

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Витебский государственный
университет имени П.М. Машерова»
Кафедра экологии и географии

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИС

Методические рекомендации

*Витебск
ВГУ имени П.М. Машерова
2024*

УДК [528.8+533+358]:004(075.8)
ББК 32.86-5я73+32.973.202я73+39.5я73
Л17

Печатается по решению научно-методического совета учреждения образования «Витебский государственный университет имени П.М. Машерова». Протокол № 2 от 20.12.2023.

Составители: старший преподаватель кафедры экологии и географии ВГУ имени П.М. Машерова **А.Б. Торбенко**; научный сотрудник НИС ВГУ имени П.М. Машерова **Д.В. Новиков**

Р е ц е н з е н т :
доцент кафедры фундаментальной и прикладной биологии
ВГУ имени П.М. Машерова,
кандидат биологических наук, доцент *Л.М. Мержвинский*

Лазерное сканирование и беспилотные авиационные технологии в ГИС : методические рекомендации / сост.: А.Б. Торбенко, Д.В. Новиков. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2024. – 32 с.

В учебное издание включены основы теории и материалы для практических занятий, список литературы. Предназначается для студентов и преподавателей дневной и заочной форм получения образования, а также всех, кто интересуется проблемами использования беспилотных комплексов и дистанционных данных в естественнонаучных исследованиях.

УДК [528.8+533+358]:004(075.8)
ББК 32.86-5я73+32.973.202я73+39.5я73

© ВГУ имени П.М. Машерова, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ТЕМА 1. БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ДАННЫХ	5
1.1. Правовая база использования БЛА в целях получения дистанционных данных в воздушном пространстве Республики Беларусь	5
1.2. Общая характеристика и типизация гражданских беспилот- ных летательных аппаратов и систем, применяемых в научных исследованиях и хозяйстве	13
1.3. Основные варианты целевой нагрузки (съёмочной аппара- туры) гражданских беспилотных летательных аппаратов	17
1.4. Основы организации и осуществления беспилотной съёмки	20
ТЕМА 2. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОР- МАЦИИ ДЛЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ	22
2.1. Беспилотная съёмка	22
2.2. Воздушное лазерное сканирование (ВЛС)	24
ТЕМА 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДИСТАН- ЦИОННЫХ ДАННЫХ	27
ЛИТЕРАТУРА	31

ВВЕДЕНИЕ

Использование дистанционных методов в различных сферах деятельности сегодня является нормой и даже (в некоторых случаях) обязательным условием. Будучи наиболее бюджетным, доступным и при этом предельно точным инструментом, беспилотные авиационные технологии предлагают пользователям решение задач в области мониторинга, строительства, сельского, лесного хозяйства и других отраслях. Массивы данных, получаемые в результате беспилотной лазерной, мультиспектральной, тепловизионной съемки расширяют возможности анализа и контроля земной поверхности практически безгранично.

Цель курса «Лазерное сканирование и беспилотные авиационные технологии в ГИС» – формирование у студентов системы методологических подходов в сфере получения и использования дистанционных данных лидарной, мультиспектральной, геодезической и иных вариантов беспилотной и наземной аэрофотосъемки для обеспечения решения широкого спектра задач в области природопользования и географического планирования.

В задачи курса входит:

- освоение базовых знаний в области использования дистанционных данных в ГИС;
- развитие навыков работы с беспилотными летательными аппаратами (БЛА), сервисами спутниковых данных, техническими средствами дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ);
- знакомство с методами анализа и использования материалов ДЗЗ в практической деятельности;
- обучение современным методам получения информации для решения прикладных задач в сфере природопользования, охраны окружающей среды, осуществления экологического мониторинга и т.д.

Методические рекомендации состоят из трех разделов, которые посвящены беспилотным авиационным технологиям, дистанционным методам съемки, а также методам обработки и применения дистанционных данных в среде геоинформационных систем (ГИС).

Данное издание адресовано студентам-географам, а также всем интересующимся вопросами использования БЛА и других дистанционных методов исследования Земли.

Работа выполнена при поддержке гранта БРФФИ Министерства образования (договор № Х22МВ-011 от 4.05.2022) «Методика использования беспилотных комплексов как инструмента мониторинга в сфере природопользования».

ТЕМА 1. БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОЛУЧЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ ДАННЫХ

1.1. Правовая база использования БЛА в целях получения дистанционных данных в воздушном пространстве Республики Беларусь

Нормативно-правовая база использования беспилотных авиационных систем претерпела за последние несколько лет значительные изменения, что связано как с развитием технических возможностей и ростом популярности самих беспилотников, так и с внешними факторами среди которых внешне-политическая ситуация, высокий уровень возможностей применения БЛА в незаконных целях и мероприятиях. В связи с этим, во избежание создания чрезвычайных ситуаций и нарушения закона, важно начиная работы с использованием беспилотных авиационных технологий знать установленный порядок их применения.

К настоящему времени можно назвать 2 основных документа которые регулируют вопросы регистрации, обращения и использования беспилотных летательных аппаратов в Республике Беларусь. Это Указ Президента Республики Беларусь от 25 сентября 2023 г. № 297 «О государственном учете и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов» [1] и принятое в развитие положений этого Указа Постановление Совета министров Республики Беларусь от 28 декабря 2023 г. № 972 «О вопросах государственного учета и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов» [2]. Основные положения этих документов сводятся к следующему:

- обязательная государственная регистрация любых БЛА;
- запрещение использования, хранения и оборота БЛА для физических лиц;
- обязательное прохождение операторов БЛА обучающих курсов с получением соответствующего документа государственного образца, который дает право применять БЛА в рамках деятельности организаций или индивидуальных предпринимателей.

В Постановлении Совета министров подробно рассмотрены вопросы государственной регистрации БЛА, их классификации, подготовки операторов и безопасности осуществления полетов БЛА в условиях умеренного риска и в специальной категории полетов (использование БЛА над скоплениями людей, закрытыми зонами, городскими территориями и т.д.).

Применение беспилотных летательных аппаратов связано с использованием воздушного пространства (ИВП) Республики Беларусь, общее руководство которым обеспечивает Министерство обороны (МО) страны. Конкретные детали деятельности в этой сфере определяются Воздушным кодексом, Авиационными правилами (АП), соответствующими Указами Президента Республики Беларусь, Постановлениями Совета Министров

Республики Беларусь и ведомственными постановлениями Министерства обороны и Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. Вопросы ответственности за нарушение правил использования БЛА и ИВП рассматриваются в Кодексе Республики Беларусь об административных правонарушениях. Уголовная ответственность за нарушение правил использования БЛА и ИВП не предусмотрена, за исключением случаев нарушений, повлекших тяжёлые последствия. Ниже приведен перечень основных актуальных нормативных документов, регулирующих деятельность в сфере использования БЛА:

1. Воздушный кодекс Республики Беларусь. №117-З от 16 мая 2006 г. (в редакции от 13 июня 2018 г.).

2. Авиационные правила АП.04.02-2012 (02190). Гражданская авиация. Регулирование использования воздушного пространства. Аэронавигационные карты гражданской авиации Республики Беларусь (утверждены Постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 30 июля 2012 г. № 40).

3. Авиационные правила организации и выполнения полетов экспериментальных воздушных судов Республики Беларусь (утверждены Постановлением Государственного военно-промышленного комитета Республики Беларусь от 15 декабря 2015 г. № 9; в редакции от 04.06.2021 г.).

4. Авиационные правила АП.11.02-2009 (02190). Гражданская авиация. Регулирование использования воздушного пространства. Организация воздушного движения (утверждены Постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 12 июня 2009 г. № 56; в редакции от 13.08.2019 г.)

5. Авиационные правила организации и выполнения полетов государственных беспилотных летательных аппаратов Республики Беларусь (утверждены Постановлением Министерства обороны Республики Беларусь от 1 августа 2022 г. № 41).

6. Авиационные правила «Сертификация деятельности эксплуатантов, осуществляющих (планирующих) авиационные перевозки (работы) на гражданских воздушных судах» (утверждены Постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 18 декабря 2020 г. № 58).

7. Авиационные правила составления формализованных заявок на использование воздушного пространства РБ, составления и представления сообщений об использовании воздушного пространства РБ. Постановление об утверждении Минобороны РБ и Минтранса РБ от 3 марта 2014 г. № 5/4; в редакции от 20.11.2020 г.).

8. Инструкция по использованию воздушного пространства Минского района полетной информации (утверждена Постановлением Министерства обороны Республики Беларусь 13 ноября 2017 г. № 21; в редакции от 31.12.2020 г.).

9. Положение о Единой системе организации воздушного движения (утверждено Постановлением Совета министров Республики Беларусь от 23 августа 1999 г. № 1308; в редакции от 26 ноября 2019 г.).

10. Правила использования воздушного пространства Республики Беларусь (утверждены постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 4 ноября 2006 г. № 1471; в редакции от 13 июля 2020 г.).

11. Об установлении перечней элементов структуры воздушного пространства Республики Беларусь (Постановление Министерства обороны Республики Беларусь от 09.11.2020 №26; в редакции от 21.11.2022 г.).

12. Кодекс Республики Беларусь об административных правонарушениях (ст.18.35).

13. О пресечении полетов авиамodelей и беспилотных летательных аппаратов (Указа Президента от 05.06.2019 № 215).

Кроме указанных национальных нормативных актов Республика Беларусь уважает и учитывает международные документы в сфере использования воздушного пространства и БЛА которые принимаются в рамках Международной организации гражданской авиации (ИКАО) среди которых Циркуляр 328 ИКАО «Беспилотные авиационные системы (БАС)» (2011), Руководство по дистанционно пилотируемым авиационным системам (ДПАС) (2015) и др.

Несмотря на достаточно большой перечень нормативных актов, регулирующих применение БЛА в Республике Беларусь осуществлять использование беспилотников в любой сфере, в том числе, в природопользовании не нарушая закон достаточно просто соблюдая определенный алгоритм действий.

1. Как уже говорилось выше, БЛА должен быть в обязательном порядке зарегистрирован в Департаменте по авиации Министерства транспорта и коммуникаций. Регистрационный номер и класс БЛА должны быть нанесены на корпус беспилотника и хорошо различимы. Процедура проходит один раз сразу после приобретения организацией или индивидуальным предпринимателем БЛА (рис.1).

Документы необходимые для регистрации:

- Заявление на постановку на государственный учет
- Документы, удостоверяющие законное приобретение БЛА
- Свидетельство о госрегистрации организации-владельца
- Документы, полученные от производителя (инструкция, паспорт и т.д.)
- Фото БЛА со всеми нанесенными на него обозначениями и, обязательно, индивидуального номера

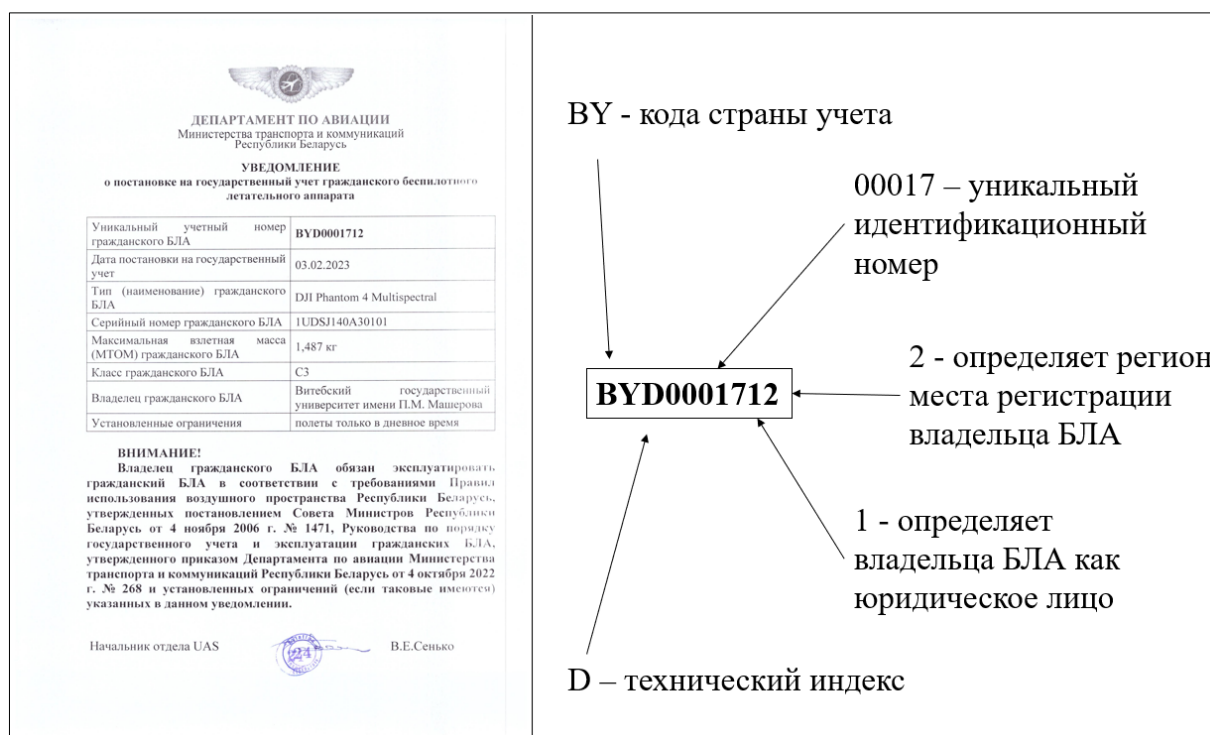


Рисунок 1 – Уведомление о госрегистрации (слева) и регистрационный номер БЛА (справа)

2. Оператор, непосредственно работающий с беспилотником, должен иметь свидетельство государственного образца о прохождении обучающих курсов для операторов БЛА. В настоящее время курсы для операторов проводятся в Белорусской государственной академии авиации, Белорусском государственном технологическом университете, Белорусском государственном аграрном техническом университете, Филиале «Института переподготовки и повышения квалификации» Университета гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, Центре подготовки, повышения квалификации и переподготовки кадров республиканского государственно-общественного объединения «Добровольное общество содействия армии, авиации и флоту Республики Беларусь» и Витебском государственном университете им. П.М. Машерова.

3. Необходимо получить разрешение на проведение аэрофотосъемки (АФС) интересующей территории в Генштабе Вооруженных Сил Республики Беларусь с учетом всех ограничений, применяемых в зоне предполагаемых работ, а также от всех заинтересованных сторон. Для этого не позднее чем за 5 суток до полетов в Генеральный штаб Вооруженных Сил представляется заявление, в котором указываются:

- наименование юридического лица ...;
- цель выполнения аэрофотосъемки;
- сроки выполнения аэрофотосъемки;

- географические координаты районов выполнения аэрофотосъемки;
- тип, бортовой номер (регистрационный знак) и принадлежность ВС, с борта которого планируется выполнение аэрофотосъемки (при использовании БЛА – его модель, бортовой номер (регистрационный знак), порядок связи с оператором БЛА);
- конфигурация применяемой аппаратуры, данные о ширине полосы захвата, высоте выполнения аэрофотосъемки.

Для получения разрешения на ИВП запретной зоны представляются в Генеральный штаб Вооруженных Сил заявление, в котором указываются:

- наименование юридического лица или фамилия, собственное имя, отчество (если таковое имеется), номер документа, удостоверяющего личность заявителя (для физических лиц);
- обоснование необходимости ИВП запретной зоны;
- период времени ИВП запретной зоны;
- тип, бортовой номер (регистрационный знак) и принадлежность ВС (при использовании БЛА – его модель, бортовой номер (регистрационный знак), порядок связи с оператором БЛА);
- маршрут полета ВС и (или) границы района осуществления деятельности, обозначаемые географическими координатами, профиль (диапазон высот) полета.
- При проведении работ с использованием БЛА в городской черте необходимо согласовывать таковые с городским исполнительным комитетом. Кроме того, во избежание проблем в процессе работ целесообразно ставить в известность о предстоящих полетах региональное подразделение МВД.

4. Заблаговременно (желательно за сутки) оформить заявку на ИВП в компьютерной системе КПТС «Интернет-заявка» Государственного предприятия «Белаэронавигация»¹. По всем вопросам, возникающим при заполнении, особенно в первый раз, необходимо консультироваться с диспетчером Центра организации воздушного движения (ОрВД) по телефонам: +375 17 215-74-30 // +375 17 215-74-50 // +375 17 215-74-32. Отследить в личном кабинете, чтобы заявка получила статус утвержденной.

5. За 1,5 часа до работ связаться со службой согласования условий полета и получить разрешение на ИВП по телефону: +375 17 215-74-35. Непосредственно перед началом и сразу по завершении работ поставить в известность о начале и завершении работ Центр ОрВД + 375 17 215-74-27 и ПВО + 375 17 513-27-41. При необходимости уведомить о начале и завершении работ авиационные службы ближайшего аэропорта (например, Витебские авиационные службы +375 212 20-43-66 или +375 212 20-43-62).

¹ Для работы в КПТС «Интернет-заявка» необходимо заранее заключить договор на ее использование с ГП «Белаэронавигация» и получить доступ к личному кабинету.

Отправить отснятые материалы на электронном носителе (CD или DVD диск) в формате ортофотоплана с привязкой на просмотр комиссии Министерства обороны (220034, г. Минск, ул. Коммунистическая, д. 1) для получения разрешения на их использование.

В воздушном пространстве Республики Беларусь, как и других стран есть зоны запрещенные для полетов БЛА. Чаще всего, они устанавливаются с целью охраны и обеспечения безопасности стратегически важных сооружений (например, мостов, электростанций), военных объектов, аэропортов и т.д. Информация о закрытых зонах находится в свободном доступе на сайте Публичной кадастровой карты Республики Беларусь (www.map.nca.by/) во вкладке дополнительные слои (рис.2). Работы с использованием БЛА в таких зонах возможны только после получения соответствующего разрешения Генерального штаба ВС Республики Беларусь и уведомления ведомства в интересах которого установлена бесполётная зона.

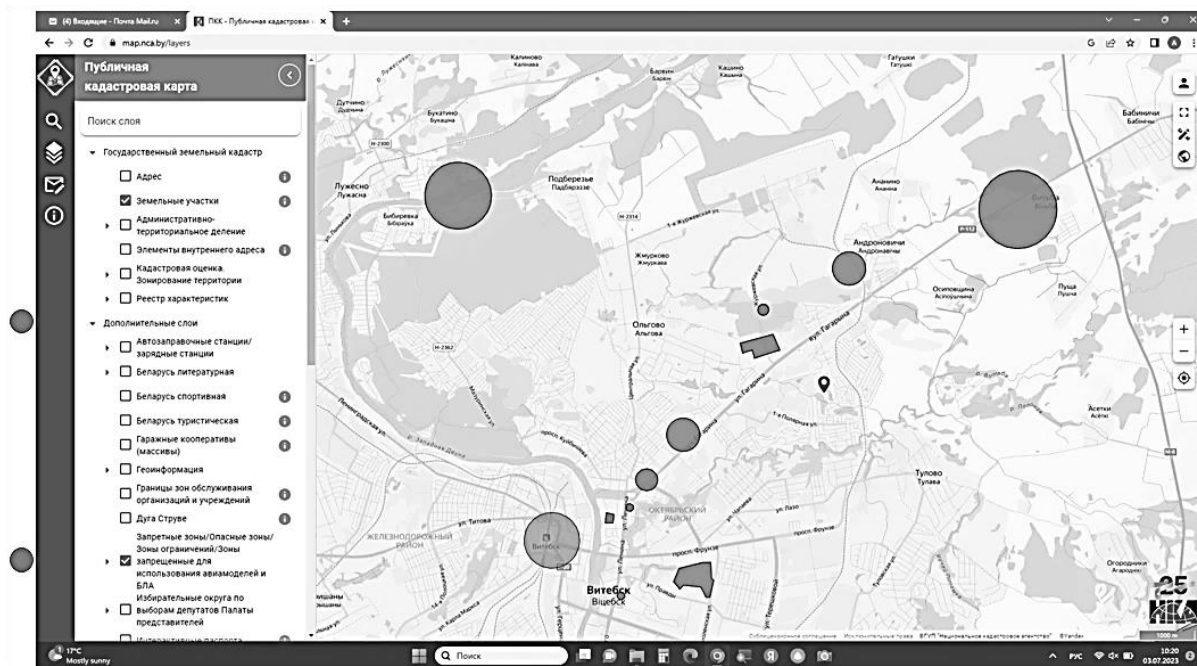


Рисунок 2 – Интерфейс Публичной кадастровой карты Республики Беларусь с указанием закрытых для полетов БЛА зон.

Практическое задание.

Оформление заявки на использование воздушного пространства

Цель: освоить составление заявок на использование воздушного пространства в КПТС «Интернет-заявка».

Порядок выполнения:

1. Создайте заявку на использование ИВП для полета беспилотника (рис.3), используемого Вашей организацией (или Phantom) для фотосъемки угодий, указанных на схеме (рис.4).

The screenshot shows a web browser window with the URL fpl.ban.by/#/fpl. The page is titled "Заявка на использование воздушного пространства Республики Беларусь" (Application for use of the airspace of the Republic of Belarus). Below the title is a section "Сообщение FPL/ФПЛ" (FPL/ФПЛ message) with the note "Применяется для международных полетов." (Applies for international flights). The form contains several sections with input fields and dropdown menus:

- Срочность, получатели** (Urgency, recipients)
- Дата и время представления, отправитель** (Date and time of submission, sender)
- 3. Тип сообщения** (Type of message): A dropdown menu with "ФПЛ(ФРЛ)" selected.
- 7. Оперативный индекс воздушного судна** (Operational index of the aircraft): Two input fields for "Оперативный индекс" and "Режим и код ВРП".
- 8. Правила и тип полета** (Rules and type of flight): Two dropdown menus for "Правила полета" (with "И(О)" selected) and "Тип полета" (with "С(С)" selected).
- 9. Количество и тип воздушных судов** (Quantity and type of aircraft): Input fields for "Количество" (set to 1), "Тип воздушного судна", and a dropdown for "Категория турбулентности следа".
- 10. Оборудование** (Equipment)

Рисунок 3 – Интерфейс КИТС «Интернет-заявка» для составления заявок на ИВП



Рисунок 4 – Схема расположения участка для заполнения интернет-заявки

Информацию для заполнения заявки внесите в таблицу. Выбор необходимой информации можно осуществить с помощью справки прикрепленной к каждому пункту и вызываемой кликом на иконке  :

№	Информационное поле	Содержание
3	Тип сообщения	
7	Опознавательный индекс воздушного судна	
	Опознавательный индекс воздушного судна	
	Режим и код ВРЛ	
8	Правила и тип полета	
	Правила полета	
	Тип полета	
9	Количество и тип воздушных судов	
	Количество	
	Тип воздушного судна	
	Категория турбулентности следа	
10	Оборудование	
	Радиосвязное, навигационное, посадочное оборудование	
	Оборудование наблюдения	
13	Аэродром и время вылета	
	Аэродром вылета	
	Время вылета	
15	Маршрут	
	Крейсерская скорость	
	Запрашиваемый эшелон	
	Маршрут	
16	Аэродром назначения и общее расчетное истекшее время, запасной аэродром.	
	Аэродром назначения	
	Общее расчетное истекшее время	
18	Прочая информация	
	Цель и статус полета	
	Аэродром вылета	
	Аэродром назначения	
	Дата выполнения полета	
	Основные точки или индексы границ РПИ	
	Прочие сведения	
	Зона 1	
	Рубежи передачи управления	

2. Проверьте правильность выполнения заявки и сохраните шаблон.²
3. На основе шаблона создайте заявку на ИВП для полета над территорией, интересующей вашу организацию.³
4. Таблицу с данными для заявки сохраните в виде файла Фамилия.docx. и поместите в папку «Практическая 1. Результаты» в SDO

1.2. Общая характеристика и типизация гражданских беспилотных летательных аппаратов и систем, применяемых в научных исследованиях и хозяйстве

Беспилотные летательные аппараты различаются по конструктивным особенностям, назначению, размерам и ряду других характеристик. По конструктивным особенностям беспилотники разделяют (рис.5) на аппараты:

- самолетного типа, крыло
- мультироторного типа, коптеры
- смешанного типа

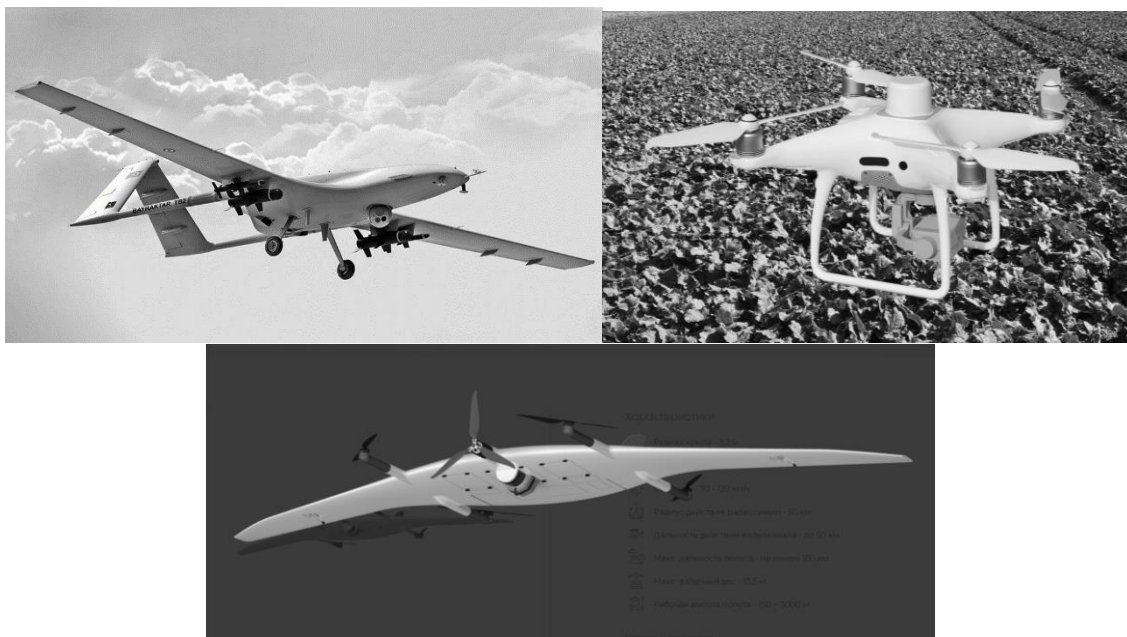


Рисунок 5 – Конструктивные варианты БЛА

Исходя из назначения можно выделить:

- военные;
- гражданские отраслевые (сельское хозяйство, МЧС и пр.);
- исследовательские (научные исследования, картирование и наблюдение);
- потребительские (развлечение).

² выполняется при наличии доступа к системе КПТС «Интернет-заявка»

³ выполняется при наличии доступа к системе КПТС «Интернет-заявка»

В связи со сложившимися на сегодняшний день условиями, в сфере природопользования и мониторинга наиболее подходящими для использования являются беспилотники мультироторного типа, или коптеры. Большинство беспилотников данного типа имеют схожие конструктивные особенности и элементы. Классическим примером БЛА такого типа является квадрокоптер DJI Phantom [3] (рис.6).

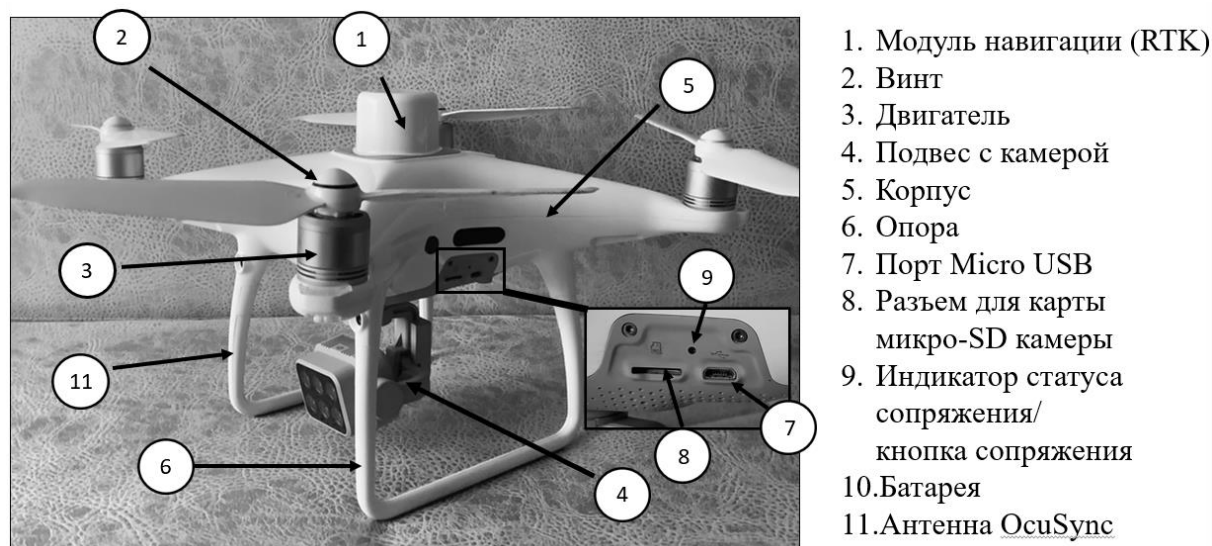


Рисунок 6 – Стандартные элементы устройств БЛА

Современные БЛА оснащены высокотехнологичными системами датчиков ориентирования и обнаружения препятствий и индикаторов состояния (рис. 7).

Беспилотные летательные аппараты (БЛА) не могут выполнять возлагаемые на них задачи без наличия пульта управления (рис.8), подвесного оборудования, специализированного программного обеспечения, модуля обработки полученной информации и т.д. Поэтому правильно будет говорить о беспилотных авиационных системах (БАС) в рамках которых работают беспилотные летательные аппараты.

Программное обеспечение (ПО) работы БАС и анализа получаемой информации можно разделить на 3 группы. Первая – это ПО, обеспечивающее полет, навигацию, работу навесного оборудования. Примером могут служить программы DJI GS Pro или Geoscan Planner которые предназначены для работы с беспилотниками соответствующих производителей. Вторая – фотограмметрические программы, которые позволяют выполнять обработку первичных результатов съемки, строить ортофотопланы, цифровые модели местности (ЦММ) и т.д. (Agisoft Metashape, Pix4D Mapper, DJI Terra). И третья группа – это геоинформационные платформы, которые позволяют извлекать из данных беспилотной съемки максимальное количество информации и глубоко ее анализировать (ArcGIS, Mapinfo, Autodesk, QGIS и т.д.). В настоящее время, граница между этими группами ПО

становится условной, так как большинство производителей программного обеспечения стремятся к полифункциональности и вводят в возможности ПО новые инструменты и опции.



Рисунок 7 – Датчики ориентирования и обнаружения препятствий БЛА DJI Phantom

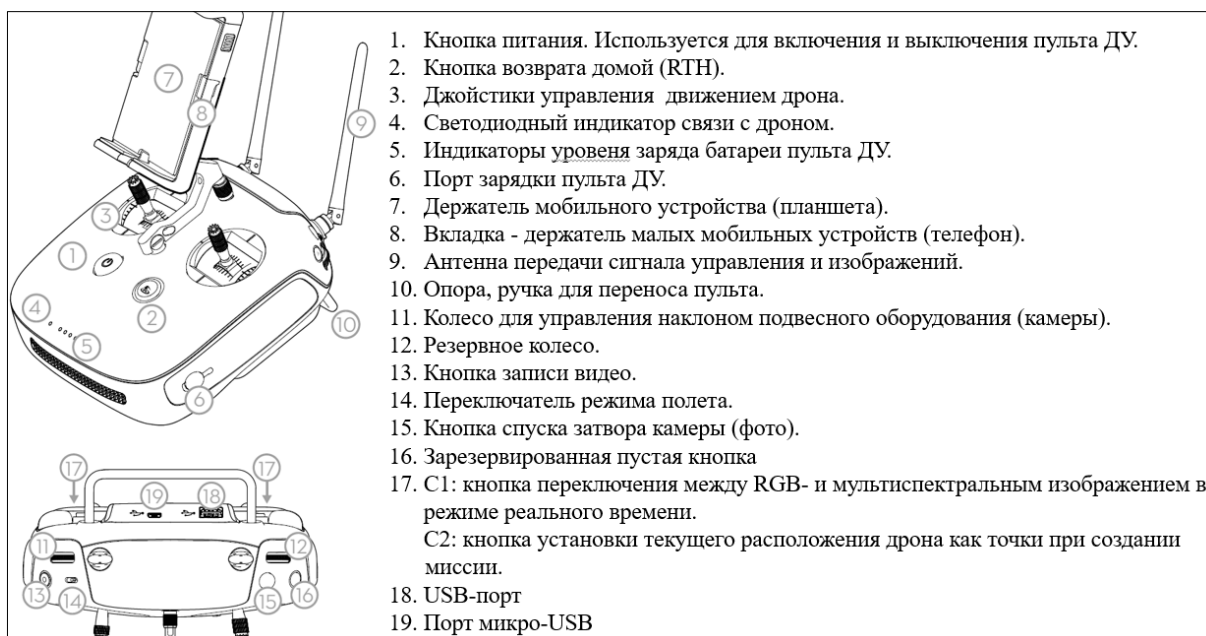


Рисунок 8 – Пульт управления БЛА DJI Phantom

Классификация БЛА и выполняемых ими задач. В соответствии с классификацией, принятой сегодня в Республике Беларусь все БЛА делятся на 6 классов (от С0 до С6) и могут выполнять задачи в условиях умеренного риска, специальной и сертифицированной категории, что зависит от места, сложности и степени опасности проводимых работ.

Большинство задач в сфере природопользования выполняются в условиях умеренного риска, то есть вне городов и вдали от скоплений людей на БЛА классов С1 – С3. Например, широко распространенные беспилотники DJI Mavic, Phantom и Matrix относят к классу С3, а DJI mini – к С1 (табл.1). К категории С0 относят беспилотники, которые не используются в практической деятельности и служат, в основном, для развлечения. Подробное описание классов можно найти в Положении о госрегистрации БЛА. Ниже приведены лишь характеристики, по которым классы различаются.

Таблица 1. Летно-технические характеристики типовых БЛА

	DJI mini	DJI mavic	DJI Phantom	DJI matrix
Класс БЛА	С 1	С 3	С 3	С 3
МТОМ⁴, кг	0,249	0,958	1,375	9,000
Мах скорость, м/с	13	21	20	23
Макс. сопротивление ветру, м/с	8	12	10	15
Мах высота, м	3000 (30*)	6000	6000	5000
Мах дальность, м			3000	8000
Мах продолж. полета, мин	30	43	30	55
Мах габариты ДхШхВ, мм	В сложенном виде: 140×81×57 В разложенном состоянии: 159×202×55 В разложенном состоянии (с пропеллерами): 245×289×55 мм	В сложенном виде: 231,1×98×95,4 мм. В разложенном виде (без пропеллеров): 347,5×290,8×107,7 мм	По диагонали без пропеллеров 350 мм	В развернутом виде без пропеллеров: 810×670×430 мм. В сложенном: 430×420×430 мм. Размер по диагонали 895 мм
Рабочие t, °С	-10 – +40	-10 – +40	0° – +40°С	-10 – +40

Особенности БЛА класса С1

1. Изготовлен из материалов и имеет эксплуатационные и физические характеристики, обеспечивающие в случае удара о человека, энергию, передаваемую человеку, менее 80 Дж или иметь МТОМ менее 900 г, включая полезную нагрузку;

2. Максимальная скорость в горизонтальном полете 19 м/с;

⁴ МТОМ – максимальная взлетная масса

3. Максимально достижимая высота от точки взлета, ограничена 100 м;

4. При наличии режима автоматического полета, и когда эта функция включена, гражданский БЛА должен находиться на расстоянии не более 50 м от оператора гражданского БЛА, чтобы дать возможность оператору гражданского БЛА восстановить визуальный контроль за его полетом и управление.

Особенности БЛА класса С2

1. МТОМ менее 4 кг, включая полезную нагрузку;
2. оснащен режимом низкой скорости, выбираемым оператором гражданского БЛА и ограничивающим путевую скорость не более чем 3 м/с¹.

Особенности БЛА класса С3

1. МТОМ менее 30 кг, включая полезную нагрузку;
 2. максимальный характерный размер менее 3 м;
- оператору гражданского БЛА должна предоставляться четкая информация, когда функция, ограничивающая доступ к определенным районам или объемам воздушного пространства, препятствует входу гражданского БЛА в эти районы или объемы воздушного пространства².

1.3. Варианты полезной нагрузки (съемочной аппаратуры) гражданских беспилотных летательных аппаратов

Использование БЛА в природопользовании и других сферах хозяйства связана с возможностью применения различного навесного оборудования для стандартной, мультиспектральной, тепловизионной фотосъемки, лазерного и магнитного сканирования, крепления к беспилотным аппаратам грузов, средств химобработки и т.д. Наиболее распространенными вариантами полезной нагрузки в случае применения БЛА в целях природопользования кроме стандартных камер являются лазерные сканеры, мультиспектральные камеры и тепловизоры.

Лазерный сканер (лидар)

Лазерное сканирование - разновидность активной съемки. Установленный на БЛА лазер (работающий в импульсном режиме) проводит дискретное сканирование местности и объектов, расположенных на ней. При этом регистрируется направление лазерного луча и время прохождения луча. Текущее положение лазерного сканера определяется с помощью высокоточного GPS-ГЛОНАСС-приемника (работающего в дифференциальном режиме) совместно с инерциальной навигационной системой (IMU). Зная углы разворота и координаты лазерного сканера, можно однозначно определить абсолютные координаты каждой точки лазерного отражения в пространстве.

Лазерная сканирующая система состоит из нескольких элементов:

- лазерный сканер (работает как дальномер с разверткой на углы в одной плоскости);
- БИНС – бесплатформенная инерциальная навигационная система (служит для внешнего ориентирования и позиционирования);
- приемник ГЛОНАСС-GPS для определения положения сканера в пространстве;
- система записи данных и управления съемкой;
- видеокамеры, тепловизоры, другие сенсоры: ИК, УФ – для уточнения полученных данных.

Скорость съемки современных лазеров достигает 1000000 точек в секунду. В результате съемки формируется облако точек, которое служит основой дальнейшего построения цифровых моделей истинного рельефа местности, сооружений и других объектов.

Сегодня большинство лазерных сканирующих систем создаются с использованием всего двух типов механизмов отклонения луча: вращающегося граненого зеркала и качающегося зеркала.

Наиболее значимые характеристики, на которые стоит обратить внимание при выборе аппаратуры: частота сканирования, эффективная скорость сканирования, параметры дальности, типы сканера и скорость сканирования. Важной характеристикой является также стоимость оборудования поскольку лазерные сканеры не являются бюджетными, и их цена начинается от тысячи долларов. Наиболее распространенными и доступными на рынке Беларуси моделями являются LiAir, DJI Zenmuse L1, GS и др.

Мультиспектральная камера

При мультиспектральной съёмке попадающий в объектив свет разделяется на разные спектры. В результате съёмки на каждый кадр формируются монохромные снимки, количество которых зависит от количества каналов камеры. Такой вид съемки используется в сельском и лесном хозяйстве, при оценке состояния экосистем, в научных исследованиях. Мультиспектральные камеры используются как навесное оборудование или могут являться встроенными в БЛА.

Применение результатов съемки основано на возможности при сочетании в различных конфигурациях монохромных спектральных изображений выделять объекты с теми или иными свойствами. Таким образом, происходит «вычисление» различных вегетационных, водных и других индексов.

Важнейшими характеристиками мультиспектральной камеры являются диапазон спектра, количество каналов съемки, скорость захвата и угол зрения. Наиболее распространенные на белорусском рынке модели – DJI P4 Multispectral (Китай), Geoscan Pollux (Россия), МУСВ-МС (Беларусь), Parrot Sequoia, MicaSense RedEdge-MX (EC).

Рассмотрим наиболее значимые характеристики мультиспектральных камер на примере интегрированной в БЛА Phantom P4 Multispectral (рис. 9).

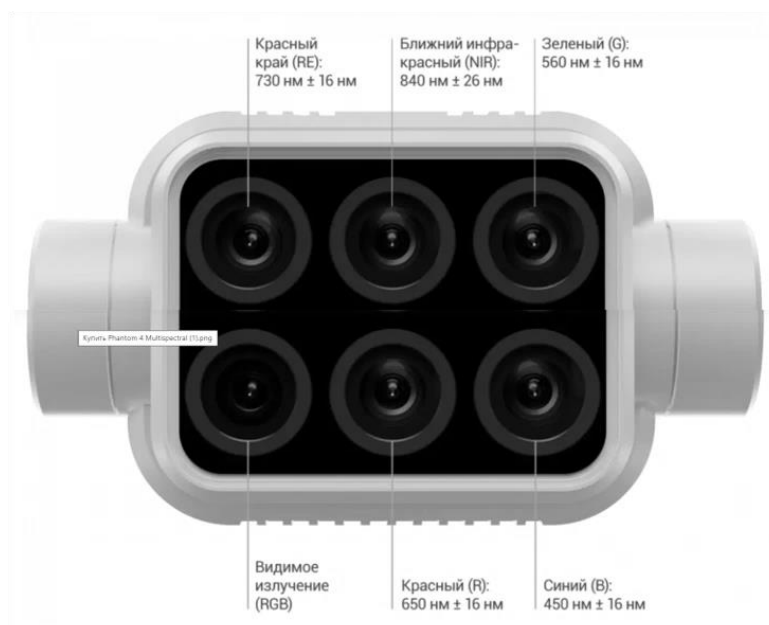


Рисунок 9 – Мультиспектральная камера DJI 4 Multispectral

- Матрицы: Шесть 1/2,9-дюймовых матриц CMOS, включая одну матрицу видимого излучения RGB и пять монохромных для формирования мультиспектральных изображений. Число эффективных пикселей каждой матрицы: 2,08 млн (общее число пикселей: 2,12 млн)
- Фильтры: Синий (blue, B): 450 нм + 16 нм, зеленый (green, G): 560 нм + 16 нм, красный (red, R): 650 нм + 16 нм, красный край (red edge, RE): 730 нм + 16 нм, ближний инфракрасный (near-infrared, NIR): 840 нм + 26 нм.
- Линзы: Угол обзора: 62,7° Фокусное расстояние: 5,74 мм (40 мм – эквивалент формата 35 мм), автофокус установлен на диафрагму f/2.2.
- Диапазон ISO матрицы RGB: 200-800
- Коэффициент усиления монохромной матрицы: 1-8х
- Электронный глобальный затвор: 1/100-1/20000 с (стандартная камера); 1/100-1/10000 с (мультиспектральные камеры)
- Макс. разрешение изображения: 1600x1300 (4:3,25)
- Фотоформаты: JPEG (стандартные изображения) + TIFF (мультиспектральная обработка изображений)
- Поддерживаемые файловые системы: FAT32 (32 Гбайт); exFAT (> 32 Гбайт)
- Типы карт памяти: microSD с минимальной скоростью записи 15 МБ/с. Макс. объем: 128 Гбайт. Класс скорости: Class 10, поддержка UHS-1
- Диапазон рабочих температур: 0°...+40° C

Тепловизор.

Дает снимки или видео теплового излучения, а не видимого света. Инфракрасное тепловое излучение и свет являются частями электромагнитного спектра. Однако камера, которая может обнаруживать видимый свет,

не будет видеть теплового излучения и наоборот. Тепловизоры обнаруживают различия в тепловом излучении, даже в $0,01^{\circ}\text{C}$. Эта информация затем отображается в виде различных цветов на дисплее, в программном обеспечении или приложениях.

1.4. Основы организации и осуществления беспилотной съемки

Успешное проведение съемки с помощью БЛА требует выполнения ряда подготовительных процедур, соблюдения всех параметров плана полета, высокого уровня подготовки и опыта оператора. Даже при максимальной автоматизации процесса осуществления полета характерной для современных БЛА значение человеческого фактора остается очень высоким и определяет конечных результат. Среди подготовительных процедур следует выделить:

- проверка соблюдения правовых аспектов (наличие разрешение на АФС, заявки на ИВП, свидетельства оператора);
- подготовка полетного задания и загрузка его (при необходимости) в устройство визуализации, работающее с пультом управления (планшет, мобильник);
- полная зарядка имеющихся аккумуляторных батарей БЛА и пульта управления;
- проверка комплектации и исправности БЛА, пульта управления, набора проводов, устройства визуального контроля;
- проверка готовности и исправности средств мобильной связи и транспорта (в случае выезда для проведения работ);
- наличие мобильного зарядного устройства (при необходимости и наличии), ремкомплектов и медаптечки.

В отличие от большинства процедур подготовка полетного задания требует от оператора кроме внимательности навыков работы с программным обеспечением БЛА. Рассмотрим создание полетного задания на примере подготовки беспилотника Phantom 4 (DJI). Программное обеспечение, используемое в данном случае – DJI GS Pro, установленное из App Store или Google Play на устройство, подключаемое к пульту управления (планшет, смартфон). Порядок формирования полетного задания в данном программном обеспечении следующий:

1. Активировать программу, зайти во вкладку «My missions» и нажать иконку «+» для добавления нового задания.

2. Выбрать предполагаемый режим съемки. Чаще всего, это режим «PhotoMap» → «Тар», что позволит провести съемку с целью создания ортофотоплана.

3. Выбрать на автоматически загрузившейся после определения режима спутниковой карте район съемки и нажатием на экран активировать полигон для определения границ интересующего участка. Перемещая узлы полигона подберите необходимый размер и очертания зоны съемки (рис. 10).

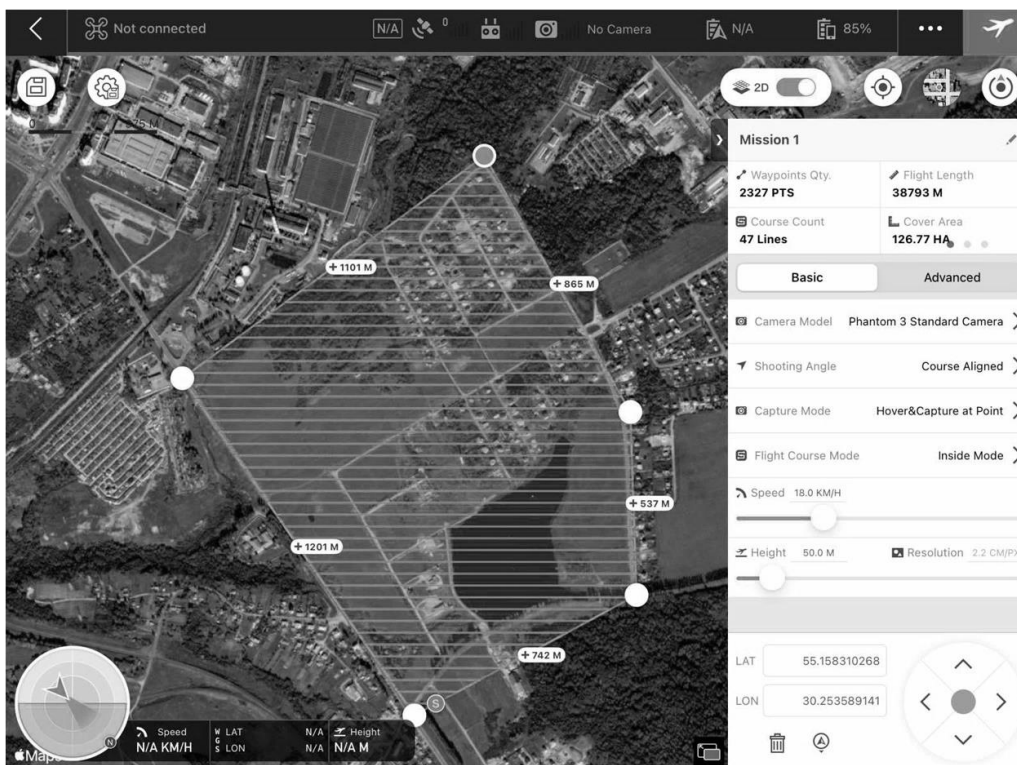


Рисунок 10 – Окно настройки миссии в программе DJI GS Pro

4. Справа в активной вкладке «Basic» можно настроить базовые параметры полета, среди которых важнейшим является высота полета, которая согласно законодательству в категориях полета A1 – A3 не должна превышать 100 м и от которой зависит разрешение получаемых изображений.

5. Во вкладке «Advanced» вводятся дополнительные настройки, среди которых необходимо проконтролировать фронтальное и боковое перекрытие кадров при съемке, а также подобрать наиболее оптимальное направление галсов съемки и точку старта.

6. Выше вкладок «Basic» и «Advanced» находится информационное поле, которое позволяет контролировать энергоемкость и конечный предполагаемый результат выполнения полета.

7. После завершения задания параметров полета необходимо задать название миссии и сохранить ее.

Дальнейшие операции проводятся непосредственно перед взлетом.

8. Выберите площадку для взлета. Необходимыми условиями успешного запуска и посадки БЛА являются ровная, чистая поверхность площадки, расположение ее на господствующей высоте в зоне полета, отсутствие в радиусе 3-5 м деревьев, построек и иных препятствий, отсутствие в зоне взлета-посадки линий электропередач и иных объектов создающих помехи радиосигналу и полету.

9. После установки на стартовую площадку и включения БЛА, пульта управления и подключения к нему гаджета с загруженным полетным заданием нажатием в открывшемся окне миссии на иконку самолета

в верхнем правом углу активируем режим подготовки БЛА к полету, которая обычно идет дальше в автоматическом режиме. После подсветки всех настроек зеленым светом можно запускать дрон.

В большинстве случаев в ходе полета лучше всего использовать режим автопилота, в котором БЛА выполняет полетное задание по заданным параметрам. Переход на ручное управление в непредвиденных случаях на большинстве моделей коптеров легко активировать касанием к джойстику ручного управления. В случае возникновения проблем с выполнением задания, потери управления или иных проблемах активируйте функцию автовозврата в точку старта, предусмотренную в большинстве современных моделей.

Необходимой процедурой согласно новым положениям законодательства является ведение бортового журнала.

ТЕМА 2. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОЛУЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ЦЕЛЯХ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

2.1. Беспилотная съемка

Ортофотопланы, цифровые модели местности (ЦММ) и цифровые модели рельефа (ЦМР) основой построения которых являются данные беспилотной съемки имеют очень высокое (субсантиметровое) разрешение и такую же высокую точность привязки. Это определяется относительно небольшой высотой съемки, навигацией на основе комплекса GNSS и RTK, качеством съемочной аппаратуры. Кроме того, существует ряд дополнительных факторов, которые определяют качество результатов съемки.

Высота. Стандартно, высота для полетов беспилотников вне специальной и сертифицированной категорий составляет максимум 100 м. При этом разрешение снимка составляет при использовании, например, камер БЛА DJI 2-5 см/пиксель. Получение более высокого разрешения возможно при снижении БЛА и может быть необходимо для построения 3-D моделей, более четкой идентификации объектов и дешифрирования. Однако при этом будет резко падать производительность (табл. 2).

Таблица – 2. Соотношение высоты съемки, разрешения и времени съемки участка в 100 га Phantom4multispectral.

Высота, м	100	90	80	70	60
Разрешение, см/пикс	5,3	4,8	4,2	3,7	3,2
время	3 ч 6,5 мин	3 ч 33,5 мин	4 ч 9,3 мин	4 ч 58,5 мин	6 ч 9,5 мин

Кроме того, снижение высоты съемки ведет к кратному увеличению объемов исходного материала и, соответственно, времени обработки и требований к программно-техническому обеспечению. Также при малых высотах съемки (менее 70 м) и ветре скоростью более 7-10 м/с может быть

Навигация. Точность результатов съемки связана со способом определения координат точки положения БЛА во время съемки. Сегодня определение местоположения в общем случае производится с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (GNSS). В мире существует несколько систем такого рода среди которых наиболее значимыми являются GPS (США), ГЛОНАСС (Россия), Galileo (ЕС) и Beidou (Китай). Любая навигационная спутниковая система состоит из нескольких десятков спутников, сигналы которых и позволяют определять положение объектов. Для точного определения положения точки на поверхности Земли в 3-хмерном пространстве необходимы сигналы как минимум 4-х спутников. Однако, в гражданском секторе погрешность определения координат с помощью спутниковых систем составляет в лучшем случае несколько десятков сантиметров, а чаще всего, метры. Такая точность подойдет для создания достаточно точных крупномасштабных карт, схем движения, оценки общего состояния поверхности. Но в случае применения систем точного землепользования в сельском и лесном хозяйстве, строительстве, геодезии необходима субсантиметровая точность, которая обеспечивается подключением к системе навигации RTK модулей. Такой модуль получает сигналы от сети стационарных наземных станций координаты которых определены с высочайшей точностью (рис.11), что позволяет довести точность систем навигации до 3-5 см.



23

2.2. Воздушное лазерное сканирование (ВЛС)

Лидарная система для ВЛС состоит из лазерного сканера, системы прямого геопозиционирования, цифровой аэрофотокамеры, блока управления и хранения данных. Работа сканера основана на регистрации трех координат точек объектов местности в системе координат лазера на основе измеренных расстояния и углов [4].

Система прямого геопозиционирования состоит из инерциальной системы (ИНС) и глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). ИНС моделирует движения летательного аппарата, при этом не используя внешних данных, она определяет ускорение и угловые скорости по 3 осям. При последующей обработке это позволяет учитывать крен, тангаж, рысканье – углы наклона летательного судна, что повышает точность определения траектории.

ГНСС из высокоточного приемника и базовой станции работает в дифференциальном режиме, с высокой точностью определяет координаты летательного аппарата в моменты времени. Обе системы работают автономно и независимо друг от друга. А интегральное навигационное решение является следствием совместной обработки данных.

Инерциальная система обычно включает в себя три акселерометра, три гироскопа и различные преобразователи, регистраторы и другую цифровую электронику. Акселерометры измеряют ускорение по трем осям координат ИНС, а гироскопы определяют углы. Работа приборов не зависит от внешних факторов, но позволяет определить направление движения, отклонения и местоположение объекта в пространстве. Гироскопы могут быть разных видов: электронно-оптические, лазерные, оптико-волоконные, микроэлектромеханические системы – МЭМС [5]. Сейчас используются именно МЭМС системы в виду своей легкости и бюджетности. ИНС могут быть платформенными и бесплатформенными, которые в основном и используются при ВЛС. В таких установках вся система жестко связана с корпусом, а гироплатформа моделируется математически. Существуют не только разные виды гироскопов, также есть разные решения самой ИНС, они могут быть встроены в лазер или ГНСС-приемник, иметь разные классы точности. Для беспилотной съемки из-за небольшого радиуса сканирования можно использовать менее точные системы. Все это говорит о том, что инерциальная навигационная система требует отдельного более полного изучения.

А чтобы понять ее важность для ВЛС стоит повторить, что интегральное решение определения точных координат летательного средства в момент съемки получается в результате работы ГНСС-приемника, дающего координаты с частотой 10-20 Гц, и ИНС, данные ускорения и угловых скоростей которой могут иметь частоту 100-500 Гц.

Совмещая эти измерения, можно значительно повысить точность траектории. А от нее зависит положение в пространстве сканирующей системы,

направление движения, и расстояние до объектов. Из этого уже можно сделать вывод, что точность по высоте и в плане зависит от точности траектории.

Цифровая аэрофотокамера производит съёмку параллельно сканированию. Пространственное разрешение снимков – высокое, но варьируется от использованной техники, высоты полёта и других параметров, может быть от 3 см/пикс. Так, как комплекс оснащен системой геопозиционирования, которая позволяет получить точную траекторию, то элементы внешнего ориентирования снимков имеют более высокую точность. Что отражается на точности итоговых материалов и на скорости работы при обработке полевых материалов, создании карт, планов, векторизации, даже классификации.

Технология воздушного лазерного сканирования как совокупность аэрофотосъемки и лазерного сканирования объединяет в себе преимущества двух этих методов. Это высокая производительность при съемке площадных и линейных объектов при минимальных финансовых и временных затратах, так как за один день можно произвести съемку до 500 км² [6]. Комбинированная система позволяет получать более точные и полные данные. Так, главным преимуществом воздушного лазерного сканирования является возможность получения достоверной информации о рельефе даже в залесенной местности. Луч сканера проникает под полог древесно-кустарниковой растительности, это позволяет получить точки лазерных отражений поверхности земли. Данные могут отображать такие формы рельефа как бровки склона, холмы, ямы, канавы, обрывы. При этом для технологии не имеет значения сложность рельефа, но необходимо учитывать максимальные и средние уклоны поверхности при обработке. Помимо этого, очевидным преимуществом является возможность получения точек, принадлежащих стенам зданий. Это дает возможность получить точные контура сооружений, даже их трехмерные модели. Необходимо отметить то, что лазерное сканирование имеет меньшее влияние окружающей среды: растительность, дымка, облака и время съемки не являются помехой для проведения работ. Но так как синхронно проводится аэрофотосъемка, то на нее эти аспекты повлиять могут. Также у лазерного сканирования большие перспективы в возможности отображения объектов, которые нет возможности получить традиционными методами: провода, мелкие висячие конструкции (изоляторы, фермы).

Лидарные системы, используемые для съемки с воздушных средств, характеризуются возможностью получения отражений разных порядков. Импульс, испускаемый сканером, отражается от всех объектов (земли, растительности, строений, мостов). Так, импульс может отразиться только один раз, а может несколько, то есть иметь отражения разных порядков. Самым показательным будет являться первый отраженный сигнал, при этом он принадлежит самому высокому объекту – первому, встретившемуся на пути, конечно, он может оказаться и точкой земли. Данная особенность используется в процессе обработки.

Лазерные системы для съемки с воздуха позволяют работать с несколькими рисунками (паттернами) движения сканирующего луча. Он может быть в виде синуса, треугольника, растра (рисунок 12). Синусоидальный рисунок менее предпочтителен, так как на краях получается сгущение точек – это приводит к переизбытку информации.

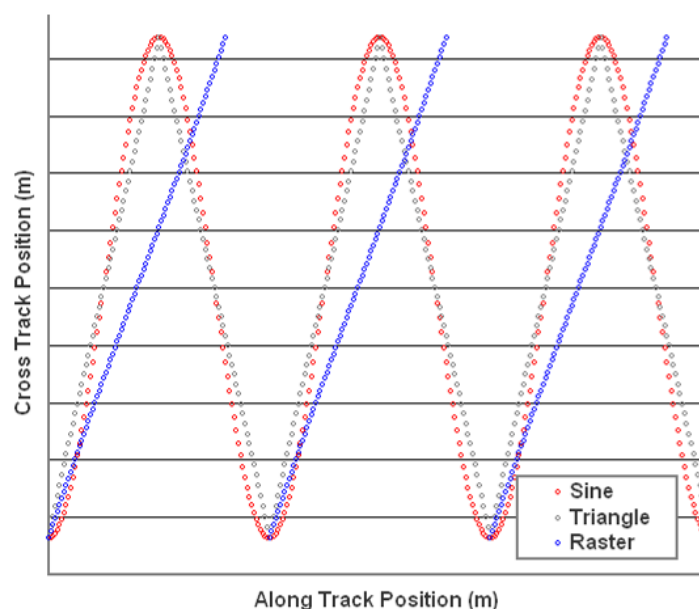


Рисунок 12 – Паттерны лазерного рисунка

В лазере используется расщепление луча, это приводит к повышению эффективности при заданной частоте работы. Так как он расщепляется, но принимается двумя разными независимыми приемниками. Существуют два режима, когда один импульс в воздухе - Single-pulses-in-air (SPIA), и когда несколько - Multiple-pulses-in-air (MPIA). MPIA также является способом увеличения плотности точек на m^2 , например, если этого не удалось достичь увеличением частоты.

MPIA – технология множественных импульсов в воздухе. Второй импульс запускается до получения отражения предыдущего. Так плотность точек повышается почти вдвое. Возможно эффективно удвоить коэффициент покрытия, тем самым снизив затраты на сбор данных. Это может быть важным экономическим фактором съемок. MPIA также имеет и другие преимущества. Так как летательный аппарат может летать значительно выше, влияние изменения высоты полета на ширину полосы съемки сводится к минимуму, что требует меньшего бокового перекрытия для обеспечения полного охвата территории. Кроме того, можно использовать узкое поле зрения, это приводит к лучшему проникновению под кроны деревьев в залесенной местности. А еще увеличение высоты полета часто приводит к уменьшению турбулентности, более комфортному полету. Это уменьшает углы наклона судна.

ТЕМА 3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ДИСТАНЦИОННЫХ ДАННЫХ

Программное обеспечение используется в процессе беспилотной съемки и анализа полученных данных в 3 этапа.

Этап формирования полетных заданий и проведения съемки необходимо обеспечивать с помощью ПО производителя беспилотного комплекса. В случае Phantom4Multispectral это DJI GS Pro. Программа является мультифункциональной и в случае наличия коммерческой лицензии позволяет проводить весь комплекс работ от планирования и проведения полетов разного назначения, до анализа полученной информации. Однако, даже в формате free программа позволяет формировать и контролировать полетные задания стандартного назначения (площадная съемка, полет по точкам, полет в ручном режиме). Исходя из реальных условий этого достаточно для обеспечения 1 стадии работ. Именно во free версии DJI GS Pro устанавливаются важнейшие параметры, такие как высота полета, разрешение и перекрытие съемки. Процесс формирования полетного задания описан выше.

Этап фотограмметрической обработки данных качественно обеспечивается только коммерческими вариантами ПО, среди которых наиболее подходящим по комплексу параметров является программный продукт российской компании ООО "ЖивойСофт" (Санкт-Петербург) – Agisoft Metashape Professional. Данное ПО позволяет выполнить в полном объеме работы по созданию ортофотопланов, ЦММ и 3-D моделирования [7]. Общая стоимость программного пакета даже в образовательной версии составляет более 550 \$, что предполагает поручение выполнения этой части работ для большинства пользователей профессиональным исполнителям.

Создание базовых ортофотопланов и карт рельефа не требует от пользователя специальной подготовки. После запуска программы необходимо загрузить отснятый с БЛА массив фотографий. Для этого в меню «Обработка» необходимо открыть папку с соответствующим материалом или загрузить папку целиком после чего снимки будут отражены на мониторе (рис.13).

Дальнейшие действия можно осуществлять по порядку выполняя вкладки, активирующиеся в меню «Обработка»: «Выровнять снимки» → «Построить модель», «Облако точек» или «ЦММ» → «Построить ортофотоплан». Если технические характеристики компьютера позволяют, на каждой стадии при выборе параметров необходимо выбирать те, которые позволяют добиться максимального качества. Однако, надо учитывать, что это приведет к резкому увеличению длительности процесса обработки (рис.14).

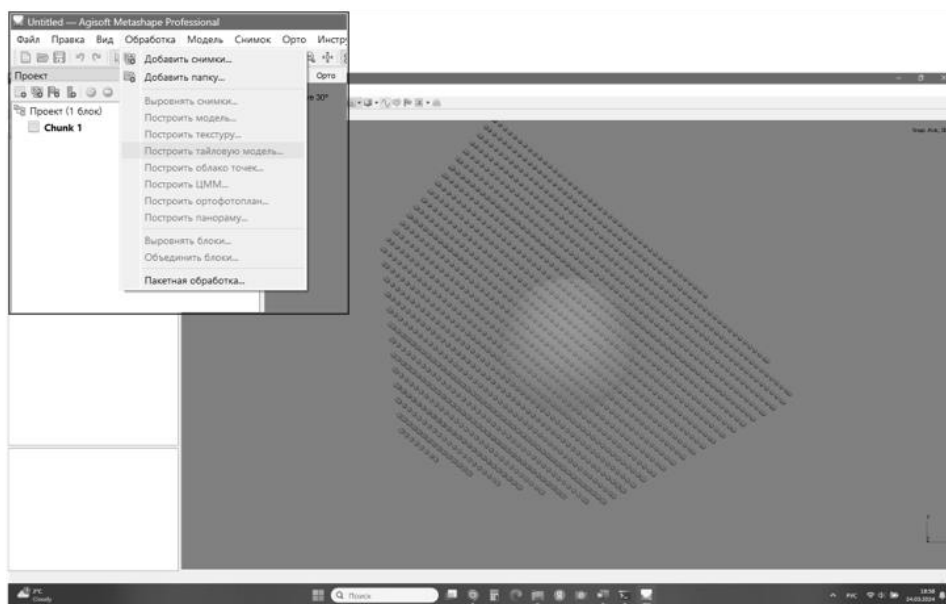


Рисунок 13 – Загрузка исходных снимков в Agisoft Metashape

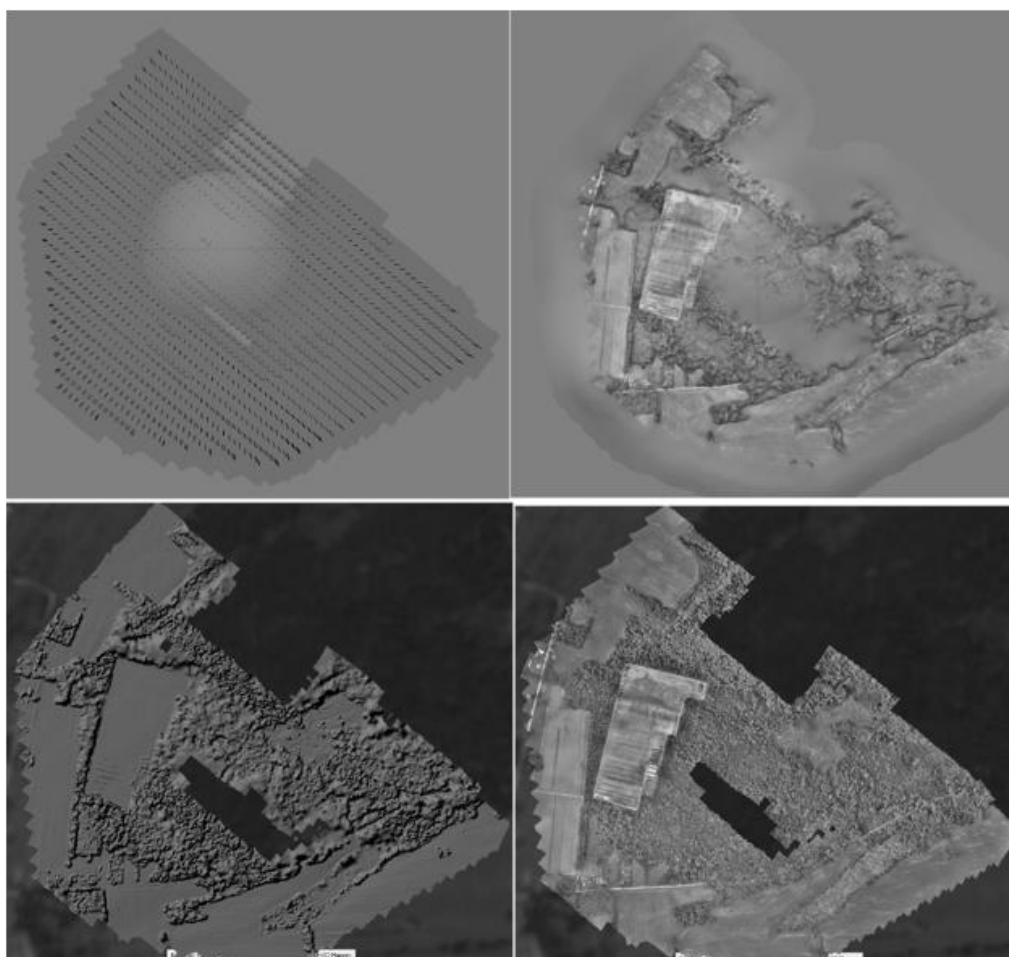


Рисунок 14 – Этапы обработки результатов беспилотной съемки: выравнивание снимков, построение модели, цифровой модели местности и ортофотоплана

В случае мультиспектральной съемки ортофотопланы строятся отдельно для каждого спектра по описанному выше алгоритму.

Этап аналитической обработки данных в полном объеме можно осуществить на базе бесплатной геоинформационной платформы с открытым программным кодом QGIS [8] с подключенным модулем обработки растровых данных SAGA GIS. Платформа позволяет выполнять полный спектр задач по геоинформационному анализу данных, необходимый в рамках осуществления мониторинговых и близких по сути задач в сфере природопользования (оцифровка, построение карт вегетационных индексов, профилирование и т.д.).

Рассмотрим возможности построения карты наиболее распространенного вегетационного индекса NDVI с помощью инструмента калькулятор растров.

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) - нормализованный относительный индекс растительности, показывающий количество фотосинтетически активной биомассы в растительном покрове.

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

где: NIR – отражение в ближнем инфракрасном диапазоне спектра, RED – отражение в красном диапазоне спектра [9].

Согласно этой формуле, густота растительности (NDVI) в определенной точке снимка равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазонах, деленной на сумму этих интенсивностей.

Значения NDVI варьируются от -1.0 до 1.0, где отрицательные значения чаще всего указывают на отсутствие растительности и наличие оголенной почвы, облаков, водной поверхности, снега, построек и пр. Оценка по индексу состояния растительности зависит от сезона. Например, весной в **начале сезона** по индексу NDVI можно понять, как растение перезимовало:

- Если NDVI **ниже 0,15** – вероятно, на участке все растения погибли. Обычно такие показатели соответствуют вспаханной почве без вегетации.

- **0,15–0,2** – тоже низкий показатель. Это может говорить о том, что растения вошли в зимовку на ранней фенологической фазе, до кущения.

- **0,2–0,3** – относительно хороший показатель. Вероятно, растения успели войти в фазу кущения и возобновляют вегетацию.

- **0,3–0,5** – хороший показатель. Учитывайте, что высокие значения NDVI могут говорить о том, что растения ушли на зимовку на поздней стадии развития. Если спутниковый снимок был получен до момента возобновления вегетации, то надо будет ещё раз проанализировать состояние участка после начала периода роста и развития растений.

- **Выше 0,5** – аномальный показатель после зимовки. Этот участок лучше проверить самостоятельно.

Для построения карты NDVI необходимо загрузить из сети, открыть ГИС «QGIS» и создать новый проект. Затем «перетащить» в окно проекта файлы ортофотопланов полученных предварительно по материалам беспилотной съемки в красном и ближнем инфракрасном спектрах в Agisoft Metashape Professional. Далее в меню «Растр» активируем инструмент «Калькулятор растров» и используя значения и операторы открывшегося окна вводим формулу индекса (рис.15, 16).

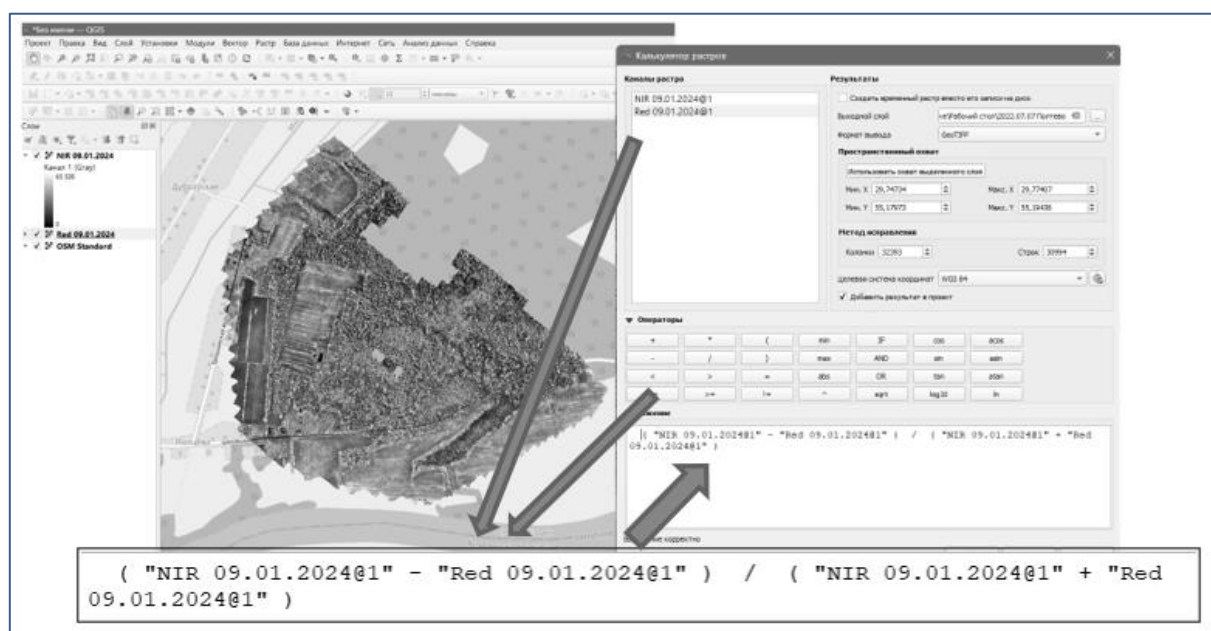


Рисунок 15 – интерфейс QGIS с загруженными ортофотопланами NIR и RED, окно «Калькулятора растров» и введенная формула NDVI.



Рисунок 16 – Карта индекса NDVI. Наиболее темные участки – отсутствие растительности, различные оттенки серого – разные варианты состояния вегетации (чем светлее, тем выше уровень фотосинтеза)

ЛИТЕРАТУРА

1. О государственном учёте и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов: Указ Президента Респ. Беларусь, 25 сент. 2023 г., № 297 // Эталон – Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.
2. О вопросах государственного учета и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов: Постановление Совета министров Республики Беларусь от 28 декабря 2023 г. № 972 // Эталон – Беларусь [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024.
3. P4 Multispectral: user manual V 1.4 // SZ DJI Technology Co., Ltd. [Электронный ресурс]. – 2020. – Режим доступа: https://dl.djicdn.com/downloads/p4-multispectral/20200806/P4_Multispectral_User_Manual_v1.4_EN.pdf. - Дата доступа: 05.03.2023.
4. Медведев Е.М. Лазерная локация земли и леса: учеб. пособие. / Е.М. Медведев, И.М. Данилин, С.Р. Мельников – М.: Геолидар, Геоскосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 230 с.
5. Принцип действия и преимущества электронно-оптических гироскопов / ООО «Лазерные компоненты» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://lasercomponents.ru/catalog/navigatsionnye-sistemy/komplektuyushhienavigatsionnye-sistemy/giroskopy/>. – Дата доступа: 6.03.2024.
6. Современные тенденции развития отрасли беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://съемкасвоздуха.рф/blog/sovremennyye-tendentsii-razvitiyatraslibespilotnykh-letatelnykh-apparatov/?id=123>. – Дата доступа: 20.05.2022.
7. Agisoft Metashape: руководство пользователя / ООО «Геоскан» [Электронный ресурс]. - 2022. - Режим доступа: https://www.agisoft.com/pdf/metashape-pro_1_8_ru.pdf. – Дата доступа: 04.03.2023.
8. Свидзинская, Д.В. Основы QGIS / Д.В. Свидзинская, А.С. Бруй // Дослідницько-освітня лабораторія OSGeo КНУ [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: https://distant.msu.ru/pluginfile.php/268261/mod_resource/content/1/QGIS_intro.pdf. – Дата доступа: 02.02.2022.
9. Дубинин, М. NDVI – теория и практика / М. Дубинин // Сайт GIS-Lab [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html>. – Дата доступа: 11.05.2016.

Учебное издание

**ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ
И БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГИС**

Методические рекомендации

Составители:

ТОРБЕНКО Андрей Борисович
НОВИКОВ Дмитрий Владимирович

Технический редактор

Г.В. Разбоева

Компьютерный дизайн

Л.В. Рудницкая

Подписано в печать 03.06.2024. Формат 60х84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 1,86. Уч.-изд. л. 1,65. Тираж 9 экз. Заказ 77.

Издатель и полиграфическое исполнение – учреждение образования
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

Свидетельство о государственной регистрации в качестве издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий

№ 1/255 от 31.03.2014.

Отпечатано на ризографе учреждения образования
«Витебский государственный университет имени П.М. Машерова».

210038, г. Витебск, Московский проспект, 33.