

**INDUSTRIAL  
COUNCIL**

**20  
20**



**Skoltech**

Центр компетенции НТИ по технологиям  
беспроводной связи и интернета вещей

# STRIX VISION

## Computer vision for precision agriculture



Александр Меньщиков | Дмитрий Шадрин | Мария Пукальчик  
PI: Андрей Сомов, assistant professor CDISE

# Skoltech

Центр компетенции ИТИ по технологиям  
беспроводной связи и интернета вещей

# Проблема

- 1 Многолетнее сорное растение, представляющее собой опасность для человека и агроценозов
- 2 Правительство Московской области выделило свыше 300 миллионов рублей в 2018 году на программу борьбы с борщевиком
- 3 С 1 ноября 2018 года Московская область взимает штрафы с ответственных лиц за обнаружение борщевика на их земельных участках



# Решение – система распознавания



Дрон DJI Matrice 200, оснащенный цифровой камерой, GPS датчиком и одноплатным компьютером Nvidia Jetson Nano



Быстрое распознавание отдельных растений борщевика Сосновского при помощи бортового компьютера с Искусственным Интеллектом (ИИ)



Передача информации о локализации детектируемых объектов и их количестве в локальную, и/или региональную БД

# Текущее решение БПЛА

Мы апробировали БПЛА DJI Matrice 200 и DJI Phantom 4 в качестве нашей основной платформы. Однако в будущем мы планируем изготовить наш собственный крылатый БПЛА с Вертикальным Взлетом и Посадкой (ВВП).

## Летные технические характеристики DJI Matrice 200:

1. Макс. масса: 6.14 кг.
2. Размер: 887x880x378 мм.
3. Макс. скорость: 82.8 км/ч
4. Макс. скорость ветра: 12 м/с
5. Макс. время полета: 38 мин.
6. Диапазон рабочих температур: -20...+45 C°
7. Макс. дальность: 7 км.
8. Полезная нагрузка: камеры видимого и/или инфракрасного диапазона



**DJI Matrice 200**

# Текущее решение БПЛА

Мы апробировали БПЛА DJI Matrice 200 и DJI Phantom 4 в качестве нашей основной платформы. Однако в будущем мы планируем изготовить наш собственный крылатый БПЛА с Вертикальным Взлетом и Посадкой (ВВП).

## Летные технические характеристики DJI Phantom 4 :

1. Макс. масса: 1.375 кг.
2. Размер (по диагонали): 350 мм.
3. Макс. скорость: 72 км/ч
4. Макс. скорость ветра: 10 м/с
5. Макс. время полета: 30 мин.
6. Диапазон рабочих температур: +5...+40 С0
7. Макс. дальность: 6 км.
8. Полезная нагрузка: камеры видимого и/или инфракрасного диапазона



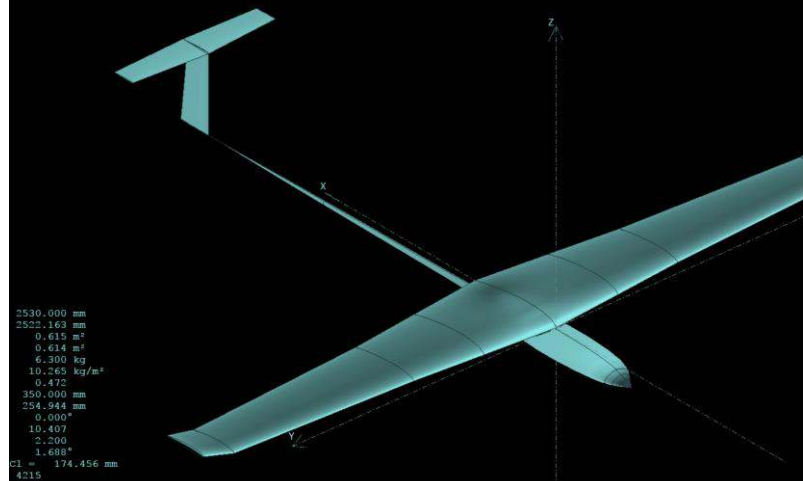
**DJI Phantom 4**

# Проектируемый БПЛА

Летно-Технические Характеристики БПЛА с ВВП будут значительно превосходить характеристики дрона мультикоптерного типа

## Летные технические характеристики проектируемого БПЛА:

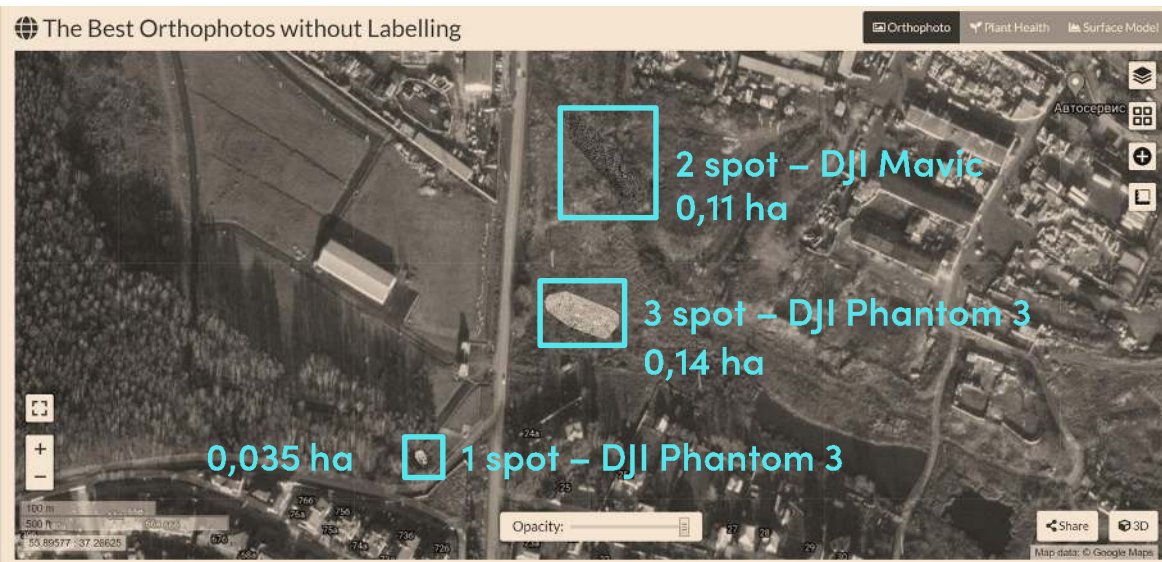
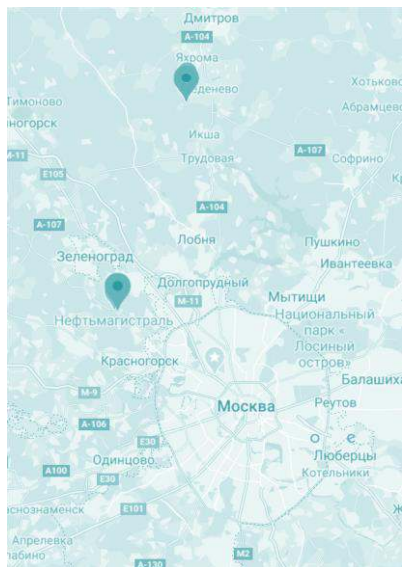
1. Макс. масса: 4 кг.
2. Размер: 2530x1500x400 мм.
3. Макс. скорость: 100 км/ч
4. Макс. Скорость ветра: 12 м/с
5. Макс. Время полета: 300 мин.
6. Диапазон рабочих температур: -20...+45 CO
7. Макс. дальность: 20 км.
8. Полезная нагрузка: камеры видимого и/или инфракрасного диапазона



Проектируемый БПЛА

# Сбор датасета

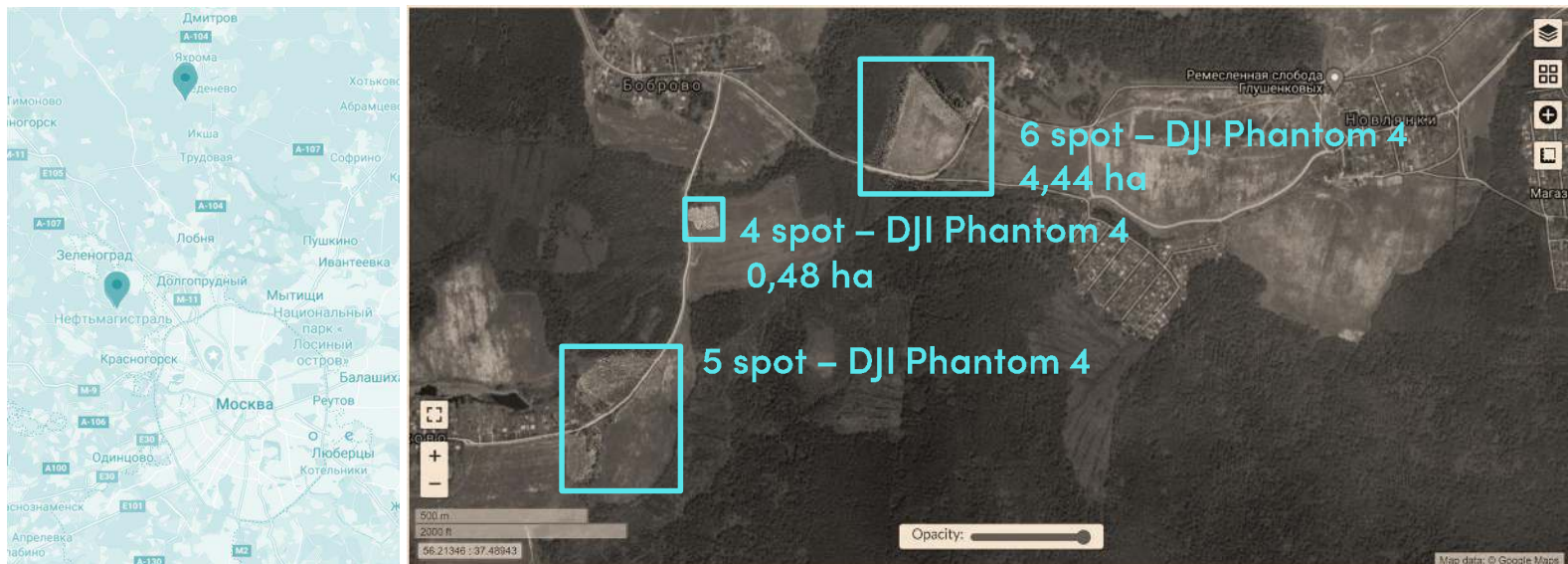
Данные собирались летом 2019 и 2020 года на землях сельскохозяйственного назначения в МО, однако ограничений по категориям и назначению земель нет  
Лимитирующий фактор – сомкнутость крон деревьев





# Сбор датасета

Сбор данных осуществлялся летом 2019 и 2020 года на землях сельскохозяйственного назначения в МО, однако ограничений по категориям и назначению земель нет  
Лимитирующий фактор – сомкнутость крон деревьев



# Параметры датасета

**Сбор датасета осуществлялся при помощи нескольких платформ:**

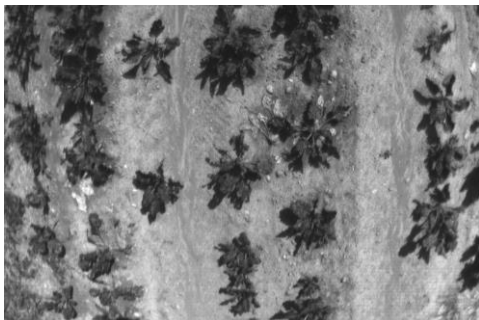
Action Camera Xiaomi, DJI Mavic 2, DJI Phantom 3, DJI Phantom 4 с мультиспектральной камерой

DJI Phantom 4 способен измерять т.н. Normalized Differential Vegetation Index (NDVI)

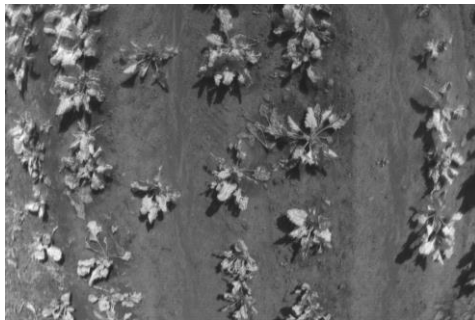
NDVI измеряется в диапазоне от -1 до 1 и может использоваться для сегментации растений, а также для оценки состояния здоровья растений

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

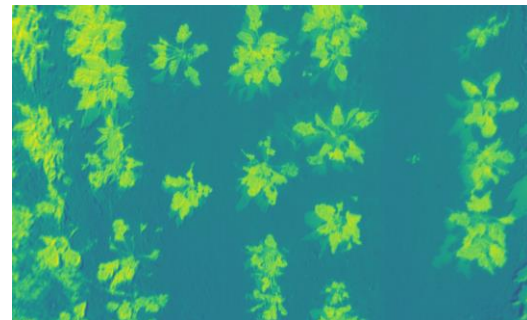
**Red**



**NIR**



**NDVI**



# Параметры датасета

Изображения были собраны для 3 классов в видимом и инфракрасном диапазоне:

- Молодое растение
- Цветущее растение
- Растение после цветения

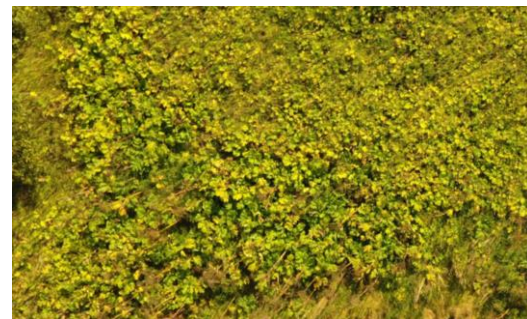
Молодое Растение



Цветущее растение



После цветения

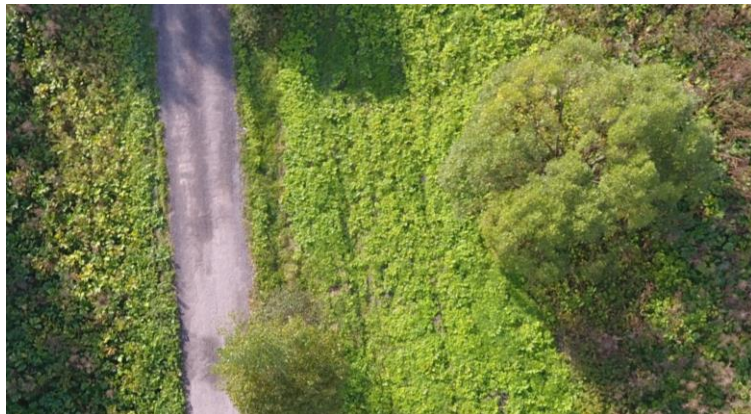


# Параметры датасета

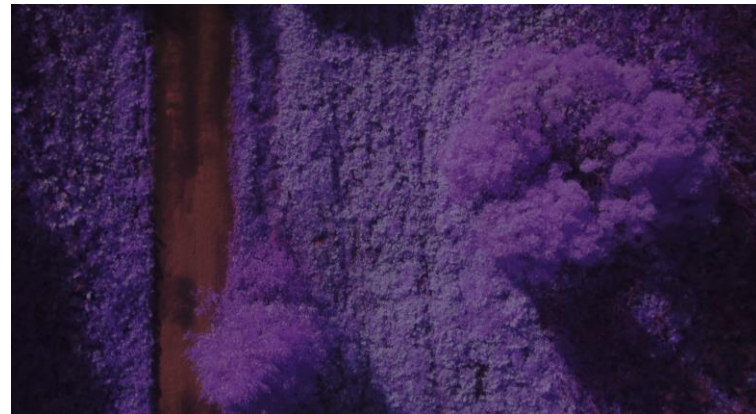
**Изображения были собраны для 3 классов в видимом и инфракрасном диапазоне:**

- Молодое растение
- Цветущее растение
- Растение после цветения

**Изображение в видимом диапазоне**



**Изображение в инфракрасном диапазоне**



# Подготовка датасета

Ручная разметка полученных изображений высокого разрешения (4000x6000 пикселей), снятых при помощи БПЛА, на веб-платформе [supervise.ly](https://supervise.ly)

Исходное изображение



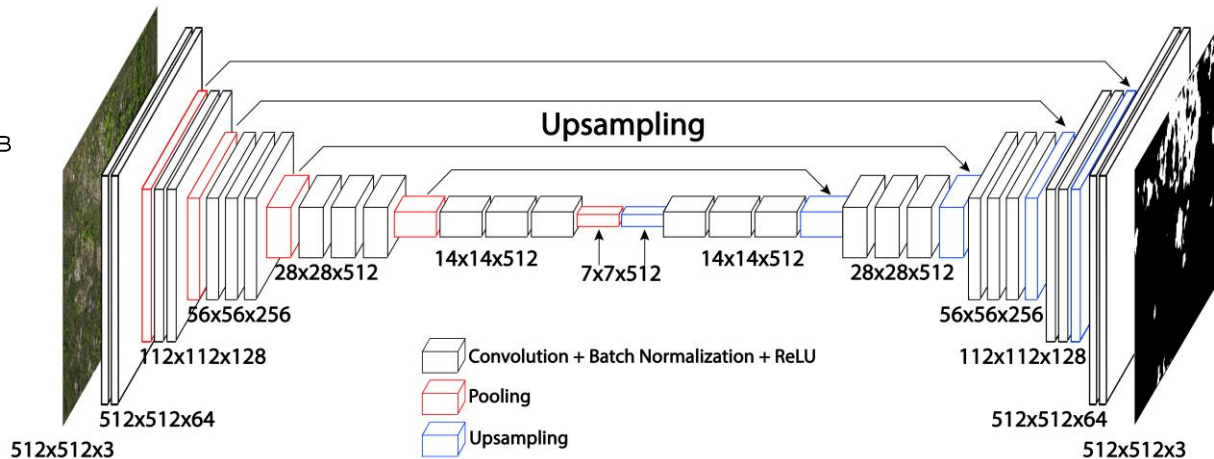
Подготовленное изображение (фиолетовым выделен борщевик Сосновского)



# ИИ для локализации борщевика

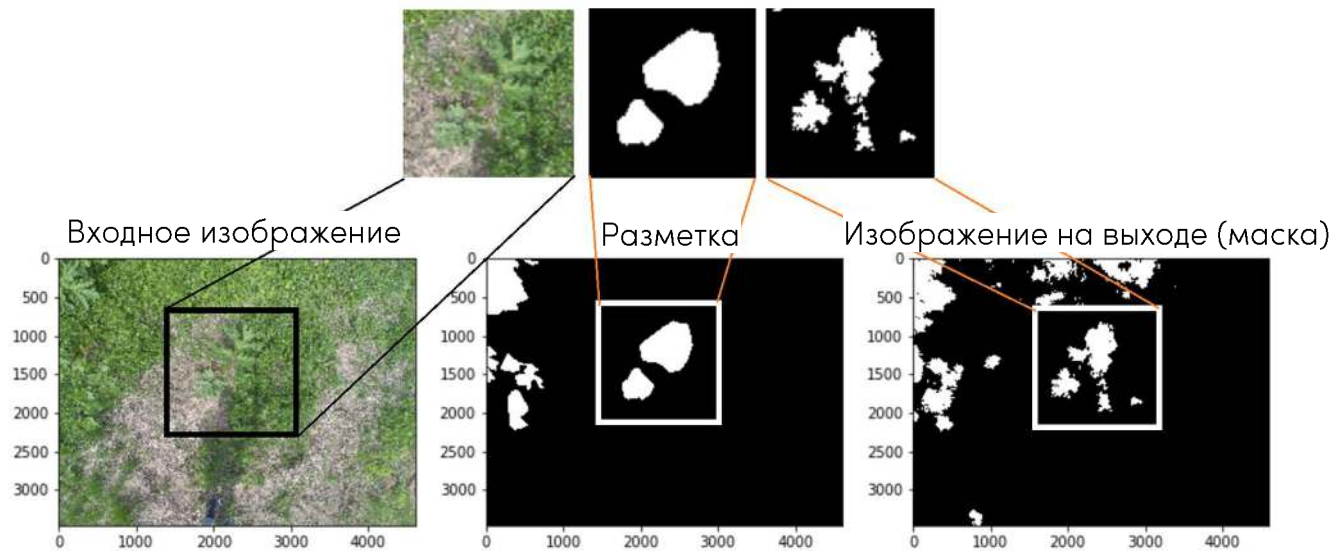
Мы применили сверточные нейронные сети (Fully Convolutional Neural Networks – FCNN) для детектирования объектов с точностью до пикселя. На вход нейросеть принимает изображение с камеры, а на выходе выдает т.н. маску – изображение, состоящее из пикселей со значениями «1» или «0». Такая маска занимает очень мало памяти (несколько килобайт) и с легкостью может быть отправлена по радиоканалу оператору вместе с данными геолокации и оценкой площади.

FCNN,  
используемая в  
проекте



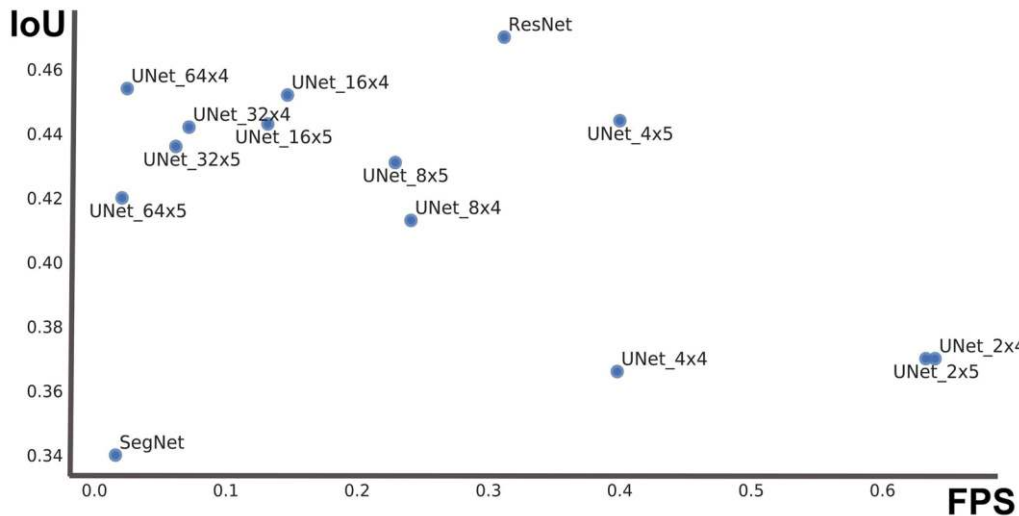
# ИИ для локализации борщевика

Мы применили сверточные нейронные сети (Fully Convolutional Neural Networks – FCNN) для детектирования объектов с точностью до пикселя. На вход нейросеть принимает изображение с камеры, а на выходе выдает т.н. маску – изображение, состоящее из пикселей со значениями «1» или «0». Такая маска занимает очень мало памяти (несколько килобайт) и с легкостью может быть отправлена по радиоканалу оператору вместе с данными геолокации и оценкой площади.



# ИИ для локализации борщевика

Unet нейросети характеризовалась наилучшей эффективностью и производительностью



Тестировали различные нейросети FCNN

SegNet

Unet

ResNet

**Метрики оценки производительности**

Коэффициент Жаккара (Intersection over Union – IoU)

Частота смены кадров (Frames Per Second – FPS).

Note: Наилучшие показатели производительности имеют архитектуры, расположенные выше пунктирной линии



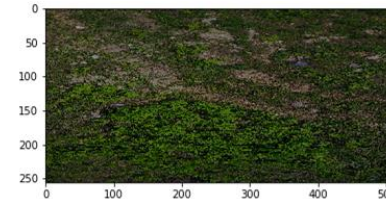
# ИИ для локализации борщевика

1 Входное изображение

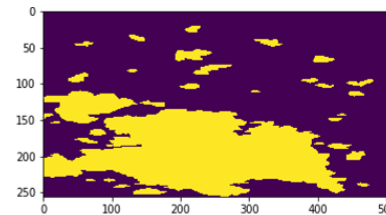
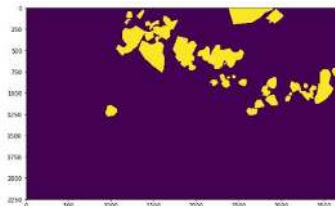
4096 x 2160 пикселей



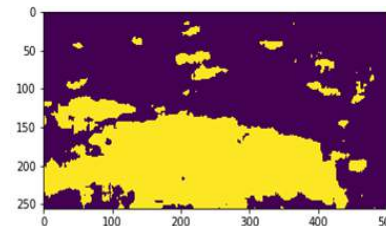
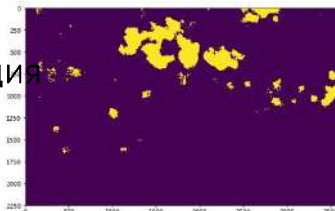
256 x 512 пикселей



2 Ручная разметка



3 Автоматическая локализация объектов нейросеткой



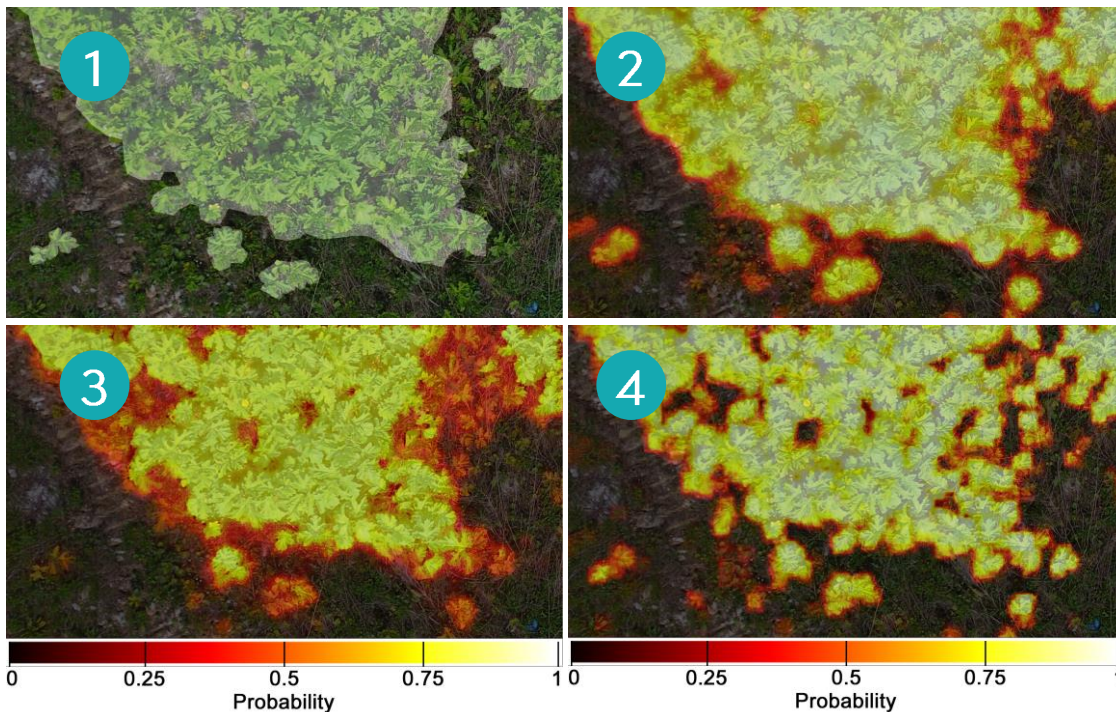
ИИ детектировал борщевик лучше, чем человек при разметке датасета

# Результаты

1. Тесты проводились на двух платформах: ГПУ Nvidia 1080Ti и на бортовом компьютере Nvidia Jetson Nano.
2. Проведена оценка максимальной потенциально покрываемой территории за один полет БПЛА (допущения: Jetson выступал в качестве полезной нагрузки DJI Matrice 200 с камерой в 12 Мегапикселей, летел на высоте 10 метров в течение 40 минут, и при этом между любыми соседними снимками нет перекрытия).

Нейросеть	Коэффициент Жаккара	Частота смены кадров (ГПУ)	Частота смены кадров (Nvidia Jetson Nano)	Покрываемая территория, Гектар
UNet	40%	5.6 (T4)	1.25	0.66
Модифицированная Unet	47%	2.4 (1080Ti)	~0.5	~0.26
SegNet	34%	1 (1080Ti)	0.21	0.11

# Результаты



(1) Исходное изображение с аннотацией

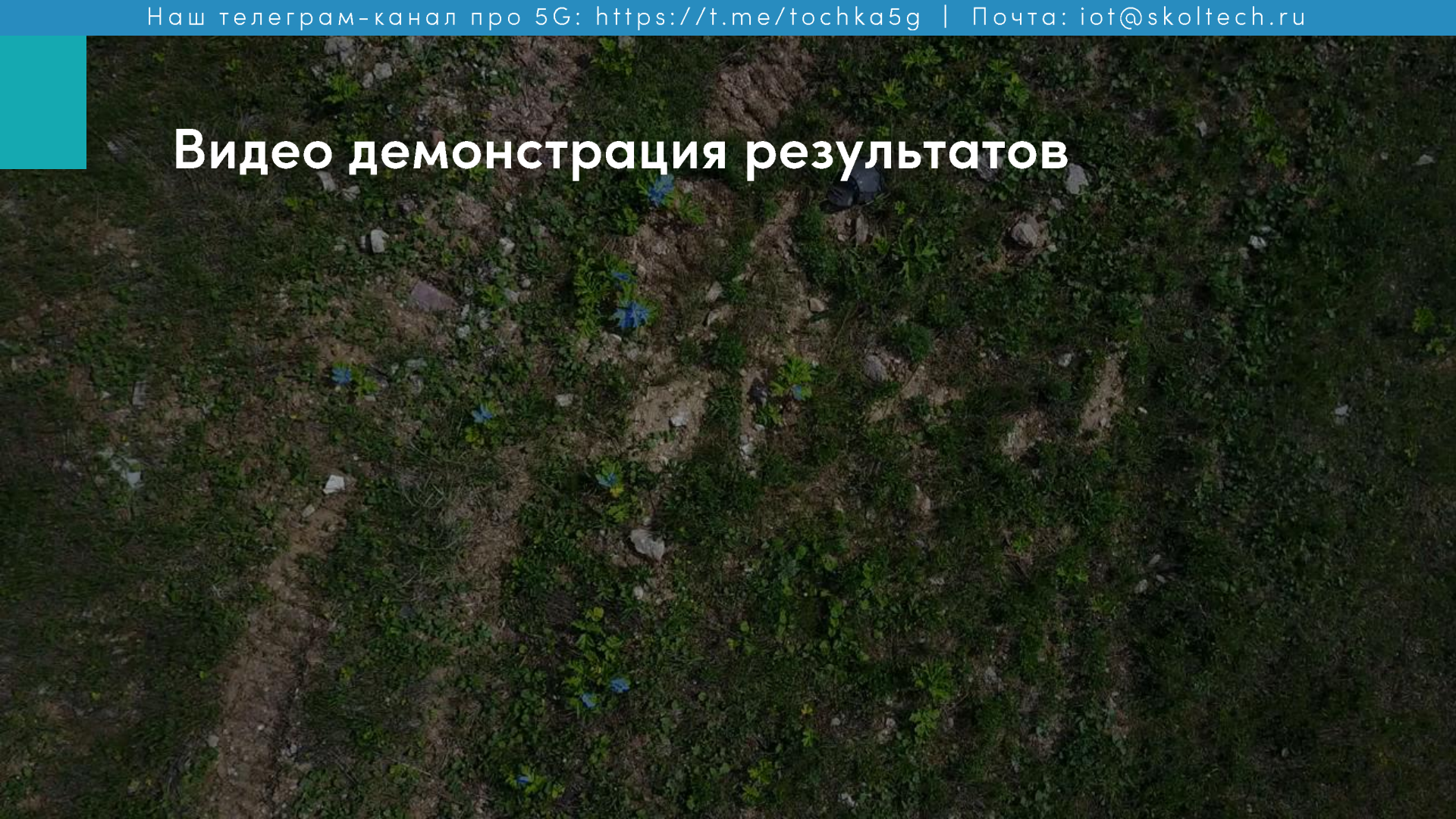
Предсказание, сделанное различными нейронными сетями (НС):

(2) Предлагаемая НС;

(3) SegNet;

(4) RefineNet;

# Видео демонстрация результатов



## Выводы

1. Создана и протестирована система распознавания борщевика Сосновского в режиме реального времени с применением БПЛА, оснащенного ИИ.
2. Задача семантической сегментации с двумя классами объектов ("0" и "1") для детектирования растений борщевика Сосновского решена с помощью различных архитектур нейронных сетей:
  - Модифицированный UNet отличается наилучшим коэффициентом Жаккара (47%) и точно предсказывает положение отдельных растений даже там, где они изначально не были размечены в ручном режиме.
  - UNet характеризуется наибольшей частотой смены кадра (FPS = 1.25) и может использоваться для детектирования объектов в реальном времени.
  - У SegNet выделяет растения борщевика с наилучшей детализацией, однако это самая «тяжелая» сетка.
3. Для успешной работы сверточных нейронных сетей достаточно небольшого объема данных тренировочных изображений.

# Планы по развитию и интеграции проекта

1. Проектирование более эффективных БПЛА (больше дальность полета, выше скорость, высота полета, меньший расход заряда батареи).
2. Внедрение системы передачи информации о локализации детектируемых объектов, их количестве и занимаемой площади с БПЛА в локальные и региональные БД
3. Автоматическое обнаружение нарушений и подготовка постановлений об административных наказаниях.
4. Часть выполненной работы защищена патентом: #2018618762, 2018
5. Научная работа признана международным научным сообществом:
  - a. D. Shadrin, A. Menshchikov, A. Somov and M. Fedorov "Enabling Precision Agriculture through Embedded Sensing with Artificial Intelligence", IEEE Transactions on Instrumentations and Measurements, pp. 1-10.
  - b. D. Shadrin, A. Menshchikov, D. Ermilov, and A. Somov, "Designing Future Precision Agriculture: Detection of Seeds Germination Using Artificial Intelligence on a Low-Power Embedded System", IEEE Sensors Journal, pp. 1-10, doi: 10.1109/JSEN.2019.2935812.
  - c. Menshchikov, A. M., and Somov, A. S., "Morphing wing with compliant aileron and slat for unmanned aerial vehicles", Physics of Fluids Journal, Vol. 31, No. 3, March 2019.
  - d. A. Menshchikov, D. Shadrin, S. Sosnin, E. Tsykunov, V. Prutyaynov, D. Lopatkin, E. Iakovlev, A. Somov "Fighting Against Hogweed in Real-time: Airborne Platform Empowered by Deep Learning", Computers and Electronics in Agriculture.

# Спасибо!

**Андрей Сомов**

тел. +7 (916) 793-35-95

e-mail: [a.somov@skoltech.ru](mailto:a.somov@skoltech.ru)

# Skoltech

Центр компетенции НТИ по технологиям  
беспроводной связи и интернета вещей