



Кубанский государственный
аграрный университет

-1922-

Разработка программного обеспечения для обработки снимков, полученных с беспилотных летательных аппаратов



Краснодар
2019

УДК 631.171 (075.8)
ББК 72.4 (2)

Курченко Н. Ю.

Разработка программного обеспечения для обработки снимков, полученных с беспилотных летательных аппаратов / Н. Ю. Курченко, Я. А. Ильченко, Е. В. Труфляк. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 60 с.

Разработанное программное обеспечение предназначено для работы со снимками, полученными камерой беспилотного летательного аппарата. Основной задачей ставилась «склейка» отснятого фотоматериала в единый массив (карту) для дальнейшего анализа и мониторинга. Программное обеспечение имеет инструменты измерения, цветовой фильтрации изображений и выгрузки карты в различных форматах.

Программное обеспечение состоит из множества подпрограмм, объединенных в единую вычислительную цепочку и выполняющих свою функцию.

Основная целевая аудитория пользователей – специалисты агрономической службы.

УДК 631.171 (075.8)
ББК 72.4 (2)

Оглавление

1. Краткий анализ оборудования для проведения картографирования	5
Sentera High Precision NDVI & NDRE Single Sensor	6
Sentera Quad	6
Sentera Double 4k Sensor	7
Parrot Sequoia	7
MicaSense RedEdge Sensor	7
2. Краткий обзор программных комплексов по обработке, анализу и представлению данных, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов.....	9
DroneDeploy 3D	10
Pix4D	11
AutoDesk ReCap Pro	13
Maps Made Easy.....	13
3DF Zephyr	14
Open Drone Map	14
ESRI Drone2Map.....	16
Autodesk 3D	16
Precision Mapper & Viewer	18
Agisoft PhotoScan.....	18
3. Описание разработанного программного обеспечения для обработки снимков, полученных с беспилотных летательных аппаратов.....	19
4. Результаты дистанционного зондирования полей Краснодарского края.....	28
Анализ полетов по яровой пшенице	29
Анализ посевных площадей перед посевом.....	29
Выявление грызунов с помощью БПЛА.....	33
Анализ всходов и потребности внесения удобрений.....	34

Оценка состояния растений и наличия болезней, вирусов и сорняков.....	37
Мониторинг перед уборкой урожая.....	38
Анализ полетов по подсолнечнику.....	39
Анализ полетов по рису.....	46
Список литературы	57

1. Краткий анализ оборудования для проведения картографирования

Технология мультисенсорной фотосъемки использует полосы зеленого, красного, синего и инфракрасного диапазонов для захвата видимых и невидимых изображений культур и иной растительности. Мультиспектральные изображения интегрируются со специализированным программным обеспечением, которое переводит информацию в цифровые данные. Данные наземной телеметрии, почвы и урожая позволяют контролировать, планировать и управлять процессом более эффективно.

Мультиспектральная камера делает изображения на определенных частотах всего электромагнитного спектра. Длины волн могут быть разделены фильтрами или приборами, чувствительными к определенным длинам волн, включая свет с частотами, выходящими за пределы нашего видимого, например, инфракрасного. Спектральная визуализация также позволяет извлекать дополнительную информацию, которую человеческий глаз не может увидеть.

Каждая поверхность отражает часть света, которую он получает. Объекты с различными поверхностными характеристиками отражают или поглощают излучение солнца по-разному. Отношение отраженного света к падающему свету известно, как коэффициент отражения и выражается в процентах.

Свойства отражающей способности растительности используются для получения индексов растительности. Индексы растительности строятся из измерений отражения в двух или более длинах волн для анализа конкретных характеристик растительности, таких как общая площадь листьев и содержание воды или азота.

В научной литературе опубликовано более 150 индексов растительности, но только небольшое подмножество имеет значительную биофизическую основу или систематически проверено. Самым популярным индексом растительности является NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDRE (Normalized Difference Red Edge) также довольно часто встречается на камерах Sentera, имеющей дополнительный фильтр NDRE. Фотосинтетически активная растительность поглощает большую часть красного света, отражая большую часть ближнего инфракрасного света. Растительность, которая является мертвой или слабой, отражает больше

красного света и меньше инфракрасного света. Принимая отношение красного и ближнего инфракрасного диапазонов от удаленного изображения, можно определить индекс «зелени» растительности. Индекс NDVI рассчитывается на пиксельной основе как нормализованная разница между красной и ближней инфракрасной полосами от изображения.

Индекс NDVI можно рассчитать для любого изображения с красной и ближней инфракрасной полосой. Биофизическая интерпретация NDVI представляет собой долю поглощенного фотосинтетически активного излучения. Многие факторы влияют на значения NDVI, такие как фотосинтетическая активность растений, общий растительный покров, биомасса, влажность растений и почвы.

Sentera High Precision NDVI & NDRE Single Sensor

Сенсор интегрируется на множество беспилотных платформ, позволяя любому производителю получить доступ к данным об урожае. Датчик доступен в двух вариантах – NDVI и NDRE. Данные камеры создают четкие, детализированные снимки RGB или снимки ближней инфракрасной области спектра (NIR), позволяющие создавать нормализованные карты урожая индексов растительности (NDVI). Уровень подробной информации предоставляет пользователям информацию о зрелости сельскохозяйственных культур.

Sentera Quad

Одна из самых легких камер по массе, имеет компактный и высокопроизводительный мультиспектральный датчик (рисунок 1.1). Датчик способен распознавать шесть конкретных полос света, а также измерять полноэкранный RGB для создания цветных изображений.



Рисунок 1.1 – Камера Sentera Quad

Sentera Double 4k Sensor

Датчик также является одним из самых маленьких двойных датчиков (рисунок 1.2). Он также совместим с любым беспилотным летательным аппаратом (БПЛА). Интегрируется с программным обеспечением AgVault.



Рисунок 1.2 – Камера Sentera Double 4k Sensor

Parrot Sequoia

Сенсор делает изображения культур по четырем четко определенным, видимым и невидимым спектральным полосам, а также изображениям RGB (рисунок 1.3). Это решение использует два датчика. Второй датчик освещенности, установленный на задней части беспилотного летательного аппарата.



Рисунок 1.3 – Камера Parrot Sequoia

MicaSense RedEdge Sensor

Мультиспектральная сенсорная система RedEdge одновременно захватывает пять дискретных спектральных диапазонов, что позволяет

создавать индивидуальные индексы для индивидуальных приложений (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Камера MicaSense RedEdge Sensor

Конструкция затвора создает изображения без искажений на каждой платформе. Датчик позволяет измерять условия внешнего освещения во время полета для получения более точных данных при различных условиях освещения.

2. Краткий обзор программных комплексов по обработке, анализу и представлению данных, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов

В настоящее время, в связи с появлением недорогих способов мониторинга земной поверхности, агропромышленный комплекс страны получил мощный инструмент для исследования процессов эрозии почв, наблюдения за развитием растений, их болезнями, засоренностью.

Основным способом оценки параметров изучаемых объектов (почва, засоренность, объем зеленой массы и т. д.) является обработка и интерпретация фотоснимков, полученных с беспилотных летательных аппаратов. Камера летательного аппарата снимает значительное число фотографий поверхности объекта, которые в свою очередь для корректного их объединения в единую карту, снимаются со значительным перекрытием.

Для создания карты и ее анализа требуется разработка программных решений или использование существующих. Учитывая, что при интерпретации и апробации результатов исследований необходима и их программная реализация, то разработка собственного программного комплекса видится наиболее корректным решением, т. к. полученные результаты и выводы могут иметь значительный коммерческий потенциал. В тоже самое время существует ряд программных комплексов с открытым кодом, которые возможно использовать как основу. Все программы в итоге выдают трехмерную карту поверхности, которая позволяет проводить последующие измерения и исследования в различных ракурсах.

После обработки данных с летательного аппарата можно получить следующие данные:

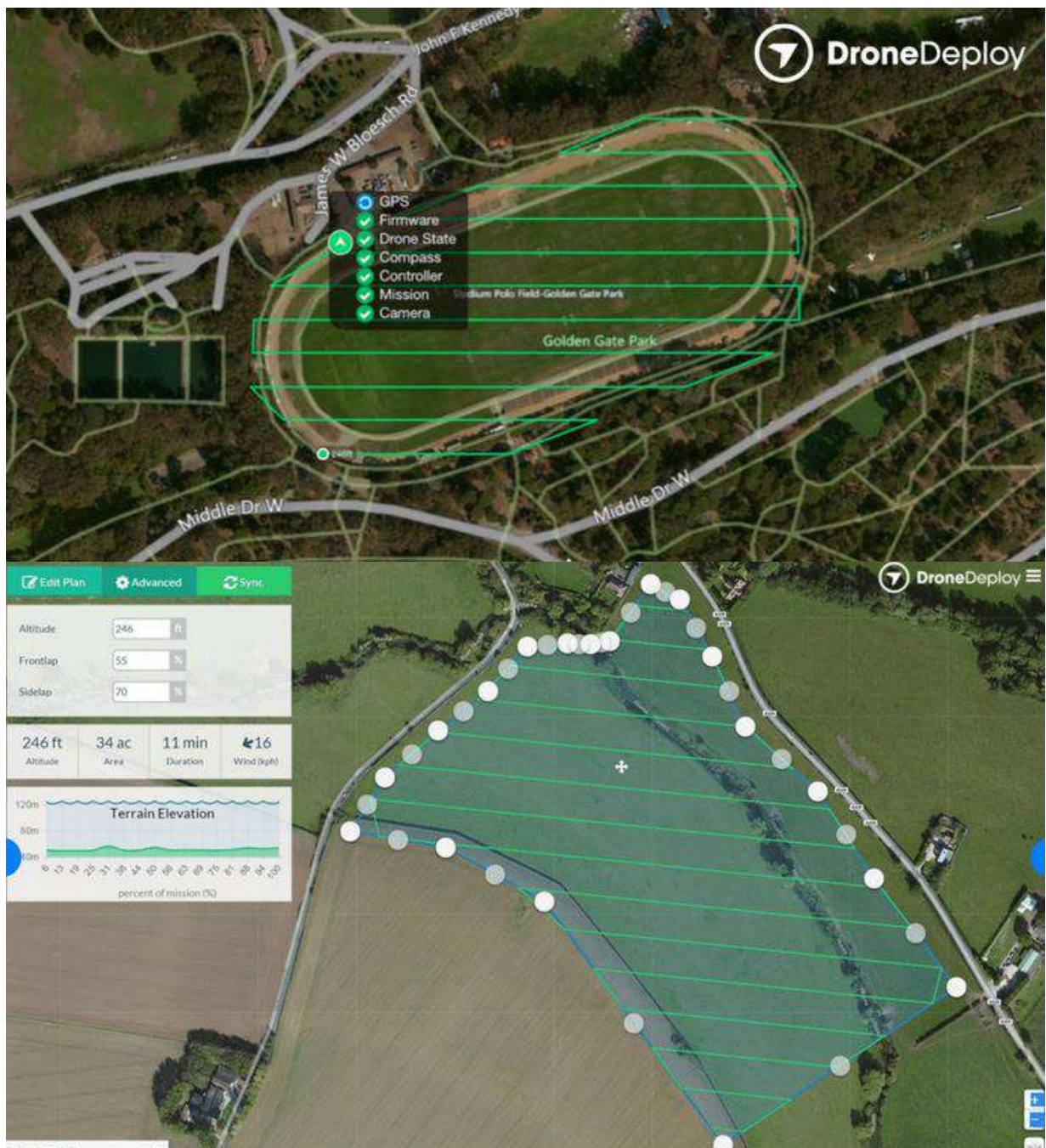
- точечное множество, определяемое в трехмерных координатах;
- трехмерную карту вегетационного периода;
- карту высот поверхности;
- пространственно нормализованные карты поверхности;
- карты поверхности, позволяющие оценить геометрический объем любого участка.

При наличии мультиспектральных камер объем полученной информации значительно увеличивается и позволяет выявить качественно новые зависимости.

Рассмотрим некоторые решения в области фотограмметрии.

DroneDeploy 3D

Программа DroneDeploy является ведущей компанией в области облачной обработки данных с беспилотных летательных аппаратов. Одним из достоинств данного программного продукта является наличие мобильной версии, которая позволяет управлять летательным аппаратом с мобильного устройства и получать карты поверхности (рисунок 2.1). Предназначена для работы, в основном, с летательными аппаратами компании DJI.



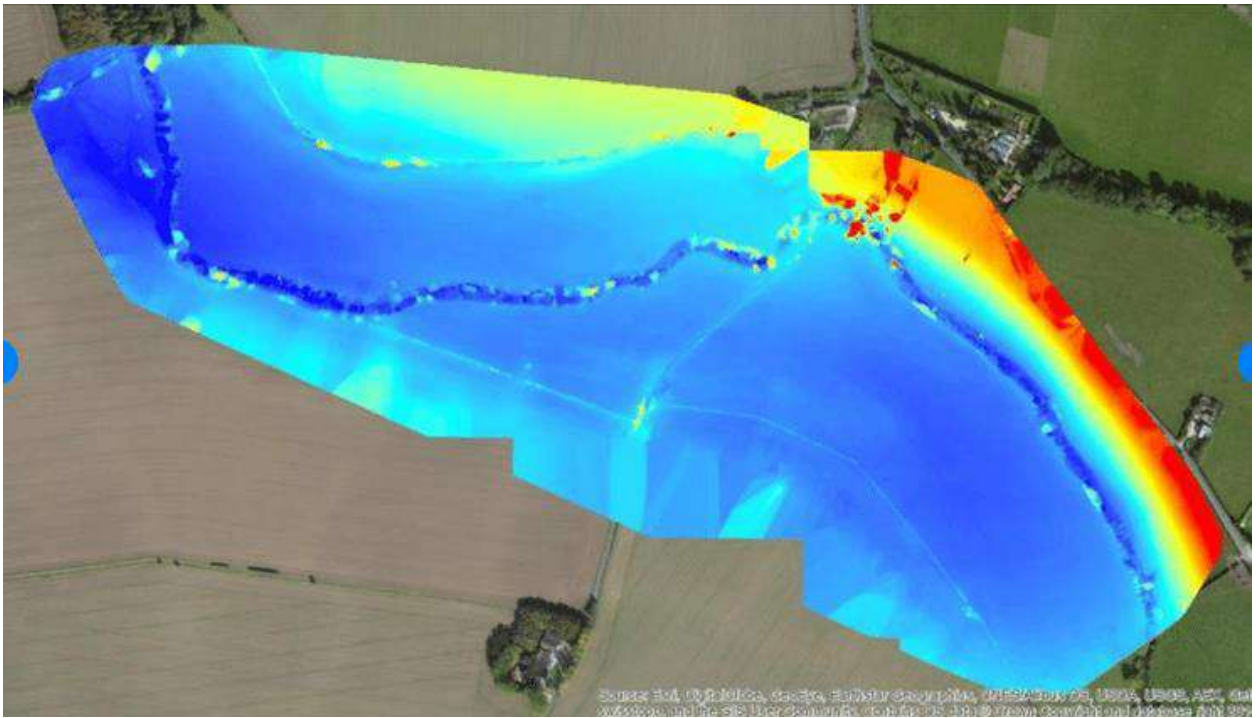


Рисунок 2.1 – Изображения, полученные в программе DroneDeploy

Можно получить данные о дистанциях, площадях и объемах. Также доступен анализ высот и нормализованного относительного индекса растительности.

При использовании интернет-сайта DroneDeploy возможны:

- загрузка полученных данных для дальнейшей обработки и получения карт высокого разрешения;
- обработка заданных точек на поверхности для получения высокоточных карт поверхности, ограниченных этими точками;
- экспорт данных в необходимый пользователю формат.

Pix4D

Программа Pix4D позволяет создавать объемные модели объектов и карт после обработки изображений с летательного аппарата. Программа также позволяет, в частности, получить точечное множество, цифровую модель поверхности, ландшафт, нормализованные карты, карты с текстурированными поверхностями (рисунок 2.2).

Ключевыми особенностями Pix4D являются:

- возможность получения трехмерных моделей из точечного множества, где каждая точка несет не только значения координат, но и цвет;
- цифровая поверхность, где можно получить высоту каждой точки множества объекта, состоящего из множества точек;

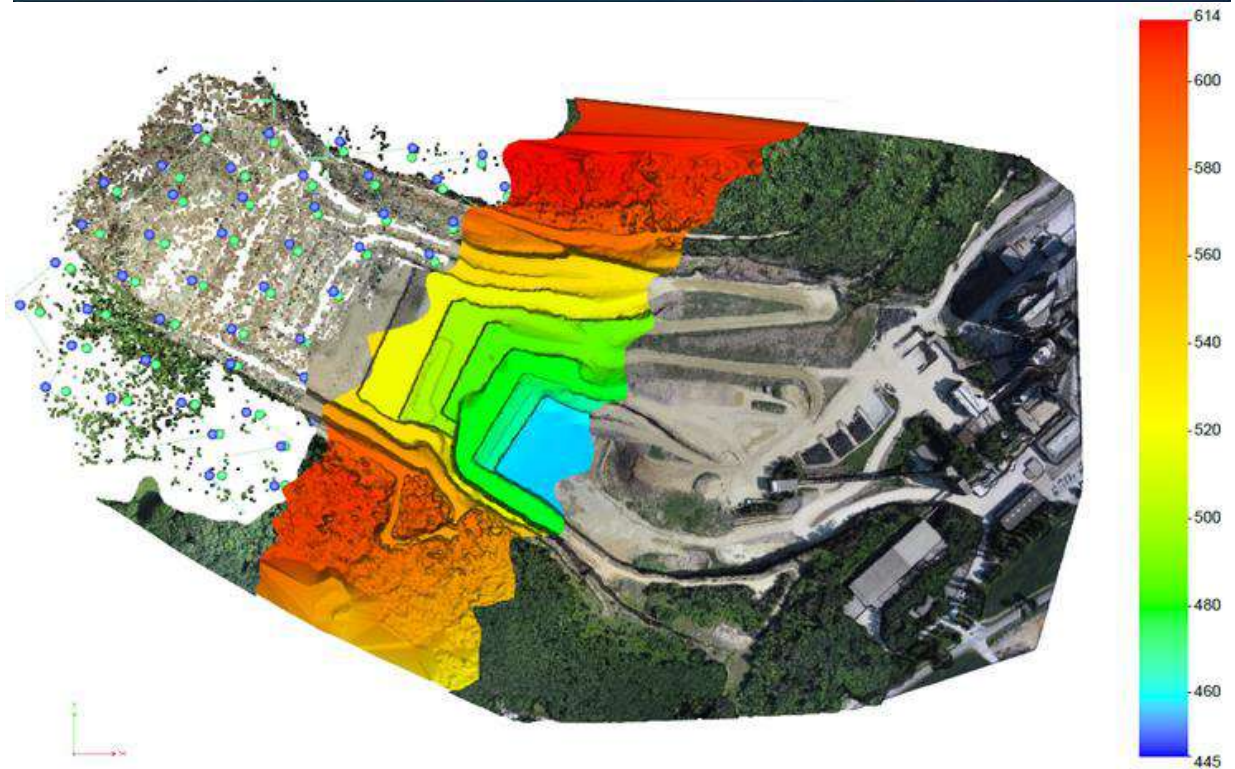
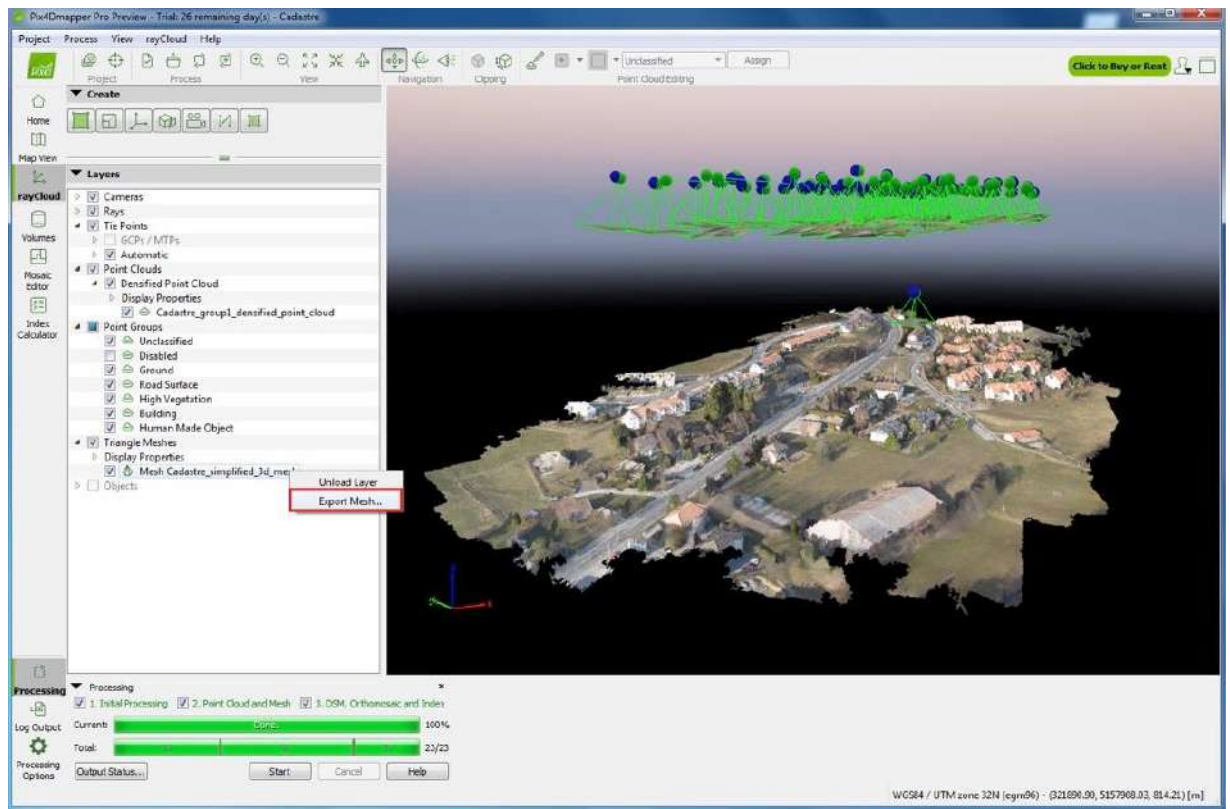


Рисунок 2.2 – Изображения, полученные в программе Pix4D

- карты высокого разрешения где каждая точка спроецирована на цифровую поверхность;
- точный подсчет объемов поверхности, для получения информации, например, о существующих запасах материалов или продукции;

- использование контурных линий для обозначения существующих высот поверхности;
- генерация трехмерных объектов с использованием реалистичных текстурированных поверхностей;
- карта поверхности с учетом отражающих коэффициентов каждой точки поверхности;
- карта, учитывающая нормализованный относительный индекс растительности (NDVI) и нормализованный относительный индекс активности растительного покрова (NDRE);
- термограммы, карты где каждая точка несет информацию о температуре.

AutoDesk ReCap Pro

Основная особенность данной программы это работа с дополненной реальностью. Позволяет создать объемную модель из фотографий либо данных лазерного сканера. После обработки информации на выходе получают готовые для использования в программах автоматизированного проектирования изображения.

Maps Made Easy

Программа Maps Made Easy позволяет обрабатывать фотографии в объемные объекты либо в нормализованные карты поверхности. Доступна облачная обработка снимков (рисунок 2.3).

Для работы с данной программой, после получения снимков, их необходимо загрузить на сервер компании, где они будут обработаны с использованием высокопроизводительных компьютеров и собственного программного обеспечения.

Основными ключевыми особенностями Maps Made Easy являются:

- алгоритмы программы направлены на создание максимально точной объемной модели;
- карта, учитывающая нормализованный относительный индекс растительности с аннотациями и каталогом;
- ретроспектива исследуемых объектов; один и тот же объект снимается в разное время, что позволяет оценить динамику контролируемого параметра на карте;
- полная обработка и генерация карт является затратным как по времени, так и по потреблению ресурсов вычислительной машины;

– полученные изображения могут быть легко встроены в существующие страницы интернет-сайтов.

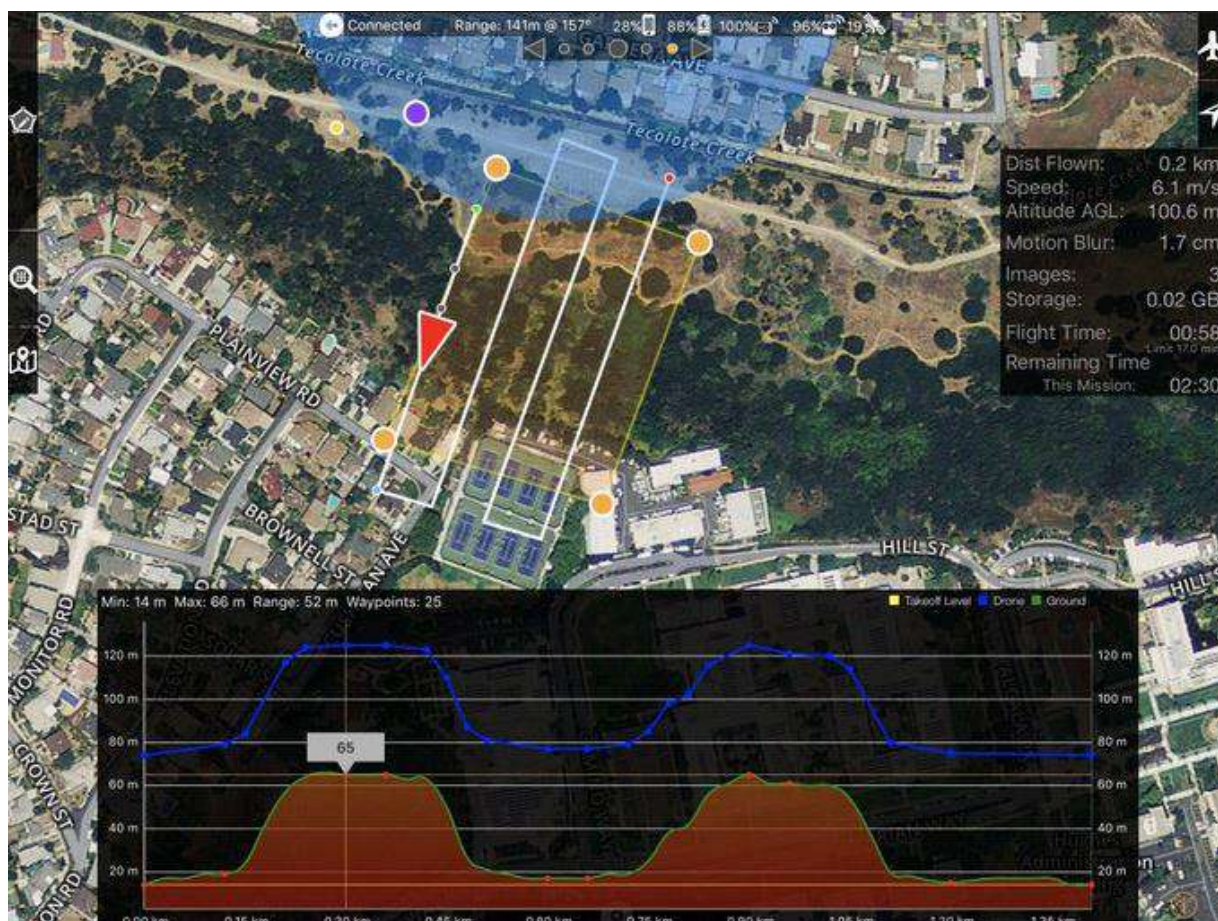


Рисунок 2.3 – Изображение, полученное в программе Maps Made Easy

3DF Zephyr

Программа 3DF Zephyr позволяет воссоздать объемную модель из имеющихся фотоснимков. После обработки массива данных доступен экспорт в наиболее распространенные форматы данных и генерация видео. Процесс реконструкции полностью автоматизирован.

Open Drone Map

Open Drone Map – программный комплекс, состоящий из нескольких программных модулей, объединенных в одно целое и служащий для обработки данных, полученных с беспилотных летательных аппаратов (рисунок 2.4).

После обработки данных возможно получение:

- множества точек;
- цифровой модели поверхности;

- трехмерных объектов с использованием реалистичных текстурированных поверхностей;
- нормализованных поверхностей;
- поверхностей с указанием высот.

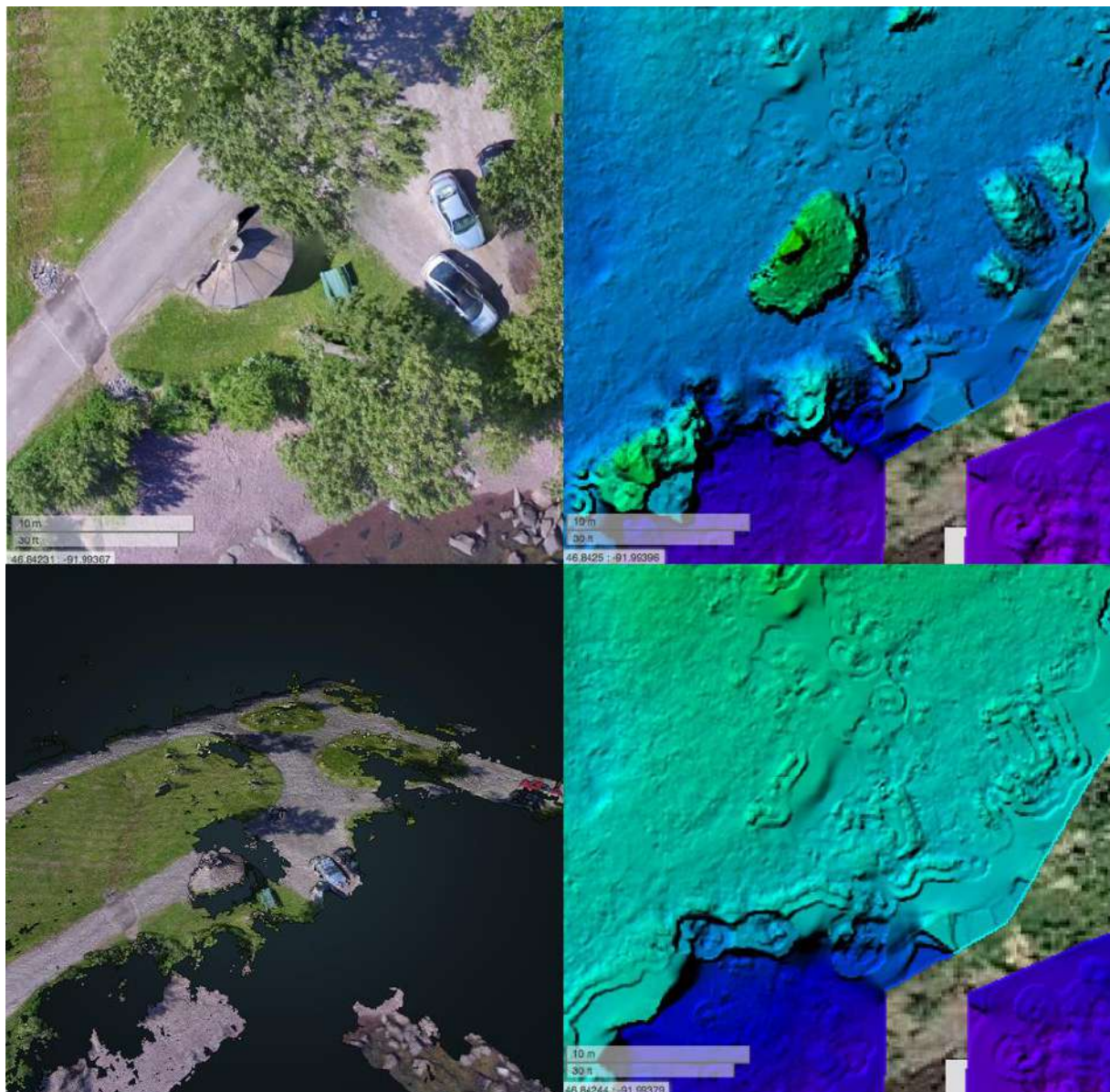


Рисунок 2.4 – Изображения, полученные в программе Open Drone Map

Одним из важных преимуществ данной программы является возможность установки в трех вариантах:

- в режиме командной строки, где все вычислительные ресурсы машины идут непосредственно на обработку данных, полученных с летательного аппарата;
- установка, основанная на использовании интернет-технологий;

– использование программных интерфейсов приложения (API) для удаленного доступа к необходимым функциям.

ESRI Drone2Map

ESRI Drone2Map разработана прежде всего для работы с программными продуктами компании ESRI, в частности с решениями в области ГИС – ArcGIS. Позволяет создавать нормализованные карты и объемные модели, а также моделировать вид с разных углов для дальнейшего использования в ArcGIS. Возможно накопление данных о поверхности и их анализ.

Ряд летательных аппаратов не позволяют получить точные данные о поверхности в необходимом объеме сразу при первом пролете. После того как летательный аппарат вернулся с задания, начинается автоматическая предварительная обработка отснятого материала и в случае если выяснится, что данных недостаточно, летательному аппарату генерируется полетное задание в необходимую область для снятия недостающих данных. Предварительная обработка позволяет оценить, достаточно ли данных для полной обработки.

Программа ESRI Drone2Map также используется для технического аудита строений, таких как: дамбы, сотовые вышки, трубопроводы, ветрогенераторы и др. Получаемые изображения нормализуются и затем специальным образом обрабатываются для получения информации на основе которой можно сделать вывод о техническом состоянии исследуемого объекта.

Autodesk 3D

Autodesk 3D в совокупности состоит из следующих программных продуктов:

- AutoCAD, широко используемый для автоматизированного проектирования плоских и объемных объектов;
- REVIT, используемый для автоматизированного проектирования и реализующий принцип информационного моделирования зданий;
- AutoCAD Civil 3D служит для проектирования объектов инфраструктуры и предназначен для проектировщиков линейных сооружений, землеустроителей;
- AutoCAD Map 3D является картографическим программным продуктом и предназначен для планирования и управления инфраструктурой (рисунок 2.5). Позволяет работать с данными систем

автоматизированного проектирования и геоинформационными системами, поступающими из различных источников. Используя комплексные модели систем газо- и электроснабжения, водопровода и канализации, возможно упорядочивание информации об объектах. Интеграция пространственной информации в базу данных делает возможным получить доступ к данным всем необходимым специалистам.

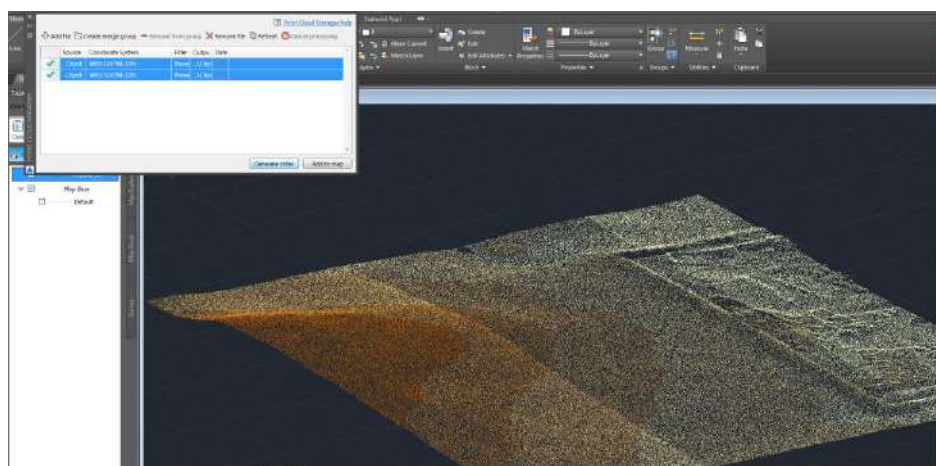
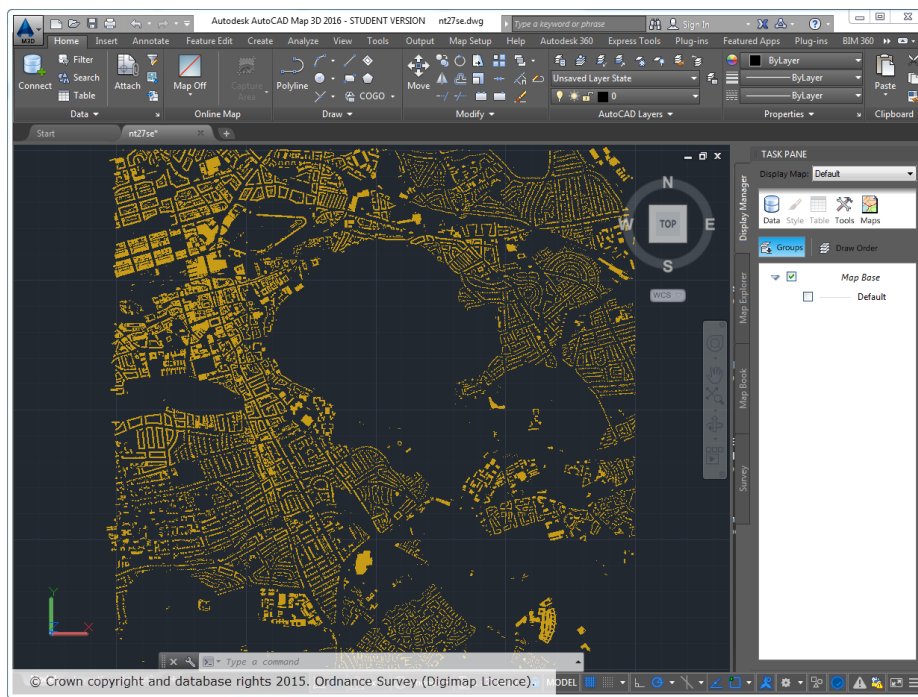


Рисунок 2.5 – Изображения, полученные в программе **AutoCAD Map 3D**

– RECAP – специализированный инструмент, предназначенный для создания трехмерной модели по фотографиям и данным сканирования. Состоит из двух модулей ReCap Studio и ReCap Photo.

Precision Mapper & Viewer

Precision Mapper & Viewer – облачный программный продукт для автоматизированной обработки данных, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов и предназначенный для генерации плоских и объемных моделей исследуемых объектов.

Программа Precision Mapper & Viewer работает следующим образом:

- сбор данных с помощью летательных аппаратов;
- загрузка полученных данных на сайт программы;
- управление данными;
- анализ изображений инструментами по запросу.

Agisoft PhotoScan

Agisoft PhotoScan – широко используемый программный продукт для обработки данных, полученных с беспилотных летательных аппаратов и предназначенный для генерации плоских и объемных моделей исследуемой поверхности (рисунок 2.6).

Agisoft PhotoScan позволяет:

- фотограмметрическую триангуляцию;
- работу с множеством точек;
- получить карту высот;
- нормализовать полученные визуальные данные;
- выполнить различные геометрические измерения;
- работать со скриптами, написанными на языке Python;
- обработку мультиспектральных изображений;
- сетевую обработку изображений.

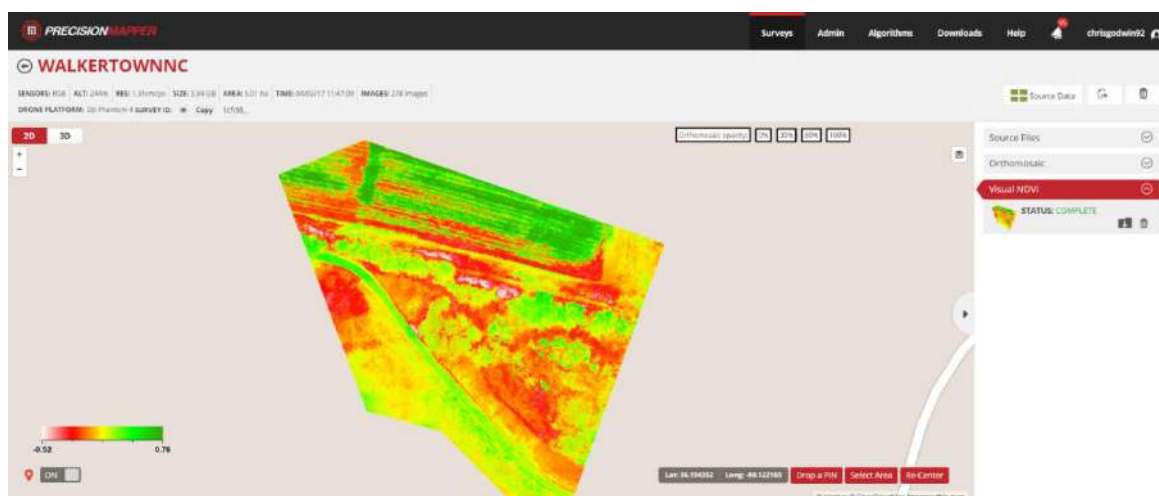


Рисунок 2.6 – Изображение, полученное в программе **Agisoft PhotoScan**

3. Описание разработанного программного обеспечения для обработки снимков, полученных с беспилотных летательных аппаратов

Современное программное обеспечение предъявляет определенные требования к вычислительной мощности центрального процессора и объему оперативной памяти. Для более эффективной работы выбрана среда GNU/Linux и широко использованы приемы виртуализации и контейнеризации.

Программное обеспечение состоит из множества подпрограмм, объединенных в единую вычислительную цепочку и выполняющих свою функцию. Для создания изолированной пользовательской среды, направленной на решение задачи для обработки снимков, полученных с беспилотных летательных аппаратов был подготовлен образ системы на базе Linux Mint 19, содержащий все необходимое программное обеспечение и готовый для использования. Для запуска виртуальной машины необходимо импортировать прилагаемый образ. Используемая программа для виртуализации – VirtualBox, доступная для ряда операционных систем. Для использования внешних USB носителей необходимо установить дополнение к VirtualBox – VirtualBox Guest Additions. Образ использует динамически увеличивающийся виртуальный диск формата VDI. Максимальный размер виртуального диска – 100 Гб.

Для целей контейнеризации используется Docker. Данное программное обеспечение позволяет максимально изолировать решение от особенностей машины, на которой оно развернуто.

Общие требования:

- x86-64 совместимый центральный процессор, позволяющий VT-x виртуализацию и поддерживающий инструкции от SSE3 и выше;
 - от 4 Гб оперативной памяти, выделяемой виртуальной машине.
- Рекомендуется от 16 Гб и более.

Разработанное программное обеспечение направлено на работу со снимками полученных камерой беспилотного летательного аппарата. Основной задачей ставиться «склейка» отснятого фотоматериала в единый массив (карту) для дальнейшего анализа и мониторинга. Так же программное обеспечение должно иметь инструменты измерения, цветовой фильтрации изображений и выгрузки карты в различных форматах. Так же

очень важным фактором является простота и минимизация интерфейса. Основная целевая аудитория пользователей – специалисты агрономической службы.

Стартовое окно программы состоит из рабочего пространства – основное пространство экрана для отображения текущих проектов и панели управления (рисунок 3.1).

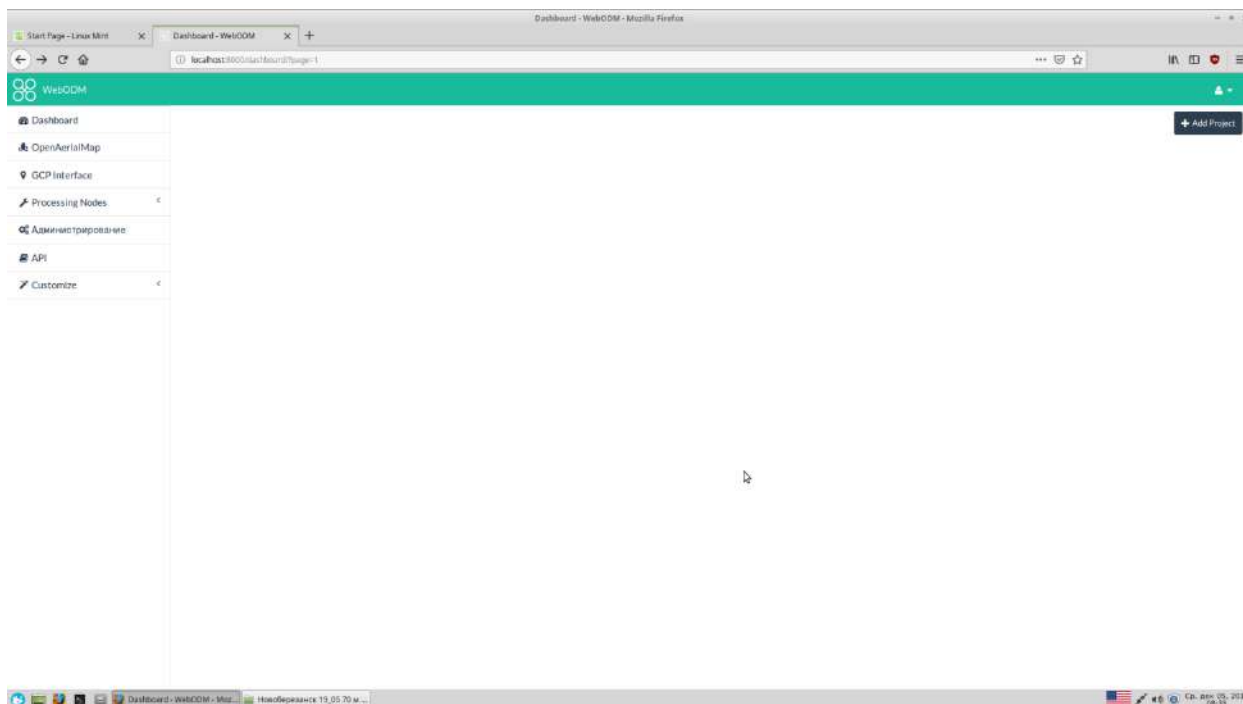



Рисунок 3.1 – Основное окно программы

Для добавления нового проекта необходимо нажать клавишу , расположенную в верхнем правом углу рабочего пространства программы (рисунок 3.2).

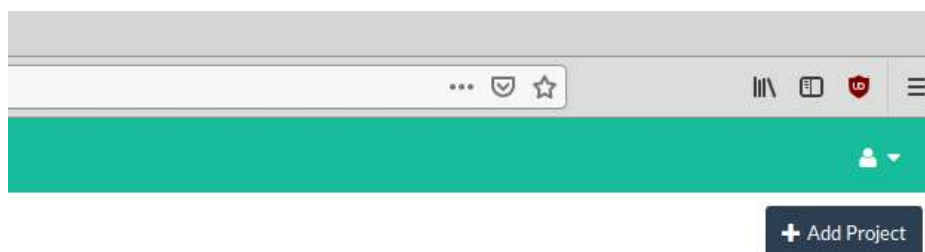


Рисунок 3.2 – Выбор команды **Add Project**

В открывшемся окне New Project в графе **Name** вводится имя проекта в графе **Description** – описание создаваемого проекта (рисунок 3.3).

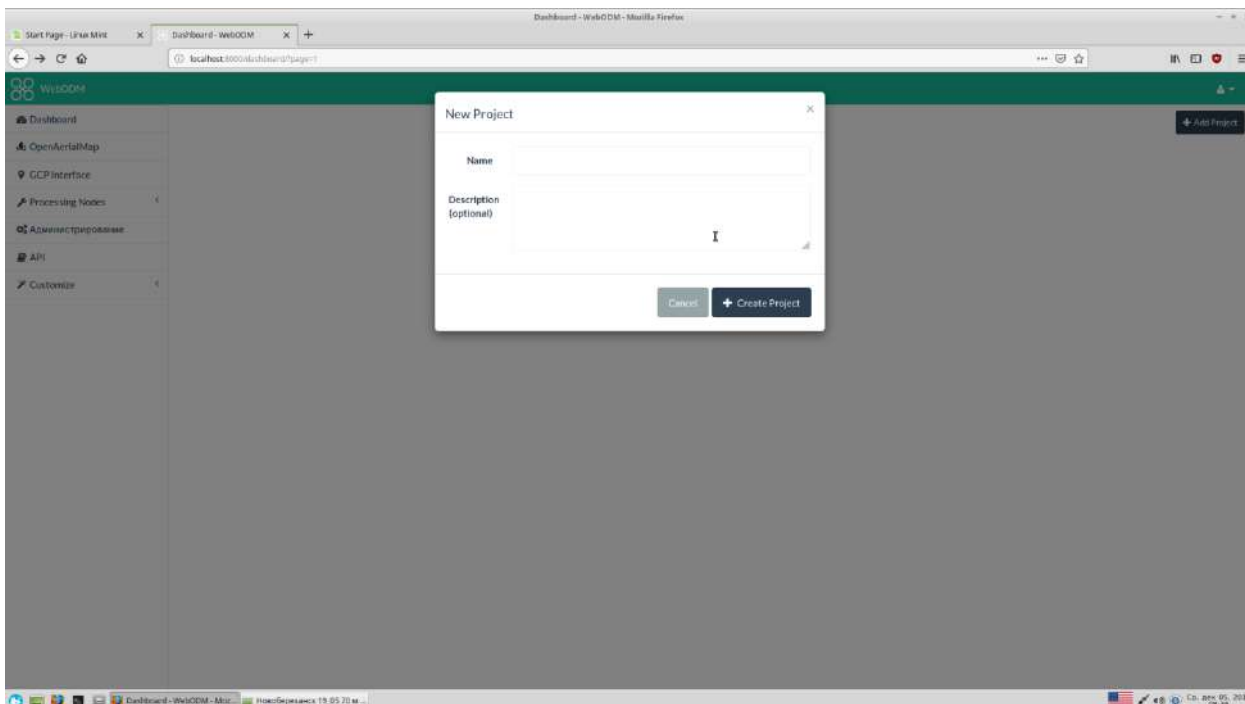



Рисунок 3.3 – Окно создания проекта

Созданный проект отображается в рабочем пространстве программы. При нажатии кнопки  **Edit** можно внести корректировки в проект (рисунок 3.4).

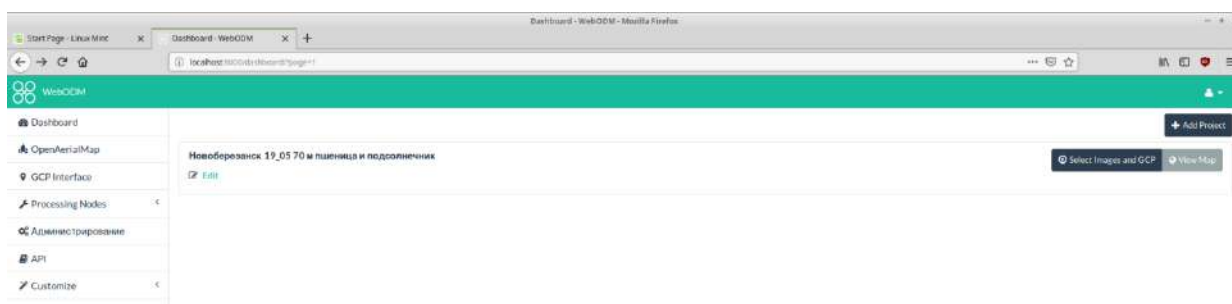
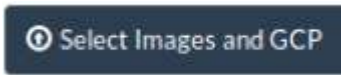


Рисунок 3.4 – Окно отображения созданных проектов

Для выбора фото необходимо нажать клавишу . Указав путь хранения выбираются нужные фото для «склеивания». В один проект можно добавить до 1000 фото (рисунок 3.5).

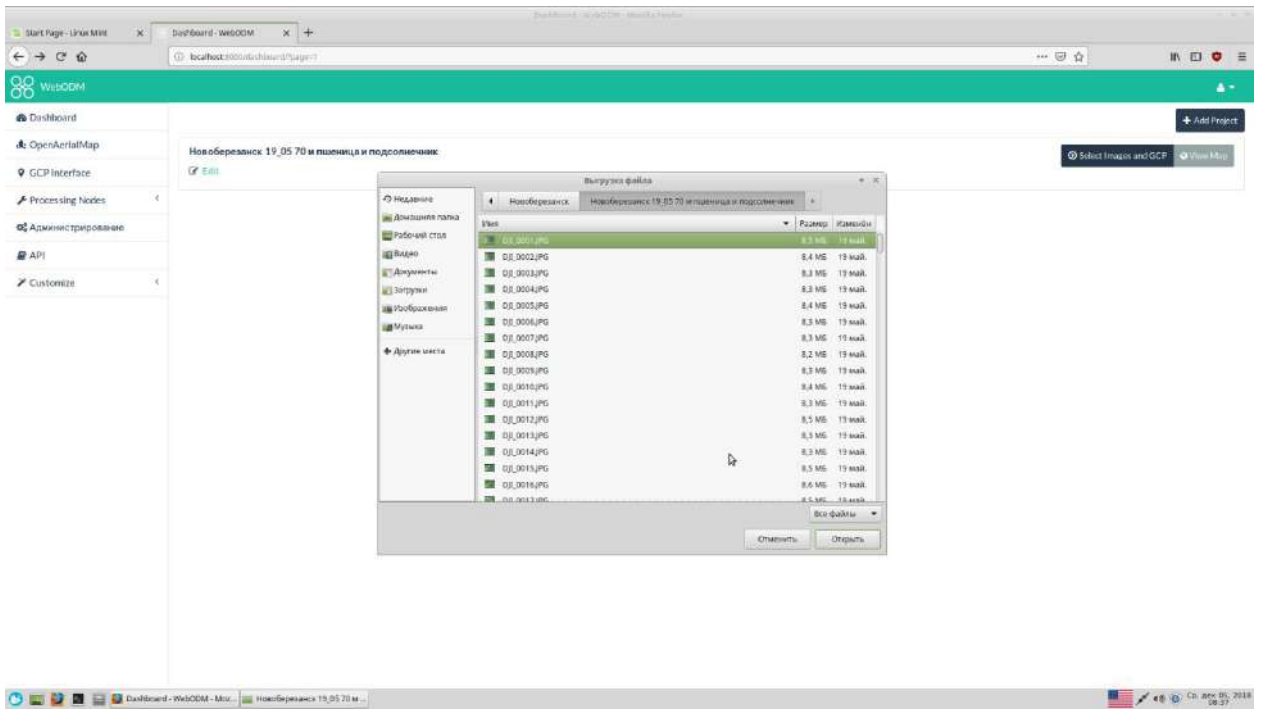


Рисунок 3.5 – Окно выбора фото

После завершения добавления фото следует нажать клавишу **Start Processing** для начала процесса обработки фото или **Cancel** для отмены операции (рисунок 3.6).

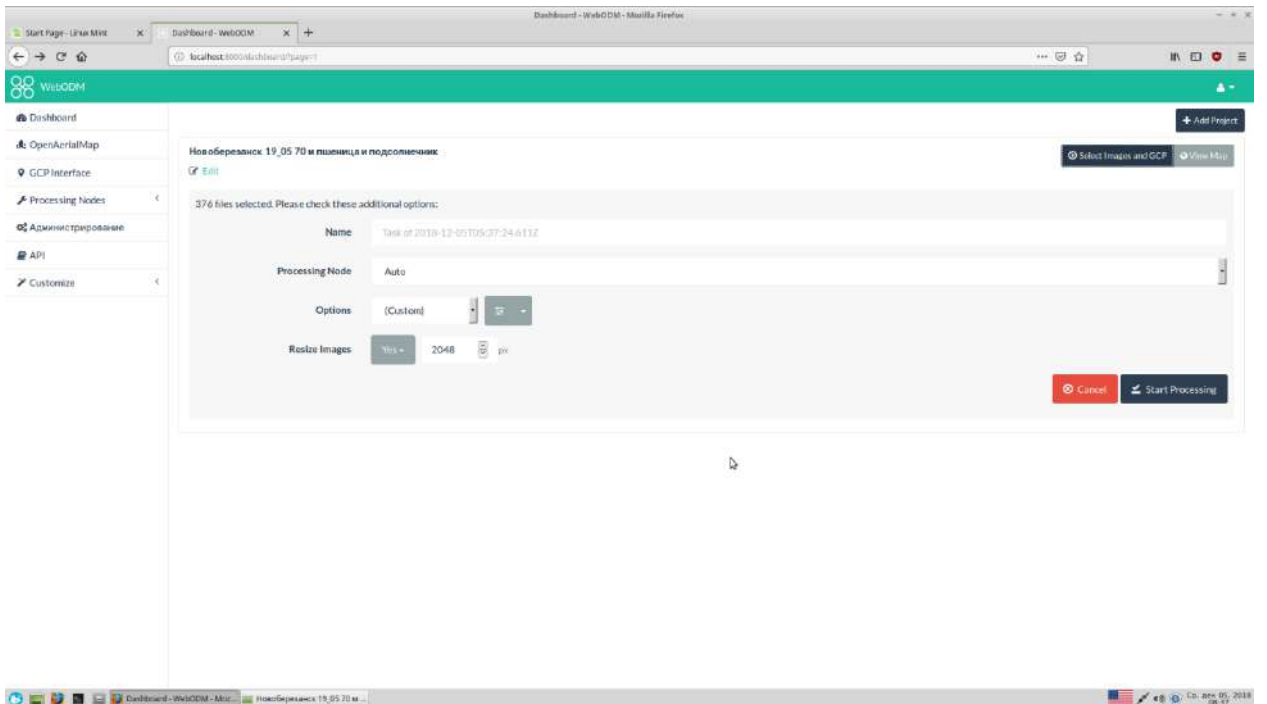


Рисунок 3.6 – Окно начала обработки или отмены операции

Программа начинает процесс обработки фото, в процессе загрузки на экране отображается информация о стадии загрузки, количестве фото и объеме занимаемой ими памяти (рисунок 3.7).

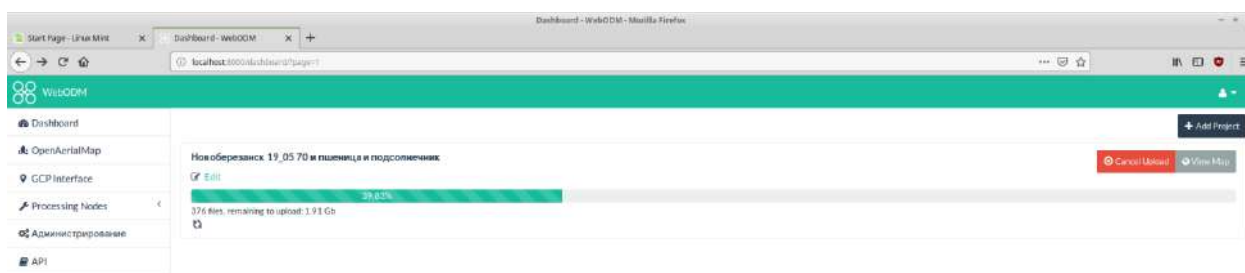


Рисунок 3.7 – Окно загрузки материала

Процесс «склеивания» фото занимает какое-то время, в зависимости от характеристик компьютера и объема фото, может занимать от нескольких минут до нескольких часов. Информация о состоянии обработки проекта отображается на экране. Знак **Running** говорит о том, что продолжается процесс создания карты, так же в окне отображается время работы проекта (рисунок 3.8).

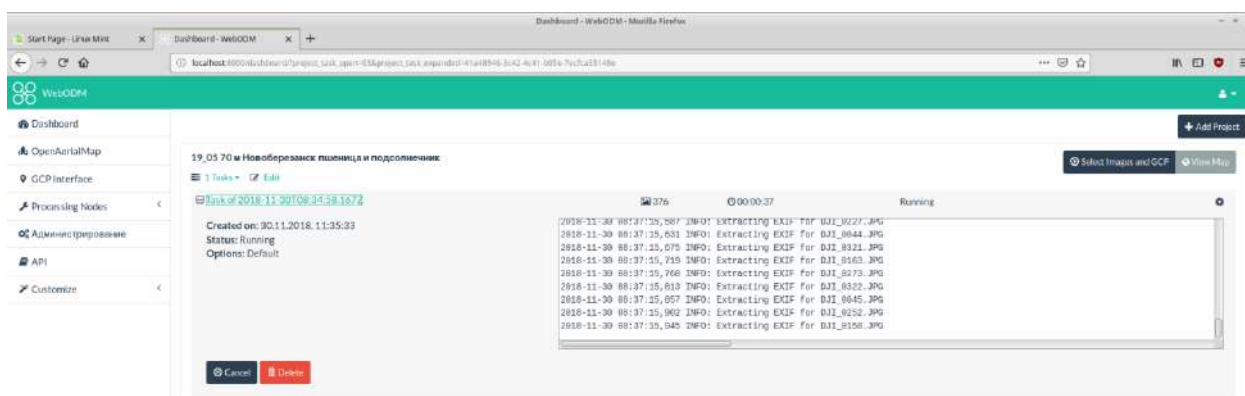


Рисунок 3.8 – Процесс создания карты

Одновременно можно запускать несколько проектов (рисунок 3.9). Скорость обработки и количество одновременно обрабатываемых проектов так же зависит от характеристик компьютера и объема фото. Информационная надпись **Queued** говорит о том, что проект находится в очереди на обработку.

По завершению процесса обработки вместо надписей **Queued** или **Running** появится надпись **Finish**, что свидетельствует о завершении процесса и возможности перейти к просмотру и анализу полученного изображения.

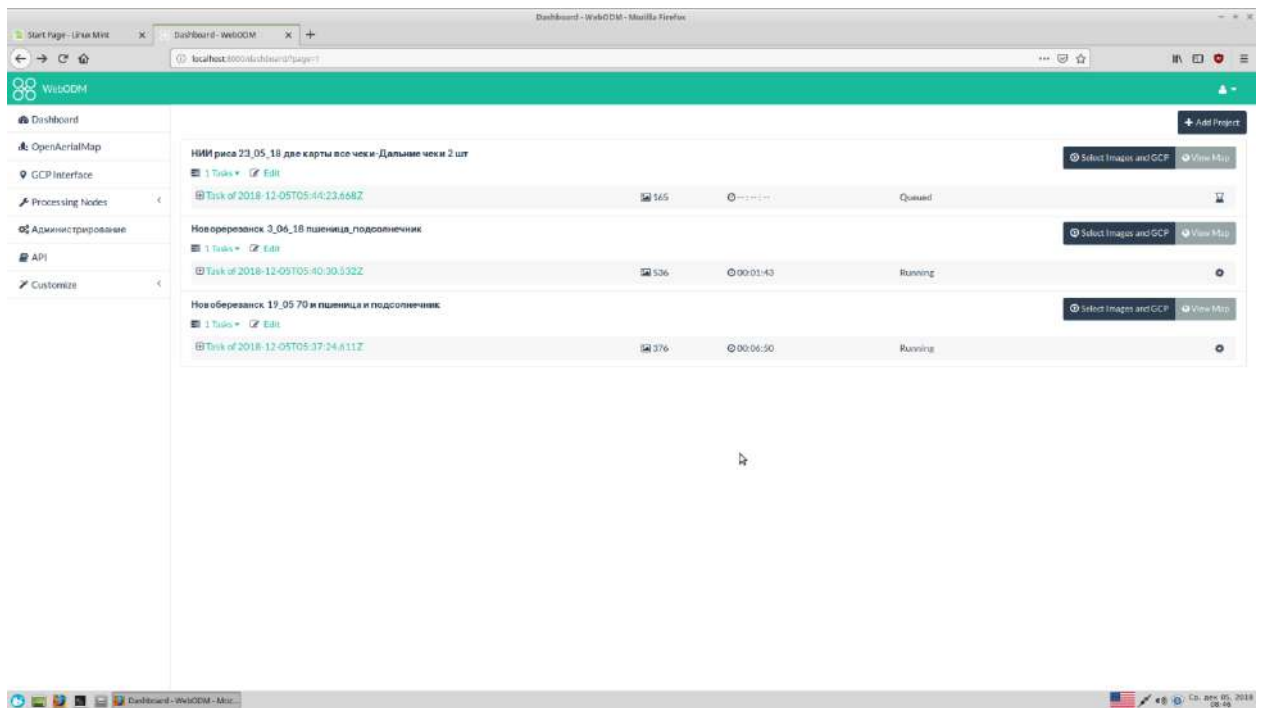



Рисунок 3.9 – Список текущих проектов

Для просмотра двумерной карты следует нажать клавишу , находящуюся справа от названия проекта.

Созданная карта автоматически по GPS меткам фото накладывается на off-line карту Google (рисунок 3.10).

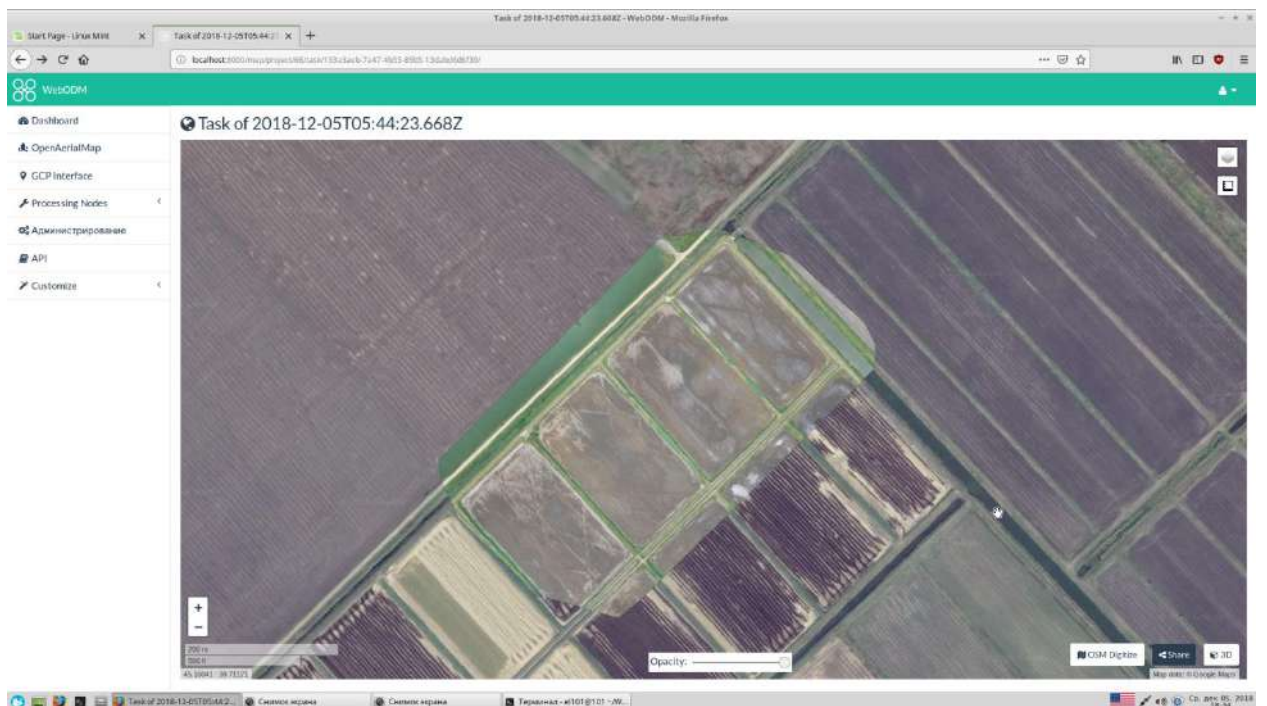




Рисунок 3.10 – «Сшитая» двумерная карта местности (на фото часть рисовой системы)

Для изменения интенсивности отображения карты можно воспользоваться ползунком **Opacity:**  , располагаемым в нижней части карты.

Для проведения элементарных операций измерения расстояния или площади можно воспользоваться инструментом .

При нажатии на кнопку  можно «поделиться» ссылкой на проект.

При нажатии на кнопку  программа переходит к объемной обработке карты (рисунок 3.11) и открывает ряд дополнительных инструментов для анализа изображения.

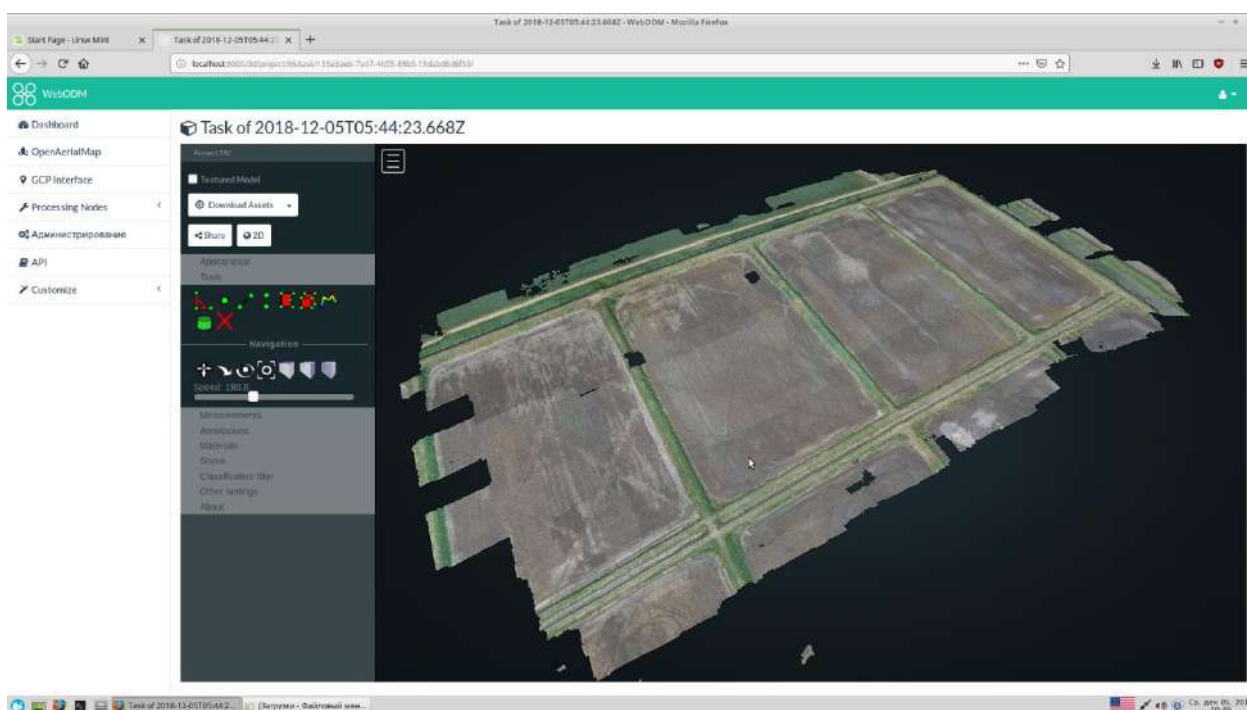







Рисунок 3.11 – Трехмерное изображение участка

В верхнем правом углу располагается окно **Download Assets** для скачивания проекта (рисунок 3.12). В зависимости от дальнейших работ с картой пользователь может выбрать форматы для сохранения «**.GeoTIFF**», «**.PNG**», «**.MBTiles**», «**.LAZ**», «**.PLY**» и др. После этого указывается путь сохранения файла.

Для обработки геометрии карты в программе имеется ряд специализированных инструментов:



– инструмент определения угла неровности рельефа;

-  – инструмент определения координат точки;
-  – инструмент измерения расстояния на карте;
-  – инструмент измерения площади;
-  – инструмент измерения перепада уровня (неровности) рельефа;
-  – инструменты позиционирования карты (работают совместно с нажатием кнопок мыши).

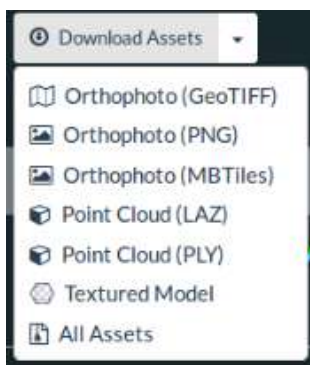


Рисунок 3.12 – Окно скачивания проекта


При использовании инструмента  под картой открывается дополнительно окно показывающее разрез рельефа (рисунок 3.13). Так же в открывшемся окне справа показываются координаты выбранных точек.



Рисунок 3.13 – Пример измерения неровности рельефа

Для работы с цветовыми фильтрами в программе представлена вкладка **Attributes**. На данной вкладке реализована возможность цветовой фильтрации изображения и коррекции гаммы, яркости и контраста (рисунок 3.14). Данная функция может являться аналогом создания карты NDVI и служить инструментом предварительного определения неравномерности

содержания минеральных питательных веществ в растении (инструмент предварительной диагностики состояния посевов).



Рисунок 3.14 – RGB фильтр

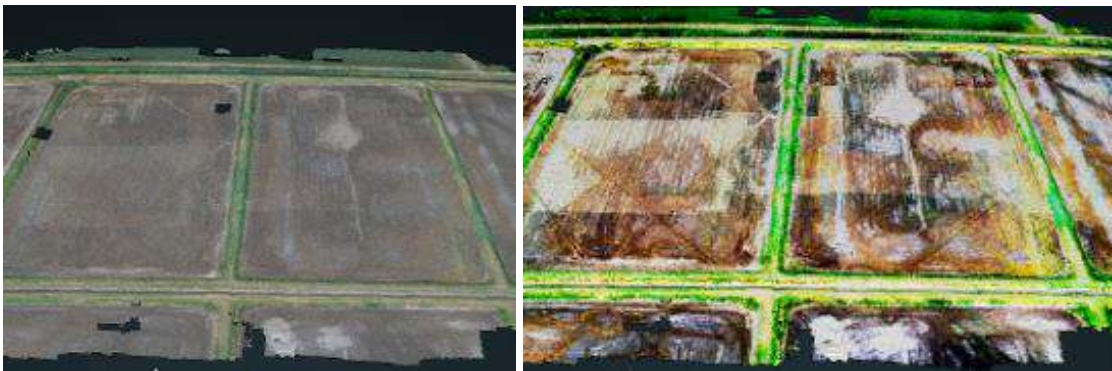


Рисунок 3.15 – Пример цветовой фильтрации изображения

Для работы с градацией цветов в программе применен инструмент **Min node size** (рисунок 3.16).

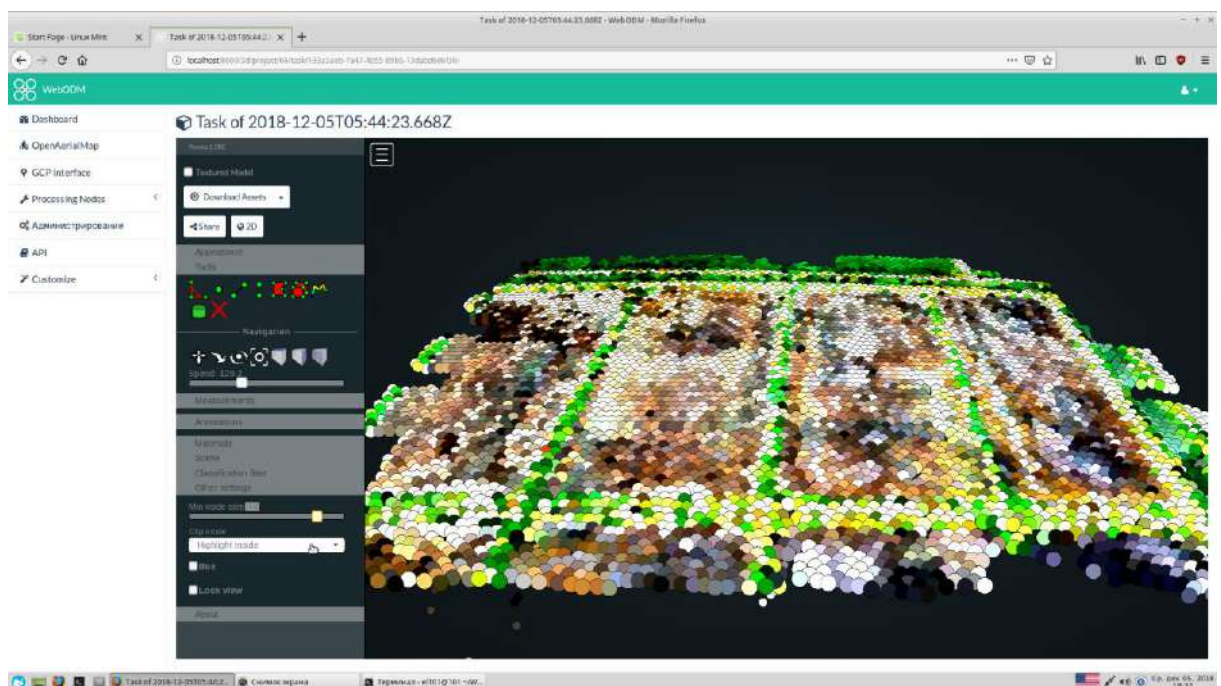


Рисунок 3.16 – Пример работы с инструментом **Min node size**

4. Результаты дистанционного зондирования полей Краснодарского края

Сельскохозяйственные беспилотные летательные аппараты в течение последних 3–5 лет стремительно внедряются в сферы сельского хозяйства и существенно меняют подход к выращиванию культур. Технология использования беспилотных летательных аппаратов имеет потенциал для перехода от фотографирования текущего состояния посевов до дифференцированного внесения удобрений и опрыскивания.

В результате работы нами выявлены и апробированы следующие направления применения БПЛА.

Анализ неровности рельефа. Это направление имеет важную роль в начале агрономического цикла, перед посевом. В результате полета получают точные трехмерные карты с неровностью рельефа (особенно важно при выращивании риса в рисовых чеках), анализа так же важен при планировании посевов и проектировании ирригационных систем. При совместном проведении агрохимического анализа почвы обеспечиваются данные для управления ирригацией и уровнем минеральных веществ в плодородном слое.

Мониторинг посевных площадей. Большие площади обработки и низкая эффективность мониторинга угодий вместе создают факторы низкой эффективности выращивания. Проблемы мониторинга так же усугубляются непредсказуемыми погодными условиями, которые приводят к рисковому и эксплуатационным расходам на местах. Хорошим решением были и остаются спутниковые снимки – самая передовая форма мониторинга. Но недостатком является зависимость от облачности. Сегодня анимация временных рядов получена с БПЛА может показать точную карту посевов и выявить неэффективность производства.

Оценка состояния посевов. Необходимо оценивать здоровье растений – нехватку питательных элементов, наличие вирусов, вредителей или сорной растительности. Сканируя растение с использованием как видимого, так и ближнего инфракрасного света, камеры на борту БПЛА могут идентифицировать растения по цветовому признаку. Эта информация может создавать многоспектральные карты, отслеживающие изменения в растениях и указывающие на их здоровье. Кроме того, можно в кратчайшие сроки

выявить очаг заражения и принять меры. Так же в случае стихийных условий агрономы могут документировать потери для страховых выплат.

Опрыскивание. Датчики уровня и дальномеры позволяют БПЛА регулировать высоту по мере изменения рельефа поля, таким образом, контролировать высоту полета. Следовательно, БПЛА могут равномерно распылять жидкости. В результате повышение эффективности с уменьшением количества химических веществ, пестицидов. Фактически, по оценкам экспертов, аэрозольное распыление может быть выполнено в пять раз быстрее с беспилотными летательными аппаратами, чем с традиционными машинами. Так же этот способ показал высокую эффективность при обработке очага заражения.

Полив. БПЛА с гиперспектральными, мультиспектральными или тепловыми камерами могут идентифицировать, какие части поля нуждаются в поливе. Кроме того, БПЛА позволяют рассчитывать индекс растительности и описать относительную плотность, а также показать тепловизионную съемку – количество энергии или тепла, которое выделяет растение.

Анализ возможности применения БПЛА проводился по основным возделываемым культурам: пшеница яровая, пшеница озимая, подсолнечник, рис, рапс.

Анализ полетов по яровой пшенице

Для испытания БПЛА и определения сфер применения в сельскохозяйственном производстве был выбран участок площадью 80 га, располагаемый в Кореновском районе, Краснодарского края, координаты участка 45°40'37.6"N 39°27'02.2"E (45.677096, 39.450615) – рисунок 4.1.

Анализ посевных площадей перед посевом

Применение БПЛА может начаться с предпосевной компании. Перед посевом важно получить максимум информации о возделываемом участке, особенно для тех аграриев, которые по тем или иным причинам впервые проводят работы на данной территории и нет возможности узнать ее историю использования. Визуальный осмотр частично решает эту задачу, но для повышения качества принятия решения и повышения менеджмента предприятия БПЛА экономичный и весьма эффективный инструмент мониторинга (рисунок 4.2).

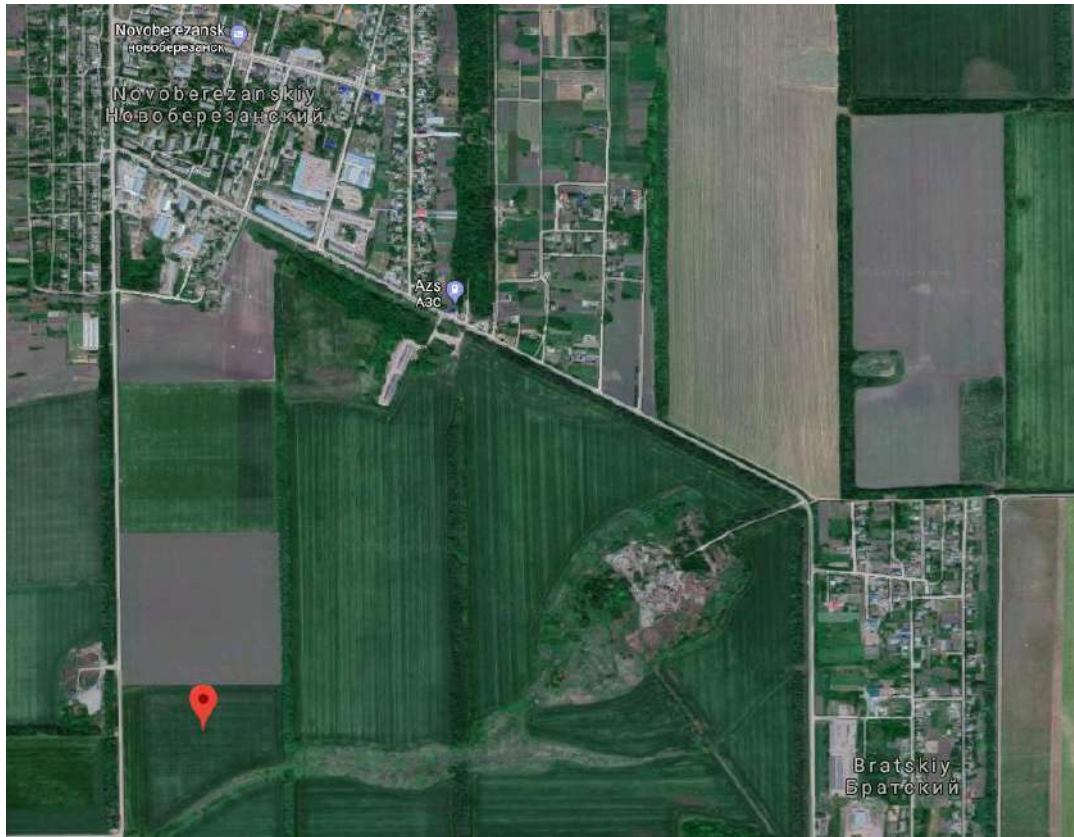


Рисунок 4.1 – Исследуемый участок



Рисунок 4.2 – Опытный участок

С помощью БПЛА могут быть получены карты рельефа местности где отмечаются все перепады высот, овраги, балки, курганы и другие естественные и искусственные объекты инфраструктуры. Так же съемка, проводимая с БПЛА, позволяет актуализировать информацию об инженерных сооружениях, линейных объектах и дорогах, пересекаемых сельскохозяйственных угодьях.

При помощи разработанного программного обеспечения для обработки изображений появляется возможность провести анализ уровня рельефа, не привлекая специалистов геодезических служб (рисунки 4.3, 4.4). Стоит отметить, что полученная информация имеет довольно высокую погрешностью, но этого качества вполне достаточно для формирования представления о рельефе. Данное программное обеспечение может служить инструментом перед принятием решения о планировке участка.

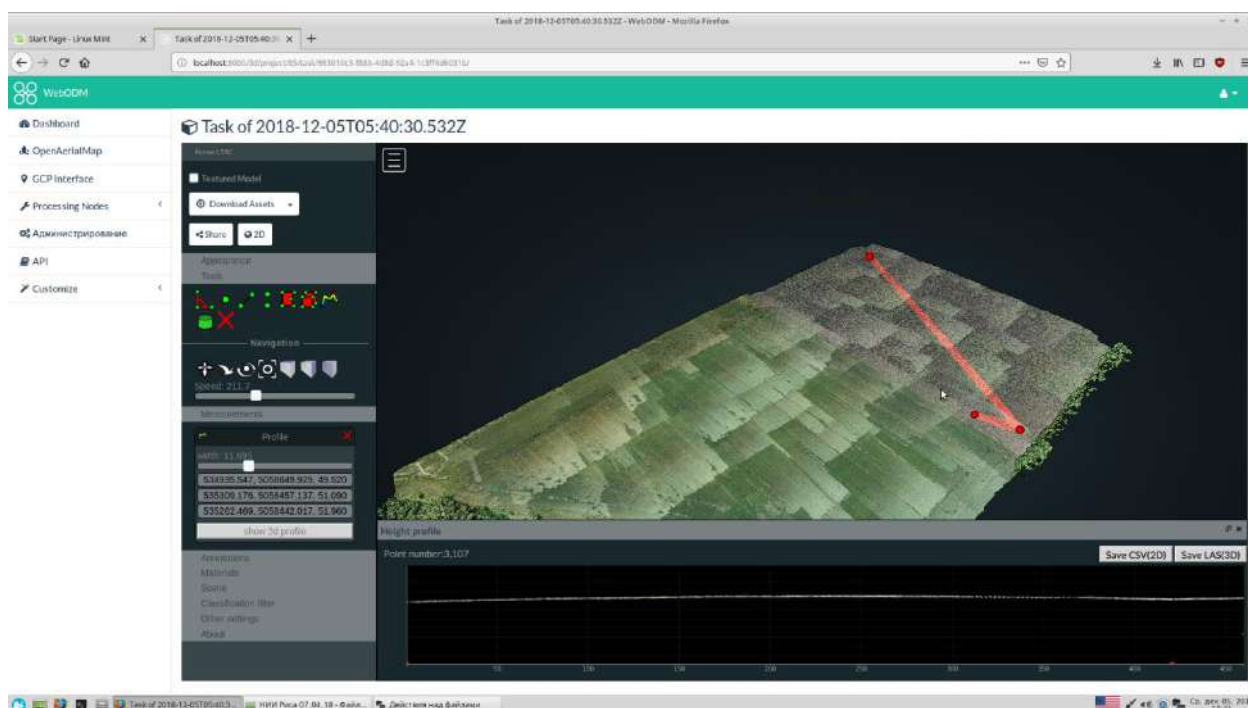
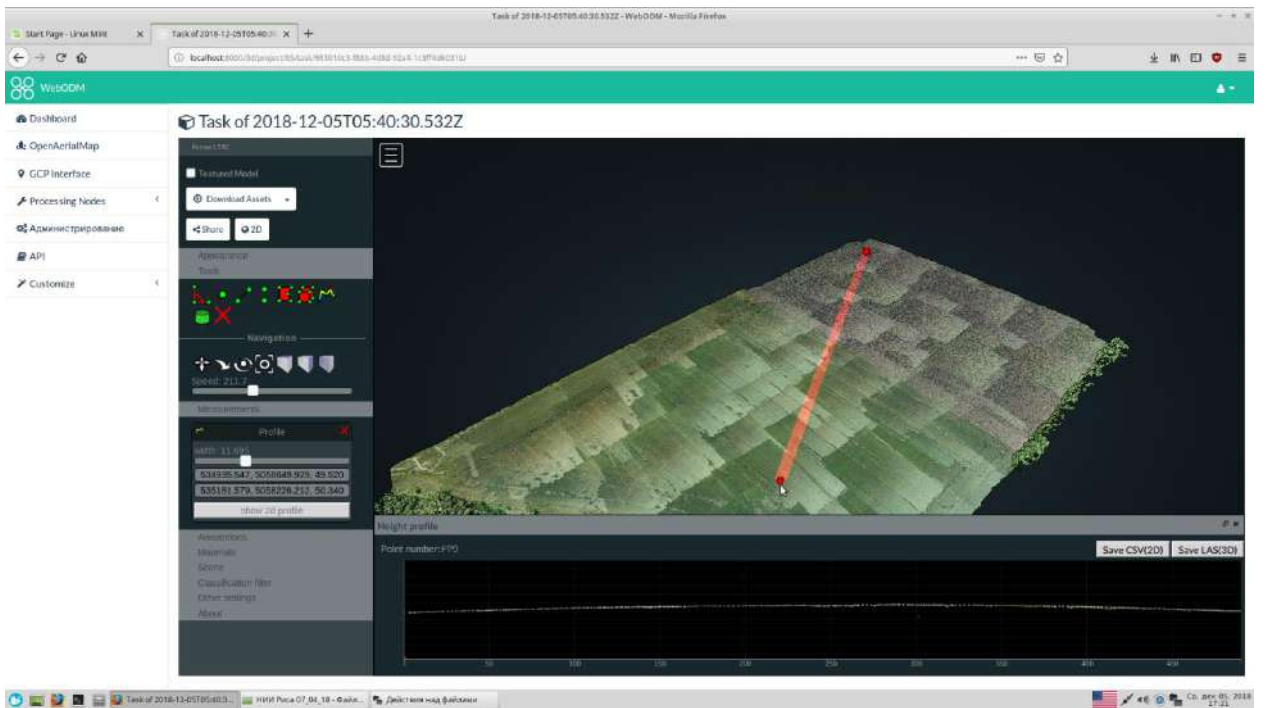
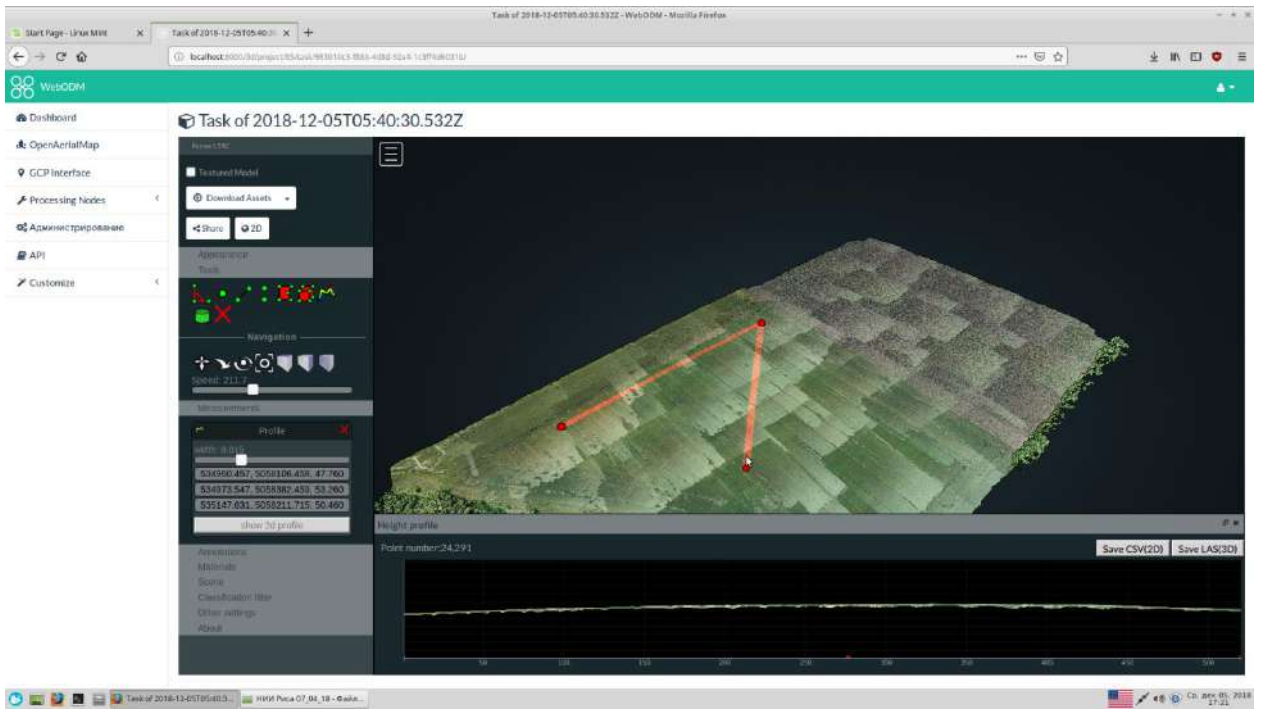


Рисунок 4.3 – Определение неровности рельефа



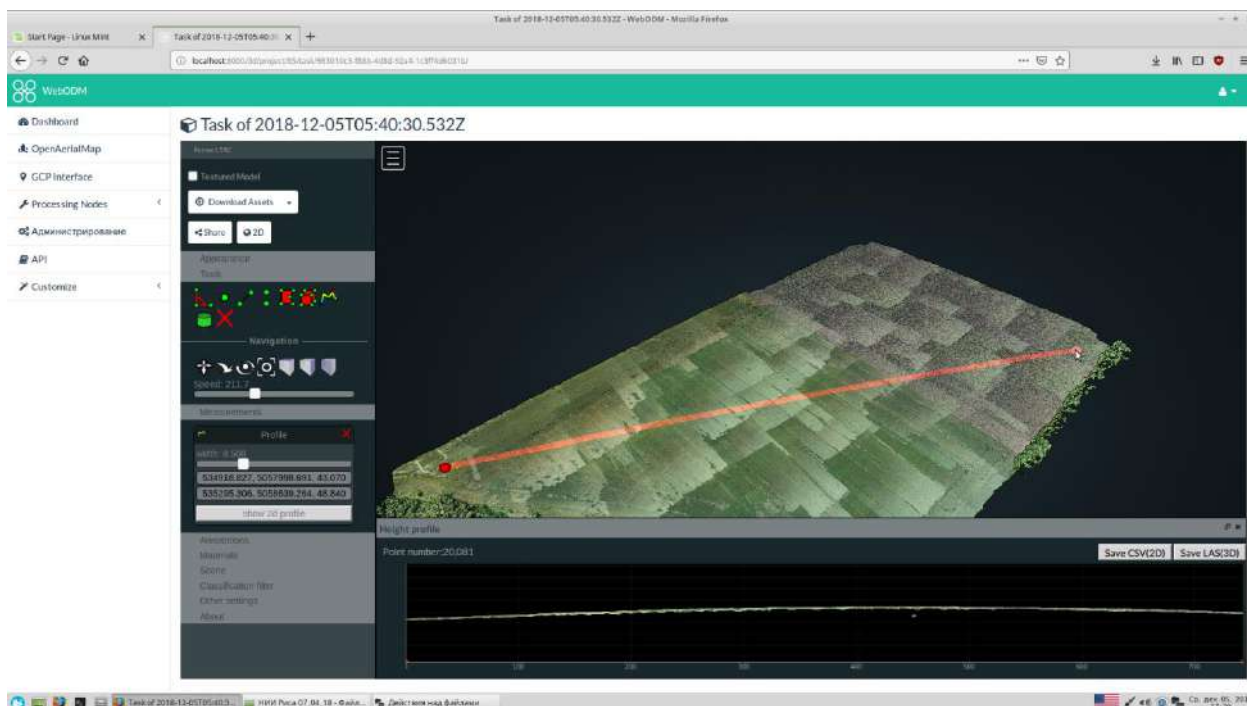


Рисунок 4.4 – Рельефы исследуемого участка в разрезе

На основании проведенного анализа можно установить, что рельеф достаточно ровный, в центральной части имеется возвышенность, но ее высота не критична для выращивания пшеницы. Перепады высот участка удовлетворяют требованиям технологии сельхозпроизводства.

Выявление грызунов с помощью БПЛА

Из года в год в осенне-зимний период озимые культуры подвергаются нашествию мышевидных грызунов, что ставит под угрозу получение будущего урожая в запланированных объемах. Этому способствует хорошая кормовая база, особенно при затянувшейся уборке зерновых культур, подсолнечника, кукурузы, которая, как правило, сопровождается большими потерями урожая. Особое внимание борьбе с мышевидными грызунами необходимо уделять аграриям, которые применяют в своих хозяйствах технологию обработки почвы No-till. На таких полях наблюдается повышенная численность мышевидных грызунов, поскольку отсутствует обработка почвы. Рыхление почвы на глубину 18–25 см разрушает гнезда и кормовые камеры мышей, полевок и других вредителей, за счет чего гибнет около 70–75 % грызунов.

Наиболее вредоносными являются представители семейства хомяковых (полевка обыкновенная и общественная) и семейства мышинных (мышь курганчиковая и домовая). Питаются грызуны растительной пищей,

они способны быстро размножиться, что обусловлено коротким циклом развития многих видов.

Применяя БПЛА можно обнаружить скопление нор и точно проводить обработку (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Всходы пшеницы

Белые пятна на поле говорят о наличии грызунов, следовательно, необходимо проводить работы, предупреждающие их распространение (рисунок 4.6).

Анализ всходов и потребности внесения удобрений

Этап всходов так же важен в процессе выращивания пшеницы. На этом этапе анализируется уровень потерь растений, определяется потребность в подсеве или пересеве. Использование БПЛА позволяет выявлять проблемы наиболее оперативно. Главная информация, которую получает агроном – карты густоты посевов и зоны неоднородности всходов. Таким образом происходит сравнение всех полей предприятия и подсчет общих потерь всходов.

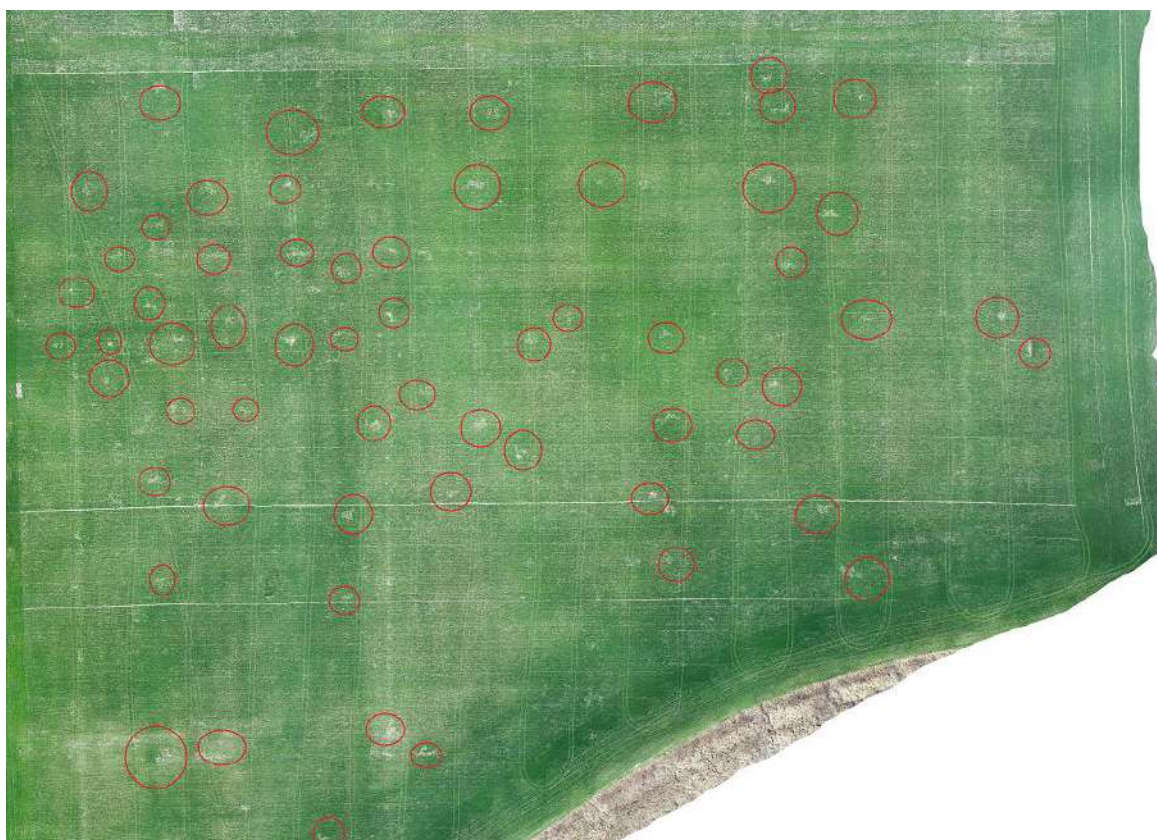


Рисунок 4.6 – Очаги распространения грызунов

Если говорить об озимых культурах, то их продуктивность во многом определяется характером роста и развития в весенний период вегетации, когда еще продолжается фаза кущения. Параллельно с этим анализируется потребность в подкормке и внесении удобрений. Главная цель – оптимизация внесения удобрений. Например, в случае с озимой пшеницей, проводить первую подкормку есть смысл на полях с хорошим и удовлетворительным состоянием посевов. Используя БПЛА, можно определять те участки, где нужно вносить большие нормы удобрения, а также создавать электронные карты-задания для техники. Такие карты используются для дифференциального внесения удобрений.

На сегодняшний день одним из самых популярных инструментов по работе с минеральным питанием растений является индекс растительности. Вычисление нормированного разностного индекса растительности (NDVI), доступно с земли – ручным прибором, спутником – но не всегда спутник оказывается в нужном месте в нужный срок, кроме того большая зависимость от облачности и стоимость снимков велика, и с помощью БПЛА. NDVI является предпочтительным для глобального мониторинга растительности, поскольку он помогает компенсировать изменения условий освещения, поверхностного склона, воздействия и других внешних факторов.



Рисунок 4.7 – Карта состояния посевов

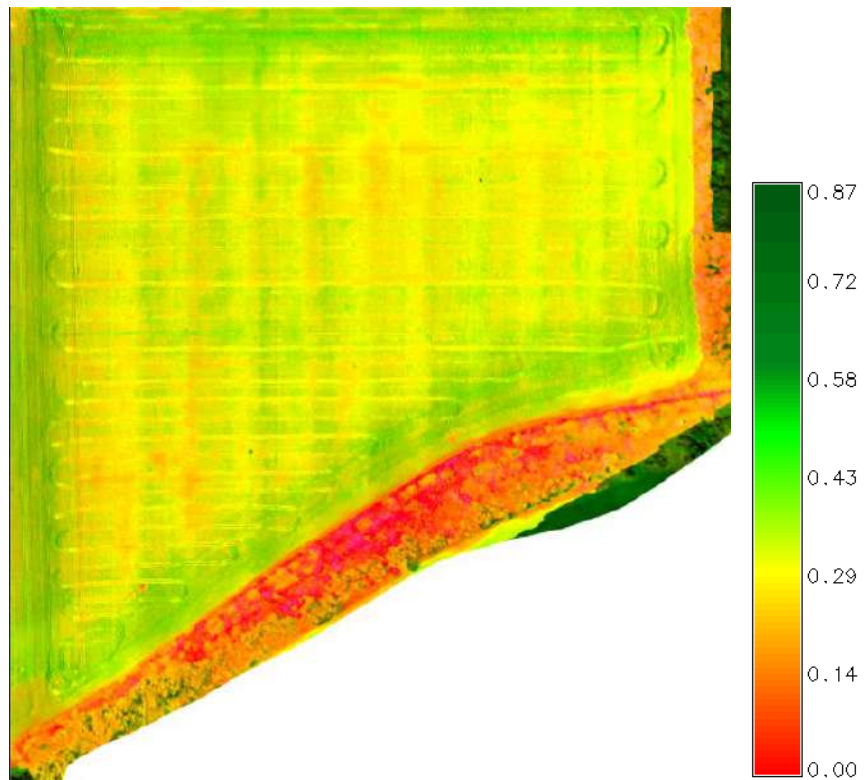


Рисунок 4.8 – Снимок полученный мультиспектральной камерой

На основе полученной информации строиться градация количества внесения азота (рисунок 4.9).



Рисунок 4.9 – Карта-задание для дифференцированного внесения удобрений

Оценка состояния растений и наличия болезней, вирусов и сорняков

Необходимо оценивать состояние растений – наличие вирусов, вредителей или сорной растительности. Сканируя растение с использованием как видимого, так и ближнего инфракрасного света, камеры на борту БПЛА могут идентифицировать растения по цветовому признаку. Эта информация может создавать многоспектральные карты, отслеживающие изменения в растениях и указывающие на их здоровье. Кроме того, можно в кратчайшие сроки выявить очаг заражения и принять меры. Так же в случае стихийных условий агрономы могут документировать потери для страховых выплат.

Зерновые культуры поражает большое количество бактериальных болезней: черный бактериоз, базальный бактериоз, бактериальный ожог, бактериальная пятнистость, бактериальная гниль, пятнистый бактериоз, розовый бактериоз, желтый слизистый бактериоз, белая пятнистость, бактериальная мозаика, стеблевой меланоз, бактериальная гниль влагалищ листа и др., но они имеют разную вредоносность (рисунок 4.10).

Возбудители бактериальных болезней и вредители поражают семена и все органы растений в течение вегетации, вызывают частичную или полную их гибель, недосозревание урожая и падение урожайности зерновых культур, ухудшают качество продукции.



Рисунок 4.10 – Ржавчина на пшенице

Внешне признаки заражения часто сопровождаются изменением цветового окраса колоса, листа или стебля. Эти признаки так же легко обнаруживаются в результате облета поля БПЛА, следовательно, не допустив распространения болезни или вредителей можно провести мероприятия по обработке. Так же на этом этапе возможно применение БПЛА с рабочим органом в виде опрыскивателя для работы с очагом поражения.

Мониторинг перед уборкой урожая

В конце вегетационного периода, перед уборкой урожая, мониторинг повторяется (рисунок 4.11). Это позволяет уточнить сроки сбора урожая и окончательно спрогнозировать урожайность.



Рисунок 4.11 – Мониторинг исследуемого участка перед уборкой

Анализ полетов по подсолнечнику

Накопленный в аграрной науке обширный экспериментальный материал свидетельствует, что наиболее продуктивные посевы полевых культур, в том числе и подсолнечника, формируются при создании оптимальных условий выращивания с учетом биологических особенностей сортов и гибридов, соответствующих агротехнологий и многообразия почвенно-климатических условий в зонах их возделывания.

Известно, что для повышения продуктивности посевов подсолнечника важным значением обладает, как выбор посевного материала максимально адаптированного к конкретным природным условиям, так и применение приемов сортовой агротехники, и в частности густоты посева, которые в совокупности с погодными условиями обладают существенным влиянием на элементы структуры урожая. Также для того чтобы наиболее полно использовать элементы питания, влагу и фотосинтетически активную радиацию в посевах должна быть достигнута равномерная расстановка растений и оптимальная площадь питания. Как правило, в производственных условиях осуществляют посев подсолнечника на конечную густоту, зависящую от сорта, гибрида и наличия влаги в почве.

Густота стояния не кустящихся видов растений (подсолнечник, чеснок, капуста и т. д.) в течение вегетационного периода (если не происходит их повреждения) меняется мало. Поэтому после всходов таких культур часто бывает достаточным произвести одно определение их густоты. У кустящихся видов густота стеблестоя постоянно меняется и за вегетационный период ее следует определять несколько раз.

Густота стеблестоя зависит от нормы посева, биологических особенностей сорта, погодных условий, почвенного плодородия и агротехники возделывания сельскохозяйственных культур.

Густоту стояния растений и стеблестоя сельскохозяйственных культур определяют в сроки, характеризующие основные фазы развития растений при массовом наступлении фазы. Исключением являются наблюдения за густотой стеблестоя зерновых культур в фазу колошения (выметывания), которые проводят при наступлении этой фазы не менее чем у 75 % растений.

В зависимости от вида сельскохозяйственной культуры и способа ее посадки (посева) учет густоты стояния растений или стеблестоя проводят на площадках или отрезках рядков разного размера. При этом места для определения густоты выбирают так, чтобы они были типичными по

размещению и состоянию растений и чтобы по небольшому количеству растений или стеблей получить наиболее полную характеристику состояния сельскохозяйственной культуры на всем поле в течение всего периода вегетации.

Разбивку мест для определения густоты стояния растений проводят за несколько дней до первого срока определения. Каждой повторности присваивают номер, который сохраняется до уборки культуры. Надпись номера повторности можно сделать на вешке, устанавливаемой у одного из концов отрезка рядка или углов площадки, выбранных для подсчета густоты. Длина вешки определяется высотой возделываемой культуры. Она должна обеспечивать быстрое обнаружение повторности вплоть до уборки растений.

Для определения густоты стояния растений (густоты стеблестоя) результаты подсчетов, проведенных в каждой повторности, складывают, сумму делят на количество повторностей и частное умножают на количество рядков в 1 м.

При подсчете среднего количества рядков в 1 м используют 10-метровую мерную ленту. Ее натягивают перпендикулярно рядкам, устанавливая нулевое деление в середине междурядья (при ленточном посеве – в середине широкого междурядья) и отмечая его колышком. Затем вторым колышком отмечают середину междурядья (широкого междурядья при ленточном посеве), ближайшего к отметке на ленте 5 м, и отсчитывают расстояние между колышками с точностью до 1 см. После этого подсчитывают количество рядков (строчек), пересекающих отмеренный отрезок. Разделив количество рядков (строчек), расположенных между колышками, на расстояние между ними, находят количество рядков, приходящееся на 1 м, с точностью до первого десятичного знака.

Определение количества рядков, приходящихся на 1 м, проводят в любом месте наблюдательного участка.

БПЛА – хорошее решение для задач мониторинга густоты и равномерности посевов.

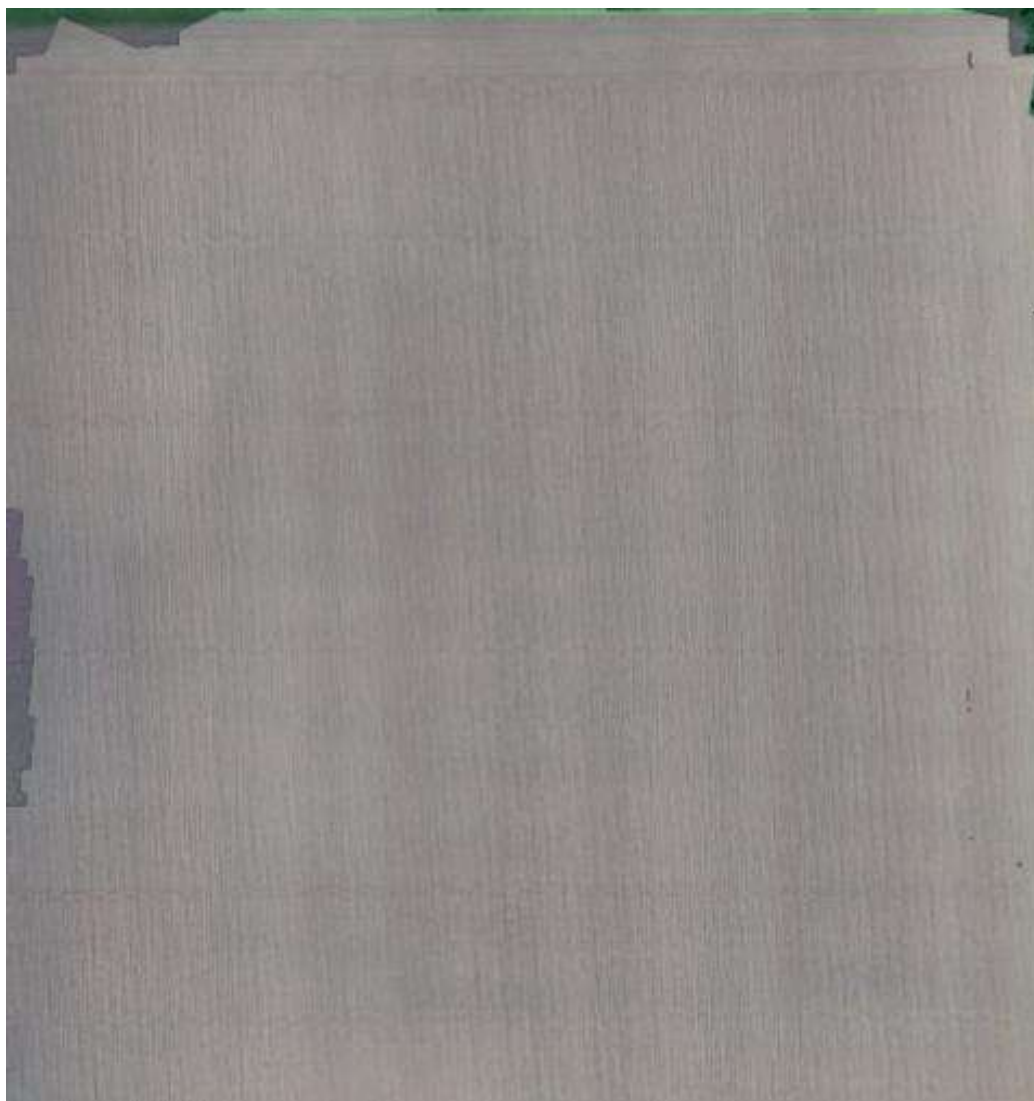


Рисунок 4.12 – Всходы подсолнечника

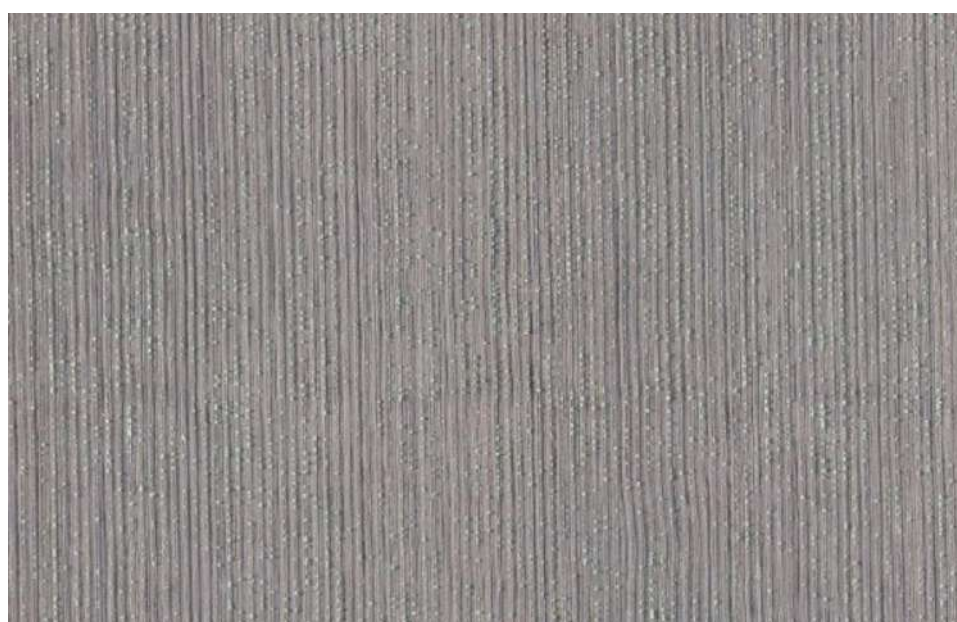


Рисунок 4.13 – Увеличенный фрагмент всходов подсолнечника

Программа для обработки изображений БПЛА так же содержит инструменты измерения, следовательно, применяя данную технологию не обязательно проводить эти работы на поле (рисунок 4.14).

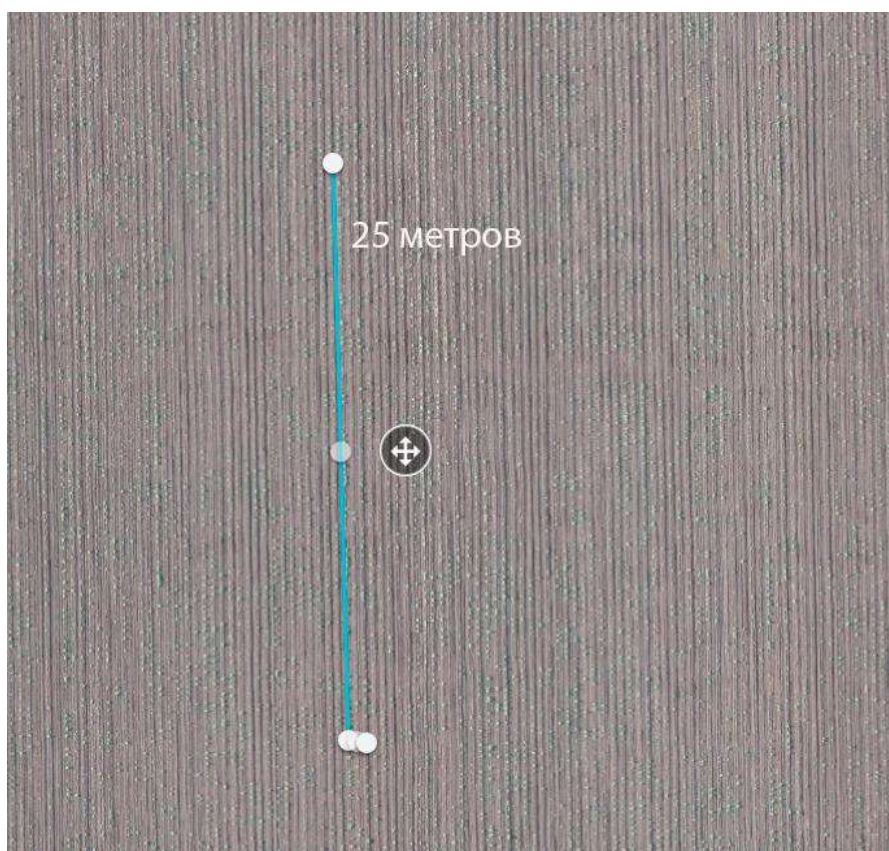


Рисунок 4.14 – Измерение расстояния на карте

Густота стояния определяется на 1 га (10000 м²). Для этого берется контрольный участок шириной 10 рядков. При этом учитывается ширина междурядий для каждого растения и количество растений на 1 погонном метре (таблица 4.1).

Таблица 1 – Характеристика культур

№	Наименование культуры	Количество семян на 1 м. п.	Ширина междурядий S, м
1	Пшеница	92	0,15
2	Ячмень	92	0,15
3	Подсолнечник	5	0,7
4	Кукуруза	5	0,7
6	Свекла	5	0,45
7	Рис	90	0,15

Для расчета опытного участка, т.е. расчета густоты на 1 га можно воспользоваться выражением:

$$L = \frac{10000 \text{ м}^2}{S} \cdot 0.001$$

где L – длина контрольного участка, м;

S – ширина междурядья, м.

Для примера произведем расчет для подсолнечника:

$$L = \frac{10000 \text{ м}^2}{0,7 \text{ м}} \cdot 0.001 = 14,2 \text{ м}$$

Для оценки густоты стояния подсолнечника или кукурузы принимается соотношение на площадке 14,2 м x 7 м (10 рядов) подсолнечника, что соответствует 0,01 га, на 1 м. п. норма высева – 5 растений:

$$Q = 14.2 \cdot 5 \cdot 10 \cdot 1000 = 71000 \text{ шт/га}$$

Имея карту, созданную по фото с БПЛА, появляется возможность точного измерения всходов и густоты стояния. Количество участков может превышать более четырех, что повышает точность, так как есть участки с большой плотностью растений на 1 м², а есть с малой. На основании полученной информации можно принимать решение о пересеве, либо прореживании культур в конкретных местах. Так же появляется возможность прогнозирования урожайности, что важно в современных условиях сельскохозяйственного производства.



Рисунок 4.15 – Всходы подсолнечника

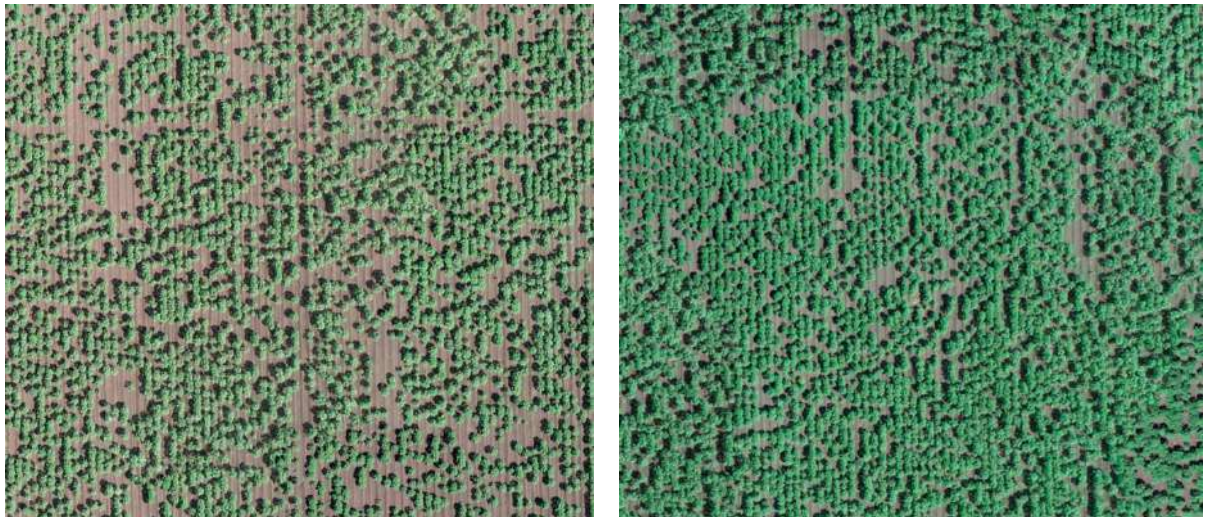


Рисунок 4.16 – Участки поля с различной густотой подсолнечника



Рисунок 4.17 – Контрольные участки для измерения густоты подсолнечника

Для удобства расчетов так же можно воспользоваться возможностью применения цветowych фильтров при создании более наглядного отображения культур (рисунок 4.18).

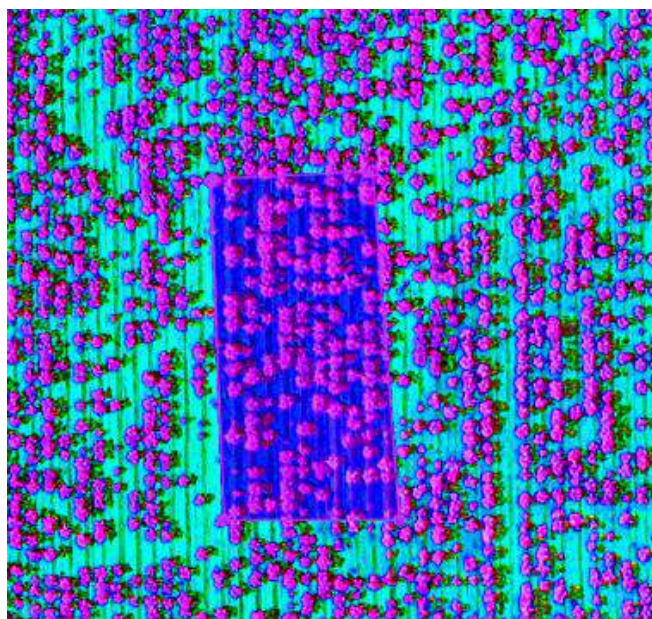


Рисунок 4.18 – Мультиспектральное отображение контрольных участков

Способ измерения густоты по картам БПЛА так же является частью технического задания для разработки программного обеспечения. Появляется возможность при интеграции технологий машинного зрения автоматизировать процесс на основе полученных данных. Разрабатываемое программное обеспечение должно иметь возможность выбора вида культуры и автоматически создавать размеры контрольных участков, распознавать тип и количество растений и выдавать плотность растений на 1

га (м²) и в одном ряду при запросе агронома и рассчитывать предполагаемую урожайность поля.

Анализ полетов по рису

Современная рисовая система разбивается на поливные карты и чеки каналами, дорогами и валиками. Первичным элементом системы является чек — участок, огражденный валиками. Валики высотой 30–35 см являются водоудерживающим сооружением для поддержания нужных горизонтов воды на каждом из чеков, между которыми они устраиваются. Таким образом, карта, чек и валик – неотъемлемые элементы рисовой ирригационной системы. Отклонение от горизонтальной поверхности не должно превышать – 5 см. Карта орошается одним оросителем и осушается одним сбросным каналом. Рис в нашей стране выращивается в условиях затопления. Рисовые ирригационные системы строят на массивах со спокойным рельефом и уклоном не более 0,003–0,005. Поле продольными валами делят на поливные карты, орошаемые оросительными и осушаемыми сбросными каналами. Поливные карты шириной 200–300 м и длиной 600–1500 м разделяют поперечными валиками (высота 35 см, ширина по верху 20 см) на чеки в 3–5 га правильной конфигурации, с выровненной поверхностью.

Для анализа возможности применения БПЛА при возделывании риса были выбраны чеки рисовой системы ВНИИ риса (г. Краснодар). Выбранный участок отличался тем, что была возможность анализа в естественных условиях выращивания риса и взаимодействие с сотрудниками института, что позволяет совершать полеты над опытными станциями с рисом разных сортов и проводить мониторинг в сортовом сравнении (рисунок 4.19).

Общая площадь исследуемой рисовой системы составила порядка 100 га. Основной задачей исследования являлся дистанционный мониторинг рисовых систем при помощи БПЛА. Для этого был составлен план полетов, включающий разные фазы вегетации риса.

Одним из главных факторов при выращивании риса является выровненность рисовой системы, не соблюдение которой влечет за собой распространение сорняков и потерю урожая. Визуально наблюдать неровность системы возможно при сливе воды из системы, когда на чеках остаются так называемые «вымочки» – блюдца воды.



Рисунок 4.19 – Участок испытаний БПЛА по рису

Различный цветовой окрас позволяет предварительно говорить о неравномерности рельефа и наличия вымочек. Так же цветовая неравномерность грунта может характеризовать почвенные различия, для установления точной причины нужно проводить почвенное обследование (рисунок 4.20).

Получение равномерных и достаточно полных всходов является наиболее ответственным в технологии его возделывания. Семена для прорастания впитывают 23–28 % воды от массы семян, в этот период они не нуждаются в кислороде, эндосперм развивается за счет анаэробного дыхания. При глубокой заделке семян (4–5 см) усиливается анаэробное дыхание, что приводит к гибели семян.

Семена прорастают при температуре 10–46 °С, при низких температурах загнивает зародыш, оптимальная температура прорастания 34°С. Некоторые формы риса не дают всходов при начальном затоплении водой. Учеными установлено хорошее прорастание крупных семян в анаэробных условиях.



Рисунок 4.20 – Фрагмент рисовой системы

От прорастания семян до появления всходов проходит 7–15 дней, это зависит от температуры воздуха, увлажнения почвы, от энергии прорастания. В фазу всходов образуется до 3–4-х листьев, это совпадает с началом фазы кущения, которое проходит в аэробных условиях (рисунок 4.21). В период всходов происходит быстрый рост корневой системы, в корнях появляются воздушные клетки (ходы), которые обеспечивают растение кислородом. Всходы, затопленные водой до 15 см, легко преодолевают слой воды и выходят наружу, следовательно, если вследствие неравномерности рельефа уровень воды окажется выше нормы или недостаточным (сухой участок), то произойдет потеря урожая.



Рисунок 4.21 – Фаза входов риса

При температуре 20–30°C всходы быстро прорастают, этому сильно способствуют минеральные удобрения, внесенные в этот период. В этих условиях разрастаются пазушные почки, что приводит к кущению. Кущение начинается при 3–4 листьях и длится до образования 8–9 листьев, когда наступает фаза трубкования (рисунок 4.22). В фазу кущения протекает ответственный момент развития риса, от этого зависит продолжительность вегетационного периода. При 8–9 листьях начинается выход в трубку, в этой фазе развивается метелка и ее части. Начало фазы трубкования зависит от спелости сорта, у скороспелых сортов она начинается при образовании 5–6 листьев, а у позднеспелых – при 8–9 листьях.



Рисунок 4.22 – Начало и завершение фазы трубкования риса

На этом этапе так же есть возможность диагностики состояния растений и проведение минеральной подкормки. Неравномерность азотного содержания проявляется так же в разнообразии цвета. При помощи мультиспектральной камеры и индекса NDVI наблюдаем неравномерности (рисунок 4.23).



Рисунок 4.23 – Карта состояния риса на основе индекса NDVI

Стоит отметить, что этот метод носит рекомендательный характер, и может служить лишь первоначальным инструментом диагностики состояния наряду с визуальным осмотром. Для определения доз внесения следует применять методы, установленные ГОСТ. Предлагаемый метод нуждается в дополнительных исследованиях, на основании которых могут быть даны в последствии рекомендации.

На карте перед уборкой отчетливо видны области без риса – области потери урожая и имея сезонный комплект карт в различных фазах созревания можно выявить причины потери урожая и запланировать мероприятия по их ликвидации (рисунок 4.24).



Рисунок 4.24 – Состояние рисовой системы перед уборкой

На карте отчетливо видны темные зоны, на которых отсутствует рис.

При сопоставлении снимков перед посевом и уборкой можно предположить, что потеря урожая в этих местах наступила по причине неравномерности рельефа и наличия вымочек (рисунок 4.25).

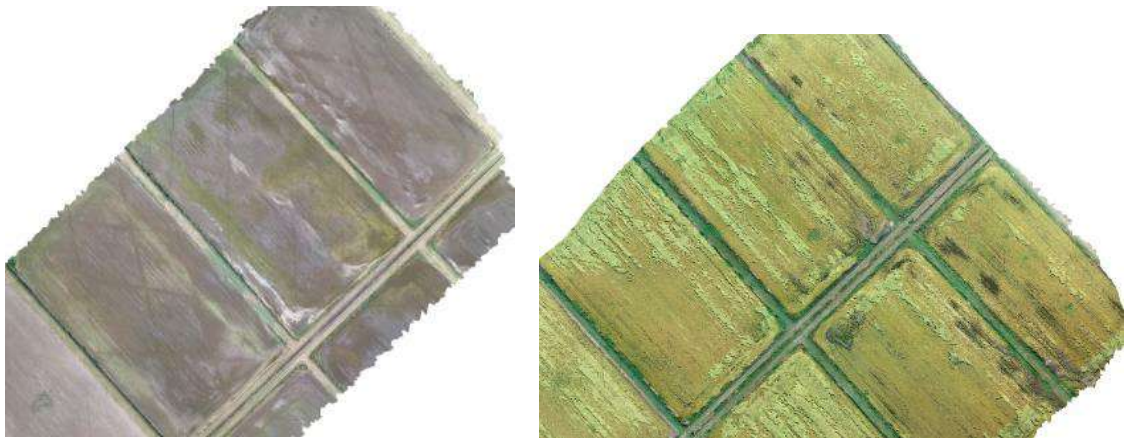


Рисунок 4.25 – Фрагменты проблемных участков до посева и перед уборкой

Используя разработанное программное обеспечение появляется возможность так же провести предварительную диагностику уровня рисовой системы (рисунок 4.26).

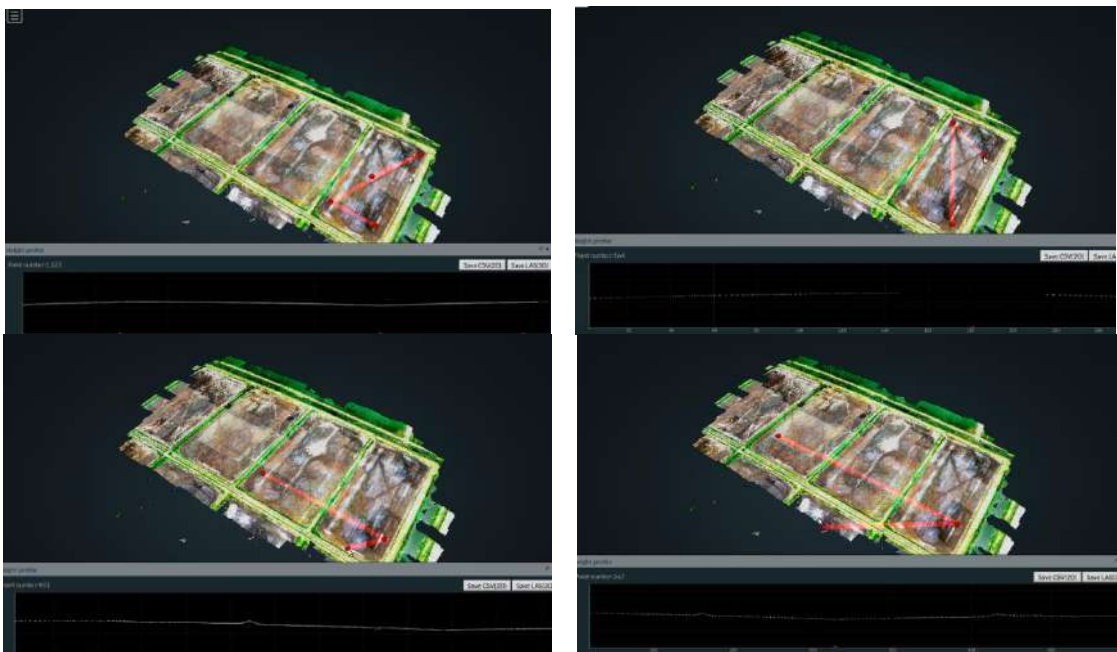


Рисунок 4.26 – Анализ неровности рельефа рисовой системы

На представленных рисунках красная линия показывает направление сечения поверхности, и диаграмма под картой раскрывает визуальное и числовое состояние уровня рельефа. Как видно из диаграммы на выбранном участке наблюдаются явные неравномерности в местах потери урожайности. Стоит отметить, что данная методика так же пока носит лишь предварительный диагностический характер, следует проводить

дополнительные исследования. Для предприятий этот инструмент так же может быть полезен при принятии решения и экономии финансовых затрат.

Так же в процессе исследования БПЛА и возможностей его применения был определены существенные недостатки, на которые стоит обращать внимание при анализе снимков.

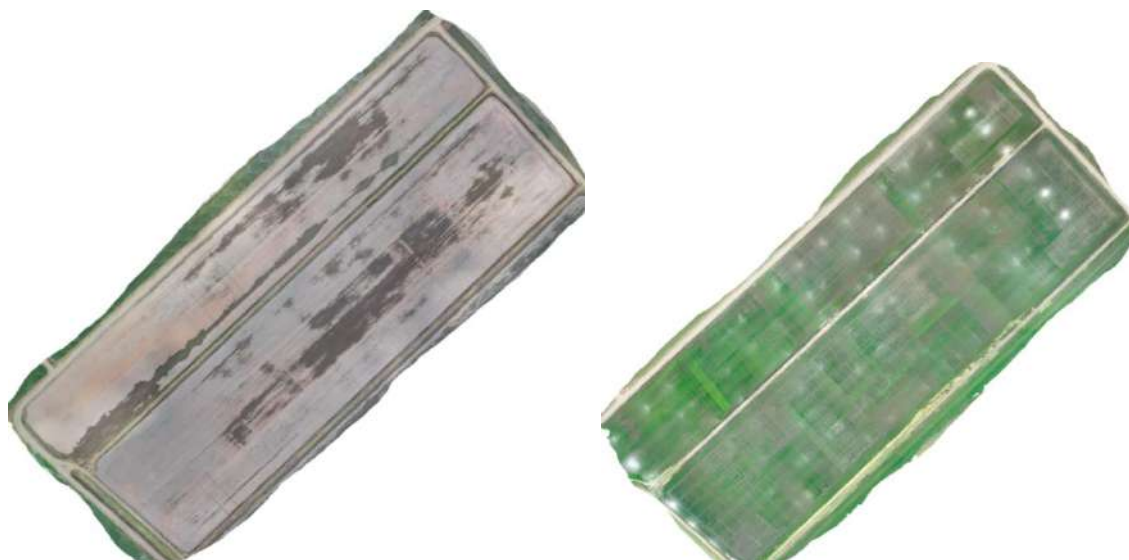


Рисунок 4.27 – Анализ полетов над затопленной рисовой системой

В процессе полетов различные цветовые оттенки на фото могут возникать при наличии облачности – отбрасывании тени облаков или возникновении солнечных бликов от поверхности воды. Так же паразитным явлением на фото могут быть солнечные блики, если проводить полеты в утренние или вечерние часы в безоблачную погоду. Наиболее благоприятное время полета 11³⁰–15³⁰.

Анализ сортового разнообразия так же может существенно влиять на аппаратное определение индекса NDVI. Полеты над опытными селекционными участками показали широкое цветовое разнообразие разных сортов, следовательно, при работе по определению состояния азота в растениях так же следует учитывать этот фактор (рисунки 4.28–4.30).



Рисунок 4.28 – Селекционный участок

Как видно из следующего фото в один и тот же период одна культура, но в разных сортах дает совершенно различное изображение.

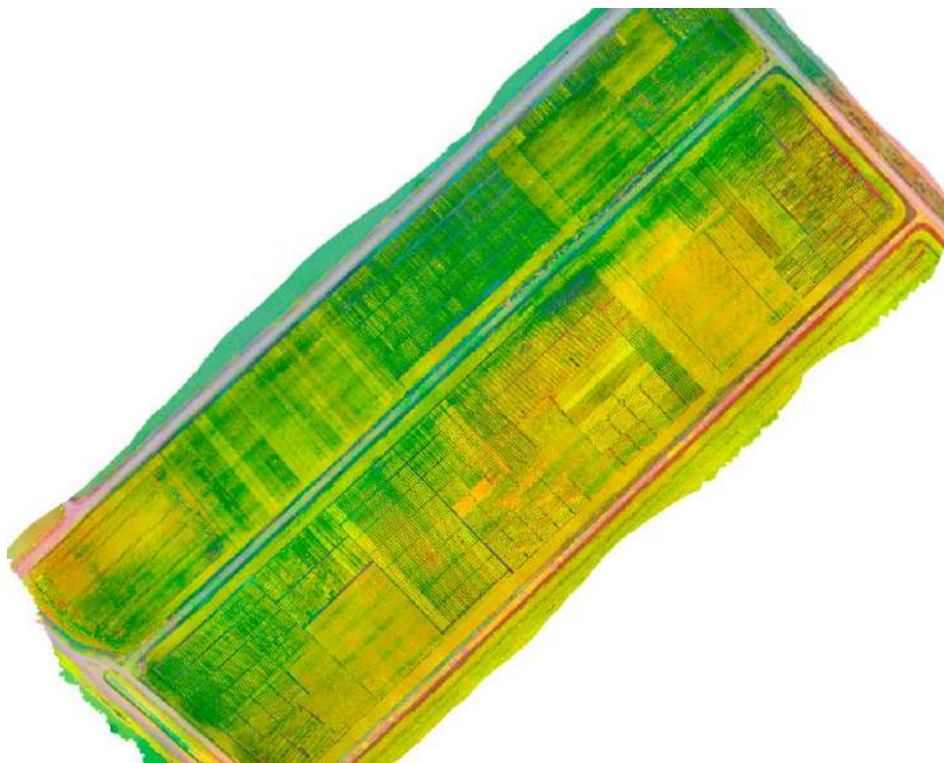


Рисунок 4.29 – Мультиспектральное изображение селекционного участка



Рисунок 4.30 – Состояние селекционного участка перед уборкой

Полеты над другими опытными участками рисовой системы так же подтверждают описанные выше предположения по возможности применения БПЛА и программного обеспечения для обработки изображений в сельском хозяйстве как предварительных инструментов диагностики состояния культуры и рельефа.

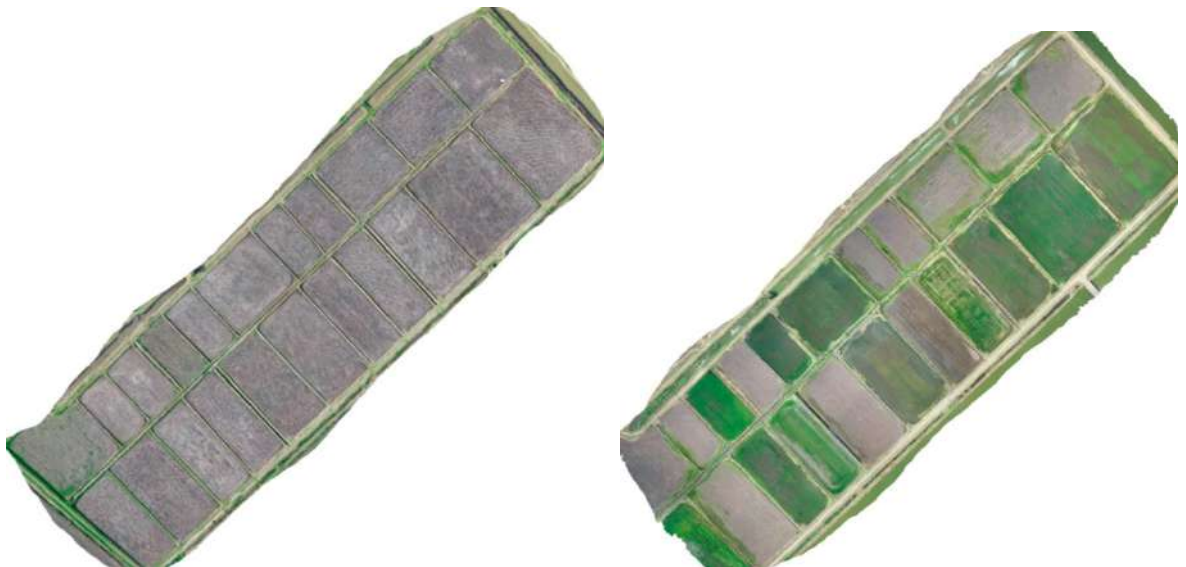




Рисунок 4.31 – Исследуемый участок рисовой системы в разные периоды обработки

Список литературы

1. ГОСТ Р 60.0.0.1-2016. Роботы и робототехнические устройства. Общие положения [Текст]. – Введ. 2018–01–01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 7 с.
2. Журнал «Агроинвестор» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.agroinvestor.ru>.
3. Издательский дом Connect [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.connect-wit.ru>.
4. Ильченко Я.А. Повышение продовольственной безопасности путем разработки и внедрения отечественных систем автоматизированного управления / Я. А. Ильченко, Н. Ю. Курченко, З. Ю. Джабатыров, Ю. В. Степыкина, А. К. Бек-Оглы // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. 2017. № 31 (3). С. 124-130.
5. Интеллектуальные технические средства АПК : учеб. пособие / Е. В. Труфляк, Е. И. Трубилин. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 266 с.
6. Курченко Н. Ю. Мониторинг и прогнозирование научно-технологического развития АПК в области точного сельского хозяйства, автоматизации и роботизации: монография / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко, Л. А. Дайбова, А. С. Креймер, Ю. В. Подушин. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 199 с.
7. Курченко Н. Ю. Состояние и перспективы развития точного земледелия: монография / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко, Л. А. Дайбова, А. С. Креймер. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – 221 с.
8. Курченко Н.Ю. Сравнительный анализ капитальных вложений при традиционном опрыскивании и применении беспилотной авиации при обработке против насекомых / Н.Ю. Курченко // British journal of innovation in science and technology, 2018. Т. 3. № 1. С. 25-30.
9. Курченко Н. Ю. Технология применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / Н. Ю. Курченко // British Journal of Innovation in Science and Technology. 2018. Т. 3. № 3. С. 37-42.
10. Курченко Н. Ю. Точное сельское хозяйство: состояние и перспективы / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко // Физико-технические проблемы создания новых технологий в агропромышленном комплексе Сборник научных статей по материалам Международной научно-практической конференции. 2017. С. 288-291.

11. Оськин С. В. Анализ возможности применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве / С. В. Оськин, Н. Ю. Курченко, Ле Тхи Тхю Линь, А.Г. Болотин // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. 2018. № 2-3 (22-23).С.97-103.

12. Ситуационные центры [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ситцентр.рф>.

13. Труфляк Е. В. Мониторинг и прогнозирование научно-технологического развития АПК в области точного сельского хозяйства, автоматизации и роботизации / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко, Л. А. Дайбова, А. С. Креймер, Ю. В. Подушин, Е. М. Белая. – Краснодар : КубГАУ, 2017. – 199 с.

14. Труфляк Е. В. Результаты изучения нормативно-правовой базы по беспилотным летательным аппаратам и наземно-транспортным средствам / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко. – Краснодар : КубГАУ, 2017.

15. Anderson, K., and Gaston, K.J., 2013. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 11(3), pp. 138–146.

16. Mulero-Pázmány, M., Barasona, J. Á., Acevedo, P., Vicente, J., & Negro, J. J., 2015. Unmanned aircraft systems complement biologging in spatial ecology studies. *Ecology and evolution*, 5(21), pp. 4808-4818.

17. Precision agriculture technology for crop farming / Edited by Qin Zhang. – Washington State University Prosser, Washington, USA, 2016. – 382 с.

18. Tahar, K. N., 2015. Multi rotor uav at different altitudes for slope mapping studies. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40, pp. 9-16.

19. Thamm, H. P., Brieger, N., Neitzke, K. P., Meyer, M., Jansen, R., & Mönninghof, M., 2015. SONGBIRD-an innovative UAS combining the advantages of fixed wing and multi rotor UAS. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 40, pp. 345-249.

Интернет источники:

1. <http://unmanned.ru/uav/supercam.htm>
2. <http://luftera.ru/products/>
3. <https://www.geoscan.aero/>
4. http://omgtu.ru/scientific_activities/innovative_structure/research_laboratories/njl_quot_small_unmanned_vehicles_quot/

5. <http://www.aerolab.ru/partners.html>
6. <https://agro-fly.com/293-2/>
7. <http://uav-siberia.com/>
8. <http://www.aerolab.ru>
9. <http://zala.aero/category/production/bla/planes/>
10. <http://www.uav-stol.com/ru-RU/novosti/-primoco-uav----->
11. <http://www.uaver.com/unmanned-aerial-vehicles.html>
12. <https://www.parrot.com/global/drones#fly-and-film-an-adventure-with-your-drone>
13. <http://www.honeycombcorp.com/agdrone-system/>
14. <http://www.robogeek.ru/companies/aerokso#>
15. <http://www.dji.com>
16. <https://www.yuneec.com>
17. <http://kespry.com/platform/field-capture>
18. <https://www.autelrobotics.com/>
19. <https://insitu.com/>
20. <http://www.flytrex.com/projects/iceland-aha/>
21. <http://www.ehang.com/>
22. <https://www.aeryon.com>
23. <https://www.cyphyworks.com/>
24. <https://www.aerialtronics.com/>
25. <http://freeflysystems.com/>
26. <http://www.flyability.com>
27. <http://www.draganfly.com/>
28. <http://actiondroneusa.com/>
29. <https://www.intel.com/content/www/us/en/technology-innovation/aerial-technology-overview.html>
30. <https://shop.gopro.com/Marketing/karma>
31. <https://www.ambarella.com/>
32. <http://www.udirc.com>
33. <http://robotrends.ru/robopedia/proizvoditeli-bespilotnikov-rossiya>
34. http://bespilotnik.org/catalog/?utm_source=sovzond&utm_medium=link
35. <http://avia.pro/>
36. <https://www.agrobase.ru>

