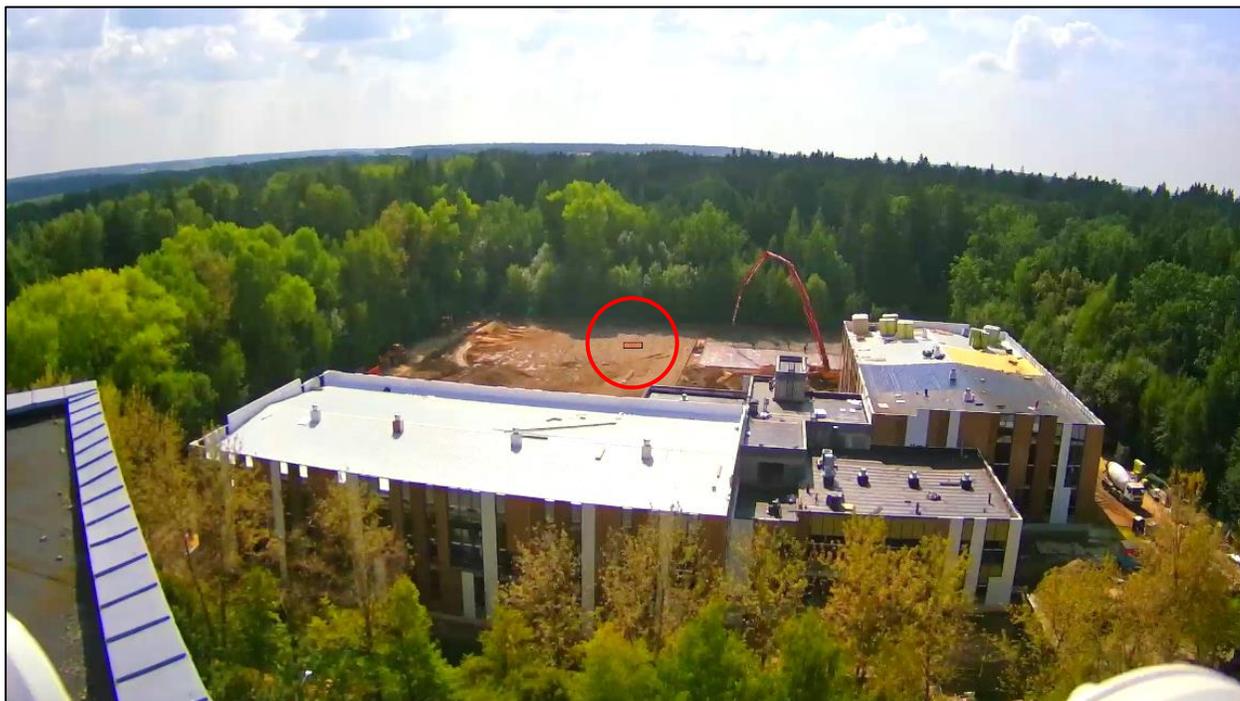


Параметры	Гиперспектральная сканирующая система (ГСС)	Широкодиапазонный спектрорадиометр (ШСР)	Датчик спектральной освещенности (ДСО)
Спектральный диапазон	400 – 900 нм	900 – 2500 нм	400 – 900 нм
Светочувствительный сенсор	Матрица QHY268M Pro I	Линейка Hamamatsu (InGaAS G9208-256W)	Линейка Toshiba
Количество элементов в сенсоре	6280 × 4210	256	3648
Спектральное разрешение	4,7 нм	20 нм	4,3 нм
Поле зрения, градусов	6,13 × 0,19	2,44 × 0,45	Верхняя полусфера (косинусная накладка)



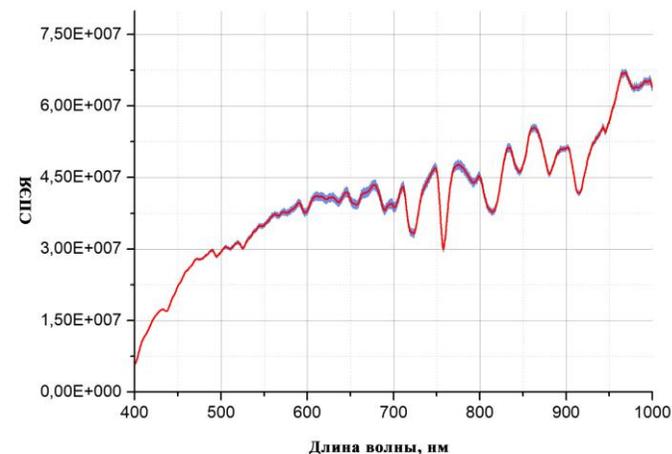


# Пространственная изменчивость спектральных отражательных характеристик объектов (Песок)

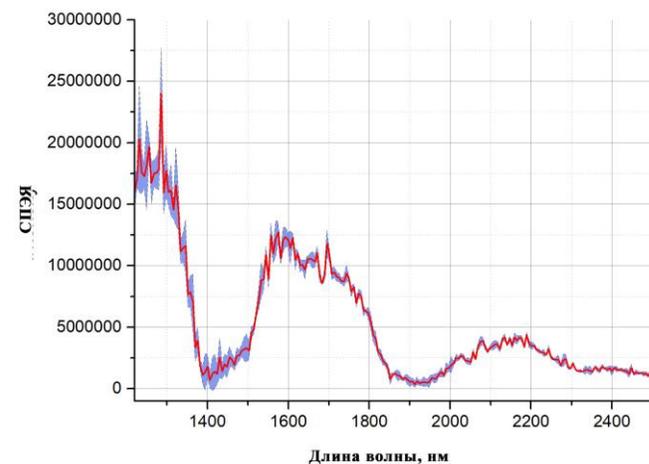


Общий вид тестового объекта

Спектр ГСС



Спектр ШСР



Красным цветом – пространственно  
усредненный спектр  
Голубым – разброс значений

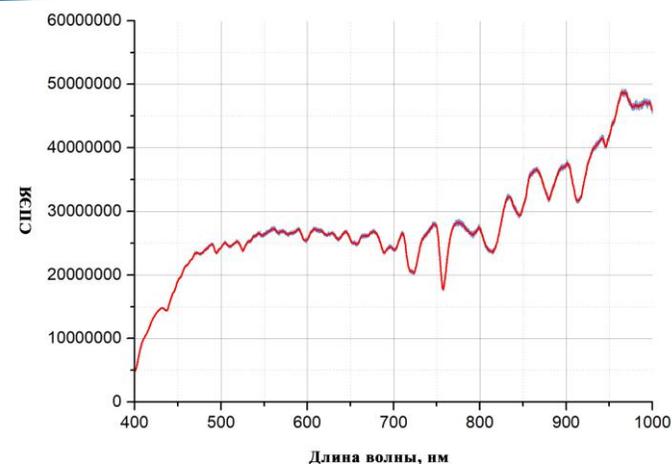


# Пространственная изменчивость спектральных отражательных характеристик объектов (Черная крыша)

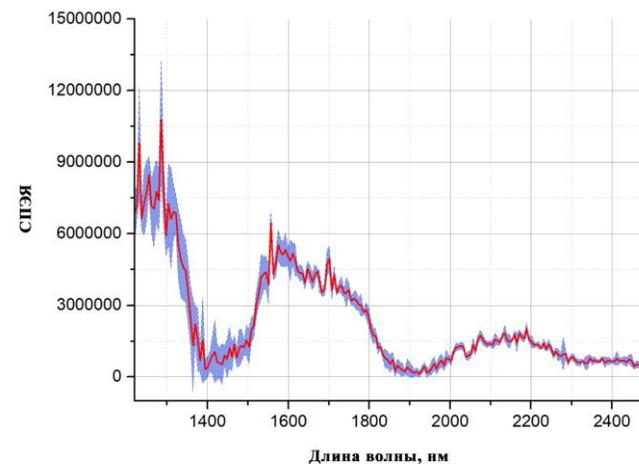


Общий вид тестового объекта

Спектр ГСС



Спектр ШСР



Красным цветом – пространственно  
усредненный спектр  
Голубым – разброс значений

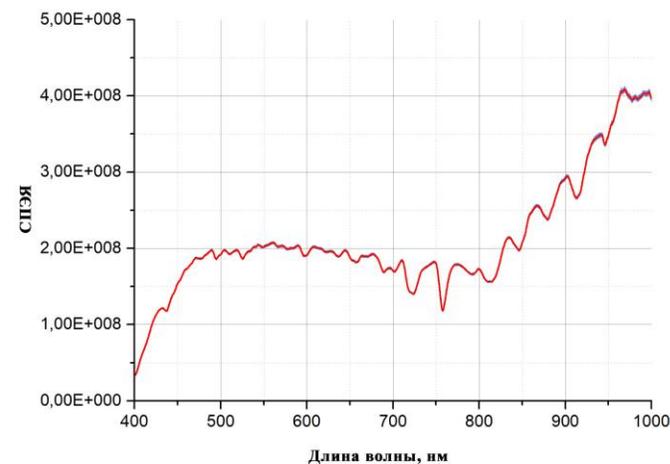


# Пространственная изменчивость спектральных отражательных характеристик объектов (Белая крыша)

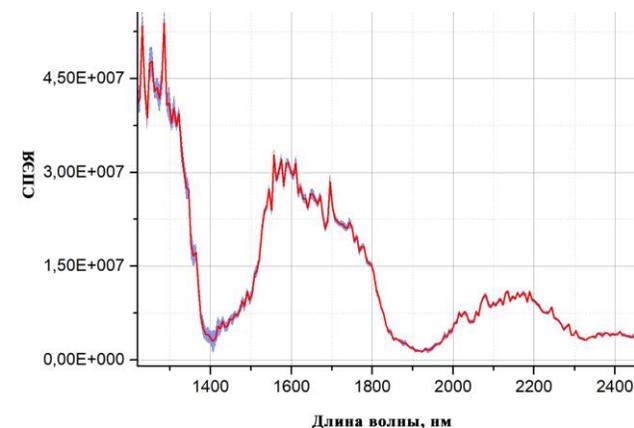


Общий вид тестового объекта

Спектр ГСС



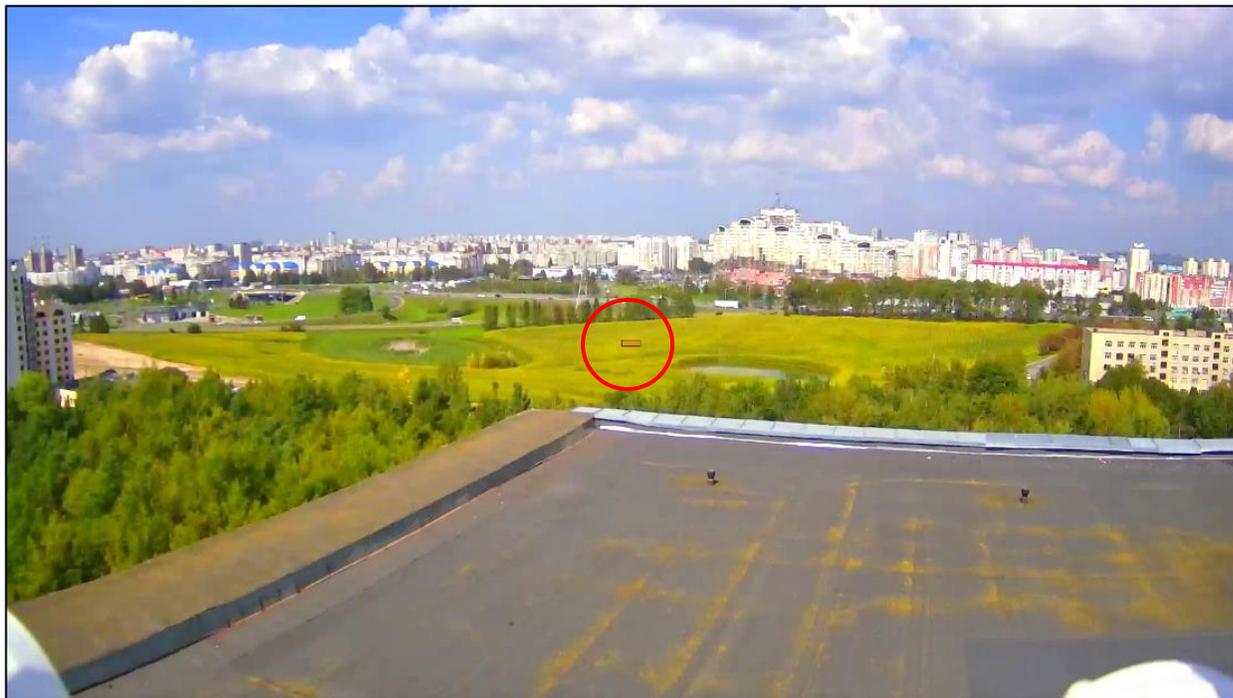
Спектр ШСР



Красным цветом – пространственно  
усредненный спектр  
Голубым – разброс значений

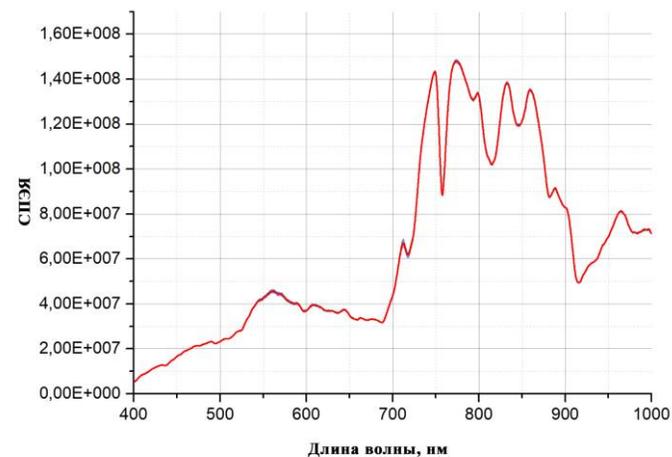


# Пространственная изменчивость спектральных отражательных характеристик объектов (Кукурузное поле)

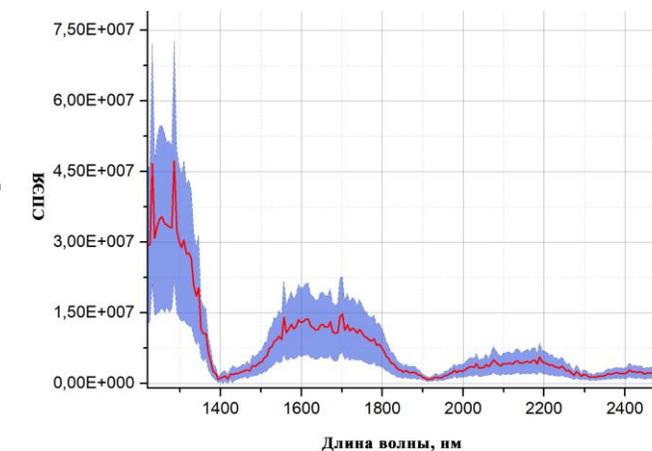


Общий вид тестового объекта

Спектр ГСС



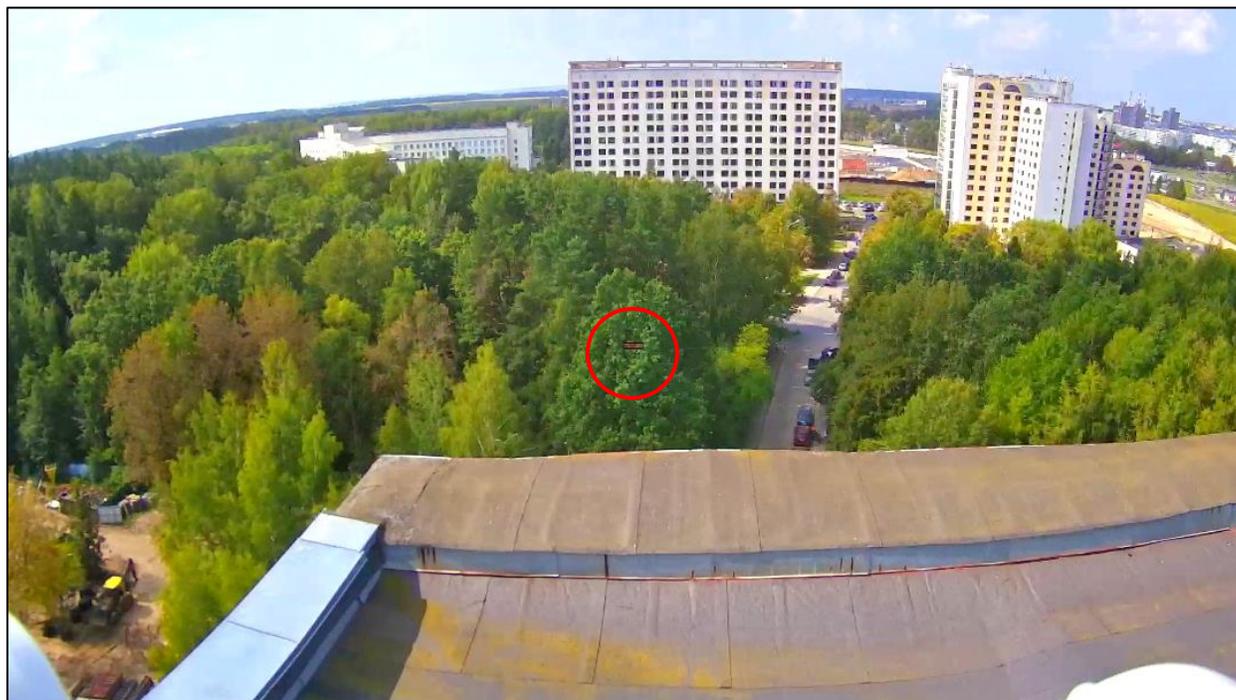
Спектр ШСР



Красным цветом – пространственно  
усредненный спектр  
Голубым – разброс значений

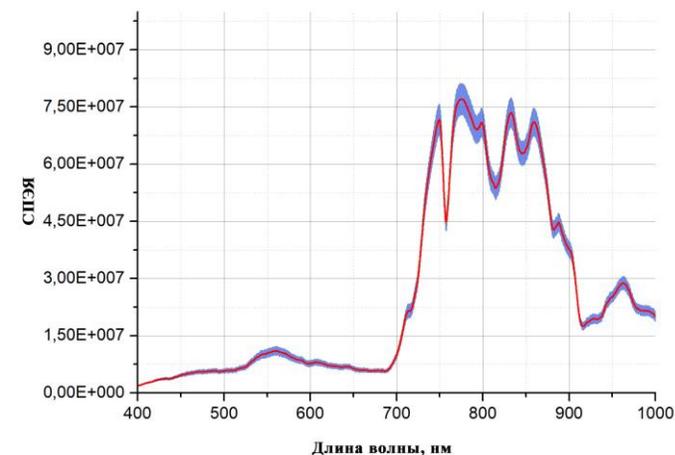


# Пространственная изменчивость спектральных отражательных характеристик объектов (Дуб)

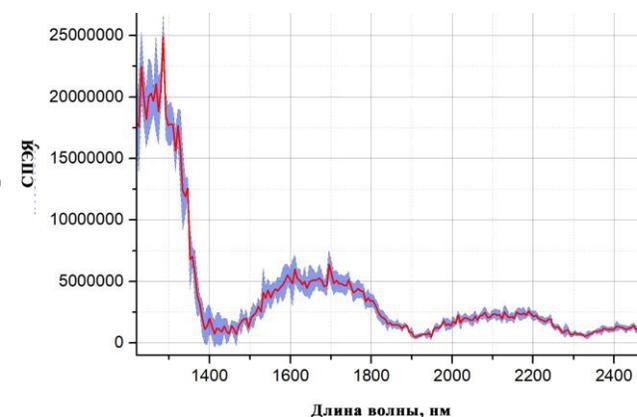


Общий вид тестового объекта

Спектр ГСС



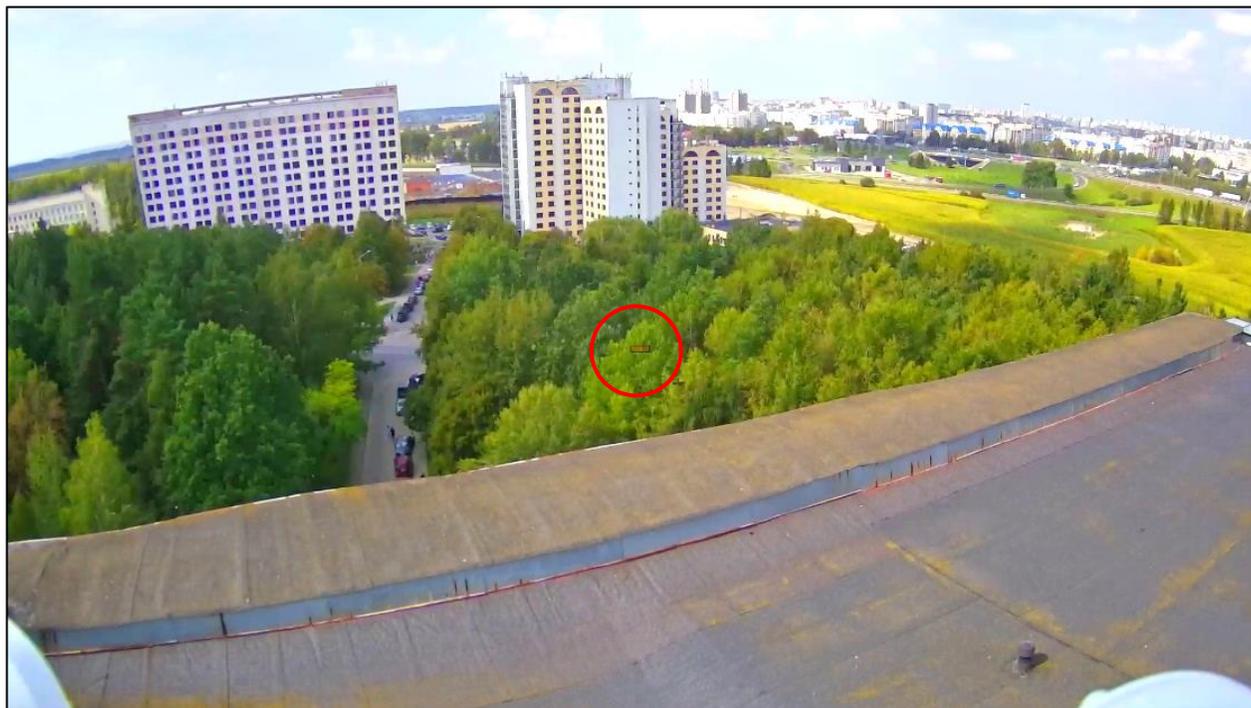
Спектр ШСР



Красным цветом – пространственно  
усредненный спектр  
Голубым – разброс значений

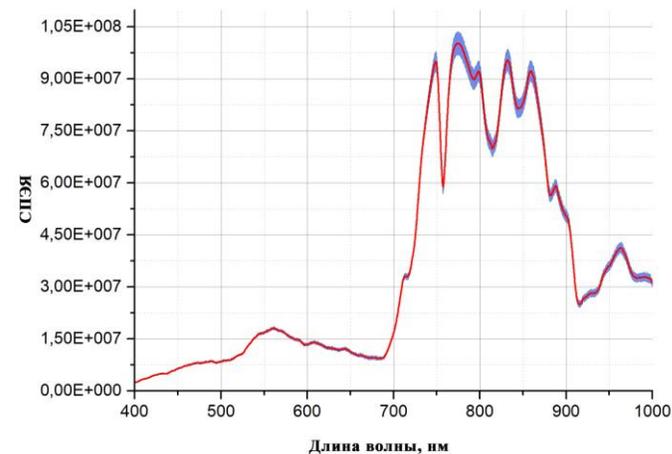


# Пространственная изменчивость спектральных отражательных характеристик объектов (Ель)

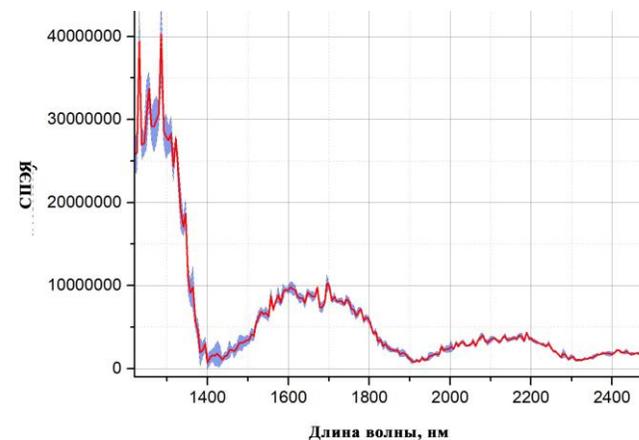


Общий вид тестового объекта

Спектр ГСС



Спектр ШСР



Красным цветом – пространственно  
усредненный спектр  
Голубым – разброс значений

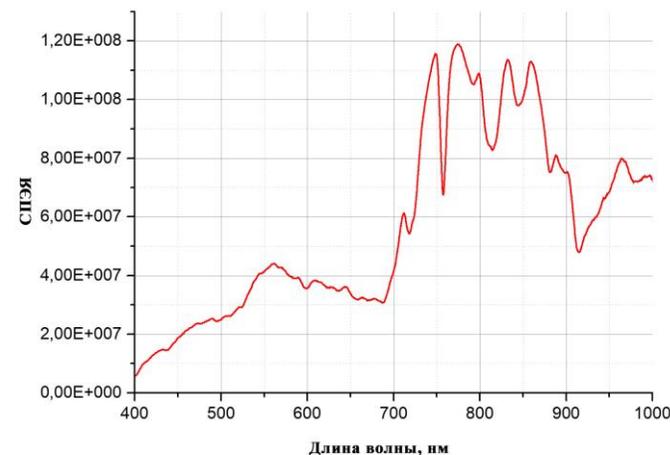


# Пространственная изменчивость спектральных отражательных характеристик объектов (Озеро)

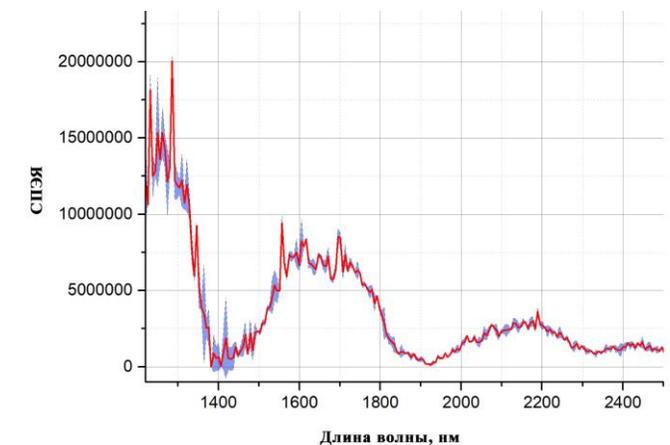


Общий вид тестового объекта

Спектр ГСС



Спектр ШСР



Красным цветом – пространственно  
усредненный спектр  
Голубым – разброс значений



# Пространственная изменчивость спектральных отражательных характеристик объектов. Общие тенденции



- Наименьший пространственный разброс отражательных характеристик по данным ГСС наблюдался у объекта «Белая крыша» и составил в среднем по спектру 0,98% от уровня сигнала;
- Наибольший пространственный разброс отражательных характеристик по данным ГСС наблюдался у объекта «Дуб» и составил в среднем по спектру 7,03% от уровня сигнала;
- Для ИК-области (данные ШСР) неоднородность спектральных характеристик существенно выше, и для темных объектов (например, «Черная крыша») относительный разброс может достигать до 30 %. Однако для объектов с высоким и средним коэффициентом отражения средний разброс значений удерживается на уровне 6 – 7 %.



# Временная изменчивость спектральных отражательных характеристик объектов



**Приведение данных к единому  
углу возвышения Солнца:**

$$I_r(\lambda) = \frac{I_0(\lambda)}{\cos(\alpha)},$$

где  $\alpha$  – зенитный угол Солнца;

$I_0(\lambda)$  – исходные значения  
спектра;

$I_r(\lambda)$  – приведенные значения  
спектра.

**Период наблюдений: август – сентябрь 2024 г.**

**Количество дней измерений: 17**

**Измерения – только в безоблачные дни**

**Количественная оценка временной изменчивости  
(данные по диапазону 400 – 900 нм)**

Черная крыша, песок	Растительные объекты	Озеро	Белая крыша
~15%	~35%	~50%	~75%



## Выводы

Наиболее подходящими поверхностями для квазисинхронных измерений с целью последующей радиометрической калибровки спутниковых сенсоров являются антропогенные объекты вследствие наименьшего пространственного и временного разброса значений спектральных отражательных характеристик. При этом важно отметить, что предпочтительнее иметь набор поверхностей с различными отражательными способностями.