

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
Учреждение высшего образования  
«Горский государственный аграрный университет»  
(ФГБОУ ВО Горский ГАУ)

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ,  
ПОЛУЧЕННОЙ ОТ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ  
АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ,  
СИСТЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, СИСТЕМ  
ФОТО- И ВИДЕОСЪЕМКИ,  
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ВОЗДУШНОГО  
ПРОСТРАНСТВА

Учебное пособие  
для обучающихся по специальности  
25.02.08 Эксплуатация беспилотных авиационных систем

УДК 631.171:62

ББК 40.7я73

**Составитель:** Уртаев Т.А.

Методы и алгоритмы обработки информации, полученной от функционального оборудования беспилотных авиационных систем, систем специализированного навесного оборудования, систем фото- и видеосъемки, системы мониторинга земной поверхности и воздушного пространства: учебное пособие / Составитель: Уртаев Т.А. – Владикавказ: ФГБОУ ВО Горский ГАУ, 2024. – 70 с.

В учебном пособии изложены методы и средства дистанционного зондирования в сельском хозяйстве, методы и алгоритмы обработки информации полученной от функционального оборудования беспилотных авиационных систем, систем фото- и видеосъемки, системы мониторинга земной поверхности, а также приведены примеры альтернативного применения беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по специальности 25.02.08 Эксплуатация беспилотных авиационных систем.

© Издательство ФГБОУ ВО Горский ГАУ, 2024

# 1. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ

## 1.1. Методы и средства дистанционного зондирования в сельском хозяйстве

Применение дистанционного зондирования в сельском хозяйстве основано на взаимодействии электромагнитного излучения с почвой или растительностью и относится к бесконтактным измерениям отраженной или излучаемой от сельскохозяйственных полей радиации. Платформы для таких измерений включают спутники, самолеты, трактора и портативные датчики. Кроме отражения, пропускания и поглощения листья растений могут выделять энергию посредством флуоресценции или тепловой эмиссии. Термическое дистанционное зондирование для определения водного стресса посевов основано на эмиссии излучения под действием изменения температуры листьев и посева в целом и зависит от температуры воздуха и скорости испарения.

Применение дистанционного зондирования в сельском хозяйстве обычно классифицируют в зависимости от типа платформы для установки датчиков: *спутниковые, беспилотные (авиационные) и наземные.*

*Спутники* используются в сельском хозяйстве для получения изображений с начала 1970-х гг., когда спутник Landsat 1 (первоначально известный как Earth Resources Technology Satellite 1) был запущен в 1972 г. Многоспектральная сканирующая система (MSS), размещенная на Landsat 1, позволяла получать изображения в зеленом, красном и двух инфракрасных диапазонах с пространственным разрешением 80 м и частотой получения данных 18 дней. Спутник Landsat 1 изначально использовался для определения сельскохозяйственных ландшафтов на полях кукурузы и сои (США) с общей точностью 83%. В 1984 г. был запущен спутник Landsat 5 с картографом Thematic Mapper (TM) для получения изображений с пространственным разрешением 30 м в синем, зеленом, красном, ближнем инфракрасном и трех дальних инфракрасных (в том числе тепловом) диапазонах. В 1986 г. во Франции запустили аналогичный спутник (SPOT 1) для получения изображений с разрешением 20 м с частотой получе-

ния данных до шести дней в зеленом, красном и ближнем инфракрасном диапазонах. Jewel (1989) использовал изображения, полученные в период с февраля по сентябрь в Восточной Великобритании для распознавания зерновых и полевых культур, лугопастбищных и лесных угодий с точностью 88%. В 1988 г. в Индии запустили спутник IRS-1A с зоной покрытия в синем, зеленом, красном и ближнем инфракрасном диапазонах с пространственным разрешением 72 м. Panigrahy and Sharma (1997) использовали отражение в красном и ближнем инфракрасном диапазонах для определения сельскохозяйственных ландшафтов Индии с точностью 95%.

Наиболее активно применение спутникового дистанционного зондирования в сельском хозяйстве связано с появлением и развитием точного земледелия.

Впервые в 1991 г. показаны значительные возможности для использования дистанционного зондирования в технологиях точного земледелия для оценки пространственного распределения содержания органического вещества и фосфора в почве и учета урожайности.

Прогресс развития спутникового дистанционного зондирования в точном земледелии очевиден. Во-первых, пространственное разрешение систем получения изображений улучшилось с 80 м для Landsat до нескольких сантиметров для GeoEye и WorldView. Во-вторых, периодичность получения снимков сократилась с 18 дней для Landsat до одного дня для WorldView. В-третьих, количество спектральных полос, доступных для анализа, увеличилось с четырех (ширина полосы более 60 нм) для Landsat до восьми и более (полоса пропускания более 40 нм) для WorldView. Гиперспектральные системы получения изображений, такие как Hyperion на спутнике наблюдения Земли 1 (EO 1) Национального управления по аэронавтике и космическому пространству (NASA), предоставляют снимки со спектральным разрешением от 400 до 2500 нм с шагом (интервалом) 10 нм.

Пространственное разрешение, частота возврата и спектральное разрешение спутниковых изображений существенно улучшились. Гиперспектральные аэрофотоснимки коренным образом изменили возможности различать характеристики сельскохозяйственных культур, включая содержание питательных веществ, воды, пораженность вредителями, болезнями, засоренность сорными растениями, биомассу и структуру посева.

Вторым вариантом применения дистанционного зондирования в сельском хозяйстве является использование **беспилотных (авиационных)** систем.

В Федеральном законе от 03.07.2016 № 291-ФЗ «О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации» вводится термин «Беспилотная авиационная система» (БАС) – комплекс взаимосвязанных элементов, включающий в себя одно или несколько беспилотных воздушных судов, средства обеспечения взлета и посадки, средства управления полетом одного или нескольких беспилотных воздушных судов и контроля за полетом одного или нескольких беспилотных воздушных судов.

БАС, помимо беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), состоит из *бортового комплекса управления, полезной нагрузки и наземной станции управления.*

Беспилотный летательный аппарат в общем случае – это летательный аппарат без экипажа на борту.

Принципиально известны два варианта конструкции БПЛА: с фиксированным и вращающимся крылом (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Общий вид БПЛА:

*а – с фиксированным крылом; б – с вращающимся крылом.*

Беспилотники с *фиксированным крылом* (самолетного типа) состоят из жесткого крыла, которое имеет заданный аэродинамический профиль (рис. 1.2). Полет обеспечивается с помощью пропеллера, который приводится в движение двигателем внутреннего сгорания или электродвигателем. Аппараты такого типа могут переносить большую полезную нагрузку на большие расстояния при меньшей мощности. Недостатком является необходимость взлетно-посадочной полосы

или пусковой установки для взлета и посадки. Такие БПЛА для создания подъема требуют движения воздуха по своим крыльям, они не подходят для проведения стационарных работ. При полете теряется визуальный контакт с аппаратом, что осложняет процесс работы и законодательно запрещено в некоторых странах.

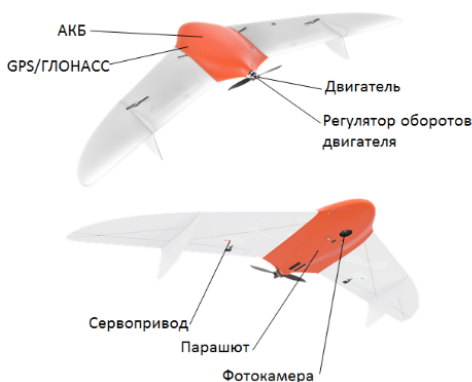


Рисунок 1.2 – Устройство БПЛА самолетного типа

Беспилотники с вращающимся крылом (вертолетного типа) состоят из одной и более лопастей, которые вращаются вокруг неподвижной оси, при этом постоянного движения аппарата вперед не требуется для создания воздушного потока над лопастями, вместо этого сами лопасти находятся в постоянном движении, которые создают необходимый воздушный поток для поднимающей силы. Управление вращающимися БПЛА происходит за счет изменения тяги и крутящего момента двигателя. Например, нисходящее движение создается задними двигателями, создающими большую тягу, чем передние, что позволяет задней части беспилотника подниматься выше, создавая, таким образом, угол наклона. При повороте аппарата используется сила крутящего момента диагональных двигателей, что создает дисбаланс, заставляя аппарат вращаться по вертикальной оси. Наибольшее преимущество таких беспилотников – возможность взлета и посадки по вертикали.

Основной элемент беспилотника вертолетного типа – полетный контроллер (рис. 1.3), который предназначен для обработки сигналов, поступающих с дистанционного пульта оператора и установленных на нем датчиков, от которых передаются показания. Чем больше сигналов контроллер может обрабатывать, тем более универсальным является летательный аппарат. Обратная связь с оператором осуществляется через установленные на корпусе передатчики. В зависимости от полученных данных оператор изменяет параметры полета дрона исходя из показаний датчиков и алгоритмов программы, контроллер может самостоятельно изменить параметры полета беспилотника, не прибегая при этом к помощи оператора.



Рисунок 1.3 – Устройство беспилотника вертолетного типа

Беспилотники с вертикальным взлетом и посадкой (в основном это семейство коптеров, которое можно классифицировать по количеству двигателей, собственной массе, полезной нагрузке, параметрам и продолжительности полетов) играют важную роль в получении оперативной информации и картографических материалов территорий, небольших участков, отдельных полей либо хозяйств крупных размеров со сложной конфигурацией угодий. С помощью беспилотников можно выявить на отдельных участках пашни недостаточность внесения удобрений или иные серьезные огрехи. Применение БПЛА в сельском хозяйстве позволяет осуществлять видеоконтроль над территорией полета на высотах от нескольких сантиметров до нескольких

сотен метров в реальном режиме времени и одновременно производить фиксацию на видео и фото. Полученную информацию обрабатывают и преобразовывают в необходимые виды и формы для дальнейшего применения.

Полученная *фотографическая схема* местности (черно-белая или цветная) используется при изучении и картировании. Она монтируется из нетрансформированных (т. е. имеющих искажения в связи с нестабильностью условий съемки) смежных снимков, которые приводят к заданному масштабу, разрезают по перекрывающимся контурам и соединяют путем наклейки на общую основу. Фотографическую схему получают по воздушным, космическим, наземным и подводным снимкам, полученным как при непосредственном фотографировании, так и при воспроизведении изображения с экрана сканирующей системы.

*Ортофотоплан* является разновидностью плана местности на точной геодезической основе, который дает возможность с максимальной достоверностью воссоздать земную поверхность. Снимки, сделанные с беспилотника, преобразовываются из центральной проекции в ортогональную, после чего пропадает эффект параллакса (изменение видимого положения объекта относительно удаленного фона в зависимости от положения наблюдателя) и рельеф местности отображается корректно.

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.

Мультиспектральная камера делает изображения на определенных частотах всего электромагнитного спектра. Длины волн могут быть разделены фильтрами или приборами, чувствительными к определенным длинам, включая свет с частотами, выходящими за пределы видимого, например инфракрасного спектра. 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. Они строятся из измерений отражения в двух длинах волн или более 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 – нормализованный вегетационный индекс).

Индекс NDRE (Normalized Difference Red Edge) также довольно часто встречается на камерах Sentera, имеющих дополнительный фильтр NDRE.

Камера Sentera Quad является одной из самых легких по массе, имеет компактный и высокопроизводительный мультиспектральный датчик (рис. 2.4а). Он способен распознавать шесть конкретных полос света, а также измерять полноэкранную цветовую модель RGB (аббревиатура английских слов red, green, blue – красный, зеленый, синий) для создания цветных изображений.

Камера Sentera Double 4k Sensor также является одной из самых маленьких двойных камер (рис. 1.4б).



Рисунок 1.4 – Мультиспектральные камеры для беспилотников: а – Sentera Quad; б – Sentera Double 4k Sensor.

Parrot Sequoia делает изображения культур по четырем четко определенным, видимым и невидимым спектральным полосам, а также изображениям RGB (рис. 1.5 а).



Рисунок 1.5 – Камеры для дистанционного зондирования: а – Parrot Sequoia; б – MicaSense RedEdge Sensor.

Это решение использует два датчика, второй – датчик освещенности, установленный на задней части беспилотного летательного аппарата.

Камера MicaSense RedEdge Sensor одновременно захватывает пять дискретных спектральных диапазонов, что позволяет создавать индивидуальные индексы для определенных приложений (рис. 1.5б).

Существуют также **наземные датчики**, которые разработаны для непрерывного мониторинга (в движении) характеристик сельскохозяйственных посевов и почв, таких как азотный и водный стресс, содержание органического вещества и влаги в почве.

В начале 1990-х гг. появился новый подход, известный как *проксимальное почвенное зондирование*. В основе этого подхода – непрерывные измерения пространственных изменений почвенных показателей в режиме реального времени с использованием датчиков, установленных на тракторах. Первое применение почвенного зондирования состояло в измерении содержания почвенного органического вещества по отражению от нескольких светоизлучающих диодов (660 нм). Калибровка датчика по каждой почвенной разности повышала его точность, но влажность почвы сильно влияла на достоверность изме-

рений. В 1993 г. разработан портативный датчик ближнего инфракрасного излучения (NIR), который можно было одновременно использовать для оценки содержания органического вещества и влажности почвы. Похожая технология разработана для проведения одновременных измерений содержания органического вещества, углерода, фосфора, калия, кальция, влажности и pH почвы.

Шаг вперед в точном земледелии произошел в 1993 г., когда было проведено непрерывное бесконтактное проксимальное зондирование электропроводности почвы в реальном времени с использованием Geonics EM-38 для измерения электромагнитной индукции (рис. 1.6).



*Рисунок 1.6 – Датчик отображения проводимости почвы EM-38-MK2*

Для измерения спектрального излучения в красной (671 нм) и ближней инфракрасной (780 нм) полосах в посевах пшеницы применяли датчик, установленный на мобильном мини-тракторе. Полученные данные использовали для оценки спектрального индекса, известного как спектральный индекс азота, который был абсолютным значением инверсии NDVI. Результаты показали, что спектральный индекс азота сильно коррелирует с потреблением N растениями. Исходя из этого, были разработаны технологии дифференцированного внесения азотных удобрений при проведении проксимального зондирования

посевов и основой для промышленной разработки в 2001 г. активного сенсора GreenSeeker (США) – рисунок 1.7.

В 2002 г. разработан устанавливаемый на тракторе пассивный сенсор для определения азотного состояния посева на основе NDVI. Первоначально известный как Hydro-N-сенсор (рис. 1.8), он впоследствии стал известен как датчик Yara-N (Norway, рис. 1.9).

Активный датчик урожайности, известный как Crop Circle, разработан в 2004 г. (рис. 1.10). Датчик первоначально использовал коэффициент отражения в зеленом и NIR-диапазоне для оценки дефицита N в посеве.



*Рисунок 1.7 – Трактор с сенсором GreenSeeker*



*Рисунок 1.8 – Трактор МТЗ 1221 с распределителем минеральных удобрений Amazone ZA-M 1500 и Hydro-N-сенсором на крыше (Агрофизический НИИ)*

Существует одно ограничение для датчиков хлорофилла, GreenSeeker, Yara-N и Crop Circle, которое заключается в том, что ни один из них не способен напрямую оценить количество азота, необходимого для преодоления N-стресса. Для решения проблемы ученые провели сравнение показаний датчиков с показаниями на эталонных участках, получающих достаточное количество азотных удобрений, и использовали эти данные для разработки функций отклика на их внесение, которые связывают показания датчиков с количеством удобрений, необходимых для преодоления N-стресса.



*Рисунок 1.9 – Трактор с установленным на крыше Yara-N-сенсором*



*Рисунок 1.10 – Датчик Crop Circle*

В будущем управление хозяйством, вероятно, будет осуществляться со значительно большим пространственным и временным разрешением, чем с существующими подходами к точному земледелию. Небезосновательно ожидать, что посевы в современных хозяйствах будут управляться от «растения к растению», т. е. прогрессивно, так как раньше использовали почвенные показатели. Такой подход потребует сбора и анализа массы данных в масштабе, который сегодня не представляется возможным, включая стационарные и мобильные датчики, которые смогут измерять характеристики отдельных растений в режиме реального времени. Датчики могут быть установлены на спутниках, самолетах, беспилотных летательных аппаратах, тракторах или прикреплены к мобильным роботам для регистрации плотности сорняков, высоты посевов, отражательной способности листьев, состояния влаги и других свойств, важных для принятия решений по управлению внесением удобрений и пестицидов. Эти датчики должны быть надежными, работать на возобновляемых источниках энергии и иметь возможность передавать информацию с помощью беспроводных сетей на компьютеры, которые могут выполнять процедуры интеллектуального анализа данных и создавать сложные рекомендации по управлению. Полученные рекомендации могут быть переданы компьютерам и контроллерам на поле для регулирования нормы полива, дозы внесения удобрений и гербицидов при высокой разрешающей способности.

## **1.2. Рынок беспилотных авиационных систем**

Перспективный рынок беспилотных авиационно-космических систем, комплексных решений и услуг на их основе в настоящее время находится в стадии формирования. По данным маркетинговых исследований ведущих иностранных компаний (Markets and Markets, Teal Group (Тил Групп), США), объем этого рынка в 2014 г. составил 6,76 млрд долл. США. Из них около 66% относится к сегменту военного применения, 20% – к сегменту обеспечения безопасности и только 14% – к сегменту гражданского и коммерческого применения беспилотных авиационных систем.

В течение последнего десятилетия разработка и производство БАС являются наиболее динамичным сегментом мировой авиационной отрасли и стабильно обеспечивают совокупный среднегодовой темп роста не менее 10%. Даже в периоды общего спада отрасли сегмент БАС демонстрирует положительную динамику. В настоящее время основные объемы этого рынка обеспечиваются потребителями из силового сектора, решающими задачи военного и специального применения, охраны границ, общественного порядка и т. п. Однако рынок гражданского и коммерческого применения имеет наибольший потенциал роста.

### **Основные сегменты рынка гражданского применения БАС:**

#### *1) сформированные преимущественно запросами государства*

- мониторинг транспортного потока;
- исследование климата и экологический мониторинг;
- поиск и спасение;
- борьба с пожарами и стихийными бедствиями;
- помощь в операциях по поддержанию правопорядка;
- исследование дикой природы.

#### *2) сформированные преимущественно запросами бизнеса*

- сельское хозяйство (картирование земель для целей точного земледелия, мониторинг урожайности и внесение веществ);
- связь (использование БАС как платформ для ретрансляции сигналов);
- исследование целостности и состояния зданий и сооружений, в том числе инфраструктурных объектов;
- профессиональная кино- и фотосъемка;
- поиск полезных ископаемых;
- перевозки;
- картография и топографическая съемка;
- реклама.

#### *3) сформированные преимущественно запросами частных лиц*

- использование в личных целях (любительская фото- и видеосъемка, состязания, иные развлекательные цели и др.);
- персональная связь.

#### *4) сквозные*

- системы защиты;
- охрана территорий.

По состоянию на 2013 г., по данным Teal Group (Тил Груп, США), на рынке БАС доминировали компании GA-ASI (Дженерал Атомикс Аэронавтикал Системс Инк., США), Northrop Grumman Corporation (Нортроп Грумман Корпорейшн, США), Elbit Systems Ltd (Элбит Системс, Лтд, Израиль), IAI Ltd (Израиль Аэроспейс Индастриз, Израиль), а также AeroVironment (АэроВайронмент, США), доли которых составляли 19,02, 16,92, 8,35, 7,02, и 5,65% соответственно. Всего на долю этих компаний приходилось 57% рынка. Другие игроки рынка представлены компаниями Aeronautics Ltd (Аэронавтикс Лтд, Израиль), Safran SA (Сафран СА, Франция), SAAB AB (СААБ АБ, Швеция), Thales Group (Талес Груп, Франция), TAI Inc. (Туркиш Аэроспейс Индастриз Инк., Турция), и Aviation Industry Corporation of China (Эвиэйшн Индастри Корпорейшн оф Чайна, Китай), совокупная рыночная доля которых составляла 29,20%. В сфере разработки средств доставки и космического туризма наиболее заметны американские компании Virgin Galactic (Верджин Галактик), Blue Origin (Блу Ориджин), XCorp (ИксКорп) и др.

Лидирующие позиции на рынке БАС удерживала компания General Atomics Aeronautical Systems Inc. (Дженерал Атомикс Аэронавтикал Системс Инк., США) с долей 19,02% в 2013 г. Компания главным образом сосредоточила свои усилия на организации партнерства с другими ключевыми игроками с целью увеличения доли на рынке.

Второе место на рынке занимала компания Northrop Grumman Corporation (Нортроп Грумман Корпорейшн, США) с долей 16,92% в 2013 г. Продукты БАС этой компании включают в себя аппараты BAT UAV (БиЭйТи ЮЭйВи), EURO HAWK (ЕВРО ХОУК) и Global HAWK (Глобал ХОУК).

На третьем месте – компания Elbit Systems Ltd (Элбит Системс Лтд, Израиль), доля которой на рынке в 2013 г. составила 8,35%.

В 2013 г. Elbit Systems Ltd образовала совместное предприятие с корейской компанией Sharp Aviation K Inc. (Шарп Эвиэйшн Кей Инк., Корея), которое стало называться Sharp Elbit Systems Aerospace Inc. (SESA, Шарп Элбит Системс Аэроспейс, Инк).

Четвертое место на рынке удерживает компания IAI Ltd (Израиль Аэроспейс Индастриз, Израиль). Она предлагает линейку разнообразной продукции, в том числе беспилотные летательные аппараты, радары, самолеты дальнего радиолокационного обнаружения, безопасные средства связи (EW, ELINT/ESM, SIGINT & COMINT/COMJAM и др.).



Компания AeroVironment Inc. изготовила первые коммерческие БАС, одобренные Федеральным управлением гражданской авиации США, благодаря которым происходит сбор и передача коммерческой информации для нефтяного месторождения Прадхо-Бей, в том числе данных топографических съемок и геоинформационных систем (ГИС). На долю компании Lockheed Martin Corporation (Локхид Мартин Корпорейшн, США) приходится 4,20% рынка.

По состоянию на 2015 г. на российском рынке производства и эксплуатации гражданских БАС, выполнения авиаработ и оказания услуг с их применением работает около 200 частных компаний.

Основными видами деятельности этих компаний являются:

- производство и продажа собственных беспилотных комплексов и их комплектующих (29% компаний);
- перепродажа иностранных беспилотников и комплектующих (41% компаний);
- предоставление услуг (30% компаний).

Индустрия разработки, производства и эксплуатации БАС в России находится в стадии активного становления: около 60% компаний присутствуют на рынке менее трех лет, в этой сфере активно формируются новые компании (около 15% компаний работают менее года). Около 10% всех компаний присутствуют на рынке 8 лет и более.

Примерно половина компаний российского рынка БАС имеют не более 5 сотрудников, как правило, эти компании предоставляют услуги по аэросъемке или занимаются перепродажей беспилотников и их комплектующих. Как правило, компании, насчитывающие более 50 сотрудников, разрабатывают и продают беспилотные системы и комплектующие преимущественно собственного производства.

В связи с ростом населения Земли, повышением уровня жизни и истощением запаса качественных пахотных земель и легкодоступных ресурсов воды для орошения потребность в повышении урожайности высока и будет со временем все больше возрастать. В настоящее время стандартные методы ее увеличения (селекция, внесение удобрений, мелиорация) практически исчерпаны, поэтому особо важным становится внедрение способов выборочной, а не сплошной обработки отдельных участков полей в зависимости от состояния почв и развития растений.

В связи с этим необходим мониторинг полей для решения следующих задач:

- картирование почв с целью оптимального использования полей;
- создание 3D-моделей полей с целью оптимального построения систем ирригации и мелиорации, обустройства лесополос;
- определение индекса вегетативности (NDVI), характеризующего концентрацию зеленой массы с целью эффективного внесения удобрений, борьбы с вредителями и болезнями.

Регулярный мониторинг NDVI позволяет повысить урожайность без увеличения затрат на удобрения за счет выборочного внесения удобрений в зоны угнетенной растительности.

Кроме задач мониторинга, БАС применяются в сельском хозяйстве для внесения средств повышения урожайности (удобрения, полив) и борьбы с вредителями с целью предотвращения ущерба для растений, создаваемого наземной техникой при движении по полю.

### **1.3. Нормативно-правовая база использования беспилотных авиационных систем**

Рассмотрим существующие законодательные документы по использованию беспилотных авиационных систем в различных странах мира.

#### **Российская Федерация**

На текущий момент Россия на мировом рынке имеет долю примерно 2%, причем большая часть выручки от поставок приходится на оборонные БАС. Основное конкурентное преимущество России связано с исторической традицией развития авиационной науки и техники (а также авиамоделлизма) и наличием кадрового потенциала в этой отрасли. В короткий период с 2008 по 2013 г. в стране инициативно образовался ряд компаний, профессионально развивающих БАС-технологии. Аналогичное преимущество эффективно используют лидеры рынка – США и Израиль (последний – в большой степени за счет эмиграции высококвалифицированных специалистов из СССР и России).

Согласно Федеральному закону от 03.07.2016 № 291-ФЗ «О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации» они внесены в следующие пункты:

п. 1. Обязательная сертификация беспилотных авиационных систем и их элементов проводится в соответствии с федеральными авиационными правилами, устанавливающими порядок обязательной сертификации. Процедура завершается выдачей документа (сертификата), если в ходе ее проведения установлено, что беспилотные авиационные системы и (или) их элементы соответствуют требованиям к летной пригодности и к охране окружающей среды;

п. 3.2. Беспилотные гражданские воздушные суда с максимальной взлетной массой от 0,25 до 30 кг, ввезенные или произведенные в РФ, подлежат учету в порядке, установленном Правительством РФ.

### **США**

Это крупнейший игрок рынка БАС, контролирующий 65% всего рынка. Его военный сегмент является доминирующим и составляет порядка 70%. Для наращивания доли рынка США активно проводят инвестиции в исследования и разработки, а также осуществляют венчурное инвестирование в перспективные проекты. Для того чтобы обеспечить активное развитие рынка, проводится масштабная работа по адаптации законодательства и созданию контролирующей индустрию государственных институтов. В 2012 г. был изменен основной документ, регулирующий авиасообщение в стране – Федеральный авиационный акт (Federal Aviation Act), внесены основные концепции функционирования БАС в рамках ее воздушного пространства и разработан план дальнейшей деятельности. Разработана дорожная карта развития рынка БАС до 2028 г.

Регистрировать беспилотный самолет в США имеет право:

- гражданин США;
- гражданин иностранного государства с правом проживания на территории США;
- юридическое лицо, законно организованное в соответствии с законодательством США или любого государства, если оно основано и функционирует на территории США.

Регистрации подлежат беспилотные летательные аппараты массой от 0,25 до 25 кг.

Нормативные акты, регламентирующие правила и порядок регистрации:

*Федеральный закон № 112-95 ст. 336 (Public Law 112-95, Section 336) для судов некоммерческого назначения;*

*Воздушный кодекс, ч. 107 (Federal Regulations (14 CFR) part 107) для судов весом менее 55 фунтов (25 кг) коммерческого назначения.*

### **Страны Евросоюза**

Занимают примерно 6% рынка БАС. На текущий момент сегмент военного применения БАС также доминирует, составляя 65% рынка. Несмотря на малую долю рынка, Евросоюз проводит активные мероприятия для обеспечения дальнейшего роста.

В области законодательного регулирования:

- определена первоначальная концепция функционирования БАС (массой до 150 кг регулируются национальными правилами; более 150 кг – EASA);

- требования по сертификации БАС отличаются в разных странах ЕС, но в любом случае требуются сертификаты: на конструкцию, пригодность к полету, EASA для аппаратов массой более 150 кг;

- в отличие от США, пока отсутствует единая для Евросоюза система классификации БАС;

- унифицированы требования по допуску лиц из числа авиационного персонала, управляющего аппаратами массой более 150 кг;

- определены правила доступа к воздушному пространству.

### **Израиль**

Обеспечивает 3% мирового рынка, и, так же как и в США и Евросоюзе, основную часть (около 60%) составляют БАС военного применения. Инвестиции в военное направление растут из-за возможных угроз со стороны соседних стран, а также в рамках программы по борьбе с терроризмом. Гражданское направление тоже развивается, перенимая ряд технологий, которые были разработаны в рамках военного применения аппаратов. По оценке Стокгольмского института SIPRI, за период с 2001 по 2011 г. Израиль контролировал свыше 40% мирового рынка этого вида вооружений. В отчете международной консалтинговой фирмы Frost & Sullivan (Фрост энд Салливан, США) указывается, что Израиль в 2005–2012 гг. продал БАС на 4,8 млрд долл., в то время как США – на 2–3 млрд долл. Хотя США, вероятно, в количественном отношении производят больше беспилотников, чем Израиль, основная часть идет на оснащение собственных вооруженных сил и армий союзников. Кроме того, законодательство США ограничивает экспорт этого вида продукции. Ключевое конкурентное преимущество Израиля –

огромный опыт продажи БАС: из 76 стран, использующих военные беспилотники, как минимум 53 в той или иной мере применяют БАС израильского производства. Израиль находится в состоянии жесткой конкурентной борьбы с США за поставки беспилотной авиатехники на европейский рынок.

Управление гражданской авиации Израиля курирует вопросы содействия законодательству, регулированию и процедурам во всех вопросах, касающихся проектирования, производства, эксплуатации и обслуживания БПЛА. Осуществляет лицензирование, контроль и обеспечение соблюдения законодательства в этой сфере.

Для управления БПЛА необходимо вступить в Израильский аэроклуб. После этого получить лицензию и страховку. Это позволяет управлять беспилотником на расстоянии до 50 м. Для полетов дальностью до 250 м необходима лицензия оператора, выдаваемая Министерством транспорта после прохождения соответствующего курса обучения. Полеты далее 250 м запрещены без предварительного одобрения.

### **Канада**

БПЛА массой от 0,25 до 35 кг и используемые не в коммерческих целях, не подлежат регистрации в Министерстве транспорта Канады.

В случае применения БПЛА в коммерческих целях (сельское хозяйство, проведение исследований, аэрофото- и видеосъемка) требуется получение специального сертификата полетов.

Для БПЛА более 0,25 кг, но не более 1 кг утверждены следующие требования и ограничения:

- сдача письменного теста на усвоение авиационных знаний;
- возрастной ценз – не моложе 14 лет;
- полеты на расстояние не более 5,5 км от аэродрома. Требуемое расстояние от вертодромов или аэродромов, используемых исключительно вертолетами, составляет около 2 км;
- управлять на расстоянии не менее 30 м от человека;
- эксплуатировать на максимальном расстоянии 0,5 км от оператора беспилотника;
- не допускаются полеты над группой людей под открытым небом;
- не допускаются полеты ниже 91 м;
- не допускается работать со скоростью менее 47 км/ч;
- запрещены ночные полеты.

Для БПЛА более 1 кг, но не более 25 кг разработаны следующие требования и ограничения:

- сдача письменного теста на усвоение авиационных знаний;
- возрастной ценз – не моложе 16 лет;
- полеты разрешены на расстояние не более 5,5 км от аэродрома; требуемое расстояние от вертодромов или аэродромов, используемых исключительно вертолетами, – 2 км;
- управлять на расстоянии не менее 76 м от людей;
- управлять на минимальном расстоянии 1 км от застроенной территории;
- эксплуатировать на максимальном расстоянии 1 км от оператора;
- не допускается проведение полетов над группой людей;
- не допускается летать ниже 90 или 30 м над зданием или сооружением соответственно;
- ночные полеты не разрешены.

Нормативный акт, регламентирующий правила и порядок регистрации:

*Канадский авиационный кодекс, ст. 602.41 (Canadian Aviation Regulations SOR/96-433, Section 602.41).*

### **Германия**

В соответствии с новыми положениями правил воздушного движения, операторам БПЛА массой более 2 кг необходимо получить сертификат с подтверждением достаточности знаний и навыков. Сертификат действителен в течение пяти лет. Возрастной ценз пилота – 16 лет.

### **Франция**

Постановление Министерства экологии, устойчивого развития, транспорта и жилищного строительства Франции регламентирует правила полета БПЛА, ограничивая высоту полета до 150 м для моделей массой менее 2 кг. Полеты в населенной местности подлежат предварительному согласованию с территориальными органами власти.

*Нормативные акты, регламентирующие правила и порядок регистрации:*

*Постановление Министерства экологии, устойчивого развития, транспорта и жилищного строительства Франции от 27 января 2017 г., определяющее список зон закрытой для аэрофотосъемки;*

*Постановление Министерства экологии, устойчивого развития, транспорта и жилищного строительства Франции от 17 декабря*

*2015 г. по использованию воздушного пространства беспилотной летательной техникой.*

### **Великобритания**

Правила одинаковы для всех видов полетов, существуют некоторые особые дополнительные требования к коммерческим операциям с участием небольших беспилотников. Основным правилом в Великобритании является управление ими в зоне визуальной видимости.

В Великобритании БПЛА в настоящее время разделены на отдельные категории в зависимости от их массы:

– менее 20 кг. Этот класс охватывает все типы, включая традиционные дистанционно управляемые модельные самолеты, вертолеты или планеры, а также все более популярные мультироторные дроны и дистанционно управляемые «игрушечные» самолеты. Обычно они имеют ограничения по уровню регулирования, которые направлены на то, чтобы быть соразмерными с риском и сложностью или с их типами деятельности;

– от 20 до 150 кг. Этот класс охватывает более крупные и потенциально более сложные типы беспилотных аппаратов и самолетов больших моделей. Они подчиняются всем аспектам законодательства Великобритании в области авиации, хотя принято, что они освобождены от многих требований. Разрешение на полет обычно дается после представления в Управление гражданской авиации информации о БПЛА;

– более 150 кг – дроны в этом классе, скорее всего, будут подвергаться такому же нормативному утверждению, как и традиционные пилотируемые самолеты. Они, как правило, сертифицируются Европейским агентством по безопасности полетов (EASA), хотя есть возможности для получения разрешений для операций в Великобритании по упрощенному процессу.

*Нормативные акты, регламентирующие правила и порядок регистрации:*

*Постановление Управления гражданской авиации CAP 722 «Операции беспилотной авиационной системы в воздушном пространстве Великобритании»;*

*Статьи 94, 95, 241 Аэронавигационного ордера 2016 (ANO 2016).*

### **Нидерланды**

В Нидерландах различают частное, рекреационное и профессиональное применение беспилотников.

Для использования в коммерческих целях необходимо получение сертификата оператора БПЛА независимо от массы. При частном применении можно управлять аппаратом массой до 4 кг без сертификата оператора.

*Нормативные акты, регламентирующие правила и порядок регистрации:*

*Закон об авиации от 18 июня 1992 г.;*

*Распоряжение Министерства транспорта от 2 декабря 2005 г. об утверждении правовых вопросов для БПЛА.*

### **Швеция**

Проектирование, изготовление, модификация, техническое обслуживание и эксплуатация гражданских БПЛА в Швеции регулируются положением о беспилотных летательных аппаратах (UAS) – TSFS 2009:88. Управление ими допускается на высоту 120 м и дальность полета от оператора 500 м.

Для полетов в зоне контроля аэропорта требуется разрешение от Управления воздушным движением. Разрешение также требуется, если полет совершается за зону визуальной видимости, если цель полета – испытания или исследования, коммерческие полеты. Для аэрофотосъемки потребуется разрешение от Министерства землеустройства.

Проектирование, изготовление, обслуживание и эксплуатация гражданских БПЛА, имеющих рабочую массу более 150 кг, контролируется Европейским парламентом. Необходимо также одобрение со стороны Европейского агентства по авиационной безопасности (EASA).

В Швеции приняты следующие виды разрешения для управления беспилотниками:

- категория 1A UAS – максимальная взлетная масса самолета меньше или равна 1,5 кг, лицензия выдается на 2 года;
- категория 1B UAS – максимальная взлетная масса самолета больше 1,5 кг, но меньше или равна 7 кг, лицензия выдается на 2 года;
- категория 2 UAS – максимальная взлетная масса самолета составляет более 7 кг, лицензия выдается на 1 год;
- категория 3 UAS – для аппаратов с посадкой вне поля зрения пилота.

*Нормативный акт, регламентирующий правила и порядок регистрации:*



*Правила Транспортного агентства TSFS 2009: 88, с поправками от 2013 г.*

### **Швейцария**

БПЛА массой до 30 кг могут быть использованы без лицензии при условии, что оператор всегда имеет визуальный контакт с летательным аппаратом. Кроме того, беспилотник не должен работать над скоплением людей.

*Правила регламентированы Федеральным управлением гражданской авиации (BAZL).*

### **Австрия**

С 2014 г. в этой стране внедрены очень строгие правила эксплуатации БПЛА. Потенциальные местоположения для полетов делятся на четыре категории:

- неразвитая область;
- нежилые районы;
- населенный пункт;
- плотно заселенная территория.

Для каждой категории существуют особые условия и разрешения. Квадрокоптеры одобрены только для первых двух категорий. Для населенных (густонаселенных) районов требуются гекса- или октокоптеры.

Получение лицензии необходимо, если:

- рейсы коммерческие, без сохранения снимков с камеры;
- максимальная масса 25 кг;
- полет вне зон безопасности;
- максимальный радиус полета 500 м.

Мини-дронами массой до 0,25 кг и максимальной высотой полета 30 м можно управлять без лицензии, даже если они оснащены камерой.

### **Бельгия**

Полеты БПЛА разрешены только на частных землях для физических лиц (с разрешения владельца земли). Запрещается использовать в общественных местах.

Для коммерческих полетов необходимо получение медицинской страховки, пройти теоретический тест и зарегистрировать БПЛА.

Исключением из нормативных требований Королевского указа от 10 апреля 2016 г. являются:

- беспилотники, используемые только для полетов внутри зданий;
- БПЛА, применяемые военными, таможенными органами, полицией, береговой охраной и т. д. ;
- некоторые типы модельных самолетов, которые используются исключительно для личных целей, при условии, что они соответствуют строгим требованиям, изложенным в Королевском указе.

*Нормативный акт, регламентирующий правила и порядок регистрации:*

*Королевский указ от 10 апреля 2016 г. «Об использовании самолетов с дистанционным управлением в воздушном пространстве Бельгии».*

### **Ирландия**

Регистрация для некоторых БПЛА обязательна с 21 декабря 2015 г.

Регистрации подлежат беспилотники:

- более 1 кг;
- пролетающие выше 15 м над землей или водой независимо от массы;
- с установленным оборудованием.

*Нормативные акты, регламентирующие правила и порядок регистрации:*

*Порядок регистрации БПЛА (Small Unmanned Aircraft (Drones);*

*Ракетный закон 563 от 2015 г. (Rockets Order S.I. 563 of 2015).*

### **Норвегия**

С 2016 г. в стране действуют новые правила: пилоты БПЛА квалифицируются как моделисты и не нуждаются в специальном разрешении. В коммерческих целях беспилотники делятся на три категории:

- взлетная масса менее 2,5 кг. Перед каждым полетом необходимо сообщить о нем, имя пилота должно быть прикреплено с номером телефона на аппарате, также необходимо вести журнал регистрации;
- масса до 25 кг – требует специального лицензирования пилотов.
- все модели, не относящиеся к описанным выше.

*Нормативный акт, регламентирующий правила и порядок регистрации:*

*Закон № 101 «Об авиации» от 11 июня 1993 г.*

## **Хорватия**

БПЛА могут летать только при наличии официальной лицензии и в незаселенных районах. Они должны постоянно держаться на расстоянии 150 м от скопления людей и не должны находиться далее 500 м от оператора.

## **Кипр**

Необходима предварительная регистрация в Департаменте гражданской авиации. При фотографировании с высоты необходимо подать заявление на получение разрешения на съемку.

Максимальная взлетная масса беспилотника для частных полетов – 2 кг, максимальная высота – 30 м.

## **Греция**

С января 2017 г. вступил в силу новый закон, согласно которому модели делятся на две категории:

- с общей взлетной массой до 7 кг, для них не требуется специальных разрешений;

- с массой более 7 и менее 25 кг, для них необходимо получить разрешение. Такие БПЛА не должны быть оснащены металлическими пропеллерами. Необходимо также страхование от несанкционированного использования, получения телесных повреждений и материального ущерба. Пилоты должны поддерживать расстояние не менее 50 м от скопления людей, животных и транспортных средств.

Полет через археологические объекты разрешается только со специальным разрешением.

## **Китай**

Деятельность гражданской авиации в основном регулируется Законом о гражданской авиации КНР, Общими правилами полетов КНР и Положением об общем авиационном управлении полетом.

Регулирующее агентство по гражданским полетам – Управление гражданской авиации Китая – выпустило консультативные положения, в которых устанавливаются руководящие принципы для полета беспилотников. Ожидается, что эти промежуточные меры будут обновлены по мере развития промышленности и нормативной базы БПЛА.

Положением о контроле над полетом средств общей авиации является административное регулирование, которое применяется ко всем коммерческим и рекреационным операциям воздушных судов, за исключением тех, которые участвуют в общественном воздушном

транспорте. Термин «общая авиация» в соответствии с китайским законодательством относится к авиационным операциям, отличным от военных полетов, полицейских воздушных действий, таможенных антиконтрабандных полетов и общественных воздушных перевозок. Положение включает в себя требования к полетам с целью проведения исследований в области промышленности, сельского хозяйства, лесного хозяйства, рыболовства, добычи полезных ископаемых и строительства, полетам с медицинскими целями, аварийного спасения и ликвидации последствий стихийных бедствий, метеорологического наблюдения, мониторинга океана, научных экспериментов, дистанционного зондирования и картирования, а также получения информации для образования и обучения, культуры и спорта, туризма и экскурсий и т. д.

*Нормативные акты, регламентирующие правила и порядок регистрации:*

*Закон о гражданской авиации КНР;*

*Общие правила полетов КНР;*

*Положение об общем авиационном управлении полетом.*

### **Южная Корея**

Israel Aerospace Industries (IAI) и южнокорейский производитель композиционных материалов Hankuk Carbon (HC) подписали меморандум о создании совместного предприятия по разработке и производству новых вертикальных взлетно-посадочных полос для беспилотников. Компании заявили, что они начнут сотрудничество по разработке БПЛА с массой 200–300 кг, производство которых будет сосредоточено в Южной Корее (90%).

Согласно местному законодательству полеты дронов запрещены во многих местах страны, особенно в северных районах Сеула, где находятся ключевые государственные учреждения. Районы вокруг военных объектов и атомных электростанций также закрыты для полетов.

В связи с развитием БПЛА правительство решило пересмотреть регулирование отрасли, заявив, что будет принято решение по расширению зоны полетов, упрощению требований к пилотам.

До 2017 г. полеты беспилотных летательных аппаратов регулировались в соответствии с Законом об авиации. По состоянию на 30 марта 2017 г. Закон об авиации отменен и заменен двумя законами – об авиационной безопасности и об авиационном бизнесе.

Для использования БПЛА в коммерческих целях необходимо разрешение Министерства земельной инфраструктуры и транспорта. Разрешение для полета не требуется для беспилотников массой до 12 кг или менее, если они используются не в коммерческих целях.

При использовании БПЛА массой 25 кг и более необходимо получение сертификата безопасности от Управления безопасности транспорта Кореи.

*Акты, регламентирующие правила и порядок регистрации:*

*статья 48 Закона об авиационном бизнесе (Article 48 of the Aviation Business Act);*

*статья 2 Закона об авиационном бизнесе (Article 2 of the Aviation Business Act);*

*статья 122 Закона об авиационной безопасности (Article 122 of the Aviation Security Act).*

### **Индия**

Генеральное управление гражданской авиации DGCA планирует регистрировать гражданские БПЛА и выдавать разрешения на их работу.

Генеральное управление гражданской авиации находится в процессе разработки и согласования правил с аэронавигационной службой, службой безопасности, Министерством внутренних дел для сертификации и эксплуатации БПЛА в гражданском воздушном пространстве Индии. До момента выхода регламентирующих документов запрещается использование беспилотников в гражданском воздушном пространстве для любых целей.

*Нормативный акт, регламентирующий правила и порядок регистрации:*

*Общественное уведомление (public notice) 05-13/2014-AED от 07.10.2014 «Использование беспилотных летательных аппаратов в гражданской авиации».*

### **Япония**

Закон о БПЛА в Японии от 10.12.2015 г. запрещает их использование в жилых районах и районах, окружающих аэропорт, без разрешения Министерства земельной инфраструктуры и транспорта. Использование беспилотников в ночное время также запрещено. Кроме того, они не должны подниматься выше 150 м, а также находиться на расстоянии менее 30 м от людей, зданий и транспортных средств.

Для разрешения полета необходимо подать заявку на японском языке в Министерство земельной инфраструктуры, транспорта и туризма для получения разрешения или одобрения не менее чем за 10 дней до полета.

*Нормативные акты, регламентирующие правила и порядок регистрации:*

*Закон о БПЛА в Японии от 10.12.2015 (Aviation Act came into effect December 10, 2015);*

*Закон о гражданской авиации № 118 от 2006 г. (Civil Aeronautics Act №. 118 of 2006);*

*Закон об исполнении Закона о гражданской авиации (Ordinance for Enforcement of the Civil Aeronautics Act).*

### **Австралия**

Управление гражданской авиацией CASA утвердило сертификаты оператора БПЛА в категориях с несколькими роторами, с фиксированным крылом и вертолетом для четырех масс – до 2, 7, 20 и 150 кг.

Для управления БПЛА массой менее 2 кг не требуется сертификат оператора или лицензия удаленного пилота. Для остальных категорий необходимо разрешение в виде лицензии удаленного пилота, которым, в свою очередь, необходимо иметь сертификат оператора RPA.

*Нормативный акт, регламентирующий правила и порядок регистрации:*

*Статья 101 Правил безопасности гражданской авиации (Part 101 of the Civil Aviation Safety Regulations).*

## **1.4. Применение беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве**

### **1.4.1. Дистанционное зондирование Земли и мониторинг**

По оценке Euroconsult (Евроконсалт, Франция), ведущего международного консалтингового агентства в области космических услуг, за 10 лет объем мирового рынка дистанционного зондирования земли из космоса вырастет к 2023 г. на 85% и составит в среднем 3,6 млрд долл. США в год. Основной спрос на рынке космических данных приходится на данные сверхвысокого разрешения и оценивается прибли-

зительно в 3 млрд долл. США в год. Рынок данных еще большей точности, получаемых при помощи беспилотных авиационных систем, оценивается в настоящий момент в 120 млрд долл. США в текущих ценах, однако очевидна тенденция к уменьшению стоимости данных за счет удешевления получаемого продукта по мере развития технологий. БАС позволяют получить новые виды информации, недоступные для космических аппаратов: информацию реального времени, сантиметровой точности, данные мониторинга инфраструктурных объектов (для автодорог – колейность, деформации дорожного полотна, профили насыпи, для ЛЭП – габарит, провисание, зарастание, угрожающие деревья, битые изоляторы).

Для эффективного управления необходимо получать максимально полную информацию об управляемом объекте. Целную информацию о крупных объектах управления – территориях, объектах инфраструктуры (автомобильные и железные дороги, линии электропередачи, трубопроводы) – можно получить только с применением космической или аэрофотосъемки. В сфере дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) и мониторинга космические аппараты (КА) позволяют обеспечить недорогую съемку больших площадей с относительно невысоким разрешением, которое является достаточным для многих задач. Со своей стороны БАС по сравнению с космическими аппаратами обеспечивают намного более высокую степень разрешения снимков, что необходимо для точных работ, например, в сфере геодезии и создания кадастра населенных пунктов. Кроме того, к преимуществам БАС относятся возможность использования их практически в любую погоду за счет проведения съемки ниже облачного слоя; беспилотным аппаратом может владеть сам потребитель данных, нет необходимости обращаться к специалистам и дожидаться выполнения работ; большая эффективность съемки линейных объектов, так как беспилотник может снимать узкую полосу вокруг объекта (минимальная ширина космосъемки – 5 км), что даже на малом масштабе может оказаться дешевле, чем заказная космосъемка. У России пока нет собственных космических аппаратов сверхвысокого разрешения, а это означает, что съемка с беспилотника позволяет отказаться от закупки зарубежных данных космосъемки.

Пример космического снимка высокого разрешения представлен на рисунке 1.11 (2,4 м).



*Рисунок 1.11 – Снимок высокого разрешения*

По сравнению с пилотируемыми летательными аппаратами беспилотники можно применять на сверхмалых высотах, что позволяет получить недостижимую для пилотируемых аппаратов геодезическую точность (2–3 см против 15–20); на беспилотник практически всегда можно поставить такую же съемочную аппаратуру, как и на пилотируемом летательном аппарате, благодаря небольшой массе; для съемки требуется намного меньше энергии и соответственно затрат.

#### **1.4.2. Применение беспилотных систем на примере Белгородской области**

Беспилотники в сельском хозяйстве дополняют и уточняют (детализируют) информацию за счет высокого разрешения видеоматериалов. Довольно часто получаемые со спутников материалы съемок не могут быть использованы, например когда часть исследуемой территории или вся ее поверхность в момент съемки закрыта облачностью (и не на каждую дату имеются космические съемки нужной территории). А своевременное и полноценное получение информации может оказаться решающим фактором в спасении от гибели посевных площадей или снижении потерь урожая. Съемка в нужный день и в нуж-



ное время суток позволяет выявлять начало скрытых негативных процессов и принимать оперативные меры по решению проблемных вопросов. Улучшение или ухудшение ситуации после принятых мер также оперативно может быть отражено для внесения корректировок. Задача сельскохозяйственной съемки – показать то, что не всегда можно увидеть с поверхности земли, и временные рамки в данном случае особенно важны. Проведение регулярных ежедневных или с иной периодичностью (зависит от решаемых задач, воздействий факторов и влияния ситуаций) аэрофотосъемок сельскохозяйственных земель и их обработка в специализированном программном обеспечении позволяют отслеживать динамику изменений в пределах одного и того же поля, и эти данные можно точно соотносить с продуктивностью земельных угодий.

Рассмотрим проект использования беспилотных авиационных систем АгроНТИ, реализованный в одном из хозяйств Белгородской области в 2017 г.

*Цель проекта* – провести анализ экономической эффективности применения беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве в разрезе следующих аспектов:

- инвентаризация земель сельскохозяйственного назначения;
- мониторинг состояния посевов и качества выполняемых работ на полях;
- альтернативное использование БАС при выполнении технологических операций на полях.

*Задачи проекта:*

- создание высокоточных карт полей, построение карт межполевых дорог, 3D-карт рельефа;
- построение карт весенних водотоков;
- определение вегетационного индекса по фазам развития сельскохозяйственных культур и показателю влажности почвы;
- подсчет всходов с.-х. культур;
- дистанционное определение питательных элементов в почве;
- прогноз погоды для отдельных полей;
- прогноз урожайности на ранних фазах развития культур;
- обработка деревьев против вредителей и болезней;
- видеомониторинг сельскохозяйственных работ.

На первом этапе проводился аудит земельного фонда – создание картографической базы полей на основе аэрофотосъемки.

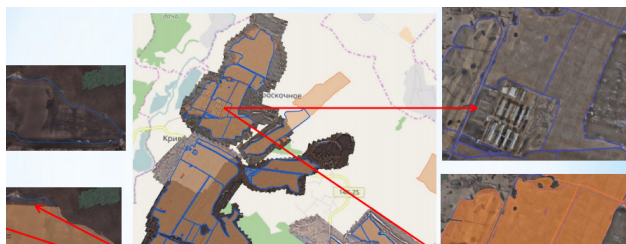
Результаты аэрофотосъемки пилотной зоны площадью 38 тыс. га представлены на рисунке 1.12. Высота съемки составляла 200–300 м.

На основе аэрофотосъемки были получены следующие материалы, характеризующие состояние сельскохозяйственных угодий: высокоточная векторная карта пахотных земель площадью 18 656 га, количество полей – 219 шт.



*Рисунок 1.12 – Векторная карта пахотных земель хозяйства*

Сопоставление высокоточной векторной карты и векторной карты Центра агрохимической службы (ЦАС) выявило несовпадение границ хозяйства в пределах 700 га (рис. 1.13, 1.14).



*Рисунок 1.13 – Сопоставление карт полей*

Землеугодный КАС	Итого Математический УСХЛ	Площадь ЦАС, га	Площадь ЦПС, га	Площадь УСХЛ, га	Разница площадей ЦПС и УСХЛ, га
0220010	МКЗ-03-03-01	38,22	38,16	38,00	-1,22
0220014	МКЗ-03-03-01	51,84	51,56	52,00	-0,64
0220020	МКЗ-03-03-01	50,95	50,91		
0220027	МКЗ-03-03-01	171,77	171,16	172,00	-0,85
0220032	МКЗ-03-03-01	16,96	16,92		
0230004	МКЗ-03-07-01	58,01	56,68		
0230006	МКЗ-03-07-01	113,02	117,26	80,00	37,26
0230009	МКЗ-03-03-01	24,03	23,91		
0230019	МКЗ-03-04-02	8,52	8,48		
0230065	МКЗ-03-03-01	13,04	17,73		
1110002	МКЗ-02-03-01	59,11	59,11	57,00	2,11
1110003	МКЗ-02-03-01	151,12	53,80	56,00	-2,10
1110009	МКЗ-02-14-01	302,24	302,07	340,00	16,07
1110066	МКЗ-02-07-01	54,11	55,19	45,00	8,19
1110067	МКЗ-02-05-01	49,80	49,02	50,00	-1,98
1110068	МКЗ-02-05-01	28,54	34,86	80,00	-1,02
1110014	МКЗ-02-13-01	238,03	240,60	244,00	-3,40
1110016	МКЗ-02-15-01	344,70	343,17	347,00	-3,63
1110019	МКЗ-02-14-01	128,80	127,67	129,00	-0,53
1110020	МКЗ-02-16-01	26,27	25,53	24,00	-0,47
1110021	МКЗ-02-25-01	167,84	94,87	95,00	-0,13
1110022	МКЗ-02-24-01	66,27	66,70	70,00	-3,30
1110023	МКЗ-02-23-01	807,80	300,13	302,00	-1,87
1110030	МКЗ-02-19-01	41,80	44,16	50,00	-11,84
1110034	МКЗ-02-20-01	17,65	16,80	17,00	-0,20
1110032	МКЗ-02-21-01	303,30	346,03	388,00	-18,17
1110037	МКЗ-02-15-01	29,16	28,27	28,00	0,27
1110010	у/бродная	20,49	20,16		20,16
1110058	мелшан	05,88	74,30		70,36
1110059	мелшан	05,43	17,48		17,48
1110071	МКЗ-02-03-01	05,00	49,62	11,00	38,62
1110072	мелшан	4,47	4,47		4,47
1110073	мелшан	0,73	0,73		0,73
1110074	мелшан	0,29	1,04		1,00
1110018	МКЗ-02-23-02	7,84	6,57	8,00	-2,43
1110036	МКЗ-02-13-02	11,77	18,20	17,00	-1,71
Итого	МКЗ-03-05-01	2 301,28	2 259,96	1 934,00	153,12



Рисунок 1.14 – Информация о площадях сельхозугодий хозяйства

Сопоставление кадастровой карты и карты сельхозугодий позволяет определить различия в контурах фактического землепользования и кадастрового межевания (рис. 1.15).

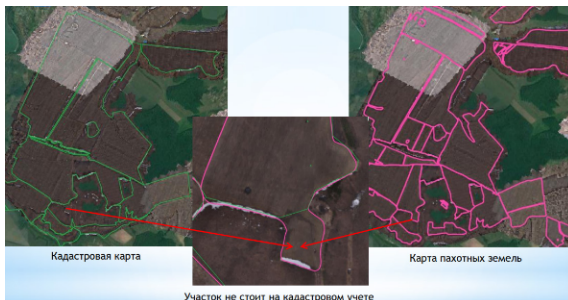


Рисунок 1.15 – Кадастровая карта

Наложение кадастровой карты на карту сельхозугодий позволяет рассчитать, какова площадь обрабатываемых сельхозугодий, не учтенных в Кадастровом реестре или не имеющих зарегистрированных в Реестре межевых точек.

Следующим этапом была подготовка к посеву. Для этого созданы карта севооборотов (рис. 1.16), карта высот (рис. 1.17), карта водотоков (рис. 1.18), ситуационная карта водотоков и скопления воды (рис. 1.19), карта участков скопления воды на полях (рис. 1.20), 3D-модель поля (рис. 1.21).

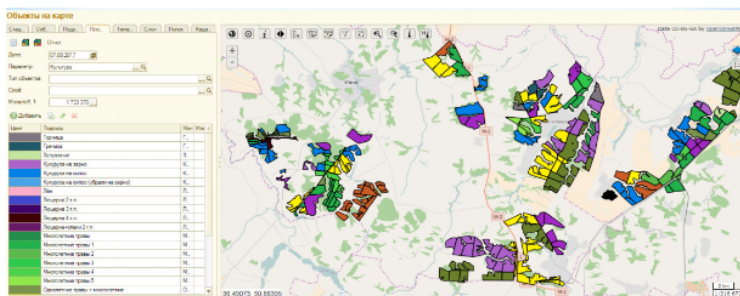


Рисунок 1.16 – Карта севооборотов хозяйства

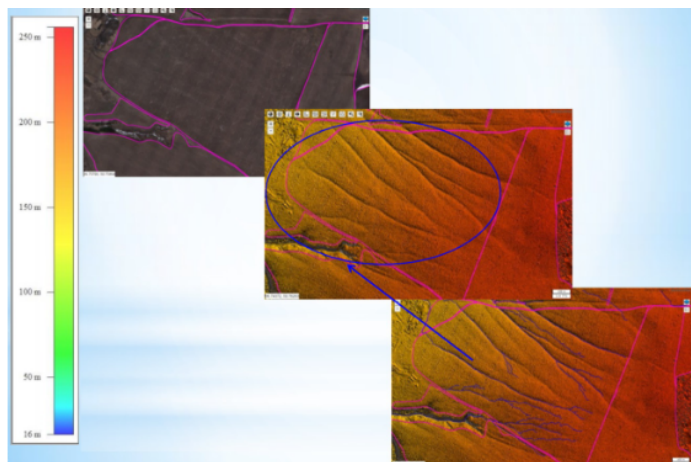
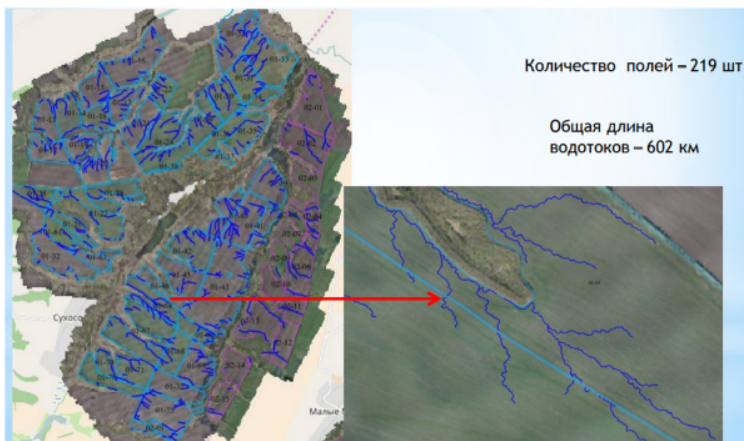
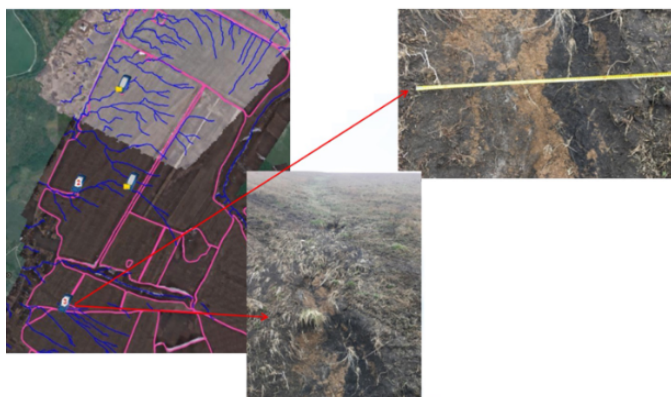


Рисунок 1.17 – Карта высот участков полей

Карта высот наглядно отображает наличие зон водотоков.



*Рисунок 1.18 – Карта водотоков полей хозяйства*



*Рисунок 1.19 – Ситуационная карта водотоков и скопления воды*

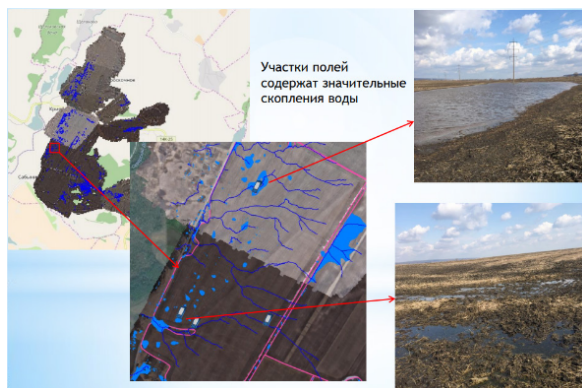


Рисунок 1.20 – Карта участков скопления воды на полях



Рисунок 1.21 – 3D-модель поля хозяйства

Далее проводился анализ всходов и развития растений (рис. 1.22), анализ карты засоренности поля (рис. 1.23).

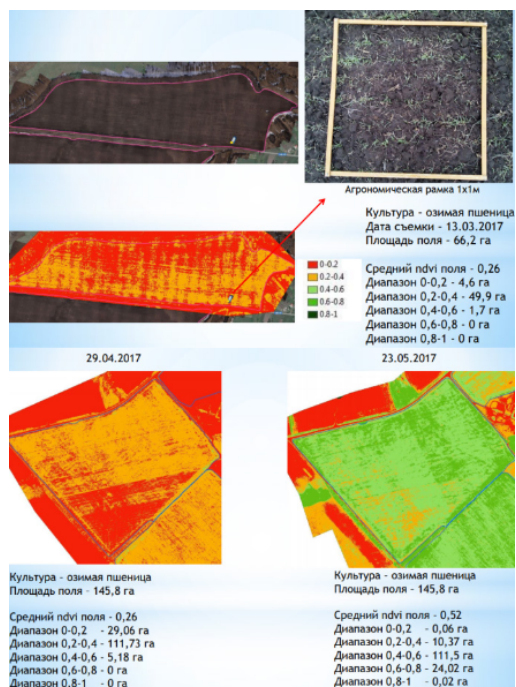


Рисунок 1.22 – Анализ индекса биомассы

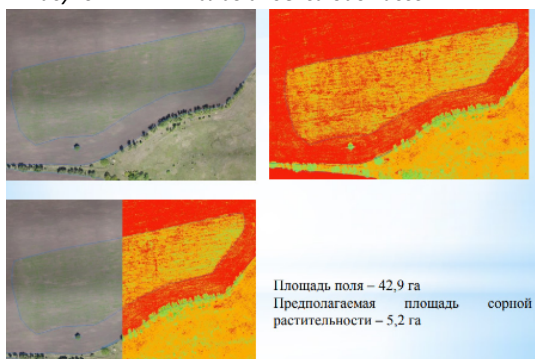


Рисунок 1.23 – Карта засоренности по-

ля

На этапе ухода за посевами выполнялась дифференцированная обработка посевов (рис. 1.24).



Рисунок 1.24 – Дифференцированное опрыскивание посевов

При облетах на площади 34 тыс. га обнаружено 252 точки произрастания древесного сорняка – американского клена (рис. 1.25).

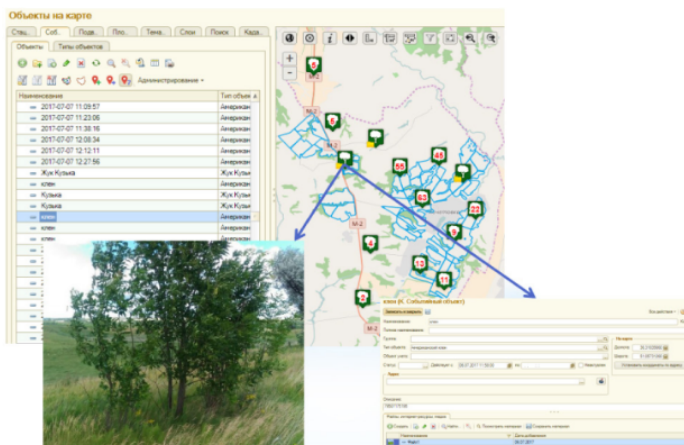


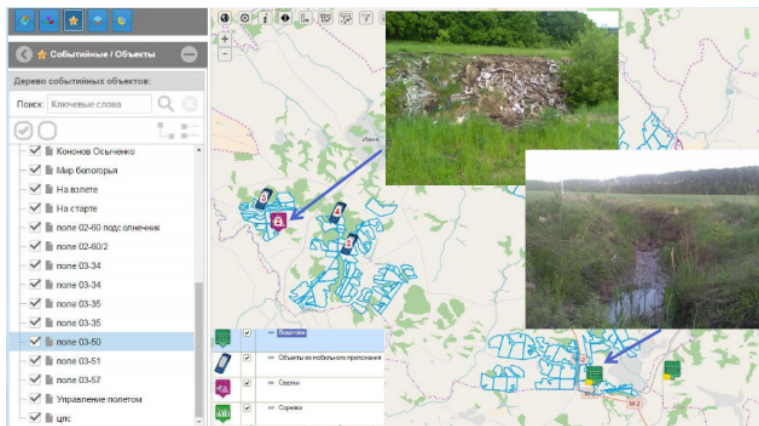
Рисунок 1.25 – Карта расположения американского клена

Также при облетах были обнаружены свалки (рис. 1.26, 1.27).





*Рисунок 1.26 – Обнаруженные свалки на полях хозяйства*



*Рисунок 1.27 – Обозначение свалок на карте хозяйства*

При проведении уборочных работ также использовалось дистанционное зондирование земли (рис. 1.28).

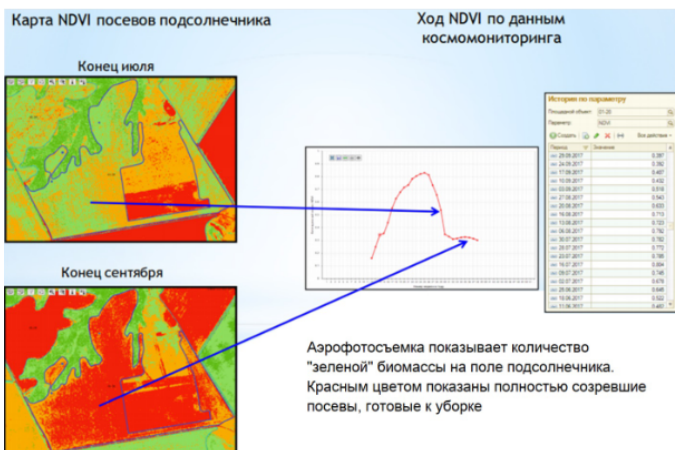


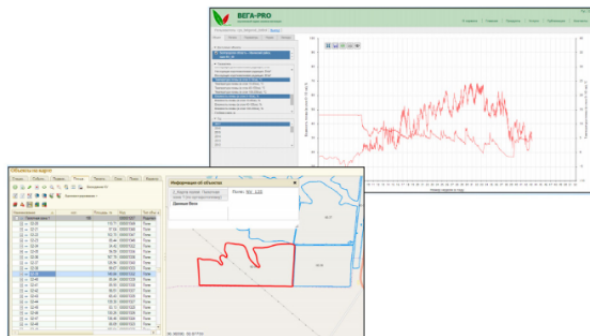
Рисунок 1.28 – Мониторинг состояния посевов для определения дат уборки

Контроль уборочных работ проводился в режиме реального времени с использованием квадрокоптера, оборудованного комплексом видеонаблюдения (рис. 1.29).



Рисунок 1.29 – Видеомониторинг за ходом полевых работ

Далее проводилось планирование посевных работ. Определялись температура и влажность почвы на основе данных космомониторинга с целью планирования сроков проведения посевных работ (рис. 1.30).



*Рисунок 1.30 – Результаты определения температуры и влажности почвы*

Проводился комплекс аэрофотосъемочных работ по посевам озимой пшеницы (рис. 1.31).



*Рисунок 1.31 – Аэрофотоснимки*

Определялись зоны на полях с угнетенными всходами (рис. 1.32).

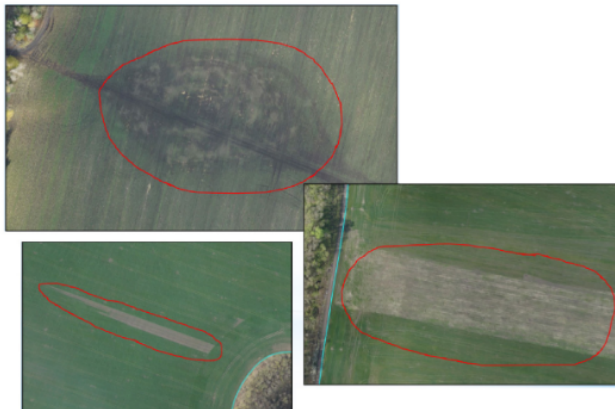


Рисунок 1.32 – Сопоставление аэрофотоснимков всходов для анализа всхожести

Проводилось формирование тематической карты посевов на основе документов оперативного планирования и планирование валового сбора в разрезе полей (рис. 1.33).

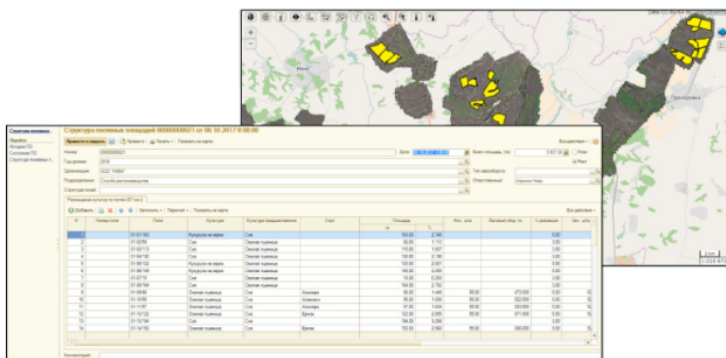


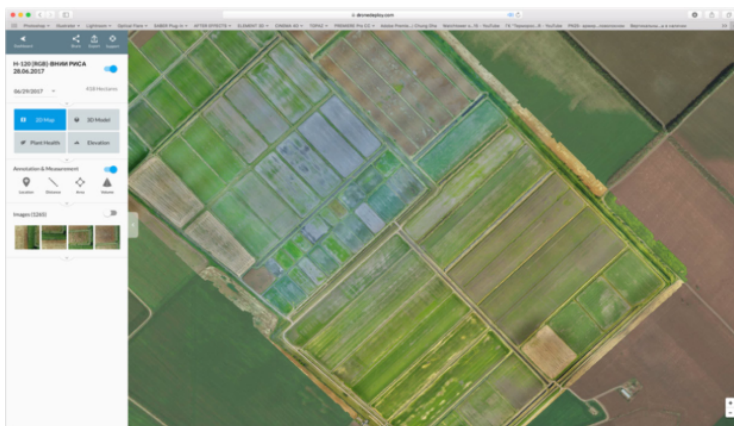
Рисунок 1.33 – Тематическая карта посевов

### 1.4.3. Применение беспилотных систем на примере Краснодарского края

С целью освоения новых технологий выращивания, сохранения и уборки урожая Центр прогнозирования и мониторинга (Кубанский ГАУ) при участии Государственного университета по землеустройству (г. Москва) совместно с ВНИИ риса (пос. Белозерный Краснодарского края) проводит мероприятия по привлечению и объединению передовых коллективов к участию в опытно-экспериментальных работах. В том числе работы, связанные с дистанционным мониторингом посевных площадей на основе применения БПЛА.

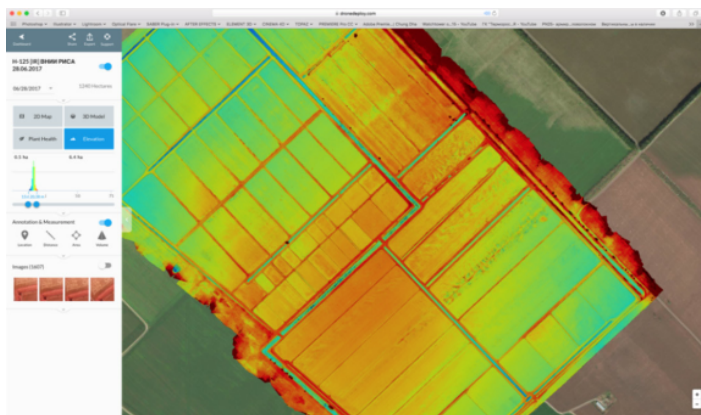
Материалы видео- и фотосъемки позволяют:

– создавать цифровые карты полей в виде ортофото- и векторных планов (рис. 1.34);



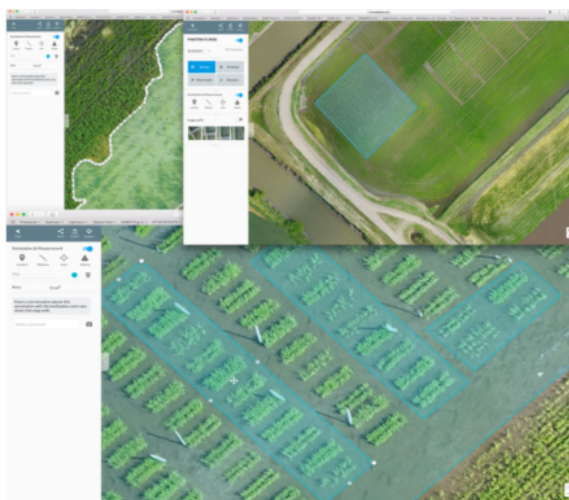
*Рисунок 1.34 – Ортоплан территории рисовых чеков ВНИИ риса  
(по материалам аэрофотосъемки, июль 2017 г., С. И. Скубиев)*

– создавать карту уклонов полей (рис. 1.35);



*Рисунок 1.35 – Карта уклонов посевных площадей рисовых чеков ВНИИ риса (по материалам аэрофотосъемки, июнь 2017 г., С. И. Скубиев)*

– определять площади контуров (рис. 1.36);



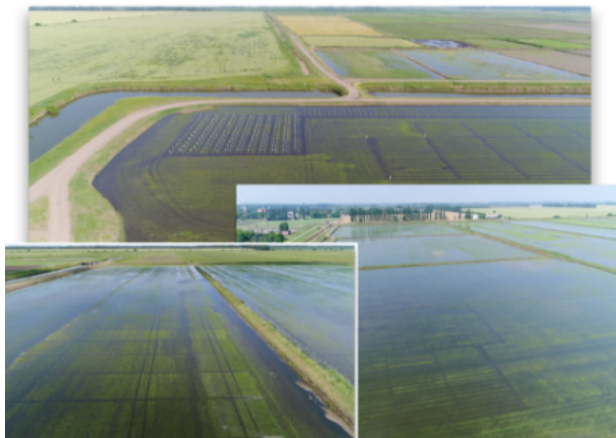
*Рисунок 1.36 – Фрагменты ортоплана экспериментальных участков ВНИИ риса (векторизация контуров и определение их площадей; изготовлен по материалам аэрофотосъемки, июль 2017 г., С. И. Скубиев)*

– определять индекс NDVI (рис. 1.37);



*Рисунок 1.37 – Вегетационный индекс растительного покрова посевных площадей рисовых чеков ВНИИ риса (по материалам аэрофото съемки RGB и NIR, начало июля 2017 г., С. И. Скубиев)*

– проводить инвентаризацию сельхозугодий;  
– вести оперативный мониторинг состояния посевов (БПЛА позволяют быстро и эффективно строить карты по всходам, рисунок 1.38);



*Рисунок 1.38 – Всходы посевов риса (видеосъемка в конце июня 2017 г., С. И. Скубиев)*

- оценивать всхожесть сельскохозяйственных культур и их развитие;
- прогнозировать урожайность с.-х. культур;
- вести экологический мониторинг с.-х. земель;
- оценивать объемы работ и контролировать их выполнение (рис. 1.39).



*Рисунок 1.39 – Заполнение чеков водой (середина июня 2018 г., С. И. Скубиев)*

Водопотребление риса гораздо выше, чем у других сельскохозяйственных культур и требует наличия искусственных водоемов и густой сети оросительно-сбросных каналов, а также определенной организации полей. Это оказывает влияние на гидрологическое состояние территории. Использование ядохимикатов и удобрений ухудшает физико-химические характеристики почвы, воды и атмосферного воздуха над водохозяйственными системами. Оперативное получение информации о важнейших характеристиках этих систем, занимающих огромные площади, без применения дистанционных методов невозможно. В течение длительного периода широко используются установленные на космических спутниках мультиспектральные камеры, позволяющие информацию о состоянии растительного покрова фиксировать в отдельных частях спектра электромагнитного излучения. Эта информация помогает делать работу агронома более оперативной и целенаправленной. Появилась возможность применять такие камеры и на беспилотниках.

С помощью мультиспектральной камеры осуществляется многозональная съемка. При этом формируются одновременно несколько







*Рисунок 1.41 – Модели сеялок: СН-16 (слева); КЛЕН-1.5П (справа)*

Селекционная сеялка КЛЕН-1.5П имеет электромеханический высевающий аппарат, позволяющий в автоматическом режиме производить посев и выгрузку оставшихся семян.

Использовался сорт риса Фаворит. Длина участка составляла 80 м, норма высева семян – 180 кг/га.

Фото всходов на 60-й день после посева представлены на рисунке 1.42.



*Рисунок 1.42 – Фото всходов риса на 60-й день (15.07.2018) после посева сеялкой:  
а – СН-16; б – КЛЕН-1.5П.*

Проводились наземные измерения подсчета количества всходов на 1 м и их высоты (рис. 1.43).

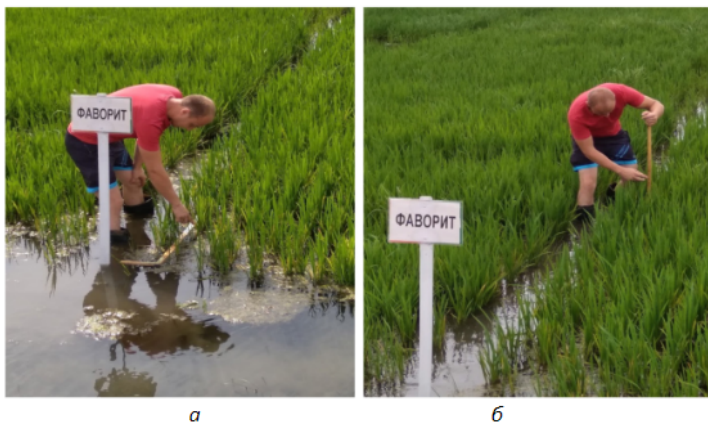


Рисунок 1.43 – Фото наземных измерений:  
а – количества всходов на 1 м;  
б – высота всходов.

Для отслеживания развития риса в процессе вегетации и сравнения результатов, полученных наземными измерениями, использовался беспилотный летательный аппарат DJI Phantom 4 PRO.

Был разработан график полетов: в какие дни, какое время суток, с какой периодичностью необходимо осуществлять аэрофотосъемочные работы. Перед всходами (25 мая 2018 г.) была сделана топографическая аэрофотосъемка и построен ортофотоплан с точностью 2 см в плане и по высоте (рис. 1.44). Для его построения были использованы наземные опорные точки (около 30), которые, в свою очередь, были закреплены маркировочными знаками по всей территории экспериментальных участков. Координаты опорных точек были определены с помощью приемника GNSS Asnovo GX9 в режиме RTK с точностью 10 мм в плане и 20 мм по высоте.

Ортофотоплан (точнее, его 3-мерная модель), в дальнейшем использовался как первичный слой с уровнем открытой почвенной поверхности, относительно которой определялась высота растительного покрова на определенных этапах своего развития (рис. 1.45). Для этих целей выполнялся комплекс работ, связанный с аэрофотосъемкой всходов растительности и получением цифрового картографического материала и 3-мерных моделей.

В дальнейшем видео- и аэрофотосъемку весеннего периода можно проводить для целей выявления вторичного засоления почвенного покрова, которое проявляется после первого заполнения чеков и спуска воды (рис. 1.46).

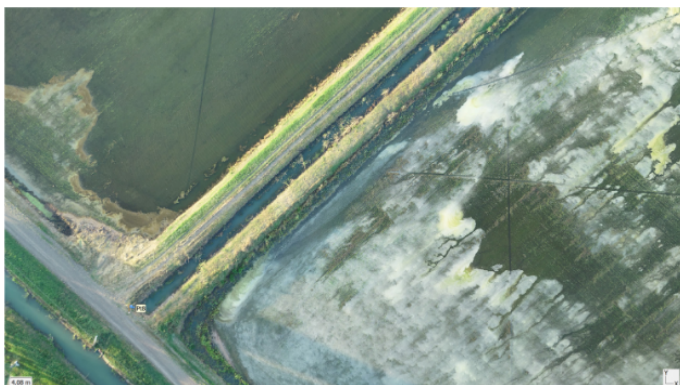
Следующая аэрофотосъемка для оценки всходов посевных площадей была проведена 3 июля 2018 г. (рис. 1.47).



*Рисунок 1.44 – Ортофотоплан экспериментальных участков ВНИИ риса  
(по материалам аэрофотосъемки 28.05.2018 г., С. И. Скубиев)*



*Рисунок 1.45 – 3D-модель территории чековых полей ВНИИ риса  
(по материалам аэрофотосъемки 28.05.2018 г., С. И. Скубиев)*



*Рисунок 1.46 – Вторичное засоление почвенного покрова рисовых полей  
(аэрофотосъемка 28.05.2018 г., С. И. Скубиев)*



*Рисунок 1.47 – Всходы посева риса (фрагмент ортофотоплана, построенного по материалам аэрофотосъемки 03.07.2018 г., С. И. Скубиев)*

По материалам аэрофотосъемки специалисты-агрономы могут оценивать состояние и равномерность всходов и при необходимости принимать меры по устранению неблагоприятных причин, оказывающих негативное влияние на растения.

Впоследствии были проведены серии видео- и аэрофотосъемочных работ, вплоть до уборки урожая, в том числе и в невидимой области спектра.

Съемка всходов, показанная на рисунках 1.48 и 1.49, была произведена на 58-й день после посевов.

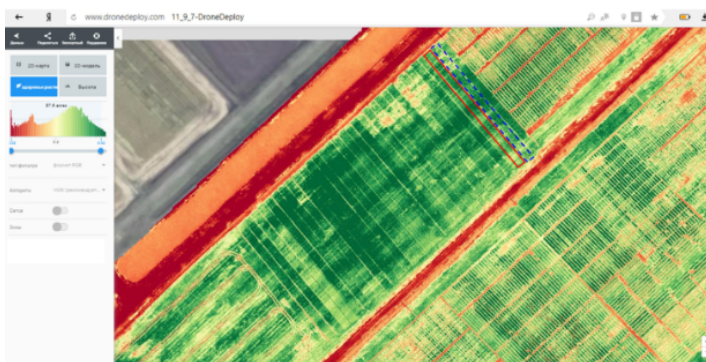
На рисунке 1.50 показан пример построения продольного профиля в ГИС-приложении Global Mapper 19.1. Для определения высоты растений на опытных участках использовалась трехмерная цифровая модель (высоты определены относительно уровня моря).

Верхняя и средняя кривые линии соответствуют поверхности растительного покрова в разной стадии вегетации, нижняя – это уровень поверхности почвенного покрова (приблизительно соответствует 16,5 м над уровнем моря).

Определение высоты растения в конкретной точке створа линии заданного направления с помощью программы Global Mapper (рис. 1.51).



*Рисунок 1.48 – Всходы риса на делянках, засеянных сеялками СН-16 (пунктир) и КЛЕН-1.5П (сплошная линия, аэрофотосъемка 12.07.2018 г.)*



*Рисунок 1.49 – Отображение всходов риса (определение индекса Plant Health в программе DroneDeploy)*



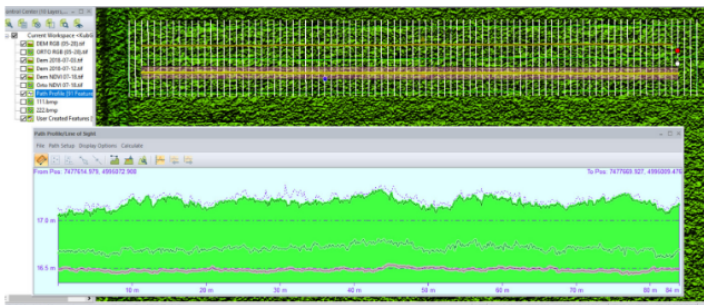


Рисунок 1.50 – Продольный профиль растительного покрова (03.07.2018 г., С. И. Скубиев)

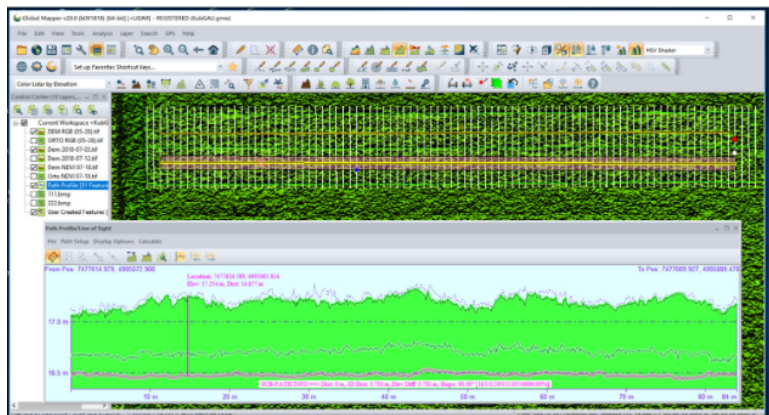


Рисунок 1.51 – Определение на кривой высоты точки, соответствующей высоте растения 0,783 м, в конкретном месте относительно уровня моря и поверхности почвы

Для обработки полученных в программе DroneDeploy изображений Plant Health двух участков, засеянных разными сеялками (рис. 1.52), использовалась программа Mathcad 15.

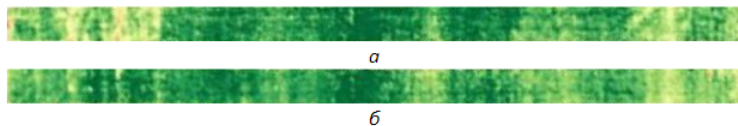


Рисунок 1.52 – Изображения Plant Health участков, засеянных сеялками СН-16 (а); КЛЕН-1.5П (б)

Алгоритм обработки изображений в виде фотографий с расширением **jpg** заключался в следующем. Находили **M := READRGB (d:\СН.jpg)**, присвоив идентификатор «**M**».

Далее выполнялась оцифровка фотографии с помощью оператора **READRGB**. В результате получили массив, состоящий из трех подмассивов, которые представляют красный, зеленый и синий компоненты цветного изображения, плотность каждого из которых находится в пределах от 0 до 255 (рис. 1.53).

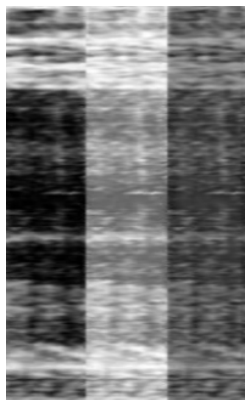


Рисунок 1.53 – Массив идентификатора *M*

Общее количество столбцов в массиве **M**: **cols (M) = 90**.

Число столбцов в массиве цвета:

$$w := \frac{\text{cols (M)}}{3} = 30.$$

Число строк общее: **rows (M) = 637**.

Рассмотрим матрицу G зеленого цвета, так как она наиболее наглядно указывает разницу цветов, отображающих фазу развития растений.

Оператором `submatrix` выделяем из массива M массив G, несущий информацию плотности зеленого цвета. После этого определяем размеры полученного массива G.

Применяя оператор `cols (G)` и `rows (M)`, определим размеры полученного массива G.

```
G := submatrix (M, 1, rows (M), w + 1, 2 · w);
zр := mean (G) – среднее значение плотности G;
zр = 169.113;
ni := rows (G);
nj := cols (G);
ni := 637;
nj := 30.
```

Получили плотность массива зеленого цвета и элементы цифровой матрицы (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Матрица

229	228	231	226	229	231	235	238	235	222	205	186	169	222	220
226	223	228	233	236	240	237	227	213	197	179	221	219	226	225
229	234	236	236	236	232	221	204	195	229	223	226	226	233	238
235	236	239	242	239	221	221	225	212	215	222	229	234	231	227
235	242	240	231	229	234	219	202	206	219	227	225	221	227	235
239	227	239	222	205	194	190	202	213	208	206	205	205	202	208

Оператором `submatrix` выделяли в данном массиве G наиболее ярко выраженные места по плотности зеленого цвета, близкие к максимуму 255, соответствующему менее развитым растениям. Получили массив G1:

$$G1 = \begin{pmatrix} 250 & 255 & 255 & 255 & 248 \\ 249 & 255 & 255 & 255 & 249 \end{pmatrix}.$$

Далее определяли среднее значение кода плотности (KOL) светлого цвета в массиве G1 и количество пикселей, находящихся в выбранном диапазоне. Зная размеры матрицы, определяли процентное содержание растений, отстающих по развитию в данный вегетативный период (на основании данных Plant Health программы DroneDeploy).

Таким образом, полученные результаты показывают меньшее в 2,5 раза количество отстающих по развитию растений на участке, засеянном сеялкой КЛЕН-1.5П.

Это может быть связано с улучшением качественных показателей посева сеялкой КЛЕН-1.5П (равномерная глубина заделки и распределение семян по площади питания с одновременным прикатыванием, использование электромеханического высевающего аппарата и др.).

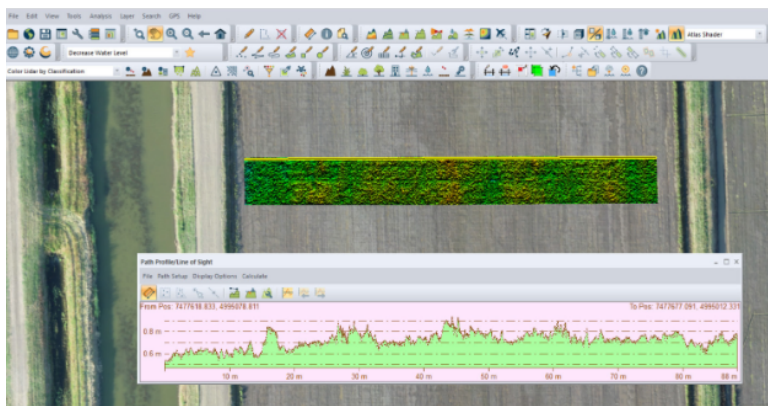
Анализ развития растений в программе Global Mapper 19.1 подтверждает полученные данные. На рисунке 1.54 холодные тона характеризуют менее высокий растительный покров, теплые тона – более высокий. В целом, судя по тональности, на нижнем участке растительность более развита.

Следует отметить возможность программы, связанную с определением площадей участков растительного покрова в установленных диапазонах колебания высот. На рисунке 2.55 показаны границы участков растительного покрова средних уровней высот, разность которых (для оптимального визуального восприятия) составляет 10 см. Уменьшение разности высот приводит к естественному увеличению количества контуров и сокращению их площади. Возможность определения площадей растительного покрова с разным уровнем развития стеблестоя позволяет выходить на более точные прогнозы сбора урожая.

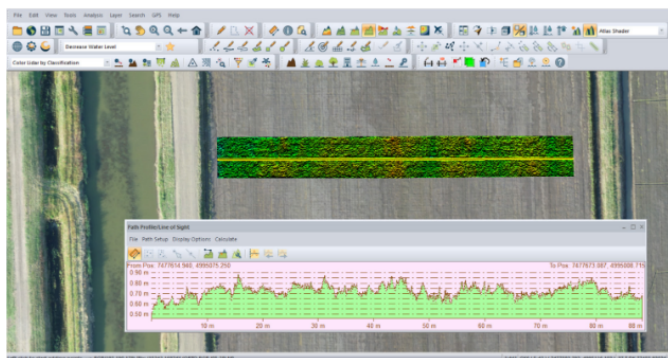
На рисунке 1.56 представлены в сравнительном аспекте показатели высоты растений в абсолютных значениях, полученных в программе Global Mapper 19.1.

Уборка урожая на засеянных участках осуществлялась 10 октября 2018 г. комбайном ДКС 685.





*a*



*б*

*Рисунок 1.56 – Сравнение высоты растений на участках, засеянных сеялками: СН-16 (а); КЛЕН-1.5П (б)*

Сравнивая результаты статистической обработки данных высоты стеблей риса перед уборкой, можно заметить, что этот показатель у риса, посеянного сеялкой КЛЕН-1.5П, на 2% больше, по длине ме-телки – на 6% (табл. 1.3).

Таблица 1.3

Результаты статистической обработки данных высоты стеблей и длины метелки риса перед уборкой

Сеялка	арифметическое значение $\bar{x}$ , см		ное отклонение $S$ , см		ент вариации $v$ , %		выборочной средней $\bar{x}$ , см		ная ошибка выборочной средней $\sigma$ %	
	в	ц	в	ц	в	ц	в	ц	в	ц
	СН-16	93	17	6	0,7	6	4	0,6	0,2	0,6
	95	18								

Обобщая результаты сравнительного анализа качественных показателей работы сеялок при посеве риса с использованием дистанционного зондирования земли, можно резюмировать, что после посева сеялкой КЛЕН-1.5П по сравнению с СН-16 сократилось время посева одного прохода на 12%; время выгрузки семян из бункера – на 24%; увеличилось количество всходов на 1 м на 53% при одной норме высева семян; высота растений – на 17% (перед уборкой – на 2%); длина метелки перед уборкой – на 6%; урожайность – на 12 ц/га.

Предложен алгоритм выявления неоднородностей и анализа полученных результатов. Полученные площади продольных участков между поверхностью поля и кривой, соединяющей наивысшие точки растений, определенные в программах Global Mapper и КОМПАС-3D, показывают превышение в 2,3 раза на участке, засеянном моделью КЛЕН-1.5П. Сравнение поперечных участков на каждом метре выявило также превышение площадей в 5 раз. При обработке изображений Plant Health, полученных в программе DroneDeploy, предложен алгоритм для определения среднего значения кода плотности тона изображения в массиве и количества пикселей, находящихся в выбранном диапазоне (алгоритм выявления неоднородностей). Зная размеры матрицы, определяли процентное содержание растений, отстающих по развитию в данный вегетативный период. Результаты показывают меньшее количество (в 2,5 раза) отстающих по развитию растений на

участке, засеянном сеялкой КЛЕН-1.5П. Полученные данные позволяют прогнозировать будущую урожайность с использованием результатов съёмки БПЛА.

#### **1.4.4. Альтернативное применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве**

Японский беспилотник Yamaha R-Max был спроектирован еще в 1990-х гг., в 2014 г. компания совместно с Калифорнийским университетом презентовала вертолет-дрон, разработанный специально для опрыскивания виноградников (рис. 1.57).



*Рисунок 1.57 – Беспилотный вертолет Yamaha R-MAX для опрыскивания виноградников*

Беспилотник может переносить груз до 28 кг. Благодаря двухцилиндровому мотору дрон может летать со скоростью 105 км/ч, а запаса батареи ему хватает на 1 ч. Машина оснащена двумя емкостями и тремя форсунками, поэтому может сразу распылять пестициды и удобрения. Для заправки используют смесь бензина и масла. Yamaha R-Max лишь наполовину автономный: им нужно управлять, но он может сохранять высоту и темп, а кроме того, держаться в воздухе на одном месте без помощи оператора.

Коптер-опрыскиватель ОСА от компании «Бозон Аэро» представлен на рисунке 1.58а.



Он имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным опрыскиванием:

- не требует наличия технологических проездов на поле;
- не требует наличия поблизости взлетно-посадочных полос;
- не уплотняет почву;
- производительность – 3–4 га/ч;
- эффективен для обработки полей со сложным рельефом и рисовых полей;
- экономия препарата;
- экономия ГСМ;
- сокращение времени обработки.

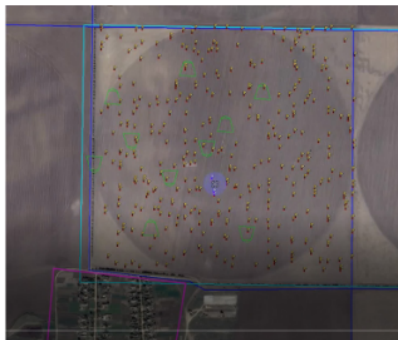
Дрон Agri OPTiM – проект Университета Сага и компании Optim, который позволяет сократить использование инсектицидов (рис. 1.58б). Беспилотник совершает вылет в ночное время суток по заранее определенному маршруту. При помощи инфракрасных и тепловых камер он определяет места, в которых скапливается большое количество насекомых, и уничтожает их небольшими дозами инсектицида. Такой способ значительно снижает вредное воздействие химикатов на растения. Кроме этого, для борьбы с вредителями беспилотник может использовать светящиеся электрические ловушки. Тестирования показали, что дрон способен уничтожить приблизительно 50 видов различных вредителей.



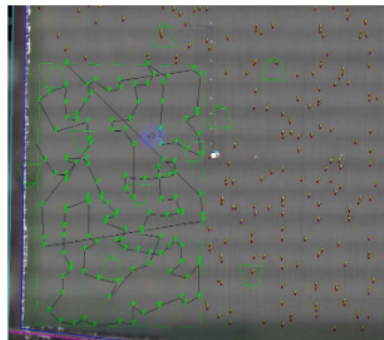
*Рисунок 1.58 – Беспилотник:  
а – для опрыскивания посевов; б – для уничтожения вредителей.*

В Краснодарском крае проводится экспериментальная работа по определению мест расположения мышиных колоний с использованием аэрофотосъемки и точечному внесению ядохимикатов средствами БПЛА (рис. 1.59).

По результатам анализа создаются карты-задания. Далее строится оптимальный маршрут для воздушной обработки поля (рис. 1.60).

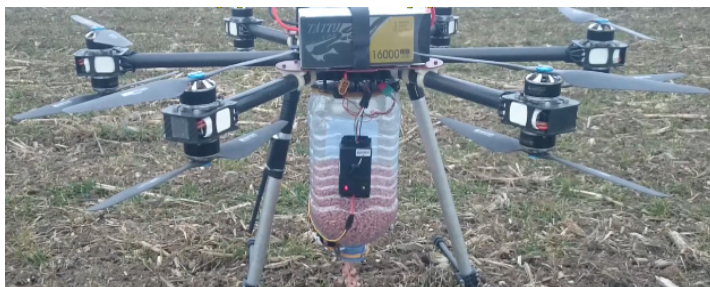


*Рисунок 1.59 – Карта с местами расположения мышиных колоний*



*Рисунок 1.60 – Построение оптимального маршрута полета для дрона*

После загрузки полетного задания осуществляется точечное внесение ядохимикатов в мышиные норы (рис. 1.61).



*Рисунок 1.61 – Точечное внесение ядохимикатов*

### ***Вопросы для самопроверки***

1. Методы и средства дистанционного зондирования в сельском хозяйстве.
2. Исторические аспекты использования спутников в сельском хозяйстве.
3. Классификация беспилотных летательных аппаратов.
4. Как получается фотографическая схема?
5. Что такое ортофотоплан?
6. Определение беспилотной авиационной системы.
7. Особенности проксимального почвенного зондирования.
8. Основные сегменты рынка гражданского применения беспилотных авиационных систем.
9. Максимальная взлетная масса беспилотных гражданских воздушных судов, подлежащих учету, установленному Правительством РФ.
10. Альтернативное применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АгроТехнология 2.0 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://glonasssoft.ru/solutions/at2\\_0](http://glonasssoft.ru/solutions/at2_0).
2. Ардентов, А. А. Алгоритм вычисления положения БПЛА с использованием системы машинного зрения / А. А. Ардентов, И. Ю. Бесчастный [и др.] // Программные системы: теория и приложения. – 2012. – № 3. – С. 23–29.
3. Ассоциация БПЛА в Японии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.juav.org>.
4. Блохина, С. Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // Вестн. Российской с.-х. науки. – 2018. – № 5.
6. БПЛА в Израиле [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://uavcoach.com>.
7. Воронков, И. В. Разработка методов и аппаратно-программных средств автоматизированного мониторинга и контроля выполнения посевных работ : дис. ... канд. техн. наук. – М., 2018. – 147 с.
8. Генеральное управление гражданской авиации Индии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://dgca.nic.in>.
9. ГОСТ Р 56084-2014. Глобальная навигационная спутниковая система. Система навигационно-информационного обеспечения координатного земледелия. Термины и определения. – Введ. 2015-03-01. – М. : Стандартинформ, 2014. – 6 с.
10. ГОСТ Р 60.0.0.1-2016. Роботы и робототехнические устройства. Общие положения. – Введ. 2018-01-01. – М. : Стандартинформ, 2016. – 7 с.
11. Завражнов, А. И. Практикум по точному земледелию / А. И. Завражнов, М. М. Константинов, А. П. Ловчиков [и др.]. – СПб. : Лань, 2015. – 224 с.
12. Законодательство Японии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://dronelawjapan.com>.
13. Законы в Интернете [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gesetze-im-internet.de>.
14. Издательский дом Connect [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.connect-wit.ru>.
15. Измайлов, А. Ю. Интеллектуальная система управления электроприводным энергосредством / А. Ю. Измайлов, А. П. Гришин [и др.] // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве : тр. Междунар. науч.-техн. конф. – М. : ВИМ, 2014. – Т. 5. – С. 61–64.
16. КБ «Панорама» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://gisinfo.ru>.
17. Машков, С. В. Использование инновационных технологий координатного (точного) земледелия в сельском хозяйстве Самарской области : монография / С. В. Машков, В. А. Прокопенко, М. Р. Фатхудинов [и др.]. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2016. – 200 с.

18. *Меньшаев, Р. А.* Анализ показателей и устройств для картографирования полей / Р. А. Меньшаев, С. А. Подымов, Т. С. Гриднева // Вклад молодых ученых в аграрную науку : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Кинель : РИЦ СГСХА, 2015. – С. 227–231.
19. Методические рекомендации по подготовке отчетов о патентном обзоре (патентный ландшафт) – Утверж. 2017-01-23. – М. : Роспатент, 2017. – 16 с.
20. *Нугманов, С. С.* Методы и технические средства для измерения твердости почвы в координатном земледелии : монография / С. С. Нугманов, С. И. Васильев, Т. С. Гриднева. – Самара, 2009. – 168 с.
21. *Нугманов, С. С.* Новые устройства для агрооценки почвы / С. С. Нугманов, С. И. Васильев, А. В. Иваськевич, Т. С. Гриднева // Сельский механизатор. – 2011. – № 11. – С. 10–11.
22. *Нугманов, С. С.* Определение показателей состояния почвы в точном земледелии / С. С. Нугманов, С. И. Васильев, А. В. Иваськевич, Т. С. Гриднева // Роль молодых ученых в реализации национального проекта «Развитие АПК» : сб. материалов Междунар. науч.-практ. конф./ МГАУ им. В. П. Горячкина. – М., 2007. – С. 67–70.
23. *Нугманов, С. С.* ТЗ: оснаждающиеся перспективы / С. С. Нугманов, С. И. Васильев, М. В. Сазонов // Сельский механизатор. – 2007. – № 3. – С. 22.
24. План мероприятий («дорожная карта») «Аэронет» Национальной технологической инициативы.
25. Постановление Правительства РФ от 11.03.2010 № 138 (ред. от 13.06.2018) «Об утверждении Федеральных правил использования воздушного пространства Российской Федерации».
26. Руководство по информации и услугам правительства Нидерландов [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://wetten.overheid.nl>.
27. *Рунов, Б. А.* Основы технологии точного земледелия. Зарубежный и отечественный опыт / Б. А. Рунов, Н. В. Пильникова. – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : АФИ, 2012. – 120 с.
28. Сайт Бозон [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://bozon-aero.ru>.
29. Сайт компании Case IH [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.caseih.com>.
30. Сайт компании Fendt [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.fendt.com>.
31. Сайт Корейского управления гражданской авиации [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://kosa.go.kr>.
32. Сайт Минсельхоза России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://mcsx.ru>.

## СОДЕРЖАНИЕ

1. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ	3
1.1. Методы и средства дистанционного зондирования в сельском хозяйстве	3
1.2. Рынок беспилотных авиационных систем	14
1.3. Нормативно-правовая база использования беспилотных авиационных систем	18
1.4. Применение беспилотных авиационных систем в сельском хозяйстве	30
1.4.1. Дистанционное зондирование Земли и мониторинг	30
1.4.2. Применение беспилотных систем на примере Белгородской области	32
1.4.3. Применение беспилотных систем на примере Краснодарского края	45
1.4.4. Альтернативное применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве	64

Уртаев Т.А.

МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ,  
ПОЛУЧЕННОЙ ОТ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ  
АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ,  
СИСТЕМ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ, СИСТЕМ  
ФОТО- И ВИДЕОСЪЕМКИ,  
СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И ВОЗДУШНОГО  
ПРОСТРАНСТВА

Учебное пособие  
для обучающихся по специальности  
25.02.08 Эксплуатация беспилотных авиационных систем

Лицензия: ЛР. № 020574 от 6 мая 1998 г.

Электронная версия 2024  
Бумага 60x84 1/16. Усл. печ. л. 8.625.

362040, Владикавказ, ул. Кирова, 37.  
Типография ФГБОУ ВО Горский ГАУ