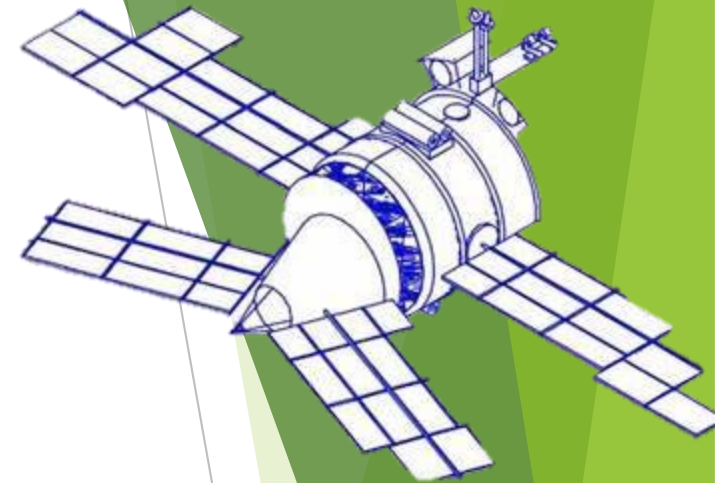


ФАКУЛЬТЕТ ГІСУТ  
Кафедра геоінформатики і фотограмметрії  
193 «Геодезія та землеустрій»  
Освітній рівень «Бакалавр»



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 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.

**Завдання дослідження:**

1. Провести огляд сучасних космічних знімальних систем
2. Розглянути та дослідити технологічну схему геометричної корекції космічних знімків SuperView-1 для топографічного картографування
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 неодноточасним його записом.	Знімальні системи з одночасною побудовою та неодноточасним записом представляються телевізійними та оптико-електронними типами систем.
Системи з неодноточасною 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.

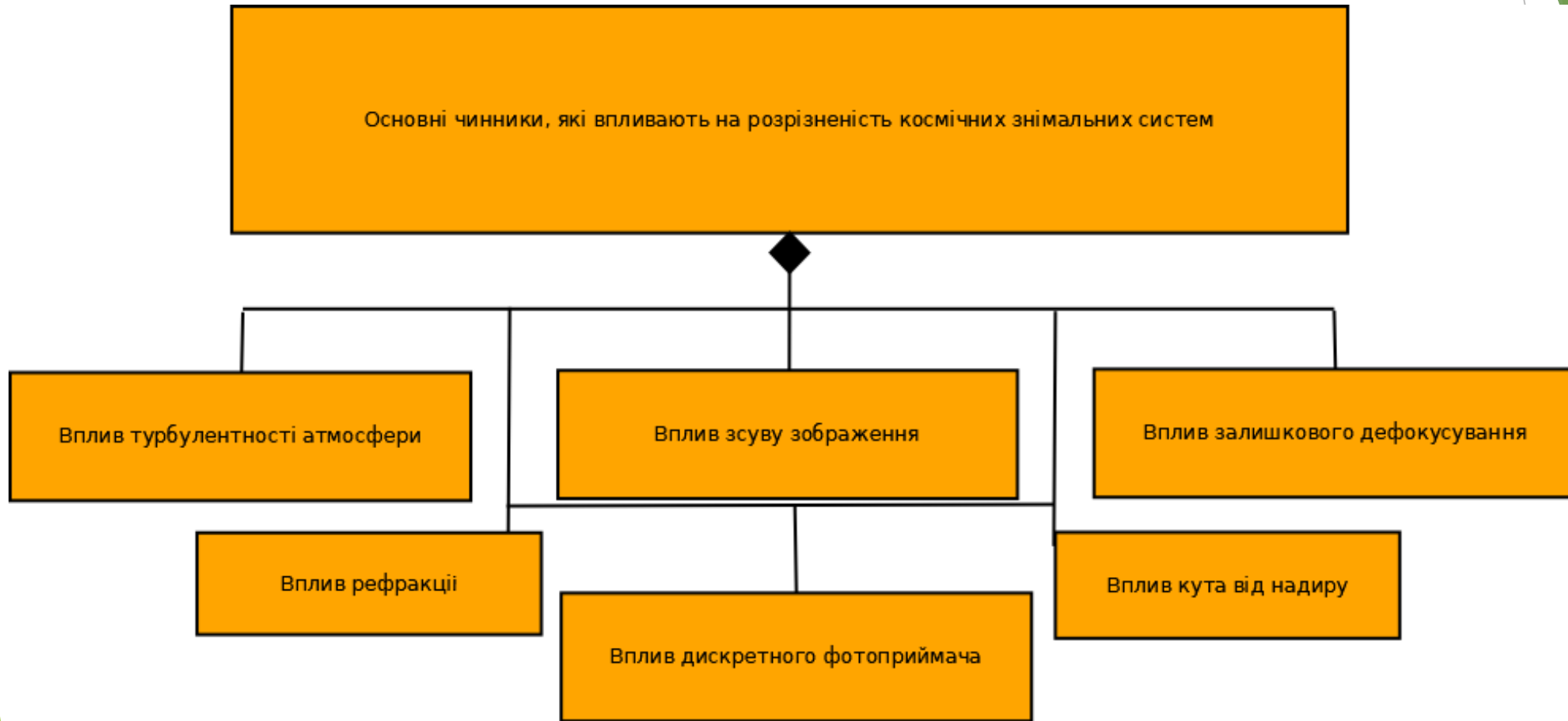


Супутник QuickBird-2



Супутник SuperView-1

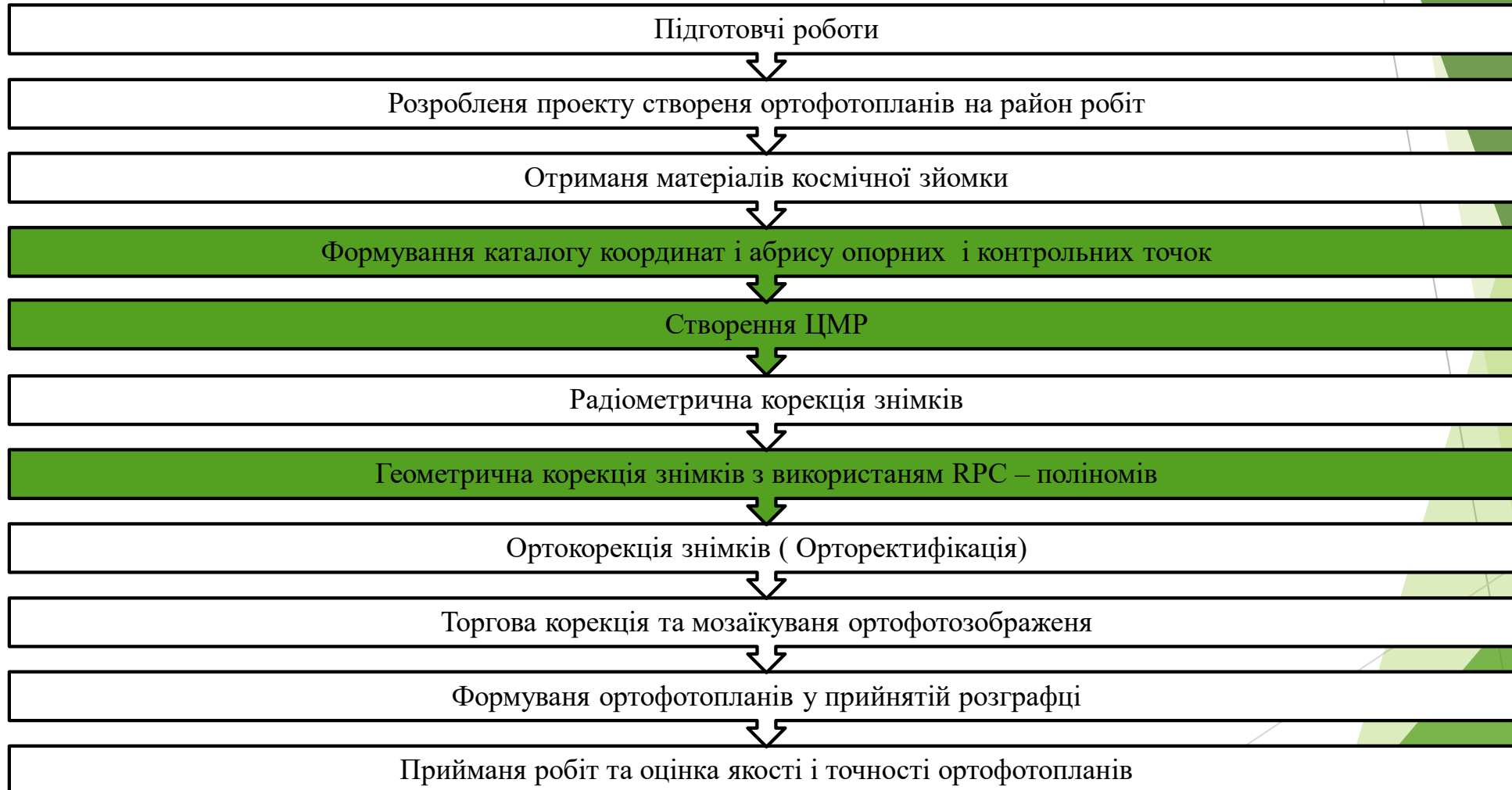
## UML діаграма основних чинників, що впливають на розрізненість космічних знімальних систем



► 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 проектується 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 (сцена)	
Orthorectified 3A	Orthorectified 3A	GeoStereo	Ortho Visual 3B Tile	Ortho Tile 3A
Basic Stereo Pairs		GeoStereo Precision		

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 обчисленні 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 поліномів RPC

Модель поліномів 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:

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

де  $r_n$  і  $c_n$  – нормалізовані координати точки місцевості в системі координат знімка (рядок, стовпчик – у пікселях);  $P_n, L_n, H_n$  – нормалізовані координати точки в системі координат місцевості (довгота, широта – в градусах, висота – у метрах);  $p_q$  ( $q=1, 2, 3$  і  $4$ ) – поліноми третього ступеня.

Нормалізовані координати знаходять так:

$$\begin{aligned} P_n &= \frac{(\text{Latitude} - \text{LAT\_OFF})}{\text{LAT\_SCALE}} \\ L_n &= \frac{(\text{Longitude} - \text{LONG\_OFF})}{\text{LONG\_SCALE}} \\ H_n &= \frac{(\text{Height} - \text{HEIGHT\_OFF})}{\text{HEIGHT\_SCALE}} \\ r_n &= \frac{(\text{Row} - \text{LINE\_OFF})}{\text{LINE\_SCALE}} \\ c_n &= \frac{(\text{Column} - \text{SAMP\_OFF})}{\text{SAMP\_SCALE}} \end{aligned}$$

де  $\text{Latitude}$ ,  $\text{Longitude}$ ,  $\text{Height}$  – координати точки в системі координат місцевості;  $\text{LAT\_OFF}$ ,  $\text{LONG\_OFF}$ ,  $\text{HEIGHT\_OFF}$ ,  $\text{LINE\_OFF}$ ,  $\text{SAMP\_OFF}$  – зміщення координат в системі координат місцевості та знімка;  $\text{LAT\_SCALE}$ ,  $\text{LONG\_SCALE}$ ,  $\text{HEIGHT\_SCALE}$ ,  $\text{LINE\_SCALE}$ ,  $\text{SAMP\_SCALE}$  – коефіцієнти нормалізації.

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

## Вихідні дані



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

Ділянка місцевості, що обрана для тестування, площею 160 км<sup>2</sup> 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.

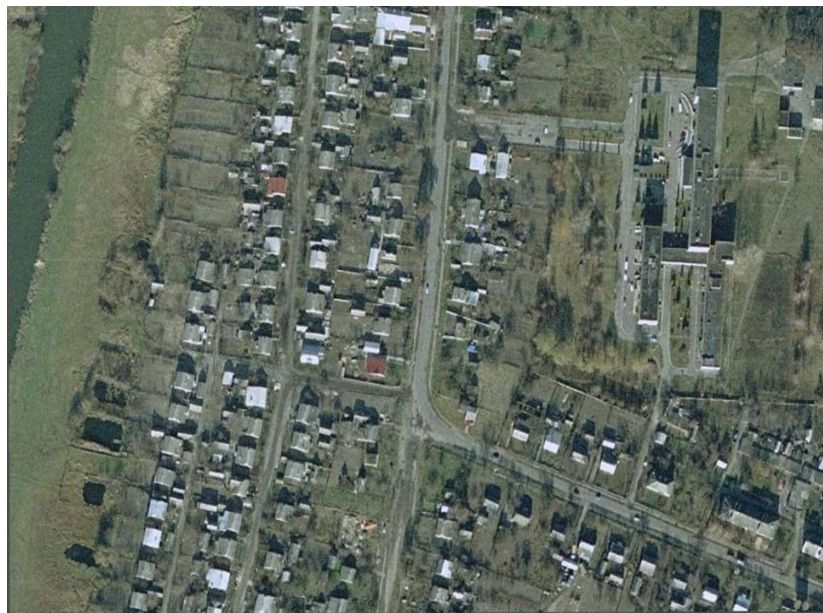
## Орторетифікація знімка SuperView-1



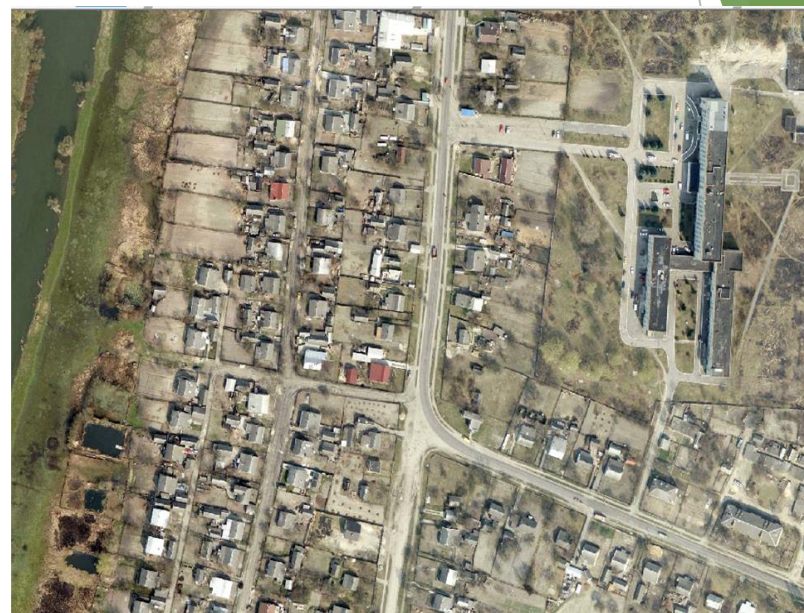
Фрагмент орторетифікованого космічного знімка SuperView-1 М  
10 000 на територію досліджень

- 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



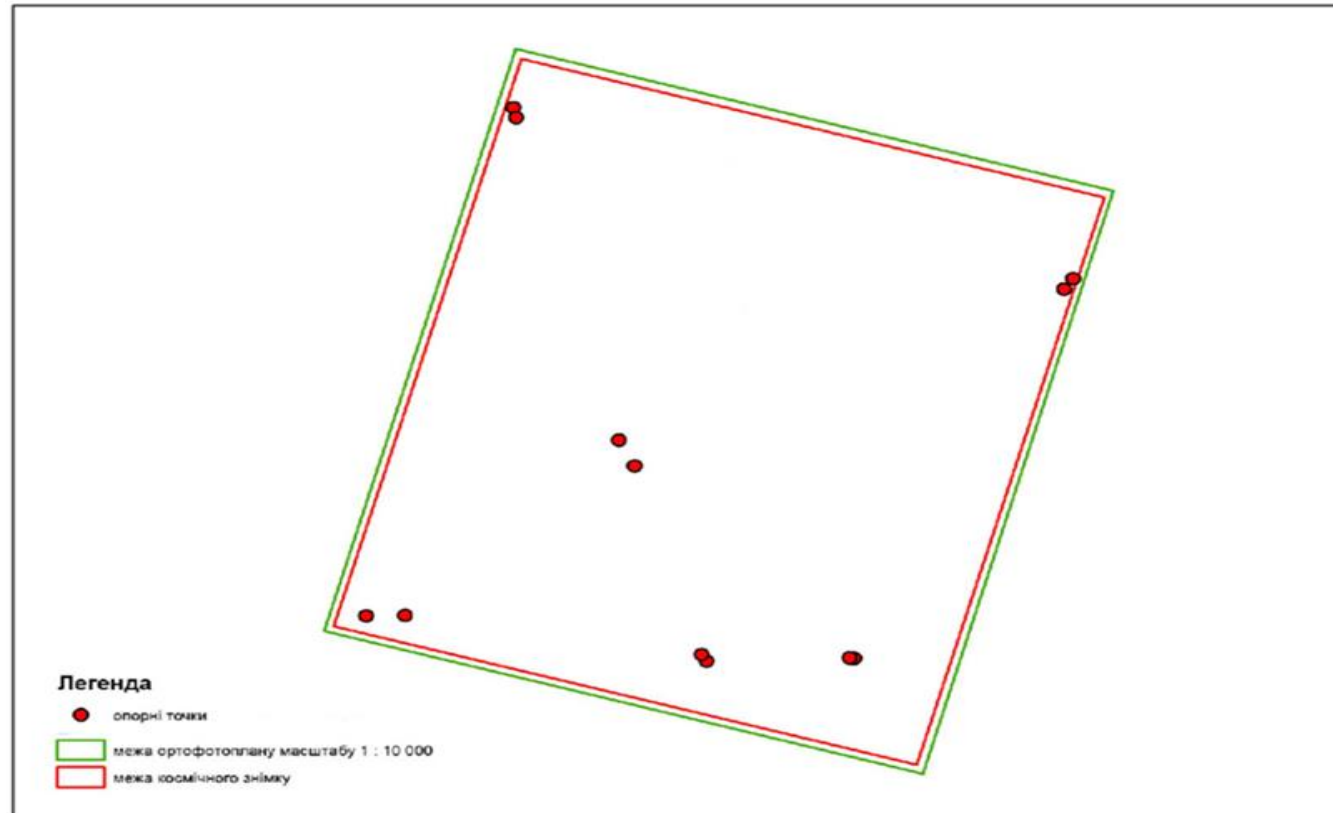
Фрагмент ортофотоплану М 10 000 на територію досліджень виготовлений за матеріалами аерофотознімання 2008 р.



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 дослідженні 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 знімів та еталонної моделі

Оцінка точності матеріалів космічних знімів

## Фрагменти таблиць оцінки точності

№ п/п	Хцтк	Уцтк	Хорт	Уорт	$\Delta X_i$	$\Delta Y_i$	$\Delta X_i^2$	$\Delta Y_i^2$	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
$\Sigma$					-21.93	25.8	26.31	33.83	37.16
					$M_x =$	1.03	м		
					$M_y =$	1.16	м		
					$M_s =$	1.55	м		
					$M =$	1.55	м		
					$\theta =$	1.24	м		

№ п/п	Хцтк	Уцтк	Хорт	Уорт	$\Delta X_i$	$\Delta Y_i$	$\Delta X_i^2$	$\Delta Y_i^2$	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
$\Sigma$					268.98	211.98	2953.18	1901.82	347.31
					$M_x =$	10.87	м		
					$M_y =$	8.72	м		
					$M_s =$	13.94	м		
					$M =$	14.81	м		
					$\theta =$	11.85	м		
Середня квадратична похибка чіткого контуру об'єкта (Root-mean-square error) з врахуванням точності ортофотоплану М 10 000 (4 м)									
Середня похибка чіткого контуру об'єкта (Mean error) з врахуванням точності ортофотоплану М 10 000 (4 м)									

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

**Оцінка точності геометричної прив'язки за орбітальними даними і геометричної корекції космічного знімка рівня оброблення 2А (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 км<sup>2</sup> 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  $\pm 14.81$  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  $\pm 3.34$  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  $\pm 3.38$  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  $\pm 1.74$  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, ортофотопланами 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.