

**IV Международная научно-практическая конференция  
ЦИФРОВИЗАЦИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

**Применение гиперспектральной съемки для контроля и диагностики  
состояния культурных растений и продукции растениеводства**

**Балабанов П.В.**

**Тамбов, 2024**

## Применение гиперспектральной съемки в сельском хозяйстве

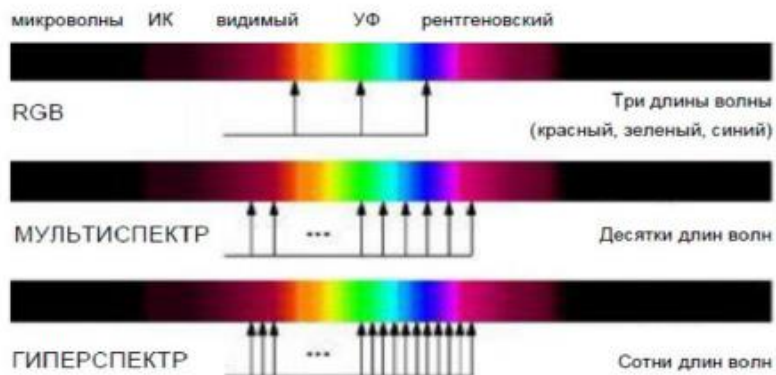
Раннее выявление болезней и стресса: использование гиперспектральной съемки для обнаружения и выявления заболеваний и стрессовых факторов на ранней стадии, таких как пожелтение цитрусовых, что позволяет своевременно принимать меры по лечению заболеваний.

Различение видов и генотипов: использование спектральных характеристик, полученных с помощью гиперспектральной визуализации, для точного различения видов растений, типов растительности и различных генотипов в сельскохозяйственных культурах. Анализ биохимических свойств: Использование гиперспектральной съемки для анализа биохимических свойств, таких как антоцианы, каротиноиды и содержание хлорофилла, что дает представление о физиологическом состоянии и здоровье сельскохозяйственных культур.

Получение биофизических показателей для селекции растений: использование гиперспектральной съемки для измерения биофизических показателей, таких как индекс площади листьев (LAI), биомасса, урожайность и плотность, облегчение высокопроизводительного фенотипирования для поддержки экспериментов по селекции растений и повышения эффективности селекции.

Прецизионное питание и внесение удобрений: использование гиперспектральной съемки для мониторинга и оптимизации питания растений, включая основные макро- и микроэлементы, такие как фосфор (P), калий (K), магний (Mg), марганец (Mn), медь (Cu) и цинк (Zn).

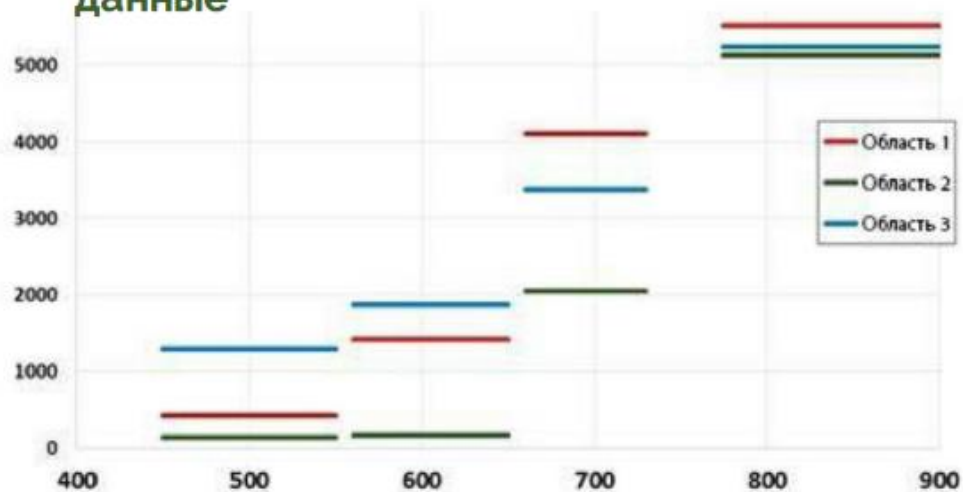
## ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ



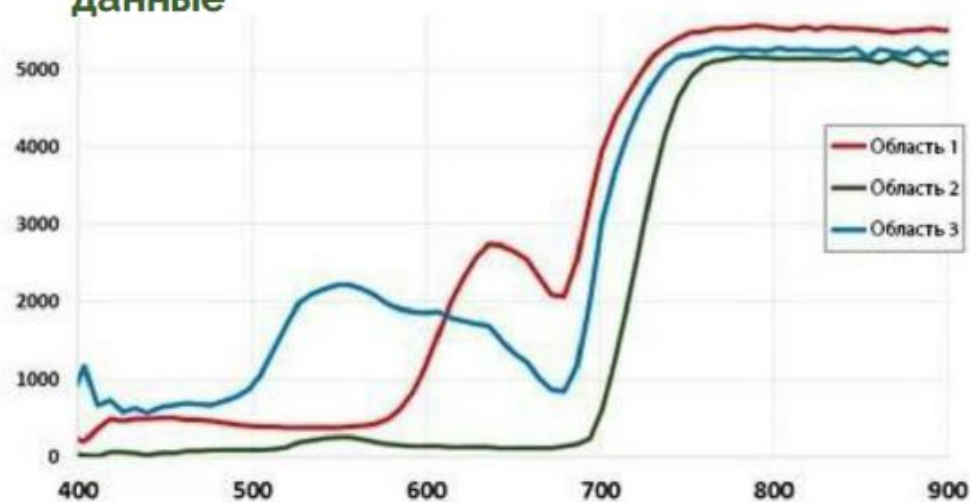
## ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНАЯ СЪЕМКА

Гиперспектральная съёмка — раздел прикладной оптики, который изучает растровые изображения, каждый пиксел которых связан не с отдельным значением интенсивности света, а с полным спектральным разложением оптической энергии в границах какого-либо частотного диапазона. Эти значения обычно не ограничиваются видимым светом и нередко включают в себя также другие длины волн, например — ИК-диапазон.

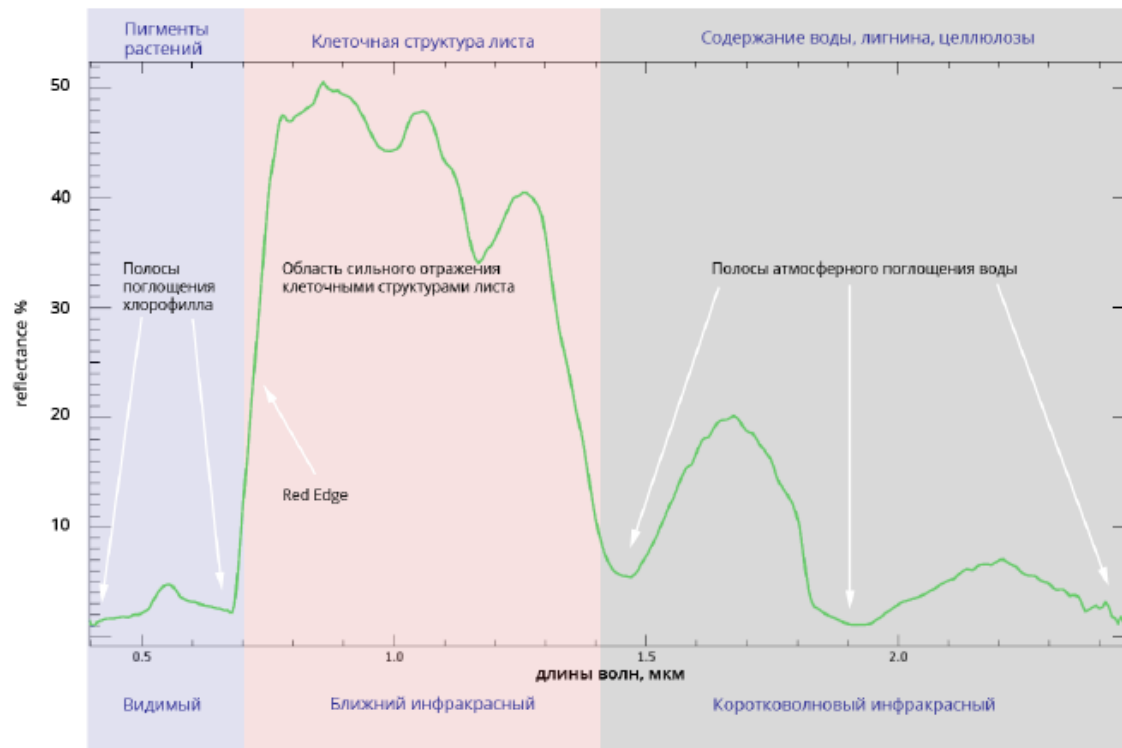
### Мультиспектральные данные



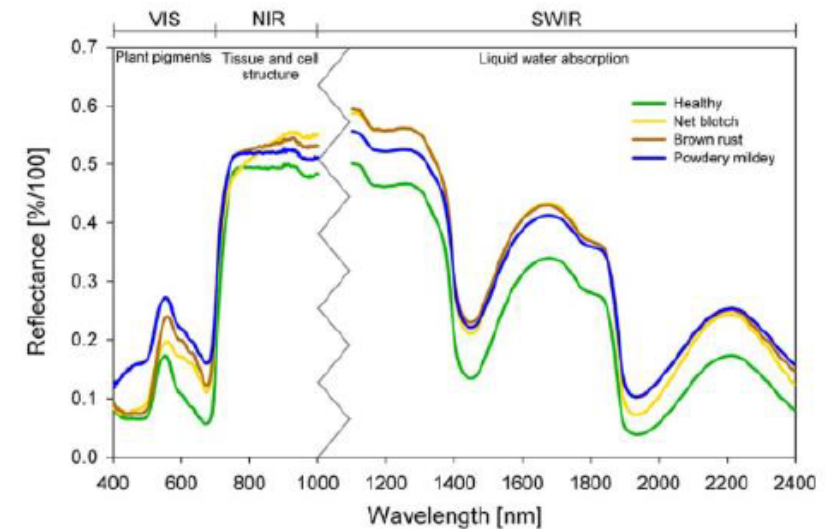
### Гиперспектральные данные



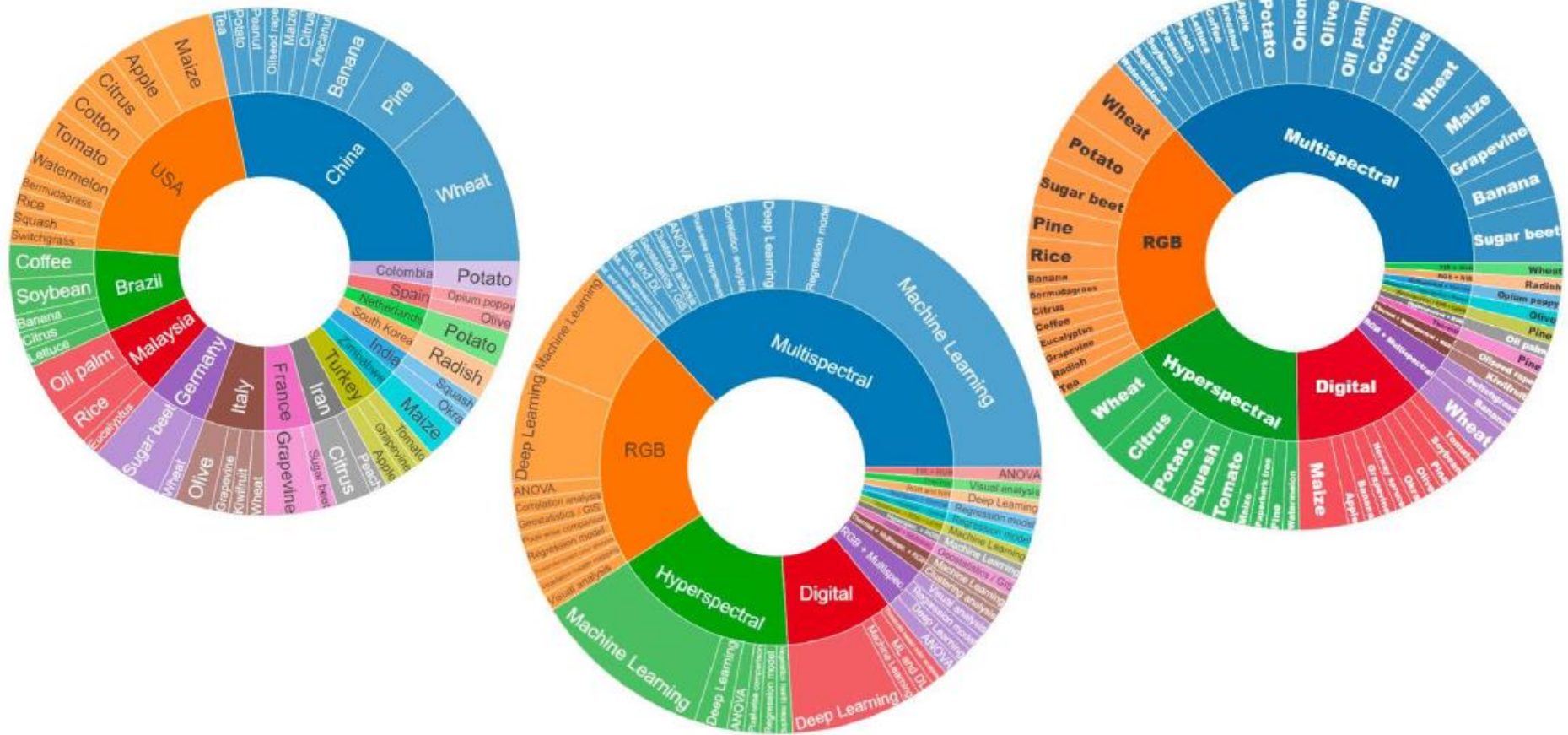
## Спектральные характеристики растительности



Детальная спектральная кривая растительности. Значимые для диагностики состояния растительности длины волн.



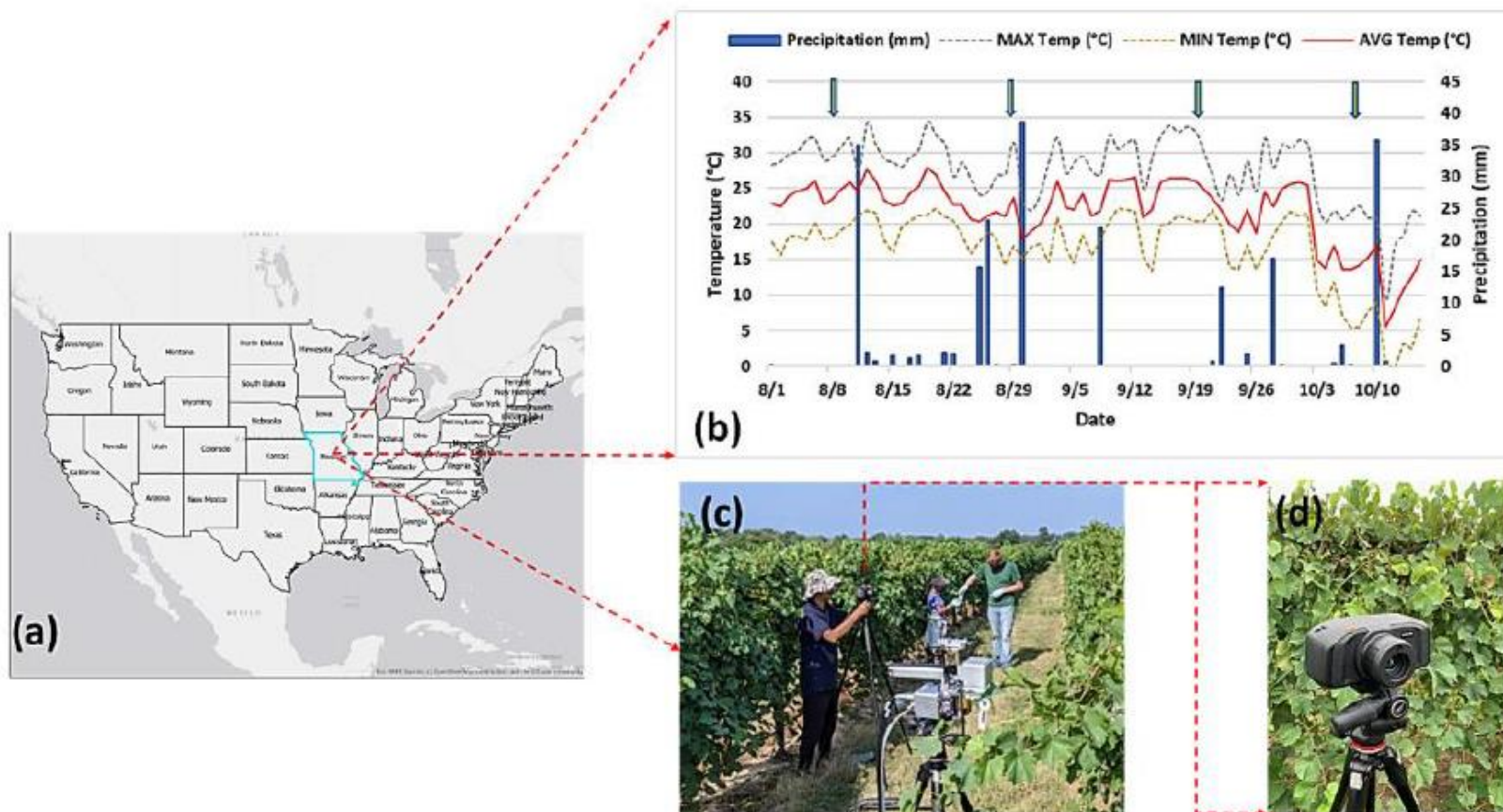
# Исследования по теме гиперспектральной съемки в сельском хозяйстве



## Вирус мраморности листьев винограда - grapevine vein-clearing virus (GVCV)

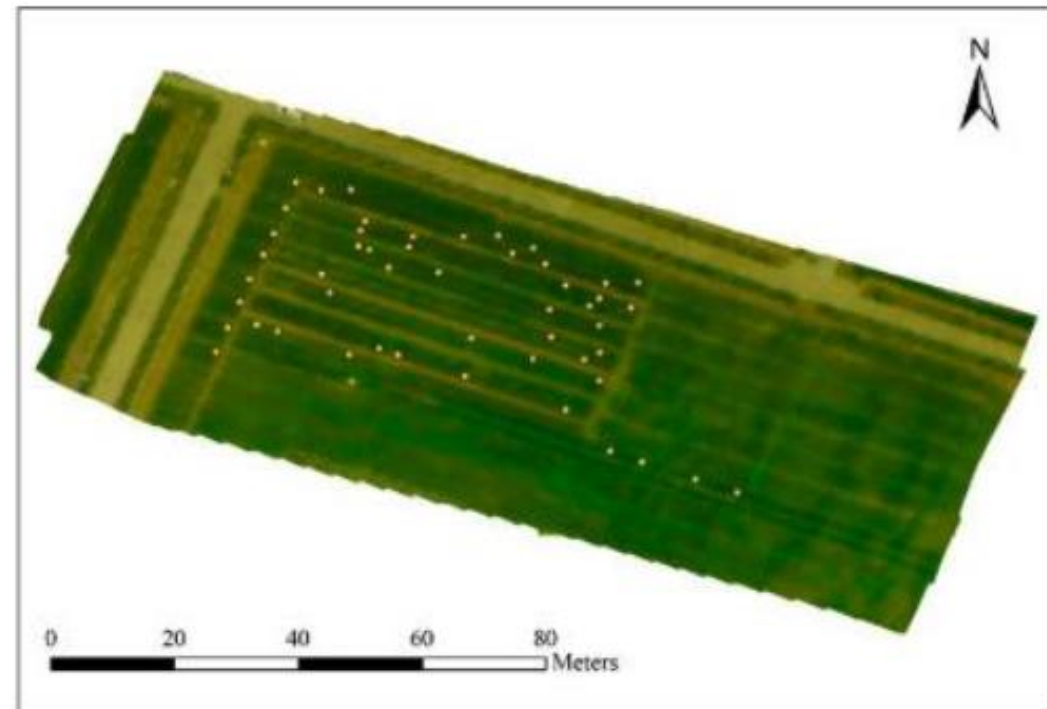
Вирус мраморности винограда (Grapevine fleck virus, GFkV) — это флоэмоограниченный, механически непереносимый изометрический вирус размером 28–30 нм.

Он распространён во всех виноградарских районах и входит в четверку наиболее распространённых вирусов в ряде стран.



## Фузариоз пшеницы (FHB Wheat Fusarium Head Blight)

Фузариоз пшеницы (FHB) - это грибковое заболевание к роду *Fusarium*, таким как *Fusarium graminearum*, *Fusarium roseae* или *Fusarium avenaceum*, и к роду *Microdochium*, таким как *Microdochium nivale*.



Location of Lujiang county    Boundary of experimental field    Location of sample

## Черная бактериальная пятнистость, мишенеобразная пятнистость томата и желтая курчавость листьев томата

Лабораторная идентификация и классификация бактериальной пятнистости, мишенеобразной пятнистости томатов и желтой курчавости листьев томата в лабораторных условиях и с помощью беспилотных летательных аппаратов с использованием гиперспектральной съемки и машинного обучения

Черная бактериальная пятнистость томата - Bacterial Spot (BS) (*Xanthomonas vesicatoria*, *X. Euvesicatoria*)

Мишенеобразная пятнистость - Target Spot (TS) (*Corynespora cassiicola*)

Желтая курчавость листьев томата –



(a)



(b)



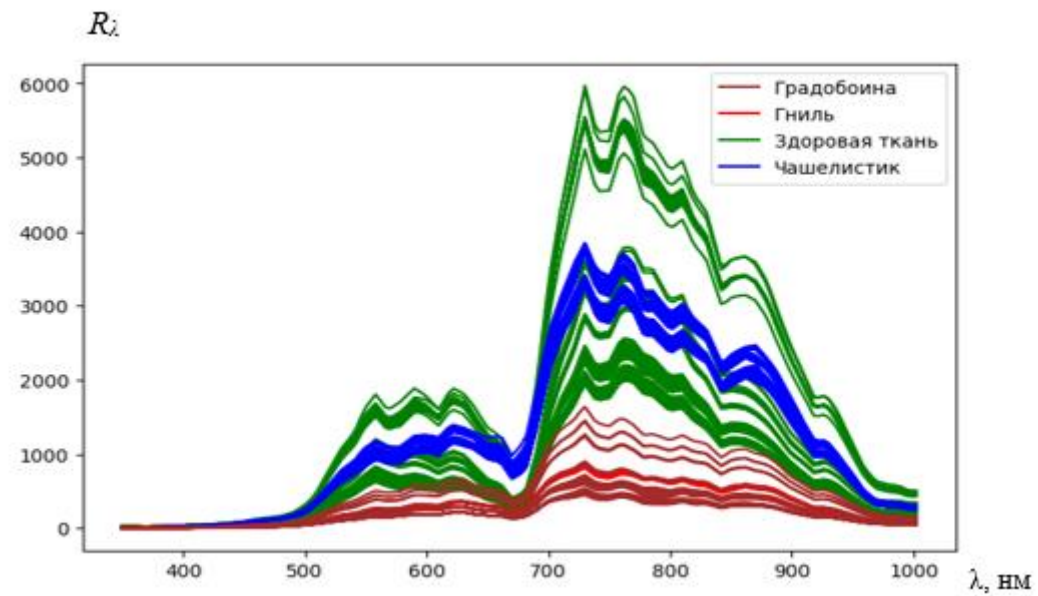
(c)



(d)



## Гниль, градобоины, парша яблок



Среднеинтегральные спектрограммы растительных тканей яблок сорта Гренни Смит

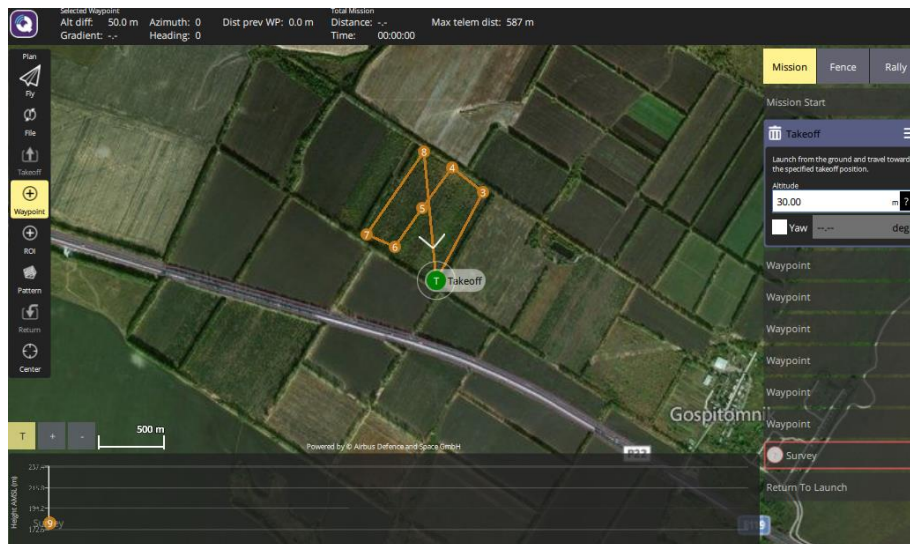


# Очевидные и неочевидные проблемы проксимальной гиперспектральной съемки при контроле и диагностировании растений

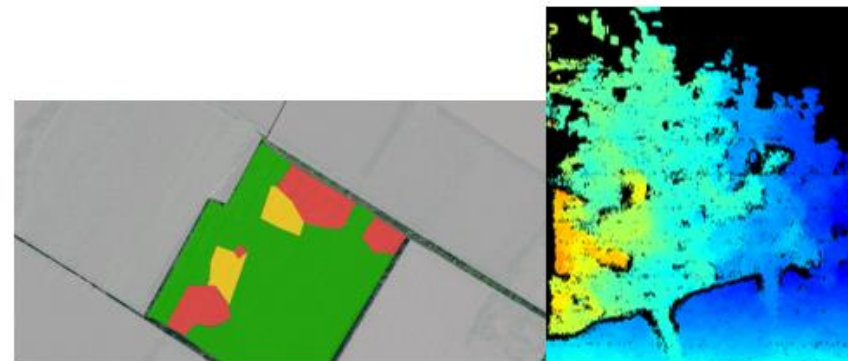
- вид “спектрограмм” зависит не только от культуры, вида дефекта, но и различается по сортам, окрасу, и .....

$$NDVI = (R_{750} - R_{680}) / (R_{750} + R_{680}),$$

$$AR1 = 1/R_{550} - 1/R_{700} \text{ и } CR2 = 1/R_{510} - 1/R_{700}$$



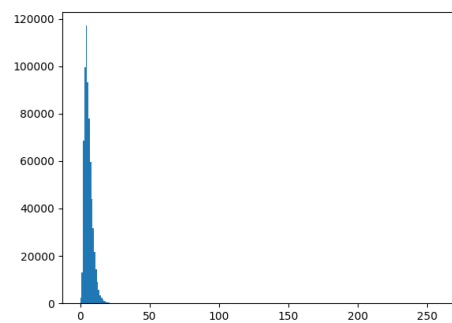
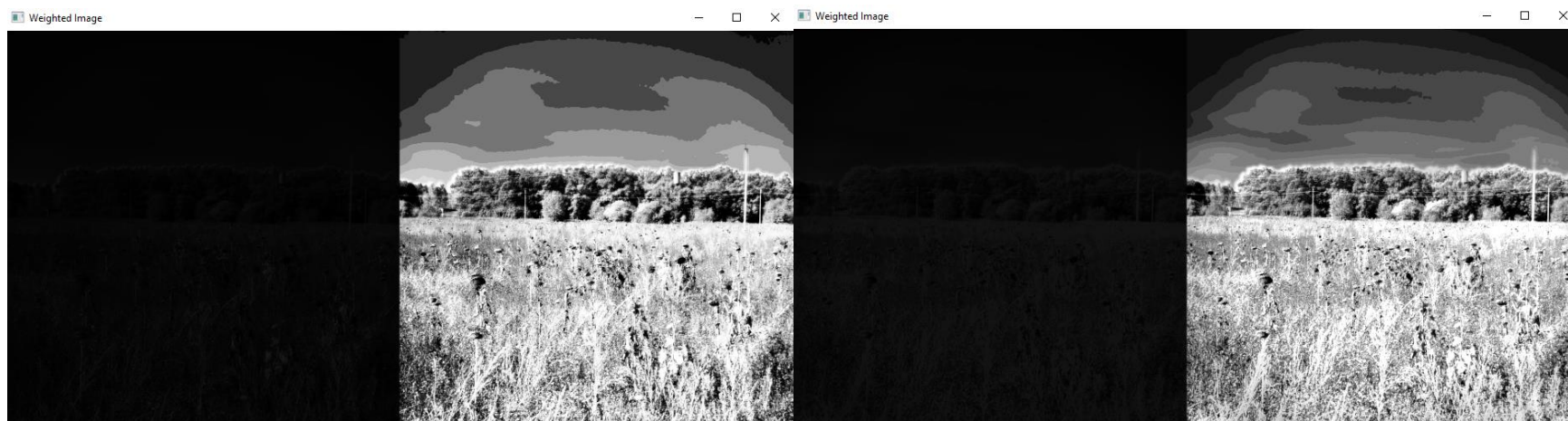
a



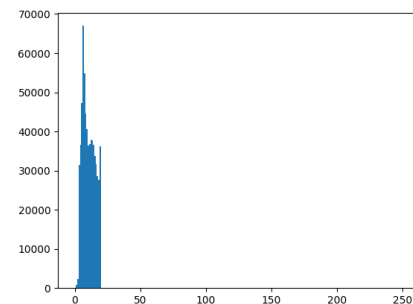
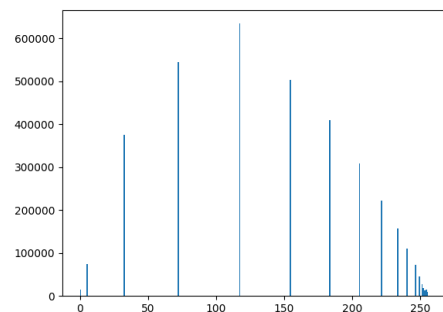
б

в

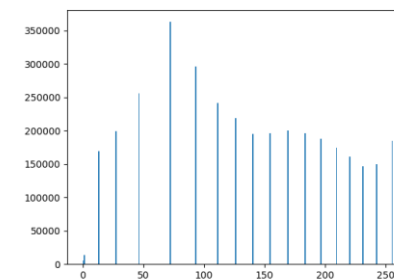
**- проявление неравномерности освещения объектов контроля, влияние взаимных перемещений камеры и объекта контроля**



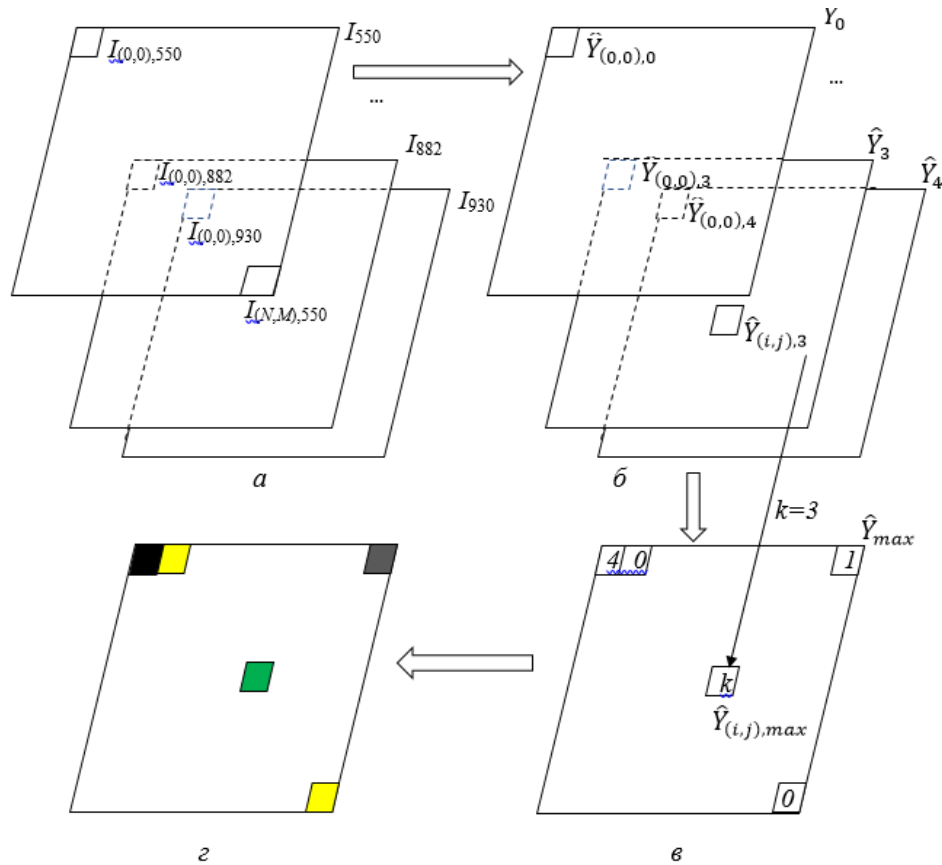
930 нм – 80 мс



160 мс

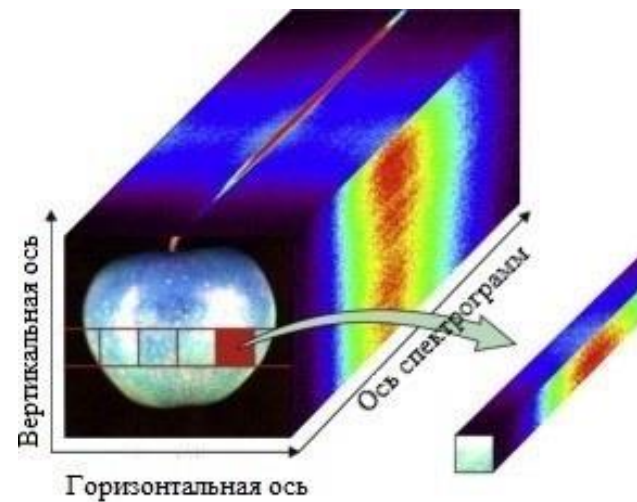


## Этапы обработки данных от мультиспектрометра

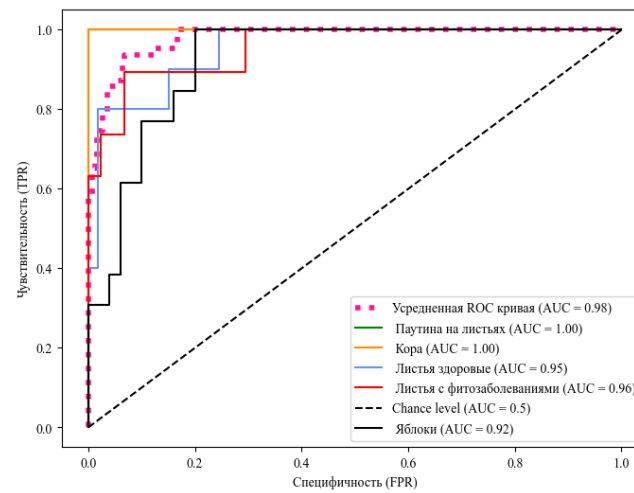
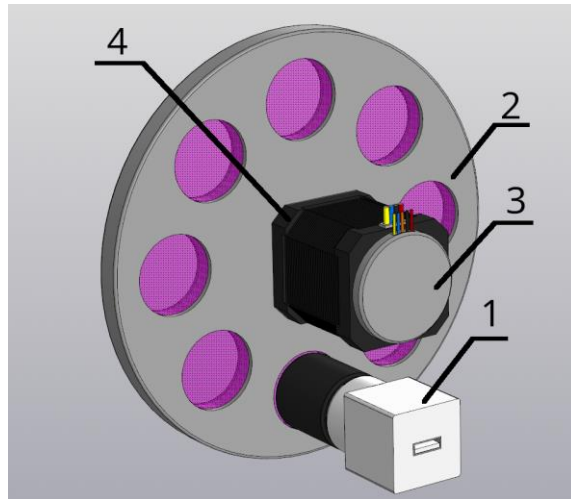


$j$	$a_{1j}$	$a_{2j}$	$a_{3j}$	$a_{4j}$	$a_{5j}$	$a_{6j}$	$a_{7j}$	$a_{8j}$	$b_j$
0	81,0	29,3	70,0	94,3	124	-194	-8,53	94,3	-160,9
1	-42,9	6,02	-89,9	-38,9	-54,4	85,9	-27,6	294	40,8
2	1,25	-53,5	-30,6	-2,69	-2,23	39,8	30,4	-142	2,22
3	-48,2	-14,6	-12,7	-57,5	-63,7	106	-0,2	-82	65,2
4	-22,8	-1,21	-15,5	-28,2	-46,3	55,4	8,4	-114	48,1

- $I_{norm(i,j),\lambda} = I_{(i,j),\lambda} / I_{(i,j),max}$
- $\hat{Y}_{(i,j),k} = \sum_{n=1}^8 a_{nk} \cdot I_{norm(i,j),\lambda(n)} + b_k$
- $\hat{Y}_{max(i,j)} = k \in (\max(\{\hat{Y}_{(i,j),k}\}, k = \overline{0,4}))$
- $I_{rez(i,j)} = color_k(\hat{Y}_{max(i,j)})$



## Реализация в фильтровом мультиспектрометре



***СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ***