




НАУЧНО - ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ  
**«ЙЕНА ИНСТРУМЕНТ»**


Чем нам грозит эволюция светочувствительных элементов аэрофотокамер, произошедшая за минувшее десятилетие?



**Михаил  
Владимирович  
ВЬЮНОВ**

руководитель отдела  
обработки  
в НПК «Йена Инструмент»

 +7 916 176-7910

 mvv@jena.ru





1996 – коммерческая POS AV

2003 – цифровая камера + FMS + POS AV

2005 – SGM

2011 – многолучевая фотограмметрия

## Что произошло за 10 лет?

- Изменение размера пикселя с  $\sim 7$  мкм до  $\sim 4$  мкм
- Использование технологии CMOS в аэрофотосъёмке





## Цель

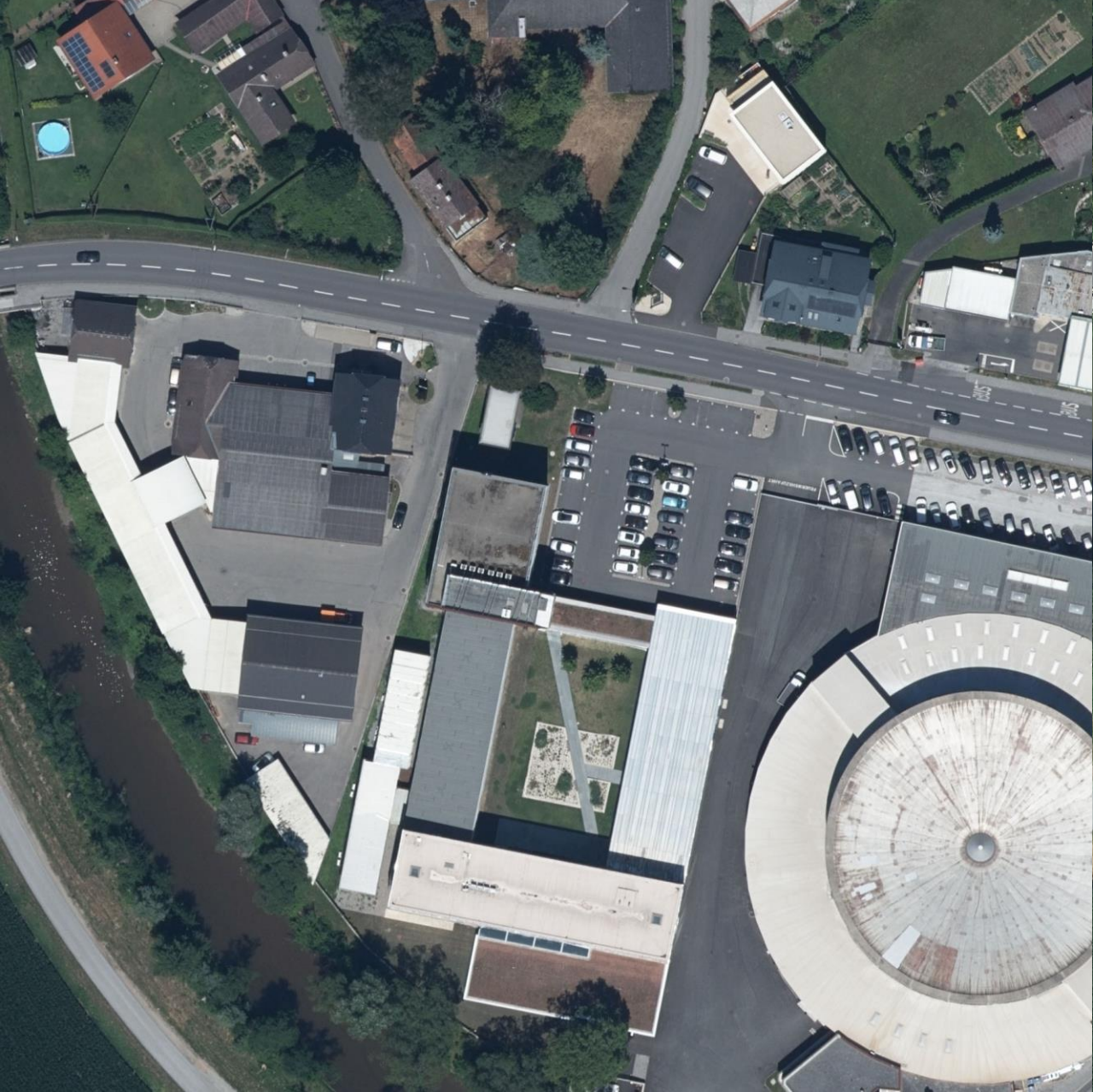
Установить взаимосвязь между параметрами светочувствительных матриц современных широкоформатных топографических аэрофотокамер и качеством изображения

## Задачи

1. На полигонах при максимально возможных схожих условиях выявить взаимосвязь размера пикселя и показателей шума в тенях для пар блоков:
  - CCD и CMOS снимков
  - CCD снимков с различным физическим размером пикселя
2. На указанных полигонах для указанных блоков выявить взаимосвязь между качеством взаимного ориентирования и физическим размером пикселя.







Раздел 1. CCD (ПЗС). Пиксель больше или меньше?

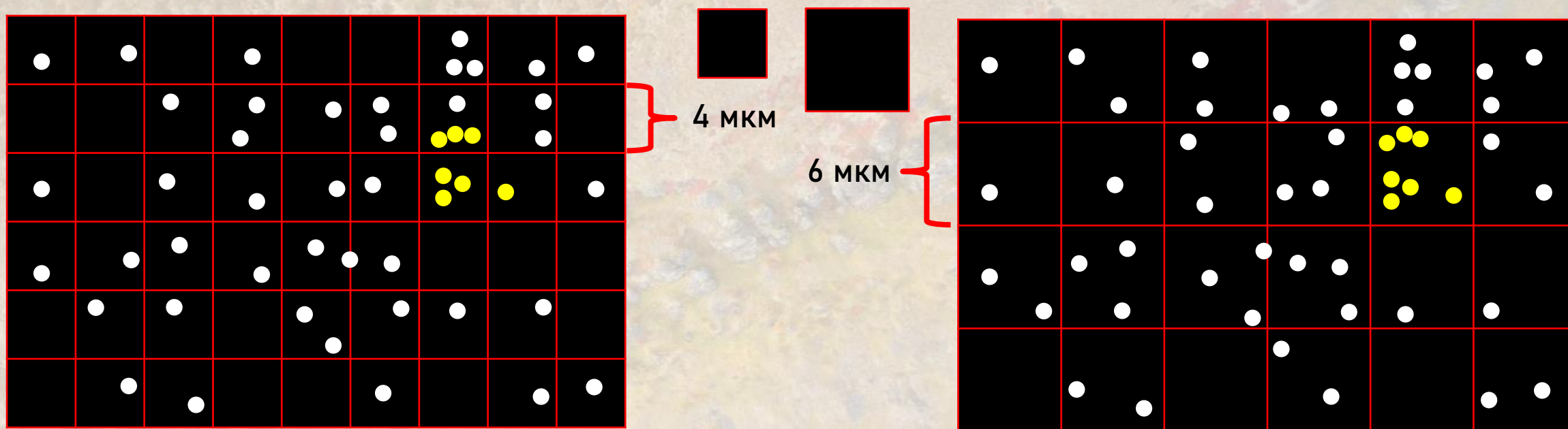


НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ  
«ЙЕНА ИНСТРУМЕНТ»

Jena Instrument



# Уменьшение размера пикселя



Чем больше площадь пикселя, тем выше доля фотонов, которые могут быть поглощены с созданием носителей заряда.

# Параметры съёмки

## Vexcel UltraCam Falcon M2

- угол поля зрения 55°
- 12 бит/канал
- безоблачно
- CCD
- Tv 1/350
- возвышение солнца 62°
- снимок 104 x 68 мм
  
- пиксель 6,0 мкм
- 196 Мп
- детальность 5 см
- мощность атмосферы 820 м

## Vexcel UltraCam Eagle M3

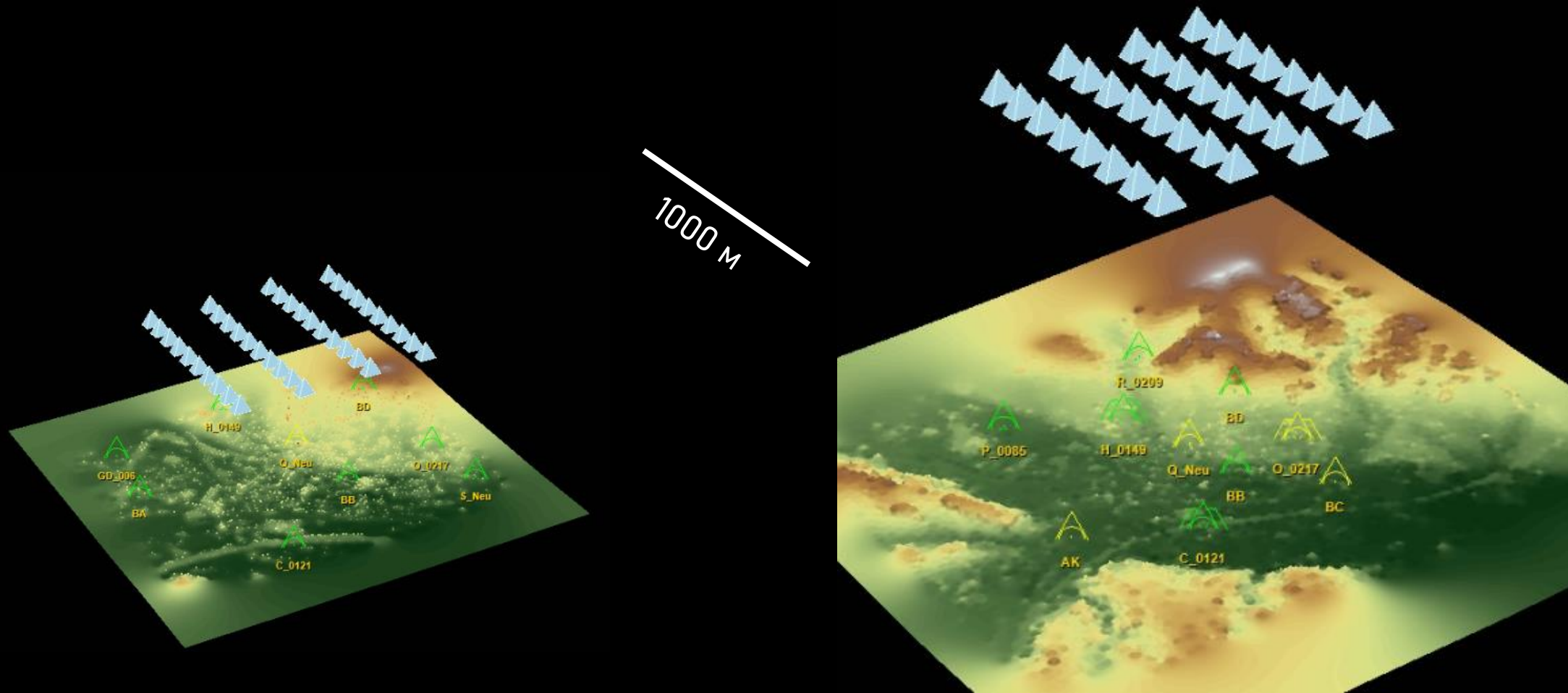
- угол поля зрения 56°
- 12 бит/канал
- безоблачно
- CCD
- Tv 1/350
- возвышение солнца 63°
- снимок 106 x 68 мм
  
- пиксель 4,0 мкм
- 450 Мп
- детальность 10 см
- мощность атмосферы 2670 м



# Фотограмметрические блоки

Vexcel UltraCam Falcon M2

Vexcel UltraCam Eagle M3





# Фотограмметрические блоки

## Vexcel UltraCam Falcon M2

ПВП опорные (X/Y/Z) [мм]  
среднее 8/16/19  
максимальное 17/29/33  
6 шт.

ПВП контрольные (X/Y/Z) [мм]  
среднее 4/21/24;  
максимальное 5/35/38;  
3 шт.

$\sigma=1.38$   
GSD=51 мм

## Vexcel UltraCam Eagle M3

ПВП опорные (X/Y/Z) [мм]  
среднее 18/9/13  
максимальное 31/15/23  
7 шт.

ПВП контрольные (X/Y/Z) [мм]  
среднее 8/27/38  
максимальное 8/33/62;  
3 шт.

$\sigma=0.88$   
GSD=106 мм



# Фотограмметрические блоки

Измерений 18 938 823

Связующих 4 939 489

Ошибка перепроецирования 0.15

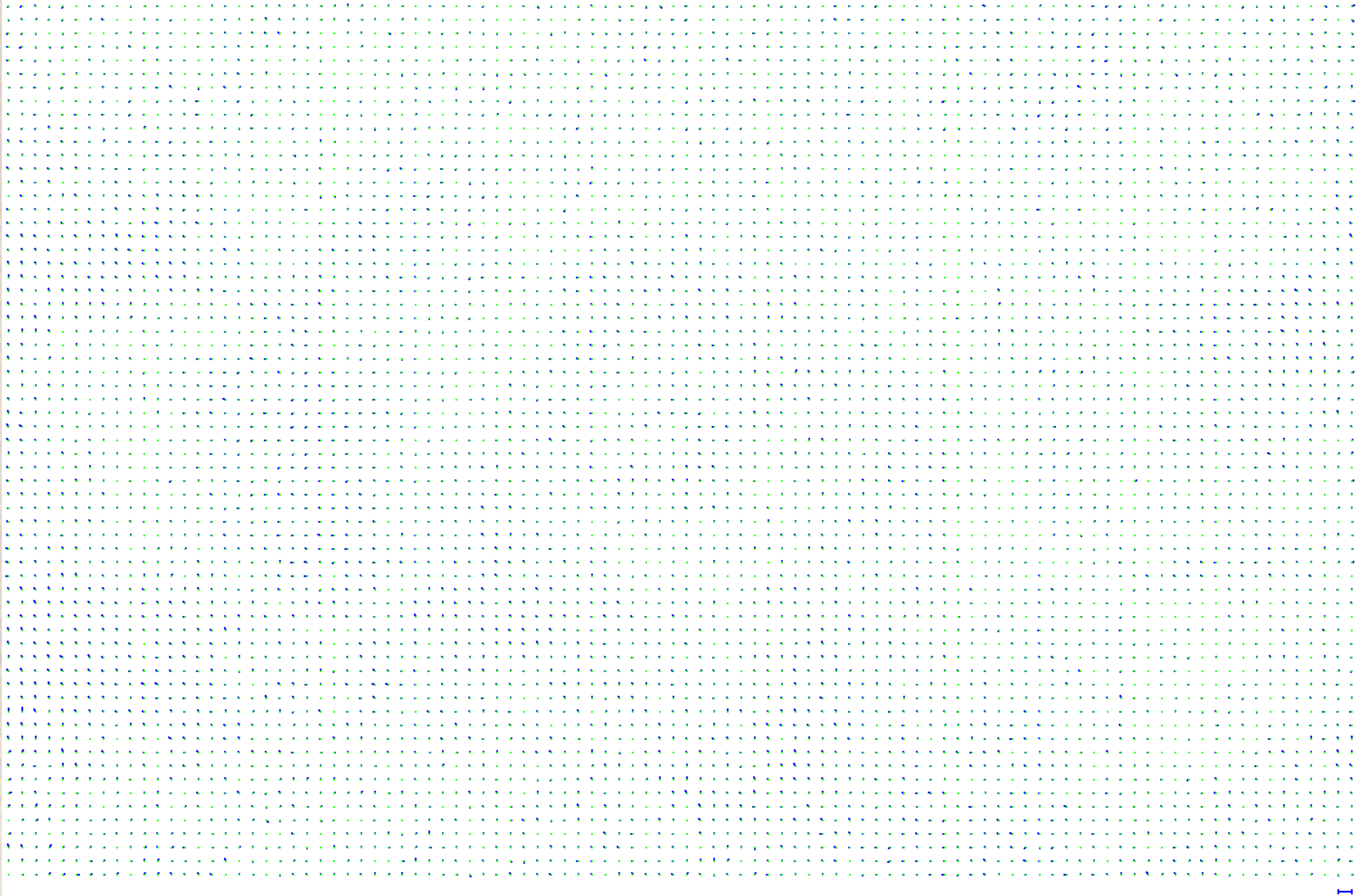


НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ  
«ЙЕНА ИНСТРУМЕНТ»

Jena Instrument

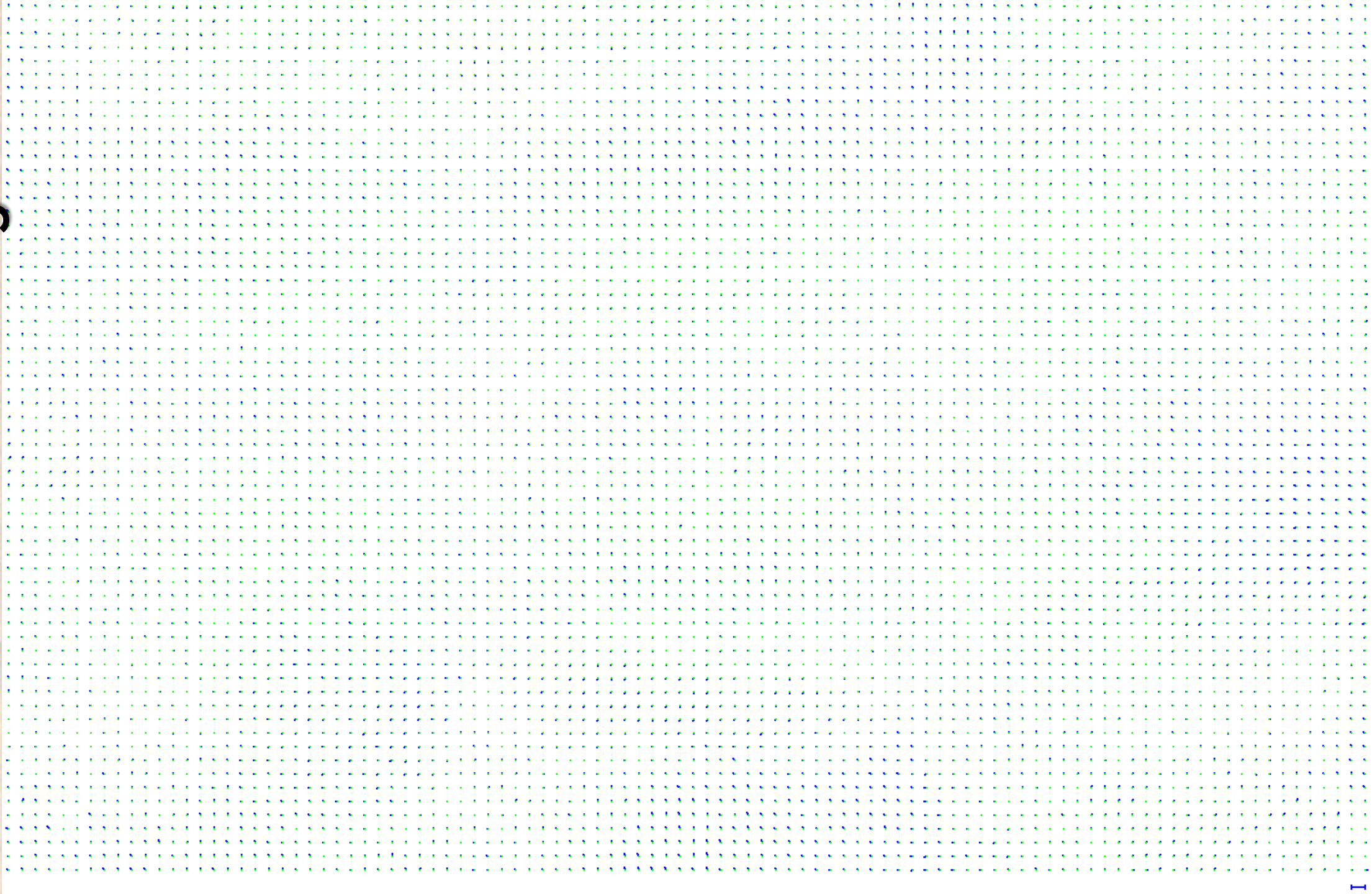


# Vexcel UltraCam Falcon M2





# Vexcel UltraCam Eagle M3





# Тестовый участок 1





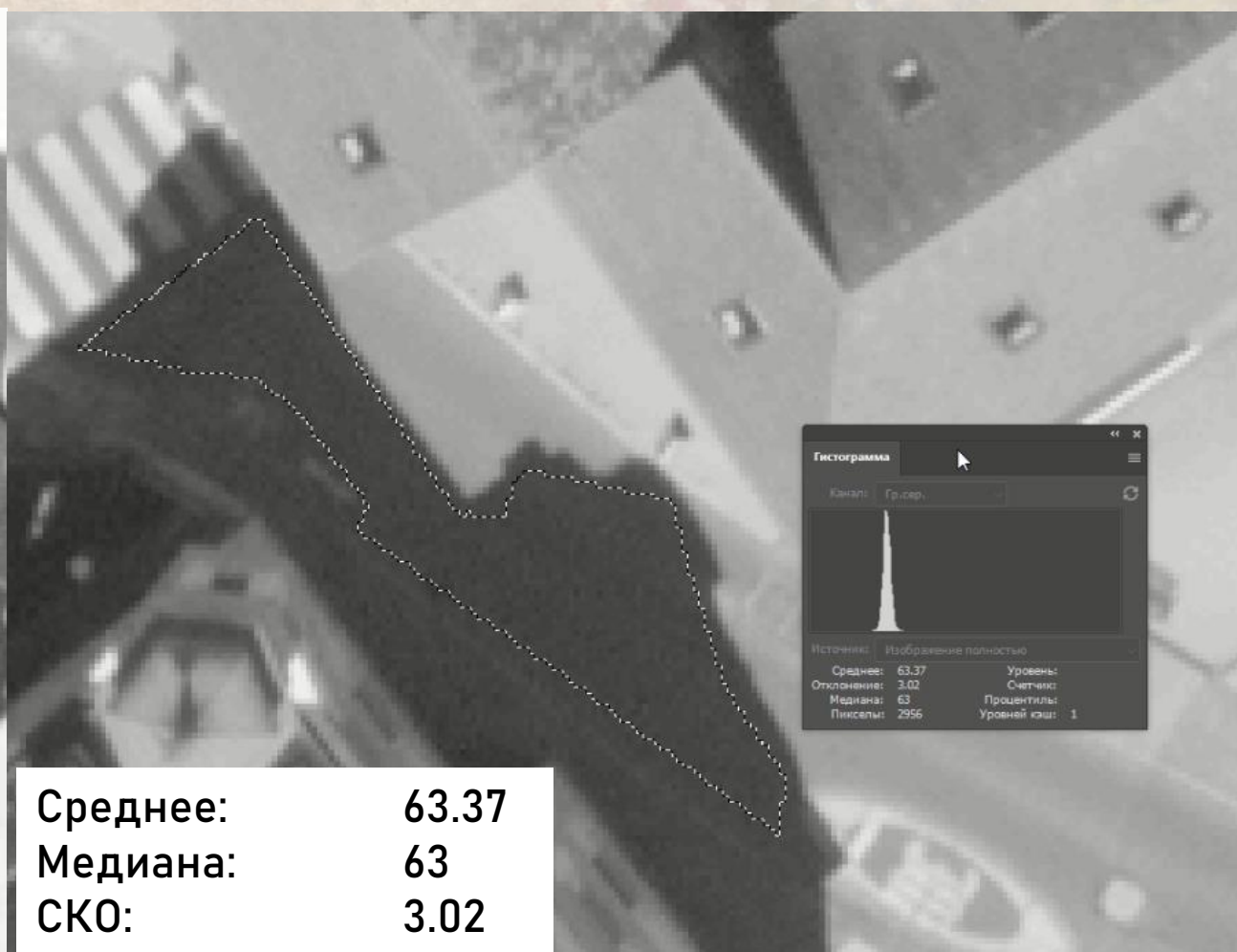
# Одни и те же участки в тени на однородной поверхности

## Vexcel UltraCam Falcon M2

## Vexcel UltraCam Eagle M3



Среднее:	63.02
Медиана:	63
СКО:	4.5



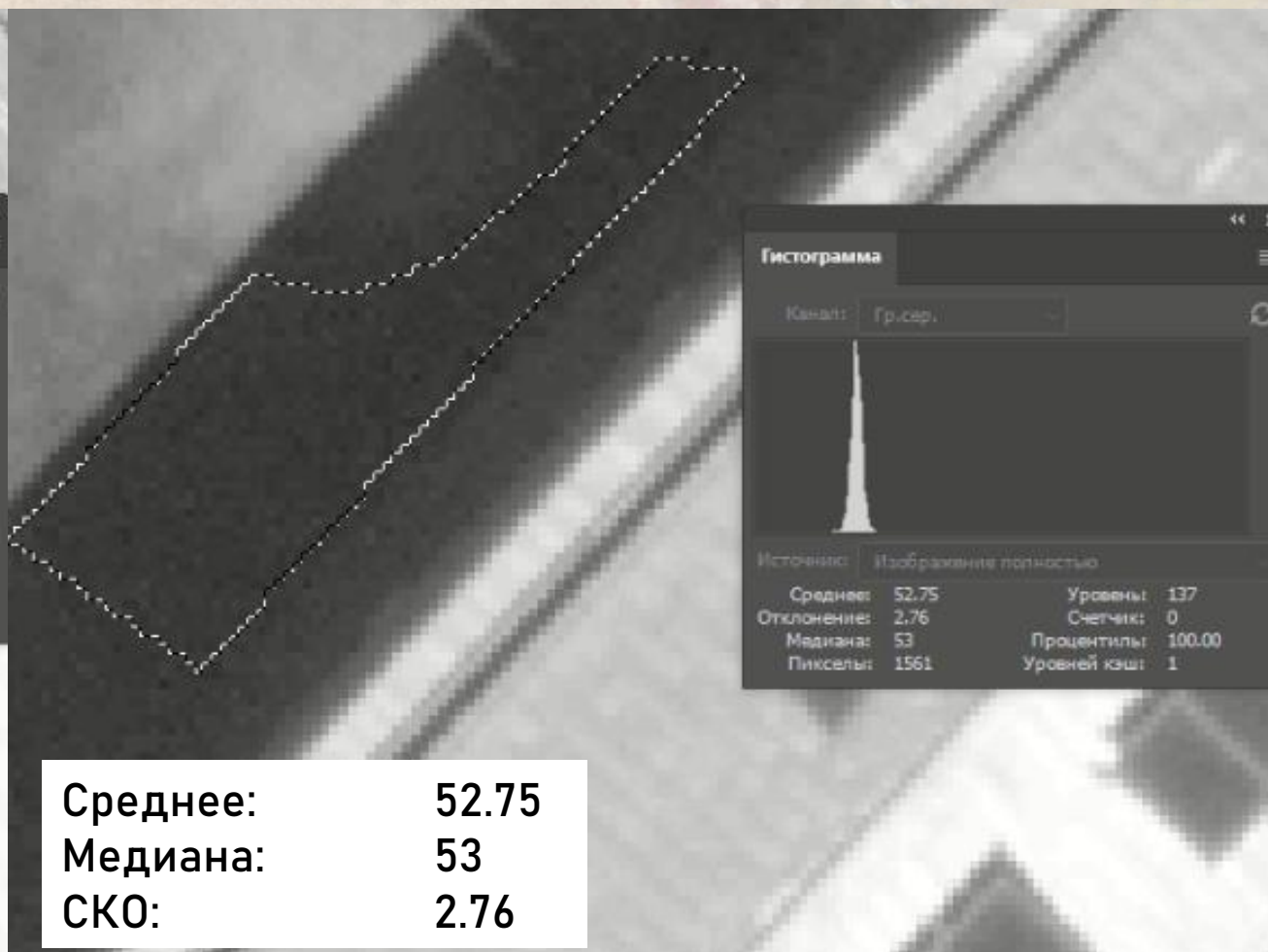
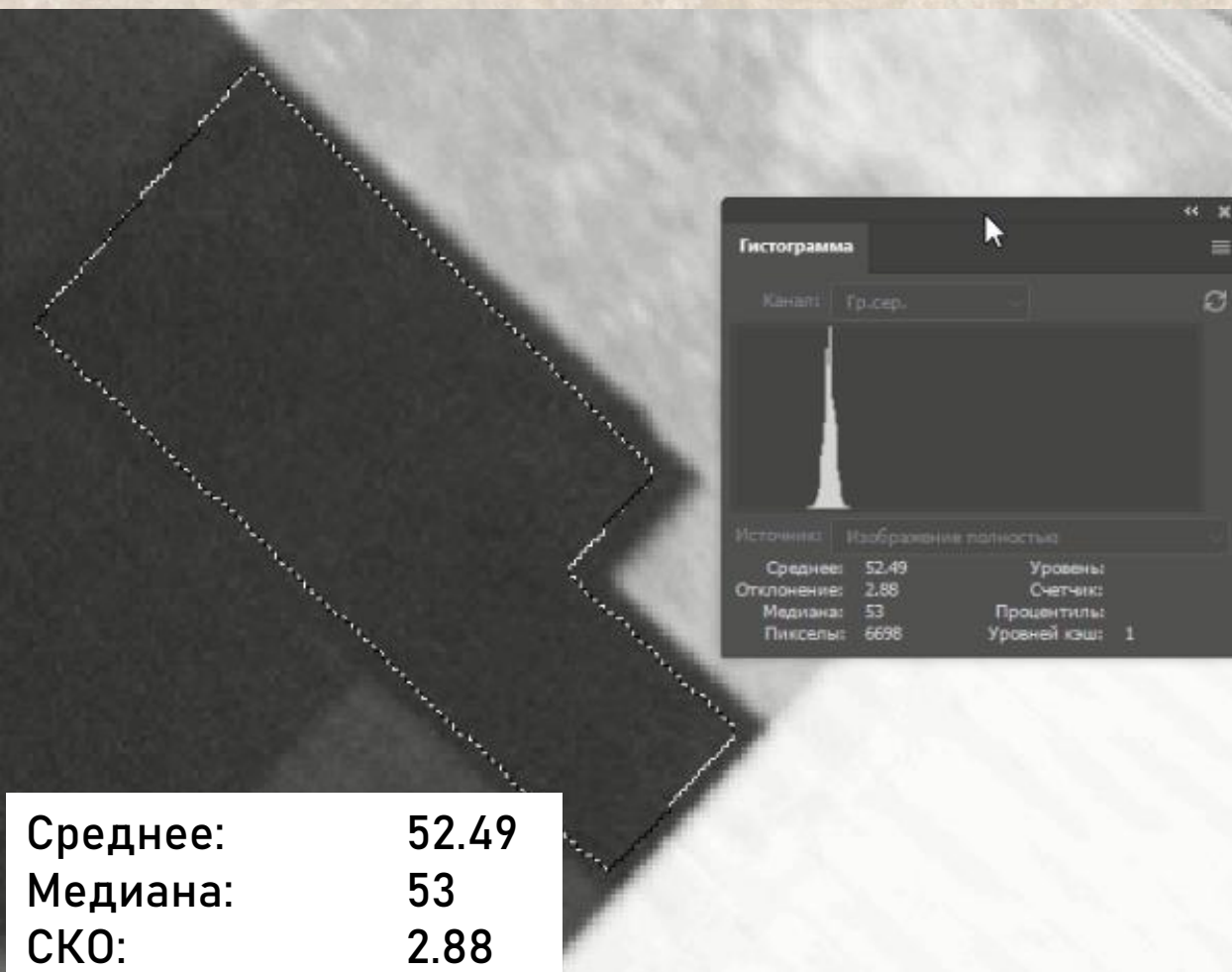
Среднее:	63.37
Медиана:	63
СКО:	3.02



# Одни и те же участки в тени на однородной поверхности

## Vexcel UltraCam Falcon M2

## Vexcel UltraCam Eagle M3





# Вывод

- Уменьшение размера пикселя ПЗС (ССD) матрицы не влечёт за собой заметных ухудшений ни в геометрической, ни радиометрической части.





## Раздел 2. Хуже ли CCD по отношению к CMOS?



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ  
«ЙЕНА ИНСТРУМЕНТ»

Jena Instrument



# Основное отличие архитектуры сенсоров

CCD ПЗС (прибор с зарядовой связью)

- аналоговая интегральная микросхема
- высвобождение электронов и передача их на оцифровку

CMOS КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник)

- цифровая
- не требуется внешнее АЦП (т.е. заряд в напряжение преобразуется прямо на кристалле)





# Параметры съёмки

## Vexcel UltraCam Osprey M3p

- детальность 6.5 см
- угол поля зрения 47,3°
- 12 бит/канал
- мощность атмосферы 1000 м
- безоблачно

- CCD
- пиксель 5,2 мкм
- Tv 1/350
- Возвышение солнца 49°

## Vexcel UltraCam Osprey 4.1

- детальность 5 см
- угол поля зрения 51,5°
- 14 бит/канал
- мощность атмосферы 1000 м
- безоблачно

- CMOS
- пиксель 3,76 мкм
- Tv 1/1000
- Возвышение солнца 25°



# Фотограмметрические блоки

Измерений 12 196 917

Связующих 4 681 550

Ошибка перепроецирования 0.22



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ  
«ЙЕНА ИНСТРУМЕНТ»

Jena Instrument

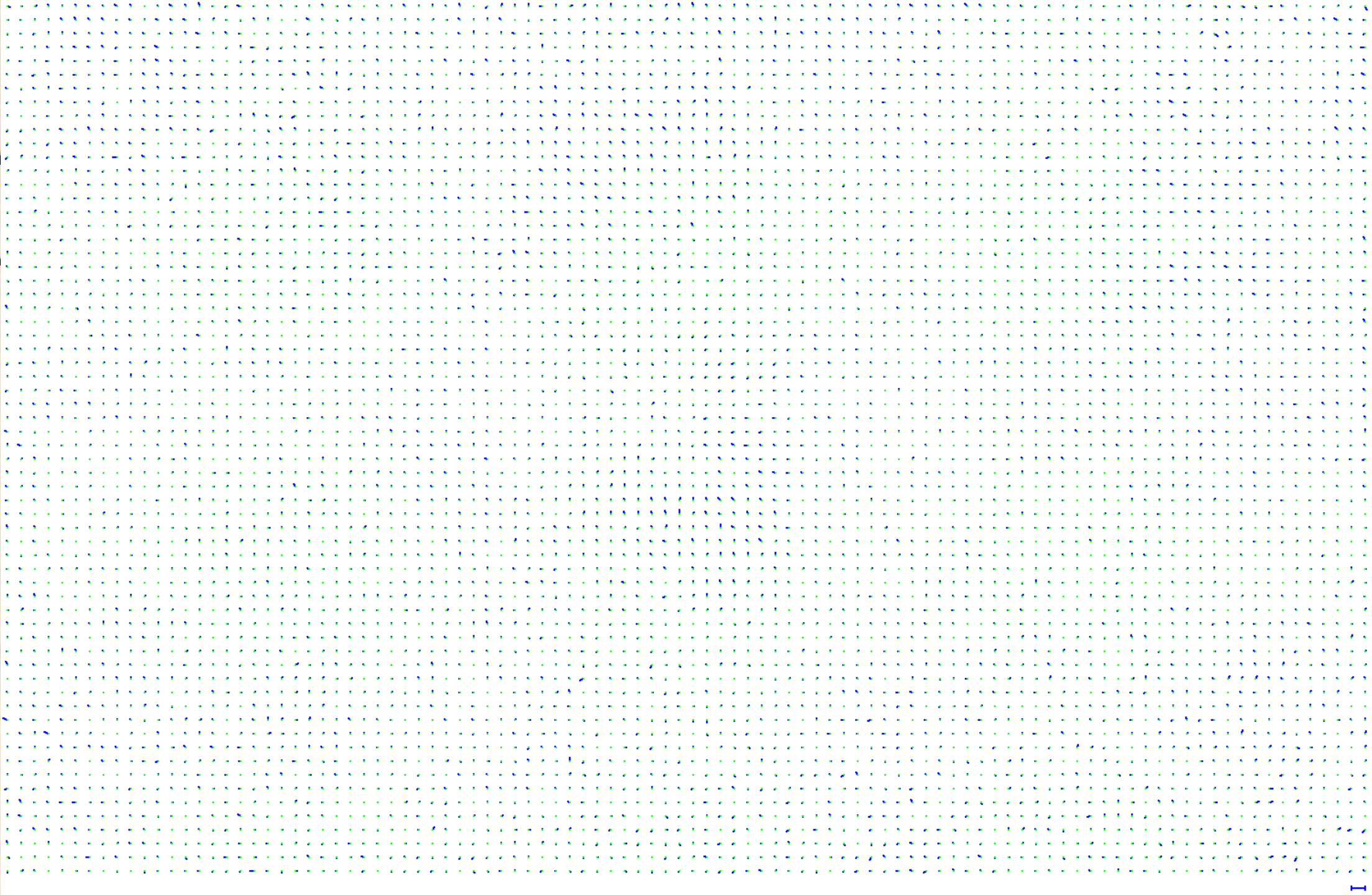


# Vexcel UltraCam Osprey 4.1





# Vexcel UltraCam Osprey M3

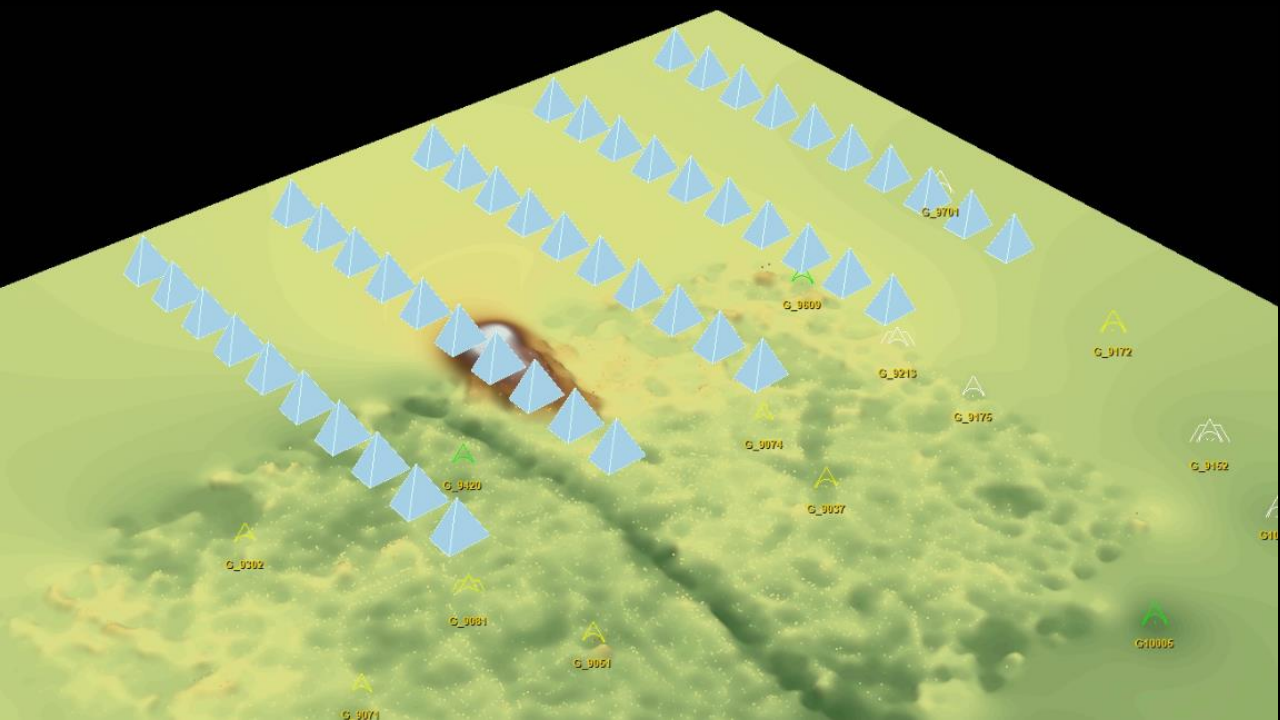
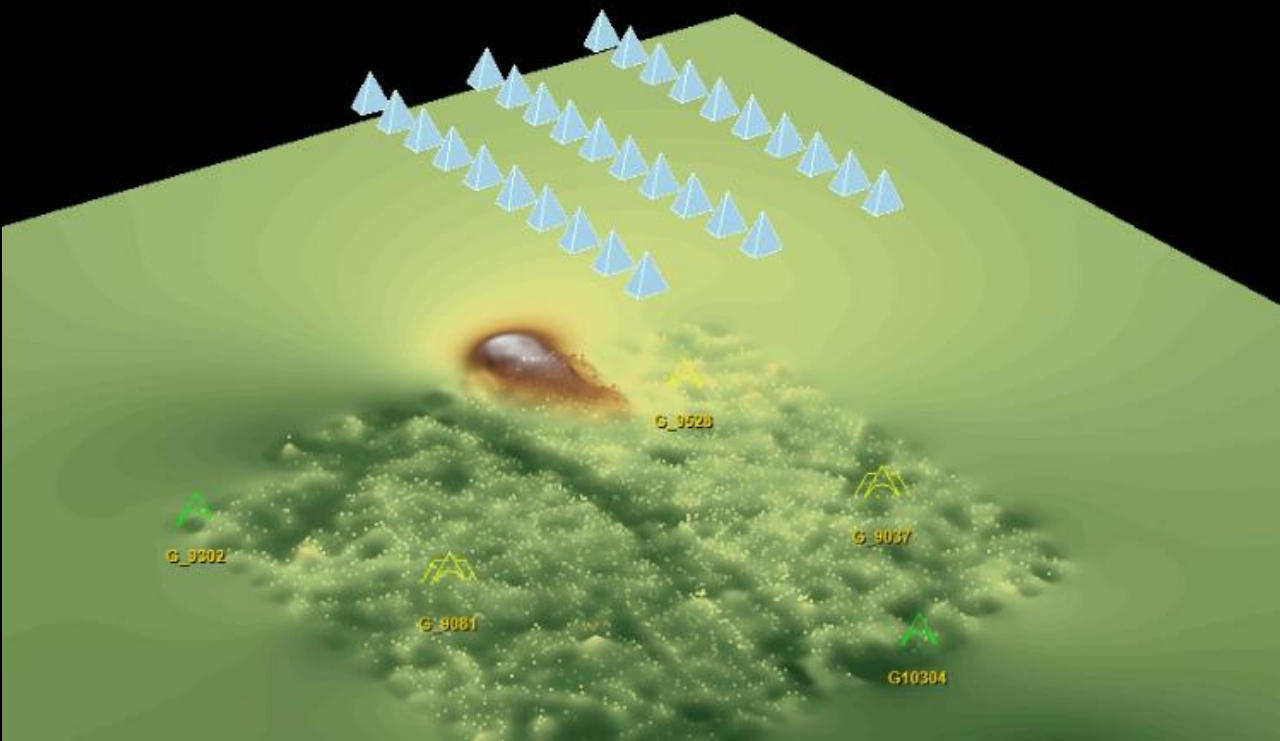




# Фотограмметрические блоки

Vexcel UltraCam Osprey M3p

Vexcel UltraCam Osprey 4.1





# Тестовый участок 2

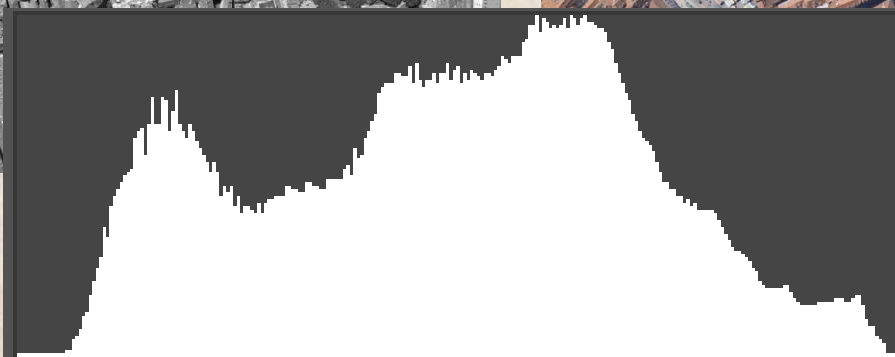
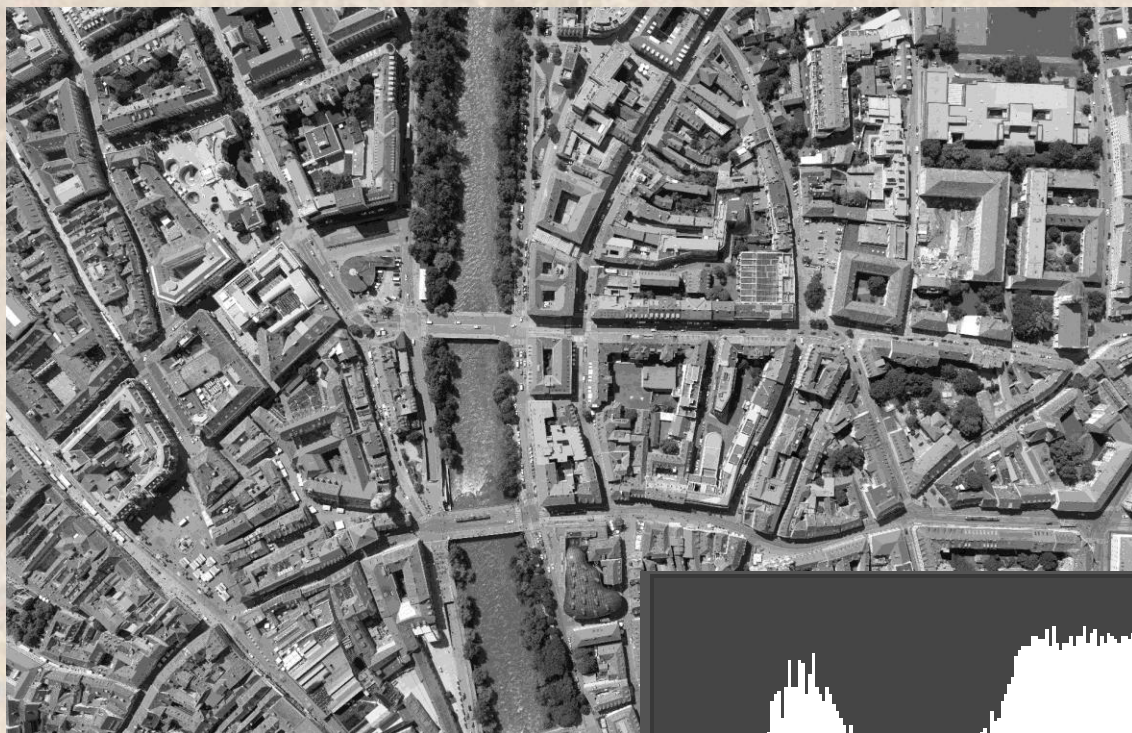




# Радиометрическая коррекция

РАН

Цвет

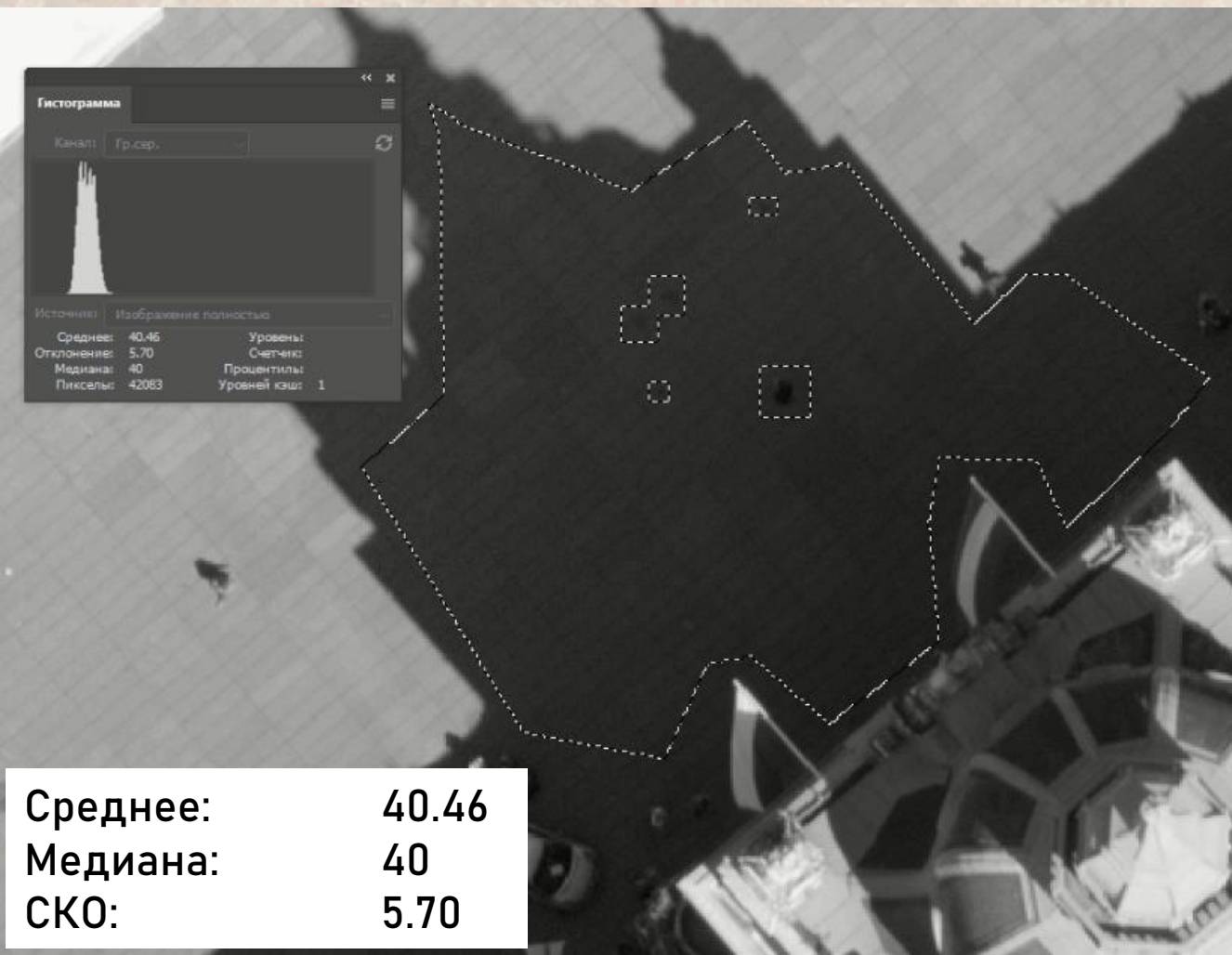




# Одни и те же участки в тени на однородной поверхности

Vexcel UltraCam Osprey M3p

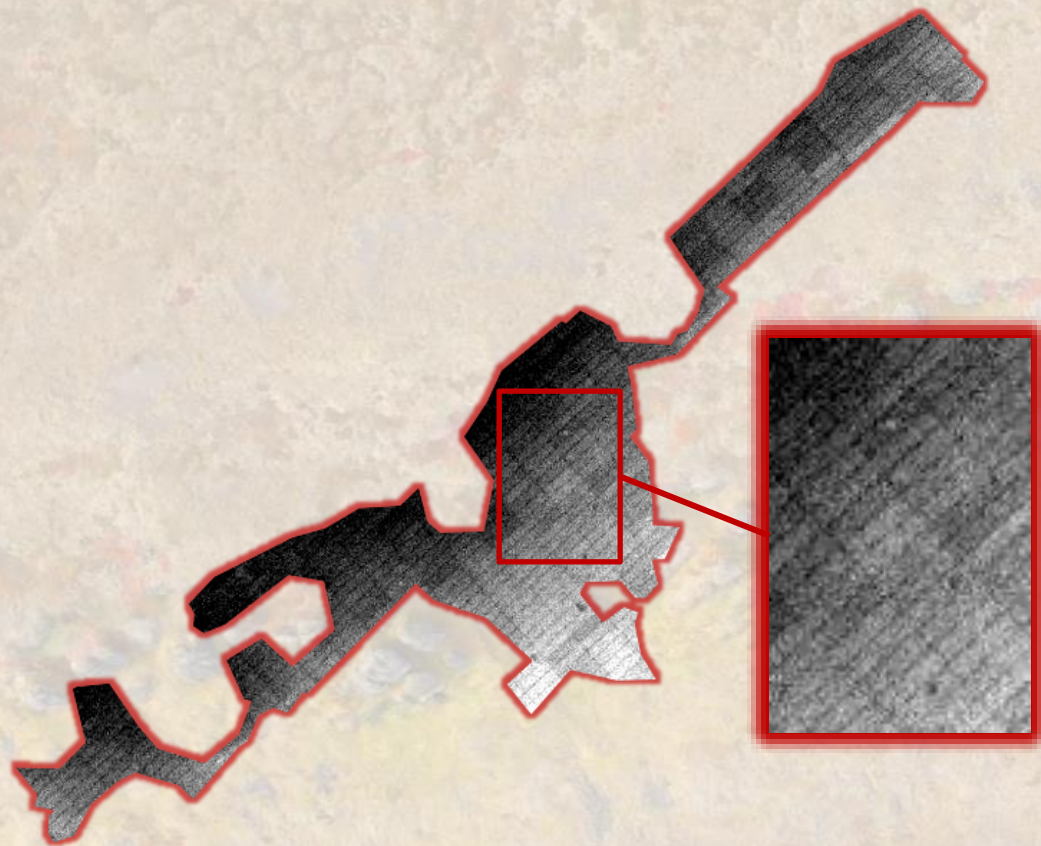
Vexcel UltraCam Osprey 4.1



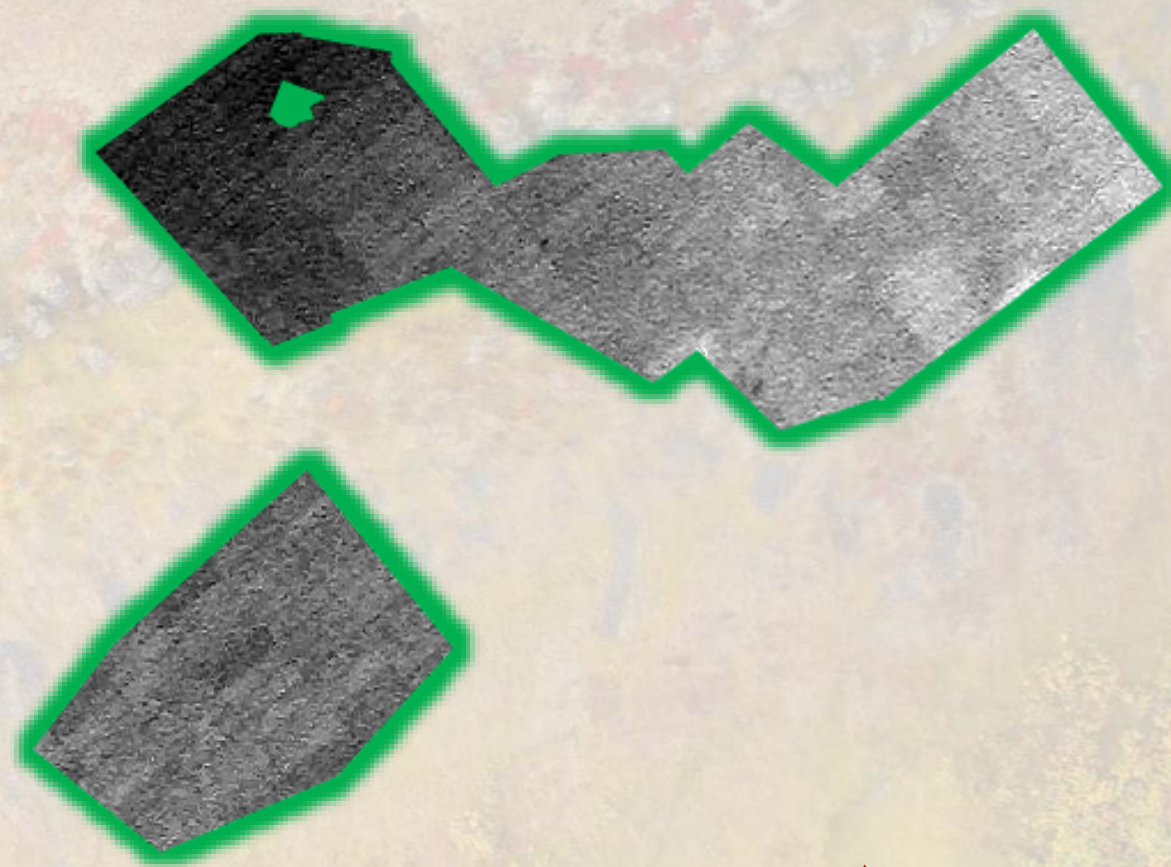


# Одни и те же участки в тени на однородной поверхности

Vexcel UltraCam Osprey M3p



Vexcel UltraCam Osprey 4.1

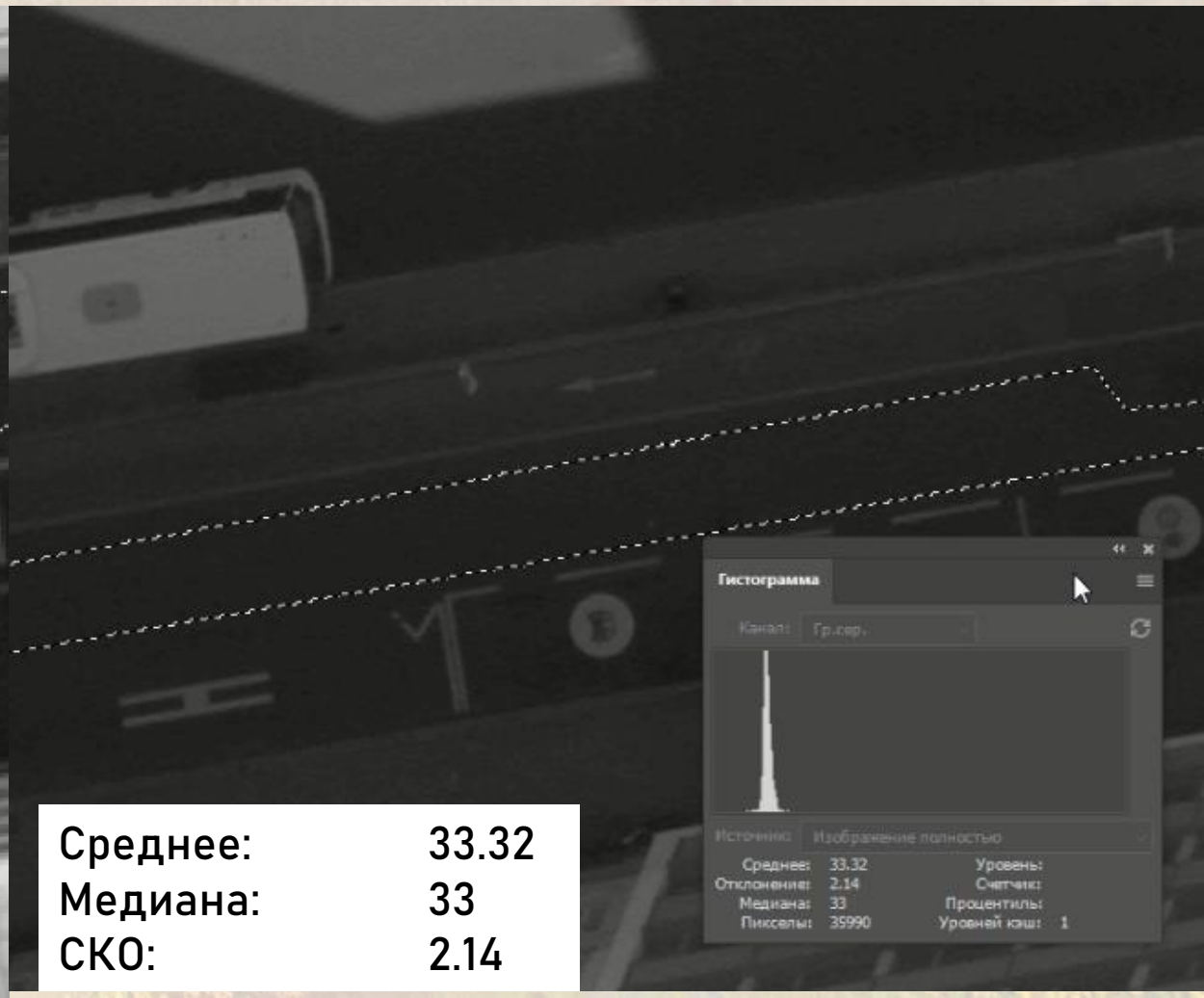
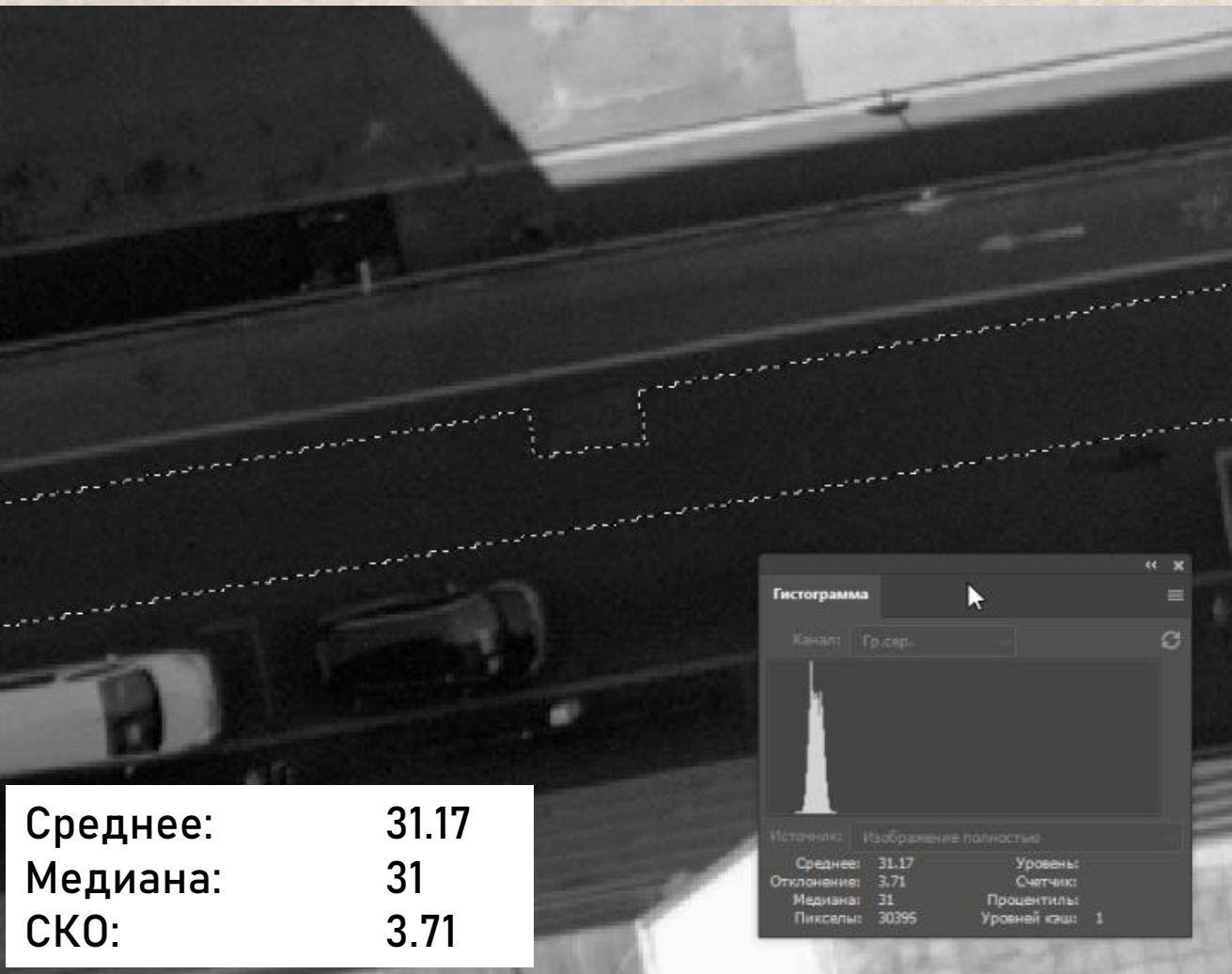




# Одни и те же участки в тени на однородной поверхности

Vexcel UltraCam Osprey M3p

Vexcel UltraCam Osprey 4.1



Среднее: 31.17  
Медиана: 31  
СКО: 3.71

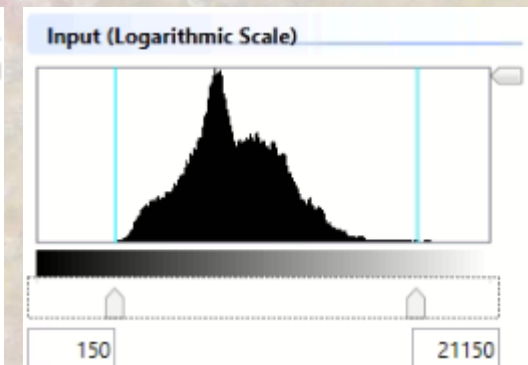
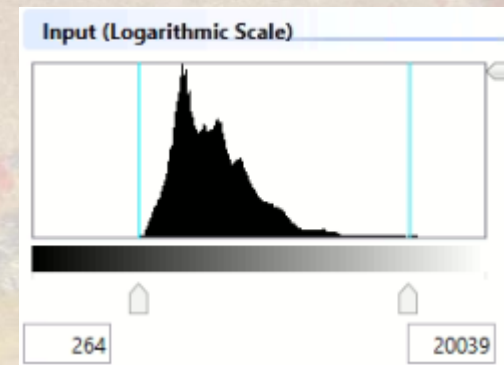
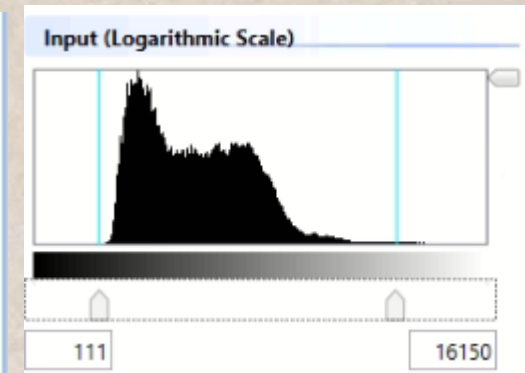
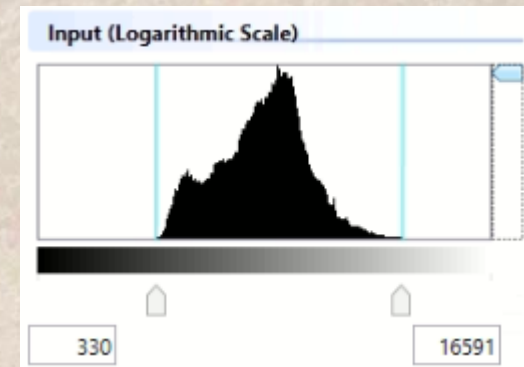
Среднее: 33.32  
Медиана: 33  
СКО: 2.14



# Глубина цвета

## По качеству изображения

- Реальное количество ступеней яркости сырого снимка в обоих случаях на разной местности – 15–20 тыс. ступеней (независимо от архитектуры матрицы).
- После хорошей радиометрической коррекции при переходе к 8-ми битам количество ступеней упадёт в **~50–80 раз**, возможно, уровень шума в **5–6 ступеней** яркости и вовсе **пропадёт** при переходе к 8-ми битному растру?





Снимок 8 бит – в тени 21 ступень



Снимок 18 бит – в тени 163 ступени (гистограмма растянута, все градации видны на экране)







НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ  
**«ЙЕНА ИНСТРУМЕНТ»**

Jena Instrument



# Освещённость

	$h^{\circ}$											
	7	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	
с	0.91	0.05	0.08	0.15	0.23	0.31	0.38	0.53	0.69	0.80	0.90	0.95
	0.67	0.06	0.10	0.18	0.26	<u>0.34</u>	0.41	0.58	<u>0.73</u>	0.84	0.95	0.98
	0.54	0.07	0.12	0.20	0.28	0.36	0.44	0.60	0.75	0.87	0.98	1.03
	0.43	0.08	0.13	0.22	0.30	0.38	0.48	0.65	0.79	0.91	1.02	1.07
	0.34	0.08	0.14	0.22	0.31	0.41	0.50	0.68	0.82	0.96	1.06	1.11
	0.27	0.10	0.15	0.24	0.34	0.44	0.54	0.70	0.86	0.98	1.10	1.14

*Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии Физика атмосферы» — Ленинград: Гидрометеиздат, 1984*

Количество света, попадающее на тестовый участок отличается почти вдвое. При этом выдержка отличается втрое. Т.е. на матрицу попадает в ~5 раз меньше света, при этом получается снимок схожего качества.



# Выводы

## По параметрам съёмки

- Снимки CMOS геометрически и радиометрически соответствуют снимкам CCD
- Камеры, оснащённые CMOS-матрицами могут использоваться при значительно худших условиях освещённости без риска смаза и потери информации

ГОСТ Р 59328-2021 Аэрофотосъёмка топографическая регламентирует угол солнца над горизонтом не менее  $15^\circ$  (для безоблачного неба).

Например: 23 сентября угол период с углом солнца более  $15^\circ$  длится 8 ч 20 мин. Если перейти с CCD на CMOS, тот же результат можно получить снимая по крайней мере 10 часов в сутки.





# DISCLAIMER

**Если на следующих двух слайдах вы почувствуете знакомые симптомы – немедленно обратитесь к специалисту.**





# CMOS – не панацея

Возвышение солнца  $17^\circ$ ,  
CMOS матрица,  
Tv 1/320.  
Дрон DJI Mavic 2 Pro  
GSD ~4-5 см





**Любите свою камеру**








НАУЧНО - ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ  
**«ЙЕНА ИНСТРУМЕНТ»**


# Спасибо!



**Михаил  
Владимирович  
ВЬЮНОВ**

руководитель отдела  
обработки  
в НПК «Йена Инструмент»

 +7 916 176-7910

 mvv@jena.ru

