



**БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ**  
**ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ**

София 1113, ул. „Акад. Георги Бончев” бл. 1,

Тел. +359 2 988 35 03, E-mail: [office@space.bas.bg](mailto:office@space.bas.bg), <http://www.space.bas.bg>



**Милена Веселинова Данаилова**

**ОЦЕНКА НА КАЧЕСТВОТО**  
**НА ПРОСТРАНСТВЕНИ ДАННИ ЗА ЗЕМНОТО ПОКРИТИЕ,**  
**ПОЛУЧЕНИ ПРИ ИЗБРАНИ МЕТОДИ ЗА ТЯХНАТА ОБРАБОТКА**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на дисертационен труд

за присъждане на образователна и научна степен

**„ДОКТОР”**

Област на висше образование: 4. „Природни науки, математика и информатика“

Професионално направление: 4.4. „Науки за Земята“

Научна специалност: „Дистанционни изследвания на Земята и планетите“

Научен ръководител:

Доц. д-р Антон Стоименов

София

2023

Настоящото изследване е извършено по докторантура в секция „Системи за дистанционни изследвания“ към Института за космически изследвания и технологии при Българската академия на науките (ИКИТ-БАН). Дисертационният труд е обсъден на заседание на еднократно разширен Научен семинар на секция „Системи за дистанционни изследвания“ при ИКИТ-БАН, проведено на 17.11.2023 г. и е разкрита процедура за публична защита с решение на Научния съвет на ИКИТ-БАН пред Научно жури в състав:

Вътрешни членове:

1. Проф. д-р Георги Желев,
2. Доц. д-р Венцеслав Димитров – ИКИТ-БАН,
3. Проф. д-р Деница Борисова – ИКИТ-БАН (резервен)

Външни членове:

1. Доц. д-р Радка Колева - Лесотехнически университет – София,
2. Доц. д-р Веселина Господинова – Минно-геоложки университет „Св. Ив. Рилски” – София,
3. Доц. д-р Милен Иванов – Национален военен университет „Васил Левски” – Велико Търново,
4. Доц. д-р Антон Стоименов (резервен)

Дисертационният труд включва 150 страници, 26 таблици, 56 фигури и 74 литературни източника (21 - на кирилица и 53 - на латиница).

Номерацията на фигурите, таблиците и цитираната литература, в рамките на автореферата, отговаря на тази в пълния дисертационен труд.

## СЪДЪРЖАНИЕ

ВЪВЕДЕНИЕ.....	5
<b>Глава 1. Анализ на съвременните научни изследвания за обработка на пространствени данни за земно покритие, получени от дистанционни аерокосмически методи.....</b>	<b>7</b>
Цел и задачи на дисертационния труд .....	12
<b>Глава 2. Видове данни, получени от дистанционни методи. Понятия и дефиниции за оценка на качеството. ....</b>	<b>13</b>
2.1. Пространствени данни за решаване на задачи, свързани със земното покритие.....	13
2.2. Понятия и дефиниции за оценка на качеството .....	16
Изводи от Глава 2 .....	23
<b>Глава 3. Методи за обработка на пространствени данни за земното покритие и оценка на качеството на получените резултати .....</b>	<b>24</b>
3.1. Обработка посредством геометрични трансформации на пространствени растерни и векторни данни за земното покритие .....	24
3.2. Обработка посредством процедури за компютърно подпомогната интерпретация на спътникови изображения.....	34
3.3. Обработка посредством процедури за доставяне и организация на допълнителни данни за контрол на качеството на пространствени данни.....	36
3.4. Обработка посредством допълнителни процедури за повишаване на качеството на пространствени данни.....	39
Изводи от Глава 3 .....	43
<b>Глава 4. Експериментални изследвания за обработка на пространствени данни за земно покритие и анализ на резултатите .....</b>	<b>44</b>
4.1. Експеримент за цифрово ортотрансформиране на въздушни снимки и точности получени при технологията.....	44
4.2. Експеримент за изследване на геометрията на растерни и векторни бази данни по проект „КОРИНЕ Земно покритие 2000 – България” .....	44
4.3. Експеримент за изследване на качеството и отстраняване на грешки в процеса на компютърно подпомогната интерпретация на спътникови изображения при създаване на векторни бази данни за земното покритие.....	45
4.4. Разработване на методика за достъп и визуализация на цифрови спомагателни данни в проекти за земно покритие/ земеползване .....	45
4.5. Организация на теренна проверка като метод за повишаване на качеството на интерпретацията по проекти за земно покритие .....	46
4.6. Експериментално летене и обработка на изображения от БЛС за доставяне на допълнителни данни за земно покритие в горски територии .....	46

4.7. Методи за смесване на данни за повишаване на качеството на пространствени данни за земно покритие .....	47
4.8. Изготвяне на спътникова карта по изображение от IKONOS за картографиране на естествена горска растителност .....	47
Изводи от Глава 4.....	48
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	48
ПРИНОСИ на докторанта от дисертационния труд .....	49
Публикации по темата на дисертационния труд.....	49
Използвана литература .....	50
Използвани интернет източници .....	53
Благодарности.....	54
Използвани съкращения .....	55

## ВЪВЕДЕНИЕ

Земното покритие на България непрекъснато се променя поради урбанизацията на териториите, климатичните промени и други причини, породени от използването на Земята. Тъй като съставът и интензитетът на земеползването се променя, се наблюдават значителни въздействия върху земеделските земи, гори, влажни зони. От това следват съпътстващи промени на природните ресурси, производителността, биоразнообразието, фрагментацията на местообитанията и качеството на повърхностните води. Инструментите за дистанционно наблюдение и методите за обработка на получените данни, предоставят необходимите възможности за картографиране и анализ на земната повърхност и създаване на входна информация за управление на ресурсите и политики на страната.

Пространствени данни, според „Закона за достъп до пространствени данни” (ЗДПД), са всички данни, които пряко или непряко указват определено местоположение или географски район.

Според Европейската агенция по околна среда (European Environmental Agency - ЕЕА), земното покритие съответства на биофизично описание на земната повърхност. Това описание дава възможност да се разграничат различни биофизични категории - основно области с растителност (дървета, храсти, полета, тревни площи), голи скали, антропогенни обекти (сгради, инфраструктура), влажни зони и водни обекти (водни течения, водни огледала).

Дистанционните методи за изследване на Земята позволяват измерване от разстояние на биофизични величини върху земната повърхност (Jensen, 2016). Това обикновено са два типа променливи. Първият тип позволяват директно измерване от дистанционния сензор, без да се налага използване на допълнителна обработка. Вторият тип променливи са хибридни и се получават чрез анализ на повече от една биофизична променлива.

Земното покритие е хибридна променлива (Тепелиев и др., 2008). В точка от изображение, получено от дистанционни методи, земното покритие се установява след оценка на няколко основни биофизични променливи за даден момент от времето – например цвят на обекта, местоположение (x, y), надморска височина (z), текстура, температура и др. Определянето на земното покритие посредством дистанционни методи

има съществено значение, тъй като повече основни променливи могат да бъдат обхванати едновременно чрез обработка на получените електромагнитни сигнали.

Всеки проект, свързан с пространствени данни за земното покритие, получени от дистанционни методи, е абстрактно представяне на действителността във вид на база данни и карти. Поради многото стъпки, включени в процеса на това представяне, може да се очакват и съответни отклонения или грешки. Оценяването на тези грешки или оценката на качеството при проекти за земно покритие са важни, от една страна за избора на подходящи входни данни и метод за обработка, от друга страна имат ключово значение при оценката за пригодност на получената карта за поставената задача (Zimmerman, et al., 2013).

В последните години пространствените данни за земното покритие са водещи във всяко едно направление. Независимо дали се управляват ресурси, предприятия, земеделски земи, превозни средства, строителни обекти, всяка организация разполага със стационарно или мобилно софтуерно приложение, чрез което използва такива данни. Основно държавните институции съхраняват такива данни за поддръжка на конкретни ресурси – земеделие, статистика, кадастър, регионално планиране и др. и осъществяват контрол при последващи задачи. Това налага и създаване на точни и конкретни нормативни изисквания за качеството на подготвените пространствени данни.

Поради бързото развитие на инструментите и технологиите за дистанционно наблюдение се създават възможности за получаване на данни от различни сензори и системи. Това води до наличие на по-голям избор от данни и процедури за обработка. Налага се анализиране на оптималното икономически изгодно решение за конкретната задача и изследване на точността, която го удовлетворява. Увеличеният обем на данните предполага търсене на решения за тяхното ефективно съхранение чрез интернет базирани портали. Критериите за качество излизат извън рамката на конкретен проект. Те вече са за съответствие със стандартизирани формати, правила и описания на данните, за да бъде възможно тяхното споделяне и използване между институциите в България, на европейско и световно ниво.

Въпросите за оценката на точността и повишаване на качеството на пространствени данни за земно покритие, остават актуални, както при създаване на нови данни, така и при осигуряването на оперативна съвместимост на налични разновременни данни или такива от различни сензори.

## **Глава 1. Анализ на съвременните научни изследвания за обработка на пространствени данни за земно покритие, получени от дистанционни аерокосмически методи**

Първоначално обработката на данни от дистанционни методи се свързва с фотограметрията като метод, който се основава на геометричните отношения между обектите и техните изображения, в момента на фотографиране. Според Американската асоциация по фотограметрия (American Society of Photogrammetry, 1980), фотограметрията е изкуство, наука и технология за получаване на надеждна информация за физическите обекти и околната среда чрез процеса на записване, измерване и интерпретиране на фотографски изображения, електромагнитни вълни и други явления.

Традиционно фотограметрията най-широко се използва за извличането на топографска информация от въздушни изображения. Процесът на ортотрансформиране дава началото на интерпретативната фотограметрия, тъй като получените ортофотопланове имат характеристиките на снимките и точността на картите. Тя е свързвана и с цветовете характеристики на снимките.

Към края на XX век инструментално-визуалното дешифриране на аероснимки и аналоговото стереокartiране се изместват от методите на цифровата стереофотограметрия, основаваща се на съвременните компютърни технологии.

Скоро след навлизането на цифровата фотограметрия навлизат и цифровите камери. Първоначално цифровите аерофотокамери са еднообразни кадрови (рамкови) камери. Развитието преминава през обединяване на два и повече сензора в една система при различен обхват на регистрираните сигнали – части от електромагнитния спектър. Водени от сензорите на спътниците, днес дигиталните въздушни камери предлагат заснемане на принципа на „push broom” (едновременна регистрация на линия от пиксели), висока пространствена и спектрална разделителна способност и многоканални изображения (Кацарски, 2002).

С изстрелването на спътника ERTS-1 в орбита през 1972 г. (Преименуван през 1975 г. на Landsat 1), стартира развитието на научно приложна област, наречена „дистанционни методи“ за изследване на Земята. В нея доминира компютърната обработка на цифрови данни и изображения както на космическо, така и на въздушно ниво (Тепелиев и др., 2018).

Днес работят много и различни по характеристики спътникови системи, които ежедневно доставят информация за земната повърхност от разстояние. По този начин разполагаме с данни за големи територии, с възможност за получаване на определен период от време. Спътниковите изображения са в цифров вид и имат обективен характер. Те подлежат на обработка и геометрични корекции в цифрови системи, и резултатите са подходящи да се използват за анализи в географски информационни системи (ГИС).

Поради бурното развитие на системите за събиране и обработка на информация понятията търпят промяна. Една съвременна дефиниция от устава на Международното дружество по фотограметрия и дистанционни изследвания (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS) гласи: „Фотограметрията и дистанционните изследвания са изкуство (умение), наука и технология за получаване на надеждна информация от неконтактни образи и други сензорни системи относно Земята и нейната околна среда, както и за други физически обекти и процеси чрез регистриране, измерване, анализиране и представяне”

Анализът на земното покритие е процедура, която стартира с получаването на първите спътникови изображения и се развива основно в посока на автоматизирана класификация на изображения и компютърно подпомогната визуална интерпретация. Тя има за цел получаване на количествени параметри на състоянието и промените в земното покритие.

Основни методи за обработка на пространствените данни преди интерпретацията са изборът и подготовка на спътникови изображения за всеки етап във времето, в който се използват, както и изследване и коригиране на геометрични и тематични грешки при трансформацията и дигитализацията на векторните и растерните данни.

При класификация на спътникови изображения посредством компютърно подпомогната визуална интерпретация е необходимо да се изследват и опишат възможните грешки от входните данни, от действията на операторите и принципи на вземане на решения при избор на клас земно покритие. Тези задачи са обект на един от най-мощните проекти в областта на околната среда в Европа „КОРИНЕ Земно покритие” (CORINE Land Cover – CLC), който се осъществява в рамките програмата „Коперникус” в частта си за наблюдение на Земята (Copernicus Land Monitoring Service – CLMS).



Целта на проекта е да се изготви актуална дигитална карта на земното покритие от спътникови изображения. Проектът стартира в средата на 90-те години с извършване на визуална интерпретация на спътникови изображения от Landsat 5 TM, върху хартиени копия в М 1:100 000 (т.н. „hard copy“ технология) (CORINE Land Cover – Technical guide, 2000). По проекта е създадена база данни земно покритие, която подлежи на ревизиране и откриване на промени, чрез преминаване към компютърно подпомогнат процес на интерпретация.

При създаването на тематични продукти за земното покритие, се прилага верификация с коригираща цел, за подобряване на крайния резултат. За да бъде крайния продукт независимо оценен, одобрен или отхвърлен, както и да се създадат неговите метаданни, се извършва процеса на валидация (Димитров, 2022).

В процесите на създаване на бази данни (БД) земно покритие се използват както основни, така и допълнителни данни. Това налага търсене на методика за подбор и организация на допълнителни данни, с цел подпомагане на визуалната интерпретация и повишаване на тематичната точност.

Методът на работа с данни от дистанционни методи при интерпретация на класове земно покритие значително намалява теренните работи. В някои случаи обаче, теренната проверка е незаменима за правилното вземане на решение или за контрол. За да бъде успешна и икономически обоснована теренната проверка, е необходимо създаване на процедура за нейната организация, както и за вземане на решение въз основа на получените резултатите.

С развитието на технологиите за дистанционно наблюдение чрез безпилотни летателни системи (БЛС), недостъпните обекти бързо и лесно се покриват с цветни изображения от БЛС с много висока пространствена разделителна способност.

При задачи за изследване на земното покритие се използват професионални БЛС системи. В зависимост от конкретното приложение се прилагат системи с различна конструкция, тегло, полезен товар и сензор за регистриране.

Обработката на изображенията от БЛС се извършва посредством софтуер. Генерират се ортофотопланове и тримерни модели. Прилагат се алгоритми за филтриране на резултатите и индекси за растителността. Изборът на подходяща система и метод за обработка е конкретна задача, която се поставя от потребителите и остава актуална при всеки нов проект.

За повишаване на геометричните и тематични качества на изображенията преди процеси на компютърно подпомогнатата интерпретация се прилагат и методи за цифрова обработка на изображения (ЦОИ). Използват се процедури за смесване на данни, при които се повишава пространствената разделителна способност на многоканални изображения при комбиниране с панхроматичен канал. В резултат е възможно картографиране на земното покритие в по-едър мащаб и надеждно разпознаване повече детайли от земното покритие.

Във връзка с широкото портфолио и възможности за получаване на аерокосмически данни възникват два типа задачи, които остават актуални днес и за в бъдеще. Първите са свързани с научни и приложни задачи, при които е необходимо, по зададени конкретни геометрични и тематични качества на изходните пространствени данни, да се избере вида на сензора за генериране на входни изображения, нивото на обработката, подходящия изходен продукт. Вторите са свързани с обема на информацията, която се получава, начина на съхранение и обмен.

При подготовка на пространствени данни, чрез подходящи методи на обработка неминуемо се стига до съхранение, извличане и анализ на геопространствени данни. През последните две десетилетия организациите започват да осъзнават, че са произведени големи обеми геопространствени данни, но те остават неизвестни за много потенциални потребители. Това налага синхронизиране на данните в Национални портали и стандартизация на информацията, като формати и точности на данните, и основен фокус върху метаданните.

През 2001 г. (ЕО 1995), Европейската комисия (ЕК) стартира инициативата за създаване на Инфраструктура за пространствени данни (Spatial Data Infrastructure – SDI), като по този начин започва развитието на SDI в Европа. Създаването на SDI предвижда поддържането на бърз достъп до данни, споделяне и обмен на геопространствени информация в подкрепа на по-ефективни действия във всички сфери на обществения живот (Pashova and Vandrova, 2017). С напредъка на информационните и комуникационни технологии, става възможен достъпа до геопространствените данни от разстояние. Той е последван от предложение за директива по създаване на инфраструктура за пространствена информация в Общността (INSPIRE - Infrastructure for Spatial Information in Europe).

Законът за достъп до пространствени данни (ЗДПД), приет през 2010 г. (последно обнародван в Държавен вестник 22 февруари 2022 г.) въвежда разпоредбите на Директива 2007/2/ЕО INSPIRE в националното законодателство и е стратегически документ за Република България, относно изграждането на национална инфраструктура за пространствена информация.

Този закон урежда изграждането, поддържането и използването на инфраструктура за пространствена информация, осигуряването на достъп до пространствени данни и предоставянето на услуги за данните в областта на околната среда или дейностите, които могат да окажат влияние върху околната среда, чрез гарантиране на съвместимост и сигурност при обмена на данни.

Националният портал за пространствени данни в Р. България е реализиран през 2021 г. (Гладков, 2021) по проект, осъществен с финансовата подкрепа на оперативна програма "Добро управление", съфинансирана от ЕС чрез Европейския социален фонд (<https://inspire.egov.bg>). Проектът е насочен към подобряването на инфраструктурата за пространствена информация и процесите, свързани с обмен на пространствени данни, съгласно ЗДПД. С изграждането и внедряването на Национален портал за пространствени данни (НППД), Държавна агенция "Електронно управление" (ДАЕУ) изпълнява задължението си за създаване на основния елемент на инфраструктурата за пространствена информация в Р. България като част от общоевропейската.

Със създаването на национален портал за пространствени данни, отговорните организации (притежателите на референтни данни съгласно 34-те теми на Директива INSPIRE), трябва да осигурят достъп до техните данни. Това налага преминаване към общи стандарти за формат на данните, метаданните и услуги за достъп. За преодоляването на разнообразието в съдържанието и формата на пространствените данни, налични за публикуване на НППД и постигане на оперативна съвместимост при обмена на данните, в портала е вграден инструментариум за описване на пространствените данни с метаданни по единен стандарт.

Всичко описано до тук потвърждава, че технологиите за създаване, съхранение и обмен на пространствени данни за земното покритие се развиват и усъвършенстват. С това методите за обработка, свързани с геометрични корекции и подобряване на качеството на пространствени данни остават необходима част от всеки проект както и оценка на техните качества и оперативна съвместимост.

## **Цел и задачи на дисертационния труд**

Целта на настоящата дисертация е да се направи анализ на качеството на пространствени данни за земното покритие на България, получени при избрани методи за обработка.

За изпълнение на поставената цел е необходимо да се решат следните задачи:

- Да се анализират данните от дистанционни методи, подходящи за решаване на задачи свързани със земното покритие на България;
- Да се систематизират понятията и дефинициите за оценка на качеството на данните от дистанционни методи, за земно покритие;
- Да се изследват методи за обработка свързани с фазите от производствения процес на данните;
- Да се изследва експериментално качеството при геометрично трансформиране на растерни и векторни данни за земно покритие;
- Да се изследва експериментално качеството при компютърно подпомогната интерпретация на спътникови изображения;
- Да се изследват експериментално методи за повишаване на качеството на пространствени данни;
- Да се изведат критерии за оценка на качеството на пространствени данни за прилагането им при последващи проекти.

## **Глава 2. Видове данни, получени от дистанционни методи. Понятия и дефиниции за оценка на качеството.**

### **2.1. Пространствени данни за решаване на задачи, свързани със земното покритие**

Всички пространствени данни, използвани в тази разработка са в цифров вид. Изследванията са направени с основни данни, получени по дистанционни методи (ДМ) от самолети, спътници и БЛА, както и продукти, създадени от тях, допълнителни данни - карти (топографски и тематични), геодезически измервания, теренни снимки, архивни въздушни снимки, спомагателни данни и данни за контрол.

#### **2.1.1. Цифрови растерни данни**

Цифровите растерни данни (цифрови изображения), се генерират посредством сензори на въздушни и космически носители, чрез наземни цифрови камери, чрез сканиране на аналогови снимки и карти, след фотограметрична обработка (орторектифицирани изображения, 3D растерни ЦМР) или след процеси на класификация.

Според вида на представената информация са познати два типа растерни изображения. Първият тип са получени от сензорите на въздушни и космически носители (аерофотоснимки и спътникови изображения). Вторият тип са тематични изображения, получени в процеса на интерпретация и класификация (тематични цифрови карти). Първите са непрекъснати данни от измерени количествени стойности на светлината. Вторите са дискретни данни, чиито стойности показват само клас земно покритие и имат качествен характер.

За регистриране на изображения от дистанционни методи съществуват два вида системи – фотографски и нефотографски (Тепелиев и др. 2018).

Според източника на електромагнитна енергия, нефотографските сензори са два вида – активни и пасивни.

Получените изображения представляват масив от числа, всяко от които представя измерената яркост на малка част от земната повърхност в конкретен спектрален обхват, наречен канал. Дискретните елементи, които съставят изображението се наричат пиксели. Всеки канал е видим като отделно изображение.

Обичайно сензорите регистрират повече от един канал в различен обхват от електромагнитния спектър. Получените изображения са панхроматични (1 канал) и

многоканални (също и многоспектрални по Кънчева, 2020), с три и повече канала, които могат да бъдат видими едновременно. В зависимост от отражателните характеристики на повърхностите се избират комбинации от канали, които са най-подходящи за идентифициране на конкретен тип обекти от земното покритие. (Mendosa, 2013)

Важна характеристика на растерните изображения при ДМ е тяхната разделителна способност.

**Пространствена разделителна способност (ПРС)** – това е размерът на най-малкия елемент, който може да бъде регистриран от сензора на земната повърхности и той съответства на един пиксел от изображението. Колкото по-висока е ПРС, толкова по-малък е размера на пиксела. ПРС е основен показател за детайлност на изображенията и по-висока геометрична точност на резултатите от обработката им.

**Спектрална разделителна способност (СРС)** - определя се от броя на каналите, които изображението обхващат в части от електромагнитния спектър със специфична дължина на вълната.

**Радиометрична разделителна способност (РРС)** – това е броят на полутоновите нива на сивото, чиито стойности приема всеки пиксел от изображението. Този брой се определя от „bit” – дълбочина на изображението, която се измерва в битове за пиксел (bits per pixel - bpp).

**Времева разделителна способност (ВРС)** се отнася до това колко често сензорът получава изображения на определена област. Например, спътникът Landsat може да преминава през една и съща площ от земното кълбо веднъж на всеки 16 дни, а спътникът SPOT на всеки три дни.

Описаните фактори са в тясна взаимовръзка помежду си и не трябва да се анализират изолирано един от друг. Те стоят в основата на понятието „използваемост” на аерокосмическите данни и изображения. Такива данни с различна пространствена, спектрална, радиометрична и времева разделителна способност, се използват при решаване на научни, научно-приложни и приложни задачи (Мардиросян, 2000).

Повишаването на отделните видове разделителна способност увеличава вероятността едно явление да бъде дистанционно наблюдавано по-точно. При планирането на задачи обикновено знаем показателите, които искаме да постигнем и правим избор за входни изображения в зависимост от разделителната способност. Други

показатели, които са съществени при избора са: ширината на заснеманата ивица, размерът на една сцена, методът на обработка на изображенията.

Има два основни вида координати, използвани при работа с растерни данни:

- ✓ координати на файла – посочват местоположението на всеки пиксел в изображението;
- ✓ координати на картата – посочват местоположението на пиксел в картата.

Координатите на файловете се отнасят до местоположението на пикселите във файла с изображения (данни). В координатите на файла за пиксела в горния ляв ъгъл на изображението винаги стойността е 0, 0.

Координатите на картата могат да бъдат изразени в една от няколко координатни или проекционни системи на картата. Типът на координатите на картата, използвани от файла с данни, зависи от метода, използван за създаване на файла (дистанционно наблюдение, сканиране на съществуваща карта и т.н.). В системите за обработка на изображения, файл с данни може да бъде преобразуван от една координатна система на картата в друга.

#### **Характеристики и състояние на данните:**

**Спътниковите данни** за мониторинг на земното покритие са достъпни в цифрови хъбове, като най-старият е от Landsat 1992 г. насам.

Центърът за свободен достъп на ESA по програма „Коперник” (по-рано известен като Sentinel Scientific Data Hub) предоставя пълен, безплатен и отворен достъп до потребителските продукти на Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3 и Sentinel-5P като се започне от прегледа за въвеждане в орбита.

От 24 януари 2023 г. стартира нова космическа екосистема за данни на „Коперник” (<https://dataspace.copernicus.eu/>) за да се осигури достъп до всички данни от „Sentinel” с нови функции за визуализация и обработка на данни.

Доставчиците на спътникови данни за частни потребители, осигуряват 24/7 поддръжка на своите портали с услуги за търсене, намиране, сваляне. Може да се следи за разделителната способност, обхват, облачност, наклон, ниво на обработка. За конкретна задача се прави избор на система и сензор.

**Наличните архивни аероснимки** за територията на България се съхраняват в геокарт фонд. Те са в аналогов вид, под формата на негативи и контактни копия.

Периодите на заснемане (от-до) са описани на картограми. Поради задачи от разнороден характер – тематично или топографско картографиране, снимките са различни по мащаб, размер, посока на летене, вид на камерата, време на заснемане.

В последните години, с развитие на технологиите и възможността за обработка на аероснимки посредством цифрови фотограметрични работни станции, е наличен и архив от цифрови снимки за територии обект на предходни проекти.

### **2.1.2. Векторни данни**

Векторните данни са генерирани при интерпретация и класификация на обекти от орторектифицирани изображения, от спътници и самолети в ГИС среда, от ръчна дигитализация на точки, линии и полигони по карти, от файл с геодезически измервания в графична среда или от обработка на стереомодели при картиране.

Векторните данни се състоят от: точки, линии, полигони.

Елементите от векторните данни се разпределят в слоеве. Въпреки, че е възможно да има точки, линии и полигони в един слой, слой обикновено се състои от един тип функция. Възможно е да има един векторен слой за линии и друг слой за полигони. Векторният слой се определя като набор от характеристики, където всяка характеристика има местоположение (определено от координати и топологични указатели към други характеристики) и атрибути (дефинирани като набор от наименувани елементи или променливи).

Пространствените връзки между характеристиките във векторния слой се определят с помощта на топологията. В топологичните векторни данни се използва математическа процедура за определяне на връзките между характеристиките. (идентифициране на даден полигон в зависимост от неговите съседни). Топологията не се създава автоматично, когато се създава векторен слой. Тя трябва да бъде добавена покъсно като се използват специфични функции. Топологията трябва да се актуализира и след като слой е редактиран. (Environmental Systems Research Institute, 1990).

## **2.2. Понятия и дефиниции за оценка на качеството**

Проблемите с качеството на данните от дистанционни методи значително нарастват, особено поради обмена на големи по обем пространствени данни за Земята. През последните десетилетия изследванията на качеството на данните са насочени към оценката на елементи, изчислени спрямо геометрията на точка, линия, площ на



векторните и растерните данни. Тази разработка има за цел да се съсредоточи върху измерване на несъвпаденията по време на жизнения път на данните от дистанционното наблюдение като се фокусира върху проблемите на картографирането на земното покритие. В работата е търсено обобщение на качеството на избрани комбинации от данни и процедури, и е изследвано как прилаганите методи за обработка на данни отговарят на нуждите на потребителите.

Направен е теоретичен преглед на проблема за качеството. Избрани са практически ориентирани подходи, както и широко използвани методи за изследване като Средна квадратна грешка (по Стойнов и др., 2009) (Root Mean Squared Error - RMSE) и матрица на съответствието. В направените експерименти е изследвано качеството на пространствените данни за земно покритие при конкретни приложения. Направена е оценка на пригодността за използване на получените резултати и са дадени препоръки за повишаване на качеството. При оценката на качеството на процедурите за класификация на изображения са изследвани възможните грешки произтичащи от предишни процедури и работата на операторите. Матрицата на съответствие и валидация за земното покритие, като количествен подход за оценка, е описана теоретично, но е част от изследването на други автори от колектива на ИКИТ.

### **2.2.1. Управление на качеството на данните от дистанционни методи**

Тази разработка използва модела за управление на качеството на данни от ДМ, основан на жизненият път на производство.

Последователните фази според (Jakobsson and Giversen, 2007) могат да бъдат обобщени, както следва:

**Преди производството** – Събиране на документи, свързани със създаване на модела за качество на данните - МКД ( Data Quality Model - DQM).

Основната цел на тази фаза е да се дефинират изискванията за качество на потребителя. Това е възможно посредством групата стандарти ISO 19000 и по-специално приложим модел за качество (ISO 19157).

Компоненти на DQM са:

- критериите за качество на данните DQ (Data Quality), описващи измерителите за качество на данните от ДМ;
- показателите за DQ описващи количествените и качествените стойности;

- процедурите за проверка на DQ описващи процеса на оценка на качеството.

**По време на производство** – събиране и обработка на данни: В тази фаза процесът се фокусира върху документирането на опита за прилагане на определена методика. По време на производствената фаза трябва да се прилагат утвърдени производствени методи за обработка, с конкретни очаквания за резултата. Най-важният фактор е проследимостта на отделните операции в производствената верига.

**След производството** – доставка и употреба: След фазата на производство отново се извършва оценка на качеството. Документацията за качеството в тази фаза се фокусира върху докладите от тестовите данни и метаданните. Основната цел на доклада за оценка е да се измери съответствието с предварително определени изисквания за качество (ISO 19157). На този етап е важно стандартите за обмен на данни да бъдат спазени и публикуваните резултати да са във формати, които ги удовлетворяват според (OGC – Open Geospatial Consortium), (<https://www.ogc.org/standards/>).

В следното описание са дадени термини, касаещи процеси за създаване на данни и оценка на тяхното качество:

- ✓ Неопределеност на измерването: параметър, характеризиращ дисперсията на количествените стойности на измерваната величина – VIM (Vocabulaire International de Métrologie, International Vocabulary of Metrology 2012), (<https://link.springer.com/article/10.1007/s00769-012-0885-3>);
- ✓ Проверка (Верификация): Потвърждаване, чрез предоставяне на обективни доказателства, че определените изисквания са изпълнени – ISO 9000;
- ✓ Валидиране: Проверка дали посочените изисквания са подходящи за предвидената употреба – VIM 2012;
- ✓ Качество: Степента, до която набор от характеристики на даден обект отговаря на изискванията – ISO 9000;
- ✓ Показател за качество: предоставяне на информация за произведен продукт, чрез която може да се оцени пригодността му за конкретно приложение – QA4EO 2010 (Quality Assured Data for Earth Observation Communities), ([https://qa4eo.org/users/eo\\_scientists](https://qa4eo.org/users/eo_scientists));
- ✓ Прецизност: Близостта на съответствие между измерените количествени стойности и получени чрез допълнителни измервания на същите или подобни обекти при определени условия – VIM 2012;

✓ Точност: Близостта на съответствие между измерена количествена стойност и истинска количествена стойност на дадена величина. VIM 2012;

✓ Грешка при измерване: Разликата между количествената стойност, получена чрез измерване и истинската (референтната) стойност на дадена величина – ISO 19159);

✓ Времева стабилност: Възможността за регистриране на данни за изследване на дългосрочни тенденции – VIM 2012;

✓ Пълнота: Пълнотата се определя като наличие и отсъствие на обекти, техните атрибути и взаимоотношения по между им – ISO 19157;

✓ Логическа последователност: Логическата последователност се определя като степента на придържане към логическите правила за структурата на данните, атрибутите и връзките – ISO 19157;

✓ Пространствена точност: Пространствената точност се определя като точност на позицията на обектите по отношение на Земята – ISO 19157;

✓ Тематична точност: Тематичната точност се определя като точността на количествените атрибути и коректността на неколичествените атрибути, и на класификацията на обектите и техните връзки – ISO 19157;

✓ Времево качество: Времето качество се определя като качество на времевите атрибути и времевите връзки на обектите – ISO 19157;

✓ Използваемост: Използваемостта е степента на съответствие с определен набор от изисквания за качество на данните. Използваемостта се употребява за описание на специфична информация за качеството на набор от данни за конкретно приложение – ISO 19157 ;

✓ Пространствена разделителна способност (виж. 2.1.1);

✓ Времева разделителна способност (виж. 2.1.1);

✓ Спектрална разделителна способност (виж. 2.1.1);

✓ Радиометрична разделителна способност (виж. 2.1.1);

✓ Пригодност на употреба: геопространствените данни се използват широко в много приложения, включително системи за подпомагане на вземането на критични решения. Състоянието на набора от данни, наречено пригодност за употреба (Fitness of use - FoU), се използва в анализа и има пряко отношение към качеството на получената информация. Тя от своя страна е важна при вземането на решения за конкретно приложение (Shekhar and Xiong, 2008).

Най-ясната за потребителя трактовка на проблема с качеството на данните може да бъде описана като сортиране на несъответствията въз основа на наблюдение, измерване и обработка на различни класове обекти, както в (Fisher et al. 2006).

### 2.2.2. Определения и мерни единици за точност

Качество на данните от ДМ е свързано с източниците на данни и техните стъпки на обработка, като последните могат да бъдат наречени фази на жизнения път.

Характеристиките на различната разделителна способност са свързани главно със сензорите при ДМ. Те оказват фундаментално влияние върху целия жизнен път на данните и съответно върху получените продукти. В табл. 2.1 са посочени мерните единици за тях и кратко описание.

Таблица 2.1

Показатели за качество, свързани с разделителна способност (Маринов, 2012)

Име на показателя	Кратко описание	Мерни единици
ПРС	Най-малкият различим обект на земната повърхност	m, km
PPC	Ниво на квантуване на измерването	bpp/ бездименсионна
SPC	Брой канали и техните интервали на дължина на вълната	бездименсионна и $\mu\text{m}$
BPC	Честота на получаване на изображение върху дадена област	s, час, ден
Плътност	Брой на измерените точки върху повърхностни единици или в обемни единици	ppt/m <sup>2</sup> ppt/m <sup>3</sup>

Елементите на прецизност и точност са описани в Табл. 2.2. Поради нехомогенност на изследванията, възникват някои нови показатели (процент, RMSE или функции, базирани на матрица на съответствие).

Таблица 2.2

Показатели за качество, свързани с прецизност и точност

Име на показателя	Кратко описание	Мерни единици
Геометрична прецизност	хомогенност на дисперсията на извадката	размер на пиксела
Пространствена прецизност	Нивото на пространствена детайлност	m
Радиометрична прецизност/ стабилност	Верност на квантуване	%
Спектрална прецизност	Коректност на границите на спектралните канали	m (дължина на вълната), Hz (честота)
Времева прецизност	Коректност на данните за дата и час	s, час, ден

### Показатели за качество, свързани с прецизност и точност

Име на показателя	Кратко описание	Мерни единици
Пространствена точност	Точност на позицията на характеристиките по отношение на Земята	RMSE, m
Радиометрична точност	Коректност на стойностите на интензитета (неопределеност на излъчването)	%
Спектрална точност	Точност на изобразяване на сензора в дадения канал	mm, $\mu$ m
Времева точност/ валидност	Качество на продукта от ДМ във времето (колко време се съхранява добра информация)	s, час, ден
Тематична точност	Коректност на класификацията или на количествените, неколичествени атрибути	Матрица на съответствието и нейните производни показатели
Семантична точност	Качество на семантичната информация в продукта от ДМ (напр. интерпретирана карта)	Матрица на съответствието и нейните производни показатели

#### 2.2.3. Показатели за измерване на качеството

Най-важният статистически показател за оценка на точността по положение е средната квадратична грешка (RMSE) (Стойнов, 2009), която е корен квадратен от средната квадратна разлика между действителните (истински) стойности и измерените стойности на точки по положение в пространството (Congalton, 2019). Тя може да бъде изчислена теоретично като:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i)^2} \quad (2.1)$$

където:

$$e_i = e_{ri} - e_{mi} \quad (2.2)$$

$e_{ri}$  е равна на референтната (истинската) стойност на местоположението на  $i$ -тата точка;

$e_{mi}$  е равна на измереното местоположение на  $i$ -тата точка по изображението или картата;

$n$  е броят на точките.

На практика, като пример за мярка, за пространствената точност RMSE се определя от координатите по посока  $X$  и  $Y$  като следва:

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_{ri} - X_{mi})^2} \quad (2.3)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_{ri} - Y_{mi})^2} \quad (2.4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ((X_{ri} - X_{mi})^2 + (Y_{ri} - Y_{mi})^2)} \quad (2.5)$$

Друг важен показател за оценка на качеството е матрицата на съответствието, известна още като матрица на грешките. Това е таблица, която представя визуално изпълнението на класификацията (също интерпретацията). Съществуват два основни типа матрица: двоична и с много класове.

Двоичната матрица визуализира как един клас (C) и неговият допълващ (не C) са класифицирани в сравнение с действителните. Редовете на матрицата съдържат класифицираните резултати, докато колоните представят действителните (истински).

**Таблица 2.3**

**Матрица на съответствието**

		Действителен			
		Клас C	Не е клас C		
Класифициран	Клас C	TP 510	FP 228	UA 69.1%	CE 30.9%
	Не е клас C	FN 111	TN 4624	NPV 97.7%	FOR 2.3%
		PA 82.1%	TNR 95.3%	OA 93.8%	
		OE 17.9%	FPR 4.7%		

Оригиналната таблица е разширена с измерителите за прецизност и грешки, изчислени от първоначалните стойности на таблицата (запълнените стойности в матрицата са само илюстрация) (Табл. 2.3), където TP е истинската положителна, TN истинската отрицателна (правилно отхвърляне), FP фалшиво положителната (фалшива аларма, тип I грешка) и FN фалшиво отрицателната (пропускане, тип II грешка) стойност. Цветовете представляват правилността на класификацията. PA е точността на производителя (чувствителност):  $\frac{TP}{TP+FN}$ ,

UA е точността на потребителя (точност или прецизност на потребителя) или положителна прогнозна стойност:  $\frac{TP}{TP+FP}$ ,

OA обща точност:  $\frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN}$ ,

OE грешка при пропускане (omission error):  $1 - PA = \frac{FN}{TP+FN}$ ,

CE грешка при фалшиво разпознаване (commission error):  $1 - UA = \frac{FP}{TP+FP}$ ,

TNR действителна отрицателна ставка:  $\frac{TN}{FP+TN}$ ,

FPR фалшиво положителен процент:  $\frac{FP}{FP+TN}$ ,

NPV отрицателна прогнозна стойност:  $\frac{TN}{FN+TN}$ ,

FOR процент на фалшиви пропуски:  $\frac{FN}{FN+TN}$ .

Матрица на съответствието с много класове може да бъде като табл. 2.4.

При матрица с много класове, измерителите са същите, като в двоичния случай, но формулите се разширяват с увеличения брой класове.

### **Изводи от Глава 2**

Анализирани са данните от дистанционни методи, подходящи за решаване на задачи свързани със земното покритие на България.

Систематизирани са понятията и дефинициите за оценка на качеството на данните от дистанционни методи, за земно покритие.

## **Глава 3. Методи за обработка на пространствени данни за земното покритие и оценка на качеството на получените резултати**

### **3.1. Обработка посредством геометрични трансформации на пространствени растерни и векторни данни за земното покритие**

В тази част на работата са анализирани методи за обработка на пространствени растерни и векторни данни получени по дистанционни методи.

#### **3.1.1. Изследване на технологията за цифрово ортотрансформиране на въздушни снимки при използване на опорни точки от топографски карти**

Технологията за цифрово ортотрансформиране (орторектификация по Кънчева, 2021) на блокове от въздушни изображения е основна процедура за подготовката на растерни бази данни за изследвания на земно покритие.

В работата е изследван процесът на ортотрансформиране посредством цифрови фотограметрични системи. Използвани са софтуери OrthoEngine на компанията PCI Geomatics и ERDAS Imagine на Hexagon Geospatial.

В процеса на изследване са използвани цифрови изображения получени след сканиране на въздушни фотоснимки от аналогова метрична камера. Входните изображения са натоварени с грешки от характеристиките на регистриращата апаратура, ориентация на сензора в пространството, кривината на земята.

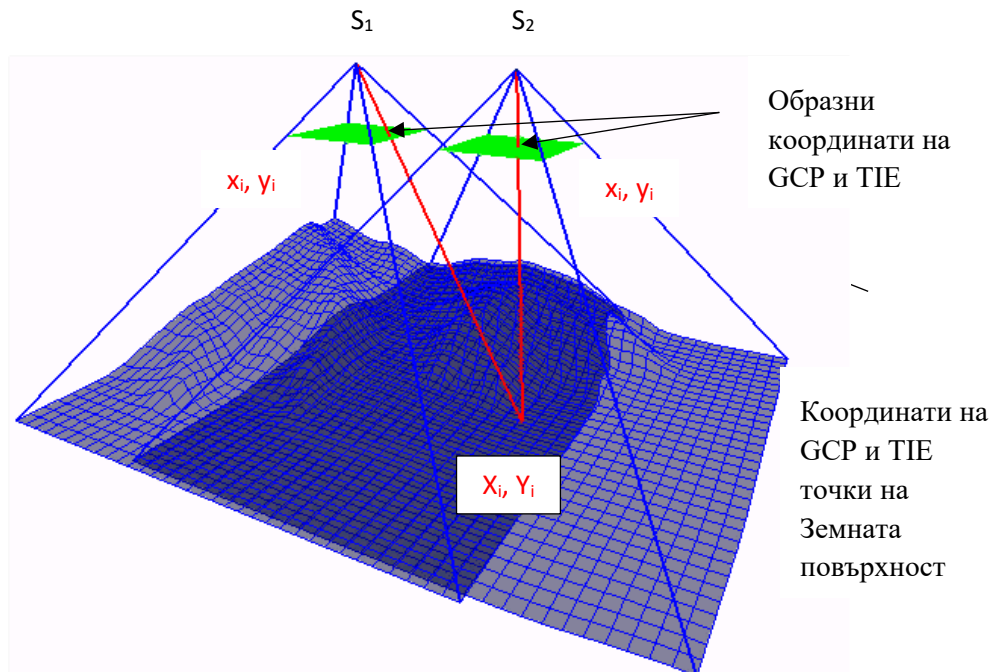
При орторектификацията се създават планиметрично и геометрично точни изображения в ортогонална проекция, при които се коригират отклоненията породени от релефа.

В цифровите системи процесът на обработка започва с генериране на фотограметричен проект с име на файл, данни за камерата (от паспорта на камерата). Избират се параметри на проекцията, координатна система, мерни единици, средна височина на летене, минимална и максимална надморска височина за територията на обекта. Изображенията се поставят в положение на тяхното регистриране от камерата/ сензора посредством вътрешно ориентиране. От тази стъпка стартира процесът за контрол на точността в системата.

За да се определят параметрите на външното ориентиране е необходимо да се изберат подходящи опорни точки (Ground Control Point, GCP - земни контролни точки ЗКТ). Цифровите фотограметрични системи притежават богат набор от инструменти за



избор на опорни точки и свързващи точки, необходими в процеса на орторектификация (Geomatca OrthoEngine, User Guide, 2018) (фиг. 3.2).



**Фиг. 3.2. Връзка на образни координати на точки и координати по положение на земната повърхност**

При ортотрансформиране на няколко изображения в един проект са необходими свързващи точки (TIE points). Те се регистрират чрез монокулярно търсене на идентичните обекти в застъпената част на две или повече изображения и измерване на техните пикселни координати. Свързващи точки между две или повече изображения могат да бъдат избрани и с автоматична процедура. За тях се изчислява средна квадратна грешка (Root Mean Square Error, RMSE) на относителната точност за всяка точка.

Важен етап от обработката на изображенията е фотограметричната триангулация. Чрез нея се построява пространствен стереоскопичен модел на обекта, който осъществява геометричната връзка между местността, изображението и картата. Резултат от аеротриангулацията са елементите на външно ориентиране на всички изображения или стереомодели и X, Y, Z координати на дискретни точки в зададената изходна координатна система (Fritsch, 1995).

В работата е използван методът на аеротриангулация за работа с блокове от изображения - снопово блоково изравнение (bundle block adjustment). При сноповото изравнение директно се определят връзките между образните координати и координатите на обекта (от местността), без да е необходимо да се изчисляват моделните

координати, като междинна стъпка (Kraus, 1997). Този метод дава най-добри резултати и широко се прилага в цифровата фотограметрия (Mensah, 1999). При него съществува възможност за лесно компенсиране на систематичните грешки.

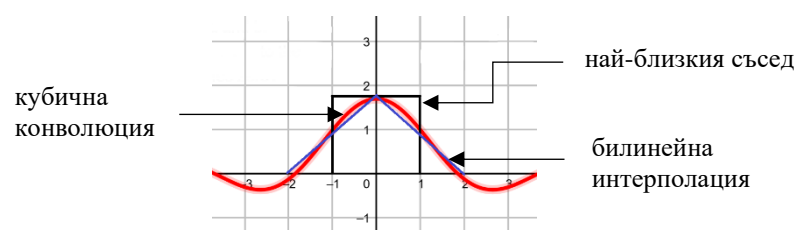
Етапа на изравнение може да бъде извършен като интерактивен процес при избор и регистриране на опорни GCP, и свързващи точки. Това дава възможност на оператора да определи точността на модела в процеса на работа, както и в края му.

В процеса на ортотрансформиране корекцията за изместване от релефа се извършва посредством ЦМР (Michael, 1997).

За създаване на цифров модел на релефал в системата се извършва автоматично генериране на епиполярни равнини. Цифровото изображение се представя като двумерна матрица, елементите на която са числени стойности, съответстващи на нивото на сивото за съответния пиксел.

Системата OrthoEngine позволява и редактиране на цифровия модел на релефа. Процесът на обработка включва и ресемплиране (вторично дискретизиране на изображенията), при което се извършва извличане и интерполиране на нивата на сивото от оригиналните пиксели към коригираната им позиция. Опциите на OrthoEngine за ресемплиране са алгоритмите: метод на най-близкия съсед, билинейна интерполация, кубична конволюция, „ $\sin x/x$ ”.

Най-често се използват първите три, въпреки че „ $\sin x/x$ ” теоретично дава най-добри резултати. „ $\sin x/x$ ” позволява почти точна реконструкция на оригиналната информация за пикселите (Wolf et al., 2004). Кубичната конволюция (кубичният сплайн) е приближение на функцията „ $\sin x/x$ ”, която обикновено се използва за интерполация вместо нея. За сравнение на фиг. 3.6 са показани трите най-използвани функции, изразени под формата на подобни графики за претегляне. От нея е видно, че кубичният сплайн най-много се доближава до „ $\sin x/x$ ” функцията, за разлика от билинейната интерполация и най-близкия съсед.



Фиг. 3.6. Функции за ресемплиране изразени чрез графики за претегляне

В софтуерните системи са готови за прилагане и филтри (средно-аритметични, медианни, гаусови, както и въведени от потребителя).

Генерирането на ортоизображения е процес на трансформиране от централна перспективна проекция към ортогонална проекция. Има два подхода за трансформация в изображението: директен и индиректен (Wang and Madani, 2002). Изследван е директният подход, при който пикселите от изображението се трансформират чрез уравненията за колинеарност в ортотрансформирани пиксели. Влиянието на наклона на изображенията и релефа на терена водят до неправилно разпределение на пикселите в новополученото изображение. За тази цел се извършва интерполация за изчисляване на височините на всички точки от мрежата в ортоизображението.

Тримерните координати  $(X, Y, Z)$ , определени от пиксела в ЦМР, се трансформират в изображението чрез уравненията, изразяващи условието за колинеарност на проектиращите лъчи (формули 3.2) (Тепелиев и др., 2018).

$$x = x_p - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = f_x(x', y')$$

$$y = y_p - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = f_y(x', y')$$
, (3.2)

Където  $x', y'$  са еквивалентни на картните координати  $X, Y$ .

В позицията  $(x, y)$  на изображението стойността на нивото на сивото се интерполира чрез някой от методите за преизчисление, споменати по-горе като ресемплиране. Нивото на сиво се записва в местоположение  $X, Y$  на цифровото ортоизображение, което е еквивалентно на точката в ЦМР.

За да се извърши тази трансформация, трябва да са известни следните параметри:

- ✓ елементите на вътрешно ориентиране:  $x_p, y_p, c$  (фокусно разстояние);
- ✓ елементите на външно ориентиране:  $X_0, Y_0, Z_0$ , (координати на проекционния център,  $R$  – ротационна матрица, съставена от ъглите на завъртане  $\varphi, \omega, \kappa$ ;
- ✓ разстоянието между пикселите на цифровото изображение:  $p_x, p_y$  (mm);
- ✓ размерът на клетката на пикселите от ЦМР в наземни единици:  $g_x, g_y$  (m);
- ✓ референтни координати на един пиксел от ЦМР в приетата картна проекция.

Мозайкирането е последният етап от технологичния път на ортотрансформиране, който представлява свързване на две или повече изображения заедно в обща сцена. В процеса на работа се изисква дефиниране на линиите на срязване, а в много случаи се прилага радиометрична корекция (за изравняване на тона).

#### Извод

Суровите въздушни и спътникови изображения имат голямо геометрично изкривяване, причинено от систематични и несистематични фактори. Фотограмметричното моделиране, базирано на уравнения за колинеарност, елиминира тези грешки най-ефективно и създава надеждни ортоизображения. В процесите на обработка се изследва геометрията на формиране на изображението, използва се връзката между припокриващи се изображения и се работи с третото измерение: височината. Заедно с това се извършва постоянен контрол в отделните стъпки на процеса и постигнатите резултати са с конкретна геометрична и тематична точност и могат да бъде предварително дефинирана в зависимост от входните данни.

#### **3.1.2. Изследване на геометрични трансформации прилагани за хармонизиране на растерни и векторни бази данни, получени след геореферирание и ортотрансформиране на спътникови изображения**

Въпросът за изследването на точността при геометричните трансформации прилагани при хармонизиране на растерни и векторни бази данни възникна по проекта „КОРИНЕ Земно покритие – 2000” (CLC2000), и има за цел корекция на базите данни получени през 90-те години (CLC90) и създаване на две нови бази данни – на промените в земното покритие, настъпили в периода 1990-2000 г. и на земното покритие за 2000 г. Основни за изграждането на тези бази данни са спътникови изображения от спътника Landsat, получени през съответните години.

Входните бази данни за изпълнението на проекта CLC2000, са получени в резултат на сложен технологичен процес, при всеки етап от който има източници на грешки.

Систематичните грешки засягат всички векторни и растерни бази данни. Те са общи за целия комплект от входни данни и затова могат да се моделират и коригират с една глобална операция. Тяхната оценка и корекция трябва да предхожда началото на работа по изграждането на новите бази данни.

Изследват се растерните БД - изображенията от 2000 г. - IMAGE2000, които са ортотрансформирани по зони в система 1970 г. Постигната е планиметрична точност на

ортотрансформираното многоканално изображение от 1 пиксел или 25 m. Те се използват за референтни, за това се преминава отново през процедура на оценка на точността им.

Изследват се растерните БД IMAGE90, задължителна стъпка в технологията за изпълнение на проекта (CLC Technical Reference Document, 2000). Изображенията са геореферирани в система 1970 г. по опорни точки от топографски карти М 1:25 000, без цифров модел на релефа, те са натоварени с грешки в геометрията. Оценката на точността се извършва по технологията „image-to-map” на 2 нива. Ако има по-големи отклонения се извършват трансформации за привеждане геометричните характеристики на IMAGE90 към стандартите на точност в изображенията от базата данни IMAGE2000.

Векторната база данни CLC90 е създадена по технология на хартия (hardcopy). За корекцията и са приложени глобални геометрични корекции за компенсация на несъответствията, които имат систематичен характер (Димитров, 2003), (Димитров и др. 2005). Изследва се коригираната векторна база данни CLC90 като се сравнява с еталона IMAGE90. При отчитане на общото несъвпадение, ако резултатите показват минимални отклоненията от еталона, то следва, че е направена добра систематична корекция във векторната база данни CLC90 и може да се премине на етап интерпретация.

#### *Изводи*

При установена геометрична съвместимост на изследваните растерни данни от 1990 г. и 2000 г. е възможно използването им в процеса на интерпретация и корекция на векторната база данни от 90-те години.

Оценката на геометричната точност на векторната база данни CLC90 и прилагане на адекватни преобразувания за изравняването и с подобрената геометрия на изображения от 1990 г. и 2000 г. осигурява прецизна работа по проекта „КОРИНЕ Земно покритие”.

### **3.1.3. Изследване на цифрово ортотрансформиране на спътникови изображения при използване на опорни точки от геодезически измервания**

Изследван е процесът на цифрово ортотрансформиране на спътникови изображения, с един или повече канали в оптичния диапазон на електромагнитния спектър, с висока пространствена разделителна способност (размер на пиксела до 1 m в панхроматичен и до 4 m в многоканален режим).

Изследването има за цел да се избере технология за изготвяне на актуална спътникова карта на земното покритие като основа за дендрологичен анализ.

Избрани са подходящи входни данни от дистанционни методи - сцена от архива на European Space Imaging, заснета на 28 октомври 2004 г. от спътника IKONOS.

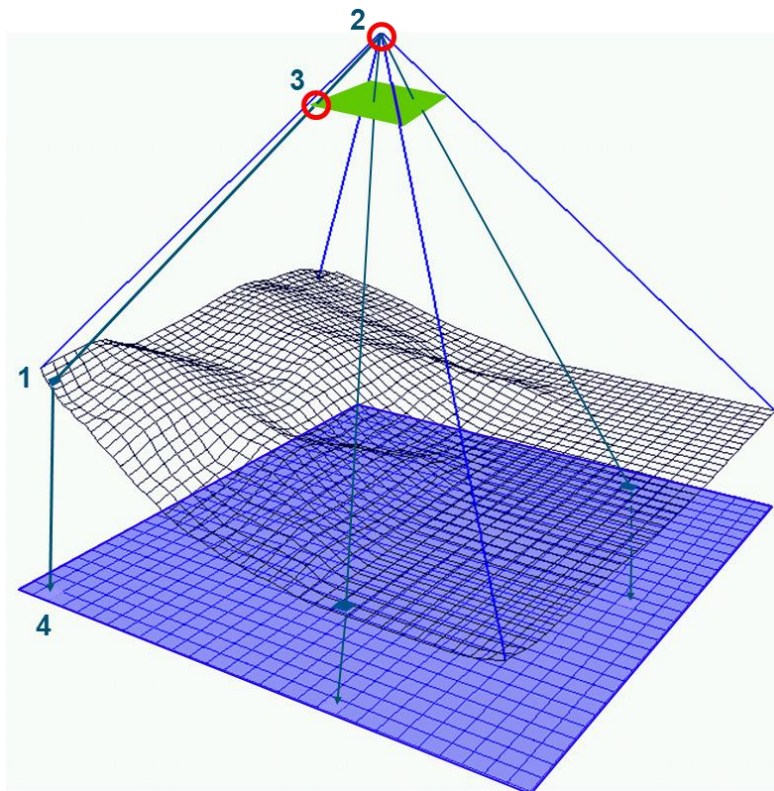
При използването на архивни спътникови изображения е невъзможно предварително маркиране на опорни точки (ОТ) на терен. Алтернативата е избор на потенциални точки едновременно в изображението и в едромасщабни топографски карти или само в изображението със следваща идентификация и измерване на терен. Последователно са извършени действия както следва:

- ✓ Първоначално геореферирание на полученото изображение в координатна система на картите;
- ✓ Избор на потенциални опорни точки в спътниковото изображение за измерване на терен при съблюдаване на основни правила;
- ✓ Изготвяне на оптимален маршрут за обхождане;
- ✓ Извършване на обход на терен;
- ✓ Извършване на измерване с ГНСС приемник;
- ✓ Създаване на цифров модел на релефа в зависимост от наличните материали;
- ✓ Геометрична корекция на изображения от IKONOS (по три метода: полиномни функции, дробни рационални полиномни функции и строг параметричен модел)

След анализ за орторектификацията на IKONOS изображението е избран строгият (параметричен) модел на Toutin (PCI, 2003). Той е сравнен с другите два метода и дава по-добри резултати при използването на по-малък брой опорни точки. Параметричният модел се основава на условието за колинеарност. Моделът отчита характеристиките на всички елементи, участващи във формиране на геометрията на регистрираното изображение.

- ✓ Извършване на орторектификация първо на панхроматичното изображение (прилага се метод за ресемплиране с дискретна функция „ $\text{Sinx}/x$ ”) (Фиг. 3.8). При получената точност на модела и ЦМР очакваната средна квадратна грешка за трансформираното изображение е 1.5 – 2 пиксела (Toutin, 2003).

- ✓ Извършване на орторектификация на многоканалното изображение (Кънчева, 2020), като се използват опорни точки, избрани във вече ортотрансформираното панхроматично изображение.



**Фиг. 3.8. ЦМР и орторектификация (1 - пиксел в ЦМР, височина, 2 – информация за сензора, 3 – изображение, 4 – пиксел в орторектифицираното изображение)**

- ✓ Подобряване на визуалните качества на изображенията чрез таблици на съответствие и процедура за панподобряване (Pansharpening).

### *Изводи*

Представената методика описва цялостния процес за изготвяне на актуална спътникова карта. Използвани са предимствата на избраните входни спътникови данни от архив. За провеждането на теренни измервания в панхроматичния канал е изследвана процедура за избор на контрастни потенциални опорни точки с подходящо местоположение. Координатите на точките са измерени с ГНСС приемник. При ортотрансформацията са проучени няколко метода за трансформация и е избран като най-подходящ строгият параметричен модел на Тутин. За подобряване на визуалните качества на изображенията е използвана създадената процедура за прилагане на таблици на съответствие и панподобряване. Процесът на ортотрансформиране осигурява точни и бързи резултати и може да бъде използван в бъдещи проекти за създаване на обзорни и

детайлни спътникови карти за дешифриране и очертаване границите на дървесно-хростовата растителност и отделни ценни дървесни видове.

### **3.1.4. Изследване обработката на изображения от БЛС за осигуряване на допълнителни данни за земно покритие в горски територии**

Процесът на обработка на данни от БЛС е изследван във връзка със задачата за заснемане на част от територията на природен парк в България. Целта е да се избере подходяща технология за периодично заснемане на територията на парка и обработка на получените резултати, която да осигурява допълнителни данни с висока пространствена разделителна способност. Те са необходими при разновременни анализи в ГИС среда в проекти за управлението на парка.

Особеностите на територията на парка като денивелация от 1200 m, гъста дървесна растителност, труднодостъпни места за излитане и кацане, ограничиха избора на БЛС.

Изследвани са два типа системи, такива с фиксирано крило и коптери (Rester at al, 1994). Търсена е планиметрична точност на резултантното ортофото в рамките на 1m. Избрана е БЛС с фиксирано крило senseFly e-Bee. Тя излита от ръка и не е необходима допълнителна установка, което значително намалява теглото на необходимото оборудване. Заедно с напълно автоматичния полет и процедурата за кацане той изисква минимално обучение за експлоатацията. Системата senseFly e-Bee се поддържа в софтуера Pix4D за последваща обработка.

Поради експлоатационните характеристики на този тип летателни средства и по специално малкия обем и тегло, заснемането с БЛС се характеризира със следните особености (Петров, 2014):

- ✓ Изпълнява се с малкоформатни камери водещи до получаване на голям брой снимки, всяка от които в зависимост от показателя пиксел на земната повърхност (Ground Sample Distance – GSD) на изображението покрива сравнително малка част от района за фотографиране;
- ✓ Получават се цветни изображения с висока пространствена и радиометрична разделителна способност;
- ✓ Имат по-силна чувствителност към метеорологичните условия;
- ✓ Възможни са евентуални разкъсвания между заснеманията;



- ✓ Поради особеностите на територията в паркова среда, дърветата и гъстата растителност често изглеждат много различни между припокриващите се изображения.

За компенсирането на тези особености при въздушното заснемане с БЛС на територията на парка се препоръчва съблюдаване на следните по важни изисквания:

- ✓ Увеличаване на количеството на земни контролни точки (GCP);
- ✓ Увеличаване на застъпването между изображенията;
- ✓ Периодично определяне на системните грешки на обектива чрез калибриране на камерата;
- ✓ Избор на подходящи метеорологични условия;

Планът за летене зависи от необходимия пиксел на земната повърхност GSD, от спецификациите на проекта и типа обект на терена, който ще бъде възпроизведен. При некоректно зададен план за летене може да се получат неточни резултати или неуспех при обработката и да се наложи ново заснемане.

В избраната система, софтуерът на автопилота „e-motion”, включва функция за създаване плана за летене. Той дава възможност за избор на параметри като: област на интерес, процентът на припокриване между изображенията, желани GSD, процедура за кацане и т.н.

Още една задача преди полета е изборът на земни контролни точки (GCP), използвани за определяне елементите на външно ориентиране и част от тях за контрол на резултатите от обработката. Повечето БЛС вече са снабдени с ГНСС приемник на борда. Така изображенията получават и позиция за всеки пиксел в пространството (Динков, 2023).

При невъзможност за работа на ГНСС с висока точност на БЛА, за земни контролни точки се определят добре видими елементи от инфраструктурата или се маркират с различими по цвят марки, с ясен център близък до 1 рix. Местата на GCP се отбелязват на реперни карнети и се прави снимка на място. Измерване на позицията се извършва чрез високоточен ГНСС приемник, с използване на мрежа от перманентни станции за корекция на позицията или с други геодезически методи. Броят на GCP е минимум три от гледна точка на привързване на геопространствени продукти към дадена координатна система (Sorin et al., 2023).

В зависимост от приложението самолетите позволяват монтиране на различни по

вид камери, обикновено калибрирани преди работа. В софтуера за обработка се поддържат всички стандартни за съответната БЛС параметри на камери, които се избират или въвеждат от файл.

Същинската обработка на аероснимките включва следните основни етапи:

- ✓ Избор на GCP точки за повишаване точността на модела;
- ✓ Автоматичен избор на свързващите точки (Tie points) и определяне на елементите на външно ориентиране за всяка аероснимка чрез решаване на аеротриангулация по способа на едновременното изравнение на сноповете едноименни проектиращи лъчи;
- ✓ Построяване на цифров модел на повърхността във вид на облак от точки;
- ✓ Формиране на орторектифицирано изображение;
- ✓ Контрол на планиметричните отклонения;

#### *Изводи*

В работата е анализиран процесът на цифрово ортотрансформиране на изображения получени от безпилотни летателни системи - БЛС. Приложен е софтуер за обработка Postflight Terra 3D на Pix4D (<https://www.pix4d.com/>). Процесът е автоматизиран като позволява използване на данни за геопривързване на изображението посредством вграден ГНСС приемник на борда на БЛА както и въвеждане на опорни точки от наземни геодезически измервания.

Въз основа на изследването е изготвена процедура за работа както е направена и оценка за пригодност. След успешния експеримент избраната система е внедрена за работа в парка. Тя дава възможност да се събират бързо и навременно данни за проверки при регистриране на извършени мероприятия в процеса на управление.

### **3.2. Обработка посредством процедури за компютърно подпомогнатата интерпретация на спътникови изображения**

Компютърно подпомогнатата интерпретация на спътникови изображения е технология за работа, утвърдена по проекта „КОРИНЕ Земно покритие“ от неговото начало през 90-те години до днес. Тя решава две задачи. Първата е обновяването на създадената векторна база данни от предходен период чрез проверка - ревизия на базата данни, включваща геометрични и тематични корекции. Втората е откриване на настъпилите промени към момента на обновяване и създаване на векторни бази данни „Промени в земното покритие“.

При работата по проекта на първия етап (средата на 90-те години) е извършена визуална интерпретация на спътникови изображения от Landsat 5 TM върху хартиени фотокопия („hard copy” технология) (Bossard et al., 2000). Фотокопията са в мащаб 1:100 000 с разграфката и номенклатурата на топографската карта в същия мащаб. Този начин на работа се определя от тогавашното ниво на компютърните технологии. Системи за геореферирание на изображения е използвана само първоначално за подготовка на спътниковите изображения. Постигнати са оптимални за визуалната интерпретация геометрични, спектрални и цветови характеристики на изображенията, отпечатани върху хартиените фотокопия. Избрана е цветна композиция, съставена от канали 4, 5 и 3 на сензора, кодирани за червено, зелено и синьо. При геометричната корекция не е използван цифров модел на релефа. Интерпретацията на изображенията върху хартиените фотокопия се състои в определяне границите на площни единици (полигони), съответстващи на номенклатурата на класовете земно покритие по проекта (Глава 4, табл. 4.13) с едновременна визуална справка със спомагателни материали. Ограниченията за обособяване на полигоните са минимална площ 25 ha и минимална ширина 100 m. Изчертаването на полигоните се извършва върху прозрачен материал, наложен върху хартиеното фотокопие на изображението, след което те се дигитализират.

Развитието на компютърните технологии дава възможност в следващите етапи на проекта „КОРИНЕ Земно покритие“ (Стоименов, 2003) да се извършва едновременна интерпретация и дигитализация директно върху визуализираните на екрана цифрови спътникови изображения „soft copy” технология (Bossard et al., 2000). Съответните изисквания могат да се задават в специално разработени интегрирани ГИС. Интегрираните системи притежават средства за управление на векторната база данни, работещи заедно с растерните данни, което позволява използването на тези системи за компютърно подпомогната интерпретация и обновяване на векторната база данни въз основа на изображенията. Едно от най-ценните свойства на интегрираните системи е възможността да се обработват едновременно няколко географски бази данни съответно в един или в няколко прозореца, ако са в една и съща координатна система. Към всеки прозорец могат да се привързват отделни цветни или черно-бели изображения, респективно при избрани комбинации от спектрални канали в условни цветове.

За проекта „КОРИНЕ Земно покритие“ е създадена такава интегрирана система за компютърно подпомогнатата интерпретация – софтуерът Inter Change, първоначално като надстройка на ArcView 3.2, а в последствие като самостоятелен продукт.

След като са съвместени растерните и векторните данни и са направени корекции на систематичните грешки, в процеса на интерпретация са останали случайни планиметрични отмествания, грешки от логическа свързаност и семантична точност и пълнота. Тази методика е приложена в процеса на интерпретацията в т. 4.2 и т. 4.3.

### **3.3. Обработка посредством процедури за доставяне и организация на допълнителни данни за контрол на качеството на пространствени данни**

#### **3.3.1. Изследване на методи за избор и подготовка на допълнителни данни при проекти за земно покритие**

Един от основните подходи за повишаване на геометричната и тематична точност в проекти за картографиране на земното покритие на България е използването на допълнителни данни. В два конкретни проекта „КОРИНЕ Земно покритие 2000” (за цялата територията на България) и „EUROSION” (за откриване на промените в земното покритие на крайбрежната зона на Европа), се наложи откриване на промени за периоди напред и назад от определен момент.

Процесът на създаване на бази данни за настоящи и минали периоди, се основава на компютърно подпомогната интерпретация по спътникови изображения от Landsat. За нуждите на проектите са използвани спътникови изображения от три поколения Landsat 1 MMS, Landsat 5 TM, Landsat7 ETM+, съответно за 1975, 1990, 2000 година. Поради технологичното развитие е настъпило подобряване на пространствените и спектралните характеристики на спътниците. Етапът на сравняване на изображения от различни епохи налага предварително изравняване на характеристиките при търсене на най-добрите възможни показатели.

Работи се със спътниковите данни, които са съвместими. (Данаилова, Стоименов, 2003). За съжаление не всички изисквания се удовлетворяват. Съществуват обекти, които не могат да бъдат разпознати само по основните спътникови изображения. Това налага използването на спомагателни данни и полски проверки.

#### *Рационален подход за достъп и визуализация на цифрови спомагателни данни в проекти за земно покритие/земеползване*

Този подход е разработен и приложен в по-горе споменатите проекти в процеса на интерпретация и верификация на създадените векторни бази данни за Земното покритие на България. Детайлно е описан в експерименталната част на тази дисертация. Тук се анализира обосновката на необходимостта от използване на допълнителни данни,

тяхното състояние, разнородност и количество, които налагат разработването на този подход.

#### *Обосновка на необходимостта от използване на допълнителни данни*

Съгласно изискванията по ревизиране и откриване на промени в земното покритие, когато възниква несигурност, се налага интерпретаторът да взема решения и въз основа и на спомагателни данни. Такива случаи са:

- Наличието на територии с неясна структура, при които смяната на комбинацията от спектрални канали не води до решение (лозя, овощни градини, строителни обекти);
- Затрудненото разпознаване на обекти предизвикано от по-ниската пространствена разделителна способност на използваните сензора за регистрация на данните;
- В случаите на ревизиране на данни от минали периоди, когато не е възможна полска проверка се налага ползване на архивни аероснимки и топографски карти;
- При вземане на решения за коригиране на вече изградената векторна БД 1990 г. (търси се повече от едно потвърждение);
- Когато територия от горския фонд попада в сянка от релефа. За уточняване характера на покритието в сянката освен смяна на канали е полезно наличието на карта с хоризонтали;
- Когато имаме облак и той закрива част от територията;
- Когато даден вид култура не се различава на изображението поради етапа на вегетационното си развитие;
- При несигурност дали дадено различие е промяна или резултат от етап на сеитбообращение (незасадена за определен период орна земя);
- При идентификация на обекти покрити частично или изцяло с вода – острови, брегова линия, плажове;

В процеса на формиране на цифрови данни аероснимките и топографските карти се сканират и подлагат на геометрични трансформации.

#### *Организация за съхранение, достъп и подбор*

Наличието на огромен обем от разнородни по мащаб и вид данни налага търсене на решение за тяхното съхранение и подреждане в подходяща БД. Изграждането и

поддържането на такава БД поражда изисквания за гъвкав достъп до данните и осигуряване на конкретни условия в полза на интерпретаторите както следва:

- Лесно и бързо да получават информация за наличие или отсъствие на допълнителни данни в дадена област на интерес;
- Лесно и бързо да достигнат да мястото където се съхранява информацията;
- Да не се губи много машинно време при визуализация на данни върху екрана;
- Данните да попадат на точната геопозиция при визуализация;
- Геометричната точност на въвежданите обекти до покрива изискванията на проекта.

#### *Постигнати резултати*

В работата е създадена методика за оптимизация на процеса по събиране и използване на допълнителни данни, с цел повишаване на геометричната и тематична точност в процеса на изготвяне на карти на земното покритие. Съблюдавани са условията за минимално използване на хардуерни, софтуерни и човешки ресурси. ГИС системата е надградена с нова структура за да се подпомогне бързия и правилен избор на подходящите допълнителни данни. Този подход за организация на данни е много успешен във фазата на верификация, когато се работи с данни покриващи голяма територия. Постигнат е бърз и коректен избор на специални препокриващи се данни. Развитата технология е приложена в по-горе споменатите проекти.

#### **3.3.2. Изследване на организацията на теренни проверки като метод за осигуряване на спомагателни данни в проекти за земно покритие и повишаване качеството на интерпретацията**

Теренните проверки в много случаи са решаващи за правилната интерпретация на използваните данни. Това е скъп метод поради значителните разходи за транспорт, труд и време за изпълнение. В работата експериментално е представена една оптимизирана организацията на теренни проверки по проект, с използване на съвременните методи и оборудване за събиране на необходимите данни. Използваният подход допринася за намаляване на разходите и технологичното време.

В проекта „КОРИНЕ Земно покритие 2000 – България”, където е реализиран експеримента, целите при провеждане на теренна проверка зависят от етапа на работа. В предварителният етап, извършването на теренна проверка е свързано с визуалното опознаване на ландшафтните и съответното им разпознаване върху спътниковото

изображение. Тя спомага за обучение на интерпретаторите в правилното кодиране на класовете земно покритие по номенклатурата на проекта.

В следващият етап чрез теренната проверка се цели решаване на проблеми възникнали в процеса на компютърно подпомогната интерпретация на спътникови изображения, при определяне на:

- типа земно покритие за даден полигон;
- точните граници на полигона;
- наличие/отсъствие на промяна в земното покритие;
- вид на промяната.

Теренната проверка е метод за контролиране верността на интерпретацията (Danailova, 2005).

Чрез теренната проверка се набавят огромно количество допълнителни данни. Те се архивират в новосъздадена база данни - допълнителни данни (Winkler, 2004). По този начин могат да се ползват и за други задачи и изследвания.

### **3.4. Обработка посредством допълнителни процедури за повишаване на качеството на пространствени данни**

#### **3.4.1. Повишаване на геометричните и тематични качества на данните посредством методи за смесване на данни**

Последните достижения в развитието на спътниковите технологии предоставят широк диапазон от параметри на панхроматични и многоканални изображения, позволяващи детайлен анализ на елементи на природната среда и висококачествено картографиране. В много случаи за тези цели се използват и многоканалните спътникови изображения със средна разделителна способност. За повишаване геометричните и тематични качества на компютърно подпомогнатата интерпретация на спътникови изображения като най-ефективно средство се извява методът за смесване на данни. При него се използват данни от сканери с различна пространствена и спектрална разделителна способност. Като резултат се постига по-висока пространствена разделителна способност - детайлност при многоканалните и подобрени цветови качества на панхроматичните изображения – повишена тематична точност. В настоящата работа са описани основните методи за смесване на данни от спътникови изображения. Направен е експеримент за подобряване на геометричните характеристики на многоканални изображения от Landsat 7 и на тематичните характеристики в

панхроматично изображение от SPOT 5. Получените синтетични изображения са използвани при тематично картографиране на градски, извънселищни и горски територии.

Опити за ефективно комбиниране предимствата на двата типа изображения започват в началото на 80-те години при проектирането на френския ресурсен спътник SPOT. Заимстват се методите за „смесване на данни“ (data fusion), които имат широко приложение в различни области на науката и практиката (Klein, 1993).

При обработката на спътникови изображения най-често като синоним на „data fusion“ се употребява терминът „pansharpening“, с което се поставя ударение на подобряването на пространствената разделителна способност на многоканалните изображения с използване на данните от панхроматичния канал.

След широко обсъждане в SIG на EARSeL се приема дефиницията, публикувана от Wald (1998). Настоящата разработка се придържа към тази дефиниция: „Съвместяването на данни е формална процедура, при която се използват методи и средства за обединяване на данни от различни източници. Целта е да се получи информация с по-високо качество, като дефинирането на по-високо качество зависи от конкретното приложение“ (Wald, 1998).

*Подобряване на пространствената разделителна способност на многоканалните изображения с използване на панхроматичния канал.*

В най-общ вид панподобряването е операция, при която две входни спътникови изображения  $I_{pan}$  и  $I_{ms}$ , по определен алгоритъм  $f$  се преобразуват в изходно синтетично изображение:

$$I_{syn} = f \{ I_{pan}(P), (C1, C2, \dots, Cn) \}, \quad (3.3)$$

където:  $I_{pan}$  е едноканално панхроматично (P) изображение, а

$I_{ms}$  - многоканално изображение с  $n$  на брой канала ( $C1, C2, \dots, Cn$ ).

Данните в новите  $n$  канала ( $C'1, C'2, \dots, C'n$ ) на новото синтетично изображение запазват в определена степен (в зависимост от използвания алгоритъм) спектралното богатство на многоканалния оригинал и имат по-високата пространствена разделителна способност на панхроматичния канал.

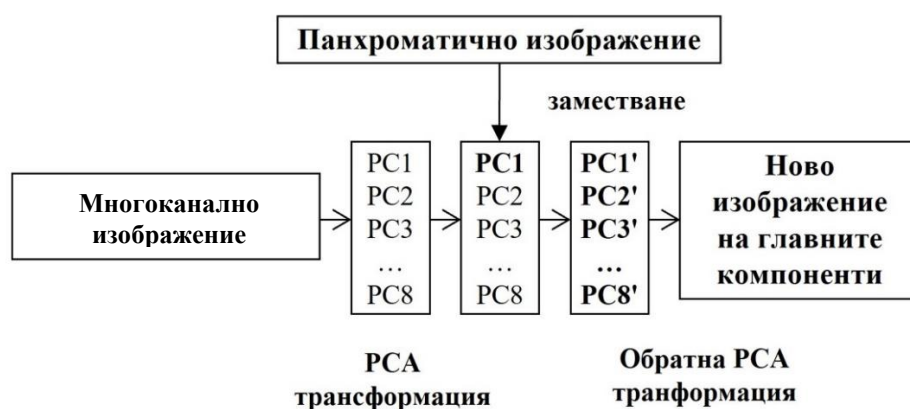
Панподобряването включва ред преобразувания, показани схематично на фиг. 3.10.





Процедурата на панподобряване схематично е представена на фиг. 3.11 След преобразуването RGB – IHS компонентата I се замества с панхроматичния канал P. Върху новата комбинация се извършва обратно преобразуване IHS – RGB. Получената нова R'G'B' цветна комбинация има разделителната способност на панхроматичния канал и в сравнително добра степен запазва цветността на оригиналното изображение.

При метода на главните компоненти се използва преобразуването на Карунен-Лоеве (Jensen, 1982), което е най-ефективно в случаите на висока степен на корелация в голям брой от каналите. Получава се ново компресирано изображение с два или повече канала и повишена информативност на създадените канали.



**Фиг. 3.12. Панподобряване по метода на главните компоненти**

Последователността от операции при реализацията на този метод е представена на фиг. 3.12. Входното многоканално изображение, с по-ниска разделителна способност от панхроматичното, се подлага на PCA преобразуване. След това преобразуване данните по една от главните компоненти (най-често първата главна компонента – PC1) се замества с данните от панхроматичния канал. Извършва се обратна трансформация за преход към пространството на оригиналното изображение. В резултат на това се получава серия от панподобриени канали. Новополученото панподобро изображение в значително по-висока степен от IHS метода запазва спектралното богатство на оригиналното изображение (Zhang, 2004).

Панхроматичните канали на съвременните спътниците, базирани на силициеви CCD сканери, вече са чувствителни в диапазона 0.4 – 0.9  $\mu\text{m}$ , което допълнително влошава цветовите характеристики при използване на преобразуванията, разработени преди появата на нови спътници.

Това предизвика в последно време разработката на нови методи, базирани на

ортогонални преобразувания, уейвлети и статистически методи.

Особено ефективен е методът на Цанг (Zhang, 2002), реализиран в софтуера на PCI Geomatics след версия 8.6 (Focus User Guide, 2013). Двете изображения трябва предварително да са взаимно регистрирани, а процесът на сливане е едностъпков – ресемплирането е обединено със смесването. Този софтуер решава два важни проблема: внася минимални промени в цветовите характеристики на оригинала и получаваните резултати са независими от действията на оператора.

Използва се методът на най-малките квадрати за намиране на най-близкото приближение между стойностите на сивото в избраните за сливане канали. По този начин се настройва комбинацията на отделните канали за внасяне на минимални изкривявания в цвета. Процесът на сливане е напълно автоматичен без намеса на оператор.

Всички изброени предимства на метода на Цанг и достъпът до софтуера на PCI Geomatics определят избора му за работа в експерименталната част на тази дисертация.

- *Изводи*

Направеният преглед на основните методи за смесване на данни от панхроматични и многоканални изображения показва големите предимства на тези методи за подобряване визуалните качества на получените синтетични изображения. Панподобряването широко се прилага при тематичното картографиране с използване на спътникови изображения като главен източник на актуална информация за земното покритие. С помощта на този метод се постига повишаване на тематичната и геометрична точност при компютърно подпомогнатата интерпретация и се ускорява процеса на работа без загуба на качество в крайния продукт.

### **Изводи от Глава 3**

В работата са изследвани основни методи за обработка свързани с фазите от производствения процес на пространствени данни получени по дистанционни аерокосмически методи. Задълбочено са описани някои практически процеси от обработката, с които се извърши успешно проследяване на грешките и оценка на качеството за ефективното използване на пространствени данни за земно покритие. Извършената оценка на точността е от една страна, за да се представят правилни и точни данни за дадена задача, от друга страна да се повиши качеството на информацията за карта чрез идентифициране и коригиране на източниците на грешки или чрез последващи процедури за цифрова обработка.

## **Глава 4. Експериментални изследвания за обработка на пространствени данни за земно покритие и анализ на резултатите**

В изпълнение на поставените задачи на дисертацията, изследваните методи за обработка на пространствени данни получени по дистанционни аерокосмически методи са подкрепени с практически примери. Дисертацията включва осем реални експеримента от територията на Р. България, свързани с процеси на цифрова обработка на пространствени данни от дистанционни методи, в които са постигнати конкретни научни и научно-приложни приноси.

### **4.1. Експеримент за цифрово ортотрансформиране на въздушни снимки и точности получени при технологията**

Процесът на ортотрансформиране е извършен посредством цифрова фотограметрична система. Избран е метод на работа с архивни аероснимки заснети с аналогова метрична камера и обработка на блокове по земища. Опорни точки са избрани от топографски карти. За контрол са използвани точки получени от геодезически измервания. В процеса на обработка е създаден цифров модел на релефа от стереодвойки изображения. Полученият модел е подложен на корекция и в следствие чрез него са генерирани ортотрансформирани мозайки на територията. Те са използвани за изследване на промените в състоянието на лозовите масиви в осем земища по задачи на Агенцията за лозата и виното. В резултат от приложния метод на цифрово ортотрансформиране, е представен пример за технологично решение, което е внедрено при актуализиране на карти в извънселищните територии.

В следствие технологията е повторена за обработка на изображения получени от цифрови въздушни камери и предварително маркирани, и измерени опорни точки с висока точност. За експериментите са използвани цифрови софтуерни системи.

Изследваните техники и подходи са успешно внедрени в практиката за обработка на входни данни от дистанционни методи и за контрол над получени резултати.

### **4.2. Експеримент за изследване на геометрията на растерни и векторни бази данни по проект „КОРИНЕ Земно покритие 2000 – България”**

Направени са изследвания за получаване на информация за точностите на входните растерни и векторни данни в проекти за земно покритие. При отклонения извън допустимото са предприети геометрични трансформации. След направени трансформации базите данни отново са подложени на проверка с цел хармонизация.

Демонстрираните резултати доказват адекватността на геометричните преобразувания приложени върху векторните и растерни бази данни Земно покритие. Приложената методика за оценка на качеството е използвана по проект „КОРИНЕ Земно покритие 2000 – България”.

#### **4.3. Експеримент за изследване на качеството и отстраняване на грешки в процеса на компютърно подпомогната интерпретация на спътникови изображения при създаване на векторни бази данни за земното покритие**

Изследването е направено в процеса на компютърно подпомогната интерпретация и създаване на национална база данни за земното покритие на България, разработена по общоевропейския проект „КОРИНЕ Земно покритие”.

Регистрирани са два типа грешки:

Случайни геометрични грешки, които имат субективен характер:

- локални отмествания на контурите, по-големи от 100 m, получени при изчертаването им върху хартиените фотокопия или тяхната дигитализация;
- неточно очертани или неочертани полигони, което се дължи и на тематични грешки при интерпретацията.

Вторият вид грешки, са грешки свързани с тематичната точност на получените БД. Те се отнасят до логическата свързаност и семантичната точност и пълнота на векторната база данни съгласно изискванията на проекта. Опитно са установени и описани възможните решения за отстраняването или избягването на тези грешки в процеса на интерпретация.

Изследването доведе до създаване на предписания, с конкретни решения при възникване на проблеми с правилната идентификация на класове земно покритие по номенклатурата на проекта, с правилното очертаване на граници и с потвърдението или отхвърлянето на промени.

#### **4.4. Разработване на методика за достъп и визуализация на цифрови спомагателни данни в проекти за земно покритие/ земеползване**

Разработена е методика за достъп и визуализация на цифрови спомагателни данни и е приложена в процеса на интерпретация и верификация на създадените векторни бази данни за Земното покритие на България. Графичният файл за спомагателни данни за съответната работна единица е добавен като елемент в ГИС приложението при работа на интерпретаторите. По този начин цялата налична спомагателна БД е достъпна за лесно

търсена и визуализиране. Използването на тази разработка доведе до оптимално придобиване, структуриране и осигуряване на достъп до допълнителни данни и значително повиши тематичната точност на входната информация. Методът допринесе за ускоряване процеса на интерпретация, а от тук и до намаляване на ефективното време и цената на цялостното реализиране на проект.

#### **4.5. Организация на теренна проверка като метод за повишаване на качеството на интерпретацията по проекти за земно покритие**

При планиране на теренна проверка за дадена територия първо е създаден в базата данни на всяка работна единица коментар „field check” (местата с неясни за идентифициране обекти при интерпретацията). По този начин в нов векторен слой са налични маркираните полигони подлежащи на проверка.

В процеса на теренна проверка е получената точна и актуална информация за обектите. За част от проблемните полигони е направена проверка и съответно корекция в базата данни, където е необходимо. Създадена е БД от допълнителни данни - теренни снимки, координати на обекти, текстова информация – анкети. При планиране и извършване на теренна проверка е използван опит по проекта на земеделската статистика LUCAS. Създадена е методика за бързо търсене и визуализация на данните от проверката в работното пространство на ГИС софтуера. Проверките са извършени в процеса на работа на интерпретаторите и след завършване на работата за контрол в проекта „КОРИНЕ Земна покритие”

#### **4.6. Експериментално летене и обработка на изображения от БЛС за доставяне на допълнителни данни за земно покритие в горски територии**

С настоящият експеримент са осигурени пространствени данни за част от природен парк Българка с разлика във времето 2 години от предходни такива от пилотиран самолет с цифрова камера. Изискуемата планиметричната точност на ортомазайките е осигурена при използване на БЛС e-bee и опорни точки от ГНСС измервания с прекорекция от перманентна мрежа. Пространствената и спектрална разделителна способност удовлетворяват изискванията за визуално дешифриране на промени в земното покритие в ГИС среда.

Системата успешно е внедрена и се използва за задачите по управление на парк Българка. За повишаване автоматизацията на процеса по класификация на изображения и откриване на засегнати участъци на горската растителност от биотични и абиотични

фактори са направени допълнителни експерименти с втора камера в инфрачервения диапазон на електромагнитния спектър. Резултатите са положителни и дават основание за усъвършенстване на системите в бъдеще.

#### **4.7. Методи за смесване на данни за повишаване на качеството на пространствени данни за земно покритие**

Приложено е смесване на данни от панхроматичния канал с многоканалното изображение на Landsat 7 ETM+ сканера при картографиране на земното покритие в мащаб 1:50 000 за крайбрежната ивица на българската Черноморска зона. Изследвани са няколко общоприети метода за смесване на данни. Най-добри резултати показва методът на Цанг за панподобряване, в който резултатните изображение не загубват своите характеристики – рязкост, цвят и насищане. Особено полезно е панподобряването за разпознаването на обекти, при които наред с цветовете, определящи са и текстурните им характеристики.

Експериментът е приложен и за района на Горско стопанство Етрополе. В разработката са смесени панхроматично изображение от спътника SPOT 5 и многоканално Landsat 7 ETM+. Разпознаването на определени видове естествена растителност е значително улеснено. Ясно се различават границите на отдели и подотдели и многообразието в растителната покривка на откритите пространства.

Съвместяването на данни е един от най-ефективните методи за подобряване на визуалните качества на спътниковите изображения и с това – възможностите за разпознаване на обекти. Получените резултати са успешно приложени при задачи, свързани с тематичното картографиране на елементи от земната повърхност.

#### **4.8. Изготвяне на спътникова карта по изображение от IKONOS за картографиране на естествена горска растителност**

Експеримента е проведен за създаване на подходяща основа на дендрологичен проект при очертаване на границите на съществуващата дървесно-храстова растителност. Изследвани са различни видове данни от дистанционни методи и са избрани спътникови изображения от архив, които могат да осигурят постигането на такава детайлност, получени от спътници с много висока пространствена разделителна способност (размер на пиксела до 1 m в панхроматичен и до 4 m в многоканален режим). Този подход е избран като икономически по-изгоден.

Създаден е проект за обработка на спътникова сцена от спътника IKONOS.

Обработката е извършена посредством избрани и измерени на терен опорни точки и създаден ЦМР по топографски карти в М 1:25 000. Извършено е ортотрансформиране и панподобряване на резултатното изображения. От ортотрансформираните изображения, след прилагане на процедури за подобряване на визуалните им качества е изготвен и отпечатан спътников атлас. Създадена е и тримерната визуализация, която по впечатляващ начин допълни проекта и се използва както в техническите така и при рекламните материали за територията на голф игрище Трейшън клиф.

#### **Изводи от Глава 4**

Описаните експерименти представят резултатите от приложените методи и подходи за обработка на пространствени данни. Те потвърждават големият потенциал за използване на технологии на Фотограметрията, Дистанционните методи, Обработка и подобряването на изображения и неограничени възможности за бъдещи изследвания.

#### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Днешните задачи в областта геопропространствените данни и дистанционните методи изискват сливане на геометрични, топологични и семантични данни от широк спектър източници като интернет за нещата (IoT - Internet of Things) и сензори на безпилотни летателни системи, мобилни устройства, системи за информационно моделиране, географски информационни системи, цифрови двойници, симулации на трафик и умни градове. Съществуващите методи за подготовка, обработка, моделиране и управление на тези данни често се нуждаят от изследване и подобряване.

Тази разработка е изготвена с цел да бъде полезна в изследване на такива научни и научно-приложни задачи. Приложените методи и подходи са внедрени в академични организации, частни производствени компании за геоинформационни технологии, на държавно ниво за контрол над геопропространствени продукти и политики на Р. България.

Изследването на процесите за обработка на пространствени данни за различни приложения и оценка на качеството, представлява все по-голям интерес (според Международната организация по фотограметрия и Дистанционни методи ISPRS).

Фокусът на изследване от статични приложения на конкретни задачи все повече се измества към динамични приложения.

Това дава основание да се продължат изследванията на методи и най-добри практики за подготовка, моделиране и управление на геопропространствени данни.



## **ПРИНОСИ НА ДОКТОРАНТА ОТ ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

1. В шест висши учебни заведения и една академична организация е внедрена технология, базирана на избрани методи и подходи за фотограметрична обработка на пространствени данни, като са приложени показатели за качество, свързани с разделителна способност, прецизност и точност.
2. Създадена е методика за достъп и организация на допълнителни данни, приложена в проект „КОРИНЕ Земно покритие”.
3. Създадена е методика за оценка на качеството на пространствени данни за земно покритие с помощта на цифрови фотограметрични системи, която се използва от Военно географски център, при контрола на ортофотокарти необходими за Системата за идентификация на земеделските парцели - СИЗИП.
4. Внедрена е технология за използване на безпилотни летателни системи с цел доставяне на допълнителни пространствени данни за разновременни анализи в ГИС среда при управлението на Природен парк „Българка”.
5. Доказано е, че методът на Цанг за смесване на данни е най-подходящ при подобряване на цветови характеристики на изображения, с незначителни изкривявания и е успешно приложен при задачи, свързани с тематично картографиране на елементи от земната повърхност.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМАТА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

1. Данаилова, М., А. Стоименов (2003) Изследване геометрията на растерни и векторни бази данни по проекта „КОРИНЕ Земно покритие”. – В: Сб. докл. от международен симпозиум „Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в един глобализиращ се свят”, София, 314 – 321.
2. Danailova, M. (2004) A Rational Approach to Digital Ancillary Data Access and Visualization in Land Cover, Land Use Projects, - In: Proceedings of XXth ISPRS Congress „Geo-Imagery Bridging Continents”, Istanbul, Turkey. ISPRS, Vol. XXXV, part B7, ISSN 1682-1750.  
<https://www.isprs.org/proceedings/xxxv/congress/comm7/papers/160.pdf>
3. Данаилова, М., А. Стоименов, Н. Пелова (2006) Изготвяне на спътникова карта по изображение от IKONOS за картографиране на естествена горска растителност. – В: Сб. докл. от международен симпозиум „Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области”, София, 354 – 362.

4. Danailova, M., M. Markov, G. Gladkov (2016) Spatial Information Infrastructure - Development and Results in Bulgaria, - In: Bandrova T. & Konecny M. (Eds). 6ICCGIS Proceedings Vol 1, 2016, pp. 551-561. ISSN: 1314-0604.

### ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

1. Гладков, Г. (2021) Националният портал за пространствени данни (INSPIRE) 2021 г., [https://digitalk.bg/it\\_projects/2022/01/27/4306911\\_nacionalniiat\\_portal\\_za\\_prostranstveni\\_danni\\_inspire/](https://digitalk.bg/it_projects/2022/01/27/4306911_nacionalniiat_portal_za_prostranstveni_danni_inspire/)
2. Димитров, В. (2003) Систематични геометрични корекции на данни по проект „КОРИНЕ Земно покритие 2000”, Международен симпозиум „Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в един глоболизиращ се свят”, София.
3. Димитров, В., Н. Пелова, С. Рашков (2005) Обработка на пространствени геоданни по проект „КОРИНЕ Земно покритие 2000 България” Научна конференция с международно участие „Космос, екология, сигурност”, Варна.
4. Димитров, В. (2022) Оценяване на тематичната точност на пространствени данни за земното покритие получени от спътникови изображения чрез качествено-количествен подход – дисертация, София, ИКИТ-БАН.
5. Динков, Д. (2023) Фотограметрично заснемане и картографиране на планински райони с безпилотни летателни системи, София, ISBN 978-619-91951-4-7.
6. Кацарски, И. (2002) Основи на фотограметрията (Записки). Издателство ГИС София ЕООД, София.
7. Кънчева, Р. (2021) Английско – Български терминологичен речник по дистанционни изследвания, Издателство на БАН „Проф. Марин Дринов“, ISBN 978-619-245-118-9.
8. Мардироян, Г. (2000) Природни екокатастрофи и тяхното дистанционно аерокосмическо изучаване, София, Академично издателство „Проф. Марин Дринов”, ISBN: 1314-0604.
9. Маринов, Б. (2012) Кибернетични информационни методи във фотограметрията, София, Класик дизайн ЕООД, ISBN 978-954-91109-7-5.
10. Петров, Д. (2014) Използването на безпилотните летателни апарати за кадастрални дейности, XXIV-ти международен симпозиум “Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в геодезията и свързаните с нея области”, София.
11. Стойнов, В., Е. Пенева, К. Коцева (2009) Геодезически терминологичен речник,

издателство Агенция Вила ООД, София, ISBN 978-954-91225-6-5.

12. Стоименов, А. (2018) Отчет по проект „КОРИНЕ Земно покритие 2018”,  
[https://eea.government.bg/bg/projects/korine-18/informatsiya-i-publichnost/2CLC2018\\_Results\\_A.Stoimenov\\_13.12.2018.pdf](https://eea.government.bg/bg/projects/korine-18/informatsiya-i-publichnost/2CLC2018_Results_A.Stoimenov_13.12.2018.pdf)
13. Тепелиев, Ю., В. Димитров, С. Рашков (2008) Географски информационни системи. Издателска къща при ЛТУ- София, ISBN 978-954-332-052-3.
14. Тепелиев, Ю., Р. Колева, М. Асенова (2018) Фотограмметрия и Дистанционни методи. Издателска къща при ЛТУ- София, ISBN 978-954-332-166-7.
15. Тепелиев, Ю., Р. Вацева, Н. Борисова, М. Данаилова (2003) Проект “КОРИНЕ земно покритие 2000 – България” – компютърно подпомогната интерпретация на сателитни изображения. – В: Сб. докл. от Международен симпозиум “Съвременните технологии, образованието и професионалната практика в един глоболизиращ се свят”, София, 304 – 313.
16. American Society of Photogrammetry (ASP). 1980. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing XLVI:10:1249.
17. Bossard M, J. Feranec and J. Otanel (2000) CLC Technical Guide Addendum 2000, EEA Copenhagen, p. 6-11
18. CLC Technical Reference Document, 2000, p. 24
19. Congalton, R. and K. Green (2019) Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, 3rd Edition, CRC Press.
20. Danailova, M., G. Gladkov, M. Markov (2016) Spatial Information Infrastructure - Development and Results in Bulgaria, 6ICCGIS Proceedings Vol 1, ISSN: 1314-0604. pp. 551-561.
21. Environmental Systems Research Institute, Inc. (1990) Understanding GIS: The ArcInfo Method. Redlands, California: ESRI, Incorporated.
22. Fritsch, D. (1995) Introduction into Digital Aerotriangulation. Photogrammetric Week `95 – Wichmann.
23. Fisher, P., Comber A. and Wadsworth R., (2006) Fundamentals of Spatial Data Quality. Approaches to Uncertainty in Spatial Data in: Devillers, Rodolphe, and Robert Jeansoulin, eds., Geographical Information Systems Series, London, Newport Beach, CA: ISTE.
24. Geomatica OrthoEngine, User Guide, 2018
25. Jakobsson A. and J. Giversen eds. (2007) Guideline for Implementing the ISO 19100 Geographic Information Quality Standards in National Mapping and Cadastral Agencies. Eurogeographics Expert Group on Quality.

26. Jensen, J. (1982) *Introductory Digital Image Processing – A Remote Sensing Perspective*, Prentice-Hall, Engelwood Clifs, New Jersey, pp. 151-157.
27. Jensen J. (1986) *Introductory digital image processing*. Prentice-Hall, Simpson & Schuster Inc., USA, ISBN 0-13-500828-X 025
28. Jensen J. (2016) *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 4th edition. Pearson Education, Glenview, IL.
29. Klein, L. A. (1993) *Sensor and data fusion concepts and applications*. Tutorial texts, vol. TT 14, SPIE Optical Engineering Press, USA, pp. 131-142.
30. Kraus, K. (1997) *Photogrammetry, Volume 2: Advanced methods and applications*. Dummler press, ISBN 3-427-78684-3
31. Kraus, K. (1993) *Photogrammetry, Volume 1: Fundamentals and Standard Processes*. Dummler press, ISBN 3-427-78684-6
32. Mendosa, C. (2013) *Remote Sensing Fundamentals, Training materials*, ERDAS Imagine
33. Mensah, P. (1999) *Empirical Evaluation of Airborne GPS-photogrammetry in a Commercial Environment*, University of Maine, Thesis for scholarly purposes.
34. Michael, J. (1997) *Digital Orthophotography - Principles, Project design Issues, Utility, Accuracy, Economics*. GIS/GPS Conference, Center for GIS, Doha, State of Qatar
35. Pashova, L., T. Bandrova (2017) *A brief overview of current status of European spatial data infrastructures – relevant developments and perspectives for Bulgaria*, *Geo-spatial Information Science*, 20:2, 97-108, DOI: 10.1080/10095020.2017.1323524.
36. PCI (2003) *OrthoEngine User Guide*, p. 6.
37. Rester, M., P. Spruyt, T. De Groeve, O. Van Damme, A. Ali (2013) *Unmanned Aerial Systems for Rapid Mapping*, Joint Research Centre Report, 4th JRC ECML Crisis Management Technology Workshop, ISBN 978-92-79-35107-5.
38. Shekhar, S. and H. Xiong, (2008) *Encyclopaedia of GIS*, Berlin: Springer.
39. Sorin, H., S. Manfreda, G. Tmusic, A. Maltese, A. Brook (2023) *Protocols for UAS-based observation*.
40. Stoimenov, A., R. Vatseva, Y. Tepeliev, T. Lubenov, N. Pelova, V. Dimitrov, R. Koleva. (2008). *CORINE Land Cover 2006 Bulgaria Project*. – In: *Proceedings of the 18th International Symposium on “Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields”*, Sofia, 148-156, ISBN 978-80-87159-03- 3.
41. Toutin, T. (2003) *Error Tracking in Ikonos Geometric Processing Using a 3D Parametric Model*. In *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69 (1), pp. 43–51.
42. Wald, L. (1998) *Data fusion: A conceptual approach for an efficient exploitation of remote*

- sensing images. In: Proceedings EARSeL Conference on 'Fusion of Earth Data', Sophia Antipolis, France, Ranchin, T. and Wald, L. (Eds.), pp. 17-23.
43. Wang, Y, M. Madani (2002) Generation of Second-Generation Orthophotos, ACSM - ASPRS Conference and Technology Exhibition, Washington, U.S.A.
  44. Winkler, P. (2004) The National Orthophoto Program of Hungary Completed Under Strict Quality Control, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34, Part XXX.
  45. Wolf, P., B. Dewitt, B. Wilkinson (2014) Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, McGraw-Hill Education, USA, ISBN 978-0-07-176112-3.
  46. Zhang, Y (2002) Problems in the Fusion of Commercial High-Resolution Satellite Images as Well as Landsat 7 Images and Initial Solutions. In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 34 Part 4, pp. 236-242
  47. Zhang, Y (2004) Understanding Image Fusion. In Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 70 (6), pp. 657- 667.
  48. Zimmerman, P., Housman, I. eds. (2013) An accuracy assessment of forest disturbance mapping in the western Great Lakes. Remote Sens. Environ., 128, 176–185.

#### **ИЗПОЛЗВАНИ ИНТЕРНЕТ ИЗТОЧНИЦИ**

1. Заснемане на територията на връх Матерхорн в Швейцария, visited November 2023 <https://www.youtube.com/watch?v=NuZUSE87miY>
2. European Environmental Agency, visited November 2023, <https://www.eea.europa.eu/en>
3. LUCAS, <https://ec.europa.eu/eurostat/web/lucas>
4. OGC – Open Geospatial Consortium, OGC, 1999. The OpenGIS Abstract Specification, Topic 7: The Earth Imagery Case., visited November 2023 <https://www.ogc.org/standards/>
5. Producer Field Guide, Hexagon Geospatial, visited November 2023 [https://doc.hexagongeospatial.com/r/uOKHREQd\\_XR9iPo9Y\\_Ijw/root](https://doc.hexagongeospatial.com/r/uOKHREQd_XR9iPo9Y_Ijw/root)
6. UAS processing software, visited November 2023, <https://www.pix4d.com/>,
7. UAS processing software support, visited November 2023, <https://support.pix4d.com>

## БЛАГОДАРНОСТИ

Изказвам най-искрената си благодарност и признателност на моя научен ръководител доц. д-р Антон Стоименов, за доверието и помощта в усвояването на съвременните методи и средства за дистанционно изследване на Земята, за ценните препоръки, консултации и критични бележки.

Особено съм задължена и признателна на колегите ми от техническия екип на проекта „КОРИНЕ Земно покритие”, доц. д-р Антон Стоименов, доц. д-р Венцеслав Димитров, гл. ас. Николина Пелова, проф. д-р Юлин Тепелиев, доц. д-р Радка Колева, проф. дн Румяна Вацева, ас. Тодор Любенов, ас. Невена Борисова – Тодорова, за успешната съвместната работа и ценния опит.

Благодаря на екипа на Института за космически изследвания и технологии при БАН, за успешната работа по проекти за внедряване на нови технологии за лаборатории и научни звена на института в лицето на проф. д-р Георги Желев, член кор. дтн Петър Гецов, проф. д-р Евгения Руменина, проф. д-р Румен Недков.

Благодаря на колегите ми от Метрисис ООД, за възможността да участвам в развитието и внедряването на най-новите световни технологии в областта на Дистанционните методи, на управителя на Метрисис ООД Елиас Костопулос, на колегите Весела Банчева, инж. Петър Балкански, инж. Нели Вутова, инж. Стефан Колев.

Благодаря за дадения ми шанс за практическото прилагане на моите знания и умения в преподавателската работа със студентите в университета по Архитектура, строителство и геодезия, на колегите доц. д-р Гергана Антова, проф. д-р Пламен Малджански и за съвместните научни изследвания с проф. Борислав Маринов.

Благодаря за подкрепата на колегите ми от Лесотехнически Университет, декана на Факултет Горско стопанство, проф. д-р Мариус Димитров, за гласуването ми доверие да стана част от екипа на Катедра „Лесоустройство и Управление”. Изключително съм задължена на доц. д-р Мария Асенова, доц. д-р Радка Колева и проф. д-р Юлин Тепелиев, които ме подкрепяха и насърчаваха за създаването на тази научна разработка.

Благодаря на колегите ми от Военно Географска Служба, за съвместната работа в лицето на инж. Светослав Цървов, полк. инж. Георги Гладков, д-р инж. Мариян Марков.

Благодаря на моя съпруг и дъщеря ни за търпението и подкрепата. Благодаря и на родители ми за безкористната вяра и насърчаване за постигането на целите ми.

## ИЗПОЛЗВАНИ СЪКРАЩЕНИЯ

БД	Бази данни
БЛА	Безпилотни летателни апарати
БЛС	Безпилотни летателни средства
БРЕ	Базова работна единица
ГИС	Географска информационна система
ГНСС	Глобални Навигационни Спътникови Системи
ДМ	Дистанционни методи
ДАЕУ	Държавна агенция "Електронно управление"
ЕК	Европейската комисия (ЕК)
ЗДПД	Закон за достъп до пространствени данни
ЗКТ	Земни контролни точки
ИКИТ	Институт за космически изследвания и технологии
НППД	Национален портал за пространствени данни
ПРС	Пространствена разделителна способност
СИЗП	Система за идентификация на земеделските парцели
ЦМР	Цифров модел на релефа
ЦОИ	Цифрова обработка на изображения
CCD	Charge Coupled Device
CLC	CORINE Land Cover
CLMS	Copernicus Land Monitoring Service
СР	Check Point
DEM	Digital Elevation Model
DQ	Data Quality
DQM	Data Quality Model
EEA	European Environmental Agency
ERTS	Earth Resource Technology Satellite
ESA	European Space Agency
FoU	Fitness of Use
GCP	Ground Control Point
GIS	Geographic Information System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSD	Ground Sample Distance
HIS	Intensity Hue Saturation
INSPIRE	Infrastructure for spatial information in Europe
PCI	Principal Component Analys
RMSE	Root Mean Square Error
SDI	Spatial Data Infrastructure
TIE	Tie Point
TIN	Triangulated Irregular Network