

Софийски университет “Св. Св. Климент Охридски”

Геолого-географски факултет

Катедра “Картография и ГИС”



Владимир Антонов Филипов

**Използване на Безпилотни Летателни Системи за придобиване,
обработка и анализ на пространствени данни**

АВТОРЕФЕРАТ

на

**Дисертация за присъждане на образователна и научна степен
"Доктор"**

**Научна специалност 4.4 - Науки за Земята (Картография вкл.
Тематично географско картографиране – Дистанционни
изследвания)**

Научен ръководител: Проф. Д-р Антон Попов

Рецензенти:

- 1. Проф. дгн Румяна Вацева**
- 2. Доц. д-р Стелиан Димитров**

София, 2018

А. Обща характеристика на дисертационния труд

1. Въведение и актуалност на тематиката

Дистанционните изследвания (ДИ) са едно от малкото научни направления, които могат да осигурят глобално повторяеми и непрекъснати наблюдения на действията, необходими за разбиране на процесите на Земята, като едно цяло. Разбира се, тълкуването на Земята, като интегрирана система, включва в себе си широк набор от интердисциплинарни научни направления, предполагащи разнообразни изследователски дейности.

През последните години науката за ДИ се утвърди като предпочитан способ за набиране на разнообразна информация за пространствено-обособени обекти на- и над земната повърхност. Тази тенденция се отнася вече не само за информацията с оперативно значение, но и за регулярно използваната такава. Това обстоятелство се обуславя и от безспорните качества на информацията, получавана по дистанционен път, а именно: обективност, широк обхват и достъпност на средствата за нейната обработка. Независимо от това състояние обаче, усилията за разширяване на технологичната основа на сателитните дистанционни изследвания започнаха да изостават, като в същото време очаквания на обществото към възможностите на ДИ при осигуряване на пространствена информация за разрешаването на широк набор от задачи продължават да се увеличават. Вероятно това натерд с появата на пазара на необходимите компоненти е в основата на бързо разрастващото се значение на Безпилотната летателна система като нов технологичен сегмент на дистанционните изследвания.

Безпилотните летателни апарати (БЛА) следва да се разглеждат като необитаеми и за многократно употреба летателни апарати. Те са дистанционно контролирани, автоматични, полу-автоматични или комбинация от тези две възможности. Сравнявайки БЛА с пилотируемите летателни апарати (ПЛА) е очевидно, че основната разлика между двете системи се състои в това, че в БЛА пилота не присъства физически в летателния апарат. Това не означава непременно, че БЛА летят самостоятелно. В много случаи екипажът (пилот, втори пилот и т.н.), отговорен за управлението на БЛА, като численост надвишава този, отговорен за управлението на пилотируемите летателни апарати.

С оглед развитието на характеристиките (пространствена, времева, спектрална и радиометрична разделителни способности) за получаване на пространствените данни от дистанционните изследвания, в последните години все повече се утвърждава използването на термина Безпилотни летателни системи (БЛС).

Използването на БЛС във фотограметрията и получаването на пространствени данни се свързва с използването на фотограметрична платформа за измерване, която работи с дистанционно управление, полу-автоматично или автоматично без физическото присъствие на пилот в летателния апарат.

Едно от основните ограничения при използването на БЛС за придобиване на пространствени данни е свързано с ограничения товар, който може да бъде пренасян при ниско-бюджетните летателни апарати.

Актуалността на тематиката

Анализирайки появата на значителен брой научни публикации, касаещи използването на безпилотни летателни системи (БЛС) за граждански цели, както и появата на гражданския пазар на необходимите компоненти (летателни апарати, авионика, телекомуникационни средства и сензори), подсказват, че вероятно е настъпил поредния технологичен скок в информационните технологии, а именно: масовизиране на използването на безпилотните летателни апарати, снабдени с необходимата сканираща или измерваща апаратура за набиране на разнообразна информация за пространствено обособени обекти и явления.

2. Предмет, обект, цел и задачи на изследването

Предмет на настоящото изследване е специфичния технологичен подход по прилагане на Дистанционните изследвания и в частност БЛС, като средство за придобиване обработка и анализ на пространствени данни в различни научни направления. Това следва да се разбира като съвкупност от хардуер, софтуер и специфични процедури на обработка на информация за пространствено обособени явления и обекти.

Обект на изследване в разработката са различни по своята същност пространствени размери и положение на територията на държавата райони с археологическа, топографска, земеделска, геоложка и природна същност.

Основната цел на изследването е насочена към разкриване на възможностите за придобиване, обработка и анализ на пространствени данни в различни научни и обществени сфери, чрез използването на Безпилотни летателни системи и последваща обработка в среда на Географските информационни системи.

За успешното постигане на поставената цел в дисертационния труд е необходимо да се решат следните **задачи**, обобщени в две основни категории:

(1) Теоретико-методологични задачи:

- Да се направи преглед на изследванията по конкретната тематика;
- Да се изясни терминологичния апарат, използван в това направление;
- Да се изясни теоретико-методологичната основа на избраната тематика;
- Да се осъществи подбор на оборудване на хардуер и софтуер, за получаването на необходимата за целите на дисертацията пространствена информация.

(2) Практико-приложни задачи:

- Да се извършат теренни изследвания, необходими за получаване на пространствената информация, за нуждите на разработката;
- Да се направи пространствен анализ, обработка и интерпретация на получените данни;
- Да се обобщят предимствата и ограниченията на предложения подход по прилагане на дистанционни изследвания за придобиване, обработка и анализ на пространствени данни, получени от безпилотни летателни системи, за посочените обекти на изследване от конкретните научни и обществени сфери.

3. Методи на изследване

За постигане на целите в разработката са използвани редица общи и частни географски методи като: (1) метод на Дистанционни изследвания, свързан с придобиването на геопространствени данни и използването на подходи и алгоритми за цифрова обработка на същите; (2) ГИС-метод, свързан със съхраняване, анализиране и визуализиране на

пространствена информация; (3) картографски метод за рефериране и представяне на пространствената информация; (4) метод на теренните изследвания, свързан с апробирането на Беспилтната летателна система като индивидуален инструмент за набиране на пространствена информация; (5) метод „Computer vision“ за обработка на изображения, получени чрез заснемане с безпилотна летателна система.

4. Структура на дисертационния труд

Дисертационния труд е в обем от 147 стандартни страници и съдържа 5 глави, списък на използваната литература от 68 заглавия, от които 11 на български език и 57 на латиница, 6 таблици, 56 фигури и 3 приложения.

Б. Обща характеристика на дисертационния труд

ГЛАВА 1: Въведение и актуалност на тематиката

В тази въстъпителна част са изложени аргументи свързани със същността на разглеждания проблем и актуалността на разработката, определена е предметната област и обекта на изследването и са поставени целите и задачите.

ГЛАВА 2: Теоретико-методологична основа на изследването

В глава 2 е разгледана и изяснена теоретико-методологичната основа на въпросите, свързани с използването на БЛС за придобиване, обработка и анализ на пространствени данни. Представени са предимствата при използване на ДИ и частност на БЛС за получаване на пространствени данни. Системите за дистанционни изследвания се основават на използването на сензори и датчици, разположени на въздухоплавателни или спътникови носители в околоземна орбита и регистриращи отразената или собствено излъчена от земната повърхност електромагнитна радиация в различни диапазони на електромагнитния спектър, за да обслужват описването, картирането, следенето и поведението на обекти на- и над земната повърхност. Тези сензори получават данни, въз основа на начина, по който характеристиките на постолащата повърхност излъчват или отразяват електромагнитната

радиация в различни спектрални диапазони, след което тези данни се анализират, за да се осигури информацията относно изследваните обекти.

В отделна подточка е представена структурата на БЛС за извършване на мисии с цел придобиване на пространствена информация. Основните компоненти, от които е съставена системата са Летателния състав, Полезния товар, Наземната контролна станция (НКТ) и екипа за експлоатация на БЛС.

Направен е задълбочен преглед на научната литература по тематиката, както в международен, така и в национален аспект. Представени са различните държавни научни звена, в които се извършва научна дейност по темата на дисертационния труд. **В международен план** развитието на БЛС за придобиване и анализ на данни за пространствено-ориентирани обекти съпътства развитието на самолетостроителната индустрия от годините по времето и непосредствено след Първата световна война, като основна роля имат т.нар. „летящи торпеда“ (известни по-късно като „крилати ракети“). Първите опити обаче са по време на Гражданската война в САЩ, когато балони с привързани взривни материали са пренасяни от въздушните течения към позициите на противниковата армия (този опит е повторен от японската армия през Втората световна война). По-късно съоръжаването на летателните апарати с радиоуправление води до появата на термина „радиоуправляем самолет“, а от края на Втората световна война и „Безпилотен летателен апарат“. За разлика от бурното развитие в международен план на Дистанционните изследвания и Безпилотните летателни системи в края на ХХ и началото на ХХІ век, **в национален аспект** все още не може да се твърди, че гореспомнатите научни направления биват достатъчно и правилно използвани за придобиване, обработка и анализ на пространствени данни. Този бавен преход към широкото използване на конкретните иновативни методи за получаване на пространствени данни е породен от редица фактори като:

- Не-добра запознатост и заинтересованост на научните и частните среди в България;
- Ограничената информация за получаване и използване на данни за пространствени обекти от БЛС, от гледна точка на социално-икономическите фактори;

➤ Нежеланието и закостенялата политика в частния и държавния сектор за използване и интензивно развитие в сфери като: Земеделие, Промисленост, Военно дело и др., чрез използване на БЛС.

В отделна подточка „Методологична основа на изследването“ е направен преглед на главните методи, използвани за постигане на целите в разработката. Основния способ, който е застъпен в разработката е **методът на ДИ**. Ясно и точно, с подкрепата на различни литературни източници, е изложена идеята че БЛС са способ от метода на ДИ, за получаване и обработка на пространствена информация. Направена е ясна и точна класификация на метода на ДИ за получаване на пространствени данни включваща:

- Класификация на ДИ според ПРС на получаваните данни;
- Ниска ПРС;
- Средно-висока ПРС;
- Висока и свръх-висока ПРС.
- Класификация на ДИ според височината на полета на БЛА;
- Базирани на земната повърхност;
- Базирани във въздушното пространство;
- Базирани в космическото пространство.
- Класификация на ДИ според предназначението на използването на информацията;
- Класификация на ДИ според типа на използваните сензори.
- Активни сензори;
- Пасивни сензори.

ГИС методът по своята същност представлява съвкупност от софтуер, хардуер, данни, процедури и обучени кадри за създаване, манипулиране, съхраняване, анализ и визуализация на пространствено определени данни. Географските информационни системи се използват в различни области, като например картографията за създаване на карти и най-вече за подпомагане вземането на информирани решения, посредством пространствено моделиране. ГИС технологията може да се използва за специфични изследвания, управление на ресурси, регионално и териториално планиране, в картография и във все повече области на човешкия живот. Един от основоположниците на ГИС, Jack Dangermond

казва, че "Приложението на ГИС се ограничава единствено от фантазията на тези, които използват този подход". За нуждите на дисертационния труд, конкретния метод е много силно застъпен, поради използването на пространствени бази от данни, обединяващи в себе си събраната пространствена информация. Без него няма как да се извърши практическата част от изследването, което поражда идеята, че това е един от най-важните компоненти при избора на методология. Чрез използването на различни специализирани софтуерни програми от конкретната методология, можем ясно и точно да разграничим конкретния обект на изследването.

Картографски метод

Съвременните ГИС програми предоставят подходящи средства за визуализация, представяне и оформяне на крайните резултати от проведените анализи под формата на статистическа информация, картодиаграми и схеми, доклади и картографски продукти. ГИС програмите съдържат богат асортимент от менюта и под-менюта, които позволяват включването на всички необходими картографски елементи при крайното оформяне на картите. За нуждите на дисертационното изследване, конкретния метод се представя чрез визуализация на различни топографски карти и картографски способности за изчертаване на различни обекти.

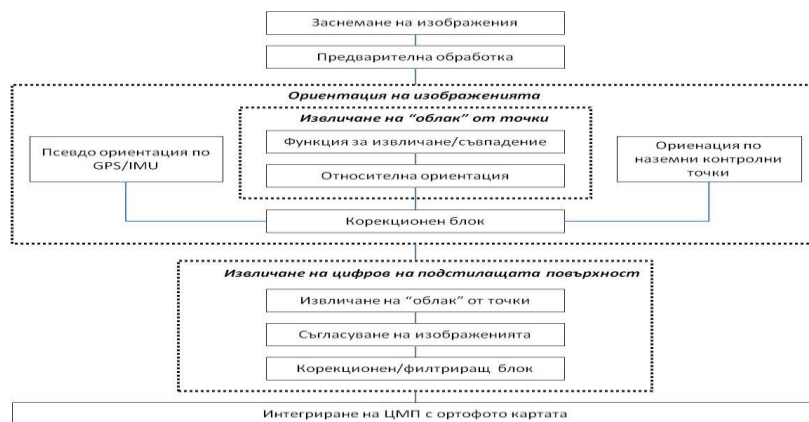
Методът на теренните изследвания е типичен за географските изследвания. Той е широкообхватен и често бива използван в научни изследвания, насочени към анализ на пространствено обособени обекти, които са в основата на текущата разработка. Получаването на необходимата пространствена информация е пряко свързано с физическото заснемане на обекта на изследване. Чрез имплементирането на този метод са придобити голямата част от използваните/придобитите в дисертацията пространствени данни. Трябва да се отбележат и ограниченията при използването на конкретния метод. Те са свързани с възможна трудната достъпност до конкретните обекти на изследване, най-вече поради неблагоприятни климатични условия, като силни ветрове, обилни валежи и др. Тетеният метод е приложен в настоящото изследване както за осъществяване на теренни експеримент, така и при верифицирането на съставените бази от пространствени данни.

NDVI индекс

Техниките за дистанционно наблюдение предоставят платформа, чрез която може да се оцени „стреса“ в растенията и техния растеж. Разработени са сензори, способни да измерват степента на отражателна способност от растенията за специфични участъци от електромагнитния спектър, където настъпва рязка промяна в отражателната способност (600 – 900 nm). NDVI е безразмерен показател и може да заема стойности от -1 до +1. При свежата растителна покривка стойностите са значително по-високи от 0, т.е. отражението в инфрачервения диапазон е значително по-високо от отражението в червения диапазон. С намаляване на съдържанието на хлорофил, стойностите на NDVI намаляват, а при напълно изсъхнала растителност могат да заемат и отрицателни стойности т.е. отражението в инфрачервения диапазон е по-ниско от отражението в червения диапазон. Метода на нормализиран разликов вегетационен индекс е използван при анализа на получената пространствена информация в археологичните изследвания и земеделската практика. Чрез неговото имплементиране бе генериран индекс на растителната покривка за конкретни територии на изследване.

Метод на компютърното зрение (Computer vision)

В основата на функционирането на използвания в настоящото изследване специализиран софтуер е метода “Computer vision”. Методът се базира на алгоритъм, разработен от изследователска група на Политехническият университет в Торино и включва фотограметричен процес, който може да бъде разделен на няколко стъпки (фиг.1):



Фиг. 1 Схема на процеса на извличане на цифров модел на подстилащата повърхност от припокриващи се ортофото изображения от малка височина

- Заснемане на частично припокриващи се изображения;
- Предварителна обработка на изображенията;
- Ориентация на изображението;
- Генериране на цифров модел на подстилящата повърхност.

Гео-статистически метод

Статистическият метод представлява съвкупност от способности и похвати за събиране, обработване и изследване на статистическите данни. Статистически данни са използвани за създаването на кръгови и бар диаграми, като и изготвяне на бар диаграми за разкриване на пространствените особености между получената пространствена информация от БЛА. За нуждите на конкретното изследване се използват определени статистически данни. След тяхното обработване с необходимия за тази цел софтуер, се генерират геостатистически данни, които чрез атрибутивни таблици се привързват за определени обекти. Също се използват и статистически данни за визуализация на конкретни характеристики, чрез диаграми и таблици.

В подточка **„Информационна основа на изследването“** са представени всички използвани типове информация. За осъществяване на поставените цели и задачи в настоящото дисертационно изследване беше необходимо набавянето на пространствени географски данни и тяхното интегриране в единна ГИС база от данни. Правилното описване на тези данни изисква те да бъдат разделени на две основни категории: растерни данни и векторни данни.

- Растерни данни;
 - Сателитни изображения;
 - Аерофото изображения;
 - Данни от теренни измервания;
 - Допълнителни растерни данни
- Векторни данни.
 - ЛСА проект;
 - Векторни данни, получени при извършване на теренни измервания.

В същата глава са представени и използваните хардуер и софтуер за получаване и обработка на получената информация. Хардуерът е предоставен с любезното съдействие на Университетския център за въздушно наблюдение („УЦВН“). Софтуерът, използван за обработка на данните е разделен на:

- ГИС софтуер;
- Софтуер за подготовка на полетен план и контрол на полета;
- Софтуер за обработка на резултатите от заснемането с БЛС.

ГЛАВА 3: Резултати

В тази глава са обобщени резултатите от проведените изследвания, свързани с използването на БЛС за придобиване, обработка и анализ на пространствени данни. Също така в хода на теренната работа и с оглед на натрупаната методическа информация бяха ясно идентифицирани различните етапи при получаване на пространствена информация от БЛС. Те започват от окомплектоването на Безпилотната летателна система и завършват с валидиране на получената пространствена информация. Успешното прилагане на БЛС за придобиване на пространствена информация зависи както бе представено по-горе от наличието на специализирана техника и подготвен екип за нейната експлоатация, но и от познаване на специфичните особености на осъществяване на различни по тематика, обем и дислокация мисии. Най-общо, мисиите по използване на БЛС за получаване на пространствена информация следва да преминават през следните етапи:

➤ **Подготовка на мисията:** Този етап е камерален и има за цел да определи основните задачи, обхвата на територията за обследване, летателните средства с които ще се осъществява мисията, възможните площадки за излитане и кацане на летателния апарат, възможните препятствия (далекопроводи, сгради, дървета, индустриални комини, кули на ветрогенератори, антенни полета и др.), времето на деня за изпълнение на летателния план, височина на полета, очаквани резултати. В хода на този етап се коментира метеорологичната обстановка (особено в случай на необходимост от неотложно изпълнение на мисията, например в случай на природна или антропогенна кризисна ситуация). Често в рамките на този етап се разработват примерни летателни планове и се генерират симулативни

изпълнения на мисията за осмисляне на поведението на летателния апарат и възможността за поява на непредвидени препятствия. Подготвителният етап завършва с подготовка и депозирана на искане на разрешение за мисия с БЛС от Гражданската въздухоплавателна агенция. Ако се предвиждат полети в контролираното въздушно пространство т.е. полети на височина над 150 м. над земната повърхност и зад линията на пряка видимост (около 1 км.) следва да се получи разрешение за използване на въздушното пространство чрез отреждане на зона за полети. В случай, че се предвиждат полети на височина под 150 м. и в рамките на пряката видимост, се получава разрешение за използване на БЛС без отреждане на зона за полети във въздушното пространство.

➤ **Полеви етап на мисията:** След дислоциране на екипа на предвидената позиция за излитане/кацане се пристъпва към установяване на мрежа от наземни контролни точки (НКТ). Тази дейност се изисква при мисии по ортофото-заснемане с висока точност на привързване към опорната геодезична мрежа. Броя и разположението на наземните контролни точки зависи от големината, формата на предвидената за заснемане територия, както и от степента на вертикална разчлененост на релефа. Минималният брой НКТ за осъществяване на геопривързване е 3, но при по-голяма територия и по-пресечен релеф е необходимо установяването на по-голям брой НКТ.

➤ **Разработване на летателен план:** Разработването на летателен план е свързано с изясняване на основните му параметри: височина на полет (зависи от изискуемата в конкретния проект ПРС), % на презастъпване на изображенията (съобразно геометрията на заснемане от използвания сензор, както и предвидените задачи при обработка на информация), посока на прелитане над територията (препоръчително е прелитането по дължина, ако формата на територията не е квадрат), скорост на летене (зависи от летателните качества на използвания летателен апарат, типа на използваната техника като полезен товар, както и скоростта на вятъра в момента на полет). Независимо, че летателният план може да бъде разработен в етапа на подготовка на мисията, необходимо е неговото валидиране на терена, непосредствено преди изпълнение на мисията.

➤ **Пред-полетна проверка:** Този етап при изпълнението на мисии с БЛС често се пренебрегва което нерядко води до възникване на проблеми по време на полет или дори до тотални щети по летателния състав. Пред-полетната проверка следва да се проведе по три аспекта:

- Механична проверка;
- Електрическа проверка;
- Функционална проверка.

➤ **Осъществяване на летателен план:** Осъществяването на летателния план и придобиването на предвидения брой изображения, видео-заснемане или друга информация става чрез: стартиране на полета, контрол на изпълнение на летателния план и заснемането, завръщане над точката на излитане и приземяване на летателния апарат. В редки случаи е възможно осъществяване на специфичен летателен план с различни точки на излитане и приземяване.

➤ **Количествена и качествена проверка на получените данни:** Качествената и количествена проверка на получените данни в реално време е важна задача, тъй като придобиването на данни често е ограничено във времето и повторното изпълнение на цялата мисията може да не е възможно.

➤ **Обработка на заснетия материал и извличане на необходимата информация:** Същинската обработка на резултатите от мисия по заснемане с БЛС обикновено се изпълнява в камерални условия защото изисква значително компютърно време за обработка и прецизно разпознаване и включване в обработката на наземните контролни точки. При малки по продължителност полети и придобиване на ограничен брой изображения обаче, е възможно първоначалните стъпки от обработката да се извършат на терен. Това ще гарантира положителния резултат от същинската обработка, а при необходимост полета може да се повтори за акумулиране на допълнителен брой изображения.

➤ **Верифициране на получените резултати:** Верифицирането на получените резултатите е важен процес при мисии с научен или практико-приложен характер. След генерирането на предвидените в задачата продукти (ортофото-карти, тематични карти на растителен индекс, модели на повърхността, модели на релефа и др.), обработката приключва с верификация на получените резултати чрез съпоставяне на резултатите с топографски карти и актуални сателитни изображения. В случаите на произвеждане на цифров модел на повърхността/релефа, е препоръчително теренна верификация с прецизно GPS замерване, независимо, че софтуерните пакети за обработка предвиждат генерирането на статистически отчет.

В дисертацията са дадени примери за използването на БЛС за получаване на пространствени данни в научни и граждански направления, които са били достъпни за изследване. Тези направления по никакъв начин не изчерпват възможните случаи които могат да бъдат използвани конкретните методи за получаване, обработка и имплементиране на пространствена информация. Областите, в които бяха апробирани възможностите за използване на Безпилотна летателна система по получаване на пространствена информация са следните:

Археология

➤ **Територия на изследване при теренен експеримент 1:** Приложението на безпилотна летателна система за получаване на пространствена информация в областта на археологическите проучвания се представя, чрез заснемане на Национален археологичен резерват „Деултум“. Заснемането е осъществено през м. септември 2014 г. като част от оперативните и тестови заснемания по настоящото изследване от екип на Университетския център за въздушно наблюдение при СУ „Св. Климент Охридски“.

➤ **Цел на изследване при теренен експеримент 1:** Основната цел при тестовото заснемане на археологически обект НАР „Деултум“ бе получаване на 3 продукта:

➤ RGB ортофото-карта с пространствена разделителна способност, не по-ниска от 0.1 м.;

➤ Цифров модел на подстилащата повърхност с пространствена разделителна способност, не по-ниска от 1,0 м.;

➤ Тематична карта като индекс на растителната покривка (NDVI) с пространствена разделителна способност, не по-ниска от 0,2 м.

Избор на БЛС за осъществяване на мисията при теренен експеримент 1: Изборът на **основен тип летателен състав** в този случай на тестово заснемане се определи от няколко фактора: размери на предвидената за заснемане територия, очакваната пространствена разделителна способност на заснемане, както и наличната летателна техника и полезен товар в УЦВН, а именно: летателен апарат тип фиксирано крило „Skywalker-X8“ (Фиг. 2). За предварителна визуална представа от района са извършени няколко полета с мнороторна летателна система.



Фиг. 2 Летателният състав („Skywalker-X8“) на БЛС в подготовка за полет над НАР „Деултум“

➤ **Подготовка и извършване на мисията при теренен експеримент 1:**

Полевият етап от тестовото заснемане започва с изграждането на мрежата от наземни контролни точки за района на НАР „Деултум“. Разработеният летателен план за заснемане на територията предвиждаше 6 прелитания на височина 200 м. над точката на стартиране на полета със скорост 12 м/сек (Фиг. 3). Този летателен план се изпълнява с избрания летателен модел за около 10 мин. включително времето за набор на височина, полет по маршрута и приземяване. Осъществяването на основната цел на заснемането и наличната на определен тип заснемаща апаратура наложи извършването на няколко полета по разработения маршрут. В случай, че се налага неколккратно повтаряне на полета, се препоръчва полетите да са с ограничена продължителност и да се осъществяват непосредствено един след друг за да се избегне значително изменение на посоката и ъгъла на слънчевите лъчи към земната повърхност.



Фиг. 3 Летателен план, използван за заснемане на НАР „Деултум“

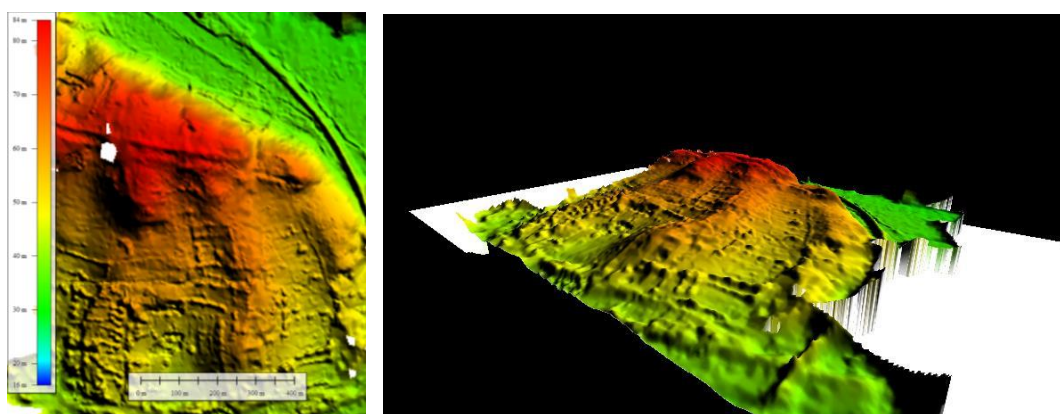
➤ **Обработка, анализ и верификация на получените данни при теренен експеримент 1:**

1. **Генериране на цифрова ортофото-карта:** При обработката в три последователни стъпки е осъществен алгоритъм за подравняване, съединяване и геопривързване на заснетите изображения. При всяка стъпка се въвеждат съответни корекции, съобразно предварителното задание. Важен етап в обработката е разпознаване на маркерите на наземните контролни точки в отделните изображения. RGB-ортофокартата на НАР „Деултум“ е предназначена основно за документиране на актуалните площадки на археологически разкопки, както и на други обекти от територията на резервата в единна база от данни, но дава възможност и за различни геометрични анализи. Препоръчително е заснемането на територията на археологическите площадки и генериране на RGB-ортофокартата в кара на всеки сезон което ще представи динамиката и посоката на полевите проучвания.



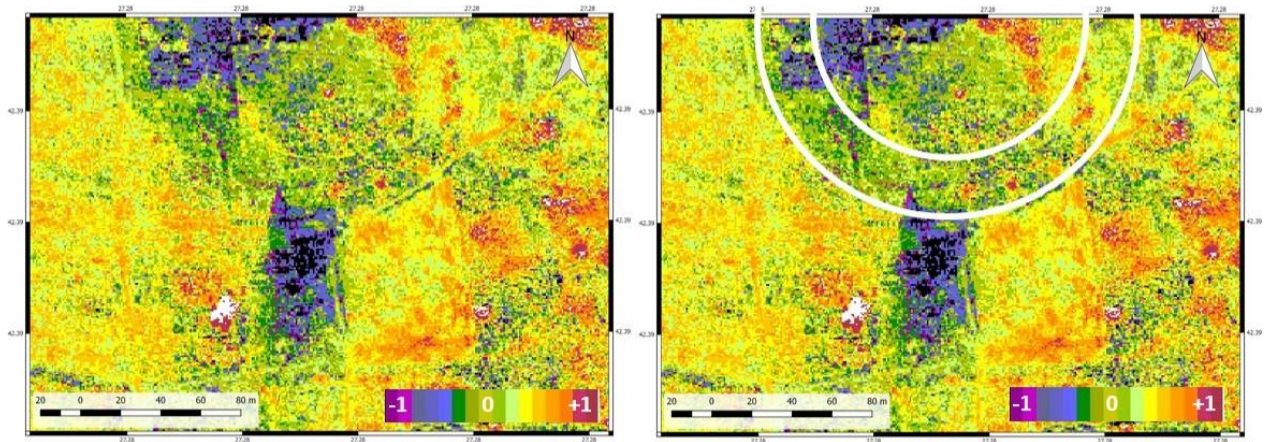
Фиг. 4 RGB-ортофото-карта на НАР „Деултум“ (ляво) и фрагмент в оригинална ПРС (0.069 м.)

2. Генериране на цифров модел на повърхността: Генерирането на цифров модел на повърхността от 2-мерни изображения по метода „Computer Vision“ дава възможност за получаване на 3-измерна представа за формите на релефа и отделните обекти в единното географско пространство.



Фиг. 5 Цифров модел на повърхността на НАР „Деултум“ (ляво) и 3Д-изглед от югоизток (дясно)

3. Генериране на индекс на растителната покривка (NDVI): След обработка на получените изображения от 2-каналната електрооптична система е генерирана тематична карта от тип NDVI. Във връзка с по-трудното откриване на маркерите на наземните контролни точки, геореферирането на IR-изображения се осъществи по метода „image to image“ чрез вече генерираната ортофото-карта на НАР.



Фиг. 6 Открити пространствени нееднородности на тематичната карта като NDVI за територията на НАР „Деултум“

➤ **Изводи, предимства и ограничения при използване на БЛС в областта на археологичните изследвания:** От осъществения теренен експеримент, проведен през Септември, 2014 г., могат ясно да бъдат очертани следните предимства и ограничения при използване на БЛС за получаване на пространствени данни в археологията:

➤ **Предимства:**

➤ Едно от основните предимства, поради които изследователите в областта на археологията биха използвали БЛС при свои изследвания е гъвкавостта и липсата на типичните за сателитните програми ограничения за получаване на пространствени данни;

➤ Типичните БЛС, използвани в набирането на научна пространствена информация са преносими и могат да се използват, когато и където пожелае потребителя;

➤ За разлика от сателитните изображения, чието получаване зависи от орбитата на прелитане, при което е невъзможно съобразяването с метеорологичните условия (най-вече облачна покривка), използваето на БЛС с височина на полет от няколко стотин метра може да се осъществява под облаците.

➤ **Ограничения:**

➤ Използваните БЛС за получаване на аерофото изображения от археологията са с ниско собствено тегло и летящи на малка височина, което често води до невъзможност за използване при наличие на ветрове с поривист характер;

➤ Хардуерните устройства на БЛС също така са податливи на атмосферни условия, тъй като ниските температури мога да понижат функционалността на БЛС;

➤ При получаване на NDVI данни е необходимо да се спазват условията за еднотипна растителна покривка, както и за определени фенологични фази в които да бъдат получавани пространствените данни.

Земеделие

➤ **Територия на изследване при теренен експеримент 2:** Територията, която бе избрана като тестова площадка за реализиране на теренен експеримент 2 попада в землището на с. Песнопой, община Калояново, Пловдивска област. Районът на заснемане е с приблизителна големина от 55 дка и следните координати: 42.474410°N, 42.472714°S, 24.832003°W, 24.838143°E. В този район е разположен частен имот на една от винопроизводителните компании, включващ няколко лозови масива от различен сорт грозде, както и инсталация за винопроизводство (Фиг. 37). Изпълнението на теренният експеримент бе съгласувано със собственика на имота, а самото заснемане бе осъществено в присъствието и съдействието му.

➤ **Цел на изследване при теренен експеримент 2:** Основната цел на теренният експеримент бе да се провери/демонстрира практическа готовност за осъществяване на незабавно дистанционно изследване чрез заснемане с БЛС на земеделска площ и установяване на отклонения от нормалния растеж на растенията в случай, че настъпи безотлагателна причина. За постигане на тази цел се набелязаха основните задачи:

➤ Анализ на условията за извършване на мисия по заснемане на определената територия и избор на БЛС;

➤ Разработване на летателен план и осъществяване на мисия по заснемане на определената територия в 2 спектрални участъка;

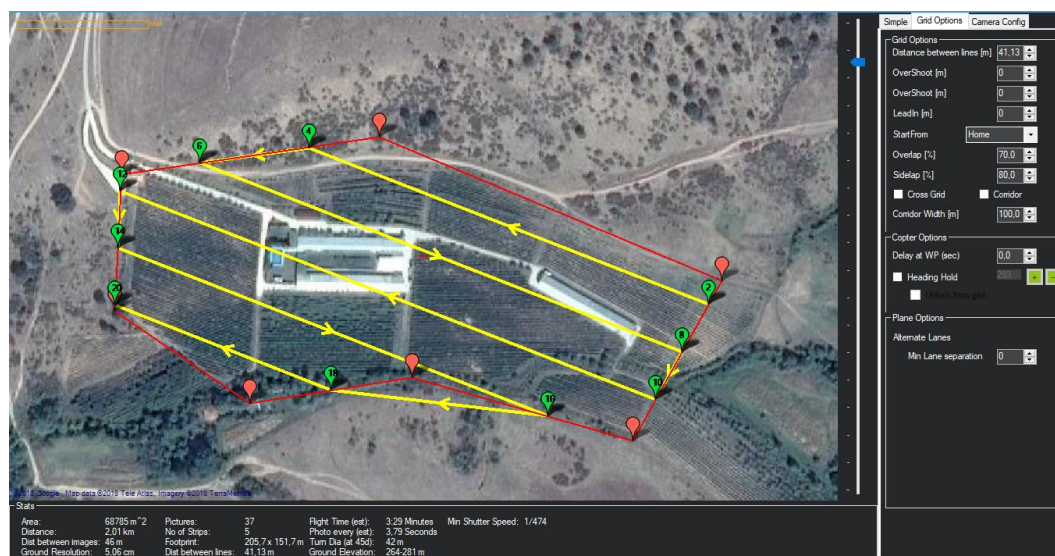
➤ Обработка на заснетия материал и генериране на 2 продукта: ортофотомозайка за всеки от спектралните участъци и извличане на индекс на растителната покривка (NDVI);

➤ Съставяне на база от пространствени данни, включваща участъците (във вид на полигони) с отклонение от типичните стойности на NDVI за земеделската културата и момента на заснемане.

➤ **Избор на БЛС за осъществяване на мисията при теренен експеримент 2:** Осъществяването на успешна мисия с БЛС и решаване на поставените задачи изисква

предварително обсъждане и избор на най-подходящата безпилотна летателна система. Този избор се базира на анализ на големината на предвидената за заснемане територия, пресеченост на терен, наличие на височинни препятствия и др. В конкретния случай бе решено като летателна платформа за се използва летателен модел Skywalker X8, който може да остане в полет над 1 час, както и да носи необходимия полезен товар. За осъществяване на заснемане в два спектрални участъка е използвана разработената в УЦВН система за 2-канално заснемане (описание при теренен експеримент 1). Планирането на мисия с БЛС се съгласува с анализ на метеорологичната обстановка, основно по отношение на възможната поява на вятър със скорост над 10м/сек. в приземния слой.

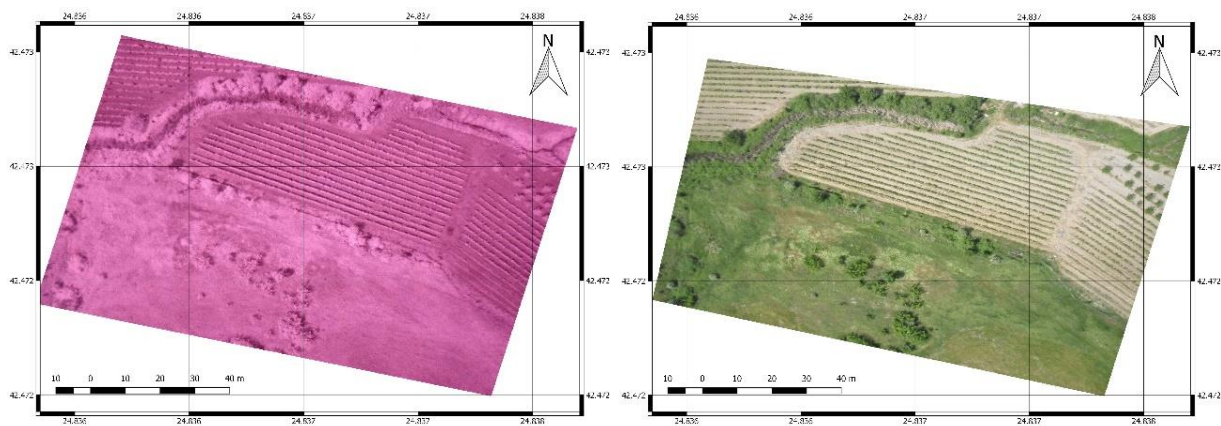
➤ **Подготовка и извършване на мисията при теренен експеримент 2:** След дислоцирането в района и оглед на терена се избира място за организиране на точка на излитане и приземяване на летателния състав. Позицията на тази точка е в южната част на района в рамките на участък с лек наклон на изток, без дървесна растителност или др. височинни препятствия. С оглед на установената посока на вятъра бе разработен полетен план, включващ 5 надлъжни прелитания по курс 293° на височина 150 м. с отстояние между съседните трасета от 42 м (Фиг. 7).



Фиг. 7 Полетен план за заснемане по теренен експеримент 2

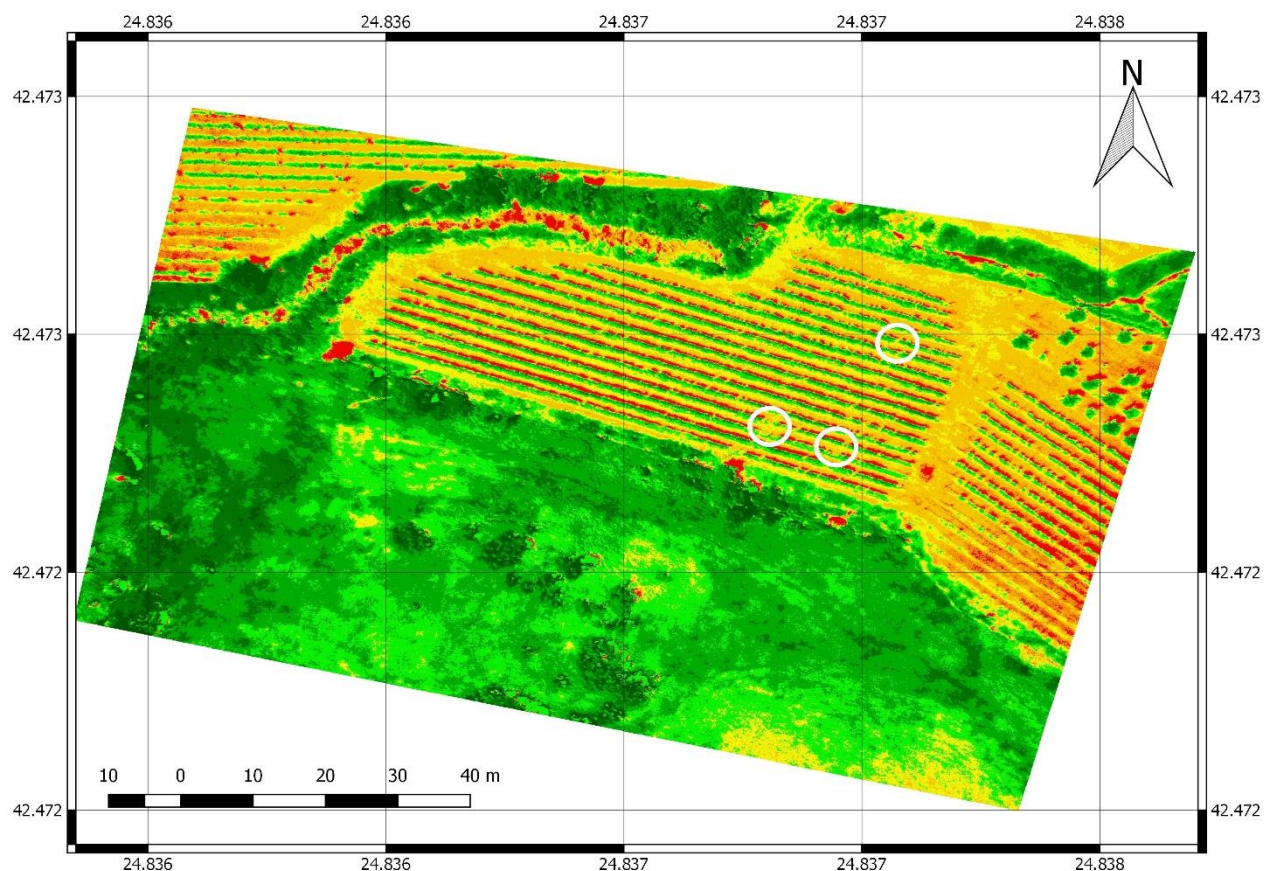
➤ **Обработка, анализ и верификация на получените данни при теренен**

експеримент 2: При извършването на теренния експеримент не бе възможно изграждането на мрежа от наземни контролни точки поради труднопроходимия релеф на изследваната територия. Поради тази причина, получената информация бе пространствено реферирана с помощта на геореферирано ортофото изображение, предоставено от Министерството на земеделието и приблизителна ПРС от 0.4 м. Такъв подход за георефериране е допустим в случаите, когато не е необходима особено висока пространствена точност на генерираната ортофото-мозайка. В такъв случай, данните за географска ширина и географска дължина се извличат от геореферираното ортофото изображение, а данните за надморската височина се извличат от топографска карта в мащаб 1:5000. От това изображение бяха локализирани необходимия брой ясно-различими обекти като наземни контролни точки и извлечена информация за тяхната пространствена позиция. Тази информация по-късно бе използвана за георефериране на заснетите изображения. За генериране на продукта „ортофотомозайка“ е използван специализирания софтуер за прилагане на метода „Computer vision“ в последователността от стъпки, представена в методическата част на тази разработка.



Фиг. 8 Сегменти от ортофото-мозайките в инфрачервения (ляво) и видимия (дясно) участъци от електромагнитния спектър.

Анализирайки генерираното изображение като индекс на растителната покривка се определят отделни участъци с отклонение в състоянието на земеделската култура (Фиг. 9). С белите окръжности са очертани се три района с нееднородности в състоянието на растителната покривка.



Фиг. 9 Изображение като индекс на растителната покривка за тестовия район с посочени местата с пространствени нееднородности

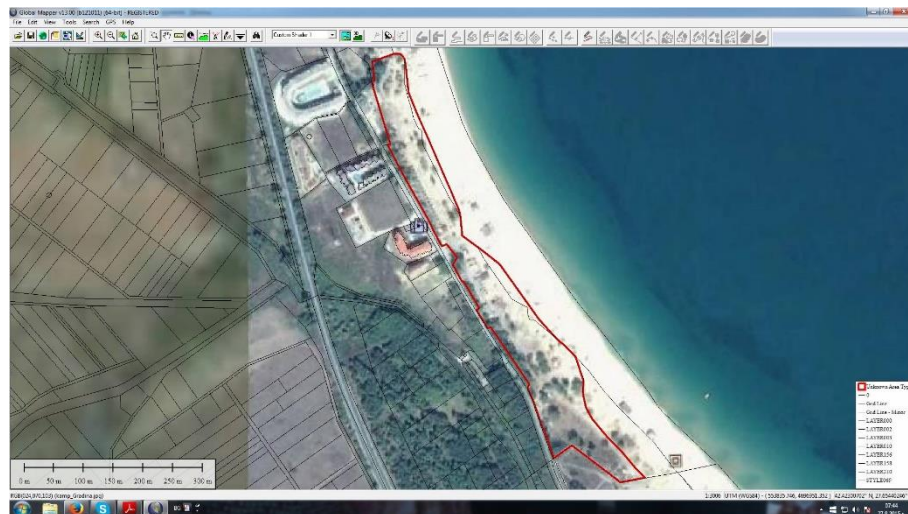
➤ **Изводи, предимства и ограничения при използването на БЛС в сферата на земеделието:** Осъщественият в рамките на тази разработка теренен експеримент 2 потвърди приложимостта на подхода за използване на БЛС като инструмент за получаване на пространствени данни за подпомагане на земеделската практика. Без да се конкурира с утвърдената практика за използване на сателитните дистанционни изследвания, особено в мониторингов аспект, БЛС показва следните предимства:

- Възможност за получаване на информация за пространствени нееднородности в развитието на земеделските култури в избран момент – средата на определена фено-фаза от развитието или непосредствено след въздействие на неблагоприятни фактори;
- Възможност за получаване на информация с непостижима за сателитните дистанционни изследвания пространствена разделителна способност.

Основно ограничение на подхода за използване на БЛС като инструмент за получаване на пространствени данни за подпомагане на земеделската практика остава съоръжаването на БЛС с професионални калибрирани сензори и съгласуване на резултатите от заснеманията с калибрираните сателитни изображения.

Управление на защитените територии

➤ **Територия на изследване при теренен експеримент 3:** Територията за изследване обхваща издължена площ от 63 декара от крайбрежната пясъчната ивица с крайни координати 42,4223°N, 42,4164°S, 27,6441°W, 27,6503°E. Върху пясъчната ивица са изградени няколко дървени постройки и обекти за обществено хранене, при което вероятно са унищожени някои от наличните пясъчни дюни.



Фиг. 10 Територия на изследване на теренен експеримент 3

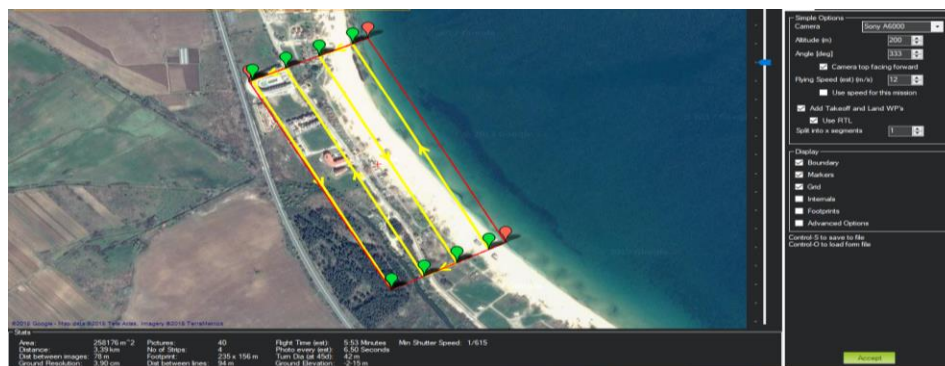
➤ **Цел на изследване при теренен експеримент 3:** Конкретната цел при това използване на БЛС е прецизно заснемане с оптическа камера на изследваната територия, генериране 3 продукта: (1) ортофотомозайка с пространствена разделителна способност, не по-малка от 0,06 м,; (2) цифров модел на релефа с вертикална точност, не по-малка от 0,15 м. На базата на тези два продукта и след прилагане на визуална интерпретация с отчитане на морфологичните и фитологичните признаци на дюните да се генерира (3) пространствена база от данни във вид на векторен слой от полигони за разположението, на дюните в определената територия.

➤ **Избор на БЛС за осъществяване на мисията при теренен експеримент 3:**

Предвид размерите и особено формата на територията, предвидена за заснемане и след обсъждане на експертния съвет на УЦВН бе решено в този случай да се използва БЛС с летателен състав тип „фиксирано крило“. Това се определи и от особеностите на морския бряг – в повечето случаи се наблюдава свеж вятър, а също така и достатъчно равен терен за осъществяване на безопасно излитане и приземяване на летателен апарат. Като летателен състав бе избран наличния модел Skywalker X8, който е съоръжен с електрооптична камера SONY NEX5R, монтирана върху стабилизирана платформа за намаляване на страничното отклонение в момента на тригериране и обезпечаване на ортогонална позиция на обектива на камерата към земната повърхност. Летателния апарат на модела Skywalker X8 има излетно тегло до 4 кг. и може да остане в полет до 1.5 часа. Това позволява да се заснемат до 5 км² в един полет от ниска височина.

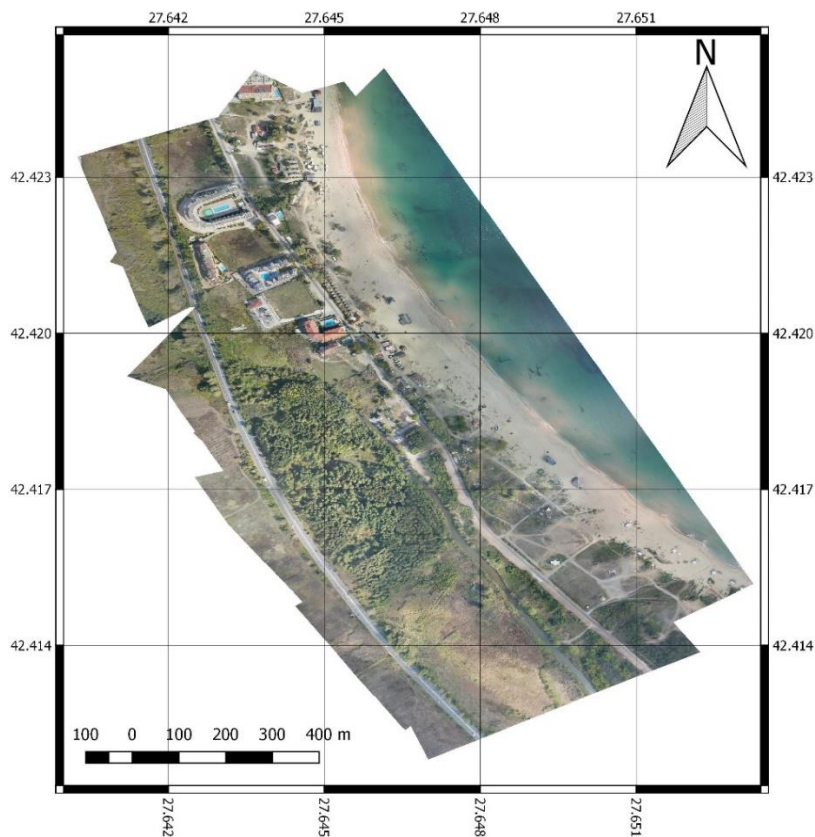
➤ **Подготовка и извършване на мисията при теренен експеримент 3:**

Полетният план предвиждаше 4 надлъжни прелитания на височина 200 м (Фиг. 11). При такъв полетен план, модел на използваната камера и 60% съседно припокриване се обезпечават получаването на 40 индивидуални изображения, покриващи 235 x 156 м. от земната повърхност с пространствена разделителна способност 0,039 м. При заснемане на обитаема територия е важно да се планира по възможност време за полет при минимално присъствие на хора. Ето защо изпълнението на мисията по заснемане на къмпинг Градина бе планирано за втората половина на м. септември, когато все още осветеността е добра, но броят на плажуващи е значително ограничен. За по голяма сигурност полетният план бе изпълнен в 3 което обезпечи набирането на достатъчен снимков материал във вид на индивидуални изображения.



Фиг. 11 Полетен план за заснемане на къмпинг Градина

➤ **Обработка, анализ и верификация на получените данни при теренен експеримент 3:** След провеждане на необходимите стъпки на обработка са генерирани 2 от предвидените продукти: ортофотомозайка (Фиг. 12) с пространствена разделителна способност 0,05 м. и цифров модел на повърхността с размер на клетката 0,13 м.



Фиг. 12 Ортофотомозайка на изследваната територи

На базата на тези два продукта и в съответствие с фито-морфологичните особености на крайбрежните дюни се пристъпи към тяхното локализиране, очертаване и съставяне на пространствена база от данни. В резултат от проведения анализ бяха локализирани 15 дюни, от които 13 разположени извън територията на инвестиционно намерение и 2 разположени в южния край на тази територия (Фиг. 13 и Фиг. 14).



Фиг. 13 Пространствена база от данни за разположение на локализираните дюни в и в близост до южната част на изследваната територия



Фиг. 14 Пространствена база от данни за разположение на локализираните дюни в и в близост до северната част на изследваната територия.

➤ **Изводи, предимства и ограничения при използване на БЛС при управление на защитени територии:** Осъществяването на **теренен експеримент 3** в рамките на настоящото изследване представя само едно от възможните приложения на БЛС за придобиване на пространствени данни за екологични изследвания. Като основни

предимства в това отношение на подхода на използване на БЛС като инструмент за дистанционни изследвания могат се открояват:

- **Непостижимо** – висока за другите инструменти за ДИ пространствена разделителна способност. В повечето случаи на използване на ДИ като източник на информация при екологичните изследвания, като основна цел се поставя визуалната интерпретация и откриване на обекти. В този смисъл колкото по-висока е ПРС на изображенията, получени по дистанционен път, толкова по-точно се откриват съответните обекти;
- Възможност за прилагане на инструмента на БЛС в желан от изследователя момент, включително за случаите с мъгла, ниска облачност или отсъствие на светлина;
- В по-общият план на екологичните изследвания, при които е необходимо повторно заснемане/придобиване на информация, това може да се осъществи по вече съставения летателен план.

Като основно ограничение на използването на БЛС в екологичните изследвания към настоящият момент е все още недостатъчното съответствие на използваните сензори по отношение на спектралната разделителна способност спрямо сателитните сензори.

Управление на природни и антропогенни рискови ситуации

- **Територия на изследване при теренен експеримент 4:** За целите на това изследване, приложението на безпилотна летателна система при управлението на техногенни или природни кризисни ситуации се представя с две участия на Университетския център за въздушно наблюдение в управлението на такива ситуации през ноември 2011 и май 2012 г. И в двата случая кризисните ситуации възникват след неоторизирано взривяване на боеприпаси в предприятия за обезвреждане на такива средства.
- **Цел на изследване:**
- **2011г.:** Основната цел пред екипа на СУ бе се провери състоянието на съседните на взривеното помещения в които се съхраняват невзривени боеприпаси и взривни вещества и особено наличието на горящи отломки върху техните покриви. Задача бе да се осъществи полет с БЛС над района на взрива, да се извърши заснемане на предвидените обекти и да се осъществи предаване на видео-поток в реално време на полет.

➤ **2012г.:** Подобно на кризисната ситуация от ноември 2011 г., през май 2012 г. възниква сходна ситуация на неоторизирано взривяване на боеприпаси в процес на утилизация в друго предприятие и на друга площадка. За разлика от ситуацията от 2011г., в този случай веднага след взрива се установява изчезването на трима служители на компанията. Тази особеност наложи екстремно бърза подготовка на мисията и дислоциране на полеви екип в района на експлозия и осъществяване на въздушно видеоразузнаване. **Основната цел** беше да се облети района около взривените производствени помещения на минимална височина с надежда да се открият възможни места за укритие на изчезналите служители.

➤ **Избор на БЛС за осъществяване на мисията:**

➤ **2011г.:** Предвид необходимостта за достигане на зоната на наблюдение от точка извън наложения периметър със забранен достъп от 4 км., бе решено да се използва наличната в УЦВН безпилотна летателна система с летателен състав тип „фикцирано крило“ Hugin. БЛС Hugin притежава време в полет над 1 час и зона на контролирано опериране над 5 км.

➤ **2012г.:** Независимо, че полевият екип бе дислоциран още в нощните часове, бе решено облитането да се осъществи в ранните сутрешни часове с надежда да се получи максимално добра визуална пространствена информация. Площадката за излитане/приземяване отново бе на автомобилен път на разстояние от 2,5 км. от зоната за облитане. Метеорологичната обстановка се характеризираше с добра видимост, но поривист вятър със средна скорост 5-7 м/сек и пориви до 10-15 м/сек. Летателният апарат, който бе избран за осъществяване на полетния план бе тип „фиксирано крило“ с разпереност 3,20 м. и време в полет до 1,5 часа – „SA-1“. Той бе разработен в УЦВН за да замени БЛС „Hugin“ след злополучната мисия от края на 2011 г.

➤ **Подготовка и извършване на мисията:**

➤ **2011г.:** След успешен старт, набиране на височина и полет по маршрут след 8 мин. възникна прекъсване както на радиовръзката с автопилота, така и възможността за ръчно управление. Летателният апарат продължи безконтролен полет по курс от преди прекъсване на връзката, снижава се постепенно и пада в горист район в рамките на периметъра със забранен достъп. В последствие е установена причината за прекъсване на нормалното функциониране на навигационния и радио-комуникационен хардуер – по време

на полет на БЛС е задействана друга наземна безпилотна система, излъчваща радиосигнал с мощност 4W на същата честота на която се осъществява радио-модемната връзка с БЛС. Със съдействие от страна на кризисния щаб бе изпълнена операция по издирване и откриване на катастрофиралата БЛС с друга летателна система по принципа „Търсене и спасяване“ (Search And Rescue - SAR). Независимо от това, че полетния план бе изпълнен частично, след откриване на останките от БЛС е установено, наличие на заснет видео- и фото-материал, а мисията определена за успешна (Фиг. 15).



Фиг. 15 Заснемане на обектите с повишен интерес непосредствено до взривения склад: А - перспективен изглед на зоната на взрива; Б – съседни на взрива помещения; В – покрив на най-важният склад

➤ **2012г.:** Веднага след излитането и установяване по курса на полетния маршрут, летателния апарат попадна в непредвидено и рязко появил се низходящо насочен въздушен поток. Упражненото ветрово натоварване не бе по възможностите за неутрализиране от автопилота, което доведе до разбиване на летателния апарат. Мисията по въздушното заснемане бе довършена от резервен летателен апарат в ръчен режим на контролиран полет и използване на заснемаща камера със значително по-ниски характеристики на сензора (Фиг. 16).



Фиг. 16 Стоп-кадри от видео-заснемането на територията около взрива: основен кратер след взрива (ляво), потенциален заслон за изчезналите служители (център), опожарен участък от взрива (дясно).

➤ **Обработка, анализ и верификация на получените данни:**

➤ **2011г.:** От анализа на видеоинформацията се установи, че върху покривите на съседните помещения, съхраняващи боеприпаси и взривни вещества няма горящи отломки. Този извод позволи в последствие по-бързото и безопасно навлизане на спасителните екипи за овладяване и разрешаване на кризисната ситуация.

➤ **2012г.:** Мисията от май 2012 беше насочена към въздушно-издирвателно заснемане в район на неконтролиран взрив. От анализа на кадрите, представящи мащабите и подробностите от взрива и извлечената пространствена информация за съжаление беше направено обосновано предположение за отсъствие на възможности за оцеляване на хора в района на взрива. Дори и след проведените в последствие издирвателни дейности не доведоха до откриване на изчезналите служители. Информацията, получена при мисията по въздушно заснемане подпомогна оптималното планиране на издирвателни и др. дейности в района на взрива.

➤ **Изводи, предимства и ограничения:** Двете мисии представени в тази разработка убедително показват огромния потенциал на Безпилотната летателна система като инструмент за получаване на пространствена информация при управлението на кризисни ситуации. Освен в представените случаи, БЛС би бил единствен избор за получаване на оперативна фото- и видео-информация и при аварии в ядрени централи, химически предприятия, петролно бази и др. При възникване на крупни аварийни ситуации в споменатите типове промишлени предприятия, както и при представените тук случаи, се налага забрана за навлизане на аварийно-спасителни и др. екипи в периметър от няколко километра около аварирания обект. Именно това ограничение може да бъде преодолявано чрез оперативно използване на БЛС за подпомагане на взимането на информирани решения за управление на кризисната ситуация.

ГЛАВА 4: Заключение и изводи

Осъществяването на настоящото изследване протече в условията на изключително интензивно развитие на безпилотната летателна система. Ако към момента на зачисляване

(февруари 2014 г.) въпросът с използването на БЛС в научните изследвания, особено у нас, беше дискуссионен и едва започваха да се появяват първите научни статии, съобщения и резултати от практико-приложни проекти, то в края на обучението, (февруари, 2017 г.) това вече е стандарт! Подобно на скокообразното навлизане на сателитната информация като основен източник на информация за пространствено-обособени обекти и явления в началото на 21 век, така след 2015/2016 г. вече трудно се среща описание на научен проект в областта на геопропространствените науки в който не е предвидено използването на БЛС. Това в пълна сила важи и за практико приложните дейности, предвидени в научните изследвания и проекти, обществени поръчки и планове за управление на държавни и обществени институции.

От една страна това следва да се възприема като положителна тенденция, но при констатирания недостиг на капацитет за пълноценна научна експлоатация на БЛС, може да се стигне до нежелани инциденти, материални загуби и в крайна сметка забавяне на темповете на развитие на това направление на Дистанционни изследвания в Република България.

От прегледа на значителното количество научни материали по въпросите на Безпилотните летателни системи следва да се заключи, че гореспоменатите заключения се дължат на няколко основни причини, които според нас могат да се обобщят както следва:

- На пазара се появиха професионални и полу-професионални Безпилотни летателни системи на разумни цени, което превръща този инструмент в индивидуално средство за набиране на пространствена информация. Летателните системи са оборудвани със съвременна авионика, позволяваща осъществяването на контролиран, полуавтоматичен или изцяло автоматичен полет, което от своя страна разширява контингента от възможни потребители;

- Полезният товар на БЛС съставен от първоначално от елементарни камери (2010-2012 г.) бързо се разрасна към сложни електрооптични многоканални системи, сензори, датчици и др., позволяващи включването на БЛС в сложни изследователски задачи;

- Към момента на обобщение на тази разработка (2018 г.) все по-често се говори за въвеждането на регулация по използване на БЛС, което неминуемо ще утвърди научния статут на БЛС и ще канализира използването им. Това би позволило застраховане на

летателните системи, като по този начин би разширило периметъра на регламентирано използване и над населени места.

Подобно на процеса на утвърждаване на изследователските и образователни процеси в областта на ГИС от края на 20 и началото на 21 век неизбежно ще ставаме свидетели на разрастване на дейностите по масовизиране на използването на БЛС в не-военната сфера. Благодарение на присъствието на автора на това изследване в дейността на Университетския център за въздушно наблюдение при СУ „Св. Климент Охридски“, стана възможно формирането на капацитет за участие в множество експериментални, тестови и практико-приложни заснемания с различни по състав БЛС. Макар в разработката да са представени резултатите само от четири теренни експеримента, авторът бе включван в разнообразна образователна и презентационна дейност по утвърждаване на БЛС като инструмент за набиране на пространствена информация.

Обобщавайки резултатите от направеното изследване можем да представим следните по-важни изводи:

1. Макар и в самото начало, научното направление БЛС като нова самостоятелна част от технологичния сегмент на Дистанционните изследвания е застъпено в значителен брой научни произведения (статии, монографии, ръководства и пр.), което дава възможност за пълноценно запознаване със специфичните особености и подготовка на използването на БЛС за граждански цели. Очакваме с приемането на конкретен регулаторен режим в Република България, да се разкрият пълните възможности за използване на БЛС за научни изследвания;

2. Във връзка с използването на разнообразни термини, отнасящи се до представянето на този нов инструмент за набиране на пространствена информация, поддържахме използването на термина Безпилотна летателна система (БЛС). Според нас този термин най-пълно разкрива научната същност на инструмента и го откроява от техническите пособия за игрови цели, спорт, хоби и развлечение които биха могли да продължават да се представят като радио управляем модел, дрон и пр.

3. Чрез осъществените четири теренни експеримента бе демонстрирано успешното използване на БЛС за изграждане на специализирани бази-данни в различни

научни направления. Като резултат от приложената специализирана обработка бяха съставени пространствени бази от данни за:

- а) пространствени нееднородности, показващи вероятност за неразкрити археологически обекти на територията на НАР „Деултум“ (теренен експеримент 1);
- б) пространствени нееднородности в развитието на земеделска култура на примера на лозов масив в землището на с. Песнопой (теренен експеримент 2);
- в) позициите на крайбрежните дюни в рамките на къмпинг Градина (теренен експеримент 3);
- г) състояние на складове за съхранение на боеприпаси в предприятие за утилизация на боеприпаси след неоторизиран взрив (теренен експеримент 4).

Научни и приложни приноси

Като **приносни моменти** от проведеното изследване могат да бъдат посочени:

- Изяснена е концептуалната структура на научно-изследователска мисия с безпилотна летателна система при използването и придобиването на пространствени данни. Очертани са основните етапи при подготовката и изпълнението на мисия чрез реални теренни експерименти;
- Като първи опит за дисертационно изследване в географската тематика е доказана приложимостта на Безпилотната летателна система в различни тематични области на геопропространствените изследвания като индивидуален инструмент за придобиване на пространствена информация и изграждане на бази данни;
- Постигнат е положителен резултат при съставяне на пространствени бази от данни чрез специализирана обработка на резултатите от четири теренни експеримента и извличане на информация вид на векторни данни в ГИС-среда от заснемане с безпилотна летателна система.

БЛАГОДАРНОСТИ

Във връзка с разработването на настоящото дисертационно изследване бих искал да изкажа благодарност на екипа на Университетския център за въздушно наблюдение (УЦВН)

за предоставената материална и техническа база, и за многобройните работни срещи и консултации.

Благодаря на своя научен ръководител проф. д-р А. Попов за безценните насоки и съвети, корекциите, конструктивната критика и цялостната подкрепа при изготвянето на разработката. Благодаря на проф. Попов и за това, че се съгласи да приеме задачата на научен ръководител, въпреки късите срокове за изпълнение, предвид смяната на темата на разработката.

Изказвам своята благодарност и към всички преподаватели от Катедра “Картография и Географски информационни системи” за оказаната методическа помощ по време на текущите обсъждания на разработката.

Благодаря на моето семейство за подкрепата, без която завършването на тази разработка нямаше да бъде възможно.