КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Факультет геоінформаційних систем і управління територіями
Кафедра геоінформатики і фотограмметрії

Пояснювальна записка
до дипломного проекту (роботи)
бакалавра
на тему «Геометрична корекція космічних знімків SuperView-1 для топографічного картографування»

Виконала: студентка 4 курсу, групи ГІСТ-41
напряму підготовки (спеціальності)
193 “Геодезія та землеустрій”
Сахарчук Василина Миколаївна
Керівник: Карпінський Юрій Олександрович

Київ - 2022р.

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

Факультет: Геоінформаційних систем та управління територіями
Кафедра: геоінформатики і фотограмметрії
Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр
Напрям підготовки: 19 «Архітектура і будівництво»
Спеціальність: 193 «Геодезія та землеустрій»
Спеціалізація: Геоінформаційні системи і технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри проф. Карпінський Ю.О.
_____
(підпис)
«_____»
_____року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

_____
(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1.Тема проекту (роботи):
Геометрична корекція космічних знімків SuperView-1 для топографічного картографування_____
_____

Керівник проекту (роботи):
_____,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом вищого навчального закладу від "___"_____20__року №_____

2.Строк подання студентом проекту (роботи)
_____

3.Вихідні дані до проекту (роботи)_____

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)_____
ВСТУП
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ
1.1 Загальні відомості про космічні знімальні системи
1.2 Класифікація аерокосмічних знімальних систем
1.2.1. З одночасною побудовою та записом

1.2.2. З одночасною побудовою та неоднозначним записом
1.2.3. З неодночасною побудовою та неоднозначним записом
1.3 Огляд знімальних систем високого та середнього розширення
1.4 Вплив основних чинників на розрізненість космічних знімальних систем
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ГЕОМЕТРИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ SUPERVIEW-1 ДЛЯ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ.
2.1 Підготовчі роботи
2.2 Розроблення проекту створення ортофотопланів на район робіт
2.3 Отримання матеріалів космічної зйомки
2.4 Формування каталогу координат і абрису опорних і контрольних точок
2.5 Створення ЦМР
2.6 Радіометрична корекція знімків
2.7 Геометрична корекція знімків з використанням RPC – поліномів
2.8 Ортокорекція знімків (Орторектифікація)
2.9 Торгова корекція та мозаїкування ортофотозображення
2.10 Формування ортофотопланів у прийнятій розграфці
2.11 Приймання робіт та оцінка якості і точності ортофотопланів
РОЗДІЛ 3. ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРТОФОТОПЛАНІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КАМЕРАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ СУПУТНИКА SUPERVIEW-1ДЛЯ ЦІЛЕЙ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ.
3.1 Вихідні дані
3.2 Методика дослідження результатів камерального оброблення матеріалів космічного знімання супутника SuperView-1 для цілей топографічного картографування
3.3 Вимоги до точності топографічних карт масштабу 1:10 000
3.4 Трансформування та зведення всіх матеріалів космічного знімання в Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000
3.5. Виготовлення еталонної моделі для порівняння координат контрольних точок
3.6 Визначення контрольних точок на матеріалах космічних знімань та еталонної моделі
3.7 Оцінка точності матеріалів космічних знімань
3.8 Проведення експериментів
3.9 Трансформування та зведення всіх матеріалів космічного знімання в Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000
3.10 Виготовлення еталонної моделі для порівняння координат контрольних точок
3.11 Визначення контрольних точок на матеріалах космічних знімань та еталонної моделі\
3.12 Оцінка точності матеріалів космічних знімань

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

_____

_____

_____

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Номер розділу	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7.Дата видачі завдання

_____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1.	ВСТУП		
2.	РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ		
3.	РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ГЕОМЕТРИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ SUPERVIEW-1 ДЛЯ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ.		
4.	РОЗДІЛ 3. РОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРТОФОТОПЛАНІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КАМЕРАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ СУПУТНИКА SUPERVIEW-1ДЛЯ ЦІЛЕЙ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ.		
4.	Висновки		
5.	Список використаної літератури		
6.	Оформлення пояснювальної записки		
7.	Подача проекту на попередній захист та рецензування		

Студент: _____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи):_____ _____

(підпис) (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ.....7

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ 9

1.1 Загальні відомості про космічні знімальні системи 9

1.2 Класифікація аерокосмічних знімальних систем.....12

1.2.1. З одночасною побудовою та записом 15

1.2.2. З одночасною побудовою та неодночасним записом 16

1.2.3. З неодночасною побудовою та неодночасним записом (сканувальні) ..17

1.3 Огляд знімальних систем високого та середнього розширення 18

1.4 Вплив основних чинників на розрізненість космічних знімальних систем 22

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ГЕОМЕТРИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ SUPERVIEW-1 ДЛЯ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ. 26

2.1 Підготовчі роботи 28

2.2 Розроблення проекту створення ортофотопланів на район робіт 29

2.3 Отримання матеріалів космічної зйомки 30

2.4 Формування каталогу координат і абрису опорних і контрольних точок 37

2.5 Створення ЦМР 37

2.6 Радіометрична корекція знімків 39

2.7 Геометрична корекція знімків з використанням RPC – поліномів 41

2.8 Ортокорекція знімків (Орторектифікація) 43

2.9 Торгова корекція та мозаїкування ортофотозображення.....43

2.10 Формування ортофотопланів у прийнятій розграфці.....44

2.11 Приймання робіт та оцінка якості і точності ортофотопланів.....45

РОЗДІЛ 3. ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРТОФОТОПЛАНІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КАМЕРАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ СУПУТНИКА SUPERVIEW-1ДЛЯ ЦІЛЕЙ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ. 46

3.1 Вихідні дані.....46

3.2 Методика дослідження результатів камерального оброблення матеріалів космічного знімання супутника SuperView-1 для цілей топографічного картографування.....50

3.3 Вимоги до точності топографічних карт масштабу 1:10 000.....51

3.4 Трансформування та зведення всіх матеріалів космічного знімання Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000. 51

3.5 Виготовлення еталонної моделі для порівняння координат контрольних точок. 51

3.6 Визначення контрольних точок на матеріалах космічних знімань та еталонної моделі.....52

3.7 Оцінка точності матеріалів космічних знімань 52

3.8 Трансформування та зведення всіх матеріалів космічного знімання в Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000. 53

3.9 Виготовлення еталонної моделі для порівняння координат контрольних точок.....54

3.10 Визначення контрольних точок на матеріалах космічних знімань та еталонної моделі.....55

3.11 Оцінка точності матеріалів космічних знімань.....55

3.12 Оцінка точності космічних знімків SuperView-1 рівня обробки 1А, отриманих в результаті обробки в НДІГК. 59

ВИСНОВОК.....63

Перелік використаної літератури 64

Додаток А.....69

Вступ

Актуальність теми: Дистанційне зондування є сучасним методом отримання і перетворення інформації про об'єкти земної поверхні, явища й процеси які відбуваються на її поверхні, а також поблизу цієї поверхні, тобто в атмосфері, в ґрунті та воді, без прямого контакту з об'єктом. В дистанційному зондуванні використовують причинно-наслідкові зв'язки між властивостями об'єктів і зображеннями цих об'єктів, отриманих за допомогою електромагнітних хвиль різної довжини. Результатами дистанційного зондування є аерознімки, космічні знімки та вхідні дані, отримані різними знімальними системами. Однією з таких є космічний апарат SuperView-1

Мета дослідження: Надати висновок про можливість використання матеріалів космічного знімання супутника SuperView-1 для цілей топографічного картографування в масштабі 1:10 000.

Задачі дослідження:

1.Провести оцінку точності космічних знімків SuperView-1, що попередньо оброблені Національним центром управління та випробувань космічних засобів (НЦУВКЗ) до рівня обробки 1А за стандартом компанії-виробника космічного апарату;

2. Провести оцінку точності космічних знімків SuperView-1, що були географічно прив'язані в НЦУВКЗ до базової космічної карти від компанії ESRI https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?useExisting=1

3. Провести оцінку точності космічних знімків SuperView-1, що були орторектифіковані з використанням цифрової моделі висот Землі (*SRTM - Shuttle Radar Topography Mission* https://srtm.csi.cgiar.org/) та географічно прив'язані до базової космічної карти від компанії *ESRI* у НЦУВКЗ

4. Провести оцінку точності знімків SuperView-1 рівня 1А, орторектифікованих в результаті обробки в НДІГК.

Об'єктом дослідження є космічний знімок SuperView-1.

Предметом дослідження є камеральне оброблення матеріалів космічного знімання супутника SuperView-1 для цілей топографічного картографування.

Методами дослідження є проведення експериментів для визначення точності результатів камерального оброблення.

Новизна наукових досліджень: удосконалено технології геометричної корекції космічних знімків. Проаналізовано особливості методики обробки даних ДЗЗ.

РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ

1.1 Загальні відомості про космічні знімальні системи

Правильна організація управління територіями та природними ресурсами в сучасному світі є важливим завданням, розв’язання якого неможливе без використання інформації про земну поверхню, процеси та явища природного та антропогенного характеру, які на ній відбуваються. Сучасні тенденції планування та розвитку людської діяльності вимагають отримання належної інформації і постійного моніторингу для прогнозування динаміки розвитку, необхідного для планування діяльності людини та прийнятті рішень. . Серед різного роду інформації про Землю домінантне значення належить природним характеристикам місцевості, зокрема геологічній будові, запасам поверхневих та підземних вод, типам ґрунтів, рослинності, фауні, а також кліматичним та атмосферним особливостям тощо.

Особливо стрімко в останні десятиліття розвивається методика, яка базується на неконтактній реєстрації сигналів електромагнітного спектра для отримання зображень земної поверхні, названа дистанційним зондуванням Землі.[1]

Під моделлю дистанційного зондування розуміємо систему отримання та перетворення вхідних сигналів електромагнітного спектра на вихідні, які формують зображення або точкові дані про об’єкти місцевості. Головним елементом цієї моделі є аерокосмічна знімальна система як технічний пристрій перетворення вхідної інформації на вихідну. Вона є складником аерокосмічного знімального комплексу.

Під час аерокосмічного знімання енергія випромінення, яка містить інформацію про об’єкт, перетворюється на зображення – знімок або точкові дані. Ця операція виконується за допомогою аерокосмічного знімального комплексу. Складові комплексу подані на рисунку 1.1.

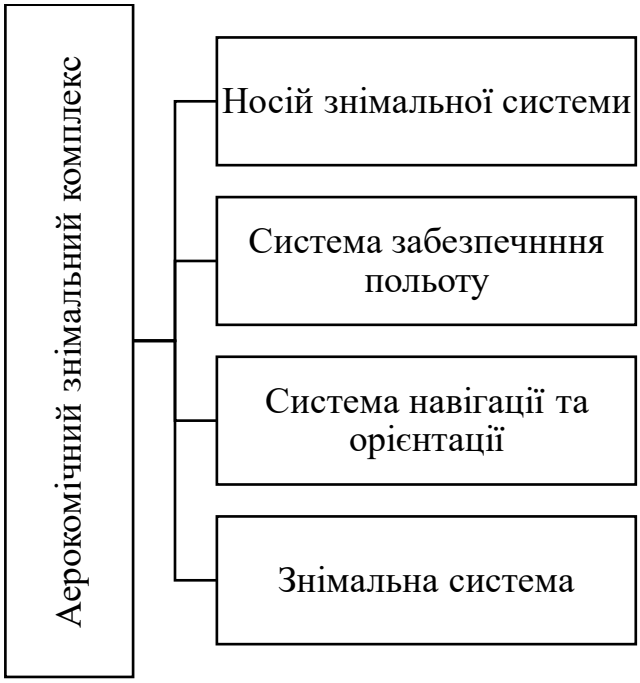


Рис. 1.1 Складові аерокосмічного знімального комплексу

Знімальна система – це технічні засоби, за допомогою яких виконують знімання. Знімальні системи відрізняються одна від одної фізичними засадами отримання зображень, а відповідно і складом апаратури та технологічних операцій.[1]

Залежно від доставки одержаної інформації на землю розрізняють оперативні та неоперативні знімальні системи. За неоперативного способу інформація у вигляді експонованих фотоплівок або записів зображень доставляється на Землю із затримкою, оперативний спосіб передбачає передавання інформації у режимі реального часу радіоканалами зв'язку.

Сучасні знімальні системи — це сукупність технічних засобів для отримання інформації про об'єкт дослідження у вигляді зображень об'єкта та в іншій формі яка дає змогу або переходити до зображення, або дає інформацію в певних точках поверхні.

Кожну знімальну систему можна охарактеризувати такими величинами: розмірами сцени знімання, кількістю спектральних каналів, в яких працює система, просторовим (поверхневим) розрізненням і радіометричним розрізненням (у фотографічних — різницею оптичних щільностей).

Фотографічні знімальні системи працюють у видимій та близькій інфрачервоній ділянках спектра і дають можливість отримати чорно-білі, кольорові, спектрозональні і багатоспектральні фотозображення. Знімання виконують з аеро- та космічних літальних апаратів. Чорно-білі фотознімки широко застосовують у фотограмметрії завдяки високим вимірним властивостям. [30]

Телевізійні системи. За допомогою телевізійних систем зображення місцевості будується оптичним способом на електронно-променевій трубці, а потім або фотографується, або радіоканалами передається на наземні пункти. Відтворюється зображення в режимі реального часу як безпосередньо на екрані приймача, так і з магнітних цифрових записів. Розрізнення телевізійних знімальних систем невисоке, тому їх використовують розв'язання оглядових задач, наприклад, оцінювання результатів стихійних явищ, повеней, тощо.

Оптико-електронні системи. У знімальних системах оптико-електронного типу приймачами сигналів слугують пристрої із зарядовим зв'язком (N33) лінійкового або матричного типу. Ці пристрої є фактично фотонними детекторами, світлочутливий шар яких складається із кремнієвих або інших діодів. Зображення будується оптичним способом у межах лінійки або матриці.

Оптико-механічні системи (сканувальні). У фотографічних, телевізійних та оптико-електронних системах на основі матриць елементи зображення будуються в кадрі одночасно. У сканувальних знімальних системах сканується безпосередньо об’єкт, тобто під час оптико-механічного сканування фіксується сигнал у межах миттєвого кута зору розміром до декількох кутових мінут, який називають променем сканування. Елементи зображення отримують послідовно, після чого вони можуть бути приведені у формат кадру.[6]

Багатоспектральні та гіперспектральні сканери. Різновидом сканувальних систем, які широко використовують в дистанційному зондуванні Землі, є багатоспектральні сканери. Вони дають змогу отримати ефективну

вихідну інформацію про об'єкти земної поверхні за рахунок знімання у вузьких спектральних зонах.

Інфрачервоні (теплові) системи. Знімальні системи, які забезпечують створення зображення об'єктів за їх власним тепловим випромінюванням, називають інфрачервоними або тепловими системами.

Лазерні системи. У сфері моніторингу земної поверхні, інженерних вишукувань для будівництва лінійних та площинних об'єктів, створення та ведення кадастрових планів різного призначення щораз більшого значення набувають лазерні знімальні системи, які встановлюють на літаках. За допомогою лазерних знімальних систем одержують зображення за рахунок відбитої від земної поверхні “хмари точок”.

Мікрохвильові радіометри (радіотеплові знімальні системи). Мікрохвильові радіометри працюють у радіодіапазоні як пасивні знімальні системи, фіксуючи радіотеплове випромінювання Землі. Мікрохвильові радіометри дають змогу отримувати інформацію про місцевість через хмарне покриття, що є безсумнівною перевагою цього типу знімальних систем.

Радіолокаційні системи. Вони належать до активних систем, працюють в сантиметровому або метровому діапазоні радіохвиль. Їх використовують в умовах, коли об’єкти закриті хмарами, туманом, димовими завісами тощо у будь-який час доби. Суть знімання полягає в посиланні радіосигналів, які виробляє генератор, і фіксації часу повернення сигналів у приймач. Час повернення сигналів залежить від відстаней до об’єктів. Це дає можливість створювати цифрові моделі рельєфу. [3], [4]

1.2 Класифікація аерокосмічних знімальних систем

Розглянемо класифікацію знімальних систем, які застосовуються в дистанційному зондуванні, зважаючи на принципи побудови зображень, що тісно пов'язано з розрізнювальною здатністю систем та з геометричними спотвореннями зображень. У вітчизняній літературі поширена така

класифікація: системи, які будують зображення, названі іконічними; системи, за допомогою яких можна одержувати певні характеристики місцевості, названі параметричними.[5]

Виділимо такі класи систем, ґрунтуючись на засадах одержання зображення:

1. Системи з одночасною побудовою зображення та одночасним його записом. Типовим представником цієї групи с камери фотографічні.
2. Системи з одночасною побудовою зображення і неодночасним його записом. Зображення будується одночасно, а його реєстрація ведеться елемент за елементом. Представниками цієї апаратури с телевізійні та оптико-електронні знімальні системи. У системах цього виду фактично сканується зображення.
3. Системи з поелементною побудовою зображення і таким самим записом (сканувальні). До цієї групи належить апаратура, яка працює на принципі сканування об'єкта. Це широкий клас знімальних систем оптико-механічного, інфрачервоного, лазерного, радіотеплового та радіолокаційного сканування. [48]

Класифікацію аерокосмічних знімальних систем, які використовують для одержання даних дистанційного зондування, подано в таблиці 1.1

За принципом побудови зображення	Тип системи	Діапазон електромагнітного спектру, мкм	Приймач	Тип проекції
З одночасною побудовою та записом	Фотографічна *Кадрова цілинна панорамна*	Видимий Близький Інфрачервоний (0,4-1,3 мкм)	Фотоплівка	Центральна проекція Центр. проекція вздовж щілини Панорама
З одночасною побудовою та неоднозначним записом	Телевізійна Оптико-електроннащ *Матрична* *лінійкова*	0,4-1,3 мкм оптичний до 14 мкм	ЕПТ ПЗЗ-матриця ПЗЗ-лінійка	Центральна проекція Центральна проекція Центр. Проекція вздовж рядка
З неодночасною побудовою та неоднозначним записом	Оптико-механічний сканер *Багатоканальний сканер* Інфрачервона *тепловізор* *сканувальний радіометр* Лазерна Радіотеплова Мікрохвильовий радіом Радіолокаційна	Оптичний до 14мкм Середній, дальній, інфрачервоний (3.4-4.2; 8-12 мкм) Близький , середній , інфрачервоний Міліметрові радіохвилі Сантиметрові радіохвилі	Фотонні детектори Детектори Детектори Антена-приймач Антена-приймач	Лінійна, конічна розгорнута Лінійна, конічна розгорнута Лінійна розгорнута Лінійна, конічна розгорнута Лінійна за дальністю

Таблиця 1.1 Класифікація знімальних систем

1.2.1. З одночасною побудовою та записом

Типовим представником знімальних систем з одночасною побудовою та записом є фотографічні системи.

Фотографічні знімальні системи донедавна домінували в методах дистанційного зондування Землі, картографування та розв'язання на їх основі різних прикладних задач.

Фотографічні зображення мають високу розрізнювальну здатність і сьогодні їх використовують для створення ортофотопланів, топографічних планів у великих та середніх масштабах. Аерофотознімання є одним із елементів технології картографування, яка передбачає комп'ютерне опрацювання аерофотозображень. З цією метою аерофотознімки сканують на фотограмметричному сканері з високим розрізненням. [12]

У космічному зніманні фотографічні знімальні системи застосовують рідко, їх замінили сканувальні системи на ПЗЗ-пристроях, радіолокаційні та інші види систем. [49]

Оптична система знімальних систем (аерооб'єктив) е одним з найважливіших елементів, оскільки вона будує оптичне зображення об'єкта знімання на площині приймача.

Від фотографічного об'єктива залежить якість зображення, геометричні та оптичні його спотворення. Розглянемо відомості про об'єктив детальніше.0

Фотографічним об'єктивом називається оптична система, яка складається з комбінації позитивних і негативних лінз і дає дійсне зображення об'єкта знімання.

Основними характеристиками аерофотооб'єктива є фокусна відстань, відносний отвір, світлосила, кут поля зору та кут поля зображення, глибина різкості.[19]

1.2.2. З одночасною побудовою та неодночасним записом

Знімальні системи з одночасною побудовою та неодночасним записом представляються телевізійними та оптико-електронними типами систем.

Телевізійні системи. За допомогою телевізійних систем зображення місцевості будується на електронно-променевій трубці, а потім радіоканалами передається на наземні пункти. Відтворюється зображення у режимі реального часу як безпосередньо на екрані приймача, так і з магнітних цифрових записів.

Телевізійні системи звичайно містять оптичну систему, закривач і навіть систему компенсації зсуву зображення, створюючи зображення по кадру практично миттєво. За допомогою електронно-променевих телевізійних систем зображення будується аналогічно як у фотографічних системах, воно обробляється електронними каналами та передається з платформи давача на приймальну станцію. У телевізійних системах використовують електронно-променеві трубки на основі відикона з прямим або зворотним ходом променів та дисектора.[22]

Оптико-електронні знімальні системи. В оптико-електронних знімальних системах зображення будується оптичним способом, приймачами сигналів слугують пристрої із зарядовим зв'язком (ПЗЗ). ПЗЗ містять у площині утворення зображення замість фотографічного матеріалу зінтегровані в ряди світлочутливі елементи. Вони є фактично фотонними детекторами, світлочутливий шар яких складається із кремнієвих або інших діодів. Оптична система містить лінзовий об'єктив; вона будує миттєве зображення. Розрізняють лінійкові або матричні камери на пристроях із зарядовим зв'язком.

Якщо використовують ПЗЗ-лінійки, то зображення будується у межах рядка. Все зображення формується послідовним під'єднанням рядків за рахунок переміщення літального апарата, тому їх в літературі називають сканерами.[23]

1.2.3. З неодночасною побудовою та неодночасним записом (сканувальні)

Сканувальні знімальні системи поділяються на оптико-механічні, інфрачервоні, лазерні, радіотеплові та радіолокаційні.

Оптико-механічні сканери містять оптичну систему, яка звичайно є дзеркальним об'єктивом типу дефлектора. В систему входить оптико-механічний пристрій, який відхиляє сканувальний промінь за заданою траєкторією. За типами приймачів поділяють одноелементні і багатоелементні. За кількістю використовуваних зон поділяють на багатоканальні і одноканальні.

Знімальні системи, які забезпечують одержання зображення об'єктів за їх власним тепловим випромінюванням, називаються **інфрачервоними** або **тепловими** системами. ІЧ системи перетворюють невидиме людським оком випромінювання на зображення.На відміну від зображення у видимій ділянці спектра, яке отримується за рахунок відбивної здатності об'єктів, інфрачервоні зображення створюються власним випромінюванням об'єктів і частково відбитим від них ІЧ випромінюванням інших джерел.

Принциповим в отриманні зображень **лазерними знімальними системами** є підсвічування місцевості променем напівпровідникового лазера, тобто системи є активними. Лазер працює в імпульсному режимі, він випромінює короткі імпульси, напрям яких регулює оптична система. Параметрами приймачів цих систем є порогова чутливість, спектральна чутливість, частотна характеристика. [25]

Радіохвильові системи поділяються на пасивні, які вловлюють власне випромінювання об’єктів, до них належать мікрохвильові радіометри (радіотеплові системи) та активні за допомогою яких опромінюють місцевість і використовують сигнали для отримання зображень та побудови ЦМР (так звана радіолокація)

1.3 Огляд знімальних систем високого та середнього розширення

Розвиток робить загальнодоступними дані з супутників, які отримують зображення Землі у різних діапазонах спектра. Найбільш популярною продукцією космічних систем дистанційного зондування Землі (КС ДЗЗ) будуть цифрові зображення поверхні Землі з детальною роздільною здатністю краще 1 м. Вже сьогодні в загальному доступі, наприклад на сайті maps.google.com, можна знайти знімки Землі, зроблені з космосу найрізноманітнішими апаратами, з роздільною здатністю до 0,5 м. ***Просторова роздільна здатність*** - величина, що характеризує розмір найменших об'єктів, помітних на зображенні.[26]

Класифікація знімків по просторовому вирішенню:

1. знімки дуже низької роздільної здатності 10 000 - 100 000 м;
2. знімки з низькою роздільною здатністю 300 - 1 000 м;
3. знімки середнього розширення 50 - 200 м;
4. знімки високої роздільної здатності:
5. відносно високого 20 - 40 м;
6. високого 10 - 20 м;
7. дуже високого 1 - 10 м;
8. знімки надвисокої роздільної здатності менше 0,3 - 0,9 м.

Розглянемо які бувають системи високого та середнього розширення. [24]

Maxar Technologies Inc**.** — американська аертокосмічна компанія, яка спеціалізується на виробництві супутників зв'язку, спостереження за Землею, радарів та супутників обслуговування на орбіті, супутникової продукції та супутніх послуг. Maxar Technologies було створено шляхом об'єднання DigitalGlobe і MDA Holdings Company

Рис. 1.2 Супутник MAXAR

Супутник QuickBird-2 (див. рис.1.3) призначається для знімання поверхні Землі з роздільною здатністю 60 см у чорно-білому режимі та 2,5 м у мультиспектральному режимі, що вже в порівнянні з характеристиками знімків цифрових аерознімальних комплексів.

Рис 1.3. Супутник QuickBird-2

SuperView-1- орбітальна група китайських супутників ДЗЗ з високим розширенням. Супутники SuperView (див рис. 1.4) є першими космічними апаратами для спостереження Землі з «дуже високою роздільною здатністю», розробленими в Китаї. Окрім двох сонячних панелей, вони оснащені датчиками, які збирають зображення як панхроматичного (0,5 м), так і мультиспектрального

(2 м) роздільної здатності з максимальним розміром однієї сцени 60 км х 70 км. [28]

Рис. 1.4 Супутник SuperView-1

Супутники системи SPOT роблять зйомку Землі з 1986 року. В даний час працездатні супутники SPOT 1, 2 та 4 (див. рис. 1.5) Супутник SPOT3 припинив роботу в листопаді 1996 року. Угрупування супутників було збільшене у травні 2002 року запуском супутника SPOT 5 (див. рис. 1.6)

Наступний супутник - SPOT5 належить до останнього покоління супутників SPOT і відрізняється автономною системою позиціонування та контролю висоти польоту, яка має високу точність. [32]

Рис. 1.5 Супутник SPOT 4

Рис. 1.6 Супутник SPOT 5

Удосконалення цільової апаратури КА ДЗЗ та створення єдиного інформаційного простору дозволило створити системи моніторингу Землі не тільки з високим і детальним дозволом, але й високою періодичністю спостереження

На світовому ринку даних сформувався стійкий клас космічних апаратів, які формують найбільш потрібні дані дистанційного зондування Землі з дозволом від 0,5

Краще сформований баланс тактико-технічних характеристик, висоти орбіти та кількості КА досягнуто в результаті роботи із заміни дорогого угруповання важких КА типу KeyHole на серію КА різних виробників з упором на комерційне розповсюдження даних. [29]

В даний час функціонує не менше шести зарубіжних КА подібного класу (WorldView, Pleiades, CSO-1, EROS, KazEOSat-2 та ін.). Багато КА продовжують експлуатуватися за межами гарантійного терміну. Маса КА цього класу трохи більше 3000 кг. Висота польоту КА становить від 600 до 800 км. Цільова апаратура будується на основі дзеркальної оптичної системи діаметром від 0,7 до 1,3 м.

Основними постачальниками даних дистанційного зондування Землі є корпорації GeoEye та DigitalGlob. С 2013 корпорація GeoEye об'єдналася з DigitalGlob. Створення КА проводиться у межах приватно-державного партнерства. Основне бюджетне фінансування купівлі даних здійснюється за програмою EnchancedView для задач геопросторової розвідки США.[39]

1.4 Вплив основних чинників на розрізненість космічних знімальних систем

У розділі використано матеріали дослідження проф. Бурштинської Х.В.[1]

Задача впливу різних чинників на якість космічних зображень є сьогодні актуальною, тому що від неї залежать результати конкретних визначень координат точок об'єктів дослідження.

Стосовно знімальних систем, сигнали яких є двовимірними функціями просторових координат, аналогами передавальних функцій є:

- функція розсіювання точки, як реакція системи на нескінченно малу світляну точку, або для одномірного випадку – функція розсіювання лінії g(x) ;
- межова крива E(x) – реакція системи на різкий край;
- просторово-частотна передавальна функція П (N) , де N – просторова частота.

Функція передавання модуляції залежить від багатьох чинників, які можна поділити на дві групи – внутрішні та зовнішні.

Тобто результативну функцію передавання модуляції можна подати як таку, що залежить від багатьох ланок, насамперед оптичної системи, сенсорів, впливу зсувів зображення, стану атмосфери та інших чинників Кожна із окремих функцій передавання модуляції є складною. [45]

Запишемо вираз для результивної функції передавання модуля.

$$T_{\sum}(\mathrm{N}) = \mathrm{K} \times K_{am} \times T_{\text{тур}}(N) \times T_{\text{об}}(N) \times T_{\text{зс}}(N) \times T_{\text{деф}}(N) \times T_{\text{диф}}(N) \times T_{\text{фп}}(N), \quad (1)$$

K – контраст об'єктів; K_{am} – коефіцієнт, який враховує вплив світлорозсіювання; N – кількість ліній на міліметр.

Вплив турбулентності атмосфери

Для урахування впливу турбулентності атмосфери в спеціальній літературі використовують вираз:

$$T_{\text{тур}}(N) \cong \exp(-2 \times \pi^2 \times \sigma_T^2 \times f_K^2 \times N^2), \qquad (2)$$

де f_K – фокусна відстань об'єктива в мм; σ_T – коефіцієнт, який враховує вплив турбулентності (для сприятливих умов спостереження $\sigma = 10^{-6}$).

Вплив зсуву зображення

Вплив зсуву зображення можна розрахувати за формулою:

$$T_{\text{зс}}(N) = \frac{sin(\pi \times \Delta_{\text{зс}} \times N)}{\pi \times \Delta_{\text{зс}} \times N}\ , \qquad (3)$$

$\Delta_{\text{зс}}$ – становить близько 10-20% від розміру пікселя.

Вплив залишкового дефокусування

Для обчислення впливу дефокусування використовують таку формулу:

$$T_{\text{деф}}(N) = \exp[-2.5 \times A_{\text{деф}}^2 \left(\frac{f_k}{d_0}\right) \times N^2], \qquad (4)$$

де $A_{\text{деф}}$ – величина зміщення фокальної площини за рахунок залишкового дефокусування, мм:

$\frac{f_k}{d_0}$ – знаменник відносного отвору.

Вплив дифракції

Вплив дифракції на вхідному отворі оптичної систем моделюють за формулою:

$$T_{\text{диф}}(N) = 1 - 7.5 \times 10^{-4} \times \frac{f_k}{u} \times \text{N}, \qquad (5)$$

Вплив дискретного фотоприймача

Вплив одного елемента дискретного фотоприймача можна розрахувати за формулою:

$$T_{\text{фп}}\ (N\ ) = \frac{\sin(\pi \times \Delta \times N)}{\pi \times \Delta \times N}, \qquad (6)$$

де Δ - розмір пікселя.

Рівняння для визначення роздільної здатності дискретної системи в польоті набуває вигляду:

$$R = T_{\sum} \times (N) \times K = K_{\text{пор}} \times R'_k, \qquad (7)$$

Для розрахунку кривої порогової модуляції $K_{пор}(N)$ необхідно знайти сумарне середньо- квадратичне значення шумів каналу проходження дискретної

інформації, виражене у величинах оптичної щільності. Для сенсора супутника IRS-1C ці дані наведено для панхроматичного каналу, $\sigma_{д}^{2} \approx 0{,}3 \div 0{,}5$. Шуми сенсорів інших систем порівняно з системою IRS-1C за даними фірм мають ще меншу величину.[44]

Виконавши обчислення для конкретних знімальних систем, можна отримати графік результативної функції передавання модуляції (рис. 1.7) і визначити розрізнювальну здатність знімальної системи з урахуванням основних чинників:

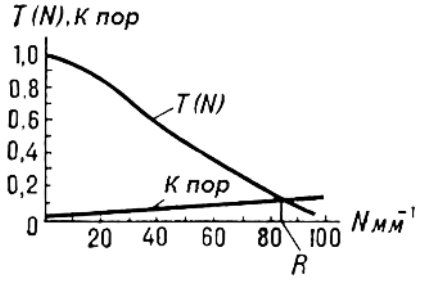


Рис. 1.7 Визначення розрізненості знімальних систем: графік функції передавання модуляції, на якому коефіцієнт передавання модуляції T(N) поданий як функція просторової частоти гратки N (величини, оберненої до її періоду).$К_{пор}$- крива порогової модуляції

Висновки:

1. Фірми, які виготовляють знімальні космічні апаратури, з метою реклами продукції подають як розрізнення на місцевості проекції елемента ПЗЗ-матриці, що призводить до завищення показників передавальних можливостей зображень.

2. Для визначення реального розрізнення на місцевості використано основні математичні залежності впливу на зображення таких чинників: турбулентності атмосфери, зсуву зображення, залишкового дефокусування, дифракції, дискретного фотоприймача, контрасту об’єктів. 3. Із аналізу окремих

чинників встановлено домінантний вплив на якість зображення турбулентності атмосфери та розміру окремого елемента сенсора.

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ГЕОМЕТРИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ SUPERVIEW-1 ДЛЯ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ.

Космічна зйомка – фотозйомка Землі чи інших планет за допомогою супутників.

Ортофотоплани, виготовлені за матеріалами космічної зйомки мають геометричні характеристики топографічної карти і якість зображення фотографії. Цифрові ортофотоплани сформовані масивом георектифікованих пікселів, які дискретно кодують величину відбитих від земної поверхні променів. Цифрові ортофотоплани отримують з різних джерел в багатьох форматах, з різною просторовою роздільною здатністю та територією покриття [36]

Математична основа повинна створюватися програмним способом і мати математичний зв’язок між масивом георектифікованих пікселів ортофотоплану, записаних з точністю дискретності цифрового формату координат та поверхнею землі, яка на ній зображена.

До математичних елементів топографічного ортофотоплану належать: картографічна проекція, масштаб, координатна сітка, система розграфки та елементи компоновки.

Межі відображення ортофотопланів та проекція повинні відповідати рамкам номенклатурних листів топографічних карт й планів міст та прийнятим проекціям відповідних масштабів.[7]

Геодезична основа повинна бути представлена з точністю зазначеної в каталогах або списках координат.

До геодезичної основи ортофотоплану належать:

1. Прийнятий для даної проекції еліпсоїд;
2. Геодезична мережа;
3. Відомості про координати об’єктів місцевості.

Перелік об’єктів, що відображаються на ортофотопланах: елементи математичної основи ортофотоплану – проекція, координатна сітка, масштаб, компоновка аркушів.

Кілометрова сітка на ортофотоплани не наноситься, але виходи її показують між внутрішньою та зовнішньою рамками аркуша.

Написи на ортофотоплані даються тими ж шрифтами, що і на звичайній топографічній карті. Зарамкове оформлення ортофотопланів повинно відповідати оформленню звичайної топографічної карти того самого масштабу. Додатково надають підписи: відомості про космічну зйомку (назва космічного апарату, дата зйомки, кут нахилу, роздільна здатність на місцевості (см або м), рік складання ортофотоплану, назва організації, що виготовила). [42]

Колір відображення елементів ортофотоплану: зображення ортофотоплану – сірий (різних відтінків) – для півтонового панхроматичного зображення та кольоровий (в натуральних кольорах) для оригінального вихідного зображення космічного знімка, червоним – адміністративно-політичні кордони, чорний – для рамок й зарамкового оформлення.

Роздільна здатність. Розмір пікселу повинен бути не більше 0,1 мм в масштабі ортофотоплану. Роздільна здатність повинна бути не гірше 0,2 мм в масштабі ортофотоплану.

Колірна палітра й параметри монохромного зображення повинні дозволяти надійно дешифрувати окремі об’єкти розміром більше 0,5 мм у масштабі ортофотоплану.

Точність цифрових ортофотопланів. Середні похибки в плановому положенні предметів та контурів місцевості з чіткими абрисами відносно найближчих точок планової знімальної мережі й планової польової підготовки космічних знімків (КЗ), а також точок, отриманих навігаційним приймачем не повинні перевищувати 0,3 мм, а для гірських і високогірних районів – 0,5 мм, при цьому кількість подвоєних похибок не повинне перевищувати 10% від їхнього загального числа.

Суміжні листи топографічних ортофотопланів повинні бути зведені за змістом контурів топографічних об’єктів по їх фотозображенню. Середня похибка не зведення не повинна перевищувати – 0,5 мм для рівнинних районів, для гірських – 0,7 мм, подвійна середня похибка відповідно – 1,0 мм для рівнинних та – 1,5 мм для гірських районів, при цьому кількість подвійних похибок не повинне перевищувати 10% від їхнього загального числа. Як виключення, в рівнинних районах допустима гранична похибка не зведення –1,5 мм (не більше 5%). [31]

Рис. 2.1 Технологічна схема геометричної корекції космічних знімків SUPERVIEW-1 для топографічного картографуваня

2.1 Підготовчі роботи

Підготовчі роботи включають такі операції:

1) збір матеріалів топографо-геодезичної та картографічної забезпеченості об’єкта, де вказується перелік раніше виконаних аерофототопографічних робіт

2) (каталоги пунктів ДГМ, топографічні карти різних років видання, матеріали аерозйомок, виготовлені ортофотоплани);

3) підняття архівних матеріалів космічної зйомки;

4) аналіз матеріалів топографічних робіт, виконаних раніше, прийняття рішення щодо актуальності зібраних матеріалів та доцільності їхнього подальшого використання;

5) уточнення завдання на виконання робіт зі створення ортофотопланів, а також меж району робіт та масштабу майбутніх ортофотопланів;

6) вибір системи координат та картографічної проекції;

7) розграфлення та номенклатура топографічних ортофотопланів визначених масштабів 1:2 000-1:100 000;

8) безпосереднє проектування нарізки номенклатурних листів в електронному вигляді. [17]

2.2 Розроблення проекту створення ортофотопланів на район робіт

В проекті робіт на схемі вказується місце розташування об’єкта робіт, кількість та номенклатура аркушів ортофотопланів прийнятого масштабу, що покривають територію об’єкта, загальна площа виконання робіт. Крім того, надається перелік основних видів робіт та нормативних документів, з урахуванням яких виконуються усі види робіт. [8]

Проектом передбачається виконання таких основних видів робіт:

1) проектування розміщення розпізнавальних знаків для прив’язки космічного знімка;

2) проектування робіт з маркування розпізнавальних знаків, в разі замовлення нового космічної зйомки;

3) проектування робіт з планово-висотної прив’язки вибраних розпізнавальних знаків, (зазвичай по архівним ортофотопланам і космічним зображенням вибирають чіткі контури місцевості, котрі можливо ідентифікувати на місцевості);

4) проектування робіт з координування розпізнавальних знаків за допомогою GPS-приймачів в полі, або за картографічними матеріалами, ортофотопланами більших масштабів;

5) проектування робіт з формування ЦМР в растровому вигляді (інформацію про рельєф та гідрографію). Висотні дані можуть бути отримані за допомогою горизонталей з топографічної карти, за допомогою стереозйомки, за радарними даними, або за відкритими грубими даними SRTM (матриця рельєфу з кроком 30-90 м) і GDEM (матриця рельєфу з кроком 15-90 м);

6) радіометрична корекція знімків (в разі потреби в залежності від рівня попередньої обробки вихідних космічних знімків);

7) геометрична корекція знімків з використанням RPC-коефіцієнтів;

8) ортокорекція космічних зображень;

9) тонова корекція і мозаїкування створених ортофотопланів;

10) формування (нарізка) ортофотопланів у прийнятій розграфці;

11) редагування та приймання робіт;

12) приймання робіт. оцінка якості і точності ортофотопланів. формування метаданих та технічного звіту. [18]

2.3 Отримання матеріалів космічної зйомки

Всі дані ДЗЗ супроводжуються набором метаданих, кількість і типи файлів залежить від рівня попередньої обробки, що зазвичай виконується постачальником даних. [28]

Замовлення космічного знімка. При замовленні знімків завжди потрібно вказувати:

1) Район виконання робіт;

2) Розподільча здатність космічного знімка на місцевості;
3) Чорно-біле, або кольорове
4) Допустима хмарність;
5) Максимальний кут відхилення сенсору;
6) Дата зйомки;
7) Наявність стереопродукту (за необхідності).

Комплект поставки космічного знімка зазвичай надається в наборі файлів, основні з котрих надані в таблиці 2.1

Таблиця 2.1

Ідентифікатор	Зміст даних
файли з розширенням .IMD (image metadata), _README.TXT	містять метадані зображення, надається інформація про замовлення продукту (порядковий номер замовлення, назва продукту, діапазон, кількість рядків та стовпчиків зображення, деякі характеристики радіометричної корекції, координати кутів замовленого зображення та ін.);
файл з розширенням .XML	представлена та ж сама інформація, що й у файлі .IMD, але у вигляді XML-документу
файл з розширенням .RPB	містить набір коефіцієнтів раціонального поліному (RPC) та дані, що необхідні для переходу від координат місцевості до координат зображення (величини зміщення координат зображення в системі координат місцевості та знімку, при чому зміщення висоти дорівнює середньому значенню висоти для території, яку покриває знімок, коефіцієнти нормалізації для всіх наборів координат
файли для ГІС-середовищ з розширенням .shp	знаходиться зображення полоси зйомки (strip) та межі зображення (area of interest) з атрибутивною інформацією
файл формату BROWSE.JPG	являє собою зменшену копію зображення з попереднім переглядом (preview) космічного знімку
ГІС-файли: Stripdesk: 1010010002347B00	інформація про полосу зйомки
Sunazimuth: 154.26	кут сонця
Offnadir: 15.1°	кут відхилення від надиру
Acquisitio: 2003-08-18T09:12:24.348339Z	час зйомки
Tilename: R1C1	розміщення знімку на полосі зйомки: 1-ий рядок, 1-а колонка

Filename: 03AUG18091234-S2AS-005599426010_01_P001.TIF	назва файлу і саме зображення

Космічні знімки можуть поставляються в таких спектральних каналах, або їх комбінацій:

Чорно-біла (панхроматична) продукція, що дає змогу виконувати візуальний аналіз. Панхроматичний сенсор (супутники: EROS-A,B, WorldView-1) одержують інформацію у видимому й ближньому інфрачервоному діапазоні хвиль і має діапазон частот 0,45 – 0,90 мкм;

Мультиспектральна продукція, що покриває видимий та ближній інфрачервоний спектри (0,45 – 0,95 мкм) та є ідеальною для мультиспектрального аналізу (супутники: QuickBird, WorldView-2, GeoEye-1, RapdEye, PlanetScope, Pleiades-1A,1B). Сполучення каналів видимого діапазону спектра – RGB, дозволяє одержати мультиспектральне зображення в природних кольорах. Шляхом комбінування каналів видимих і ближнього інфрачервоного діапазонів – iRRG, на виході одержують мультиспектральне зображення в інфрачервоних псевдокольорах;[9]

Комплект (чорно-біла та мультиспектральна) продукція: супутник QuickBird одержує панхроматичне (чорно-біле) і мультиспектральне зображення одночасно, отже, замовники мають можливість замовлення як чорно-білої, так і мультиспектральної продукції на ту ж саму територію;

Кольорова (3-х діапазонні натуральні кольори та інфрачервоні кольори) продукція, що поєднує візуальну інформацію по трьом мультиспектральним діапазонам з просторовою інформацією панхроматичного діапазону;

Pan-sharpened (4 діапазони) продукція, що поєднує візуальну інформацію усіх чотирьох мультиспектральних діапазонів (синій, зелений, червоний та інфрачервоний) із просторовою інформацією панхроматичного діапазону, використовуючи Алгоритм Principal Components (з використанням методу бікубічного згладжування зображення на основі матриці 4x4). Кінцевий продукт має просторову роздільну здатність 0,60 або 0,70 м і поставляється як один файл із чотирма каналами. [46]

Для забезпечення високої геометричної точності замовляються космічні зображення з невисоким «базовим» рівнем обробки 1B. На цьому рівні враховано лише радіометричну корекцію і поправку за внутрішню сенсорну геометрію, але не виконано геометричну корекцію і прив'язку до картографічної проекції та еліпсоїда. Перелік найпоширеніших космічних супутників з рівнем обробки надано в таблиці 2.2. Специфікації рівнів обробки космічних знімків надано в таблиці 2.3.

Таблиця 2.2

Перелік космічних знімків з рівнем обробки

QuickBird	WorldView-1, WorldView- -2	GeoEye 1	Planet	RapidEye
Basic 1A Standard 2A Standard Ortho Ready 1B Orthorectified 3A Basic Stereo Pairs	Basic 1A Standard 2A Standard Ortho Ready 1B Orthorectified 3A	Geo 1A GeoProfessional GeoProfessional Precision GeoStereo GeoStereo Precision	Basic 1B Ortho Visual 3B (сцена) Ortho Visual 3B Tile	Basic 1B Ortho Tile 3A

Таблиця 2.3

Специфікації рівнів обробки космічних знімків

№ за/пор.	Рівень обробки	Специфікації
1	0	«Сирі» дані, отримані датчиками знімальних камер в процесі зйомки, без будь-яких перетворень. Даний рівень є базовим для наступних рівнів обробки. Формат файлів зображень на даному рівні стандартом не визначено і може бути форматом, визначеним компанією-оператором супутникової системи.
2	1A	Включає тільки радіометричну корекцію спотворень, викликаних різницею в чутливості окремих датчиків знімальної системи. Надаються коефіцієнти для абсолютного радіометричного калібрування. Формат файлів RAW, TIFF.
3	1B	Включає радіометричну корекцію рівня обробки 1A, а також геометричну корекцію систематичних помилок датчиків скануючої системи (панорамні спотворення, перекручування викликані обертанням і кривизною Землі, коливанням висоти орбіти супутника). Застосоване абсолютне радіометричне калібрування. Формат файлів зображення RAW, TIFF.
4	2A	Зображення приведені до стандартної географічної проекції без використання наземних опорних точок. Проектування зображення виконується на середню площину, або використовується груба

		глобальна цифрова модель рельєфу (ЦМР) з кроком на місцевості 1 км. Формат файлів зображень GeoTIFF.
5	2B	Зображення рівня 2A приведені до стандартної картографічної проекції з використанням наземних опорних точок. Проектування зображення виконується на середню площину, або використовується груба глобальна цифрова модель рельєфу (ЦМР) з кроком на місцевості 1 км. Формат файлів зображень GeoTIFF.
6	3A	Зображення проектуються в задану картографічну проекцію шляхом ортотрансформування, з використанням моделі знімка, опорних наземних точок і моделі рельєфу місцевості. Отримані зображення є ортотрансформовані з певною точністю. Зображення, як правило, нарізуються на стандартні картографічні листи. Формат файлів зображень GeoTIFF.
7	3B	Об'єднання зображень рівня 3A в єдині безшовні растрові мозаїки, що покривають великі території. Формат файлів зображень GeoTIFF.

Модель RPC використовує коефіцієнти кубічних поліномів для виконання трансформації координат земної поверхні (довготи P, широти L, висоти H) в координати зображення (рядок r, колонка c) окремого знімка. Вона узагальнює модель сенсора, включаючи 2D і 3D-поліноміальні моделі, моделі проекційного та лінійного трансформування. Перехід «місцевість – знімок» має такий вигляд:

$$r_n = \frac{p_1(P_n, L_n, H_n)}{p_2(P_n, L_n, H_n)} \quad c_n = \frac{p_3(P_n, L_n, H_n)}{p_4(P_n, L_n, H_n)} \qquad (8)$$

де rn і cn – нормалізовані координати точки місцевості в системі координат знімка (рядок, стовпчик – у пікселях); Pn, Ln, Hn – нормалізовані координати точки в системі координат місцевості (довгота, широта – в градусах, висота – у метрах); pq (q=1, 2, 3 і 4) – поліноми третього ступеня.

Нормалізовані координати знаходять так:

$$P_n = \frac{(Latitude - LAT_OFF)}{LAT_SCALE}$$

$$L_n = \frac{(Longitude - LONG_OFF)}{LONG_SCALE}$$

$$H_n = \frac{(Height - HEIGHT_OFF)}{HEIFHT_SCALE} \qquad (9)$$

$$r_n = \frac{(Row - LINE_OFF)}{LINE_SCALE}$$

$$C_n = \frac{(Column - SAMP_OFF)}{SAMP_SCALE}$$

де Latitude, Longitude, Height – координати точки в системі координат місцевості; LAT_OFF, LONG_OFF, HEIGHT_OFF, LINE_OFF, SAMP_OFF –

зміщення координат в системі координат місцевості та знімка; LAT_SCALE, LONG_SCALE, HEIGHT_SCALE, LINE_SCALE, SAMP_SCALE – коефіцієнти нормалізації. Нормалізація зменшує вплив похибок під час розрахунків.

Кожен поліном p має такий загальний вигляд:

$$p(P,L,H) = a_1 + a_2 \times P + a_3 \times L + a_4 \times H + a_5 \times P \times L + a_6 \times P \times H + a_7 \times L \times H + a_8 \times P^8 + a_9 \times L^2 + a_{10} \times H^2 + a_{11} \times P \times L \times H + a_{12} \times P^3 + a_{13} \times P \times L^2 + a_{14} \times P \times H^2 + a_{15} \times P^3 \times L + a_{16} \times L^3 + a_{17} \times L \times H^2 + a_{18} \times P^2 \times H + a_{19} \times L^2 \times H + a_{20} \times H^3 \qquad (10)$$

Ця раціональна функція третього ступеня з 20-ма коефіцієнтами трансформує точку з системи координат об'єкта до системи координат зображення. Підставивши формулу (3) у вираз (1) і скоротивши перший коефіцієнт у знаменнику, маємо 39 коефіцієнтів у кожному рівнянні: 20 – у чисельнику і 19 – у знаменнику. Оскільки кожна наземна опорна точка дає змогу скласти два рівняння, то необхідно 39 таких точок для знаходження 78-ми коефіцієнтів.

Файл RPC-коефіцієнтів постачається разом зі знімком і містить інформацію, яка наведена в таблиці 2.3:

Таблиця 2.3

Зміст файлу з RPC, що надається користувачам

Поле	Опис	Приклад
SatID	Ідентифікатор супутника	«QB02»
BandID	Ідентифікатор спектрального діапазону	«RGB»
specID	Визначає специфікацію, яка містить RPC	«RPC00B»
errBias	Похибка за зміщення в результаті нахилу, в метрах	21.44
errand	Випадкова похибка	0,12
lineOffset	Зміщення координат в системі координат знімка в пікселях	4205
sampOffset		4225
latOffset	Зміщення координат в системі координат місцевості в десятих градусу	50.5505
longOffset		26.2600
heightOffset		224
lineScale	Коефіцієнти нормалізації для: рядка;	4237
sampScale	колонки;	4457
latScale	широти;	0.0230
longScale	довготи;	0.0361
heightScale	висоти	500

lineNumCoef	Список 20 коефіцієнтів для полінома p_1	+5.169555E-03 +1.004843E-02 … +3.788190E-06
lineDenCoef	Список 20 коефіцієнтів для полінома p_2	+1.000000E+00 -1.324341E-05 … +1.280094E-06
sampNumCoef	Список 20 коефіцієнтів для полінома p_3	-2.626825E-03 +9.563454E-01 … -9.001838E-07
sampDenCoef	Список 20 коефіцієнтів для полінома p_4	+1.000000E+00 +1.292710E-03 … +1.415704E-06

Примітка: *Якщо зображення розділене на тайли, то файл RPC даних поставляється один для всіх растрових файлів.*

Коефіцієнти RPC, які входять у комплект поставки деяких продуктів ДЗЗ і постачаються компаніями-виробниками космічної продукції, обчислені на основі геометричної (фізичної) моделі сенсора, результатів бортових і телеметричних траєкторних вимірювань, а для продуктів високої точності також із залученням опорних точок, які можуть бути надані замовником даного продукту. У випадку, коли опорні точки при обчислені RPC не використовувалися, застосування точок польової підготовки для уточнення RPC і отримання більш точних результатів при трансформуванні обов'язкове. Опорні точки використовуються для корегування значень коефіцієнтів RPC-моделі, щоб уточнити положення кожного елементу зображення. Точність результатів геометричної корекції залежить від точності визначення планових координат і висоти наземних розпізнавальних знаків і від кількості наземних опорних точок оефіцієнти RPC, які входять у комплект поставки деяких продуктів ДЗЗ і постачаються компаніями-виробниками космічної продукції, обчислені на основі геометричної (фізичної) моделі сенсора, результатів бортових і телеметричних траєкторних вимірювань, а для продуктів високої точності також із залученням опорних точок, які можуть бути надані замовником даного продукту. [20]

У випадку, коли опорні точки при обчислені RPC не використовувалися, застосування точок польової підготовки для уточнення RPC і отримання більш точних результатів при трансформуванні обов'язкове. Опорні точки використовуються для корегування значень коефіцієнтів RPC-моделі, щоб уточнити положення кожного елементу зображення. Точність результатів геометричної корекції залежить від точності визначення планових координат і висоти наземних розпізнавальних знаків і від кількості наземних опорних точок.

2.4 Формування каталогу координат і абрису опорних і контрольних точок

Процес планової прив'язки космічних знімків виконується за наступними вимогами. Розпізнавальні знаки та контрольні точки для прив'язки матеріалів космічної зйомки вибираються рівномірно по площі об'єкту. По периметру розпізнавальні знаки розміщують у районах точок поворотів межі району робіт, а на прямих відрізках – між точками поворотів.

Для розпізнавальних знаків вибирають контурні точки, які розпізнаються на матеріалах космічної зйомки і місцевості з точністю не менше 0,1 мм у масштабі створюваного плану і розташовані на характерних висотах району робіт.

Координати розпізнавальних знаків можуть бути визначені за картографічними матеріалами (карти, плани) і топографічними даними (ортофотоплани) більших масштабів так і з виконанням GPS-спостережень в полі.

Координати опорних і контрольних точок та їх абриси формують у каталог точок для геометричної корекції космічного знімка. [13]

2.5 Створення ЦМР

Використовувати модель камери супутника у вигляді узагальнених апроксимуючих функцій (раціональних поліномів) RPC необхідно обов'язково з інформацією про рельєф у вигляді матриці рельєфу ЦМР, інакше обробка повинна виконуватися з постійним значенням перевищення, наприклад для повністю плоских областей. Результати обробки будуть поліпшені, якщо використовувати одну або більше наземних точок прив'язки – наземних розпізнавальних знаків. [10]

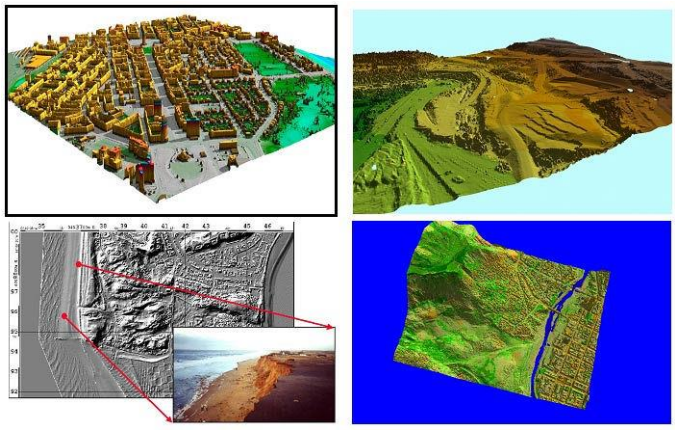


Рис. 2.2 Приклад побудованої ЦМР

Інформація про рельєф. Для виконання ортокорекції необхідний файл рельєфу в растровому вигляді ЦМР(див рис. 2.2). Висотні дані можуть бути отримані за допомогою горизонталей з топографічної карти, за допомогою стереозйомки, по радарних даними або з загальнодоступних грубих ЦМР: SRTM (дозвіл 30-90 м) і ASTER GDEM (дозвіл (15-90 м). Для пошуку необхідних ділянок ЦМР з загальнодоступних ресурсів дуже зручно підставляти в якості умов пошуку .shp-файли з поставки космічних знімків.

Створення ЦМР виконується в такій послідовності:

Векторизація рельєфу по топографічній карті, формування векторного формату в програмному пакеті ArcGIS 10.0, MAPInfo у форматі _.shp-файлів;

Оброблення векторного формату рельєфу алгоритмом Делоне, формування рельєфу в форматі TIN-моделі.

Конвертування TIN-моделі в растровий формат, відповідний формату моделей SRTM та ASTER GDEM, з розміром пікселя на місцевості вибраного для певного масштабу створення ортофотопланів. [34]

На кожну створену ЦМР мають бути подані метадані, що містять інформацію про неї. До складу даних, що мають бути відображені в цифровому описі рельєфу, мають входити дані про:

1) Пункти закладені на вершинах, сідловинах і перевалах;
2) Екстремуми локальних підвищень і впадин;
3) Інші пункти місцевості (пікети), необхідні для вірогідного відображення поверхні місцевості;
4) Тальвеги, вододіли, підніжжя та брівки;
5) Лінії або пункти, що знаходяться вздовж краю і основи гори;
6) Укоси, обриви і підпірні стіни;
7) Лінії, що лежать вздовж водотоків;
8) Лінії, що лежать вздовж контурів так званих «виключних просторів»;
9) Лінії, що лежать біля так званих площинних просторів, або територій з однаковою висотою.

Реєстр моделей рельєфу призначений для зберігання метаданих і підтримки механізму ідентифікації та пошуку моделей рельєфу в базі топографічних даних за ідентифікаторами на множині цих метаданих, включаючи просторову область моделювання, тип моделі, дату її створення тощо. [35]

2.6 Радіометрична корекція знімків

Радіометрична корекція даних космічної зйомки – виправлення на етапі попередньої підготовки знімків апаратних радіометричних викривлень, зумовлених характеристиками використовуваного знімального приладу. Для сканерних знімальних приладів такі дефекти спостерігаються візуально як модуляція зображення (смуги) у напрямках паралельно або перпендикулярно осі зображення. При радіометричній корекції також вилучаються дефекти зображення, такі як збійні пікселі зображення, рядки, що випадають, черезсмужжя (stripping).

Для виготовлення ортофотопланів з наступним їх використанням в картографічних цілях (оновлення карт) використовуються космічні знімки з

рівнем попередньої обробки 1B. Радіометрична корекція знімків на рівні обробки 1B включає:

Встановлення відносної радіометричної відповідності між сенсорами та усунення відмінностей в зображеннях, які виникли внаслідок різної чутливості пікселів сенсора;

Заповнення нульових значень на зображенні, що викликані недостатньо довгим накопиченням даних;

Калібрування реакції сенсору на відомі радіометричні сигнали.

Цей рівень обробки також містить геометричну корекцію систематичних помилок датчиків скануючої системи (панорамні спотворення, перекручування викликані обертанням і кривизною Землі, коливанням висоти орбіти супутника).

Для кращого візуального сприйняття знімків застосовуються такі додаткові методи обробки зображень, як регулювання яскравості і контрасту. Існує декілька методів підвищення контрасту шляхом цифрової обробки: лінійне розтягування гістограми, нормалізація гістограми.[12]

Методи підвищення контрасту:

Лінійне розтягування гістограми полягає в розтягуванні існуючого на знімку інтервалу яскравостей і наступного перерахування значень яскравості. Всім значенням яскравості надаються нові значення з метою охопити весь

Можливий інтервал зміни яскравості (0,255)

Нормалізація гістограми. На весь можливий інтервал зміни яскравості розтягується не вся гістограма, а її найбільш інтенсивна ділянка.

Фільтрація зображення застосовується для покращення його якості, зняття шуму і виділення топографічних об’єктів.

Згладжувальні (низькочастотні фільтри) дозволяють зняти шум і прибрати дрібні деталі, що веде до отримання більш однорідних ділянок зображення, придатних для подальшої обробки з метою виявлення тих або інших об’єктів. До них відносяться усереднювальний і медіанний фільтри та перетворення в ковзному вікні. Принцип їх дії полягає в перетворенні значень яскравості для

кожної точки зображення на основі інформації про яскравість її сусідів на невеликій відстані.

Один з найпростіших способів фільтрації – перетворення в ковзному вікні. При такому перетворенні перераховуються значення яскравості всіх пікселів зображення. Перерахунок здійснюється для кожного пікселя наступним чином. Коли даний піксель стає центральним у вікні, що «рухається» по знімку, йому дається нове значення, яке є функцією від значень пікселів, що його оточують

2.7 Геометрична корекція знімків з використанням RPC – поліномів

Геометрична корекція супутникових зображень – це виправлення похибок, спричинених рухом супутника та/чи сенсору на протязі руху по орбіті. На рух супутника діє гравітаційна сила, саме тому просторове положення платформи змінюється. Крім того, під дією цієї сили сенсор може відхилятися від першопочаткової фокальної площини під час руху супутника по орбіті, що спричинює нерегулярну частоту дискретизації від кожного детектора. Геометрична корекція знімків рівня Standard (QuickBird) усуває неточності місцеположення супутника та його орбіти, похибки за рахунок обертання Землі та її кривизни, а також панорамні спотворення за кут нахилу сенсору.

Геометрична корекція матеріалів космічної зйомки виконується з використанням спеціалізованого програмного забезпечення ERDAS IMAGINE , ENVI та інших. Геометрична корекція матеріалів QuickBird (Standard) виконується поліномами 1-го (2-го) порядків з врахуванням даних RPC коефіцієнтів.

Порядок виконання операцій з геометричної корекції приведений в інструкції з виконання робіт відповідного програмного комплексу. Для корекції супутникових знімків з високою просторовою роздільною здатністю, як правило, використовують дві категорії методів: параметричні та непараметричні.

Параметричні (строгі) методи базуються на комплексній математичній моделі, яка використовує візуальну геометрію сенсора, внаслідок чого

відновлюється просторове положення сукупності променів, що сформували знімок. Параметричну модель будується після встановлення таких даних:

Траєкторія носія (аналог лінійних елементів зовнішнього орієнтування для знімків центральної проекції);

Орієнтація сенсора (аналог кутових елементів зовнішнього орієнтування);

Геометрична модель сенсора (аналог елементів внутрішнього орієнтування).

Геометрична модель сенсора задає напрямний вектор променю, який реєструється кожним сенсором у системі координат, що узгоджується з сенсором. Слід враховувати, що залежність між координатами на місцевості й на зображенні порушується при геометричній корекції знімків, тому для обробки в межах цього підходу придатні тільки зображення, що зазнали лише радіометричної корекції (рівень обробки: 1A, 1B). Цей метод обробки можна застосовувати до знімків SPOT, EROS, QuickBird (продукт рівня Basic), ASTER.

Непараметричні методи є альтернативою попередньому підходу. Вони встановлюють залежність між пікселями на зображеннях та їх місцеположенням на земній поверхні й ґрунтуються на двох кубічних поліномах.

RPC-коефіцієнти, які входять у комплект поставки деяких продуктів ДЗЗ і постачаються компаніями-виробниками космічної продукції, обчислені на основі геометричної (фізичної) моделі сенсора, результатів бортових і телеметричних траєкторних вимірювань, а для продуктів високої точності також із залученням опорних точок, які можуть бути надані замовником даного продукту. У випадку, коли опорні точки при обчислені RPC не використовувалися, застосування точок польової підготовки для уточнення RPC і отримання більш точних результатів при трансформуванні обов’язкове. Опорні точки використовуються для корегування значень коефіцієнтів RPC-моделі, щоб уточнити положення кожного елементу зображення. Результати обробки, що ґрунтуються на використанні RPC-коефіцієнтів, які постачаються із знімками, але покращені наземними опорними точками, доводять залежність геометричної точності від якості додаткових даних (точність ідентифікації на місцевості), що

використовуються під час орторектифікації, і від кількості наземних опорних точок

2.8 Ортокорекція знімків (Орторектифікація)

Ортокорекція знімка (орторектифікація) – це перетворення знімка на планіметричне зображення, що усуває геометричні спотворення на зображенні, зумовлені орієнтацією сенсора, впливом рельєфу й кривизни Землі, а також похибками математичної моделі зображення.

Ортокорекція матеріалів космічної зйомки виконується з використанням спеціалізованого програмного забезпечення ERDAS IMAGINE, ENVI із використанням ЦМР і наземних контрольних точок для врахування похибки за рельєф місцевості та встановлення пікселів у відповідні положення. При замовленні Orthorectified Imagery у компанії DigitalGlobe слід визначитися, які дані будуть використовуватися для ортокорекції: дані замовника чи дані компанії-постачальника. Для отримання ортокорегованих зображень, які надаються компаніями-виробниками, використовується глобальна мережа опорних точок. Для одержання точніших результатів замовник повинен сам надати компанії координати опорних точок. Точність такого ортотрансформованого зображення залежатиме від точності та якості наданих матеріалів.

2.9 Торгова корекція та мозаїкування ортофотозображення

При обробці великих обсягів території місцевості, як правило, використовуються кілька космічних знімків, можливо отриманих різними знімальними системами або в різний час. Виготовлені цифрові ортофотоплани можуть різнитись за тоновим контрастом і мають вигляд мозаїки. Щоб уникнути невідповідності вздовж ліній з’єднання окремих зображень тимчасові та сезонні різниці між вихідними знімками мінімізуються шляхом перетворення гістограм

зображень та вирівнюванням контрасту. Дана процедура виконується автоматично за допомогою відповідних програм в програмному забезпеченні ERDAS IMAGINE, ENVI та інших в такій послідовності:

1. Додавання зображень в мозаїку;
2. Вирівнювання їх яскравості / контрасту;
3. Визначення лінії зшивання в області перекриття двох сусідніх зображень;
4. Створення результуючого зображення.

Коли виконана мозаїка двох чи більше цифрових орторектифікованих частин, частина, що пройшла візуальний контроль і має найкращий контраст, використовується як зображення-еталон. Значення яскравості інших частин виправляється до значень «еталонного» зображення. Лінії з'єднання між частинами, що перекриваються, вибираються таким чином, щоб тональні коливання контрасту є мінімальними. Локалізоване виправлення значень яскравості зводить до мінімуму тональні відмінності між областями з'єднання. Ідентифікація вихідних джерел, як і протяжність кожної окремої частини зображення-мозаїки документується в полі метаданих.

2.10 Формування ортофотопланів у прийнятій розграфці

Результати ортокорекції космічних зображень представляються у вигляді цифрових топографічних ортофотопланів.

Цифровий топографічний ортофотоплан – це ортофототрансформоване зображення космічного знімка, що сформоване з урахуванням математично строгого перетворення вихідного зображення (знімка) в ортогональну проекцію і усунення геометричних спотворень, викликаних рельєфом, умовами зйомки та типом камери. [11]

Межі відображення ортофотопланів повинні відповідати рамкам номенклатурних листів топографічних карт й планів міст та прийнятим проекціям відповідних масштабів. [14]

2.11 Приймання робіт та оцінка якості і точності ортофотопланів

Оцінка точності створеного ортофотоплану. Точність виготовлених ортофотопланів оцінюється порівнянням координат контрольних точок, визначених польовими методами, з координатами, виміряними за виготовленими ортофотопланами. Середні квадратичні похибки геометричної корекції обчислюються за такими формулами:

$$\Delta_x = X_{input} - X_{ref};$$
$$\Delta_y = Y_{input} - Y_{ref};$$
$$M_x = \sqrt{\frac{\Delta_x^T \times \Delta_x}{n}}; \qquad (11)$$
$$M_y = \sqrt{\frac{\Delta_y^T \times \Delta_y}{n}};$$
$$M_s = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}.$$

Де Xinput, Yinput – значення координат точок визначених на орторектифікованому зображенні (ортофотоплані);

Xref, Yref – вектор координат точок визначених геодезичними методами в полі, з карт, або ортофотопланів більшого масштабу;

Δx, Δy – вектор нев'язок по X та Y;

Mx, My, M – середньоквадратичні похибки положення точок на зображенні. [15]

Висновок:

В цьому розділі ми розглянули основні етапи геометричної корекції космічних знімків Superview-1 для топографічного картографування. Кінцевий результатом нашої геометричної корекції є створення цифрового ортофотоплану. Їх точність напряму залежить від отриманих польовими спостереженнями контрольних точок. Програмний комплекс ENVI дав змогу легко обробити знімки і досягти бажаного результату.

РОЗДІЛ 3. ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРТОФОТОПЛАНІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КАМЕРАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ СУПУТНИКА SUPERVIEW-1ДЛЯ ЦІЛЕЙ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ.

3.1 Вихідні дані

Для проведення досліджень надані такі дані:

Космічний знімок SuperView-1

Для аналізу оцінки точності наданий НЦУВКЗ космічний знімок SuperView-1 ProductID SV1-3_20200912_L2A0000969745_ 6032000150040034_01-PAN.tiff з такими основними характеристиками:

- Дата зйомки: 12.09.2020 17:46
- Кут відхилення від надиру: 0.67°
- Розрізнення PAN: 0.5 м
- Динамічний діапазон : 16 біт
- Рівень обробки 1A за стандартом компанії-виробника космічного апарату за орбітальними даними
- Система координат WGS-84 B, L

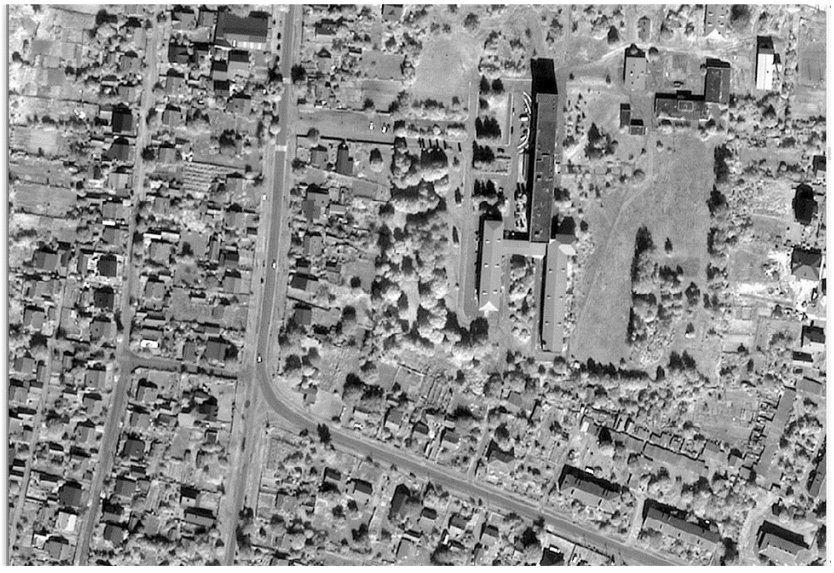


Рис. 3.1 Фрагмент космічного знімка SuperView-1 M 10 000 на територію досліджень наданий НЦУВКЗ

Космічний знімок SuperView-1 – геометрична корекція виконана НЦУВКЗ з використанням «Базової» космічної карти ESRI https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?useExisting=1:

- Ім'я файлу – SV1-03_20200912_L2A0000969745_ 6032000150040034 _01-PAN_m.jp2;
- Розмір файлу: 1.75 Гб;
- Розрізнення: 0.5 м;
- Динамічний діапазон: 16 біт;
- Формат: jp2;
- Стиснення: JPEG2000;
- Рівень обробки 2A за стандартом компанії-виробника космічного апарату за орбітальними даними і геометрична корекція в UTM-35, WGS-84;
- Система координат: UTM-35, WGS-84.

Орторектифікований космічний знімок SuperView-1 виготовлений НЦУВКЗ з використанням топографічної цифрової моделі висот Землі (SRTM https://srtm.csi.cgiar.org/) та «Базової» космічної карти ESRI https://www.arcgis.com/home/webmap/ viewer.html?useExisting=1:

- Ім'я файлу – SV1-03_20200912_L2A0000969745_6032000150040034 _01-PAN_ortho.jp2;
- Розмір файлу: 1.84 Гб;
- Розрізнення: 0.5 м;
- Динамічний діапазон: 16 біт;
- Формат: jp2;
- Стиснення: JPEG2000;
- Рівень обробки 2A за стандартом компанії-виробника космічного апарату за орбітальними даними і геометрична корекція в UTM-35, WGS-84;
- Система координат: UTM-35, WGS-84. [50]

Орторектифікований космічний знімок SuperView-1 виготовлений ДП НДІГК з використанням ортофотоплану масштабу 1 : 10 000 та цифрової моделі рельєфу з перерізом 10 м :

- Ім’я файлу – orto_10000_77644_USK_2000_z5_.tif;
- Розмір файлу: 0.11 Гб (в упакованому форматі);
- Розрізнення: 0.5 м;
- Динамічний діапазон: 8 біт;
- Формат: TIF;
- Стиснення: YCbCr JPEG;
- Система координат: Державна геодезична референцна система координат УСК-2000 X, Y проекція Гаусса- Крюгера 5-та зона.

Рис. 3.2 Фрагмент орторектифікованого космічного знімка SuperView-1 М 10 000 на територію досліджень, обробленого в ДП НДІГК

Ортофотоплан М 10 000 виготовлений за матеріалами аерофотознімання 2008 р

Для аналізу оцінки точності обраний ортофотоплан М 10 000 на територію Волинської області з такими основними характеристиками:

- Дата аерофотознімання: 2008 р.
- Розрізнення: 0.5 м
- Динамічний діапазон : 8 біт.
- Система координат СК-63, X, Y
- Проекція Гаусса-Крюгера 2-га зона

Рис.3.3 Фрагмент ортофотоплану М 10 000 на територію досліджень виготовлений за матеріалами аерофотознімання 2008 р.

Ортофотоплан М 2 000 виготовлений за матеріалами аерофотознімання 2012 р

Для аналізу оцінки точності обраний ортофотоплан М 2 000 з такими основними характеристиками:

- Дата зйомки: 02.2012 р.
- Розрізнення: 0.14 м
- Динамічний діапазон : 8 біт
- Система координат СК-63, X, Y

- Проекція Гаусса-Крюгера 2-га зона м[21]

Рис. 3.4 Фрагмент ортофотоплану М 2 000 на територію досліджень виготовлений за матеріалами аерофотознімання 2012 р. (відображено в М 10 000)

3.2 Методика дослідження результатів камерального оброблення матеріалів космічного знімання супутника SuperView-1 для цілей топографічного картографування.

Для визначення точності результатів камерального оброблення матеріалів космічного знімання супутника SuperView-1 для цілей топографічного картографування застосовано емпіричний метод дослідження. Цей метод ґрунтується на визначенні контрольних точок на матеріалах наданих космічних знімань та еталонної моделі розробленої в НДІГК. Для цього заплановано провести чотири експерименти. [16]

3.3 Вимоги до точності топографічних карт масштабу 1:10 000

У відповідності до діючих нормативних положень точність топографічних карт і матеріалів оцінюється середньою квадратичною похибкою в масштабі карти. Для пунктів геодезичної основи середня квадратична похибка дорівнює 0.2 мм в масштабі карти, що на місцевості складає 2 м Для чітких контурів середня квадратична похибка дорівнює 0.4 мм в масштабі карти , що на місцевості складає 4 м. [38]

3.4 Трансформування та зведення всіх матеріалів космічного знімання Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000.

Для забезпечення єдиного підходу до порівняння наданих матеріалів всі матеріали зведені до Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000, в якій виконуються всі топографо-геодезичні, землевпорядні та інші картографічні роботи. Для забезпечення використання УСК-2000 необхідно виконати високоточні трансформування координат між системами WGS-84 UTM-35, СК-42, СК-63р. і УСК-2000. Перетворення систем координат виконується в середовищі ArcMap з застосуванням розроблених в НДІГК параметрів переходу між вказаними системами координат та спеціальним трансформаційним полем, розробленим в НДІГК для ArcMap (https://dgm.gki.com.ua/ua/cartographic_projections).

3.5 Виготовлення еталонної моделі для порівняння координат контрольних точок.

Для виготовлення еталонної моделі використовуються ортофотоплани в масштабі 1:10 000, що виготовлені в Держгеокадастрі, як топографічної основи ведення Державного земельного кадастру та топографічного картографування

загальнодержавного призначення. Також використовуються великомасштабні топографічні плани в масштабі 1:2000 на тестову ділянку. [41]

3.6 Визначення контрольних точок на матеріалах космічних знімань та еталонної моделі

Для забезпечення проведення чотирьох експериментів на матеріалах космічних знімань та еталонної моделі визначається єдиний масив контрольних точок серед контурів з чіткими обрисами: стовпи ліній електропередачі, кути огорож, капітальні будинки та споруди. [1]

3.7 Оцінка точності матеріалів космічних знімань

Оцінка точності виконується за розходженнями координат вибраних контрольних точок по оцінюємому обробленому космічному знімку та еталонній моделі.

Середня квадратична похибка планового положення чітких контурів космічних знімків ***Ms*** обчислюється за формулою:

$$M_s = \sqrt{M_x^2 + M_y^2}\ ,$$

Де **Mx, My** – середня квадратична похибка планового положення, визначеної по координатах x та y контрольних точок.

Середня квадратична похибка положення контрольних точок по координатах X та Y обчислюється за формулами:

$$\mathrm{M_x} = \sqrt{\frac{\sum_i^n \Delta_{xi}^2}{n}}$$

$$\mathrm{M_y} = \sqrt{\frac{\sum_i^n \Delta_{yi}^2}{n}},$$

Δxi та Δyi – прирости координат по X та Y.

Прирости координат по X та Y обчислюються за формулами:

$$\Delta_{xi=} \mathrm{X_i'} - \mathrm{X_i''}$$

$$\Delta_{yi=} Y_i' - Y_i''\ ,$$

Де X′, Y′ — значення контрольних координат точок, визначених по космічним знімкам: X'_i; i=1, 2, 3,… n; Y'_i; i=1, 2, 3,… n.

X″, Y″ — координати контрольних точок визначених по еталонних моделях: X''_i; i=1, 2, 3,… n; Y''_i; i=1, 2, 3,… n.

Граничні розходження не повинні перевищувати подвоєних значень допустимих середніх квадратичних похибок, що наведені в пункті 2.1 цього розділу, і їх кількість не повинна бути понад 10% від загальної кількості контрольних вимірів. Ці результати враховуються при визначені середньої квадратичної похибки. [43]

Окремі розходження за результатами контрольних вимірів можуть перевищувати подвоєну середню квадратичну похибку, при цьому їх кількість не повинна бути більше 5% від загальної кількості контрольних вимірів.

Середня квадратична похибка планового положення з урахуванням вихідних даних, тобто на місцевості, має вигляд:

$$M = \sqrt{M_{вд}^2 + M_s^2}$$

де ***M***_вд – середньо-квадратична похибка вихідних даних, що складає 0.4 мм в масштабі карти для М 1:10 000 – 4 м, а для М 1:2 000 – 0.8 м.

3.8 Трансформування та зведення всіх матеріалів космічного знімання в Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000.

Перетворення з системи координат СК 63р до УСК-2000 виконано з застосуванням розробленого в НДІГК трансформаційного поля переходу від малоточної системи координат до високоточної.

Від ДКАУ отримано матеріали в системі координат WGS-84 UTM-35. Виконано перетворення цих матеріалів до системи геодезичних координат УСК-2000 X, Y 5-та зона проекції Гаусса-Крюгера з застосуванням параметрів перетворення, розроблених в НДІГК (https://dgm.gki.com.ua/ua/cartographic_projections) у три етапи:

1. Від системи геодезичних координат WGS-84 UTM-35 до системи геодезичних координат WGS-84 B, L;

2. Від системи геодезичних координат WGS-84 B, L в Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000 B, L;

3. Від Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 B, L до Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 X, Y 5-та зона.

Перетворення з системи координат СК 63р до УСК-2000 виконано з застосуванням параметрів перетворення, розроблених в НДІГК у три етапи:

1. Перехід від Системи координат СК 63р 2-га зона до геодезичних координат B,L в Системі координат СК 42, з використанням трансформаційного поля, розробленого в НДІГК Перерахунок між системами координат (gki.com.ua);

2. Від системи геодезичних координат СК 42 B, L до Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 B, L;

3. Від Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 B, L до Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 X, Y 5-та зона.

В результаті перетворень всі матеріали, по яких виконувалась оцінка точності, зведено у Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000 X, Y 5-та зона проекції Гаусса- Крюгера. еталонної моделі для порівняння координат контрольних точок. [40]

3.9 Виготовлення еталонної моделі для порівняння координат контрольних точок

Оцінка точності оброблених космічних знімків SuperView-1 проводилась методом порівняння координат ідентичних контурних точок на космічному знімку і ортофотопланах, виготовлених за матеріалами аерофотознімання. Для оцінки точності використані ортофотоплани М 10 000, виготовлених за

матеріалами аерофотознімання в 2008 році. При виборі акцент ставився також на наявність на дану територію матеріалів топографічних знімань більш великого масштабу 1:2 000, матеріалів польових вимірювань, що надає можливість виключити вплив похибки за точність виготовлення ортофотопланів М 1:10 000. Вибрана ділянка розташована на території Волинської області Рис. 5

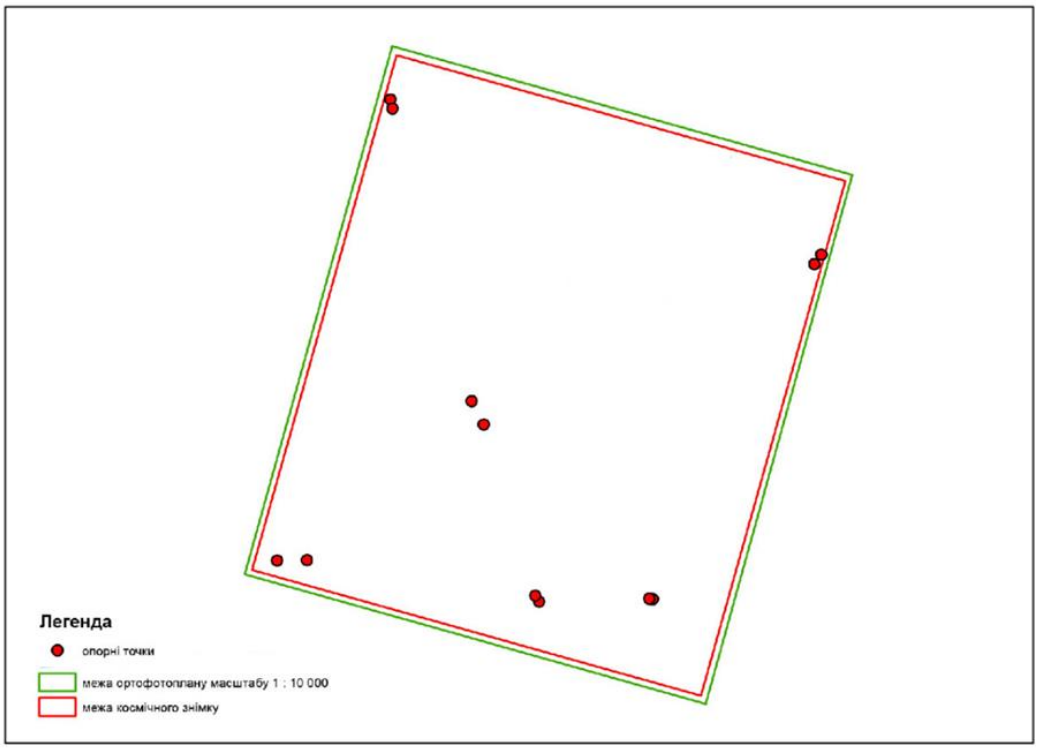


Рис. 3.5 Схема розташування ділянки району досліджень

3.10 Визначення контрольних точок на матеріалах космічних знімань та еталонної моделі.

Як контрольні вибирались чіткі контурні точки, що однозначно ідентифікуються на космічному знімку і еталонного ортофотоплану та топографічному плану в масштабі 1:2000. В цьому досліджені на район робіт було визначено понад 20-ть контрольних точок.

3.11 Оцінка точності матеріалів космічних знімань.

Дослідження проводились в чотири етапи:

1. Оцінка точності космічних знімків SuperView-1, що попередньо оброблені НЦУВКЗ до рівня обробки 2А за стандартом компанії-виробника космічного апарату проведеної НЦУВКЗ.

Результати оцінки надано в табл. 3.1.

Табл. 3.1 Оцінка точності геометричної прив'язки за орбітальними даними і геометричної корекції космічного знімка рівня обробляння 2А (за стандартом компанії-виробника космічного апарату) .

№ п/п	Хцтк	Yцтк	Хорт	Yорт	ΔXi	ΔYi	ΔX²i	ΔY²i	Похибка
1	5641544.32	375805.37	5641531.68	375794.73	12.64	10.64	159.77	113.21	16.52
2	5641378.53	375865.84	5641366.74	375856.12	11.79	9.72	139.0	94.48	15.28
3	5641246.9	375913.95	5641237.85	375903.98	9.05	9.97	81.9	99.4	13.46
4	5641115.91	375974.73	5641105.52	375964.59	10.39	10.14	107.95	102.82	14.52
5	5641087.84	376966.27	5641079.43	376957.4	8.41	8.87	70.73	78.68	12.22
6	5640999.62	376127.34	5640989.29	376117.61	10.33	9.73	106.71	94.67	14.19
7	5640985.85	376244.93	5640977.67	376235.97	8.18	8.96	66.91	80.28	12.13
8	5640972.29	376369.39	5640962.27	376359.89	10.02	9.5	100.4	90.25	13.81
9	5640952.41	377064.73	5640942.01	377055.58	10.4	9.15	108.16	83.72	13.85
10	5640909.5	376917.37	5640899.47	376908.16	10.03	9.21	100.6	84.82	13.62
11	5640885.38	377051.44	5640875.82	377042.32	9.56	9.12	91.39	83.17	13.21
12	5639938.84	377352.69	5639929.31	377343.73	9.53	8.96	90.82	80.28	13.08
13	5639677.34	377347.14	5639666.46	377338.09	10.88	9.05	118.37	81.9	14.15
14	5639584.73	377228.15	5639572.28	377218.88	12.45	9.27	155.0	85.93	15.52
15	5639322.22	383132.54	5639308.04	383126.38	14.18	6.16	201.07	37.95	15.46
16	5637489.64	376831.9	5637478.45	376822.13	11.19	9.77	125.22	95.45	14.85
17	5635274.58	372662.95	5635263.56	372652.57	11.02	10.38	121.44	107.74	15.14
18	5632482.3	369457.49	5632473.73	369447.49	8.57	10.0	73.44	100.0	13.17
19	5632439.31	378984.94	5632426.52	378978.59	12.79	6.35	163.58	40.32	14.28
20	5632240.16	369672.58	5632231.45	369662.72	8.71	9.86	75.86	97.22	13.16
21	5631846.2	371702.13	5631835.55	371694.08	10.65	8.05	113.42	64.8	13.35
22	5631557.0	377045.39	5631544.56	377038.89	12.44	6.5	154.75	42.25	14.04
23	5630104.44	380589.02	5630092.77	380583.71	11.67	5.31	136.19	28.2	12.82
24	5629406.84	378728.95	5629394.58	378727.24	12.26	1.71	150.31	2.92	12.38
25	5629371.27	378763.79	5629359.43	378758.19	11.84	5.6	140.19	31.36	13.1
∑					**268.98**	**211.98**	**2953.18**	**1901.82**	**347.31**
					Mx =	10.87	м		
					My =	8.72	м		
					Ms =	13.94	м		
Середня квадратична похибка чіткого контуру об'єкта (Root-mean-square error)) з врахуванням точності ортофотоплану М 10 000 (4 м)					**M =**	**14.81**	**м**		
Середня похибка чіткого контуру об'єкта (Mean error)) з врахуванням точності ортофотоплану М 10 000 (4 м)					**Θ =**	**11.85**	**м**		

Точність космічного знімка рівня оброблення 2А за стандартом компанії-виробника космічного апарату відносно ортофотопланів М 10 000 з врахуванням

похибки ортофотоплану М 10 000 (±4 м) характеризується середньою квадратичною похибкою ±14.81 м.

2. Оцінка точності космічного знімка SuperView-1 040034_01-PAN_m геометрична корекція виконана НЦУВКЗ до «Базової» космічної карти ESRI https://www.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?useExisting=1.

Результати оцінки надано в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

№ п/п	Xцтк	Yцтк	Xорт	Yорт	ΔXi	ΔYi	ΔX²i	ΔY²i	Похибка
1	5643912.842	5375865.179	5643910.204	5375862.474	2.64	2.70	6.96	7.32	3.78
2	5643745.953	5375926.009	5643745.15	5375922.693	0.80	3.32	0.65	10.99	3.41
3	5643615.266	5375974.056	5643612.973	5375971.226	2.29	2.83	5.26	8.01	3.64
4	5643482.355	5376033.474	5643480.949	5376031.721	1.41	1.75	1.98	3.07	2.25
5	5643366.23	5376186.715	5643364.919	5376184.587	1.31	2.13	1.72	4.53	2.50
6	5643353.563	5376304.587	5643351.816	5376302.443	1.75	2.14	3.05	4.60	2.77
7	5643340.34	5376429.748	5643338.306	5376427.021	2.03	2.73	4.14	7.44	3.40
8	5643275.621	5376977.32	5643275.377	5376975.261	0.24	2.06	0.06	4.24	2.07
9	5643252.358	5377111.668	5643251.212	5377109.847	1.15	1.82	1.31	3.32	2.15
10	5643319.074	5377122.967	5643318.022	5377124.721	1.05	-1.75	1.11	3.08	2.05
11	5643455.554	5377026.247	5643454.626	5377024.415	0.93	1.83	0.86	3.36	2.05
12	5641682.966	5383197.326	5641688.582	5383197.892	-5.62	-0.57	31.53	0.32	5.64
13	5632466.445	5380653.791	5632464.461	5380653.384	1.98	0.41	3.94	0.17	2.03
14	5631732.284	5378826.575	5631730.969	5378828.082	1.31	-1.51	1.73	2.27	2.00
15	5631767.456	5378794.29	5631765.384	5378796.291	2.07	-2.00	4.29	4.00	2.88
16	5633917.71	5377107.64	5633918.683	5377105.814	-0.97	1.83	0.95	3.33	2.07
17	5634207.757	5371761.368	5634205.64	5371757.133	2.12	4.24	4.48	17.94	4.73
18	5634603.286	5369728.886	5634599.554	5369725.551	3.73	3.34	13.93	11.12	5.01
19	5634845.768	5369513.677	5634841.56	5369509.812	4.21	3.86	17.71	14.93	5.71
20	5637635.768	5372718.294	5637636.928	5372720.639	-1.16	-2.35	1.35	5.50	2.62
21	5634801.815	5379047.136	5634798.968	5379049.369	2.85	-2.23	8.10	4.99	3.62
22	5641949.368	5377286.844	5641947.617	5377288.371	1.75	-1.53	3.07	2.33	2.32
23	5642041.578	5377407.981	5642042.502	5377406.286	-0.92	1.69	0.85	2.87	1.93
24	5642304.682	5377411.632	5642305.475	5377413.403	-0.79	-1.77	0.63	3.14	1.94
25									
∑					26.17	24.97	119.65	132.86	72.57
					Mx =	2.23	м		
					My =	2.35	м		
					Ms =	3.24	м		

Точність ортофотоплану космічного знімка SuperView-1 040034_01-PAN_m відносно ортофотоплану М 10 000 без врахування похибки

ортофотоплану М 10 000 характеризується середньою квадратичною похибкою ±3.24 м.

3.Оцінка точності орторектифікованого космічного знімка SuperView-1 040034_01-PAN_ortho з використанням цифрової моделі висот Землі (SRTM https://srtm.csi.cgiar.org/) та геометричної корекції до «Базової» космічної карти ESRI https://www.arcgis.com/home/webmap/ viewer.html?useExisting=1.

Результати оцінки надано в табл. 3.3.

Таблиця 3.4

№ п/п	Хцтк	Yцтк	Хорт	Yорт	ΔXi	ΔYi	ΔX²i	ΔY²i	Похибка
1	5632466.445	5380653.791	5632464.461	5380653.384	1.98	0.41	3.94	0.17	2.03
2	5631767.456	5378794.29	5631765.384	5378796.291	2.07	-2.00	4.29	4.00	2.88
3	5634603.286	5369728.886	5634599.554	5369725.551	3.73	3.34	13.93	11.12	5.01
4	5643912.842	5375865.179	5643910.204	5375862.474	2.64	2.70	6.96	7.32	3.78
5	5643745.953	5375926.009	5643745.15	5375922.693	0.80	3.32	0.65	10.99	3.41
6	5643615.266	5375974.056	5643612.973	5375971.226	2.29	2.83	5.26	8.01	3.64
7	5643482.355	5376033.474	5643480.949	5376031.721	1.41	1.75	1.98	3.07	2.25
8	5643366.23	5376186.715	5643364.919	5376184.587	1.31	2.13	1.72	4.53	2.50
9	5643353.563	5376304.587	5643351.816	5376302.443	1.75	2.14	3.05	4.60	2.77
10	5643340.34	5376429.748	5643338.306	5376427.021	2.03	2.73	4.14	7.44	3.40
11	5643275.621	5376977.32	5643275.377	5376975.261	0.24	2.06	0.06	4.24	2.07
12	5643252.358	5377111.668	5643251.212	5377109.847	1.15	1.82	1.31	3.32	2.15
13	5643319.074	5377122.967	5643318.022	5377124.721	1.05	-1.75	1.11	3.08	2.05
14	5643455.554	5377026.247	5643454.626	5377024.415	0.93	1.83	0.86	3.36	2.05
15	5641682.966	5383197.326	5641688.582	5383197.892	-5.62	-0.57	31.53	0.32	5.64
16	5631732.284	5378826.575	5631730.969	5378828.082	1.31	-1.51	1.73	2.27	2.00
17	5633917.71	5377107.64	5633918.683	5377105.814	-0.97	1.83	0.95	3.33	2.07
18	5634207.757	5371761.368	5634205.64	5371757.133	2.12	4.24	4.48	17.94	4.73
19	5634845.768	5369513.677	5634841.56	5369509.812	4.21	3.86	17.71	14.93	5.71
20	5637635.768	5372718.294	5637636.928	5372720.639	-1.16	-2.35	1.35	5.50	2.62
21	5634801.815	5379047.136	5634798.968	5379049.369	2.85	-2.23	8.10	4.99	3.62
22	5641949.368	5377286.844	5641947.617	5377288.371	1.75	-1.53	3.07	2.33	2.32
23	5642041.578	5377407.981	5642042.502	5377406.286	-0.92	1.69	0.85	2.87	1.93
24	5642304.141	5377410.765	5642305.475	5377413.403	-1.33	-2.64	1.78	6.96	2.96
25									
∑					**25.62**	**24.11**	**120.80**	**136.68**	**73.59**
					Mx =	2.24	м		
					My =	2.39	м		
					Ms =	3.28	м		

Точність орторектифікованого космознімка SuperView-1 040034_01-PAN_ortho з використанням топографічної цифрової моделі висот Землі

(SRTM) та геометричної корекції до «Базової» космічної карти ESRI відносно ортофотоплану М 10 000 без врахування похибки ортофотоплану М 10 000 характеризується середньою квадратичною похибкою ±3.28 м.

3.12 Оцінка точності космічних знімків SuperView-1 рівня обробки 1А, отриманих в результаті обробки в НДІГК.

На цьому етапі були виконані наступні роботи:

- Розроблений проект опорних і контрольних точок для прив'язки і оцінки точності космічних знімків SuperView-1, за матеріалами ортофотопланів М 10 000 визначені координати опорних і контрольних точок, підготовлені абриси і складений каталог (каталог опорних і контрольних точок з абрисами наданий у Додатку 1); [12]
- Висоти опорних і контрольних точок визначались з врахуванням висот найближчих пунктів ДГМ і рельєфу місцевості в вигляді горизонталей з перерізом 10 метрів, що забезпечує середню похибку визначення висот – 3м. ;
- На космічному знімку по абрисам опорних точок визначені їх координати;
- Для проведення ортофототрансформування космічного знімка на ділянку обробки підготовлений рельєф в вигляді горизонталей з перерізом 10 метрів , що забезпечує середню похибку визначення висот – 3м;
- Оброблення (геометрична корекція і ортофототрансформування) космічного знімка SuperView-1 проводилось з використанням програмного забезпечення ENVI v. 5.4 SP2 з врахуванням коефіцієнтів полінома RPC;
- Оцінка точності проводилась з використанням ArcMAP v.10.5;
- Результати оцінки надані в Табл. 3.4.

Табл. 3.4 Оцінка точності ортофотоплану космічного знімка SuperView-1 рівня 1A відносно ортофотоплану М 2 000

№ п/п	Хцтк	Yцтк	Хорт	Yорт	ΔXi	ΔYi	ΔX²i	ΔY²i	Похибка
1	5645563.05	5378174.53	5645562.9	5378175.27	0.15	-0.74	0.02	0.55	0.75
2	5645183.01	5379607.56	5645183.91	5379607.08	-0.9	0.48	0.81	0.23	1.02
3	5645101.41	5380183.04	5645102.76	5380182.01	-1.35	1.03	1.82	1.06	1.7
4	5645005.64	5376899.9	5645006.97	5376899.24	-1.33	0.66	1.77	0.44	1.49
5	5644847.65	5376993.78	5644849.66	5376992.62	-2.01	1.16	4.04	1.35	2.32
6	5644767.95	5379459.68	5644768.61	5379458.44	-0.66	1.24	0.44	1.54	1.41
7	5644700.34	5379151.2	5644701.97	5379150.46	-1.63	0.74	2.66	0.55	1.79
8	5644535.27	5378389.13	5644536.67	5378387.88	-1.4	1.25	1.96	1.56	1.88
9	5644267.38	5379859.62	5644269.29	5379858.61	-1.91	1.01	3.65	1.02	2.16
10	5644094.79	5378401.79	5644095.57	5378401.39	-0.78	0.4	0.61	0.16	0.88
11	5643790.2	5377956.44	5643791.24	5377955.16	-1.04	1.28	1.08	1.64	1.65
12	5643436.34	5377770.58	5643437.34	5377769.07	-1.0	1.51	1.0	2.28	1.81
13	5643337.5	5376429.93	5643338.16	5376428.08	-0.66	1.85	0.44	3.42	1.96
14	5643284.04	5378470.33	5643285.17	5378469.22	-1.13	1.11	1.28	1.23	1.58
15	5643250.28	5377112.19	5643250.45	5377111.29	-0.17	0.9	0.03	0.81	0.92
16	5643084.62	5379713.09	5643085.72	5379712.55	-1.1	0.54	1.21	0.29	1.22
17	5643075.68	5378419.49	5643076.0	5378418.56	-0.32	0.93	0.1	0.86	0.98
18	5643045.85	5379599.56	5643046.06	5379598.71	-0.21	0.85	0.04	0.72	0.87
19	5642683.74	5379850.01	5642684.48	5379848.88	-0.74	1.13	0.55	1.28	1.35
20	5642616.4	5377349.38	5642617.31	5377347.86	-0.91	1.52	0.83	2.31	1.77
21	5642299.96	5379552.2	5642300.81	5379550.67	-0.85	1.53	0.72	2.34	1.75
22	5642049.77	5376852.07	5642050.64	5376851.11	-0.87	0.96	0.76	0.92	1.3
23	5641653.04	5378866.44	5641653.44	5378865.04	-0.4	1.4	0.16	1.96	1.46
24	5641445.11	5378840.52	5641445.66	5378838.43	-0.55	2.09	0.3	4.37	2.16
25	5641279.0	5377399.43	5641279.16	5377398.46	-0.16	0.97	0.03	0.94	0.98
∑					**-21.93**	**25.8**	**26.31**	**33.83**	**37.16**
					Mx =	1.03	м		
					My =	1.16	м		
					Ms =	1.55	м		
					M =	**1.55**	**м**		
					Ѳ =	**1.24**	**м**		
Середня квадратична похибка чіткого контуру об'єкта (Root-mean-square error)) з врахуванням точності ортофотоплану М 2 000 (0.8 м)					**M =**	**1.74**	**м**	1 м	
Середня похибка чіткого контуру об'єкта (Mean error)) з врахуванням точності ортофотоплану М 2 000(08 м)					**Ѳ =**	**1.39**	**м**		

Точність ортофотоплану космічного знімка SuperView-1 рівня 1A відносно ортофотоплану М 2 000 без врахування похибки ортофотоплану М 2 000 характеризується середньою радіальною похибкою ±1.55 м.

Висновок:

Загальні результати дослідження оцінки точності прив'язки космічного знімка SuperView-1 ProductID SV1-3_20200912_L2A0000969745_

6032000150040034_01-PAN.tiff, з різними варіантами обробки надані в Табл. 3.5

Табл. 3.5 Результатів дослідження точності оброблення космічного знімка SuperView-1

№	Найменування процесів дослідження точності оброблення космічного знімка SuperView-1	Середні квадратичні похибки чіткого контуру	
		відносно еталонної моделі	відносно місцевості
1	Вихідний знімок рівня 2A	13.94 м	14.81 м
2	Ортофотоплан наданий ДКАУ: 040034_01-PAN_m геометрична корекція виконана з використанням опорних точок з «базової» топографічної карти від ESRI	3.24 м	3.34 м
3	Ортофотоплан наданий ДКАУ: 040034_01-PAN_ortho геометрична корекція виконана з використанням опорних точок з «базової» топографічної карти від ESRI, орторектифікований з використанням рельєфу SRTM	3.28 м	3.38 м
4	Ортофотоплан отриманий за результатами обробки знімка рівня 1A в НДІГК	1.55 м	1.74 м

1. Ділянка місцевості, що обрана для тестування, площею 160 км2 трапеція М-35-39 Волинської обл. Представляє собою рівнинну місцевість з перепадом висот 20 м, що не повною мірою забезпечує репрезентативність для всієї території України.

2. Для космічного знімка SuperView-1 рівня обробки 2A, що попередньо оброблені за стандартом компанії-виробника космічного апарату відносно ортофотопланів М 10 000 характеризується середньою квадратичною радіальною похибкою ±14.81 м , що не задовольняє вимоги до топографічного картографування в масштабі 1:10 000 у відповідності до п. 3.1 звіту

3. Точність ортофотоплану космічного знімка SuperView-1 040034_01-PAN_m з геометричною корекцією до «Базової» космічної карти ESRI відносно ортофотоплану М 10 000 з врахуванням точності ортофотоплану М 10 000 характеризується середньою квадратичною похибкою ±3.34 м що гранично задовольняє вимоги до топографічного картографування в масштабі 1:10 000 у відповідності до п. 3.1 звіту

4. Точність орторектифікованого з використанням цифрової моделі висот Землі (SRTM) космічного знімка SuperView-1 040034_01-PAN_ortho з геометричною корекцією до «Базової» космічної карти ESRI відносно ортофотоплану М 10 000 з врахуванням точності ортофотоплану М 10 000 характеризується середньою квадратичною похибкою ±3.38 м що гранично задовольняє вимоги до топографічного картографування в масштабі 1:10 000 у відповідності до п. 3.1 звіту.

5. Точність ортофотоплану космічного знімка SuperView-1 рівня 1А обробленого в НДІГК відносно ортофотоплану М 2 000 з врахуванням точності його створення характеризується середньою квадратичною похибкою ±1.74 м що повністю задовільняє вимоги до топографічного картографування в масштабі 1:10 000 у відповідності до п. 3.1

- Матеріали космічного знімання супутника SuperView-1 можуть бути використані для цілей картографування для масштабу 1:10 000 при умові:

- Опорні точки для геометричної корекції повинні бути визначенні за результатами польових вимірювань, або топографічними картами, оротофотопланами масштабу крупніше 1:10 000;

- Рельєф для формування матриці висот для орторектифікації космічного знімка повинен бути з перерізом не гірше 10 м;

- Геометричну корекцію космічних знімків виконувати з застосуванням коефіцієнтів полінома RPC;

- За умови визначення опорних точок польовими вимірюваннями на місцевості виготовлені ортофотоплани можуть забезпечити оновлення топографічних планів в масштабі 1: 5 000.

ВИСНОВОК

У дипломній роботі проведена геометрична корекція космічних знімків SuperView-1. Основні результати дипломної роботи такі:

1) Зроблено огляд сучасних космічних систем, їх класифікація Проаналізовано характеристики знімальних систем, їх будова та технологія знімання. Розглянуто перспективи розвитку космічного знімання Землі. Створення цільової апаратури і створення єдиного інформаційного простору дозволило створити системи моніторингу Землі не тільки з високим і детальним розширенням, але й з високою періодичністю спостереження.

2) Розглянуто основні етапи обробки матеріалів космічної зйомки для створення ортофотопланів. Визначено та науково обґрунтовано специфікації рівнів обробки космічних знімків. Визначені найбільш вагомі фактори необхідні для отримання якісного ортозображення, які відповідають вимогам нормативних документів топографо-геодезичної діяльності.

3) Проведено дослідження результатів камерального оброблення матеріалів космічного знімання супутника SuperView-1 та доведено можливість використання космічних знімків для цілей топографічного картографування. Продемонстровано навички користування в програмному забезпечення ENVI v. 5.4 SP2.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аерокосмічні знімальні системи: Навчальний посібник Х.В. Бурштинська, С. А. Станкевич. – Львів. Видавництво Львівської політехніки – 2010, 292 с..
2. Бурштинська Х., Береза О., Поліщук Б. До питання визначення функції передавання модуляції аерознімальних систем // Геодезія, картографія і аерофотознімання, Вип. 68, 2007. – С. 163–171.
3. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2004. — Т. 1 : А — К. — 640 с. — ISBN 966-7804-14-3.
4. Геодезичний енциклопедичний словник /За редакцією Володимира Літинського. — Львів: Євросвіт, 2001. — 668 с.
5. Тимофієєв В.Н. Основні засади створення сучасних інформаційних космічних систем оптико-електронного спостереження поверхні Землі // Космонавтика та ракетобудування. 2003. № 3. С. 42 – 48.
6. Єгоров О.І. Основи фотограмметрії / О.І. Єгоров, Л.І. Іванова. – Київ: КНУБА, 2002. – 156 с.
7. Дорожинський О.Л. Фотограмметрія / О.Л. Дорожинський, Р. Тукай. – Львів: Нац. Ун-т “Львівська політехніка”, 2008. – 330 с.
8. Золотий С.А. Методичні основи наукового супроводу процесів створення космічних систем дистанційного зондування Землі // Вісник НПО им. С. А. Лавочкіна. 2017. № 1. С. 83 – 86.
9. Трифонова Т. А. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях / Т. А. Трифонова, Н. В. Мищенко, А. Н. Краснощеков. — М., 2005. — 352 с.
10. Постанова КМУ “Про Порядок використання апаратури супутникових радіонавігаційних систем під час проведення топографо-геодезичних, картографічних, аерофотознімальних, проектних, дослідницьких робіт і вишукувань та кадастрових зйомок” (http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/1075-98-%D0%BF) від 13.07.1998 № 107.

11. Мала гірнича енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Донбас, 2004. — Т. 1 : А — К. — 640 с. — ISBN 966-7804-14-3.

12. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Методы и модели обработки изображений / Р.А. Шовенгердт – Москва: “Техносфера”, 2010. – 560 с. 41.

13. Єфанов В.В., Клименко Н.М., Семункіна В.І., Шостак С.В. Космічна система дистанційне зондування Землі на основі Космічний корабель «Аркон»: до 20-річчя перший запуск // Вісник НВО ім. 2017. No 4. С. 25 – 34.

14. Занін К.А., Москатінієв І.В. Основні напрямки розвитку іноземних оптоелектронні космічні системи дистанційного зондування Землі (огляд) // Вісник НВО імені С. А. Лавочкіна. 2019. No 2. С. 28 – 36.

15. Занин К.А., Клименко Н.Н., Москатиньев И.В. Современные космические аппараты дистанционного зондирования Земли // Воздушно-космическая сфера. 2020. № 2. С. 82 – 89.

16. Титаров П.С. Практические аспекты фотограмметрической обработки сканерных космических снимков высокого разрешения / П.С. Титаров // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации, 2004.— № 2 (45)-4 (46).

17. Бакланов А.І. З питання просторової роздільної здатності та точності прив’язки зображень систем космічного спостереження висока роздільна здатність // Геоматика. 2010. No 3. С. 25 – 30.

18. Мышляев В.А. Изобразительные свойства космических снимков и их влияние на масштаб создаваемых ортофотопланов/В.А. Мышляев, Г.Б. Воронов, Г.А. Шабанов//Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології: Збірник матеріалів XVI Міжнародного науково-технічного симпозіуму (12–17 вересня 2011 р., м. Алушта, АР Крим).— 2011.— С. 133

19. Кохан С. С., Востоков А. Б. Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи. Підручник.- К.: Вища школа, 2009. — 511 с.

20. Лялько В.И. Состояние и перспективы развития дистанционных методов исследования Земли вУкраине/В.И. Лялько, М.А. Попов, В.П. Зубко,

А.Д. Рябоконенко//Ученые записки ТНУ. Серия: География, 2004.— Т. 17 (56).— № 2.— С. 64–71

21. Космічний об’єкт // Юридична енциклопедія : [у 6 т.] / ред. Кол.: Ю. С. Шемшученко (відп. Ред.) [та ін.]. — К. : Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана, 2001. — Т. 3 : К — М. — 792 с. — ISBN 966-7492-03-6.

22. Байрак Г. Р., Муха Б. П. Дистанційні дослідження Землі : навч. Посіб. — Л. : Вид-во ЛНУ ім. Івана Франка, 2010. — 712 с. — ISBN 978-966-613-761-9.

23. Кронберг. Дистанционное изучение Земли. Перевод с нем. — М.: Мир, 1988. 343 с.

24. Аерокосмічні методи дослідження // Словник-довідник з екології : навч.-метод. Посіб. / уклад. О. Г. Лановенко, О. О. Остапішина. — Херсон : ПП Вишемирський В. С., 213. — С. 7ю.

25. Аванесов Г. А. Цифрові аерознімальні комплекси / Г. А. Аванесов, Ю. П. Кієнко // Геопрофі. – 2004.

26. Космічні дослідження в Україні. 1998–2000. — К.: «АДЕФА — Україна», 2001, с. 55-63.

27. Савиных В. П., Кучко А. С., Стеценко А. Ф. Аэрокосмическая фотосъемка. — М.: «Картгеоцентр» — «Геодезиздат» 1997. – 378 с.

28. Технологии обработки космических снимков ENVI https://youtu.be/FU55y7Gd4XQ.

29. Занін К.А., Клименко Н.Н., Москатиньєв І.В., 2020. Історія статті: Надійшла до редакції: 24.01.2020 Прийнята до публікації: 09.02.2020.

30. Гнатушенко В.В. Геометричні моделі формування та попередньої обробки цифрових фотограмметричних зображень високого просторового розрізнення: автореф. Дис. Д-ра техн. Наук / В.В. Гнатушенко. – Дніпропетровський національний університет. – Київ, 2009. – 27 с.

31. ЗАКОН УКРАЇНИ Про національну інфраструктуру геопросторових даних (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2020, № 37, ст.277).

32. Гнатишин А. М., Шпарик Ю. С. Місце і задачі дистанційного зондування землі (ДЗЗ) стосовно вимог Держгеолкарти —200.

33. Аналіз існуючих моделей геометричної корекції космічних знімків https://cade.kname.edu.ua/images/Files/Pilicheva/Thesis_PilichevaM_4_part.pdf

34. Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000(http://gki.com.ua/files/uploads/documents/Norms/Ukrgeodesykart_norms/156_1999.pdf), затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України від 31.12.1999 р. №156 і погоджені з Воєнно-топографічним управлінням Генерального штабу Збройних сил України).

35. ЗАКОН УКРАЇНИ Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1999, № 5-6, ст.46).

36. Козаченко Т. І., Пархоменко Г. О., Молочко А. М. Картографічне моделювання : навч. Посібник / під ред. А. П. Золовського. — Вінниця : Антекс — У ЛТД, 1999. — 328 с.

37. Божок А. П., Молочко А. А., Остроух В. І. Картографія : підруч. Для студ. Геогр. Ф-тів вищ. Навч. Закл / ред. : Н. Земляна. — К. : Київ. Нац. Ун-т ім. Тараса Шевченка, 2008. — 271 с. — ISBN 978-966-439-065-8.

38. Постанова КМУ “Про затвердження Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування” (http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/661-2013-%D0%BF) від 04.09.2013 № 661.

39. Концептуальні засади створення системи державного топографічного моніторингу місцевості — Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Т. М. Квартич Вісник геодезії та картографії. – 2011. - № 3. – С. 27-31.

40. Ю.О. Карпінський. Топографічне картографування в Національній інфраструктурі геопросторових даних [Текст] / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку; зб. Наук. Пр. – К.: ДНВП «Картографія», 2010. – Вип. 4. – С. 52–60.

41. SUPERVIEW 1/GAOJING 1 SATELLITE CHARACTERISTIC https://eos.com/find-satellite/superview-1/.

42. SuperView-1 or GaoJing-1 https://eos.com/find-satellite/superview-1/

43. Методологічні засади застосування ортотрансформованих

космічних знімків для оцінки стану навколишнього середовища та програмне забезпечення досліджень.

44. Топографічне знімання // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. Ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 194. — ISBN 978-966-7407-83-4.

45. Аковецкий В. И. Дешифрирование снимков. М.: Недра, 1983.

46. Сидоренко А. В., Кондратьев К. Я., Григорьев А. А. Космические исследования окружающей среды и природных ресурсов. — М.: Знание, 1982.

47. Кравцова В. И. Космические методы картографирования. — М.: Изд-во МГУ, 1995.

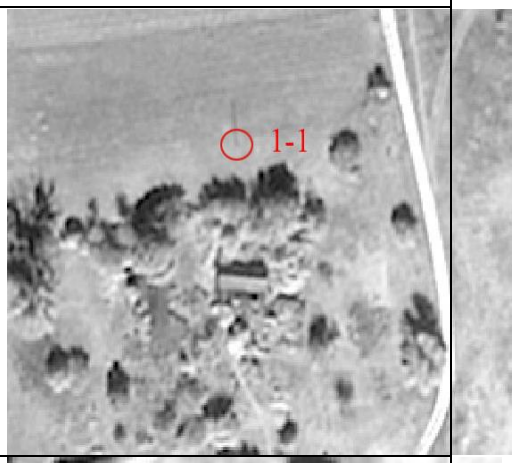
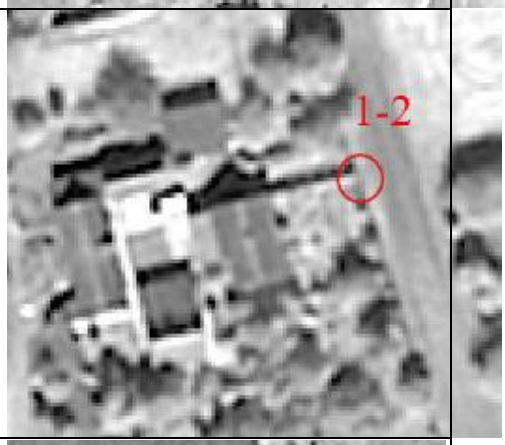
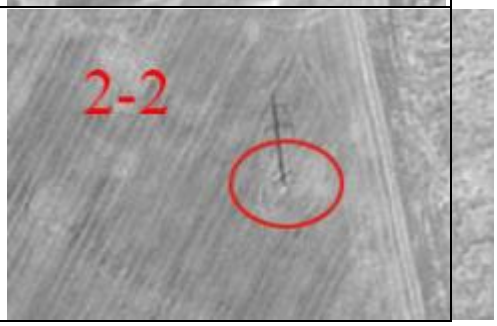
48. Барладін О.В. Методичні аспекти інтегрування космознімків в ГІС-Києва/О.В. Барладін//IX Міжнародний науково-технічний симпозіум: Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища — GPS- і GIS-технологій.— Алушта: Львівське АГП, 2004.— с. 72–74.

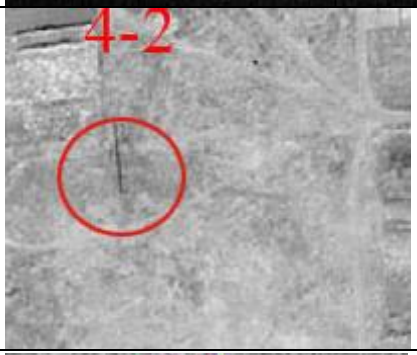
49. Салищев К. А. Картография // Краткая географическая энциклопедия : [у 5 т.] / гол. Ред. А. А. Григорьев та ін. — М. : Советская энциклопедия, 1961. — Т. 2 : Евлах — Миллибар. — 592 с.

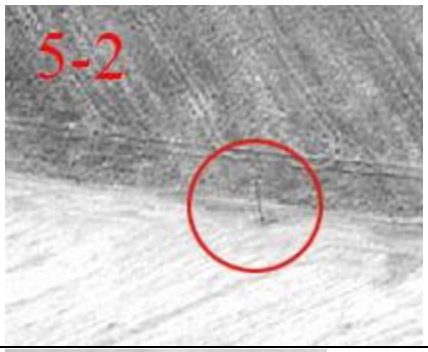
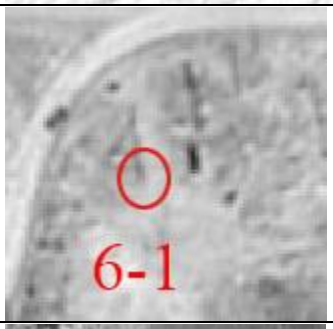
50. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька, М. О. Попова. — К., 2006. — 357 с.

Додаток А

Каталог опорних точок з абрисами

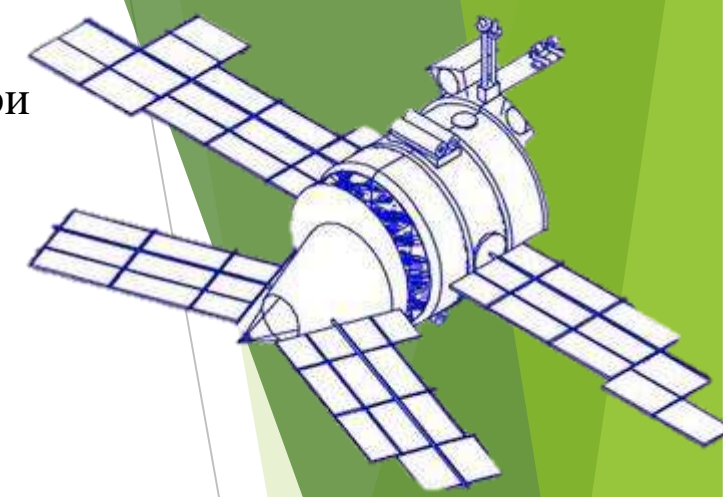
номер	name	H м	X_2000	Y_2000	
1	1_1 Стовп	199.00	5634541.07	5369364.77	
2	1_2 Кут огорожі	199.50	5634547.39	5370134.08	
3	2_1 Опора ЛЕП	191.00	5646487.91	5372297.89	
4	2_2 Опора ЛЕП	191.00	5646255.18	5372353.56	

5	3_1 Опора ЛЕП	195.50	5638675.01	5374404.75	
6	3_2 Опора ЛЕП	196.00	5638064.64	5374718.38	
7	4_1 Опора ЛЕП	189.00	5633472.77	5376154.95	
8	4_2 Опора ЛЕП	189.00	5633631.09	5376048.36	
9	5_1 Опора ЛЕП	181.00	5633541.30	5379101.93	

10	5_2 Опора ЛЕП	181.00	5633552.89	5379004.62	
11	6_1 Стовп з опорою	184.00	5642222.99	5383282.56	
12	6_2 Водонапірна башта	184.60	5642464.06	5383461.14	

Додаток Б
Графічні матеріали

Київський національний університет будівництва і архітектури
Кафедра геоінформатики і фотограмметрії



Дипломна робота

на тему:

«Геометрична корекція космічних знімків SuperView-1 для топографічного картографування»

Виконала: студентка 4 курсу, групи ГІСТ41
напряму підготовки (спеціальності)
193 “Геодезія та землеустрій”
Сахарчук Василина Миколаївна
Керівник: Карпінський Юрій Олександрович

ВСТУП

Актуальність теми: Дистанційне зондування є сучасним методом отримання і перетворення інформації про об’єкти земної поверхні, явища й процеси які відбуваються на її поверхні. Результатами дистанційного зондування є аерознімки, космічні знімки та вхідні дані, отримані різними знімальними системами. Значний розвиток дистанційних методів характеризується появою в тому числі нових систем дистанційного зондування Землі з космосу, до яких відноситься космічний аппарат SuperView-1.

Мета дослідження: Надати висновок про можливість використання матеріалів космічного знімання супутника SuperView-1 для цілей топографічного картографування в масштабі 1:10 000.

Завдання дослідження:

1. Провести огляд сучасних космічних знімальних систем
2. Розглянути та дослідити технологічну схему геометричної корекції космічних знімків SuperView-1 для топографічного картогрфування
3. Оброблення матеріалів космічного знімання для створення ортофотопланів. Дослідження результатів камерального оброблення матеріалів космічного знімання супутника SuperView-1 для цілей картографічного топографування.

ОГЛЯД СУЧАСНИХ КОСМІЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ

Класифікація знімальних систем

За принципом побудови зображення	Тип системи
Системи з одночасною побудовою зображення та одночасним його записом.	Типовим представником знімальних систем з одночасною побудовою та одночасним записом є фотографічні
Системи з одночасною побудовою зображення і неодночасним його записом.	Знімальні системи з одночасною побудовою та неодночасним записом представляються телевізійними та оптико-електронними типами систем.
Системи з неодночасною побудовою зображення і таким самим записом (сканувальні).	Сканувальні знімальні системи поділяються на оптико-механічні, інфрачервоні, лазерні, радіотеплові та радіолокаційні

За дослідженнями Бурштинської Х.В та Станкевич С.А - Аерокосмічні знімальні системи

Космічні системи високого просторового розрізнення

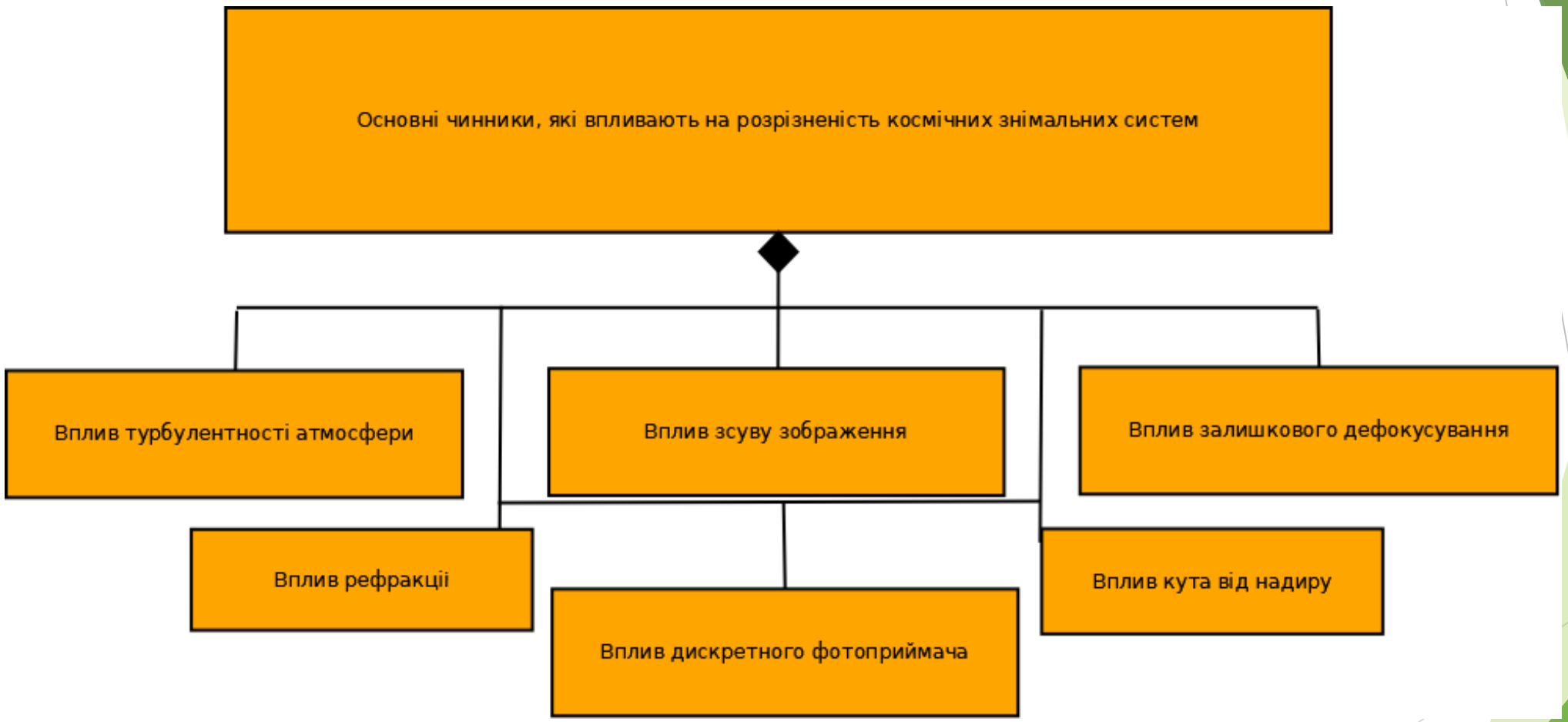
Просторова розрізненість (на місцевості)- характеристика зображення створена видовим технічним засобом ДЗЗ, яку визначає розмір найменшого компактного об’єкта або ширина видовженого об’єкта певного контрасту, якого можна визначити (розрізнити) на цьому зображенні з заданою ймовірністю (за ДСТУ 4220-2003)

Тут розрізненість характеризується 0,3-0,5 м у надірі.

Супутник QuickBird-2

Супутник SuperView-1

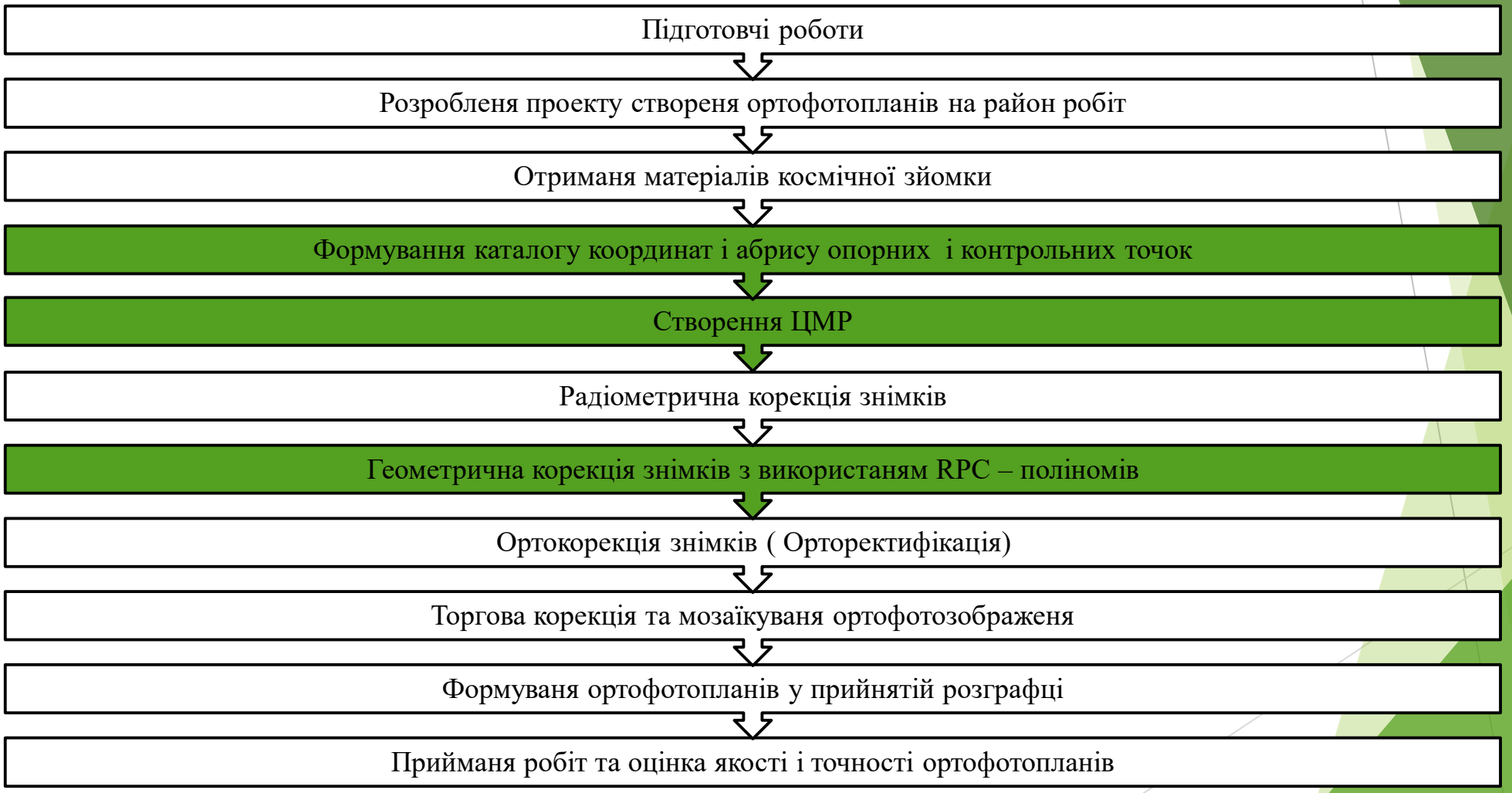
UML діаграма основних чинників, що впливають на розрізненість космічних знімальних систем



- За дослідженнями Буршинської Х.В

РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ГЕОМЕТРИЧНОЇ КОРЕКЦІЇ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ SUPERVIEW-1 ДЛЯ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ.

Технологічна схема геометричної корекції космічних знімків SuperView-1 для топографічного картографування.



Специфікація рівнів обробки космічних знімків

№ за/пор.	Рівень обробки	Специфікації
1	0	«Сирі» дані, отримані датчиками знімальних камер в процесі зйомки, без будь-яких перетворень. Даний рівень є базовим для наступних рівнів обробки. Формат файлів зображень на даному рівні стандартом не визначено і може бути форматом, визначеним компанією-оператором супутникової системи.
2	1A	Включає тільки радіометричну корекцію спотворень, викликаних різницею в чутливості окремих датчиків знімальної системи. Надаються коефіцієнти для абсолютного радіометричного калібрування. Формат файлів RAW, TIFF.
3	1B	Включає радіометричну корекцію рівня обробки 1A, а також геометричну корекцію систематичних помилок датчиків скануючої системи (панорамні спотворення, перекручування викликані обертанням і кривизною Землі, коливанням висоти орбіти супутника). Застосоване абсолютне радіометричне калібрування. Формат файлів зображення RAW, TIFF.
4	2A	Зображення приведені до стандартної географічної проекції без використання наземних опорних точок. Проектування зображення виконується на середню площину, або використовується груба глобальна цифрова модель рельєфу (ЦМР) з кроком на місцевості 1 км. Формат файлів зображень GeoTIFF.
5	2B	Зображення рівня 2A приведені до стандартної картографічної проекції з використанням наземних опорних точок. Проектування зображення виконується на середню площину, або використовується груба глобальна цифрова модель рельєфу (ЦМР) з кроком на місцевості 1 км. Формат файлів зображень GeoTIFF.
6	3A	Зображення проектуються в задану картографічну проекцію шляхом ортотрансформування, з використанням моделі знімка, опорних наземних точок і моделі рельєфу місцевості. Отримані зображення є ортотрансформовані з певною точністю. Зображення, як правило, нарізуються на стандартні картографічні листи. Формат файлів зображень GeoTIFF.
7	3B	Об'єднання зображень рівня 3A в єдині безшовні растрові мозаїки, що покривають великі території. Формат файлів зображень GeoTIFF.

Перелік космічних знімків з рівнем обробки

QuickBird	WorldView-1, WorldView- -2	GeoEye 1	Planet	RapidEye
Basic 1A	Basic 1A	Geo 1A	Basic 1B	Basic 1B
Standard 2A	Standard 2A	GeoProfessional		
Standard Ortho Ready 1B	Standard Ortho Ready 1B	GeoProfessional Precision	Ortho Visual 3B	
Orthorectified 3A	Orthorectified 3A	GeoStereo	(сцена)	
Basic Stereo Pairs		GeoStereo Precision	Ortho Visual 3B Tile	Ortho Tile 3A

Для забезпечення високої геометричної точності замовляються космічні зображення з невисоким «базовим» рівнем обробки 1B. На цьому рівні враховано лише радіометричну корекцію і поправку за внутрішню сенсорну геометрію, але не виконано геометричну корекцію і прив’язку до картографічної проекції та еліпсоїда.

Поліноми RPC

RPC-коефіцієнти, які входять у комплект поставки деяких продуктів ДЗЗ і постачаються компаніями-виробниками космічної продукції, обчислені на основі геометричної (фізичної) моделі сенсора, результатів бортових і телеметричних траєкторних вимірювань, а для продуктів високої точності також із залученням опорних точок, які можуть бути надані замовником даного продукту. У випадку, коли опорні точки при обчислені RPC не використовувалися, застосування точок польової підготовки для уточнення RPC і отримання більш точних результатів при трансформуванні обов'язкове. Опорні точки використовуються для корегування значень коефіцієнтів RPC-моделі, щоб уточнити положення кожного елементу зображення. Результати обробки, що ґрунтуються на використанні RPC-коефіцієнтів, які постачаються із знімками, але покращені наземними опорними точками, доводять залежність геометричної точності від якості додаткових даних (точність ідентифікації на місцевості), що використовуються під час орторектифікації, і від кількості наземних опорних точок

Модель поліномов RPC

Модель поліномов RPC використовує коефіцієнти кубічних поліномів для виконання трансформації координат земної поверхні (довготи P, широти L, висоти H) в координати зображення (рядок r, колонка c) окремого знімка. Вона узагальнює модель сенсора, включаючи 2D і 3D-поліноміальні моделі, моделі проекційного та лінійного трансформування. Перехід «місцевість – знімок» має такий вигляд:

$$r_n = \frac{p_1(P_n, L_n, H_n)}{p_2(P_n, L_n, H_n)} \qquad c_n = \frac{p_3(P_n, L_n, H_n)}{p_4(P_n, L_n, H_n)}$$

де rn і cn – нормалізовані координати точки місцевості в системі координат знімка (рядок, стовпчик – у пікселях); Pn, Ln, Hn – нормалізовані координати точки в системі координат місцевості (довгота, широта – в градусах, висота – у метрах); pq (q=1, 2, 3 і 4) – поліноми третього ступеня.

Нормалізовані координати знаходять так:

$$P_n = \frac{(Latitude - LAT_OFF)}{LAT_SCALE}$$

$$L_n = \frac{(Longitude - LONG_OFF)}{LONG_SCALE}$$

$$H_n = \frac{(Height - HEIGHT_OFF)}{HEIFHT_SCALE}$$

$$r_n = \frac{(Row - LINE_OFF)}{LINE_SCALE}$$

$$C_n = \frac{(Column - SAMP_OFF)}{SAMP_SCALE}$$

де Latitude, Longitude, Height – координати точки в системі координат місцевості; LAT_OFF, LONG_OFF, HEIGHT_OFF, LINE_OFF, SAMP_OFF – зміщення координат в системі координат місцевості та знімка; LAT_SCALE, LONG_SCALE, HEIGHT_SCALE, LINE_SCALE, SAMP_SCALE – коефіцієнти нормалізації.

РОЗДІЛ 3. ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОРТОФОТОПЛАНІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КАМЕРАЛЬНОГО ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ СУПУТНИКА SUPERVIEW-1ДЛЯ ЦІЛЕЙ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ.

Вихідні дані

Фрагмент космічного знімка SuperView-1 M 10 000 на територію досліджень

Ділянка місцевості, що обрана для тестування, площею 160 км2 трапеція М-35-39 Волинської обл. Представляє собою рівнинну місцевість з перепадом висот 20 м, що не повною мірою забезпечує репрезентативність для всієї території України.

Орторетифікація знімка SuperView-1

Фрагмент орторетифікованого космічного знімка SuperView-1 М 10 000 на територію досліджень

- ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ
- Ім’я файлу – orto_10000_77644_USK_2000_z5_.tif;
- Розмір файлу: 0.11 Гб (в упакованому форматі);
- Розрізнення: 0.5 м;
- Динамічний діапазон: 8 біт;
- Формат: TIF;
- Стиснення: YCbCr JPEG;+

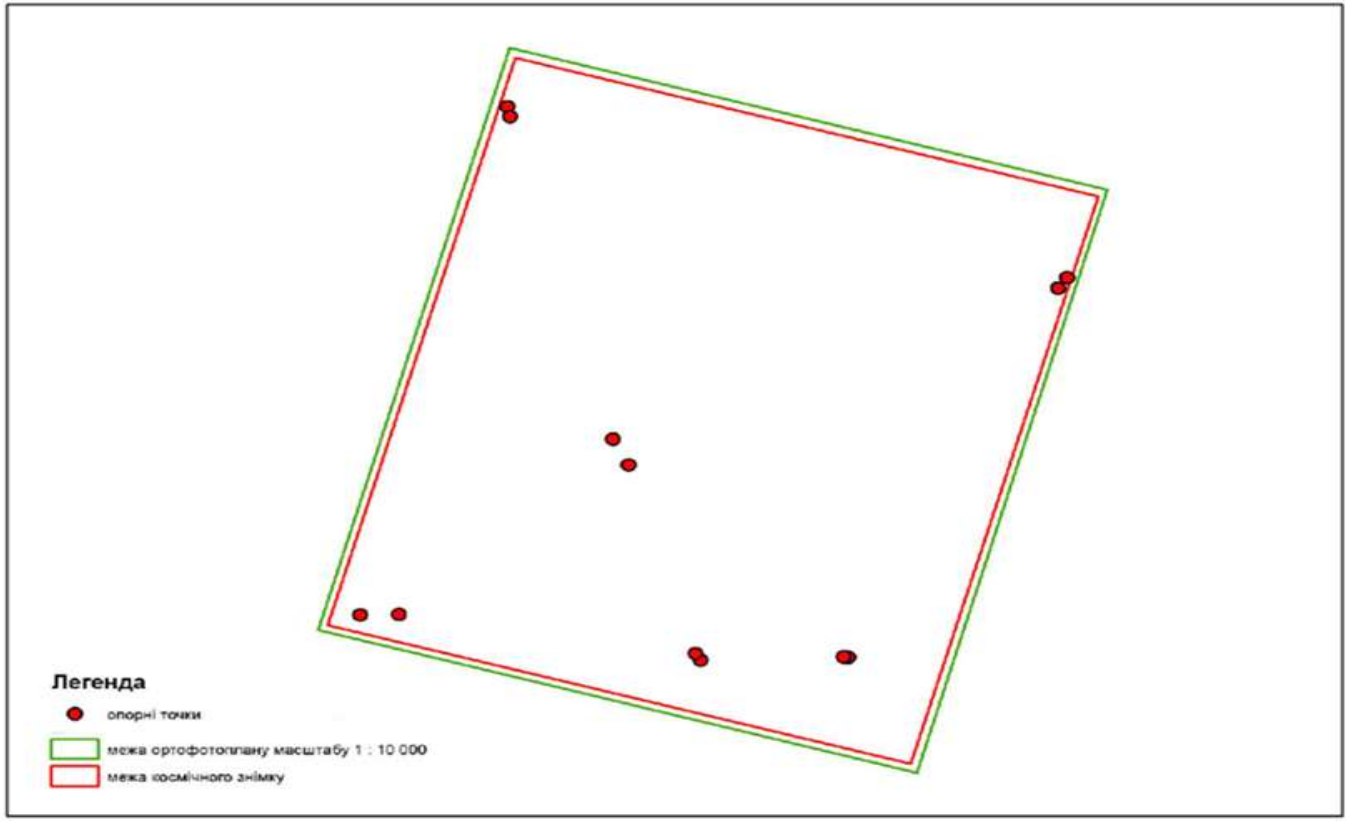
Система координат: Державна геодезична референцна система координат УСК-2000 X, Y проекція Гаусса- Крюгера 5-та зона

Фрагмент ортофотоплану М 10 000 на територію досліджень виготовлений за матеріалами аерофотознімання 2008 р.

Фрагмент ортофотоплану М 2 000 на територію досліджень виготовлений за матеріалами аерофотознімання 2012 р. (відображено в М 10 000)

Оцінка точності оброблених космічних знімків SuperView-1 проводилась методом порівняння координат ідентичних контурних точок на космічному знімку і ортофотопланах, виготовлених за матеріалами аерофотознімання. Для оцінки точності використані ортофотоплани М 10 000, виготовлених за матеріалами аерофотознімання в 2008 році. При виборі акцент ставився також на наявність на дану територію матеріалів топографічних знімань більш великого масштабу 1:2 000, матеріалів польових вимірювань, що надає можливість виключити вплив похибки за точність виготовлення ортофотопланів М 1:10 000

Схема розташування ділянки району досліджень



Як контрольні вибирались чіткі контурні точки, що однозначно ідентифікуються на космічному знімку і еталонного ортофотоплану та топографічному плану в масштабі 1:2000. В цьому досліджені на район робіт було визначено понад 20-ть контрольних точок.

Етапи проведення оцінки точності космічного знімання

- Вихідні дані
- Методика дослідження результатів камерального оброблення матеріалів космічного знімання супутника SuperView-1 для цілей топографічного картографування
- Вимоги до точності топографічних карт масштабу 1:10 000
- Трансформування та зведення всіх матеріалів космічного знімання в Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000
- Виготовлення еталонної моделі для порівняння координат контрольних точок
- Визначення контрольних точок на матеріалах космічних знімань та еталонної моделі
- Оцінка точності матеріалів космічних знімань

Фрагменти таблиць оцінки точності

№ п/п	Хцтк	Yцтк	Хорт	Yорт	ΔXi	ΔYi	ΔX²i	ΔY²i	Похибка
23	5641653.04	5378866.44	5641653.44	5378865.04	-0.4	1.4	0.16	1.96	1.46
24	5641445.11	5378840.52	5641445.66	5378838.43	-0.55	2.09	0.3	4.37	2.16
25	5641279.0	5377399.43	5641279.16	5377398.46	-0.16	0.97	0.03	0.94	0.98
Σ					-21.93	25.8	26.31	33.83	37.16
					Mx =	1.03	м		
					My =	1.16	м		
					Ms =	1.55	м		
					M =	1.55	м		
					Θ =	1.24	м		

Оцінка точності ортофотоплану космічного знімка SuperView-1 рівня 1A відносно ортофотоплану М 2 000

№ п/п	Хцтк	Yцтк	Хорт	Yорт	ΔXi	ΔYi	ΔX²i	ΔY²i	Похибка
23	5630104.44	380589.02	5630092.77	380583.71	11.67	5.31	136.19	28.2	12.82
24	5629406.84	378728.95	5629394.58	378727.24	12.26	1.71	150.31	2.92	12.38
25	5629371.27	378763.79	5629359.43	378758.19	11.84	5.6	140.19	31.36	13.1
Σ					268.98	211.98	2953.18	1901.82	347.31
					Mx =	10.87	м		
					My =	8.72	м		
					Ms =	13.94	м		
Середня квадратична похибка чіткого контуру об'єкта (Root-mean-square error)) з врахуванням точності ортофотоплану М 10 000 (4 м)					M =	14.81	м		
Середня похибка чіткого контуру об'єкта (Mean error)) з врахуванням точності ортофотоплану М 10 000 (4 м)					Θ =	11.85	м		

Оцінка точності геометричної прив'язки за орбітальними даними і геометричної корекції космічного знімка рівня обробляння 2A (за стандартом компанії-виробника космічного апарату)

Результати дослідження точності оброблення космічного знімка SuperView-1

№	Найменування процесів дослідження точності оброблення космічного знімка SuperView-1	Середні квадратичні похибки чіткого контуру	
		відносно еталонної моделі	відносно місцевості
1	Вихідний знімок рівня 2А	13.94 м	14.81 м
2	Ортофотоплан наданий ДКАУ: 040034_01-PAN_m геометрична корекція виконана з використанням опорних точок з «базової» топографічної карти від ESRI	3.24 м	3.34 м
3	Ортофотоплан наданий ДКАУ: 040034_01-PAN_ortho геометрична корекція виконана з використанням опорних точок з «базової» топографічної карти від ESRI, орторектифікований з використанням рельєфу SRTM	3.28 м	3.38 м
4	Ортофотоплан отриманий за результатами обробки знімка рівня 1А в НДІГК	1.55 м	1.74 м

ВИСНОВОК

1. Ділянка місцевості, що обрана для тестування, площею 160 км2 трапеція М-35-39 Волинської обл. Представляє собою рівнинну місцевість з перепадом висот 20 м, що не повною мірою забезпечує репрезентативність для всієї території України.

2. Для космічного знімка SuperView-1 рівня обробки 2А, що попередньо оброблені за стандартом компанії-виробника космічного апарату відносно ортофотопланів М 10 000 характеризується середньою квадратичною радіальною похибкою ±14.81 м , що не задовольняє вимоги до топографічного картографування в масштабі 1:10 000 у відповідності до п. 3.1 звіту

3. Точність ортофотоплану космічного знімка SuperView-1 040034_01-PAN_m з геометричною корекцією до «Базової» космічної карти ESRI відносно ортофотоплану М 10 000 з врахуванням точності ортофотоплану М 10 000 характеризується середньою квадратичною похибкою ±3.34 м що гранично задовольняє вимоги до топографічного картографування в масштабі 1:10 000 у відповідності до п. 3.1 звіту

4. Точність орторектифікованого з використанням цифрової моделі висот Землі (SRTM) космічного знімка SuperView-1 040034_01-PAN_ortho з геометричною корекцією до «Базової» космічної карти ESRI відносно ортофотоплану М 10 000 з врахуванням точності ортофотоплану М 10 000 характеризується середньою квадратичною похибкою ±3.38 м що гранично задовольняє вимоги до топографічного картографування в масштабі 1:10 000 у відповідності до п. 3.1 звіту.

5. Точність ортофотоплану космічного знімка SuperView-1 рівня 1А обробленого в НДІГК відносно ортофотоплану М 2 000 з врахуванням точності його створення характеризується середньою квадратичною похибкою ±1.74 м що повністю задовільняє вимоги до топографічного картографування в масштабі 1:10 000 у відповідності до п. 3.1

-Матеріали космічного знімання супутника SuperView-1 можуть бути використані для цілей картографування для масштабу 1:10 000 при умові:

-Опорні точки для геометричної корекції повинні бути визначенні за результатами польових вимірювань, або топографічними картами, оротофотопланами масштабу крупніше 1:10 000;

-Рельєф для формування матриці висот для орторектифікації космічного знімка повинен бути з перерізом не гірше 10 м;

-Геометричну корекцію космічних знімків виконувати з застосуванням коефіцієнтів полінома RPC;

-За умови визначення опорних точок польовими вимірюваннями на місцевості виготовлені ортофотоплани можуть забезпечити оновлення топографічних планів в масштабі 1: 5 000.