

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ВСХОЖЕСТИ ПОДСОЛНЕЧНИКА И ОБНАРУЖЕНИЕ СОРНЯКОВ ПО RGB-ИЗОБРАЖЕНИЯМ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ РАЗНЫХ АГРОТЕХНИК (КЛАССИЧЕСКАЯ ПЛОСКОРЕЗНАЯ ОБРАБОТКА И СИСТЕМА «NO-TILL»)

*И.А.Пестунов¹, Н.В.Овчарова², Р.А.Калашников¹,
В.И.Беляев³, А.Н.Радчиков⁴, А.О.Рогозная¹*

¹ФИЦ ИВТ

²Алтайский государственный университет

³Алтайский государственный аграрный университет

⁴ООО «Беспилотные технологии»



Использование БПЛА в сельском хозяйстве – одно из наиболее перспективных направлений применения этой технологии. При этом основным критерием для их внедрения является экономическая целесообразность.

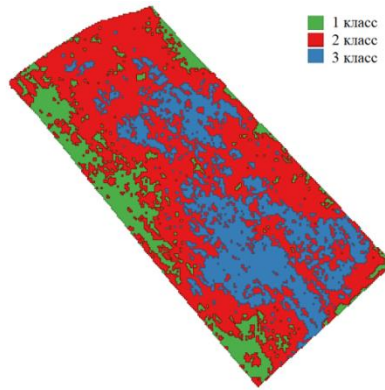
В докладе рассматриваются автоматизированные методы оценки качества посевов подсолнечника и обнаружения сорняков по RGB-изображениям сверхвысокого разрешения, полученным с помощью БПЛА.

Данная исследовательская работа осуществлялась в сотрудничестве с руководителем фермерского хозяйства ООО «Золотая осень» (Алейский район Алтайского края) Рябцевым В.И. и агрономом Закревским А.К., а также главным агрономом СПК «Знамя Родины» (Поспелихинский район Алтайского края) Беловым Н.П.

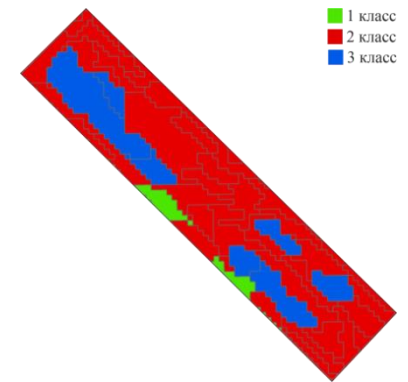
Работа поддержана средствами программы развития АлтГУ «Приоритет-2030».



Расположение опытного поля № 14 в Алейском районе



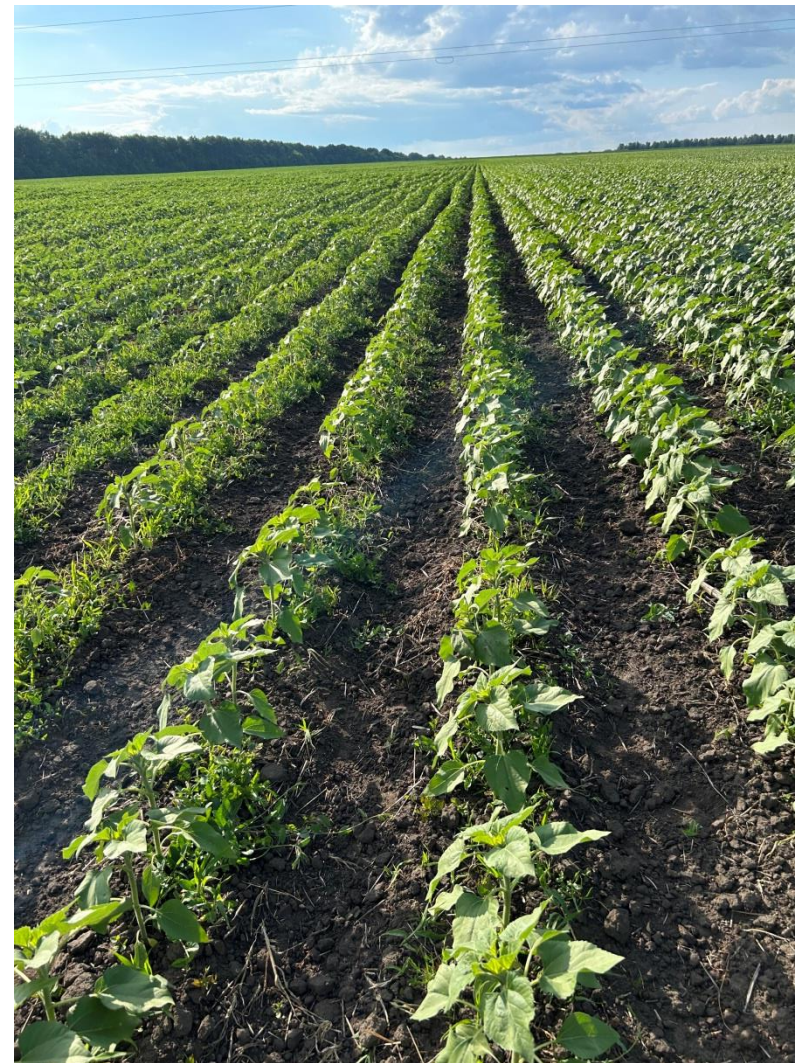
Расположение опытного поля № 7-1 в Пospelихинском районе



Карта-задание для дифференцированного посева разбита по классам плодородия: 1-й класс – повышенное (зелёный цвет), 2-й класс – нормальное (красный), 3-й класс – пониженное (синий).



Развитие подсолнечника по агротехнике «No-Till» (Поспелихинский район, дата посева 22.05.2023 г.)



Агроценоз подсолнечника по агротехике - классическая плоскорезная обработка (Алейский район, дата посева 16.05.2023 г.)

Варианты дифференцированного внесения семян и удобрений на посевах подсолнечника в хозяйствах

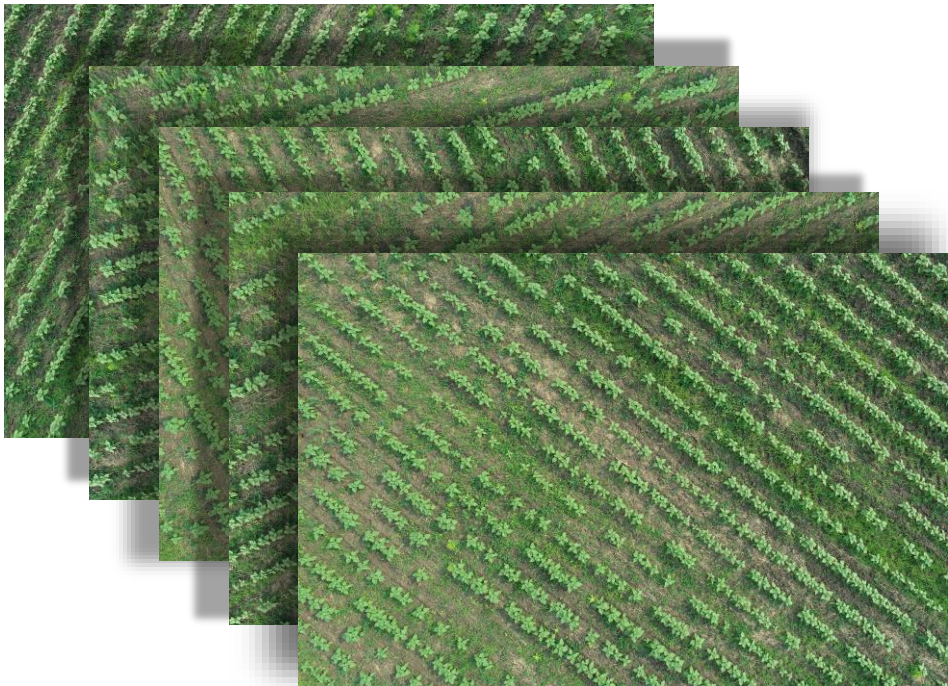
Зона	СПК «Знамя Родины» (Алейский район)		ООО «Золотая осень» (Поспелихинский район)	
	Норма высева семян, тыс.шт./га	Доза удобрения, (диаммофоска 10:26:26), кг/га/(КАС-32), кг/га	Норма высева семян, тыс.шт./га	Доза удобрения, (сульфат аммония N21 S24) кг/га
Культура – подсолнечник на зерно				
I	50	70/112	55	70
II	40	50/112	45	50
III	30	30/112	35	30



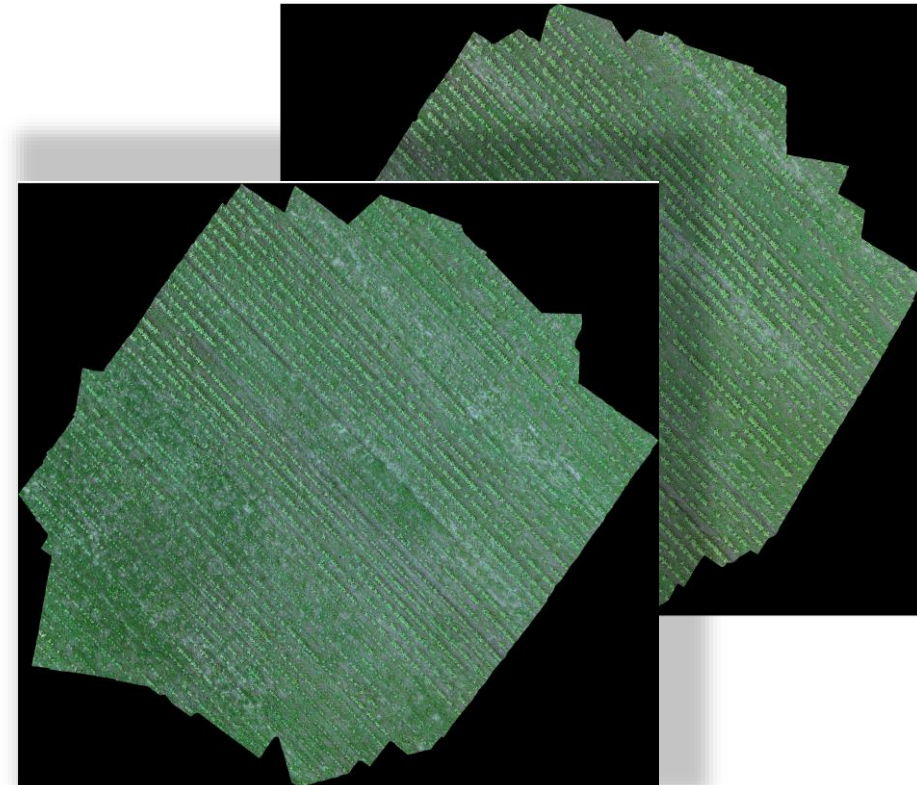
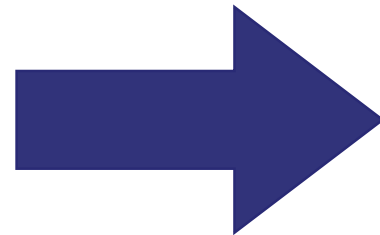
Съемка производилась с помощью цифровой камеры Sony Alpha6000 и мультиспектральной камеры MicaSense RedEdge-MX, установленных на БВС «Supercam S250F» (высота полета 200 м), и с помощью цифровой фотокамеры 20 Мп, установленной на квадрокоптере DJI Phantom 4 Pro V2.0 (высота полета 10 м).

Формирование ортофотопланов

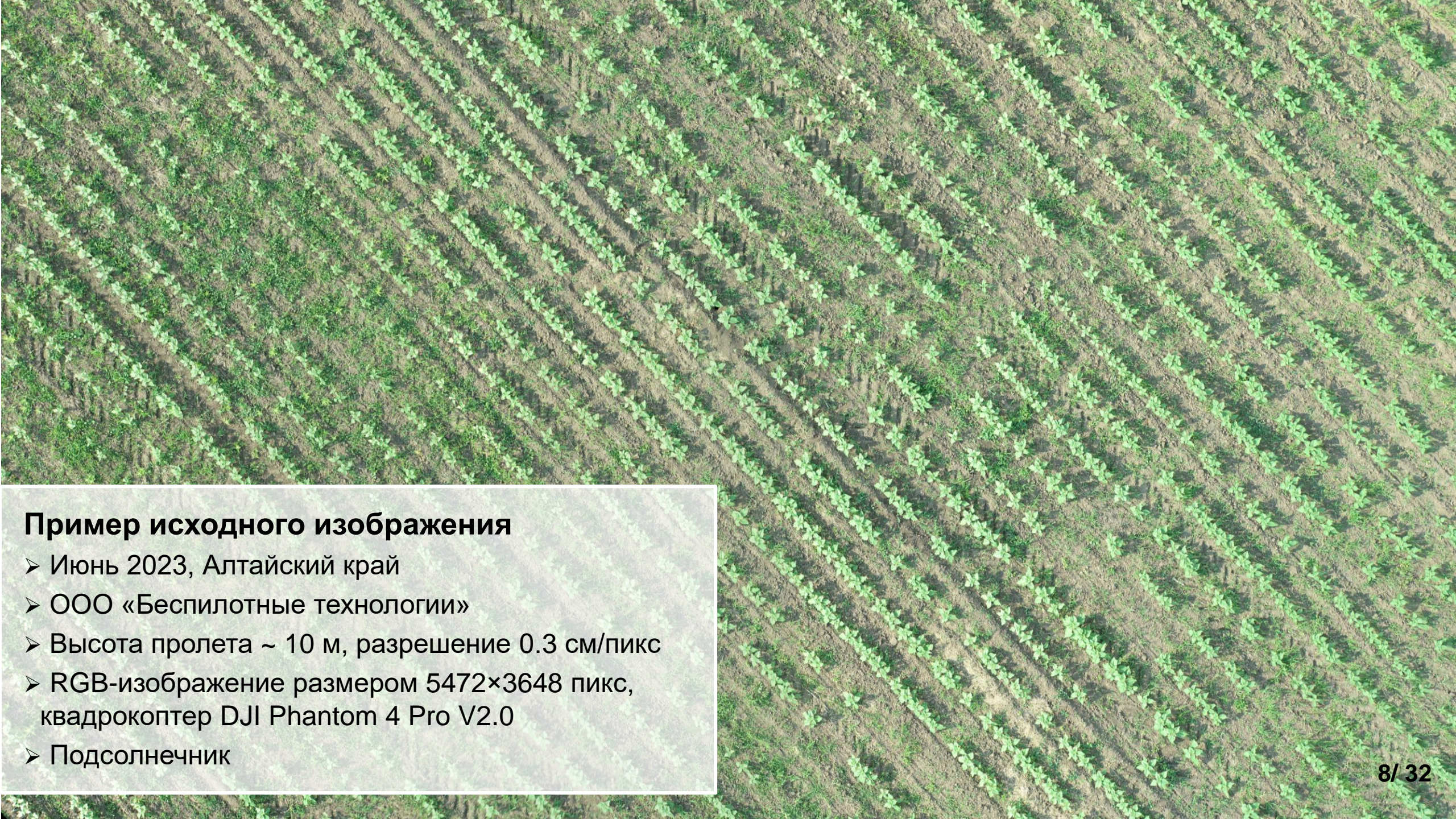
Исходные данные – это 3000 RGB-изображений размером 5472×3648 пикселей. Из них было сформировано 19 ортофотопланов со средним размером 12000×12000 пикселей. Далее вся обработка велась на фрагментах полученных ортофотопланов.



Исходные изображения



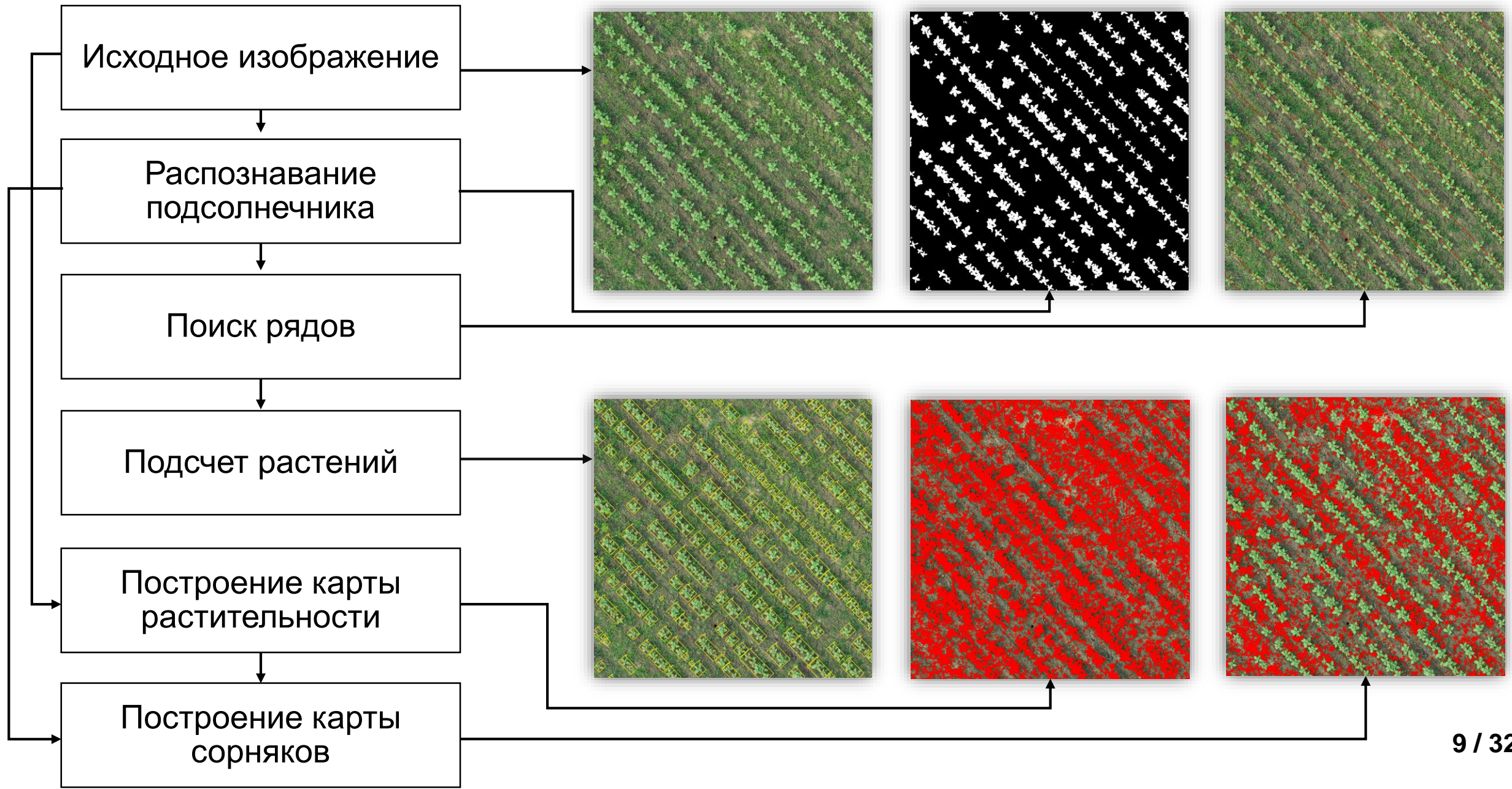
Ортофотопланы



Пример исходного изображения

- Июнь 2023, Алтайский край
- ООО «Беспилотные технологии»
- Высота пролета ~ 10 м, разрешение 0.3 см/пикс
- RGB-изображение размером 5472×3648 пикс, квадрокоптер DJI Phantom 4 Pro V2.0
- Подсолнечник

Общая схема обработки RGB-изображений

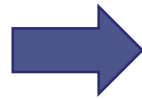


Разметка исходных изображений

Для обучения нейронной сети производилась разметка исходных изображений с помощью Web-сервиса Supervisely. С каждого ортофотоплана взят фрагмент размером 2560×2560 пикс.



Фрагмент исходного изображения



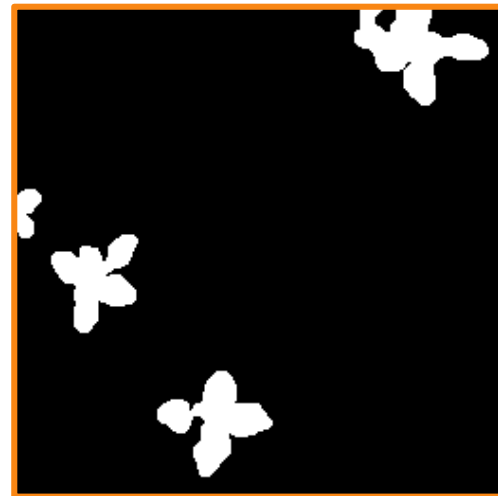
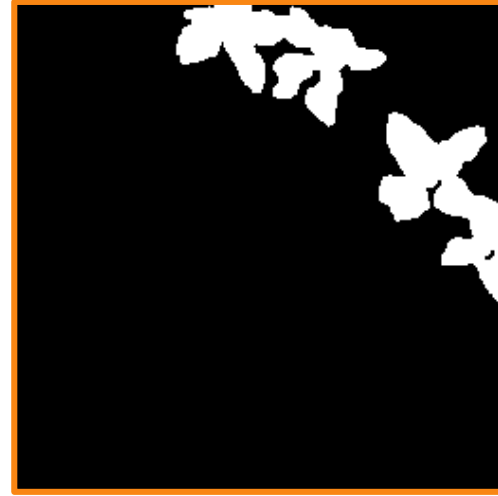
Фрагмент маски

Формирование выборки для обучения НС

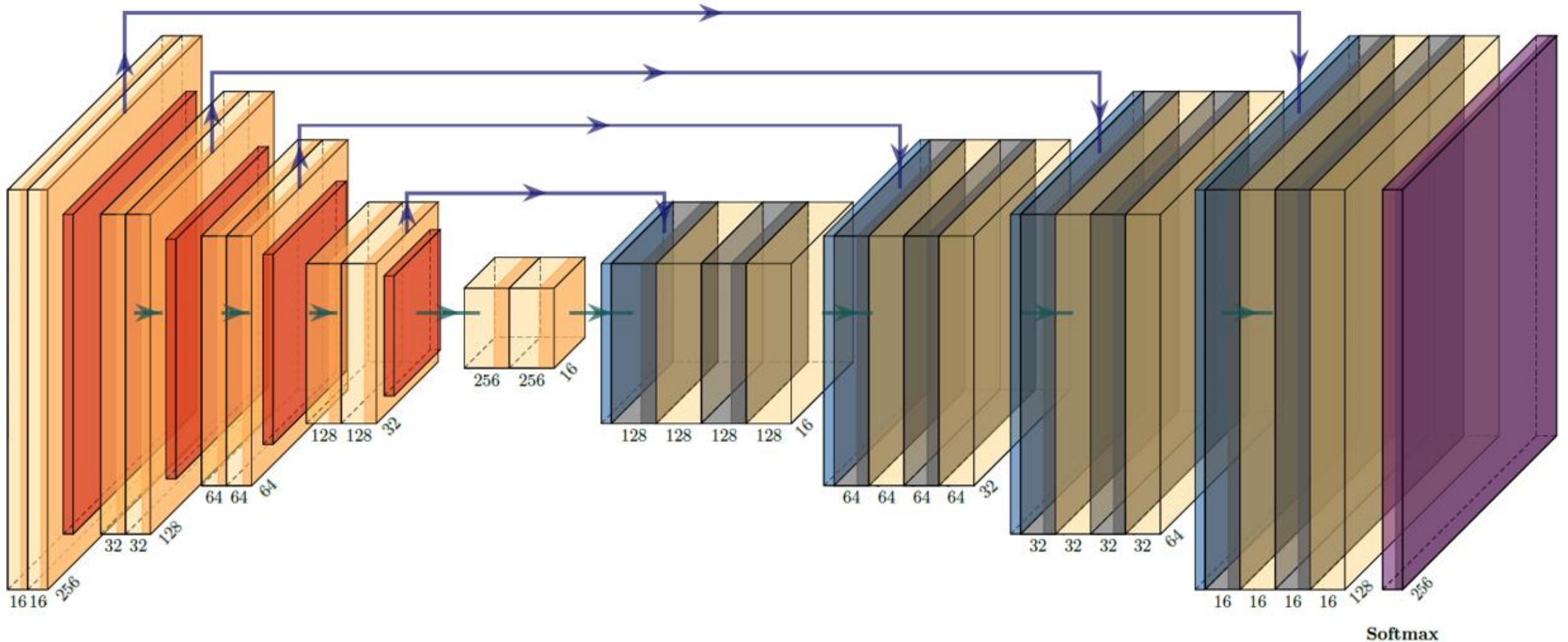
Исходные данные размечались вручную, а затем нарезались на фрагменты 256x256 пикселей.

Таким образом было получено:

- 3277 обучающих фрагментов,
- 900 проверочных фрагментов,
- 460 тестовых фрагментов.



Архитектура U-Net



U-Net подобная архитектура с сильно расширенными блоками свёртки (в каждом блоке от 6 до 10 свёрток) для выделения высоко- и низкоуровневых признаков. Всего свёрточных слоев в архитектуре – 105.

Параметры U-Net

Параметры модели:

- В качестве метрики выбрана функция IoU:

$$IoU = \frac{\text{Площадь пересечения областей}}{\text{Площадь объединения областей}}$$

- В качестве функции потерь использована функция потерь Дайса:

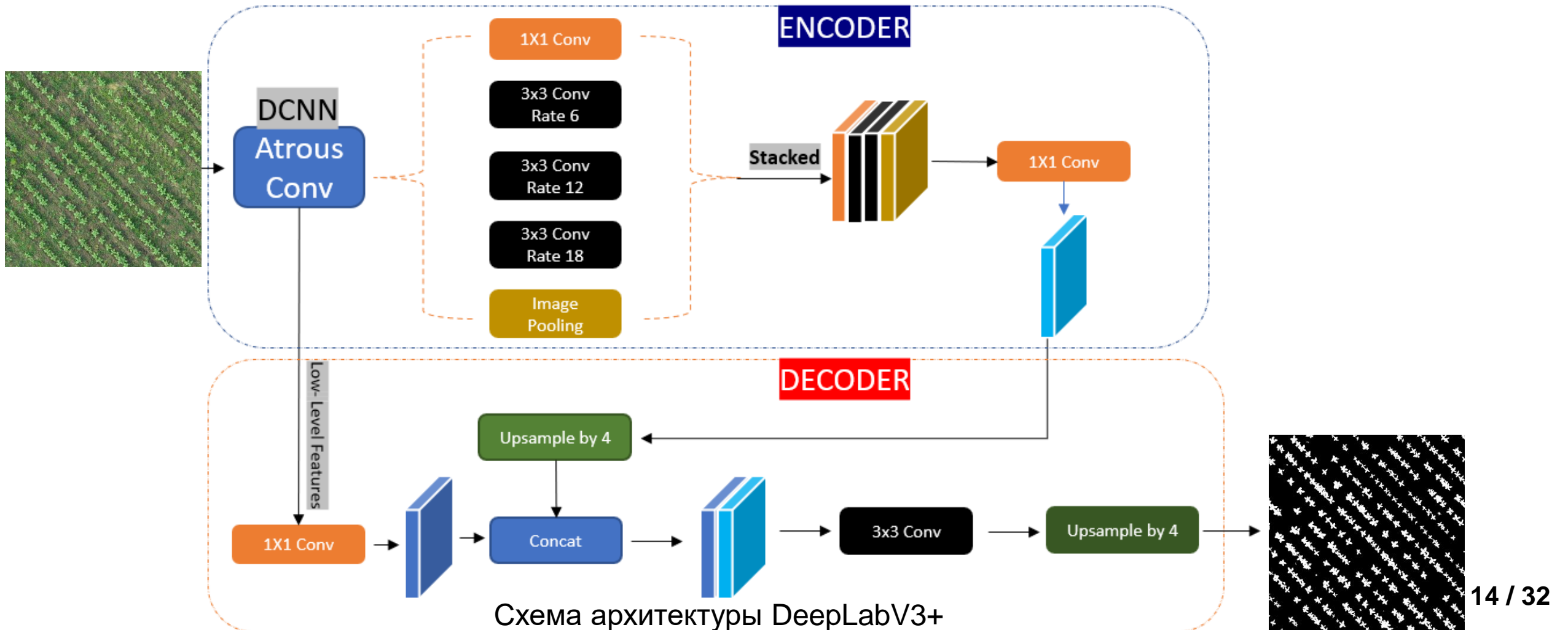
$$Dice = \frac{2 \sum_{i=1}^N p_i g_i}{\sum_{i=1}^N p_i^2 + \sum_{i=1}^N g_i^2},$$

где p_i - пиксели, сегментированные сетью; g_i - пиксели маски.

- В качестве оптимизатора – Adam со скоростью обучения равной 10^{-3} .
- Мини-пакеты размером 8.
- Функции активации $ReLU(x) = \max(0, x)$.

Архитектура DeepLabV3+

DeepLabV3+ - это передовая нейронная сеть для точной сегментации изображений. С её помощью можно выделить объекты на изображениях с высокой детализацией.



Параметры DeepLabV3+

Параметры модели:

- В качестве метрики выбрана функция mIoU:

$$mIoU = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{TP_i}{TP_i + FP_i + FN_i}, \text{ где:}$$

- N - количество объектов или классов в наборе данных,
- TP_i - количество верно предсказанных пикселей для класса i ,
- FP_i - количество ложно предсказанных пикселей для класса i ,
- FN_i - количество непредсказанных пикселей для класса i .

Параметры DeepLabV3+

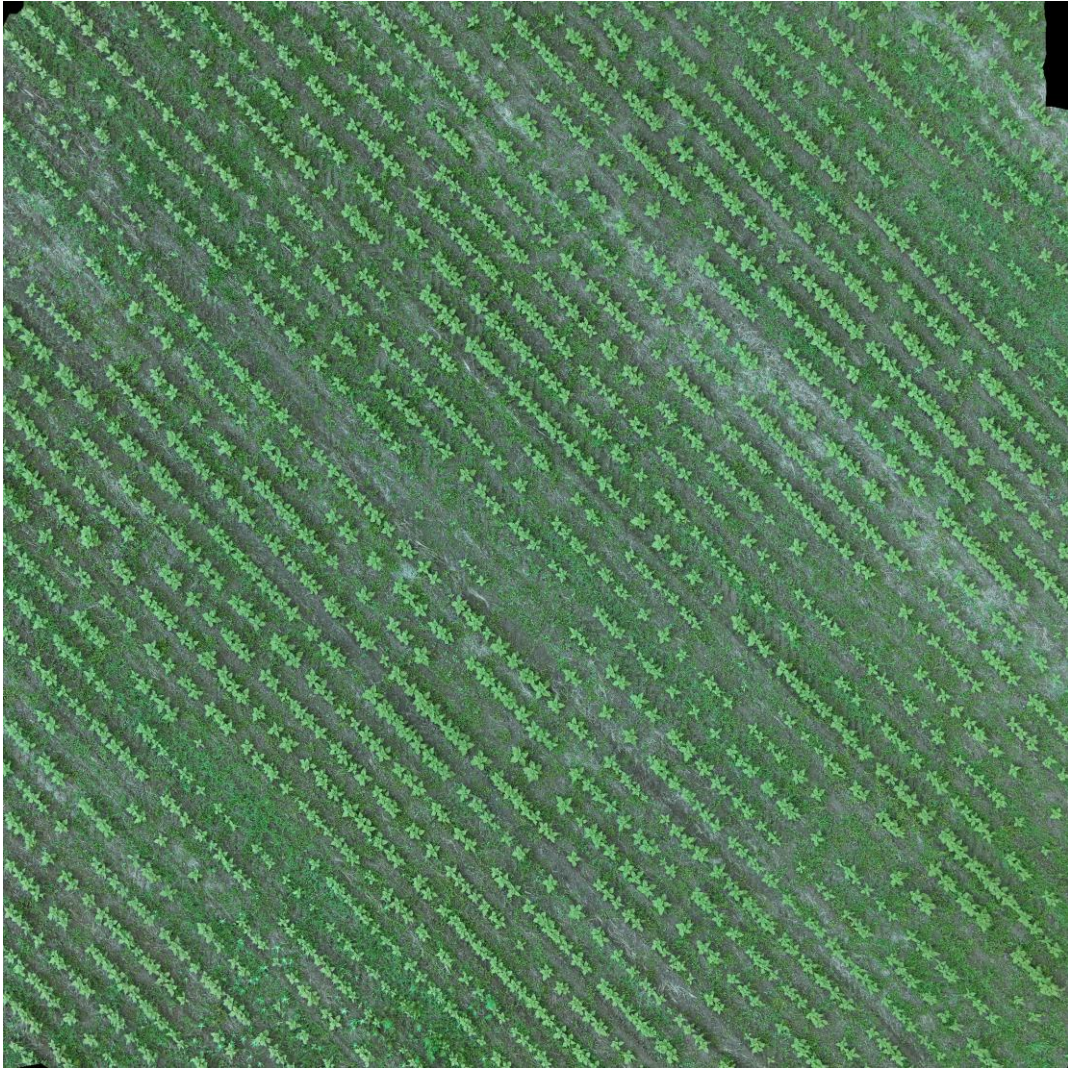
- В качестве функции потерь использована функция потерь Дайса:

$$Dice = \frac{2 \sum_{i=1}^N p_i g_i}{\sum_{i=1}^N p_i^2 + \sum_{i=1}^N g_i^2},$$

где p_i - пиксели, сегментированные сетью; g_i - пиксели маски.

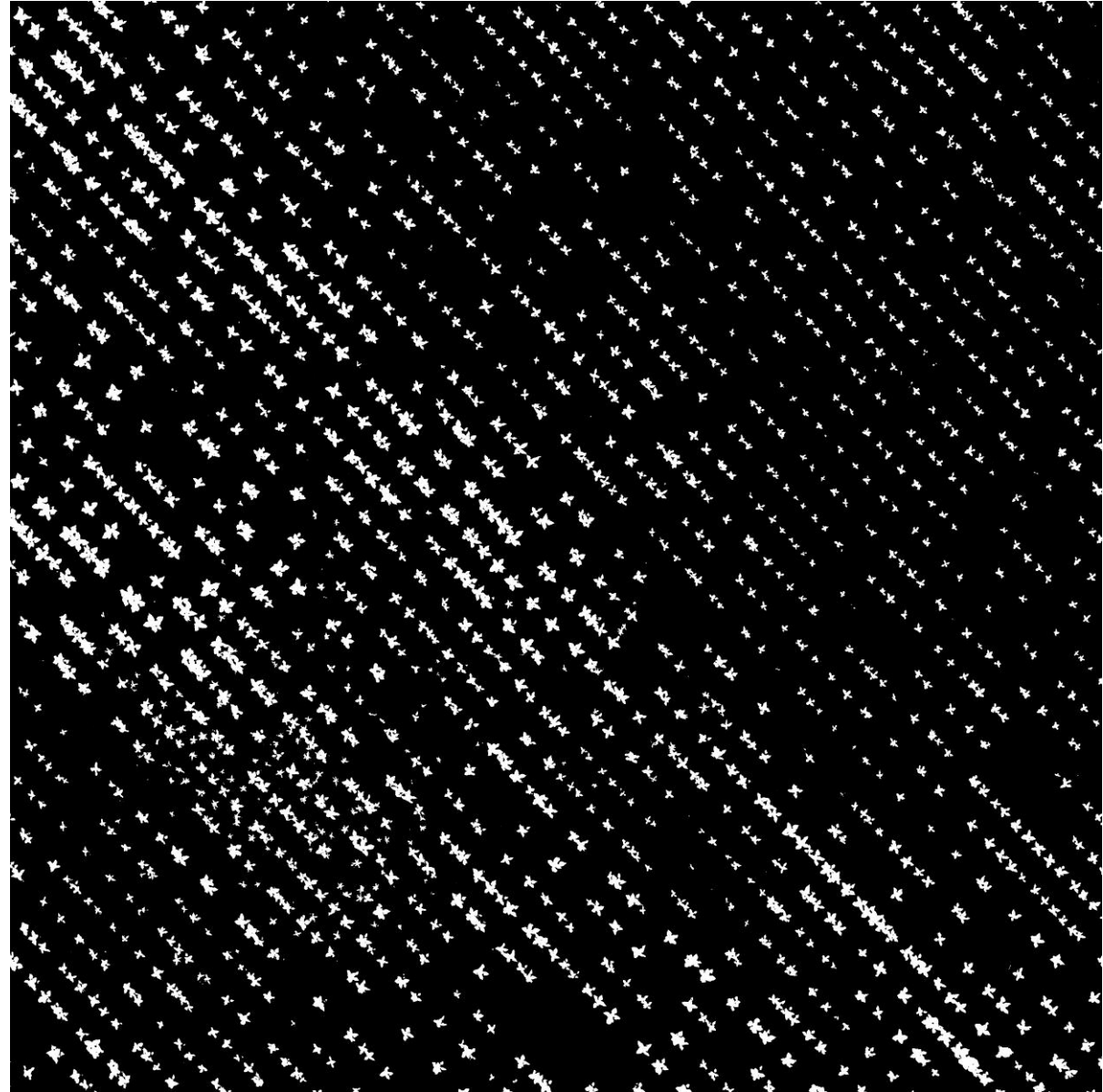
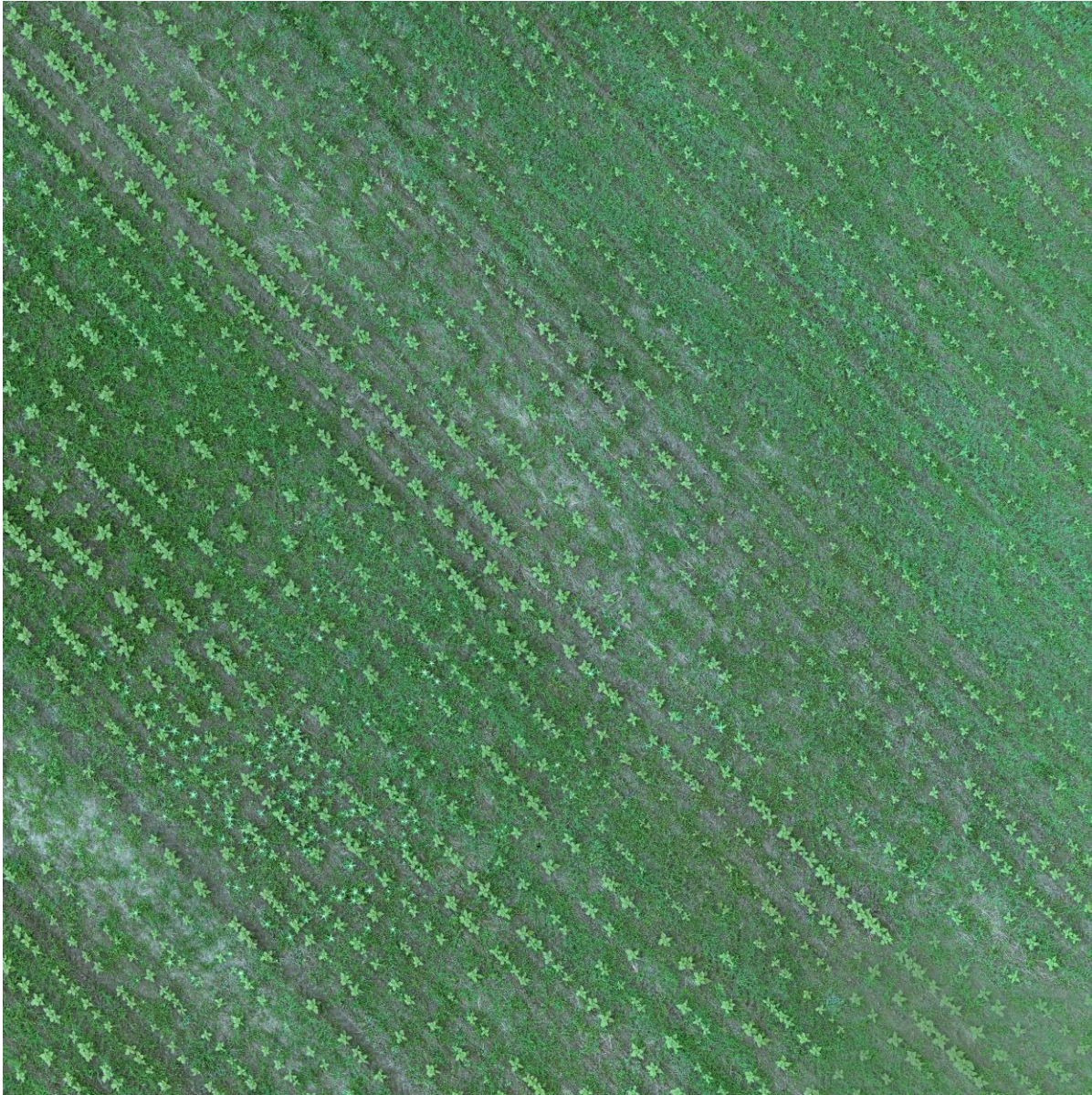
- В качестве оптимизатора – Adam со скоростью обучения равной 10^{-4} .
- Мини-пакеты размером 16.
- Функции активации $ReLU(x) = \max(0, x)$.

Результаты сегментации

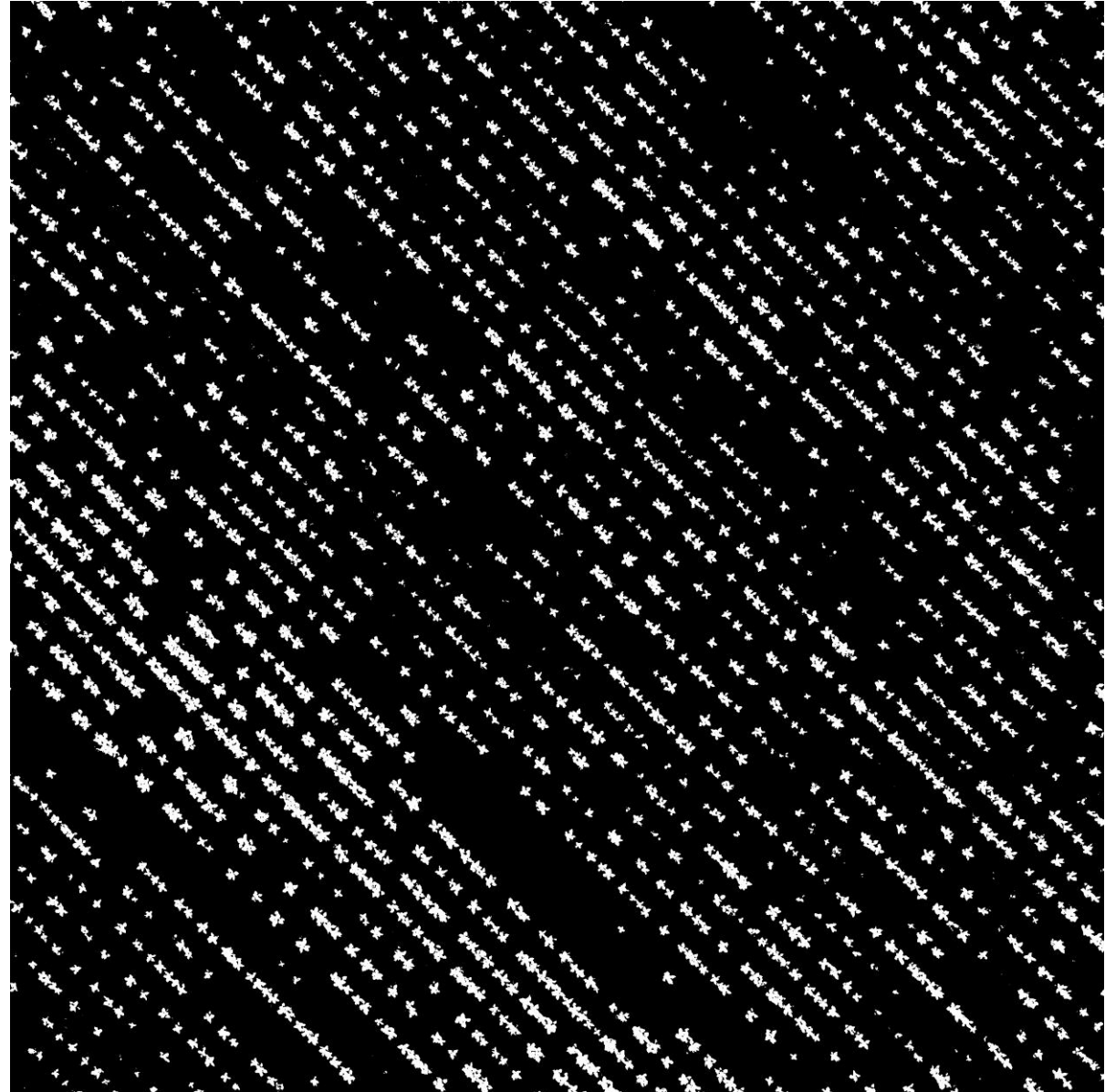
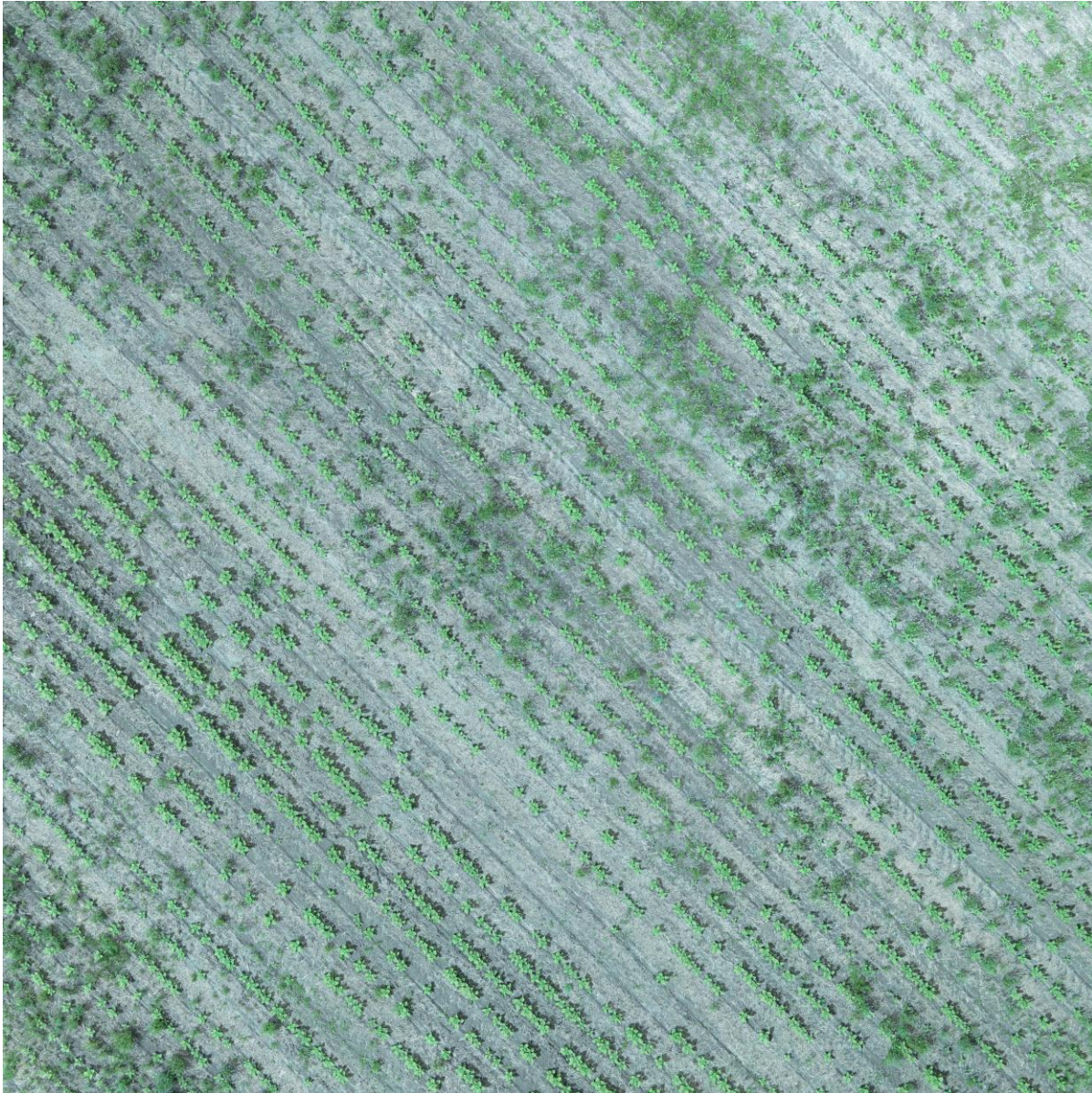


На обучении обе нейросети показали точность ~99%, на валидации ~98%, на тестовых данных точность U-net порядка 96%, DeepLabV3+ около 97.5%.

Результаты сегментации

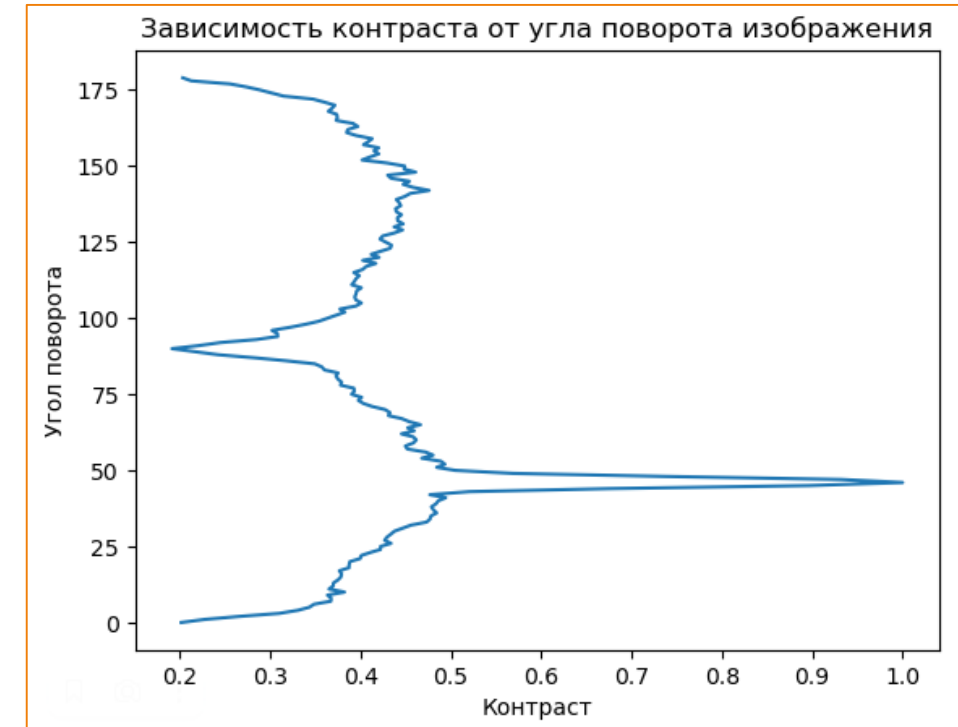
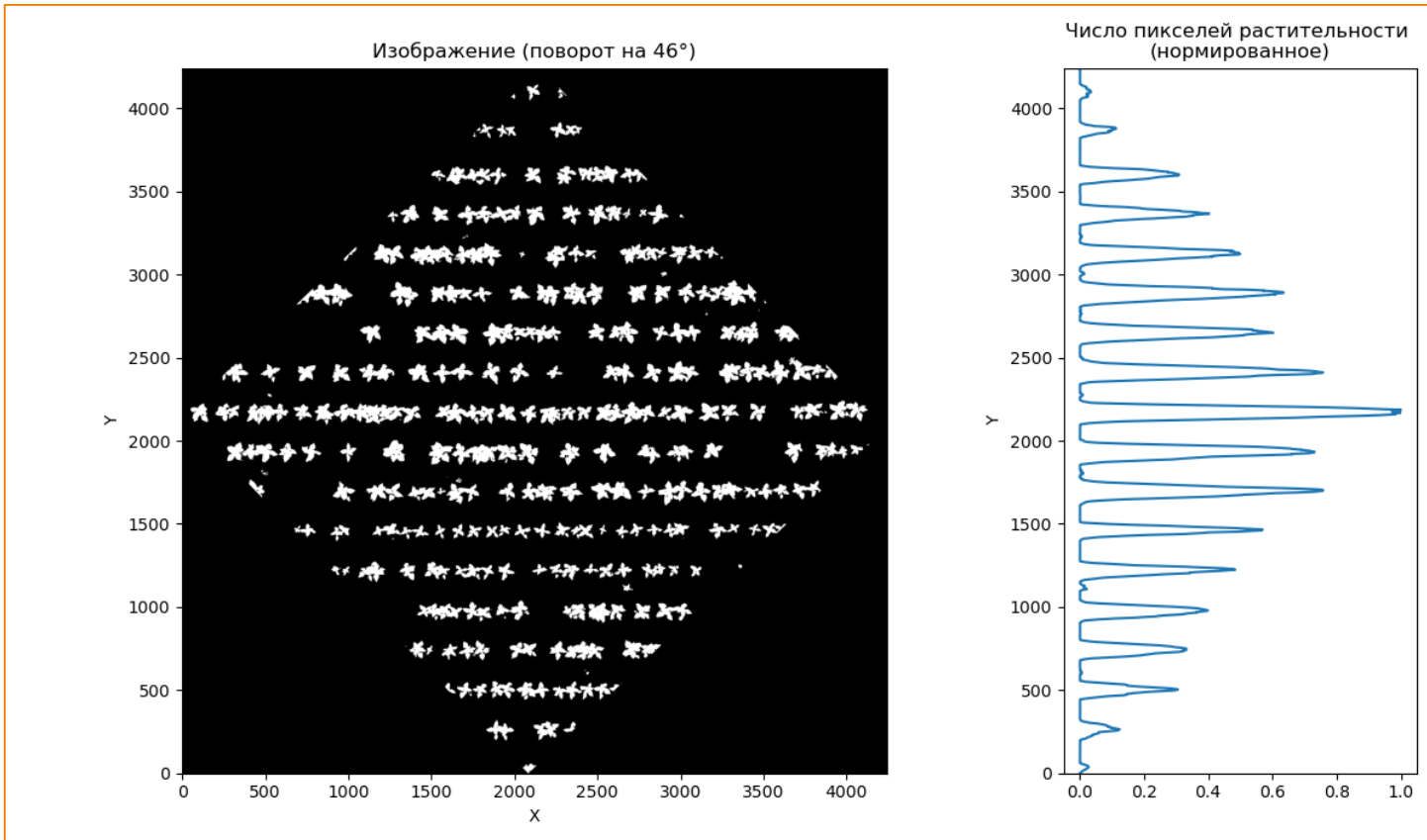


Результаты сегментации



Поиск рядов подсолнечника

1. Определение угла поворота рядов на изображении

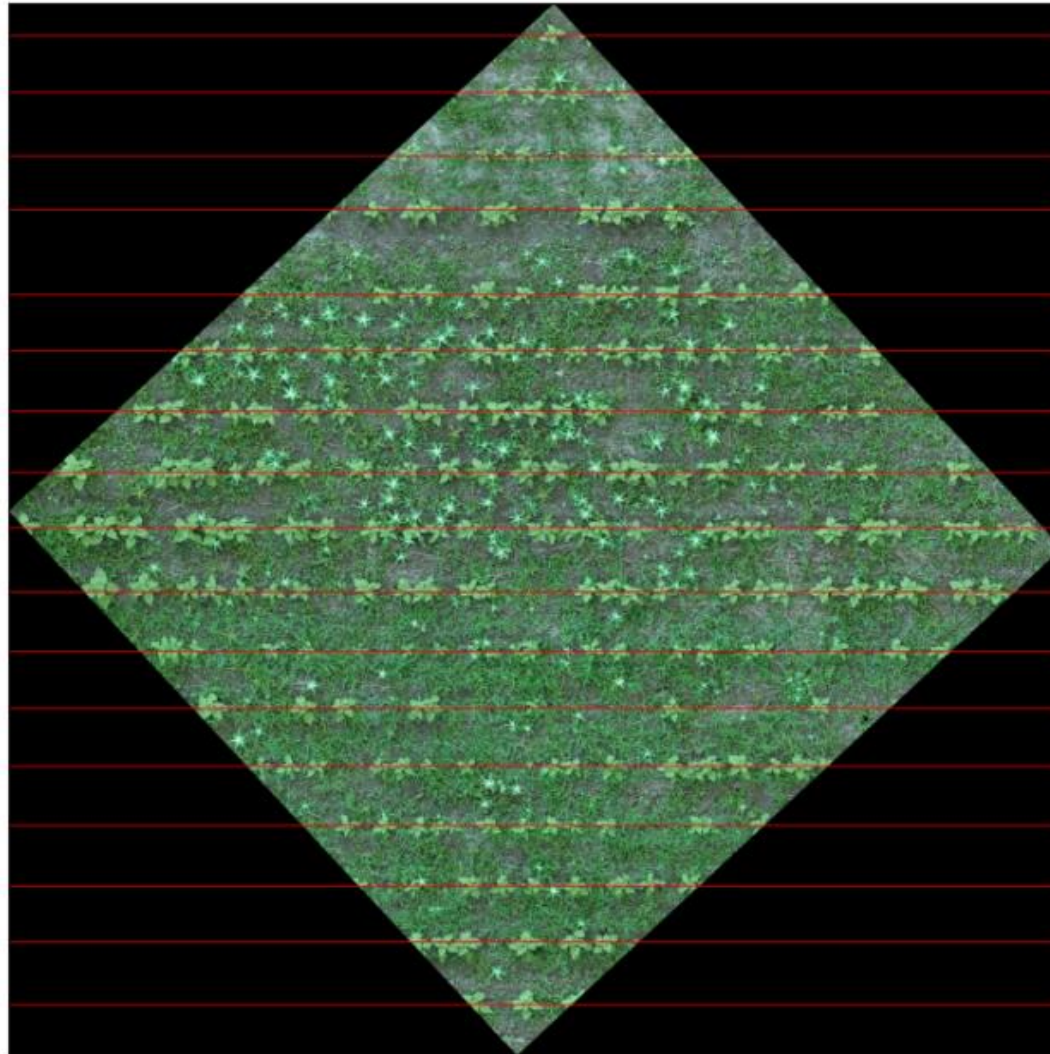


- Для каждого угла вычисляется «контраст» - разница между минимальным и максимальным числом пикселей растительности в горизонтальных полосах
- Определяется угол с максимальным «контрастом»

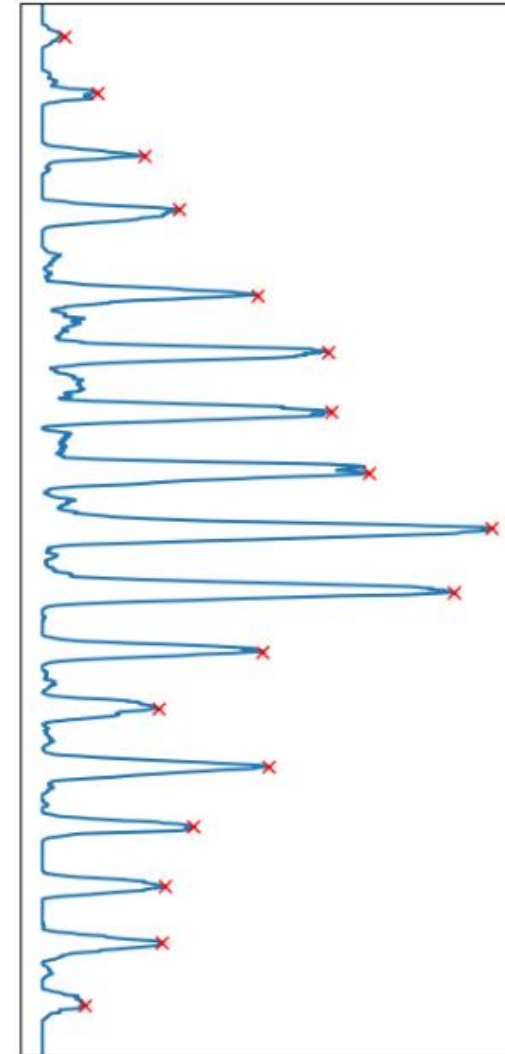
Поиск рядов подсолнечника

2. Определение центральных линий рядов

Изображение (поворот на 47°)



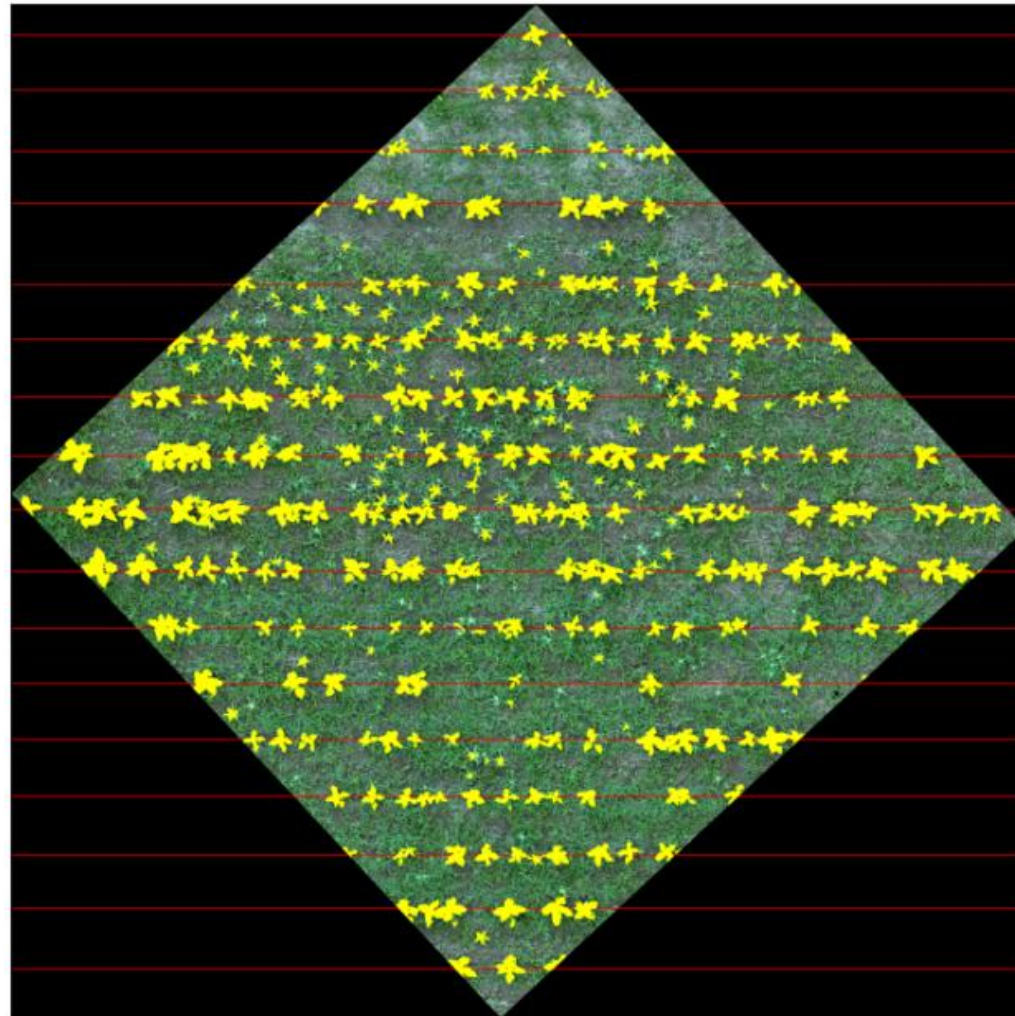
Положение центров рядов



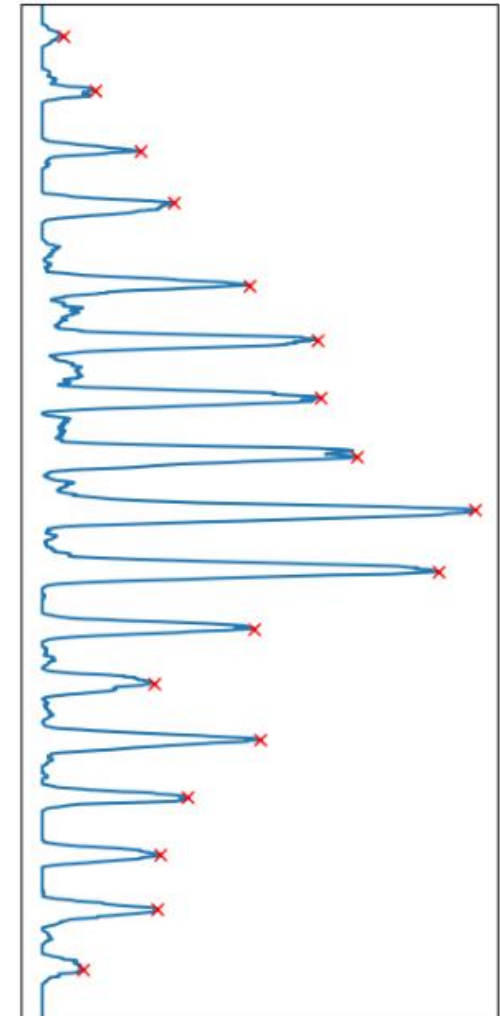
Поиск рядов подсолнечника

3. Удаление сорняков, попавших в междурядье, путем поиска расстояния от центральной линии ряда до «центра масс» сегмента, соответствующего отдельному сорному растению.

Сегментированное изображение (поворот на 47°)



Положение центров рядов

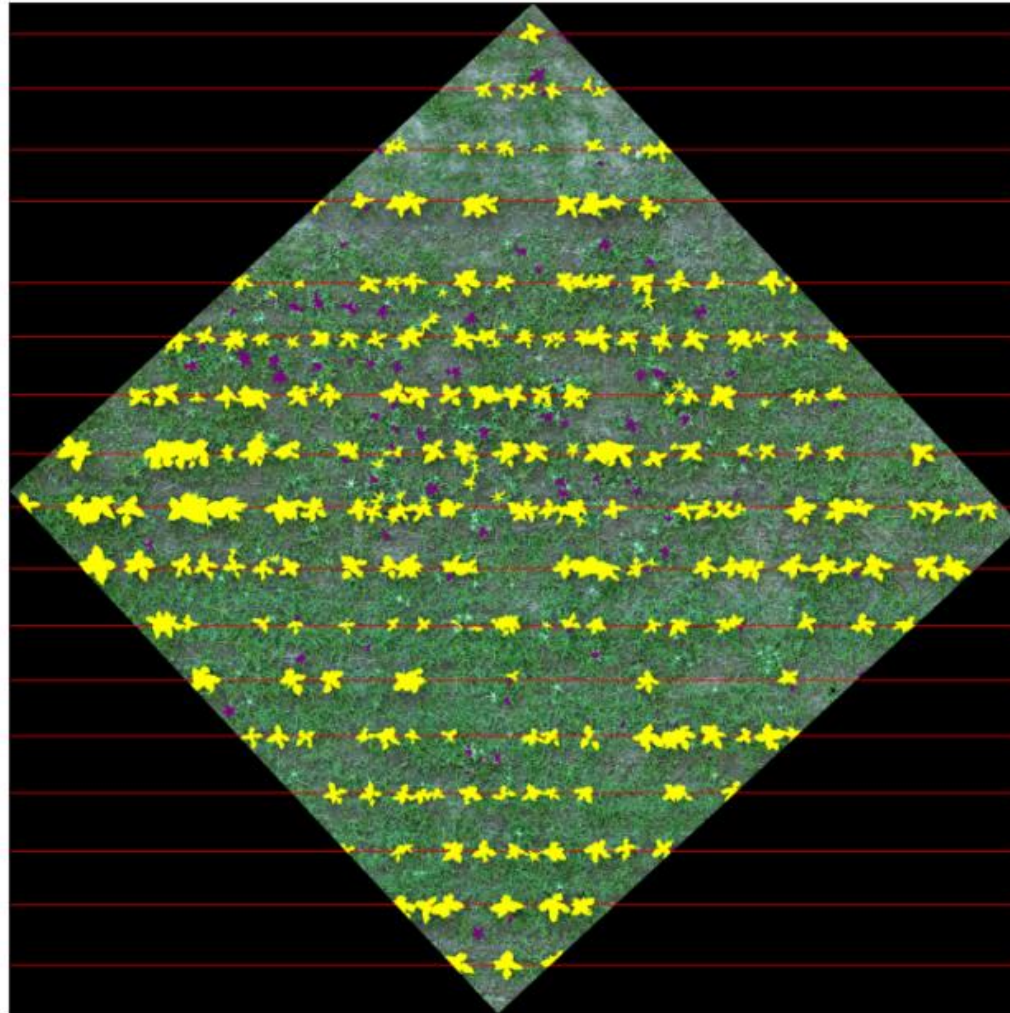


Поиск рядов и междурядий

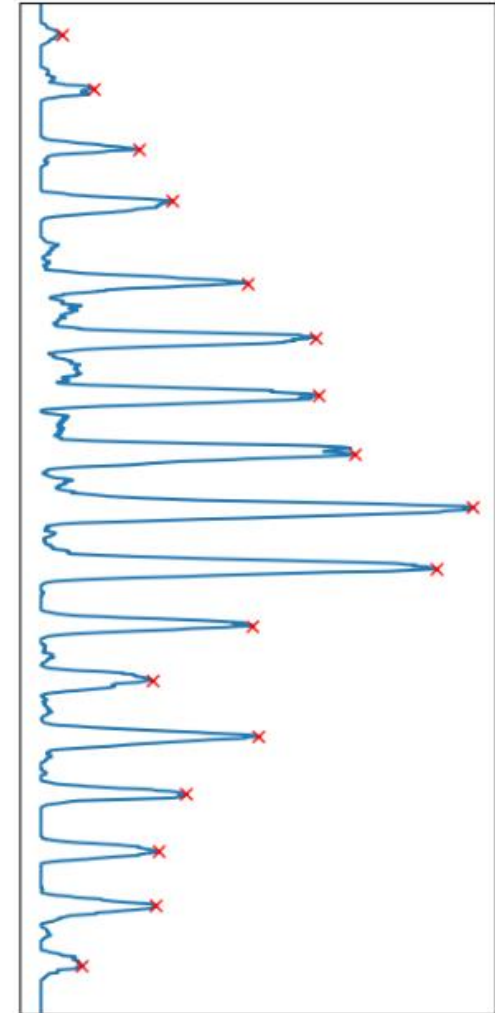
3. Удаление сорняков, попавших в междурядье, путем поиска расстояния от центральной линии ряда подсолнечника до «центра масс» сегмента, соответствующего отдельному сорному растению.

На изображении фиолетовым цветом выделены удалённые сорные растения (осот). Порог отклонения равен $1/5$ среднего расстояния между рядами.

Сегментированное изображение с постобработкой (поворот на 47°)



Положение центров рядов



Подсчет экземпляров подсолнечника

Подсчет растений производился в несколько этапов:

- 1) Сегментация подсолнечника.
- 2) Поиск контуров сегментов и определение их длин.
- 3) Построение минимальных описывающих прямоугольников возле каждого кластера и поиск отношений ширины к высоте.
- 4) Построение регрессии на основе собранной статистики об отношениях ширины к высоте прямоугольников и длин контуров.

Оценка точности подсчета экземпляров подсолнечника на тестовых полях с помощью регрессии составила от **93 до 98%**.

Линейная регрессия

$$\tilde{y}(w, x) = w_0 + w_1 x$$

Оценка по МНК:

$$\min_w \|Xw - y\|_2^2$$

Логистическая регрессия

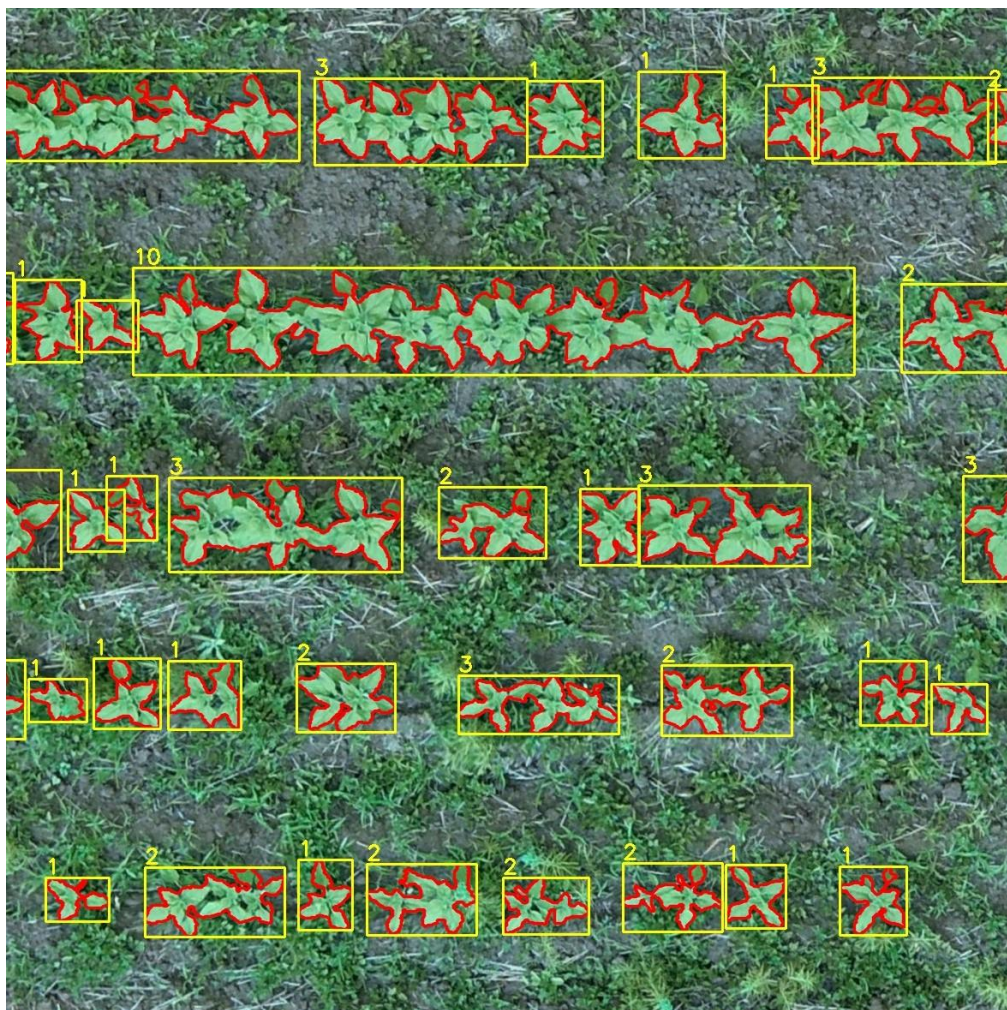
$$\hat{p}_k(X_i) = \frac{e^{X_i W_k + W_{0,k}}}{\sum_{l=0}^{K-1} e^{X_i W_l + W_{0,l}}}$$

Целевая функция:

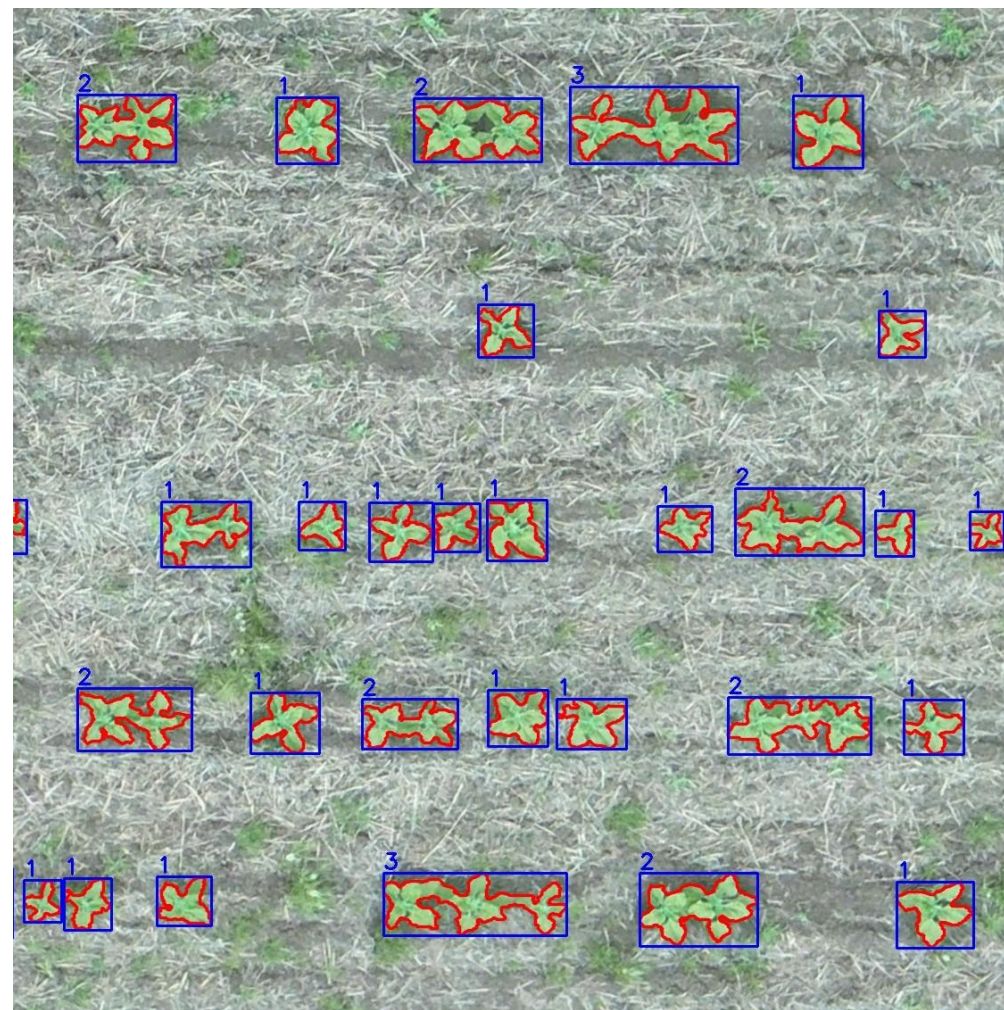
$$\min_W \sum_{i=1}^n \sum_{k=0}^{K-1} [y_i = k] \log(\hat{p}_k(X_i)) + r(W),$$

$$\text{где } r(W) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^K W_{i,j}^2}{2}$$

Иллюстрация процедуры определения числа растений



Фрагмент изображения поля
(Алейский район).



Фрагмент изображения поля
(Поспелихинский район).

Построение карты растительности

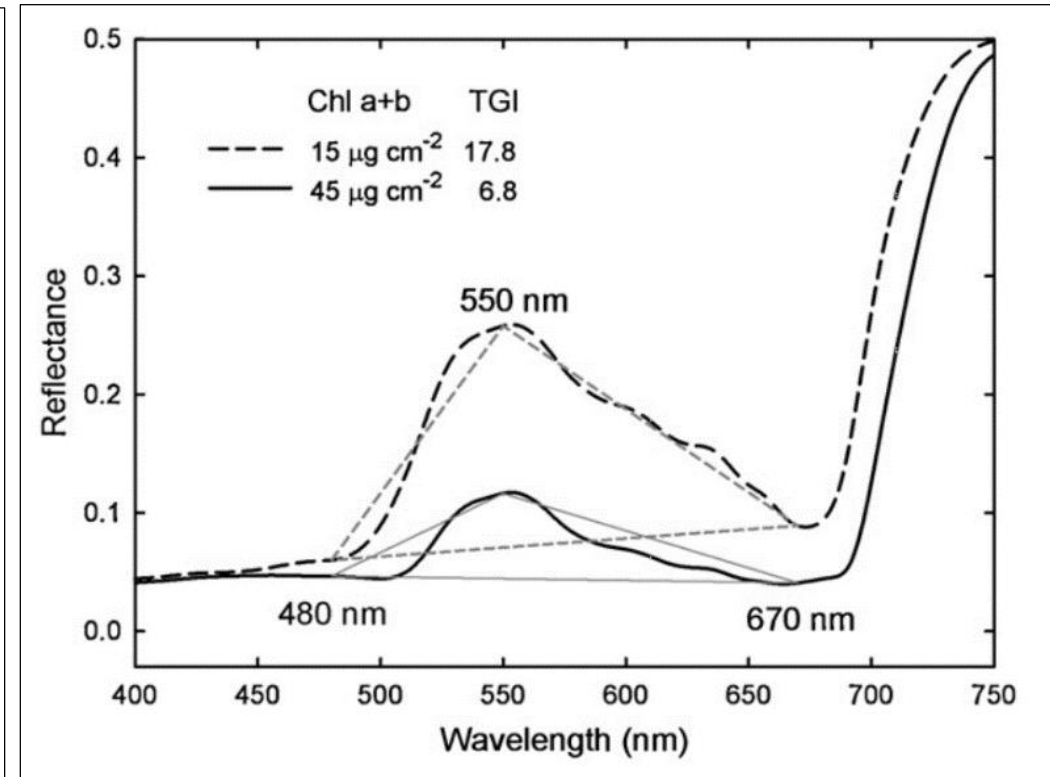
Рассмотрены различные индексы для RGB-изображений: VARI, GLI, NGRDI, VEG характеризующие содержание хлорофилла.

В 2013 г. предложен* индекс Triangular Greenness Index (TGI); показано, что он лучше других коррелирует с содержанием хлорофилла

$$TGI = -0.5((\lambda_R - \lambda_B)(R - G) - (\lambda_R - \lambda_G)(R - B))$$

Для типичных длин волн:

$$TGI = -0.61B + G - 0.39R$$



* Raymond Hunt Jr, Doraiswamy C. et al. **A visible band index for remote sensing leaf chlorophyll content at the canopy scale** // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2013. Vol. 21. P. 103-112. DOI: 10.1016/j.jag.2012.07.020

Поиск индексов для выделения растительности

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B}$$

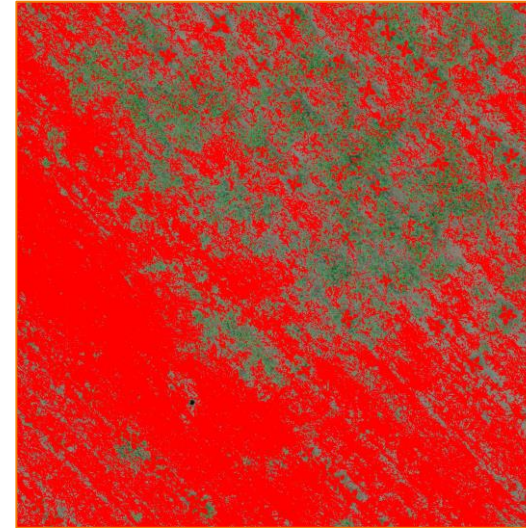
$$GLI = \frac{2 \times G - R - B}{2 \times G + R + B}$$

$$NGRDI = \frac{G - R}{G + R}$$

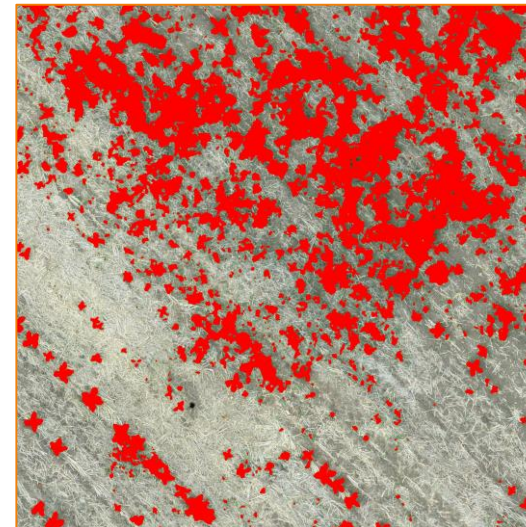
$$VEG = 2 \times G - R - B$$

$$TGI = -0.61 \times B + G - 0.39 \times R$$

Индекс TGI в отличие от индекса VEG не позволяет пороговыми методами отделить растительность от соломы.

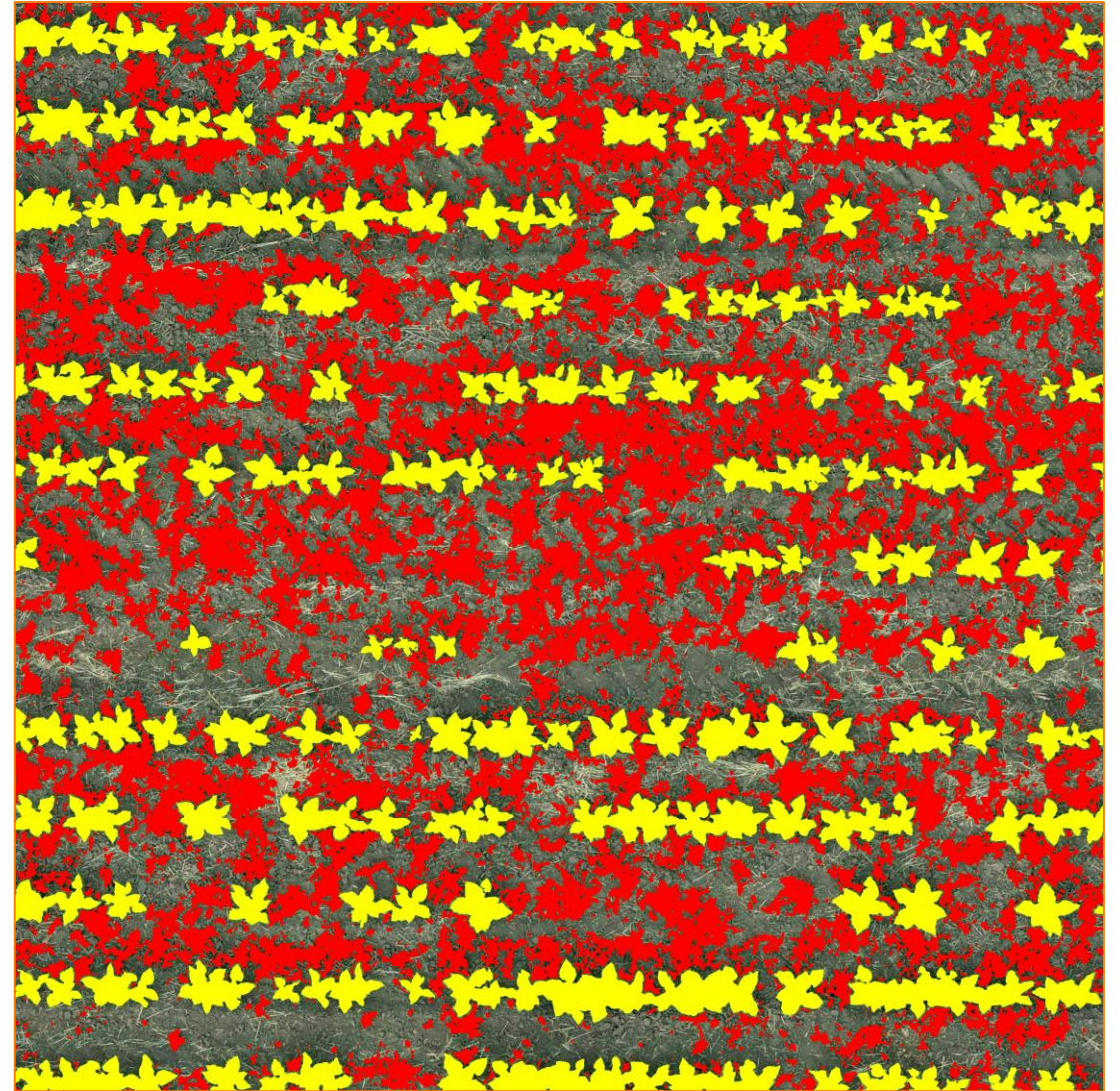


TGI (порог > 180)



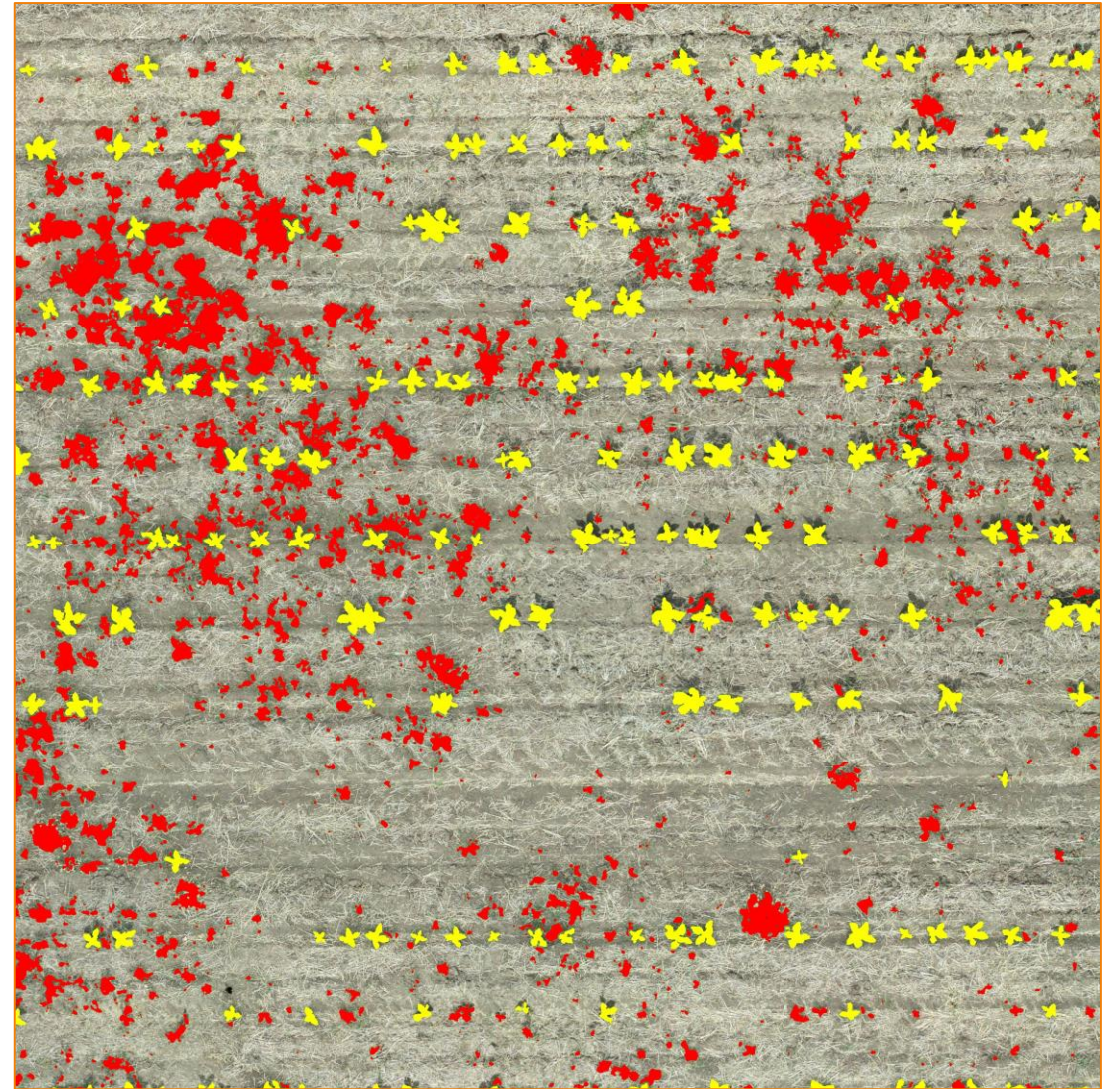
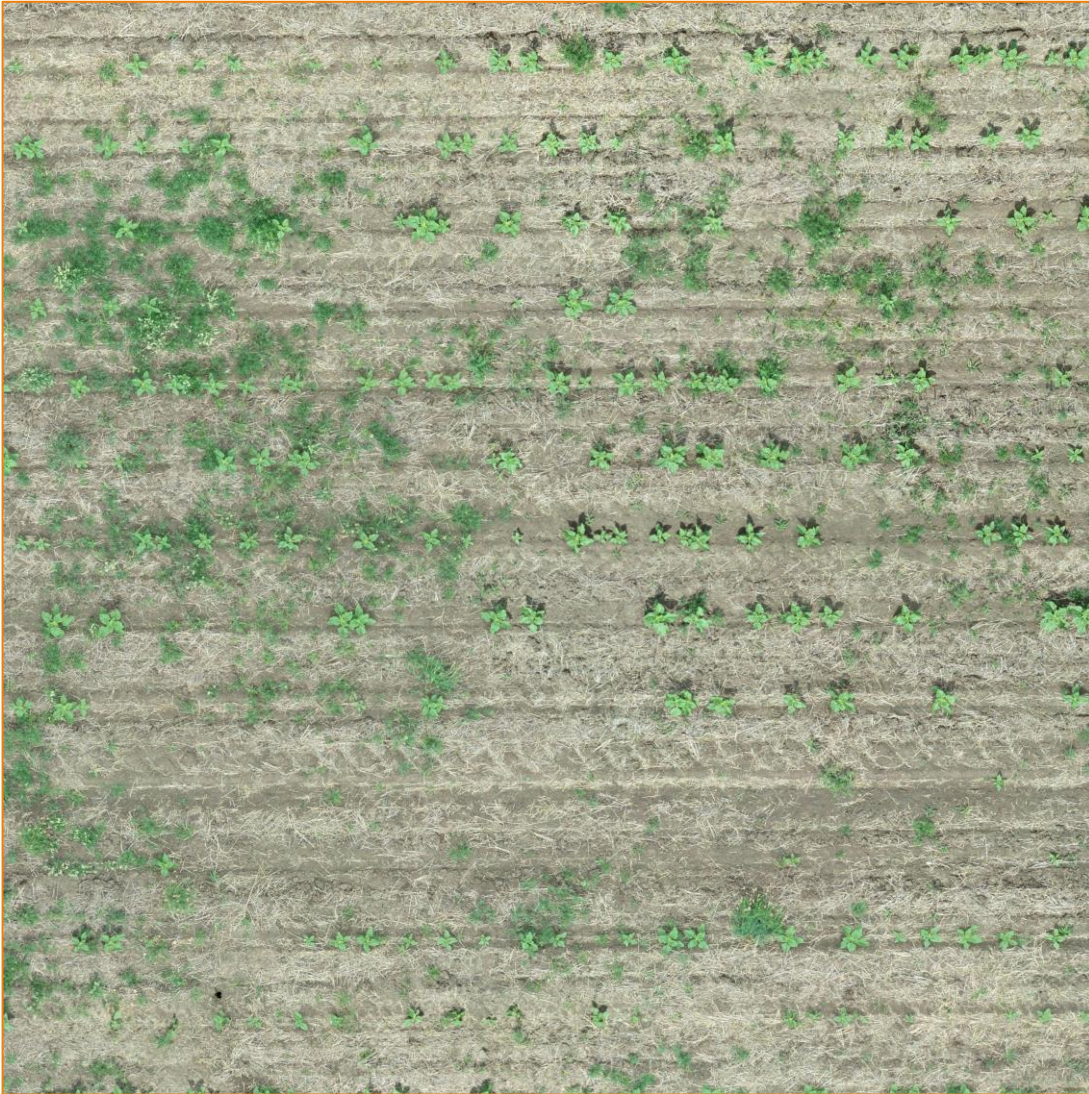
VEG (порог > 60)

Построение карты растительности



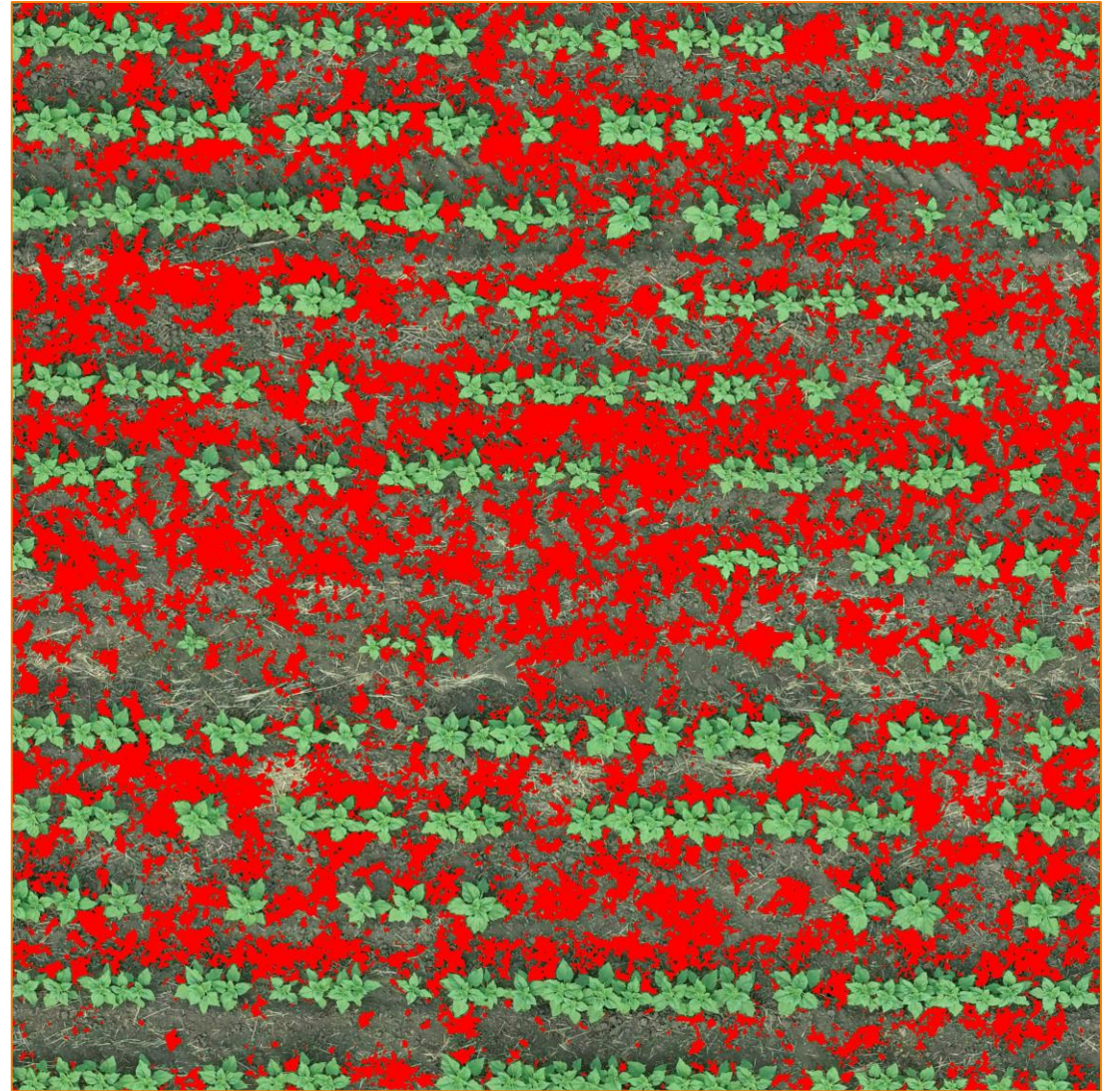
Всходы подсолнечника (Алейский район)

Построение карты растительности



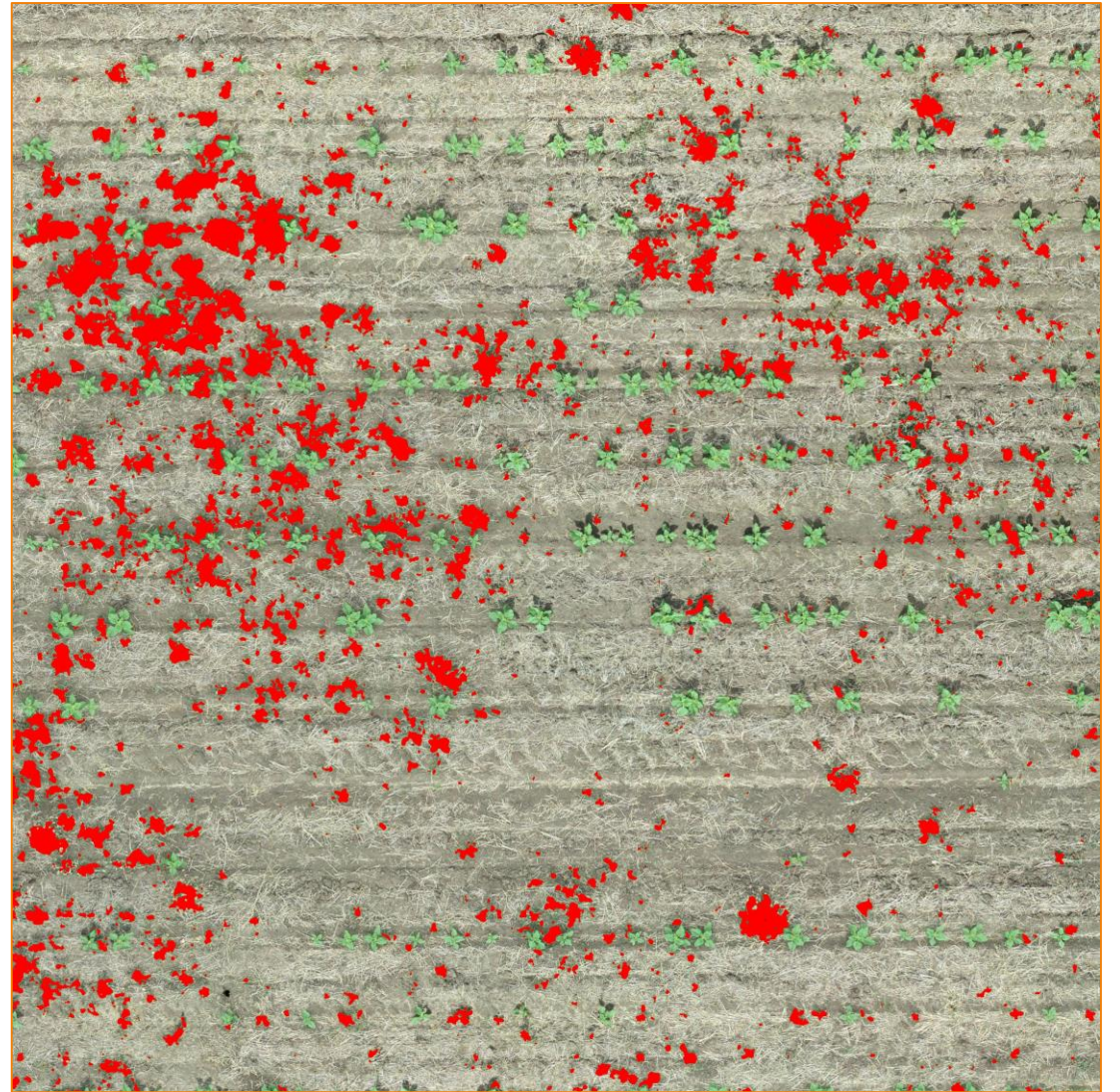
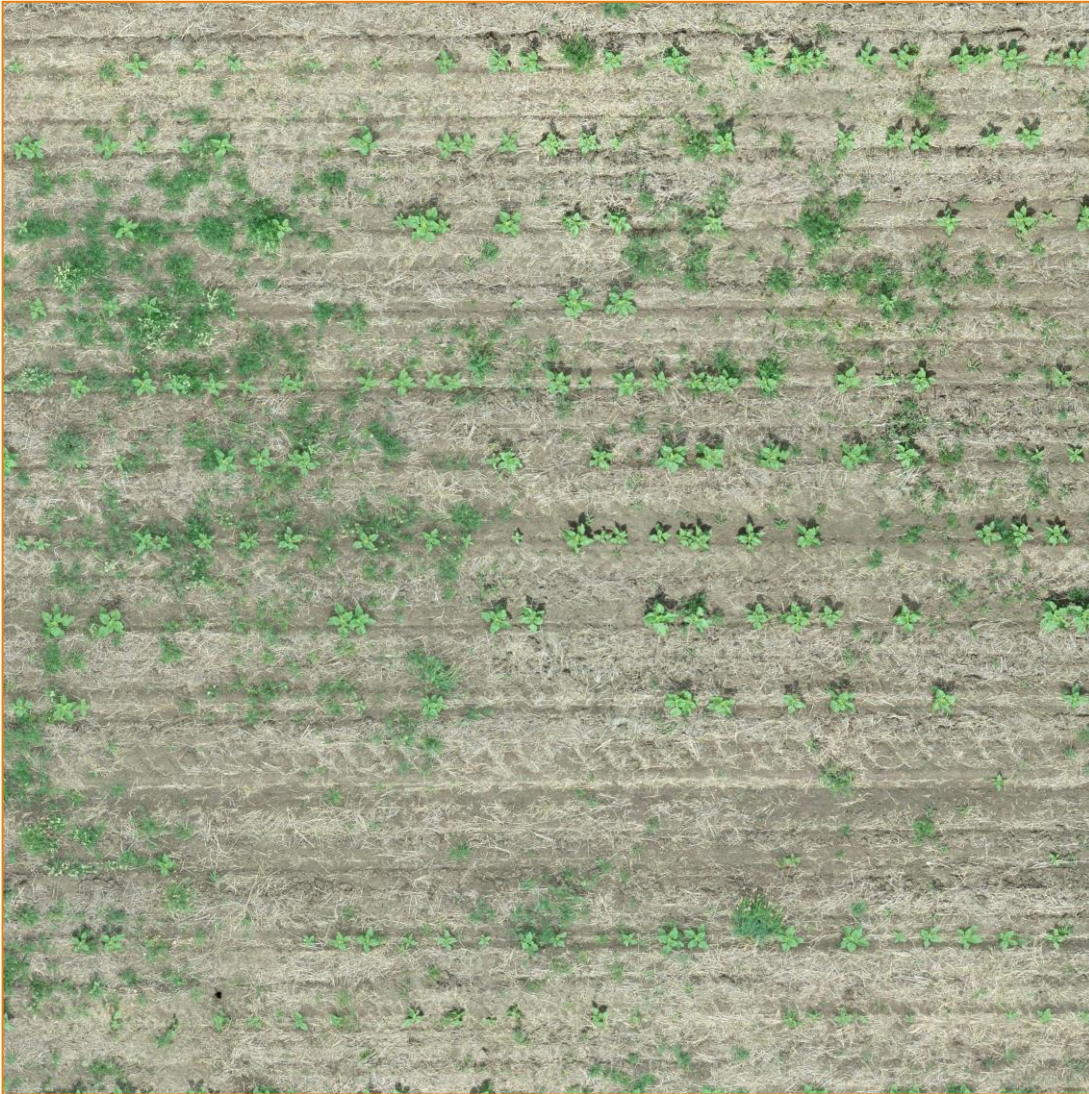
Всходы подсолнечника (Поспелихинский район)

Фрагменты карт сорной растительности



Карта сорной растительности (Алейский район)

Фрагменты карт сорной растительности



Карта сорной растительности (Поспелихинский район)

Заключение

1. Разработан алгоритм определения количественной оценки качества всходов подсолнечника по RGB-изображениям сверхвысокого разрешения, полученным с помощью БПЛА, с использованием глубокого обучения.
2. Экспериментальные исследования показали, что точность подсчета растений на тестовых участках колебалась от 93 до 98%.
3. Разработан алгоритм обнаружения сорняков и автоматического построения карты сорных растений.