

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Львівська політехніка»

На правах рукопису

Ранг Абдулкарим Абдаллах Абдаллах

УДК 528.7

**АВТОМАТИЗОВАНЕ ОНОВЛЕННЯ НА ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТАХ
ДОРОЖНІХ МЕРЕЖ ІРАКУ З ВИКОРИСТАННЯМ КОСМІЧНИХ
ЗНІМКІВ**

Спеціальність 05.24.01 - геодезія, фотограмметрія та картографія

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Науковий керівник: професор, доктор технічних наук
Дорожинський Олександр Людомирович

Ідентичність усіх примірників дисертації

ЗАСВІДЧУЮ:

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради*

/Б. Паляниця/

Львів-2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН КАРТОГРАФІЧНОГО ВИВЧЕННЯ ТЕРИТОРІЇ ІРАКУ	10
1.1. Історія картографування території Іраку.....	10
1.2. Номенклатури та масштабний ряд іракських топографічних карт...	14
1.3. Картографічні проекції та системи координат топографічних карт Іраку.....	21
1.4. Характеристики набору топографічних карт Іраку.....	22
1.5. Характеристика дорожньої мережі Іраку, стан картографічного зображення дорожньої мережі на картографічних матеріалах.....	24
Висновки до розділу 1.....	29
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТА ВИБІР КОСМІЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОНОВЛЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ ІЗ ЗОБРАЖЕННЯМ ДОРОЖНИХ МЕРЕЖ ІРАКУ.....	30
2.1. Загальна характеристика космічних знімальних систем.....	30
2.2. Вимоги до точності космічних систем для оновлення карт с дорожною мережею Іраку.....	38
2.3. Аналіз геометричних характеристик космічних знімків центральної і нецентральної проекцій.....	41
2.4. Аналіз програмних продуктів для оновлення топографічних карт Іраку	50
Висновки до розділу 2.....	66
РОЗДІЛ 3. КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОНОВЛЕННЯ КАРТ ЗА ДАНИМИ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ.....	68
3.1 Теоретичні основи автоматизованого пошуку зображення дорожньої мережі на космічних знімках.....	68
3.2. Концептуальна схема автоматизованої технології оновлення	

дорожньої мережі на топографічних картах	75
3.2.1. Сегментація растрової топографічної карти.....	75
3.2.2. Виділення відрізків на сегментованій карті.....	77
3.2.3. Сегментація супутникового знімка.....	78
3.2.4. Векторизація супутникового знімка.....	80
Висновки до розділу 3.....	81
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОНОВЛЕННЯ НА КАРТАХ ІРАКУ ЗОБРАЖЕННЯ ДОРОЖНІХ МЕРЕЖ.....	82
4.1. Блок-схема методу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків.....	82
4.2. Характеристики розробленого програмного комплексу.....	83
4.3. Оцінка геометричних характеристик топографічних карт	83
4.4. Приклади оновлення карт на основі автоматизованої технології.....	89
4.5. Технологічна схема автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними в ПП Erdas Imagine.....	100
4.6. Методика автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними в ПП Erdas Imagine.....	101
Висновки до розділу 4.....	105
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	107
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	109

ВСТУП

Обґрунтування актуальності. Оновлення карт місцевості – одне із завдань картографії. Внаслідок людської діяльності та різноманітних природних процесів змінюються об'єкти місцевості і карти, створені для них, стають застарілими і не відповідають реальності. Цим зумовлена необхідність періодичного оновлення карт. Відповідно до масштабу та характеру місцевості, зображеної на карті, таке оновлення виконують з різною періодичністю. Зокрема карти стратегічно важливих і житлових територій прийнято відновлювати через 5-7 років, а карти інших територій – через 10-15 років. Крім того, існують й інші ситуації, коли оновлення карт необхідно виконувати незалежно від термінів, наприклад при появі нових населених пунктів, що не відображені на давніших картах, у випадку зміни державного кордону, при прокладанні нових доріг і шляхів сполучення.

Ірак є однією з тих країн, де близько 95% топографічних карт масштабу 1:25000, 1:50000 и 1:100000 не оновлюються, а якщо й оновлюються, то тільки невеликі ділянки територій [1].

До цього часу одним із основних способів оновлення карт було оновлення за результатами аерофотознімання, яке традиційно виконувалось по фотопланах, складених на основі матеріалів нового аерофотознімання, по аерознімках, одержаних з використанням гіростабілізуючого пристрою і приведених до масштабу карти за показами радіовисотоміра, по аерознімках з допомогою універсальних приладів та ін. Ця технологія передбачала в якості картографічної основи для оновлення топографічних карт використовувати фотоплани, створені за матеріалами нового аерознімання, штрихові копії видавничих оригіналів оновлюваної карти. Традиційна схема оновлення карт включала аерофотознімання, підготовчі роботи опрацювання знімків, їх дешифрування, виправлення карт, після чого виконувалось додаткове польове доопрацювання та складався оригінал карти. Як правило, ці роботи виконувались приблизно рік. Очевидно, така технологія не дозволяла

одержувати оновлені карти в принципі, позаяк час на їх оновлення перевищував час реальних змін на відображуваній території. Застосування космічних знімків дало можливість значно скоротити час внесення змін у карти.

В даний час у багатьох країнах проводять дослідження з метою розробки автоматизованого методу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків. Однак, не дивлячись на популярність цієї тематики серед дослідників, наявні розробки недостатньо якісно і швидко виконують таке оновлення.

Таким чином, актуальним є завдання системного дослідження процесу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків, його удосконалення з метою покращення результатів виділення деякого шару, що представляє інтерес, зокрема, елементів дорожньої мережі.

Основні аспекти процесу оновлення карт, загальні питання розвитку картографування розглядаються в наукових працях ряду вчених. Це - вітчизняні дослідники Золовський А., Козаченко Т., Левицкий І., Пархоменко Г., Руденко Л., Сосса Р., а також Берлянт А., Гармиз І., Постников А., Салищев К., Тикунов В. та ін. Технологічні методи створення та оновлення топографічних карт для вирішення задач військового призначення розглянуті в публікаціях Гребенюка Т.

Питання розвитку топографічного картографування досліджували Десятов Е., Донцов О., Дегтяр А., Сосса Р., Шевчук П та ін.

Відповідність топографічних карт і планів сучасному стану місцевості аналізуються в публікаціях Карпинського Ю., Лященко А., Катренко І., Лепетюка Б., Трюхан М., Шевчука П. та ін. В їхніх дослідженнях підкреслена особлива роль топографо-картографічного забезпечення як компоненти успішного створення ГІС. Завдяки цим дослідженням значно скоротились процеси формування національної інфраструктури просторових змінних.

Питання автоматичного оновлення цифрових топографічних карт розглянуті в роботах Knudsen T., Olsen B.P., Le Bris A., Chehata N., Qiaoping Zhang, Couloigner I.A.

Використання космічних знімків для оновлення топографічних карт вивчається дослідниками із Болгарії (Александров А., Христов Т., Іванова К., Корева М., Маджарова Т., Петрова В.). Створення й оновлення базових картографічних матеріалів з використанням аерокосмічних зображень є науковою тематикою вітчизняних дослідників Грицьківа Н., Почкіна С., та російських – Грузинова В., Каднічанського С. Та ін.

Вивченню питань автоматичного виділення мережі доріг на картах присвячені публікації Callier S., Saito H., Chiang Yao-Yi, Knoblock C.A. та ін.

Питанню автоматичного та напівавтоматичного одержання даних про елементи місцевості, зокрема дорожньої мережі, на супутникових знімках присвячені роботи зарубіжних дослідників Anil P.N., Beyen J., Ziemis M., Mueller S., Roovers S., Heipke C., Dal Poz A.P., Gallis R.A., da Silva J.F. C., Dan Klang, Gao J., Wu L., Grote A., Subash J., Xiangyun Hu, Vincent Tao.

Мета і задачі досліджень. *Мета роботи* полягає у створенні методики, що суттєво покращує результати оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків та скорочує терміни її реалізації.

Для досягнення цієї мети в роботі **поставлені наступні основні задачі:**

- Дослідити сучасний стан картографічного вивчення території республіки Ірак, визначити обмеження та недоліки, а також причини, що їх зумовлюють.
- Проаналізувати і рекомендувати космічні знімальні системи для оновлення топографічних карт із зображенням дорожніх мереж Іраку.
- Розробити новий метод оновлення топографічної карти за даними супутникових знімків для покращення якості оновлення.
- Розробити програмний комплекс для реалізації запропонованого методу.

- Одержати експериментальні оцінки оновлення карти за допомогою створеного програмного комплексу.
- Дослідити альтернативний метод автоматичного виділення доріг по растрових зображеннях.

Об'єктом дослідження в роботі є топографічні карти та космічні знімки на територію Іраку.

Предметом дослідження є методи і технології виділення елементів дорожньої мережі на топографічних картах і супутникових знімках.

Методи дослідження. У роботі застосовувались методи цифрової обробки зображень, кластерного аналізу, аналітичної геометрії, растрової комп'ютерної графіки, математичної статистики, фотограмметрії, дистанційного зондування, картографії, геоінформаційних технологій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному.

1. Вперше розроблена та реалізована технологія автоматичного оновленого відображення автомобільних доріг на топографічних картах Іраку.
2. Створено програмне забезпечення автоматичного виділення об'єктів на картах та аерокосмознімках, яке базується на принципах цифрової обробки зображень.
3. Опрацьована методика неконтрольованої класифікації зображень для автоматичного виділення дорожньої мережі.
4. Надані рекомендації з використання технологій автоматичного оновлення карт Іраку.

Наукове значення роботи полягає в розвитку методів і технологій оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків.

Практичне значення одержаних результатів. Методику та результати досліджень можливо використовувати у державних та приватних організаціях, підприємствах і фірмах, які займаються оновленням топографічних карт як в Іраку, так і в Україні. Наведена технологія рекомендована до впровадження у державних картографічних установах Іраку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тема дисертації пов'язана з виконанням досліджень кафедри фотограмметрії та геоінформатики Національного університету «Львівська політехніка» на тему «Розробка та дослідження методів фотограмметрії, дистанційного зондування та геоінформаційних технологій з метою кількісної та якісної оцінки явищ, об'єктів і процесів».

Особистий вклад здобувача. Усі наукові результати, викладені в дисертації, одержані автором особисто. Серед наукових праць, опублікованих у співавторстві, в роботі використані лише ті ідеї та положення, які належать автору і є результатом його особистої праці. Особисто здобувачем виконана постановка задачі оновлення топографічної карти за даними супутникових знімків. Сформований програмний комплекс для оновлення карт та оцінка результатів.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується коректним використанням математичного апарату, співпадінням результатів експериментальної перевірки з теоретичними оцінками.

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень та основні положення роботи були представлені у доповідях та обговорювались на наукових семінарах кафедри фотограмметрії та геоінформатики, а також на міжнародних конференціях: «Геоінформатика, геодезія, маркшейдерія» (Донецьк, 2013р.); VII-ій міжнародній науково-технічній конференції «Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку» (Львів, 2013р.), «Геофорум-2015» (Львів-Яворів, 2015р.) та всеукраїнській конференції «Молодь, наука та інновації» (Дніпропетровськ, 2015р.)

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 5-ти наукових працях, з них 4 – статті у виданнях, що включені у список ВАК України, 1 – публікація у закордонному наукометричному виданні.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел, який містить 101 найменування. Повний обсяг дисертації становить 119 сторінок друкованого тексту та містить 47 рисунків і 12 таблиць.

РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН КАРТОГРАФІЧНОГО ВИВЧЕННЯ ТЕРИТОРІЇ ІРАКУ

1.1. Історія картографування території Іраку.

З 1534 до 1918 року територія сучасного Іраку знаходилась під владою османської імперії і до 1918 року адміністративно поділялась на три вілаєти – Басорський (м. Басра), Багдадський і Мосульський. На кінець 1918 р. під час Першої світової війни ця територія була зайнята англійськими військами, частина Іраку у м. Ханекін у 1916-1917 роках тимчасово була зайнята російськими військами.

Загальний стан справ у картографії Іраку до 1918 року можна оцінити, проаналізувавши стан картографії в Османській імперії [2]. До 1880-х років її представляли середньовічні дрібномасштабні карти низької якості (приклад такої карти можна побачити на рис. 1.1), пізніше розпочалось активне впровадження європейських технологій і підходів у цю галузь. Особливо розвиток картографії прискорився із приходом до влади младотурків та початком Першої світової війни. Однак, якісніші та детальніші карти створювались на невеликі території, а Ірак не був передовим регіоном в цьому питанні.



Рис. 1.1. Карта Месопотамії масштабу 1:500 000 1884 р.

На частину території майбутнього Іраку в кінці XIX – на початку XX віку були створені німецькі карти масштабу 1:400 000 (автор – Генрих Кіперт, рис.1.2), а також російські військові карти (рис.1.3) масштабу 1:126000

(трьохверстки – в одному дюймі на карті три версти на місцевості), 1:210 000 (пятиверстки) і 1:420 000 (десятиверстки).

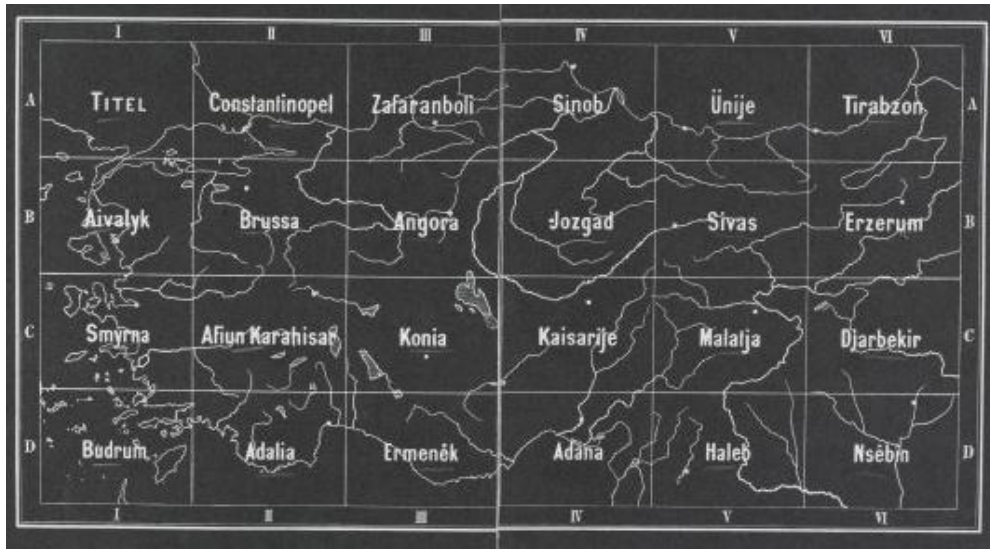


Рис. 1.2. Карти Кінерта масштабу 1:400 000 (1902-1906 pp.)

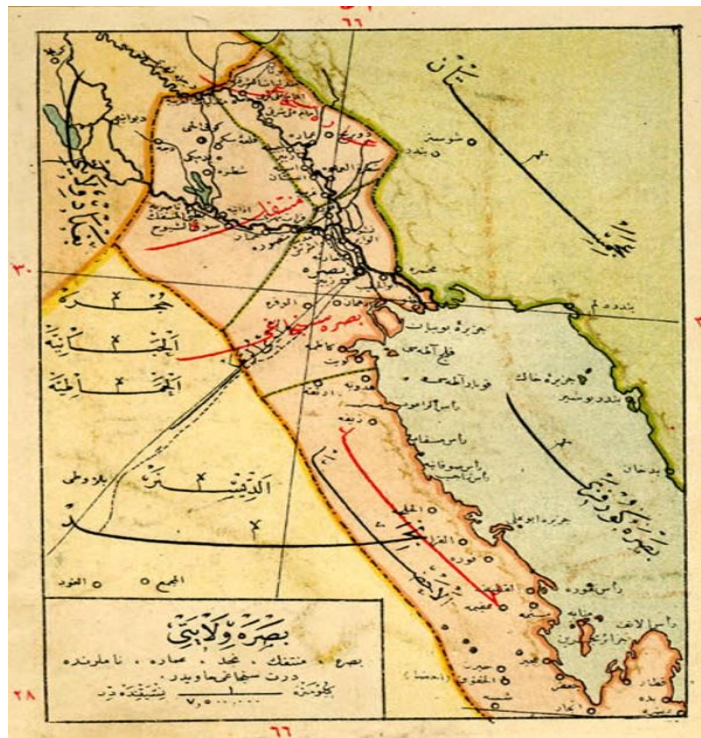


Рис. 1.3. Османська карта початку ХХ ст.

В османський період на території Іраку були закладені перші геодезичні мережі, які базувались на астрономічних пунктах, але їх рівень був невисокий.

Якщо вийти за межі іракської території, то європейська частина Османської імперії у другій половині XIX ст. мала непогані як для того часу карти, завдяки Австро-Угорщині.

Наступним етапом є період до 1968 року – англійський мандат (1920-1932), Королівство Ірак (1932-1958), Республіка Ірак (1958-1968).

На початку 20-х років XX ст. англійці створили комплект карт масштабу 1 : 253 440 (1 дюйм - 4 милі) на Ірак та Іран (див. рис.1.4).

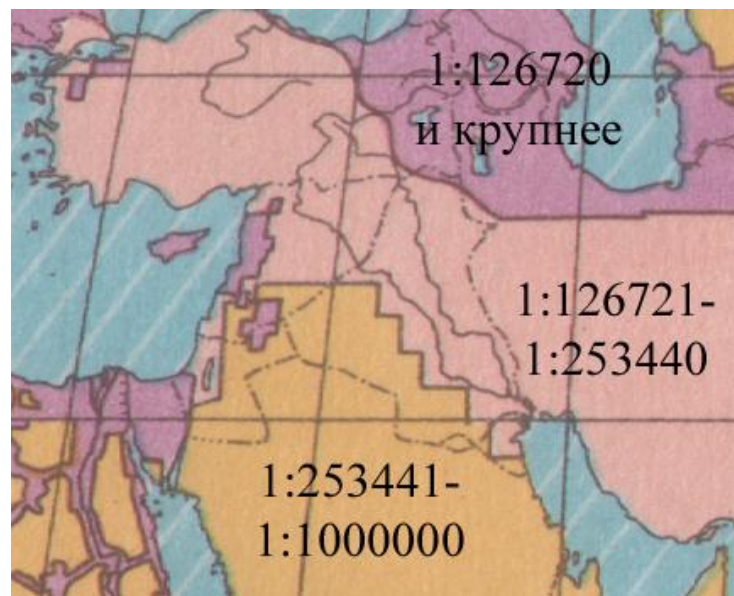


Рис. 1.4. Фрагмент карти з першого тому БСАМ (1937) - "Картографічне вивчення Землі"

Приклади топокарт Іраку цього періоду бачимо на рис. 1.5 и 1.6. [3]

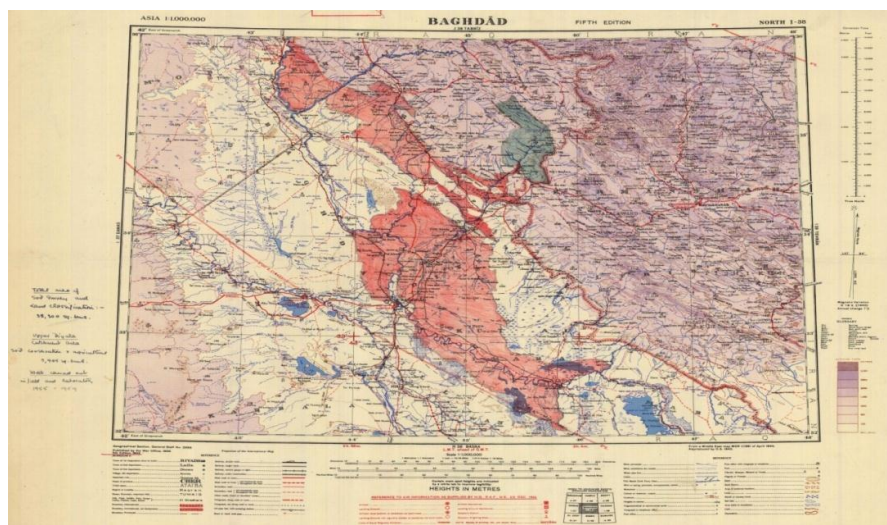


Рис. 1.5. Англійська карта I-38 (міжнародна карта в масштабі 1:1000000) 1928 р., випуск п'ятий 1945 р.

Кількість геодезичних пунктів в Іраку в цей час становила майже сто.

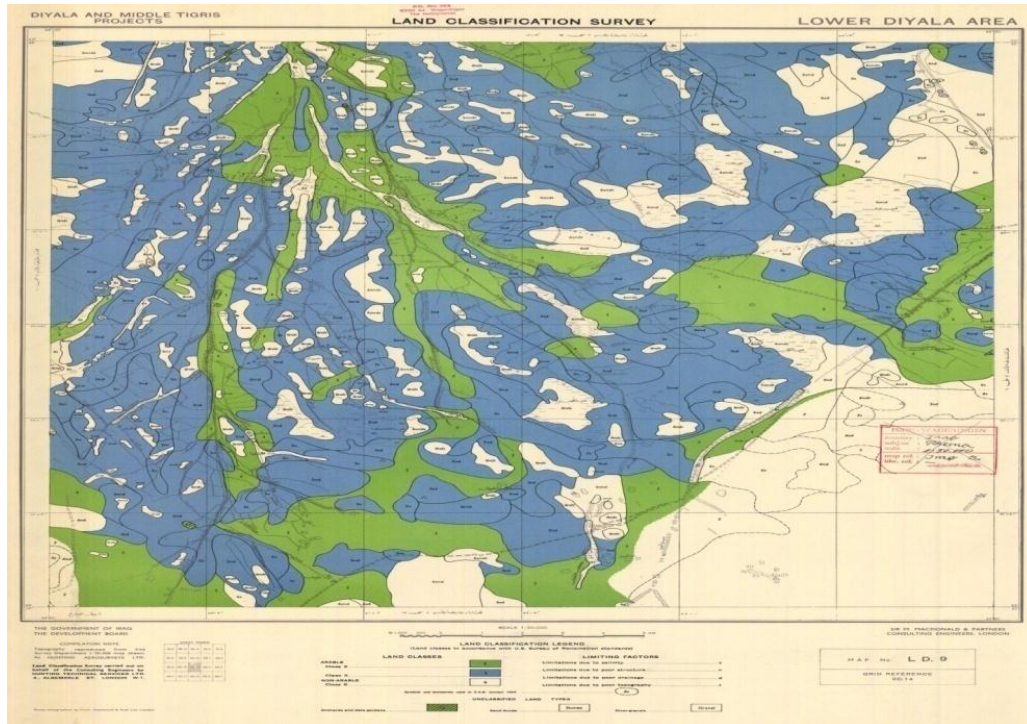


Рис. 1.6. Іракська меліоративна карта на основі топокарти знімання 1955 року 2С.14

Через три десятиліття на території розміром 1/16 кв. градуси (щоправда, недалеко від Багдада) вже працювали приблизно 30 геодезичних пунктів.

У цей період іракська геодезія та картографія ґрунтується на таких датумах:

- Nahrwan-1934 – спільний для півдня Іраку та півдня Ірану, призначений, в першу чергу, для топогеодезичного забезпечення нафтової промисловості;
- Nahrwan-1967.

Обидва дати використовували еліпсоїд Кларка-1880 (6378249.145/293.465). В них згадуються зони НАН-А, НАН-В, НАН-С для Nahrwan-1934 та 1, 2, 3, 4, 5 для Nahrwan-1967.

Наступний період – з 1968 до 2003 року – Республіка Ірак при Саддаме Хусейні.

З 1974 р. до середини 1979 р. польським підприємством Polservice, яке в подальшому в Іраку займалось окремими іригаційними проектами, була створена нова геодезична основа. Всього було закладено 2600 геопунктів із

середньою відстанню між ними 15 км. Висотна основа – від середнього рівня Персидської затоки у м. Фао, приблизно 1600 реперних точок (національна висотна мережа - National Elevation Network, див. рис. 1.7).

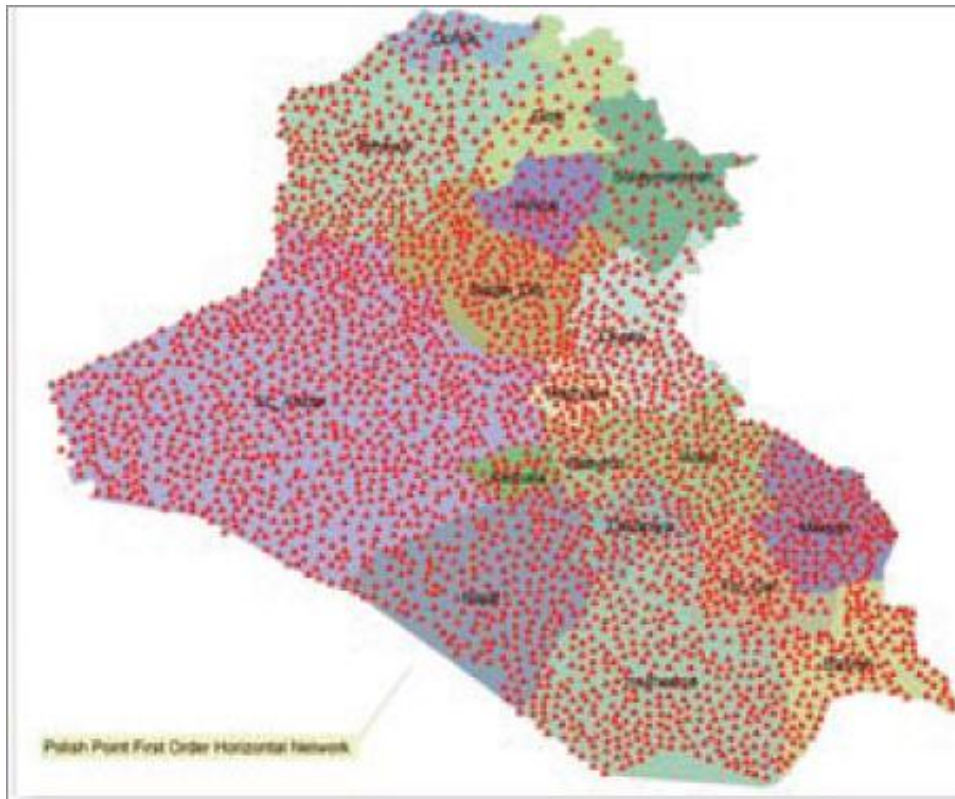


Рис. 1.7. Геооснова Polservice в Республіці Ірак

На цих роботах базується датум Karbala 1979, референц-еліпсоїд той самий - Кларка-1880 (6378249.145/293.465).

1.2. Номенклатури і масштабний ряд іракських топографічних карт

Номенклатури сучасних іракських топокарт, які видаються з 1980-х років, створюються на основі міжнародного розграфлення. На рис.1.8 показані номенклатури карт 1:200000 Республіки Ірак. Підпис внизу – відомі номенклатури карт у старому розграфленні.

				J-38-M	J-38-N	J-38-O				
			J-37-X	J-38-S	J-38-T	J-38-U	J-38-V			
			I-37-F	I-38-A	I-38-B	I-38-C 2A	I-38-D 2E	I-38-E		
			I-37-K	I-37-L	I-38-G	I-38-H	I-38-I 2B	I-38-J 2F		
I-37-O	I-37-P	I-37-Q	I-37-R	I-38-M	I-38-N	I-38-O 2C	I-38-P 2G	I-38-Q		
I-37-U	I-37-V	I-37-W	I-37-X	I-38-S	I-38-T	I-38-U 2D	I-38-V 2H	I-38-W	I-38-X	
		H-37-E	H-37-F	H-38-A	H-38-B	H-38-C	H-38-D	H-38-E	H-38-F	
				H-38-G	H-38-H	H-38-I	H-38-J	H-38-K	H-38-L	H-39-G
					H-38-N	H-38-O	H-38-P	H-38-Q	H-38-R	H-39-M

Рис. 1.8. Номенклатури карт 1:200 000 Республіки Ірак

Масштабний ряд містить масштаби 1:500 000, 1:200 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, 1:10 000.

У 80-і роки було створено значну кількість карт масштабу 1:10 000 – зокрема, для околиць міста Басра. Карти 1:100 000 розташовані на аркуші карти 1:200 000, як показано на рис.1.9.

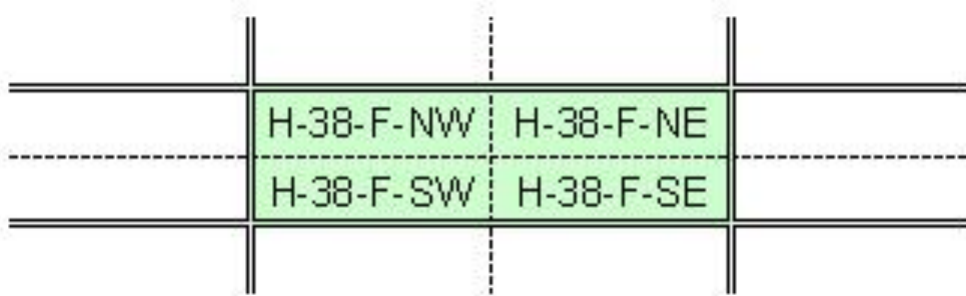


Рис. 1.9. Розташування карт 1:100 000 на аркуші карти 1:200 000
Фрагмент карти масштабу 1:100000 показаний на рис. 1.10.



Рис. 1.10. Фрагмент карти H-38-F-SW 1:100 000 Al-Qurnah 1992 р.

Карти масштабу 1:50 000 в старому розграфленні розташовувались на аркуші карти 1:200 000, як показано на рис.1.11.

	2С.1	2С.5	2С.9	2С.13
	2С.2	2С.6	2С.10	2С.14
	2С.3	2С.7	2С.11	2С.15
	2С.4	2С.8	2С.12	2С.16

Рис. 1.11. розташування карт 1:50 000 на аркуші карти 1:200 000

У зв'язку з постійними війнами та іншими подіями топографо-геодезична діяльність в Іраку зазнала значного тиску з боку військових та держбезпеки, причому дуже проблематичним було використання супутникової навігації.

На даний час (починаючи з 2003 року) картографо-геодезична діяльність в Іраку знаходиться у розпорядженні Міністерства водних ресурсів.

Для виконання високоточних геодезичних робіт у шести містах Іраку (Багдад, Басра, Таліл, Балад, Кайяра, Аль Асад) встановлені диференційні базові GPS-станції. Встановлення виконане в рамках проекту CORS

(Continuously Operating Reference Stations) [4]. Схема розташування станцій показана на рис.1.12.

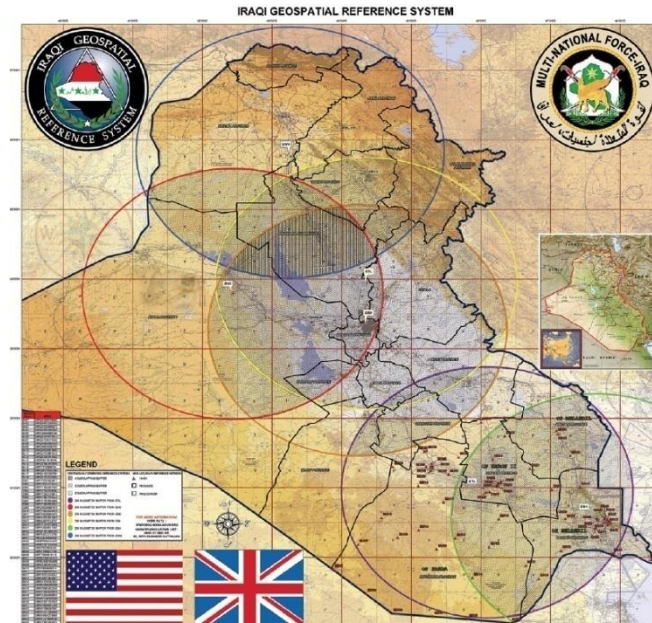


Рис. 1.12. Схема розташування базових GPS-станцій на території Іраку
 Геопункти, створені у 1970-ті роки польським підприємством Polservice, на даний момент в основному знищені. Цей факт, а також активна тектоніка Іраку та впровадження нових технологій обумовили необхідність створення нової опорної мережі. Координати пунктів уточнюються і перевизначаються на основі високоточних GPS-вимірів, при цьому використовується датум ITRF00 (GRS80) та модель геоїда EGM07. В першу чергу такі роботи виконують в Багдаді та в нафтовидобувних районах.



Рис. 1.13. Репер іракської геооснови, закладений у 2005 р.

У 1973 році СРСР розробив карту Багдада масштабу 1:25000 із нанесеною сіткою географічних координат WGS-84. Фрагмент карти показаний на рис.1.14.



Рис. 1.14. Фрагмент карти Багдада масштабу 1:25 000

Також розробленням карт для Іраку займались ООН та США. Зокрема, у 2000-2003 р.р. Об'єднаним гуманітарним інформаційним центром ООН в Іраку були створені топографічні і тематичні карти.

З американських карт найбільш цікавими є недавні карти Joint Operations Graphics (Сучасні операції Графіка) масштабу 1:250 000, доступні на сайті бібліотеки університету штату Техас [5]. Тут представлені інтерактивна карта Іраку, а також карти NH 37-4 Al Judayyidah, NH 38-2 An Najaf, NH 38-3 An Nasiriyah, NH 38-4 Al Amarah, NH 38-6 As Salman, H 38-8 Al Basrah, NH 38-10 Rafha, NH 38-11 Al Abtiyah, NI 37-4 As Suwar, NI 37-8 Abu Kamal, NI 37-11 Ar Rutbah, NI 37-12 H1 Pumping Station, NI 37-16 Al Uqaylah, NI 38-1 Al Qayyarah, NI 38-2 Karkuk, NI 38-3 As Sulaymaniyah, NI 38-5 Hadithah, NI 38-6 Samarra, NI 38-7 Qasr-e Shirin, NI 38-11 Ilam, NI 38-14 Karbala, NI 38-15 Al Kut, NI 38-16 Dehloran, NJ 37-16 Al Hasakah, NJ 37-16 Al Hasakah, NJ 38-13 Al Mawsil, NJ 38-14 Irbil, NJ 38-15 Mahabad.

Значний вклад у картографування Іраку внесла Організація Об'єднаних Націй [6]. У 2000 році відділення ООН із забезпечення проєктів (UNOPS) створює Об'єднаний гуманітарний інформаційний Центр (Joint Humanitarian

Information Center, ОГІЦ) із штаб-квартирою в м. Ербіл, північний Ірак. Основними завданнями ОГІЦ були: збір та опрацювання інформації про роботу гуманітарного товариства на території північного Курдистану, забезпечення всіх структур ООН, а також представництв міжнародних недержавних організацій (НПО) необхідною інформацією з використанням новітніх комп'ютерних технологій.

Центр був оснащений новітнім обладнанням і програмним забезпеченням, яке дозволяло вирішувати поставлені завдання. Тільки для зберігання картографічних даних у Центрі знаходились три сервери загальною ємністю пам'яті 1 терабайт. Програмне забезпечення ESRI та ERDAS було основним для роботи з картами та знімками.

Розташувавшись на базі в Ербілі, ОГІЦ мав також два підрозділи у містах Дахук і Сулейманія.

Однією з перших робіт, виконаних Центром, було оцифрування та створення електронних карт на всю територію північного Іраку (М 1:1000000; 1:500000 и 1:200000), а також плани міст Ербіл, Дахук і Сулейманія. За основу для створення карт були використані карти Міністерства Оборони СРСР, військові топографічні карти США, аеро- і космічні знімки. Створені карти використовувались в рамках різноманітних гуманітарних проектів ОГІЦ.

Іншою, не менш важливою роботою ОГІЦ впродовж всього його існування, був проект визначення характеристик кожного району північного Курдистану. Зібрана інформація була включена у спеціальний альбом з картами, який оновлювався один раз у три місяці. Для відображення всієї інформації про райони були використані карти М 1:200000, на яких вказувались межі районів, всі населені пункти, основні та неосновні дороги, об'єкти економіки, а також інша інформація, важлива для того, щоб у короткі терміни розпочати нові гуманітарні проекти.

Центр приділяв чимало уваги створенню бази даних усіх населених пунктів північного Іраку з визначенням точних координат (Gazetteer of Northern Iraq). Всі населені пункти з точними координатами були відображені на картах

різного масштабу. Ці карти використовувались всіма агентствами ООН та недержавними структурами. В загальному, ця база даних містила інформацію про більш як 6000 населених пунктів, що в подальшому стало основою створення Національної бази даних Іраку.

Кожного дня ОГЩ одержував від різних організацій велику кількість запитів щодо створення тематичних карт, топокарт, планів міст. На основі даних, зібраних фахівцями в рамках Програми ООН з гуманітарного розмінування в північному Іраку, були створені та опубліковані карти мінних полів північного Іраку. Ситуація з мінними полями у цій частині країни була дуже складною – вся територія Курдистану з обох сторін була оточена суцільними смугами мінних полів. Зі сторони Ірану практично вся прикордонна зона була всіяна протипіхотними і протитанковими мінами, а зі сторони Іраку також було багато небезпечних полів у місцях боїв між урядовими військами Іраку та Курдистану. Також було створено велику кількість тематичних карт, які демонстрували реальні дані з проблем безпеки. Найбільшою популярністю серед міжнародного персоналу користувались карти, на яких були позначені межі безпечних районів навколо міст, а також місця розташування контрольних пунктів на дорогах.

У лютому 2003 року у зв'язку з початком бойових дій в Іраку всі міжнародні фахівці агентств та підрозділів ООН були евакуйовані з Іраку на Кіпр та в Йорданію. Протягом квітня дев'ятеро фахівців працювали над створенням та підготовкою топокарт Іраку (М 1:1000000, 1:500000), планів 16-ти основних регіональних центрів на основі космічних знімків (IKONOS, Landsat), тематических карт. Вся наявна інформація була розміщена на створений в Інтернеті сайт [6].

Результатом роботи ГЩ стало створення Атласу Іраку, над завершенням якого вкінці 2003 року працювали міжнародні та іракські фахівці в Аммані. У цей Атлас увійшли всі тематичні і топографічні карти Іраку, знімки і плани регіональних міст країни. Над створенням Атласу Іраку обсягом 150 сторінок трудився колектив міжнародних та іракських фахівців у кількості 14 осіб. За

три місяці вони підготували перше в історії сучасного Іраку найбільш повне і точне зібрання електронних карт для широкого користування.

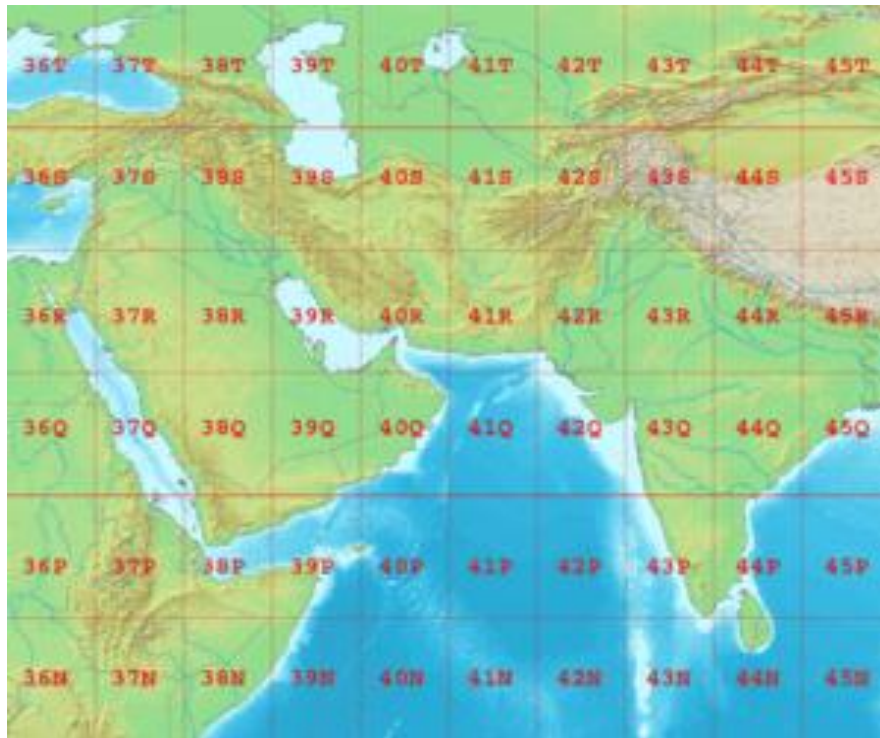
1.3. Картографічні проекції і системи координат топографічних карт Іраку.

Топографічні карти Іраку створюються в єдиній системі координат і висот за допомогою уніфікованих та погоджених умовних знаків і класифікаторів.

Єдиною державною системою координат прийнята система координат UTM (англ. Universal Transverse Mercator), яка базується на міжнародному еліпсоїді 1924 року. Вісь абсцис у цій системі координат напрямлена на схід, а вісь ординат – на північ. З метою уникнення від’ємних значень координат, до значення абсциси додають 500000 м, а до значення ординати у південній півкулі — 10000000 м. Початком відліку системи координат є точка з координатами (642569,39; -278686,24) [7].

Для перетворення поверхні еліпсоїда у площину використовується рівнокутна поперечно-циліндрична проекція Меркатора. З точки зору класифікації дана проекція є рівнокутною поперечно-циліндричною.

UTM представляє собою глобальну картографічну проекцію, тобто використовується в цілому світі. Одночасно із збільшенням площі застосування зростає ступінь спотворення геометричних параметрів. Щоб уникнути збільшення спотворень, виділено 60 однакових зон, кожна з яких становить 6 градусів довготи. Зони UTM пронумеровані від 1 до 60, а їх номери зростають із заходу на схід. Нумерація починається із лінії зміни дат (зона один знаходиться на 180 градусів Західної довготи) і збільшується на схід (зона 60 межує з 180 градусів Східної довготи), як показано на рис. 1.15.



*Рис. 1.15. Зони UTM південно-західної Азії
(Ірак – зона 38N)*

Система координат UTM розроблена інженерами армії США у 1940-х роках і базується на референт-еліпсоїді. На території США застосовувався еліпсоїд Кларка 1866, а для решти частини Землі використовувався міжнародний еліпсоїд. В даний час в основу системи координат покладено еліпсоїд WGS84.

1.4. Характеристики набору топографічних карт Іраку

У наборі топографічних карт Іраку містяться карти Месопотамської низовини, карти Персидської затоки, карти Східного Тавра, Загроса, карти гори Шельміра, карти хребтів Макхуль та Хамрін, Синджара та карти рівнини Ель-Джазіра. Крім того, представлені карти ущелини Равандуз, карти перевалу Шинек, карти рік Тигра, Євфрата, Мурата, Великого і Малого Заба, а також карти озера Ель-Мільха, Ель-Хаммара, Ес-Саадії та Ель-Хаббанії, карти Багдада, Вавілона, карти Басри і Кіркуки.

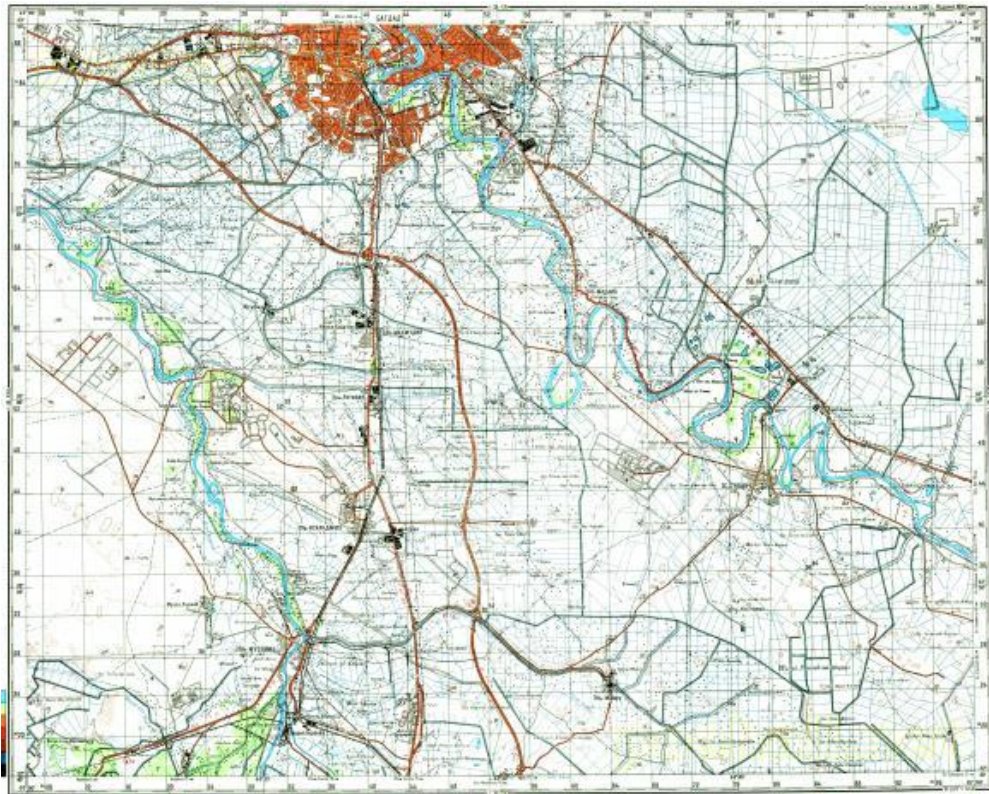
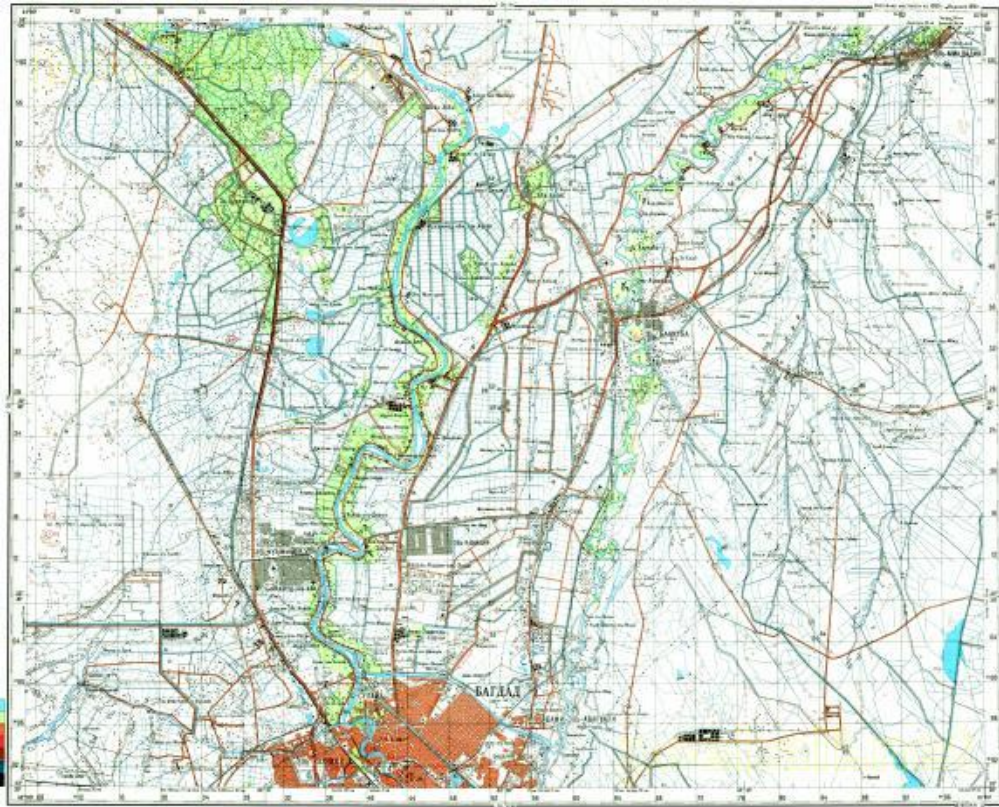


Рис. 1.16. Фрагмент топографічної карти Іраку і38-27 М 1:200 000

1.5. Характеристика дорожньої мережі Іраку, стан картографічного зображення дорожньої мережі на картографічних матеріалах.

Автомобільний транспорт відіграє провідну роль у перевезенні вантажів територією Іраку та за його межами. Достатньо добре автомобільне сполучення відлагоджено із сусідніми державами, зокрема, з Кувейтом та Йорданією. Найбільше розвинута дорожня мережа є в центральній та південній частині Іраку [8].

За даними World Development Indicators (WDI) станом на серпень 2014 року [9] загальна протяжність автомобільних шляхів Іраку становить 45 тис. 550 км, з яких 38 400 км - дороги з твердим покриттям (84,3 %). У таблиці 1.1 наведені дані про зміни загальної протяжності автомобільних доріг Іраку, починаючи з 1999 року, у таблиці 1.2 – про зміни частки доріг з твердим покриттям.

Таблиця 1.1.

Протяжність автомобільних шляхів Іраку

Дата	Протяжність, км	Зміна, %
2010	41716,2	1,10%
2009	41261,5	0,67%
2008	40987,5	0,00%
2007	40987,5	0,57%
2006	40755,5	0,72%
2005	40463,5	0,40%
2004	40301,5	0,36%
2003	40156,5	0,37%
2002	40008,5	0,10%
2001	39968,0	0,04%
2000	39952,0	-12,29%
1999	45550,0	

Таблиця 1.2.

Частка автомобільних шляхів Іраку з твердим покриттям

Дата	Величина	Зміна, %
1999	84,3	0,00%
1998	84,3	-1,98%
1996	86,0	0,00%
1995	86,0	2,02%
1994	84,3	2,06%
1993	82,6	1,98%
1992	81,0	2,02%
1991	79,4	1,93%
1990	77,9	

Щільність автомобільних шляхів, за даними цього ж джерела, у 2010 році становила 9,6 км на 100 кв. км. території. У таблиці 1.3 наведені дані про зміну показників щільності автомобільних шляхів, починаючи з 2000 року [9].

Таблиця 1.3.

Щільність автомобільних шляхів Іраку

Рік	Величина	Зміна, %
2010	9,6	1,82%
2009	9,4	4,60%
2008	9,0	0,00%
2007	9,0	-3,21%
2006	9,3	0,72%
2005	9,2	0,40%
2004	9,2	0,36%
2003	9,2	0,37%
2002	9,1	0,30%
2001	9,1	-0,16%
2000	9,1	

Основні автомагістралі в північному напрямку – це Багдад - Тикрит - Мосул - Дохук - Захо (более 600 км), Багдад - Кіркук - Ербіль - Равандуз (450 км), Багдад - Баакуба - Сулейманія (330 км). У південному напрямку проходять автомагістралі Багдад - Кут - Ель-Амара - Басра (около 590 км), Багдад - Хілла - Насирія - Басра (около 550 км), Багдад - Кербела - Джудайкат - Арар (Саудовська Аравія) - 500 км. Західний напрямок представлений магістраллю Багдад - Рутба - Требіль довжиною понад 600 км.

У післявоєнний період, починаючи з другої половини 1990-х років, одночасно з відновленням зруйнованих, проводилось будівництво нових об'єктів автодорожньої мережі, зокрема, мостів. Тепер велика частка вантажних перевезень здійснюється автотранспортом.

Наявні дані дозволяють стверджувати, що дорожня мережа Республіки Ірак зазнає часових змін, причому, як в сторону розширення, так і в сторону скорочення.

Дорожня мережа відображається як на картах всієї держави, так і окремих регіонів. На рисунках 1.17-1.21 наведені карти із вмістом дорожньої мережі.

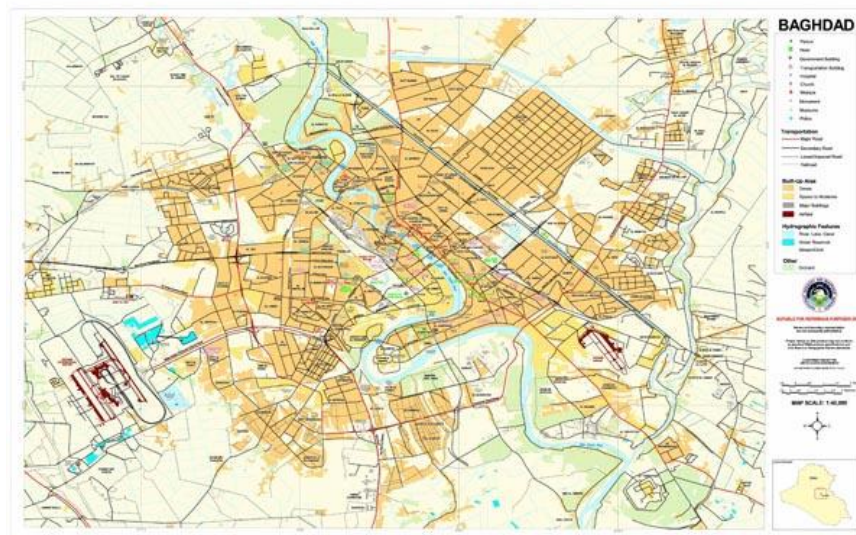


Рис. 1.17. Карта автодоріг Багдада, М 1:40 000



Рис. 1.18. Автодорожня і політична карта Іраку,
М 1:16 000 000



Рис. 1.19. Карта автодоріг і рельєфу Іраку, М 1:10 000 000

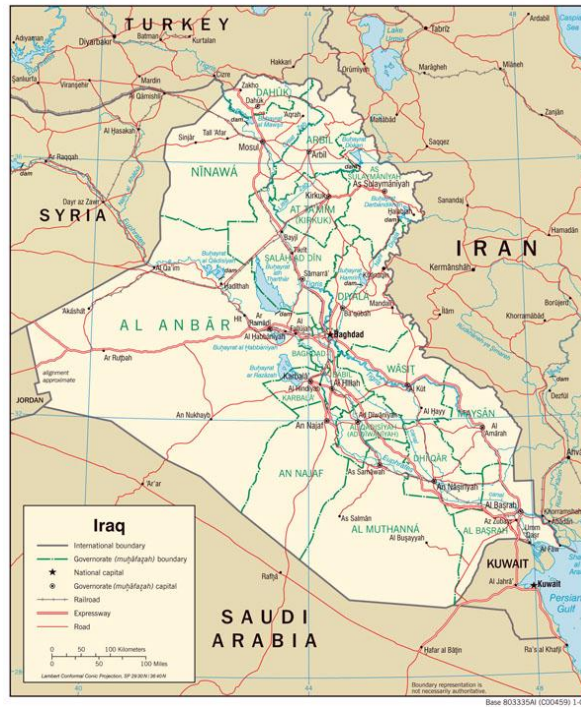


Рис. 1.20. Карта автомобільних шляхів та адміністративна карта Іраку, М 1:10 000 000

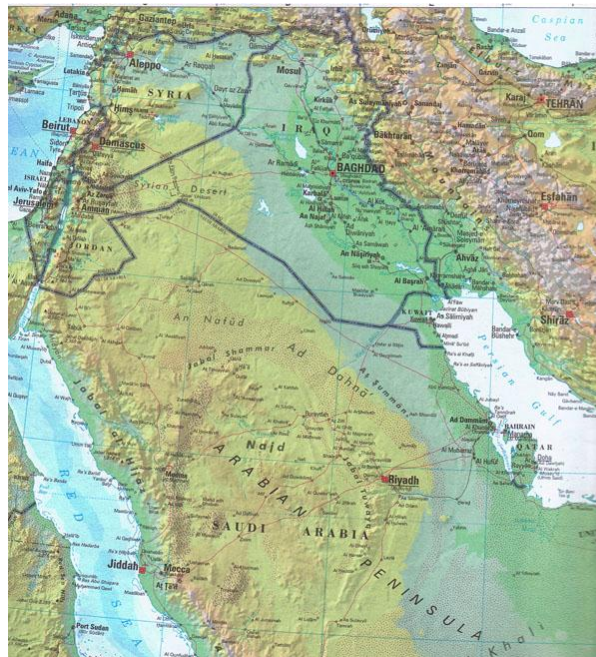


Рис. 1.21. Топографічна і політична карта Іраку М 1:20 000 000

Висновки до розділу 1

На основі опрацювання літературних джерел на дану тематику та наведених вище даних, можна зробити наступні висновки до першого розділу:

1. Аналіз історичних даних про картографування Іраку показав, що останні картографічні продукти на цю територію були створені вкінці 80-х років ХХ століття та вимагають серйозного оновлення;
2. Аналіз масштабного ряду останніх виданих карт на досліджувану територію продемонстрував, що найбільшим масштабом карт є масштаб 1:25000. Це недопустимо в сучасних умовах урбанізації та містобудування;
3. Стосовно динаміки збільшення протяжності дорожньої мережі території Іраку, то на основі аналізу літературних джерел встановлено, що збільшення протяжності автомобільних шляхів Іраку розпочалось з 2010 року (на 1,10%).

Всі одержані висновки до даного розділу підкріплюють актуальність тематики дисертаційної роботи.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ І ВИБІР КОСМІЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ СИСТЕМ ДЛЯ ОНОВЛЕННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ ІЗ ЗОБРАЖЕННЯМ ДОРОЖНІХ МЕРЕЖ ІРАКУ

2.1. Загальна характеристика космічних знімальних систем

Первинним матеріалом для створення топографічних карт традиційно вважались аерофотознімки. Використання космічних знімків дозволяє знизити вартість повторних знімань, розширити площу охоплення місцевості та зменшити спотворення, викликані рельєфом.

Ще одна перевага полягає в тому, що замість трудомісткого спрощення великомасштабних карт можна відразу використовувати космічні знімки середнього розрізнення. З цих причин космічні знімки щоразу частіше використовують для оновлення топографічних карт [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Досить часто разом з космічними знімками використовують дані LIDAR (Light Detection And Ranging) [16, 17].

В сучасних умовах космічні знімки розглядають як джерело даних, яке регулярно оновлюється, та використовують їх для формування й оновлення топографічних [18].

Космічні знімки земної поверхні доступні в мережі Інтернет як на платній основі, так і безплатно. Ціна знімків зростає із збільшенням їх розрізнення.

Основною характеристикою космічних знімків є їх просторове розрізнення. За цією характеристикою поділяють [19, 20, 21, 22, 23]:

- космічні знімки дуже низького розрізнення 10 000 - 100 000 м;
- космічні знімки низького розрізнення 300 - 1 000 м;
- космічні знімки середнього розрізнення 50 - 200 м;
- космічні знімки відносно високого розрізнення 20 - 40 м;
- космічні знімки високого розрізнення 10 - 20 м;
- космічні знімки дуже високого розрізнення 1 - 10 м;

– космічні знімки надвисокого розрізнення менше 0,3 - 0,9 м.

Характеристики космічних знімків, одержаних за допомогою різних систем, наведені у 2.1 [19].

Таблиця 2.1.

Характеристики космічних знімків різного розрізнення

Розрізнення	Система	Сфери застосування
Дуже низьке	QuikSCAT	Визначення швидкості і напрямку вітру поблизу поверхні океану.
	Meteosat	Безперервний огляд погоди.
Низьке	NOAA (AVHRR)	Виявлення великих промислових викидів, забруднюючих викидів у водойми; виявлення та спостереження за повенями, моніторинг пилових бур, метеорологія, складання синоптичних карт; оцінка стану і контроль динаміки сніжного покриву, контроль за виникненням і поширенням лісових і степових пожеж, оцінка льодовикового покриву; оперативне стеження за зонами затоплення в період весняних повеней і паводків.
	SeaStar(SeaWiFS)	Визначення складу і концентрації домішків у морській воді; контроль за ростом сільськогосподарських культур, станом лісового покриву, оцінка концентрації хлорофілу.
Середнє	TERRA/AQUA (MODIS)	Визначення хмарного покриву, концентрації аерозолів, розподіл водяної пари в атмосфері, моніторинг небезпечних атмосферних явищ, оперативне

		<p>картографування та вивчення температурного режиму океану; аналіз поширення та динаміки розміщення фітопланктону з метою визначення біопродуктивності океану; оперативне автоматизоване виявлення осередків лісових пожеж; моніторинг динаміки льодовиків, процесів заболочення, висушування і засолення ґрунтів, паводків і повеней; моніторинг природних та антропогенно-спровокованих катастроф на регіональному та глобальному рівнях (повені, цунамі, виверження вулканів тощо).</p>
	ENVISAT(MERIS)	<p>Глобальна фіксація температур поверхні океану, дослідження динамічних процесів в океані, течій, океанічних вихрів та фронтів; спостереження за станом фітопланктону, фіксація розмиву берегів, обчислення концентрації фіто- і зоопланктону та інших показників.</p>
Відносно високе	<p>LANDSAT-7 (ETM+), LANDSAT-4, 5 (TM), LANDSAT-1, 3 (MSS) TERRA (ASTER), HYPERION (EO-1</p>	<p>Оновлення топографічних карт (включно з масштабом 1:10000); оперативне виявлення і моніторинг нафтових забруднень на суші і на шельфі; оперативна оцінка стану льодовикового і снігового покриву; оперативна оцінка стану і ступеня деградації сільськогосподарських земель і пасовищ; ведення земельного кадастру;</p>

		<p>раннє виявлення і спостереження за розвитком лісових і степових пожеж; об'єктивна і оперативна оцінка нанесеної шкоди внаслідок стихійного лиха; моніторинг повеней; моніторинг стану гідротехнічних споруд; створення сучасних тематичних карт, цифрових моделей рельєфу з точністю 15-20 метрів по висоті; інвентаризація лісів; сільськогосподарське картографування, моніторинг і прогнозування процесів заболочення, висушування та засоленості, карсту, ерозії, степових пожеж.</p>
	<p>CBERS (WFI, CCD, IRMSS)</p>	<p>Сільське і лісове господарство; раціональне природокористування; екологічний і природоохоронний моніторинг; планування забудови; геологія; моніторинг територій стихійного лиха</p>
	<p>ENVISAT (ASAR)</p>	<p>Створення цифрових моделей рельєфу з точністю 5—10м по висоті; створення та оновлення карт і планів, включно з масштабом 1:200 000; спостереження за стихійними лихами (повенями, зсувами льодовиків і т.д.) незалежно від погоди і пори доби; вивчення утворення хвиль в океані, швидкості і напрямку вітрів; контроль за береговими смугами, спостереження за суднами, виявлення і відслідковування нафтових забруднень;</p>

		оцінка сейсмічної небезпеки, прогнозування землетрусів, виявлення сантиметрових зміщень земної поверхні із застосуванням інтерферометричних методів; сільськогосподарський і лісогосподарський моніторинг, відслідковування льодовикової та снігової ситуації на суші і морі.
Високе	SPOT	Створення та оновлення топографічних і спеціальних карт, включно з масштабом 1:100 000; контроль лісокористування і моніторинг стану лісів; моніторинг стану посівів сільськогосподарських культур, екологічного стану територій.
Дуже високе	TERRASAR-X	Створення та оновлення топографічних і спеціальних карт, включно з масштабом 1:10 000; створення цифрових моделей рельєфу високої точності (2–4 м по висоті); високоточне спостереження за станом інфраструктурних мереж; оцінка сейсмічної небезпеки; спостереження за природними та антропогенними катастрофами за будь-якої погоди; контроль берегових зон і спостереження за суднами; картографування сільськогосподарських культур, визначення стану посівів, точне сільське господарство; контроль та управління міським середовищем; завдання, пов'язані з обороною та безпекою.

	RADARSAT – 1, 2	Створення та оновлення топографічних і спеціальних карт, включно з масштабом 1:25000; створення високоточних цифрових моделей рельєфу (3-6 м по висоті); спостереження за природними та антропогенними катастрофами за будь-якої погоди; оцінка стану льодовиків, запасів води; моніторинг акваторій; картографування сільськогосподарських культур, визначення стану посівів, точне сільське господарство.
Надвисоке	Ikonos, WorldView, QuickBird GeoEye	

Із появою супутників дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) цивільного і подвійного призначення, обладнаних оптико-електронними сенсорами високого розрізнення, сканерні космічні знімки змогли створити конкуренцію аерофотознімкам як вхідному матеріалу для великомасштабного знімання.

Технічні характеристики сучасних сканерних знімків дозволяють створити карти масштабів 1 : 5 000 і дрібніші [24]; не зважаючи на достатньо високу вартість цих знімків, вони все ж можуть виявитись дешевшими за аерофотознімання метою картографування невеликих або малозаселених (далеко від аеродромів) ділянок місцевості. Сканерному космічному зніманню також віддають перевагу в тих випадках, коли аерофотознімання складно виконати організаційно, наприклад, для картографування великих міст або на державних кордонах, і, крім цього, воно більш оперативне.

Згідно з дослідженням і прогнозом розвитку ринку даних ДЗЗ на найближчі 10 років [25], проведеним американським товариством фотограмметрії та дистанційного зондування (ASPRS), на даний момент не задовольняється попит на знімки з розрізненням 1 м і вищим; прогнозується стабільне зростання попиту на продаж матеріалів ДЗЗ (в т.ч. аерофотознімання), третину яких становлять космічні знімки.

Першими на ринок оптико-електронних знімків високого розрізнення вийшли компанії Space Imaging и Digital Globe, які пропонують дані із супутників IKONOS і QuickBird відповідно. Саме ці матеріали є найбільш поширеними в даний час [24]. Крім цього, 6 вересня 2008 року з авіабази Ванденберг (штат Каліфорнія) було здійснено запуск комерційного супутника субметрового розрізнення GeoEye-1 з передбачуваним терміном перебування на орбіті 7 років. Власником супутника є приватна компанія GeoEye (США), створена у січні 2006 року в результаті злиття компаній Space Imaging та OrbImage – операторів супутників IKONOS та OrbView відповідно. GeoEye-1 характеризується надвисокою деталізацією зображень (розрізнення 0,41 м в панхроматичному та 1,65 м в мультиспектральному режимах), високою точністю прив'язки знімків (3 м при зніманні в надир), високою продуктивністю супутника (в день GeoEye-1 здатен відзняти в панхроматичному режимі до 700 000 кв. км, а в мультиспектральному – до 350 000 кв. км).

Достатньо детальний порівняльний аналіз космічних знімків наведений у [26]. Зокрема, вказується, що на момент опублікування статті QuickBird мав найкраще розрізнення з-поміж всіх супутників, представлених на ринку. Інформація про використання знімків QuickBird наведена у [27, 28, 29]. Інформація про використання знімків GeoEye міститься у [30].

У працях [31, 28, 32, 29] описано застосування знімків IKONOS — знімальної системи з гарантованим розрізненням 1 м та найкращою початковою геометричною прив'язкою [26].

Застосування знімків супутника SPOT описано в [33, 34, 35, 17]. Знімки SPOT 5 за співвідношенням ціна / якість вважаються оптимальними для масштабу 1:25 000. Знімки SPOT 4 за своїми технічними характеристиками підходять для створення карт масштабу 1 : 100 000 і володіють хорошими геометричними характеристиками [26].

Використання знімків IRS 1C/1D розглянуто в [34, 36].

Для оновлення карт придатні знімки ISTAR [37], LANDSAT [34], IRS [34, 36].

Немаловажним фактором при виборі знімка є його ціна. Різні компанії використовують різні принципи ціноутворення. Наприклад, ціна знімків IKONOS залежить від того, яка приймальна станція поставлятиме знімок. У IRS немає поділу на нові та архівні знімки, зображення початкового рівня опрацювання SPOT продаються кадрами і фрагментами, а продукти вищого рівня — трапеціями, обмеженими меридіанами і паралелями [26]. Для деяких знімків економічні характеристики наведені в таблиці 2.2 [26].

Таблиця 2.2.

Економічні характеристики знімків

Космічний апарат	QuickBird	IKONOS	EROS A	SPOT 5	IRS 1C/1D	SPOT 4	
Обсяг інформації на 1 км ² панхроматичного знімання, Мб	2.7	1	0.25	0.16	0.03	0.01	
Масштаб створюваного ортофотоплану та площа трапеції відповідного масштабу	1:2000 1 км ²	1:5000 4 км ²	1:10 000 21 км ²	1:25 000 85 км ²	1:50 000 340 км ²	1:10 000 132 0 км ²	
Приблизна вартість 1 км ² панхроматичного зображення продукту початкового рівня обробки	Архів	18	16	4.9	1.8	0.3	0.6
	Замовлення	22	20	8.2	2.2		0.52

(USD)							
Вартість архівного продукту з найвищим рівнем обробки (USD)	34	38	Не пропонується	1.92	Не пропонується	0.72	

2.2. Вимоги до точності космічних систем для оновлення карт з дорожньою мережею Іраку

Під час вибору знімків для складання карт певного масштабу враховують графічну точність малювання та друку карт (0,1 мм). Наприклад, знімки повинні мати просторову розрізненість не менше ніж 100 м для карт масштабу 1: 1 000 000 і не менше ніж 10 м для карт масштабу 1: 100 000 [38]. Відповідно за знімками IRS-1C/D PAN з розміром пікселя 5,8 м можна скласти значну кількість елементів змісту карт масштабу 1:50 000 і дрібніше. Знімки Landsat 7 ETM + та Terra ASTER з розміром пікселя 15 м дозволяють скласти значну кількість елементів змісту карт масштабу 1: 200 000 і дрібніше [39]. Для складання топографічних карт необхідні космічні знімки більш високого розрізнення, ніж для їх поновлення. Під час складання та оновлення топографічних карт певного масштабу ті самі типи космічних знімків можуть бути придатні або непридатні для різних елементів змісту топографічних карт.

В [40] показано, що, оскільки просторова розрізненість найкращих комерційних космічних знімків становить 0.5 м та 1.0 м, можна впевнено вважати, що їх можливо використовувати для карт масштабів 1: 10000 та 1: 25000 з точки зору дешифрувальних властивостей зображень. Можливість та ефективність використання знімків з розрізненістю 0.5 м для створення плану масштабу 1: 5000 залежить від ситуації і конкретних вимог до змісту карти.

В [40] також проведено аналіз точностних характеристик знімків високого розрізнення з розміром пікселя на місцевості 0.5 м і 1.0 м на прикладі продуктів компанії GeoEye. У процесі аналізу автор робить висновок, що за

точністю планового положення дані знімки задовольняють вимогам масштабів від 1: 25000 до 1: 5000. GeoStereo Precision з розрізненням 0.5 м можна спробувати застосувати для масштабу 1: 2000. Для масштабів карт 1: 25000 і навіть 1: 10000 знімки можуть використовуватися без застосування фототріангуляції, тобто без будь-якого додаткового матеріалу наземного планово-висотного обґрунтування.

Що стосується розрізнення, то слід мати на увазі, що знімки з розрізненням 1.0 м найефективніше можуть використовуватися для масштабу 1: 25000, але для масштабу 1: 10000 їх дешифрувальних можливостей може бути недостатньо, тобто застосування їх для картографування у масштабі 1: 10000 має оцінюватися для кожного конкретного випадку. Знімки з роздільною здатністю 0.5 м за своїми дешифрувальними можливостями повністю задовольняють масштабу 1: 10000 а, в деяких випадках, можуть бути використані для масштабу 1: 5000.

Таким чином, космічні знімки високого розрізнення можуть впевнено використовуватися для створення ортофотопланів масштабів 1: 10000 та 1: 25000 для складання або поновлення контурної частини карт тих масштабів. З деякими обмеженнями дешифрувальних можливостей, але без втрати точності, їх можна використовувати для масштабу 1: 5000.

Рекомендовані масштаби для складання та поновлення топографічних, оглядово-топографічних та оглядових карт за космічними знімками наведені в таблиці 2.3 [41]. Символом С позначені типи знімків, придатні для складання топографічних карт відповідного масштабу, символом R - придатні для поновлення.

Таблиця 2.3.

**Рекомендовані масштаби для складання та поновлення
топографічних, оглядово-топографічних та оглядових карт за космічними
знімками**

Тип знімків, розмір пікселя	Масштаб						
	10 000-25 000	25 000-50 000	50 000-100 000	100 000-200 000	200 000-500 000	500 000-1 000 000	Дрібніше 1 000 000
Terra/Aqua MODIS, 250-1000 м							C, R
Ресурс МСУ-СК, 140 м						R	C, R
Ресурс/Метеор МСУ-Е, 35-45 м					C, R	C, R	C, R
Landsat TM, 30 м				R	C, R	C, R	
Landsat ETM +, 15- 30 м				C, R	C, R	C, R	
Terra ASTER, 15 м			R	C, R	C, R	C, R	
IRS LISS, 23 м			R	C, R	C, R		
RADARSAT SAR, 8 м, 25-30 м	R	C, R	C, R	C, R	C, R		
IRS PAN, 5,8 м	R	C, R	C, R	C, R			
GeoEye	C, R	C, R	C, R				

В [42] отримані такі вимоги до точності відображення контурів: для масштабу 1: 10000 розмір пікселя на знімку повинен становити 2м, для 1: 25000 - 5м, для 1: 50000 - 10м.

2.3. Аналіз геометричних властивостей космічних знімків центральної і нецентральної проєкції

Особливості космічних знімків.

Космічні знімки охоплюють набагато більшу площу поверхні планети, ніж топографічні аерофотознімки, Це призводить до того, що у космічного знімка відсутня однозначність кута нахилу. Якщо по відношенню до місцевої вертикалі в деякій точці знімок буде горизонтальним, то по відношенню до місцевих вертикалей в будь-якій іншій точці, що відображена на знімку, він буде мати кут нахилу. В результаті в межах одного знімка значення кута нахилу може змінюватися від нуля до десятків градусів. Через непаралельність місцевих вертикалей напрямок відрахунку висот точок поверхні буде змінюватися. Крім того, при перетворенні криволінійної поверхні на площину виникають лінійні і кутові спотворення у взаємному розташуванні контурів [43].

Так як у фотограмметрії вимірювання виконують у прямокутній системі координат за умови ортогонального проєктування точок на координатні площини, розташування точки М сферичної поверхні щодо точки N, через яку проведено площину E_u , яка прийнята за площину XY, буде визначено фотограмметричними координатами L_0 і h . Фактично ж точки М і N мають однакову висоту, а відстань між ними дорівнює довжині дуги $NM = D$. Отже, похибка вимірювання висоти точки М буде дорівнювати А, а відстань NM - величині $D-L_0$. Похибки, що виникають, будуть спадати зі зменшенням розміру сфотографованої ділянки. Для конкретної фотокамери скорочення охоплення на місцевості можна досягнути зменшенням висоти фотографування.

Висоти фотографування при космічному зніманні значно перевищують допустимі значення, тому потрібно обмежувати розміри ділянки на поверхні планети, в межах якої заміна криволінійної поверхні площиною, що проходить крізь межі ділянки, дає похибки у планових і висотних координатах, але вони не перевищують встановлені величини.

Для ідеального кадрового знімка відомі співвідношення, що зв'язують координати відповідних точок на карті і на знімку [18]. Для реальних знімків через недосконалість знімальної апаратури, умов виконання знімання, нерівностей рельєфу місцевості відповідні залежності, в які додатково входять ще й інші знімальні параметри, мають дуже складний вигляд. Тому в фотограмметрії геометричні властивості реальних планових знімків, які як правило, мають кути нахилу не більше 3° , часто оцінюють їх порівнюючи з ідеальними знінками. Розбіжності між ними називають геометричними (фотограмметричними) спотвореннями знімків. Розглянемо найбільш поширені геометричні спотворення кадрового планового знімка, обумовлені його нахилом, рельєфом місцевості і кривиною Землі.

Нахил знімка.

Якщо знімок не строго горизонтальний, то контури на ньому мають перспективні спотворення. Наприклад, паралельні на місцевості лінії на похилому (перспективному) знімку зображуються як такі, що збігаються. На відміну від строго горизонтального знімка у перспективного знімка масштаб неоднаковий в різних його частинах і за різними напрямками, він залежить не тільки від висоти знімання і від фокусної відстані камери, але і від кута нахилу знімка і місцеположення точки на знімку. Якщо порівняти горизонтальний і похилий знімки, отримані з одного центру проєкції, виявиться, що по лінії перетину площин знімків масштаб їх буде однаковий (ця лінія називається лінією неспотворених масштабів). Кути, виміряні за перспективним знімком, не будуть дорівнюють відповідним горизонтальним кутам на місцевості. Не спотворені будуть тільки кути з вершиною в єдиній точці, що лежить на лінії неспотворених масштабів - точці нульових спотворень. Формули для

розрахунку величини спотворення у місцеположенні точки на знімку через перспективу, спотворення внаслідок нахилу знімка наведені у [18].

Як зазначено у [18] довжина відрізка, що проходить через центр кадрового знімка і симетричного відносно центру, не спотворюється за рахунок нахилу знімка, і спотворення через кут нахилу планових знімків досягає декількох міліметрів, що значно перевершує похибки вимірювань по знімках навіть найпростішими засобами.

Рельєф місцевості.

Рельєф впливає на масштаб знімка: якщо місцевість, зображена на знімку, не плоска, а розчленована, то додатні форми рельєфу, розташовані ближче до знімальної камери, відображаються на знімку в більшому масштабі, ніж від'ємні. Формули для обчислення величини спотворення внаслідок рельєфу місцевості, масштабу зображення на знімку ділянок місцевості, що мають додатне перевищення відносно площини, обраної за початкову, наведені в [18]. Спотворення, викликані рельєфом місцевості, найбільш відчутні на аерознімках. У космічних знімків, які отримані з великих висот, ці спотворення незначні, їх необхідно враховувати тільки для високогірних районів.

Кривина Землі.

Вплив кривини Землі на місцеположення точки на знімку подібне до впливу рельєфу - воно викликано тим, що точки місцевості внаслідок сферичності Землі не лежать в одній площині.

Величини спотворень через кривину Землі у аерознімків малі і ними можна знехтувати, але у космічних знімків вони значні і їх доводиться враховувати при фотограмметричному опрацюванні.

Вплив нахилу знімка, рельєфу місцевості і кривини Землі на місцеположення точки на знімку є сукупним, що компенсується або підсилюється. Ці спотворення мінімальні в центральній частині знімка і збільшуються до його країв. Тому найбільш придатна для вимірювань центральна частина аерокосмічного знімка, так звана робоча площа, яка характеризується також і кращою якістю зображення [18].

Геометричні властивості сканерного знімка.

Зображення сканерного знімка у напрямку польоту і напрямку сканування будується в різних проєкціях. У напрямку польоту зображення отримуємо в ортогональній проєкції. У перпендикулярному напрямку, вздовж рядка, проєкція сканерного знімка перспективна. При оптико-механічному скануванні з постійною кутовою швидкістю зі збільшенням кута візування масштаб зображення вздовж рядка стає більш дрібним [18]. Перспективність зображення вздовж рядка призводить до геометричних спотворень сканерного знімка, які зростають зі збільшенням кута візування. Тільки якщо кут огляду невеликий, як, наприклад, у сканера MSS/Landsat ($\pm 5,8^\circ$), спотвореннями можна знехтувати і так звану сканерну проєкцію можна прийняти за ортогональну.

Зсув через рельєф місцевості на сканерних знімках спрямовано по перпендикуляру до лінії польоту.

Геометрія сканерного знімка, отриманого оптико-електронним сканером, більш проста, ніж знімка, отриманого оптико-механічним сканером. Його проєкція вздовж польоту також ортогональна, а вздовж рядка, як і у кадрового знімка, є центральною.

Також на геометричні властивості знімків, отриманих при космічному зніманні, впливає обертання Землі.

Космічне знімання.

Космічне знімання, тобто знімання з висоти понад 150 км, виконується з супутника, який згідно до законів небесної механіки переміщається по строго встановленій орбіті. Тому можливості його маневрування в порівнянні з літаком вельми обмежені. Будь-який супутник, з якого виконується знімання, завжди повинен розглядатися з урахуванням параметрів його орбіти.

За характером покриття земної поверхні космічними знімками виділяють одиночне фотографування, маршрутне, прицільне і глобальне знімання.

Одиночне (вибіркове) фотографування виконується космонавтами ручними камерами. Знімки отримують перспективні зі значними кутами нахилу.

Маршрутне знімання земної поверхні проводиться вздовж траси польоту супутника. Ширина смуги знімання залежить від висоти польоту і кута огляду знімальної системи. Для збільшення смуги огляду практикують «віялове» знімання - поперек напрямку польоту двома або трьома знімальними системами високого розрізнення.

Прицільне (вибіркове) знімання призначено для одержання знімків спеціально заданих ділянок земної поверхні в бік від траси.

Глобальне знімання виконують з геостаціонарних і полярно-орбітальних супутників. Чотири-п'ять геостаціонарних супутників на екваторіальній орбіті забезпечують практично безперервне отримання дрібномасштабних оглядових знімків всій Землі (космічне патрулювання) за винятком полярних шапок.

Більш детальне глобальне знімання проводиться з полярно-орбітальних супутників.

Існує кілька різновидів космічного знімання, обумовлених різним призначенням супутників і різноманітністю знімальних систем.

Геометричні властивості космічних знімків характеризують можливість визначення по знімках розмірів, довжин і площ об'єктів та їх взаємного місцеположення. Властивості знімків, отриманих в різних діапазонах і різною знімальною апаратурою, суттєво розрізняються.

Особливості поновлення топографічних карт за космічними фотознімками обумовлені умовами проведення космічного фотознімання та рядом відмінностей отриманих фотознімків від топографічних аерофотознімків.

Космічне фотознімання виконується з пілотованих орбітальних станцій та автоматичних космічних апаратів.

Слід відзначити, що через велике коливання висот фотографування (від сотень до тисяч кілометрів) є значна різномасштабність фотознімків. Як правило, вони більш дрібномасштабні, ніж аерофотознімки. Знімки отримують

у декількох спектральних діапазонах. Виготовляють чорно-білі, кольорові і спектральні знімки. Для стереоскопічного опрацювання намагаються отримати перекриття в 60%, але часто використовують знімки з набагато меншим поздовжнім перекриттям. Кути нахилу у космічних знімків різновеликі, внаслідок того, що проектування здійснюється на сферичну поверхню. В межах одного знімка значення кута нахилу може значно змінюватися.

Великі висоти фотографування дозволяють мати невеликі спотворення за рельєф місцевості в порівнянні з спотвореннями за вплив кривини Землі.

Послідовність технологічних процесів оновлення карт за космічними знімками майже така ж сама, як і з використанням аерофотознімків. Особливу увагу приділяють збору картографічних матеріалів.

За їх допомогою створюють опору для фотограмметричного згущення, еталони та зразки дешифрування. Найбільш повно прагнуть зібрати і використати матеріали стереотопографічного знімання, за якими створювалася карта, а також великомасштабні карти і плани. На цих матеріалах вибирають опорні контурні точки, в першу чергу, використовуючи точки польової підготовки аерофотознімків. Якщо опорних точок недостатньо, як правило, аналітичним методом за спеціальними програмами для ЕОМ, виконують згущення мережі опорних точок. В результаті згущення отримують точки для трансформування фотознімків і монтажу фотопланів. Застосовують звичайне, подвійне або перспективно-афінний трансформування.

Знімки центральної проекції з малими кутами нахилу, фокусною відстанню до 500 мм і співвідношенням масштабів знімка і карти до 5х трансформують звичайним способом.

Для знімків з великими кутами нахилу і для значних коефіцієнтів збільшення, а також фотознімків нецентральної проекції застосовують подвійне і перспективно-афінне трансформування. Знімок при цьому ділять так, щоб вийшли фігури розміром від 20х20 см до 30х30 см у масштабі карти (у випадку трансформування на фотопапір) і до 45х45 см (під час

трансформування на матеріал, який мало деформується). Кожна фігура повинна мати не менше 5 опорних точок.

При подвійному трансформування спочатку отримують проміжний негатив знімка з точкою нульових спотворень в середині зображення, а потім виконують звичайне трансформування.

Перспективно-афінне трансформування здійснюють на спеціальному фототрансформаторі (наприклад, ФТА), що має рухомий щілинний екран, за допомогою якого виконується афінне перетворення зображення, спроектованого на екран.

Дешифрування космічних фотознімків є більш складним і трудомістким, ніж дешифрування аерофотознімків. Це обумовлено рядом особливостей. Часто на фотознімках відображаються хмари, тайфуни та інші метеорологічні явища, які іноді не дозволяють виконувати дешифрування. Так як масштаб зображення мілкий, то втрачаються зображення деяких об'єктів, зникає ряд дешифрувальних ознак. Стан атмосфери, різкі зміни освітлення і відбивних здатностей ландшафту не завжди дозволяють оптимізувати експозицію під час знімання, що веде в деяких випадках до погіршення фотографічної якості. Перед дешифруванням знімки, як правило, підлягають геометричному перетворенню на приладах. Знімки збільшують до 10x і більше, за багатозональними знімками отримують синтезоване зображення.

Космічні знімки мають ряд переваг. Вони, як правило, мають високу розрізненість і охоплюють велику територію, що дає можливість за великою кількістю зв'язків між об'єктами та дешифрувальними ознаками, розпізнавати на знімках, збільшених до масштабу карти або в 1,5-2 рази більше, велику кількість об'єктів та елементів місцевості. Під час дешифрування особливо важливо якнайповніше використовувати картографічні матеріали. Це необхідно у випадках, якщо неможливо або недоцільно створення польових еталонів дешифрування або польове обстеження після проведення камерального дешифрування. Але, як правило, використовують еталони дешифрування, діапозитиви на плівці для дешифрування невеликих за розміром

і малоконтрастних контурів, збільшені фрагменти фотознімків з великою кількістю дрібних елементів місцевості, фрагменти знімків для визначення елементів сніжно-льодового рельєфу, кольорові, спектрональні та синтезовані знімки для дешифрування типів ґрунтів, рослинного покриву та інших об'єктів, зональні знімки в різних діапазонах електромагнітних хвиль.

Застосовують прилади такі ж, як і для дешифрування аерофотознімків. Є спеціальні прилади, наприклад, ПКДФ - прилад камерального дешифрування фотознімків.

Перенесення об'єктів на карту ускладнено, якщо кути нахилу знімків 5° і більше або фотознімок в нецентральної проекції.

Супутниковим сканерним зображенням притаманні спотворення [44].

Розглянемо схему формування супутникових зображень з урахуванням кривини Землі. Нехай супутник огинає поверхню Землі за круговою орбітою на висоті H . Це рівносильно руху супутника по прямій, але над поверхнею циліндра. Уявне зображення, яке будує сканер супутника з циліндричною або лінійною розгорткою, - це проекція на поверхню циліндра F .

Насправді сканер відображає земну поверхню, тобто зовнішню поверхню циліндра G . Вважаємо, що Земля - куля радіусом $R_0 = 6370$ км; власне обертання Землі за час побудови сканерного зображення не враховуємо. Нехай $L = SA$ - відстань від супутника S до деякої точки земної поверхні під час сканування, ΔL - розрізнявальна здатність в надирі, $\Delta\phi$ - миттєве поле зору, α - кут сканування (кут візування), під кутом γ дугу AK видно з центру Землі.

Якщо відома відстань L , томожливо уточнити просторове розрізнення.

Для мінімальної дальності $L_{\min} = H$ розрізненість $\Delta L = \Delta\phi H$; для максимального кута сканування α_{\max} дальність дорівнює L_{\max} , розрізненість $\Delta L_1 = \Delta\phi L_{\max}$ вздовж напрямку руху супутника. Але поверхню видно з супутника під кутом α_{\max} , тому поперек напрямку руху $\Delta L_2 = \Delta L_1 / \cos \alpha_{\max}$. Таким чином, на максимальній дальності поперек напрямку руху пікселі є стиснутими в $\Delta L_2 / \Delta L$ рази, вздовж - в $\Delta L_1 / \Delta L$ рази. Уявна смуга огляду $F_{\max} = H \alpha_{\max}$, реальна смуга $G_{\max} = 2R\beta_{\max}$.

Для супутника NOAA H = 870 км, $\alpha_{\max} = 55^{\circ}$, $\Delta\varphi = 1,26 \cdot 10^{-3}$, $\Delta L = 1,1$ км. Максимальна дальність $L_{\max} = 1827$ км, смуга огляду $G \approx 3000$ км, розрізненість $\Delta L_1 = 2,31$ км і $\Delta L_2 = 4,02$ км. На максимальній дальності поперек напрямку руху пікселі виявляються стиснутими в 3,65 рази, вздовж нього - в 2,1 рази. Дві річки, що течуть паралельно напрямку руху супутника і знаходяться на відстані 1,1 км одна від одної, в надирі були б відмінні, але на краю сканерного зображення вони зливаються. Якщо не проводити корекцію, то смуга огляду буде рівною $F = 2 H \alpha_{\max} = 1670$ км.

Визначимо область супутникового зображення з малими спотвореннями як ділянку, де рядки перекриваються не більше ніж на 10%, тобто приблизно на 0,1 км, тоді $\Delta L_1 = 1,3$ км. Ця ділянка відповідає уявній смузі огляду в ± 475 км і реальній смузі огляду в ± 540 км від надира. Розрізненість уздовж скана на межі ділянки становить $\Delta L_2 = 1,54$ км, уздовж скана пікселі витягнуті в 1,4 рази. Для супутників з малою смугою огляду (супутник «Ресурс-О 1-3», сканер МСУ-Е; супутник SPOT, сканер HVR) при спостереженні в надир геометричні спотворення зображень за рахунок кривини Землі незначні. Спотворення виникають при відхиленні осі сканування від надира, яке може досягати 30° (перспективні спотворення).

Сканер МСУ -СК супутника «Ресурс-О 1-3» має спірально-конічну розгортку, завдяки чому скануючий промінь описує по поверхні Землі дугу. Так як відстань від супутника до кожної точки дуги одна і та сама, то спотворення сканерного зображення за рахунок кривини Землі не виникають. Рядки на зображенні також слід будувати у вигляді дуг. Однак таке зображення передається з супутника в тому ж форматі, що і зображення від сканерів з циліндричною і лінійною розгортками, у яких рядки - прямі лінії. Перехід від лінійного формату до формату, що враховує особливості сканера зі спіральноконічною розгорткою, при відомих параметрах сканера є нескладний [44].

Радіолокаційні станції бічного огляду спостерігають поверхню Землі під кутом до надіру, який суттєво перевищує кути відхилення осі сканування

оптичних сканерів МСУ-Е та ін. Таким чином, радіолокаційним зображенням ще в більшій мірі притаманні ті ж перспективні спотворення, що і згаданим сканерам. На радіолокаційних зображеннях предметів на місцевості також виникають деякі специфічні спотворення. При формуванні сканерних зображень в оптичному діапазоні джерело енергії (Сонце) знаходиться в одній точці небесної сфери, а приймач на борту супутника - в інший. Під час використання радіолокаційної станції бічного огляду і джерело енергії (передавач), і приймач знаходяться в одній точці (на супутнику), спостереження проводиться під кутом візування в $20-30^{\circ}$ до горизонту.

Розглянуті причини геометричних спотворень супутникових зображень не єдині. Сонячно-синхронні орбіти природознавчих супутників не перетинають вісь обертання Землі, а нахилені відносно неї. Тому якщо супутник рухається з півночі на південь (спадний виток орбіти), то вгорі зображення буде не північ, як на карті, а, наприклад, північно-північний схід. Крім того під час сеансу прийому супутникової інформації, Земля повертається на деякий кут (на $0,25''$ за 1 хв). Крім «свіжих» сканерних зображень, доводиться опрацьовувати архівні зображення, для яких невідомі і орбітальні дані, і кут відхилення осі сканування від надира. У таких випадках необхідний інший метод геометричної корекції.

2.4 Аналіз програмних продуктів, що застосовуються для оновлення топографічних карт Іраку

Сучасні спеціалізовані програмні засоби включають широкий набір функцій, за допомогою яких здійснюється перехід від супутникового знімка до тематичної карті. У переважній більшості програм реалізовані всі базові можливості сучасних ГІС: введення і опрацювання багатоканальних зображень, засоби роботи з просторово координованими даними у вигляді шарів, просторові операції, комплексний аналіз інформації різних типів.

Серед таких програмних засобів можна виділити наступні: ER Mapper (Австралія), ERDAS Imagine (США), EASY/PAGE (PCI) (Канада), ILVIS (Нідерланди), TNTmips (США), ENVI (США). Використовуються також настільні системи з меншим набором функцій - IDRISI (США), ERPPLE7 (США), SAGA (США), MultiSpec (США).

Дані пакети включають такі обов'язкові модулі [45]:

1. Географічна прив'язка і трансформування зображень для приведення їх до заданої картографічної проекції і системі координат.
2. Створення кольорових композиційних зображень, яскравісні перетворення, просторово-частотна фільтрація.
3. Виділень областей інтересу за допомогою векторної графіки, накладення масок для подальшого опрацювання.
4. Створення мозаїк зображень.
5. Класифікація за спектральними яскравісними ознаками різними методами, засоби аналізу і редагування результату.
6. Елементи просторового аналізу - сегментація, згладжування, фільтрація областей за заданими характеристиками.
7. Елементи ГІС-аналізу - пошарове представлення, можливості оверлейних операцій з шарами, перетворення типів просторових даних, серед них векторно-растрове і растрово-векторне перетворенні.
8. Конвертери даних в найбільш поширені формати.

Основні відмінності програмних засобів полягають у реалізації інтерфейсу користувача, в можливостях графічних редакторів, в способах виділення областей інтересу, дозволений кількості растрових і векторних шарів, засоби для виконання оверлейних операцій над ними, у реалізованих алгоритмах класифікації та просторового аналізу.

Основними способами представлення даних у багатозональних зображеннях є: BSQ (Band Sequential) - канали записуються в вигляді послідовності окремих зображень; BIL (Band Interleaved by Line) - кожен рядок зображення записується у вигляді послідовності рядків по всіх каналах; BIP

(Band Interleaved by Pixel) - кожен піксель зображення записується у вигляді послідовності пікселів по всіх каналах.

Практично всі програмні засоби дозволяють підключати власні додатки, написані на різних мовах програмування.

Сучасні геоінформаційні системи призначені для опрацювання даних двох основних типів: растрового і векторного. Цифрове аерокосмічне зображення земної поверхні - це дані растрового типу. Тому пакети тематичного опрацювання аерокосмічних зображень іноді відносять до ГІС растрового типу, оскільки всі основні функції пакетів орієнтовані на опрацювання саме такого типу даних. Дані векторного типу також використовуються, але виконують допоміжну функцію. Растрові шари бувають двох типів: неперервні (continuous) і тематичні (thematic).

Неперервні шари - це матриці пікселів, значеннями яких є будь-які дійсні числа - результати вимірювань або розрахунків. Тобто кожній ділянці земної поверхні, що відображається певним пікселем, зіставляється деяка числова характеристика.

Якщо шар являє собою знімок, отриманий в будь-якій зоні енергетичного спектра, то числова характеристика - це нормована за певної шкалою яскравість об'єкта в даній зоні спектра. Дані в таких шарах можуть бути будь-яких форматів, які допускаються в ЕОМ для представлення числових даних.

Тематичні шари - це растрові тематичні карти, де значення кожного пікселя - це ідентифікатор певного класу об'єктів земної поверхні, тобто ціле число. Наприклад: 1-вода, 2-ліс, 3-трав'яниста рослинність і т.п. Розшифровка ідентифікаторів класів може бути описана в таблиці атрибутів тематичного шару.

Відповідно до особливостей організації цих двох типів зображень, існують операції, які можна виконувати тільки над неперервними або тільки над тематичними шарами.

Під службовими шарами розуміють шари, які створюються в процесі аналізу зображень та мають власні внутрішні формати. Їх можна зберігати для

подальшої роботи в пакеті, але не всі з них можуть бути конвертовані в інші формати. До них відноситься векторна графіка для опису областей інтересу (масок або еталонів тематичних класів), а також шари, які використовуються в процедурах аналізу мультиспектральних даних.

Сучасні програмні засоби дозволяють завантажувати растрові дані з файлів найбільш поширених графічних форматів: BMP, JPEG, TIFF, PCX, і як правило, мають свої внутрішні формати даних.

У більшості пакетів опрацювання аерокосмічних зображень для кожного типу просторових даних (векторних і растрових) існує свій спосіб їх подання.

Програмний пакет ERDAS Imagine

Останні версії пакету ERDAS Imagine дозволяють також виконувати аналіз і тематичне опрацювання гіперспектральних зображень [45, 46].

У ERDAS Imagine існує два типи растрових шарів і один тип векторного шару. Крім них, в пакеті є також два службових шару - растровий для відображення масок і векторний для відображення областей інтересу. Ці шари зберігаються тільки у внутрішніх форматах пакету.

В якості основного векторного формату в ERDAS Imagine використовується формат покриттів ГІС-пакета ARC/INFO (розробка компанії ESRI). В останніх версіях допускається безпосереднє використання деяких інших форматів. Можливості виконання операцій над векторними шарами в ERDAS Imagine обмежені; ці шари виконують в основному допоміжні функції. Наприклад, вони можуть бути використані під час оверлейного ГІС-аналізу або картографічної прив'язки зображень.

У пакеті ERDAS Imagine реалізовано ряд можливостей класифікації багатозональних зображень. Для такої класифікації використовуються непараметричні методи, в яких межі класів будуються без будь-яких припущень про статистичні властивості сигнатур класів (зокрема, метод гіперпаралелепіпедів, лінійні розділюючі функції, Feature space) і параметричні методи, в яких класифікуються не всі точки зображення, а тільки ті, сигнатури яких потрапляють в обмежені нами області простору ознак.

Також для кластеризації растрових зображень використовуються алгоритми класу ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), які базуються на алгоритмі К середніх. У ERDAS Imagine реалізований так званий алгоритм Форджі [45], де якість результату оцінюється за відсотком точок, які не переміщуються з класу в клас в процесі чергової ітерації (параметр convergence threshold).

У процедурі неконтрольованої класифікації пакета ERDAS Imagine задається тільки два вхідних параметра: кількість кластерів і кількість ітерацій. Крім того, можна опрацьовувати навіть не кожен піксель, якщо задати Skip factor по рядку і стовпцю зображення (X і Y). У реалізації алгоритму, що пропонується ERDAS Imagine, використовується лінійна схема завдання вихідних центрів кластерів за статистикою зображення. Користувачеві пропонується тільки два варіанти: рівномірне розташування вихідних центрів на діагоналі гіперкуба, утвореного осями координат простору ознак, або ж у напрямку найбільшого розсіювання точок в просторі ознак (головній компоненті).

У пакеті ERDAS Imagine всі методи класифікації з навчанням реалізовані у функції Supervised Classification блоку Classifier. Така реалізація дозволяє комбінувати ці методи і формувати досить гнучкі схеми класифікації. У вікні функції Supervised Classification є два рядки, де встановлюється метод класифікації - непараметричне правило (Non-parametric Rule) і параметричне правило (Parametric Rule). При класифікації за непараметричним правилом до одного класу будуть віднесені всі точки, що потрапили або всередину гіперпаралелепіеда, побудованого за мінімумом і максимумом сигнатури класу в кожному каналі (режим Parallelepiped), або в межі області, виділеної в просторі ознак (режим Feature Space).

Також в пакеті ERDAS Imagine реалізована нечітка класифікація (Fuzzy Classification), для виконання якої задається відповідний параметр у вікні контрольованої класифікації. Підставою для виконання нечіткої класифікації є

наявність великої кількості «змішаних» пікселів на межах між об'єктами різних класів.

Програмний пакет ScanEx Image Processor

ScanEx Image Processor - сучасна технологія для попередньої і тематичного опрацювання супутникових знімків, створення кінцевих продуктів - карт, фізичних індексів, моделей. Windows-додаток ScanEx Image Processor складається з базової конфігурації і модулів [47].

У пакеті реалізовані такі можливості:

- пакетне опрацювання растрових даних;
- імпорт / експорт растрових даних;
- візуалізація растрових даних;
- геометрична корекція растрових даних;
- фільтрація зображень;
- радіометричне опрацювання зображень;
- спектральні перетворення;
- класифікація растрових зображень;
- призначені для користувача алгоритми опрацювання зображень;
- інтерактивне створення тонально збалансованих мозаїк;
- збільшення просторової розрізненості;
- аналіз зміни території з часом - алгоритми Change Detection;
- робота з фрагментом зображення;
- тематичні продукти за даними MODIS (детектування пожеж, хмарності, сніжного і льодового покривів, розрахунок температури земної поверхні, NDVI і EVI);
- робота з векторними шарами (підтримка векторних даних у форматах ESRI SHP і Mapinfo MIF, підтримка різних стилів відображення векторних шарів, створення нових векторних шарів, редагування векторних шарів, перепроєціювання у задану систему координат, автоматична векторизація у межах заданого значення яскравості або яскравісного діапазону, растеризація векторного шару);

- опрацювання рельєфу;
- тематичне опрацювання радарних знімків;
- тематичне опрацювання багатозональних знімків;
- розрахунок радіаційного балансу;
- гідрологічне моделювання;
- 3D моделювання та візуалізація;
- 3D модель земної кулі;
- інструментарій розробника (SDK);
- підготовка до друку.

Пакетне опрацювання растрових даних включає проведення систематичної геометричній корекції, перепроеціювання даних, переформатування і т.д.

Імпорт / експорт растрових даних передбачає імпорт більше 20-ти графічних форматів, включаючи загальноприйняті в середовищі програм опрацювання даних ДЗЗ, а так само можливість завантаження RAW зображень, імпорт цифрової моделі рельєфу (ЦМР) у форматах Surfer GRID, ARCINFO ASCII GRID, USGS DEM, імпорт/експорт зображень з діапазоном значень від 8 до 64 біт на піксель, експорт в поширені графічні і загальноприйняті формати, з можливістю збереження супровідних файлів прив'язки (ESRI World File і Mapinfo TAB File), можливість перетворення діапазону яскравостей до заданого динамічному діапазону з збереженням коефіцієнтів для зворотнього перерахунку, експорт зображень зі збереженням налаштувань кольору, гама корекції і контрасту, можливість швидкого завантаження даних без розрахунку пірамідальних шарів, збереження «проекції користувача».

Візуалізація растрових даних включає можливість роботи з RGB і Grey моделями; роботу з поданням у вигляді неперервної градієнтної палітри, включаючи засоби для створення, редагування та повторного використання палітри; роботу з поданням в індексованих кольорах, включаючи засоби для створення, редагування та внесення коментарів для кожного класу колірної легенди; можливість автоматичного і ручного контрастування зображень, гама

корекція і корекція колірного балансу; відображення більш 20 RGB шарів в одному робочому вікні; ефект прозорості растрових шарів; відображення растрового шару в межах векторної маски; можливість відображення навігаційного вікна; збереження налаштувань параметрів відображення у зовнішньому файлі.

Геометрична корекція растрових даних - це можливість виконання систематичної корекції без використання додаткових засобів для таких типів даних: CARTOSAT-1, EROS-A0, EROS-B, FORMOSAT-2, IRS-1C/1D, IRS-P5/P6, NOAA-AVHRR, RADARSAT-1, RESOURCESAT (IRS-P6), SPOT-2,4,5, TERRA-ASTER, TERRA/AQUA-MODIS, Метеор-3М, Ресурс-О1-МСУ-Е/ МСУ-СК; уточнення моделі камери і просторового місцеположення супутника; реєстрація зображень, які не мають географічної прив'язки; уточнення RPC-моделі по опорних точках для форматів GeoOrthoKit і QuickBird; ортотрансформування зображень по опорних точках, серед них з урахуванням висотних характеристик території; класичні поліноміальні перетворення до 5-ої степені (Polynomial); раціональні поліноміальні перетворення до 5-ої степені (Rational Polynomial); спрощені поліноміальні перетворення до 5-ої степені (Simple Polynomial); використання у поліноміальній трансформаційній моделі різних моделей даних матриці висот при проведенні ортотрансформації зображень; задання опорних точок у ручному режимі, в режимі «растр до векторного шару» і «растр до растру»; геометрична корекція векторних шарів по опорних точках; робота з опорними точками в будь-якій системі координат; підтримка зв'язкових точок; оцінка точності моделі перетворення; виправлення локальних похибок на зображеннях; автоматична ко-реєстрація зображень; перепроєціювання даних з різних систем координат у задану; підтримка більше 26 типів картографічних проєкцій, більше 60 систем координат і більше 50 референс-еліпсоїдів.

Фільтрація зображень реалізує фільтри усереднення (Median), підкреслюючі фільтри (Convolution), виділення країв (Edge Detection), згладжуючі фільтри (Smooth), фільтрацію радарних даних (Speckle Noise),

морфологічні операції (Morphological), обчислення текстурних характеристик (Texture features), фільтрацію шумів на зображенні (Noise removal), інтерполяцію значень NoData.

Радіометричне опрацювання зображень включає радіометричну корекцію даних TERRA-ASTER та IRS-1C/1D, суміщення гістограм знімків (Histogram Matching), вирівнювання контрасту зображень, зміна радіометричної розрізняювальної здатності (Histogram Stretch).

Спектральні перетворення припускають перерахунок яскравостей у потужність випромінювання (Radiance/Reflectance), пряме і зворотне перетворення головних компонент (PCA), пряме і зворотне перетворення між площинами RGB і HIS, розрахунок лінійної і непараметричної регресій, перетворення з метою отримання синтезованих спектральних каналів (False Color to Natural Color, синтез панхроматичного каналу).

Класифікація растрових зображень включає реалізацію алгоритму некерованої класифікації ISODATA з можливістю включення у процес навчання обмежувачих областей у вигляді векторного шару; алгоритм керованої класифікації на основі нейронної мережі прямого поширення; можливість розрахунку статистичних показників растрових даних зі збереженням отриманих результатів в атрибутивній таблиці векторного шару.

Алгоритм нейромережевої класифікації та GTM використовує піксельну та об'єктну інформацію для класифікації зображень, підключення розширеного нейромережевого алгоритму тематичної класифікації та інтерпретації та його розвинення у реалізації алгоритму GTM, роботу з інтуїтивно зрозумілою структурою класів просторових об'єктів, що ґрунтується на властивостях відображення Семмона, можливості навчання нейронної мережі в межах еталонних вибірок, різні алгоритми доопрацювання (генералізація, статистичні вибірки, метод Марковських полів і т.д.), роботу з ієрархічною структурою просторових даних, створення ієрархічної структури зберігання результатів дешифрування.

Об'єктно-орієнтована класифікація і тематична інтерпретація багатозонального знімання виконується з можливістю врахування геометрії об'єктів під час сегментації, інтерактивною тематичною класифікацією з навчанням для результатів сегментації, класифікацією результатів сегментації з використанням дискримінантного аналізу.

Призначені для користувача алгоритми опрацювання зображень надають можливість написання власних алгоритмів опрацювання з використанням більше 40 вбудованих функцій і операторів, можливість збереження макросів для повторного використання і оформлення макросів, створених користувачем, у вигляді програмних діалогів, що викликаються з головного меню програми.

Тематичне опрацювання радарних знімків включає сегментацію радарних знімків з використанням специфічних алгоритмів, можливість врахування текстурних характеристик знімка, тематичне калібрування результатів з використанням еталонів, можливість врахування геометрії об'єктів під час сегментації, інтерактивну тематичну класифікацію з навчанням для результатів сегментації, класифікацію результатів сегментації з використанням дискримінантного аналізу, отримання тематичних растрових карт різноманітної тематики, автоматичну векторизацію результатів, розпізнавання нафтових плям (розливів) на водній поверхні (Oil Spill Detection), можливість отримання статистичної імовірнісної оцінки приналежності пікселя до тематичного класу «нафтова пляма», можливість автоматичної векторизації результатів опрацювання, розпізнавання судів (Ship Detection), фільтрацію радіолокаційних зображень.

Тематичне опрацювання багатозональних знімків включає сегментацію багатозональних знімків з використанням специфічних алгоритмів, можливість врахування текстурних характеристик знімка, тематичне калібрування результатів з використанням еталонів, отримання тематичних растрових карт різних тематик, автоматичну векторизацію результатів.

Сімейство геоінформаційних програмних продуктів ArcGIS

ArcGIS - це система програм для створення, управління, інтеграції, аналізу та поширення географічних даних на будь-якому рівні.

Продукти ArcGIS забезпечують повний набір необхідних інструментів. Термін ArcGIS відноситься до програм ArcView, ArcEditor, ArcInfo і розширенням ArcGIS. Ключовими додатками ArcGIS є ArcMap, ArcCatalog і ArcToolbox. ArcMap використовується для роботи з просторовими даними і для створення картографічного продукту. ArcCatalog призначений для пошуку і управління просторовими даними. ArcToolbox забезпечує засоби конвертації і геоопрацювання даних. Кожна програма, що входить в ArcGIS, включає в себе всі ці три додатки.

ArcView, ArcEditor і ArcInfo мають наступні загальні ключові функції:

- розширені засоби редагування;
- високоякісна картографія;
- взаємодія з Інтернет;
- побудова проекцій «на льоту»;
- геокодування;
- підтримка стандартів метаданих за допомогою XML;
- безпосереднє читання понад 40 форматів даних.

Геоінформаційна система QGIS

QGIS (Quantum GIS) - вільна кроссплатформенна геоінформаційна система [48].

Серед можливостей системи слід вказати:

- перегляд даних;
- дослідження даних і компоновання карт;
- управління даними: створення, редагування і експорт;
- аналіз даних;
- публікація карт в мережі Інтернет.

Під час перегляду даних можна переглядати і накладати одне на одне векторні і растрові дані в різних форматах і проекціях без перетворення у

внутрішній або спільний формат. Підтримуються наступні основні формати: просторові таблиці PostgreSQL з використанням PostGIS, векторні формати, які підтримуються встановленою бібліотекою OGR, включаючи shape-файли ESRI, MapInfo, SDTS (Spatial Data Transfer Standard) і GML (Geography Markup Language) та ін.; формати растрів і графіки, які підтримуються бібліотекою GDAL (Geospatial Data Abstraction Library), такі, як GeoTIFF, Erdas IMG, ArcInfo ASCII Grid, JPEG, PNG та ін.; формати World-файлу разом з підтримуваними типами растрових зображень; бази даних SpatiaLite; растровий та векторний формати GRASS (область/набір даних).

Дослідження даних і компоування карт містять інструмент компоування карт, панель огляду, просторові закладки, визначення/вибірку об'єктів, редагування/перегляд/пошук атрибутів, підписування об'єктів, зміна символіки векторних і растрових шарів, додавання шару координатної сітки, додавання до макету карти стрілки на північ, лінійки масштабу і знака авторського права, збереження і завантаження проектів.

Керування даними в QGIS дозволяє створювати і редагувати векторні дані, а також експортувати їх в різні формати (через формат GRASS). QGIS надає, зокрема, такі можливості роботи з даними: інструменти оцифровки для форматів, які підтримує бібліотека OGR, і векторних шарів GRASS; створення і редагування shape-файлів і векторних шарів GRASS; геокодування зображень за допомогою модуля просторової прив'язки; інструменти GPS для імпорту і експорту даних у форматі GPX, перетворення інших форматів GPS у формат GPX або скачування/завантаження безпосередньо у прилад GPS (в Linux usb: був доданий у список пристроїв GPS); візуалізація і редагування даних OpenStreetMap; створення шарів PostGIS із shape-файлів за допомогою плагіна SPIT; опрацювання шарів PostGIS; керування атрибутами векторних даних за допомогою нової таблиці атрибутів або модуля Table Manager; збереження знімків екрану як зображень з просторовою прив'язкою.

Система для опрацювання географічної інформації GRASS

GRASS (англ. Geographic Resources Analysis Support System) - геоінформаційна система з відкритим вихідним кодом. Підтримує велику кількість форматів. Нові версії працюють під багатьма операційними системами - Microsoft Windows, Apple Mac OS X, POSIX-сумісними взагалі і Linux зокрема. Наведена ГІС побудована за принципом модульності, яка інтегрує набір різних модулів, що вирішують завдання від візуалізації до імпорту/ експорту у різні формати даних. Спочатку система була орієнтована на роботу з командним рядком, зараз вже є графічні інтерфейси до даної системи [49].

GRASS - це геоінформаційна система, призначена для геомодельовання, керування просторовими векторними і растровими даними, опрацювання супутникових знімків, створення друкованої картографічної продукції і багато чого іншого.

Пакет працює з усіма сучасними СУБД, підтримує топологію, тривимірну візуалізацію, дозволяє проводити векторизацію за різними методиками і має набір інших можливостей, що властиві кошовним комерційним продуктам як ESRI ArcGIS або MapInfo. Завдяки цим якостям, GRASS широко використовується у комерційних і наукових проектах (наприклад, GRASS активно використовує NASA).

GRASS GIS- Одна з найстаріших геоінформаційних систем. Її розробку ініціювала лабораторія U.S. Army Construction Engineering Research в 1982 році. У 1995 вихідні тексти GRASS були опубліковані під ліцензією GPL. Найголовнішою особливістю GRASS є модульна структура, що дозволяє формувати з окремих функціональних одиниць ГІС, оптимізовану під потреби користувача. Основні групи модулів: візуалізація; взаємодія з СУБД (зберігання просторової і атрибутивної інформації); image processing (опрацювання супутникових знімків, створення композитних знімків, геометрична і хроматична корекція); керування друком; робота з растровими картами (shade-моделі, масштабування); робота з векторними картами (операції просторового

аналізу, атрибутивні запити) та ін. Для роботи з картографічними проекціями і системами координат GRASS використовує бібліотеку proj, що дозволяє "розуміти" більш 30 тис. різних типів проекцій. Імпорт та експорт здійснюється за допомогою бібліотеки GDAL. Підтримуються формати Shapefile, MapInfo TAB, PostGIS, DXF, GeoTIFF, IMG і будь-який інший.

gvSIG — вільна геоінформаційна система з відкритим вихідним кодом

Перша робоча версія gvSIG з'явилася у кінці 2006 року і поширювалася через інтернет [50].

На сьогоднішній день пропонуються вихідний код і готові збірки для Microsoft Windows і Windows NT, GNU/Linux i586, Mac OS X Intel.

Програма підтримує всі необхідні функції ГІС:

- робота з шарами, що дає можливість відображати лише необхідні в даний момент об'єкти;
- функції масштабування карти;
- підтримка збереження необхідних ракурсів карти;
- автоматичні розрахунки відстані між об'єктами і площ ділянок;
- розміщення активних об'єктів на карту;
- створення професійних географічних карт з необхідними елементами, які можна потім друкувати.

Система gvSIG Desktop дозволяє працювати з векторними форматами: SHP, DXF, GML, DWG, DGN, KML, з растровими форматами: BMP, GIF, TIFF, JPEG, JP2, PNG, VRT, DAT of ENVI, ERDAS (LAN, GIS, IMG), PCI Geomatics (PIX, AUX), ADF of ESRI, ILWIS (MPR, MPL), MAP of PC Raster, ASC, PGM, PPM, RST of IDRISI, RMF, NOS, KAP, HDR, RAW, з веб-сервісами: OGC (WMS, WFS, WCS, WFS-T, WPS), ArcIMS, Eswp, з базами даних: PostGIS, MySQL, ArcSDE, Oracle, JDBC, CSV.

Програмний пакет ENVI

ENVI EX (Environment for Visualizing Images) є самостійним продуктом, орієнтованим перш за все на ГІС користувачів [51]. Велика частина складних операцій, пов'язаних з опрацюванням зображень, інтегровані в ядро системи, а користувачеві пропонується вибрати найбільш оптимальні для кожного конкретного випадку параметри. Цей програмний продукт повністю сумісний з ArcGIS. Інтеграція з ArcGIS дозволяє легко обмінюватися файлами даними і файлами між ArcGIS і ENVI EX, виконувати перегляд і взаємодію з шарами ArcGIS в ENVI EX під час перегляду векторних файлів, виконувати завдання опрацювання зображень в ENVI EX, вносити зміни в параметри.

Програмний комплекс ENVI призначений для аналізу мультиспектральних і гіперспектральних зображень, включає найбільш повний набір функцій для опрацювання даних ДЗЗ та їх інтеграції з даними ГІС. Діапазон задач, що вирішуються за допомогою ПК ENVI, досить широкий: від ортотрансформування і просторової прив'язки зображення до отримання необхідної інформації та її інтеграції з даними ГІС. ENVI містить спектральні бібліотеки і інструментарій для виконання спектрального та топографічного аналізів, аналізу рослинності і класифікації зображень, використовуючи такі алгоритми:

- К-середніх (K-means, Isodata);
- спосіб паралелепіпедів (Parallelepiped decision rule);
- мінімальна спектральна відстань (Евклідова метрика, Minimum distance);
- відстань Махаланобіса (Mahalanobis Distance);
- спосіб максимальної вірогідності (Maximum likelihood);
- класифікація за допомогою методу спектрального кута (Spectral Angle Mapper);
- двійкове кодування (Binary Encoding);
- дерево прийняття рішень (Decision Tree);
- нейронна мережа (Neural Network).

Наприклад, за допомогою алгоритму «Дерево прийняття рішень» можливий сумісний аналіз різних даних (цифрова модель рельєфу DEM - висота, кут і напрямки ухилу; гідрогеологічні особливості - глибина залягання підземних вод, характер ґрунтів; особливості рослинного покриву) для виділення районів, схильних до ерозійних процесів, пожежонебезпечних ділянок.

Перевагою програмного комплексу є наявність зручних алгоритмів автоматичної векторизації результатів класифікації, що особливо важливо під час оперативного аналізу результатів у сучасних ГІС.

Відмінною особливістю ENVI є відкрита архітектура і наявність мови програмування IDL (Interactive Data Language), за допомогою якої можна суттєво розширити функціональні можливості програми для вирішення спеціалізованих задач, створювати власні та автоматизувати існуючі алгоритми опрацювання даних і виконувати пакетне опрацювання даних. Відкрита архітектура ENVI забезпечує зручність опрацювання та надає користувачеві можливість швидко і просто отримувати необхідну інформацію.

Програмний комплекс ENVI призначений для використання в операційних системах Windows (2000, XP), Mac, Linux, UNIX.

У ENVI версії 4.2 включена підтримка додаткових модулів: модуля для створення ЦМР DEM і модуля атмосферної корекції FLAASH. Модуль DEM надає користувачам можливість створювати високоточні ЦМР з використанням стереозображень, отриманих із супутників QUICKBIRD, IKONOS, ORBVIEWS, CARTOSAT1, ASTER, SPOT 1.5 для подальшого ортотрансформування, топографічного аналізу, тривимірної візуалізації та створення векторних карт. За допомогою модуля FLASH (Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes) можна одержувати більш точну інформацію із зображень, отриманих з будь-якого мультиспектрального або гіперспектрального сенсора, який реєструє електромагнітне випромінювання у ближньому інфрачервоному діапазоні, включаючи космічні апарати вертикального або нахиленого візування.

Виконаємо порівняння розглянутих програмних продуктів з точки зору реалізації наступних можливостей: 1-просторова прив'язка зображень, 2- ортотрансформування, 3 - блочне опрацювання знімків, 4- створення ЦМР на основі стереозображень, 5 - тривимірна візуалізація, 6 - опрацювання та аналіз даних радарного знімання, 7 - опрацювання та аналіз даних лідарного знімання, 8 - інтерактивне дешифрування та класифікації, 9 - розрахунок індексів (NDVI і т.д.), 10 - атмосферна корекція, 11 - векторизація, 12 - можливості щодо компонування карт, 13 - можливість автоматизації виконання задач (підтримка скриптів, макросів і т.д.), 14 - наявність вбудованих алгоритмів опрацювання зображень (виділення пожеж, створення масок льоду і т.д.). Результати даного аналізу наведені у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Дані про реалізацію різних функцій у ГІС

ГІС	Характеристики													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
ERDAS Imagine	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
ScanEx Image Processor	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
ArcGIS	+	+			+		+	+	+		+	+	+	+
QGIS	+	+			+		+	+	+		+	+		
GRASS	+	+						+			+			
gvSIG	+	+			+		+	+	+		+	+		
ENVI	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+

Висновки до розділу 2

На підставі проведених у другому розділі дисертаційної роботи аналітичних досліджень можна зробити такі висновки:

1. На підставі аналізу характеристик космічних знімальних систем і області використання знімків різної розрізняювальної здатності, визначено, що для оновлення топографічних карт рекомендовано використовувати космічні знімки отримані із супутників GeoEye-1, QuickBird, Ikonos, WorldView-2 -

для карт масштабу 1: 5000; Eros A, Eros B - для карт масштабу 1: 10000; Spot-5 - для карт масштабу 1: 25000; IRS 1C/1D - для карт масштабу 1: 50000; Spot-4 - для карт масштабу 1: 100000.

2. За аналізом програмного забезпечення найбільш оптимальними для опрацювання космічних зображень, на думку автора, є такі програмні продукти: ER Mapper (Австралія), ERDAS Imagine (США), EASY/PAGE (PCI) (Канада), ILVIS (Нідерланди), TNTmips (США), ENVI (США), а також настільні системи з меншим набором функцій - IDRISI (США), EPPLE7 (США), SAGA (США), MultiSpec (США).

РОЗДІЛ 3. КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО ООНВЛЕННЯ КАРТ ЗА ДАНИМИ КОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ

3.1. Теоретичні основи автоматизованого пошуку відображення дорожньої мережі на космічних знімках

Проблемі отримання інформації про дорожню мережу з космічних знімків, представлених у растровому вигляді, присвячені роботи ряду вчених. Розглянемо деякі з них.

В [52] показано, що за космічними знімками, як правило, оновлюються контури лінійних і полігональних об'єктів карти, до яких відноситься і дорожня мережа. В [14] зокрема вказується, що дорожня мережа добре помітна на космічних знімках, що дозволяє використовувати їх для оновлення топографічних карт.

В роботі [29] описується дослідження, основна мета якого - вивчення теорії та методології автоматизованого вилучення доріг з мультиспектральних знімків високої розрізняювальної здатності.

Також ряд рішень описується в [53-61].

Сегментація та класифікація точок зображення

Методи, що застосовуються для класифікації точок вихідного зображення, класифікуються таким чином [62]: методи кластеризації, нарощування регіонів, методи розділення-злиття, моделювання зображення Марковським полем, методи, що ґрунтуються на операторах виділення країв, методи теорії графів.

Розглянемо їх більш докладно.

Серед найбільш популярних методів кластеризації слід назвати метод k -середніх (узагальнений метод Ллойда) і EM алгоритм [63].

Метод k -середніх - метод кластерного аналізу, метою якого є поділ m спостережень (з простору R^n) на k кластерів, при цьому кожне спостереження належить до того кластеру, до центру (центроїду) якого воно найближче.

Стосовно до кольорового растрового зображення, згідно введених раніше позначень, алгоритм може бути описаний таким чином.

На першому етапі задається кількість кластерів K_2 . Кольори вихідного зображення рівномірно розподіляються між кластерами, для кожного з кластерів розраховується середнє значення кольору (окремо для кожної колірної складової) за формулами:

$$\begin{aligned}\bar{R} &= \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R_j, \\ \bar{G}_i^1 &= \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} G_j, \\ \bar{B}_i^1 &= \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} B_j,\end{aligned}\tag{3.1}$$

де

i – номер кластера, $i \leq K_2$,

n_i – кількість точок у i -му кластері.

На другому етапі включаємо кожен вихідний колір у той кластер, чий центр до нього найближче. Кожен колір включається тільки в один кластер, навіть якщо його можна віднести до двох і більше кластерів. В якості міри близькості використовується Евклідова відстань:

$$\rho_i = \sqrt{(R_{k,p} - \bar{R}_i^1)^2 + (G_{k,p} - \bar{G}_i^1)^2 + (B_{k,p} - \bar{B}_i^1)^2},\tag{3.2}$$

де

ρ_i - відстань до центра i – го кластера,

$R_{k,p}, G_{k,p}, B_{k,p}$ - складові кольору для точки $Im[k,p]$,

$\bar{R}_i^1, \bar{G}_i^1, \bar{B}_i^1$ - середні значення для i – го кластера, обчислені на першому кроці.

Потім центр кожного i -го кластера перераховується за формулами (3.1). Другий крок повторюється до тих пір, поки значення центрів не перестають змінюватися: $\bar{R}_i^q, \bar{G}_i^q, \bar{B}_i^q = \bar{R}_i^{q+1}, \bar{G}_i^{q+1}, \bar{B}_i^{q+1}$, де q – номер кроку.

Методи нарощування регіонів і методи розділення - злиття враховують просторове розташування точок безпосередньо. Методи нарощування регіонів ґрунтуються на такій ідеї. Спочатку по деякому правилу вибираються центри

регіонів (seeds), до яких поетапно приєднуються сусідні точки, які відповідають певним критерієм. Процес нарощування регіонів (region growing) зупиняється, коли жодна точка зображення не може бути приєднана до жодного регіону. Для прийняття рішення про приєднання або неприєднання точки до регіону використовуються критерії близькості до центру регіону, до сусідньої точки і т.п.

Також методи розрізняються стратегіями вибору зерен [64, 65, 66, 67].

Методи розділення-злиття складаються з двох основних етапів: розділення і злиття [68, 69]. Розділення починається з деякого розбиття зображення, не обов'язково на однорідні області. Процес розділення областей відбувається до тих пір, поки не буде отримано розбиття зображення (пересегментація), яке задовольняє властивості однорідності сегментів. Потім відбувається об'єднання схожих сусідніх сегментів до тих пір, поки не буде отримано розбиття зображення на однорідні області максимального розміру. Конкретні методи розрізняються алгоритмами, що використовують на етапах розділення та злиття. Для отримання пересегментації зображення використовуються алгоритми k -середніх [70], вододілу (watershed) [71, 72], нечіткі експертні системи (fuzzy expert systems) [73], на другому етапі використовуються алгоритми k -середніх [70], карти Кохонена, що самоорганізуються [74, 69], нечіткі експертні системи [66], і т. д. На етапі злиття регіонів використовуються процес релаксації (relaxation process) [75], k -середніх [70], SIDE-рівняння [64], карти Кохонена [71].

Моделювання зображення Марковським полем [75, 76] ґрунтується на припущенні, що колір кожної точки зображення залежить від кольорів деякої множини сусідніх точок. Дана модель може бути узагальнена на випадок текстурної сегментації [76].

Методи, що ґрунтуються на операторах виділення країв, розглядають задачу сегментації як задачу пошуку меж регіонів. Методи пошуку меж добре розроблені для напівтонових зображень, які розглядаються як функція двох змінних (x та y), і передбачається, що межі регіонів відповідають

максимальним значенням градієнта цієї функції. Для їх пошуку застосовується апарат диференціальної геометрії (наприклад, фільтри Робертса, Кірша, Превітта, Собеля) [77].

Основною перешкодою використання методів пошуку меж є чутливість їх до шуму. Також практично всі методи вимагають доопрацювання, так як поняття межі може залежати від специфіки розв'язуваної задачі.

Ще один з перспективних напрямків у сегментації зображень - методи теорії графів. У методах даної групи зображення описується навантаженим графом, вершини якого - точки зображення. Ваги ребер описують подібність точок. При визначенні подібності точок враховується специфіка зображення. Для розбиття зображення на сегменти використовуються розрізи графа, як, наприклад, в [37]. Для оцінки якості результату сегментації вводиться функціонал «вартості розрізу», і задача розбиття зображення на однорідні області зводиться до оптимізаційної задачі пошуку розрізу мінімальної вартості на графі, яка може вирішуватися різними методами, серед яких метод Дейкстри, «жадібні» алгоритми, методи динамічного програмування, метод нормалізованих розрізів. Шляхом варіювання функціонала можна керувати формою сегментів, їх розміром, складністю меж. Практична реалізація методу нормалізованих розрізів описана в [37].

Інші методи, які використовують розрізи графів, описані в [78, 79].

Інша група методів, які використовують елементи теорії графів - методи SWA (Segmentation by Weighted Aggregation), засновані на групуванні подібних точок зображення [80, 81, 82]. Така сегментація базується на покроковій побудові зважених графів шляхом об'єднання подібних вершин у графах попереднього кроку і перерахунку ваг ребер.

Суттєвим недоліком графових методів є необхідність зберігання матриці розміром $n \times n$, де n - кількість точок зображення і значна трудомісткість алгоритмів, що ускладнює їх застосування для великих зображень.

Ще одну групу утворюють оптимізаційні методи, в яких задача сегментації зображення розглядається як пошук розбиття, що має певні

властивості. Представником цієї групи методів є алгоритм JSEG [67], в якому функціонал якості сегментації використовує розподіл кольорів на зображенні. Для оптимізації функціоналу в даному методі використовується «жадібний» алгоритм. Після оптимізації точки з мінімальним значенням функціоналу використовуються в якості зерен для наступного кроку - нарощування регіонів.

Більшість розглянутих методів у процесі роботи використовують ряд параметрів, значення яких підбираються експериментально. Для скорочення часу виконання такого підбору може бути використано машинне навчання. Методи, які використовують цей підхід, називаються методами сегментації з навчанням. В таких методах спочатку параметри сегментації налаштовуються на деякому наборі зображень, розділених на сегменти вручну, після чого можлива сегментація довільних зображень. Приклади реалізації такої сегментації описані в [83, 84, 85].

Векторизація

Для векторизації бінаризованих зображень використовують перетворення Хафа, метод хвильової сегментації, скануючі алгоритми та ін.

Класичний алгоритм перетворення Хафа був розроблений в 1962 році (патент 1962 р. Поля Хафа) для ідентифікації прямих у зображенні і в подальшому розповсюджений для довільних об'єктів. Перетворення Хафа дозволяє виділити потрібні елементи зображення у тих випадках, якщо спостерігається деяка зашумленість зображення або незначні відхилення від ідеальної форми прямої, кола або еліпса.

У найпростішому випадку перетворення Хафа є лінійним перетворенням для виявлення прямих. Прямі розглядаються в параметричному представленні, кожна пряма - як точка у просторі параметрів r та $theta$ (фазовому просторі). Параметр r - це довжина нормалі до прямої, проведеної з початку координат, $theta$ - кут між цією нормаллю і віссю абсцис. Алгоритм передбачає обчислення значень лічильників фазового простору для кожної точки вихідного зображення та пошук найбільших їх значень.

Скануючий алгоритм, використаний в якості базового в даній роботі, розглянуто нижче.

Сформулюємо задачу оновлення дорожньої мережі топографічної карти за даними супутникових знімків. Нехай ми маємо растрову карту $M[X_M \times Y_M]$, де X_M, Y_M - відповідно ширина и висота карти, та растровий знімок $S[X_S \times Y_S]$, де X_S, Y_S - відповідно ширина и висота знімка. Суттєвим є вимога, щоб знімок за часом був отриманий пізніше, ніж формувалася карта. Далі, нехай відомі процедури $f(M)$ і $g(S)$, що дозволяють виділити відповідно для карти і знімка множину їх елементів R_M и R_S :

$$\begin{aligned} R_M &= f(M), \\ R_S &= g(S). \end{aligned}$$

Тоді задача оновлення карти M за знімком S можна вирішити шляхом знаходження двох наборів елементів дорожньої мережі. Набір R_{add} - це елементи, які є на знімку, але яких немає на карті (тобто, більш нові об'єкти, які з'явилися на місцевості після створення карти); ці елементи повинні бути нанесені на карту. Набір R_{diff} - це елементи, які є на карті, але відсутні на знімку (тобто, об'єкти, які зникли після створення карти); ці елементи повинні бути видалені з карти.

Таким чином, процес автоматичного оновлення карти по супутниковому знімку може бути описаний у вигляді схеми, представленої на рис. 3.1.

Далі розглянемо реалізацію окремих етапів оновлення.

Вихідними даними для виділення дорожньої мережі є растрове зображення, результатом - параметри аналітичного опису дорожньої мережі, а сам процес може бути описаний як послідовність таких етапів:

1. Класифікація точок вихідного зображення для розподілу їх між двома множинами: «дорога» та «інше».
2. Додаткове опрацювання для поліпшення результатів розбиття (усунення дрібних несуттєвих деталей, підкреслення суттєвих).
3. Виділення прямолінійних ділянок доріг, визначення їх параметрів.
4. Об'єднання прямолінійних ділянок у дорожню мережу.

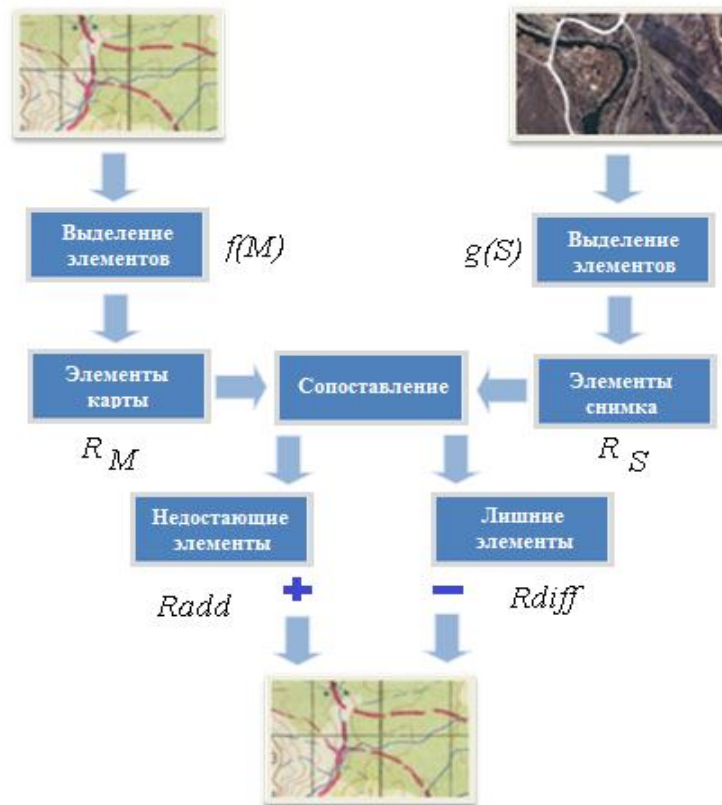


Рис. 3.1. Узагальнена схема оновлення топографічної карти

На рисунку 3.2 показана схема виділення дорожньої мережі на растровій топографічній карті.

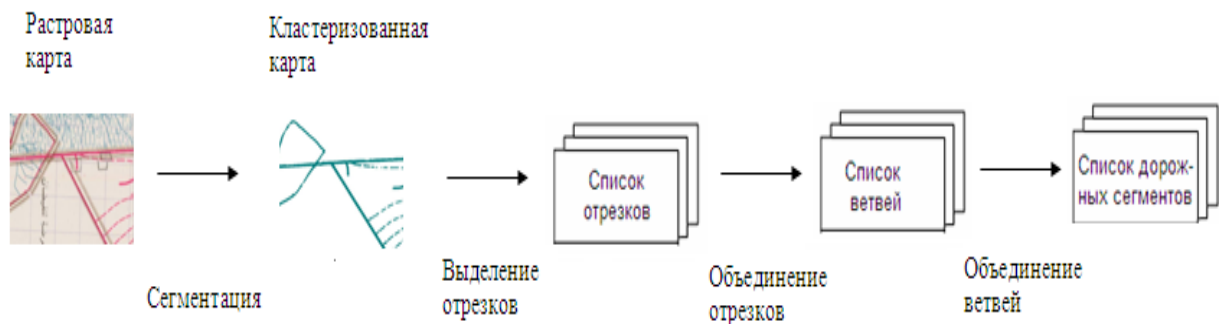


Рис. 3.2. Этапы виділення дорожньої мережі на карті

Процес виділення елементів дорожньої мережі на аерокосмічному знімку показано на рис. 3.3.

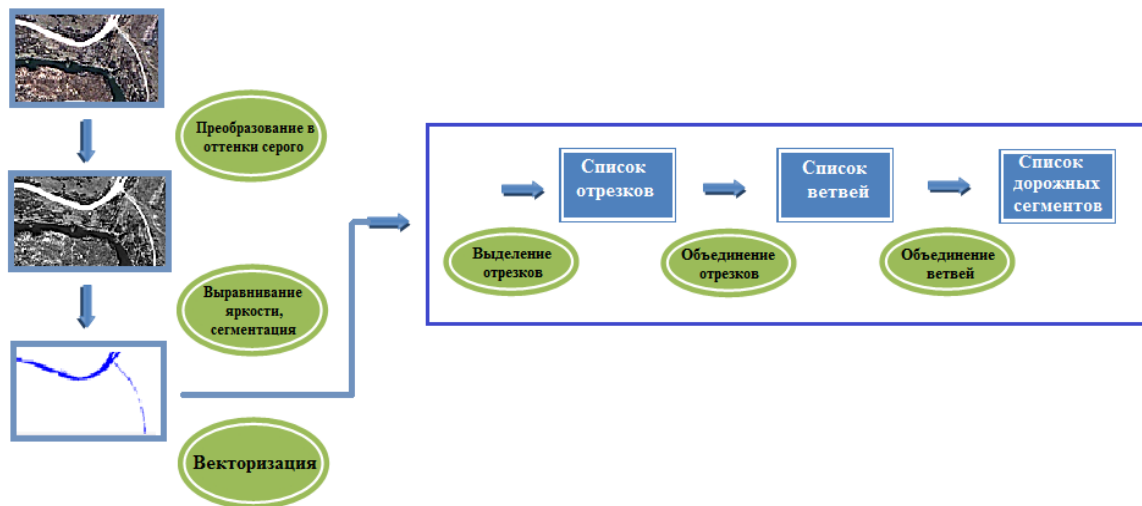


Рис. 3.3. Етапи виділення дорожньої мережі на знімку

Як видно з рисунків 3.2 та 3.3, при виділенні елементів дорожньої мережі етапи, що виконуються для бінаризованих зображень, однакові. Різниця полягає у виконанні власне бінаризації і підготовки до неї. Обумовлена ця різниця різним характером зображень супутникових знімків і топографічних карт.

Ряд підходів до оновлення описано в [86, 87, 88, 89, 90, 91, 92].

Далі розглянемо реалізацію окремих етапів оновлення.

3.2. Концептуальна схема автоматизованої технології оновлення дорожньої мережі на топографічних картах

3.2.1. Сегментація растрової топографічної карти

Вихідними даними для виділення дорожньої мережі є растрове зображення, результатом – геометричні параметри дорожньої мережі. У процесі виділення елементів дорожньої мережі вихідне растрове зображення має бути перетворено в бінарне. Карти, подані в растровому вигляді, як правило, зберігають колір кожної точки карти у вигляді трійки цілочисельних значень R, G, B, які відповідають інтенсивності червоному, зеленому і синьому складових кольору. Зображення, підготовлене до обчислення геометричних параметрів дорожньої мережі, повинно містити точки двох різних кольорів, згідно

елементів і фону які нас цікавлять. Після цього до зображення можуть застосовуватися алгоритми виділення геометричних структур на бінарному зображенні.

Растрові карти, отримані шляхом сканування старих паперових носіїв, можуть містити велику кількість кольорів. Даний факт, як правило, залишається непомітним людині: часто кольори, які формально описуються різними значеннями колірних складових R, G і B, людиною сприймаються як однакові, а відмінності в їх формальному поданні обумовлені особливостями процесу сканування. З огляду на це, а також обмежене число кольорів, які використовують у топографії при створенні карт, першим кроком під час обробки растрової топографічної карти повинна стати кластеризація вихідного зображення. Сформулюємо задачу кластеризації зображення растрової топографічної карти.

Нехай маємо растрове зображення Im , яке уявляє собою прямокутну матрицю, що складається з X_{max} стовпців і Y_{max} рядків. Кожен елемент цієї матриці $Im[i,j]$, $0 \leq j < X_{max}$, $0 \leq i < Y_{max}$, зберігає значення кольору відповідної точки карти у вигляді трійки цілочисельних значень R, G, B, які відповідають інтенсивності червоного, зеленого і синього складових кольору. Позначимо загальну кількість різних трійок (R, G, B) в оригінальному документі Im , як K_1 . Далі, нехай кількість різних кольорів, що є на топографічній карті (або розрізняється людиною на відсканованій карті), дорівнює K_2 , $K_2 \ll K_1$. Метою кластеризації є поділ кольорів вихідного зображення на K_2 груп або «кластерів» таким чином, щоб кольори, включені в один кластер, були більш схожі один на одного в порівнянні з кольорами, що належать різним кластерам. Після такого поділу формується нове, кластеризоване зображення, кольори точок якого уявляють собою середини (центроїди) виділених кластерів. Далі, на підставі кластеризованого зображення виконується його бінаризація і подальше вилучення елементів дорожньої мережі. Результатом вилучення дорожньої мережі є сукупність лінійних фрагментів, для кожного з яких відомі положення (координати початку і кінця) і товщина лінії на карті.

Для кластеризації растрових топографічних карт автором обраний метод k -середніх [77], описаний вище. Це метод кластерного аналізу, метою якого є поділ m спостережень (з простору R^n) на k кластерів, при цьому кожне спостереження відноситься до того кластеру, до центру (центроїду) якого воно є найближче.

3.2.2. Виділення відрізків на сегментованій карті

Для виділення прямолінійних ділянок, що утворюють дорожню мережу, в роботі застосовується скануючий алгоритм.

Скануючий алгоритм [93] заснований на схемі зберігання смуги зображення в пам'яті ЕОМ і знаходженні контурних точок у процесі руху смуги по всьому зображенню. Для обробки інформації в смугі розрізняють два випадки: виявлення ситуації в смугі зображення і її розрізнення. У смугі одночасно зберігаються два рядки зображення (поточний і попередній). Аналізуються x -координати чорних серій обох рядків в порядку їх зростання (зліва направо) і виявляються п'ять випадків, які можуть виникнути. При аналізі окремо обробляються ситуації "початок" (рис.3.4, а), "продовження" (рис. 3.4, б), "розгалуження" (рис. 3.4, в), "злиття" (рис. 3.4, г) і "кінець" (рис. 3.4, д).

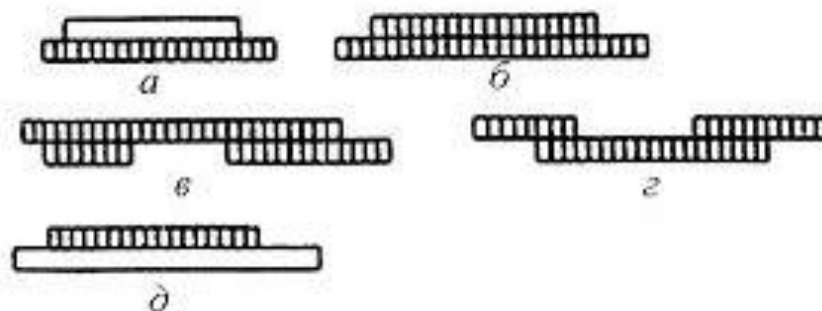


Рис. 3.4. Ілюстрація до роботи скануючого алгоритму

Рядки, які підлягають опрацюванню, подані у вигляді масивів структур, куди входить координата x початку/кінця чорної серії та адреса буфера, призначеного для збору і зберігання інформації по одній гілці (частини контуру), яка перетинає рядок.

Для випадку, коли напрямок дороги збігається з напрямком скануючого рядка, в алгоритм внесено модифікацію. Суть модифікації в тому, що аналізується довжина чорної серії, і, якщо ця довжина перевищує максимальну ширину вже виділених доріг, формується горизонтальний відрізок, а ширина даної ділянки дороги визначається шляхом аналізу кількості сусідніх чорних рядків.

Результатом роботи процедури виділення відрізків є список відрізків і список утворених відрізками гілок. Обидва списки уявляють собою масиви, елементи яких описують виділені відрізки і гілки, утворені ними. Для кожного відрізка під час роботи процедури обчислюються координати X і Y початкової і кінцевої точок, товщина відрізка, кількість точок, які його утворюють, номер гілки, до якої відрізок належить.

Список гілок - це масив, кожен елемент якого містить номер гілки, число відрізків, які її утворюють, номери початкового і кінцевого відрізків гілки.

Кількість відрізків, що виділяються на даному етапі, досить велике, отриманий список може включати ізольовані короткі відрізки, які не є фрагментами дорожньої мережі, а також фрагменти однієї прямої, тому сформований список відрізків піддається подальшому опрацюванню.

Першим кроком такого опрацювання є об'єднання пар відрізків, початкова та кінцева точки яких розташовані досить близько одна від одної. Наступним етапом є об'єднання гілок. Також видаляються короткі ізольовані відрізки.

3.2.3. Сегментація супутникового знімка

При виділенні елементів дорожньої мережі на топографічній карті ключовим елементом ідентифікації є колір, для космічного знімка, як показано в [37], колір в такій якості використовувати не можна. У даній роботі параметром ідентифікації є яскравість точок. Розглядається виділення міських і заміських доріг.

Цільовим шаром виділення є елементи дорожньої мережі, що мають такі властивості [94]: значна протяжність на прямолінійній ділянці; однакова ширина ділянки; рівномірний розподіл яскравості в межах об'єкта; чіткі контури дорожнього полотна. Для локалізації об'єктів дорожньої мережі з врахуванням описаних властивостей в якості базового використаний метод, який передбачає використання фільтра з кінцевою імпульсною характеристикою (КИХ-фільтр) [94]. Модифікації внесені на етапі виявлення значення яскравості точок, які належать вікну фільтра. В алгоритмі, обраному в якості базового, координати точок фільтра у вузлах дискретної сітки вихідного космічного зображення розраховуються шляхом об'єднання рівняння прямої, яку утворює вікно фільтра в обраній системі координат, і рівняння кола, описаного вікном фільтра при обертанні відносно точки дослідження. Однак вказано [95], що даний підхід має недостатню точність при розкладанні в растр. Для підвищення точності авторами використовується растровий алгоритм Брезенхема [95] при отриманні точок околу заданого радіусу і при генерації точок вікна фільтра.

Таким чином, процес виділення цільового шару (елементів дорожньої мережі) складається з наступних етапів:

1. Читання знімка. Вихідними даними для даного кроку є растровий файл зі знімком, результатом виконання – бітова карта зображення, 24 біта на піксель.
2. Перетворення знімка у відтінки сірого за формулою [96]:

$$Y=0.299R+0.587G+0.114B,$$

де R , G , B – складові кольору точки вихідного зображення, Y – складова яскравості.

3. Виділення лінійних фрагментів з рівномірною яскравістю і чітким контуром, у яких довжина значно більша за ширину (хвильова сегментація). В результаті виконання даного етапу формується матриця бінарного подання, розмір матриці дорівнює розміру

початкового знімка, кожен елемент зберігає значення 1 для точок, що належать лінійним фрагментами, і 0 – для решти.

3.2.4. Векторизація супутникового знімка

Векторизація отриманого уявлення для опису геометричних параметрів елементів дорожньої мережі здійснюється шляхом хвильової сегментації. Першим кроком є виділення точок в R -околі поточної точки. На відміну від роботи [94], де для визначення координат точок такого околу використовується рівняння кола $x^2+y^2=R^2$, автором пропонується генерувати точки околу за допомогою растрового алгоритму Брезенхема [96], так як використання рівняння кола в растровому поданні не дає рівномірного розподілу точок, і, отже, знижує точність результатів [96].

Другим кроком даного етапу є визначення координат точок лінійного фільтра. У базовому алгоритмі використовується рівняння прямої у вигляді $y=kx+b$. Автор і на даному етапі застосовує для генерації точок відрізка прямої растровий алгоритм Брезенхема: як і у випадку генерації точок кола, він має кращі характеристики з точки зору швидкодії і точності.

Третім кроком є перевірка належності точок у вікні фільтра об'єкту, що має властивості елемента дорожньої мережі, перераховані вище. Для цього обчислюється середньоквадратичне відхилення яскравості точок у вікні фільтра.

Четвертий крок – аналіз середньоквадратичного відхилення і прийняття рішення про належність точки елементу дорожній мережі [94].

Висновки до розділу 3

В даному розділі розглянуто теоретичні основи автоматизованого пошуку дорожньої мережі на космічних знімках і запропонована загальна схема оновлення топографічних карт, згідно з якою виділено етапи ідентифікації дорожньої мережі на картах і на знімках.

Подана концептуальна схема автоматизованої технології оновлення дорожньої мережі на топографічних картах, заснована на сегментації растрових даних з подальшою їх векторизацією.

РАЗДЕЛ 4. РОЗРОБКА І ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОНОВЛЕННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ДОРОЖНІХ МЕРЕЖ НА КАРТАХ ІРАКУ

4.1. Блок-схема методу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків

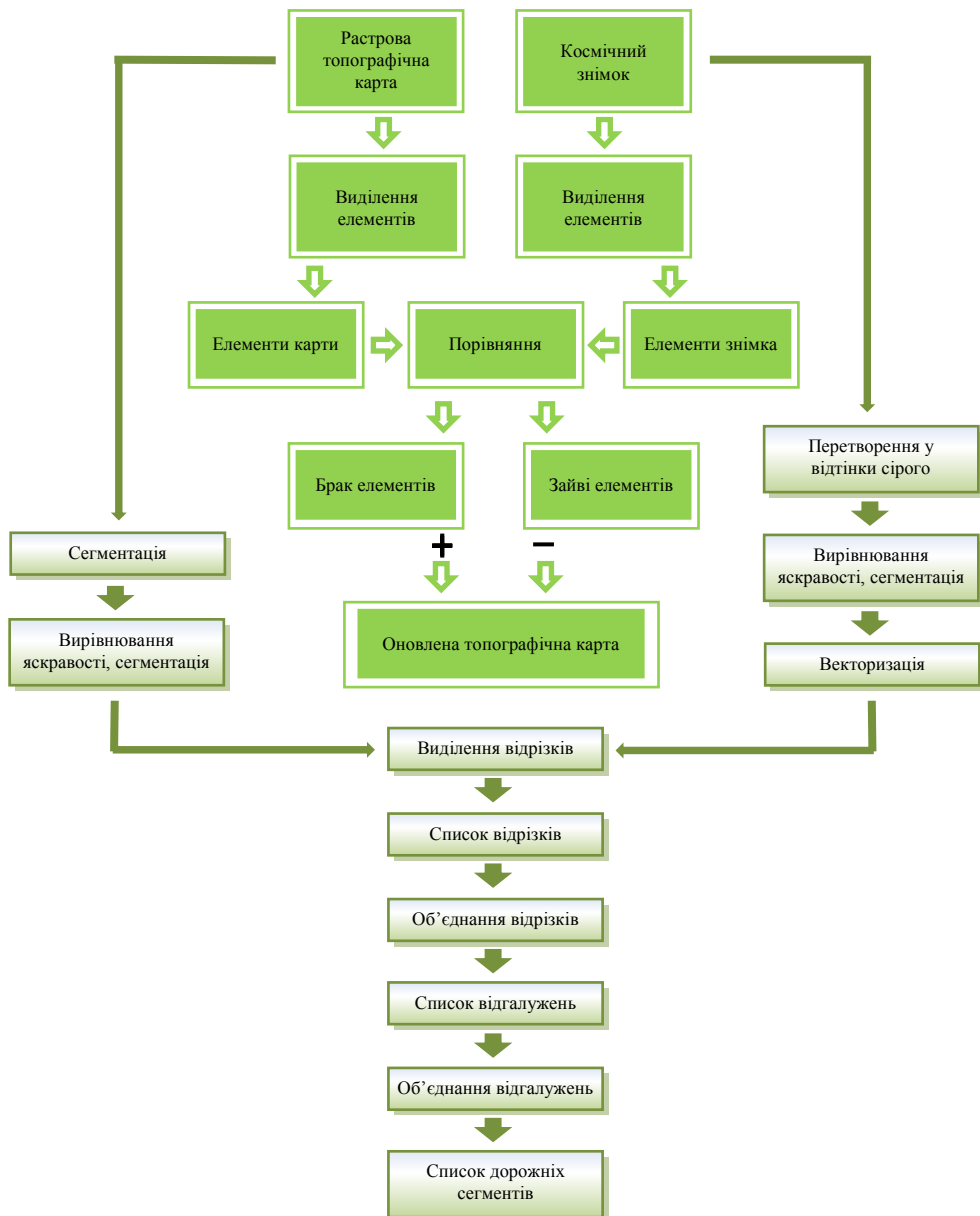


Рис. 4.1. Блок-схема методу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків

4.2. Характеристики розробленого програмного комплексу

Для реалізації запропонованого в роботі методу оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків розроблений програмний комплекс. Середовищем розробки обрана Borland Delphi 7.0. Програма складається з 8 модулів, 5 форм для взаємодії з користувачем, обсяг exe-файлу - 490К.

У програмі реалізовані наступні функції:

- бінаризація карти (за методом К-середніх);
- обробка бінаризованої карти (операції математичної морфології, очищення фрагмента);
- виділення на карті прямолінійних ділянок дорожньої мережі;
- бінаризація знімка (КИХ-фільтрація + хвильова сегментація);
- обробка бінаризованого знімка;
- виділення на знімку прямолінійних фрагментів дорожньої мережі.

4.3. Оцінка геометричних властивостей топографічних карт

Топографічні карти

Для оцінки були обрані кілька растрових топографічних карт міст Іраку. Характеристики карт, для яких виконувалася оцінка, наведені в таблиці 4.1. Міста, для яких виконано оцінку карт, розташовані в різних частинах держави. На малюнку 4.2 показана карта Іраку з позначеними на ній містами, для яких виконано оцінку карт.

Таблиця 4.1.

Властивості карт, для яких виконана оцінка

Назва міста	Номенклатура, координати південно-західного кута: Широта. Довгота	Просторове розрізнення, м	Відношення масштабів А/В	Рік останнього оновлення	Масштаб аерофотознімків в останньому оновленні
Сулейманія	<i>I – 38 – D – NW</i> 35°30',45°00'	21	1.004106	1989	*
Умм-Рахел	<i>H – 38 – C – SE</i> 31°00',44°30'	21	0.995880	1985	1:10000
Тарі	<i>I – 38 – A – NW</i> 35°30',42°00'	32	0.999625	1986	1:130000
Шуайб- Фарадж	<i>H – 38 – I – NW</i> 30°30',44°00'	32	0.993588	1986	1:50000
Румайла	<i>H – 38 – L – SW</i> 30°00',47°00'	21	0.995585	1988	1:25000
Чамчамал	<i>I – 38 – C – NE</i> 35°30',44°30'	21	0.997245	1989	1:50000
Басра	<i>H – 38 – L – SE</i> 30°00',47°30'	21	0.993263	1989	130000
Сімава	<i>H – 38 – D – SW</i> 31°00',45°00'	32	0.993953	1989	1:80000
Насірія	<i>H – 38 – E – SW</i> 31°00',46°00'	32	0.999178	1989	1:80000
Медіна	<i>H – 38 – L – NW</i> 30°30',47°00'	21	0.993156	1985	1:200000

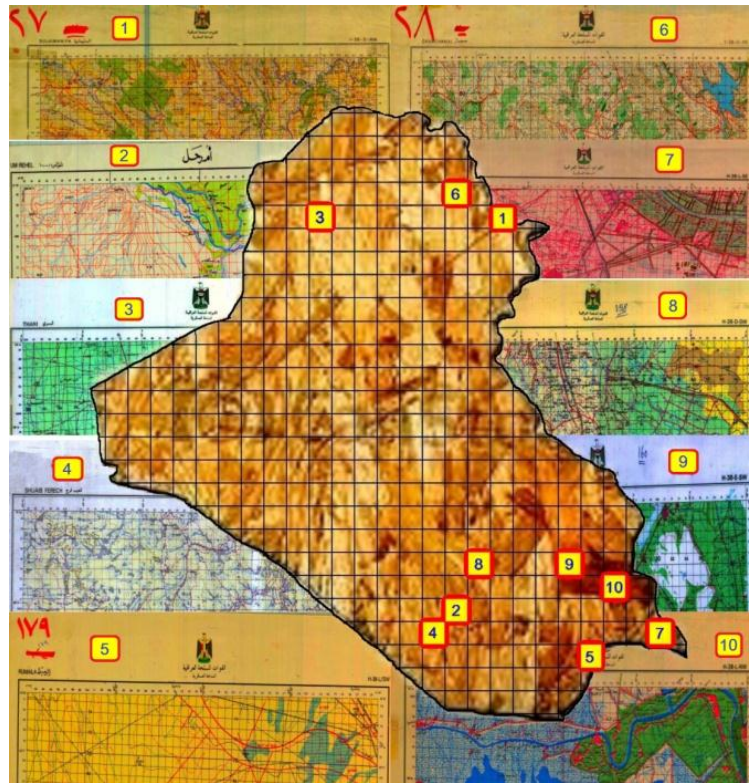


Рис 4.2. Карта Ірака з позначеними містами [1]

Наведене в таблиці 4.1 співвідношення масштабів детально розглянуто при розгляді геометричних властивостей топографічних карт.

Якщо наповнювати растрові карти, не створюючи їх, а тільки вносити зміни, то спочатку необхідно оцінити, наскільки їх геометричні властивості відповідають виконанню подальших завдань. Виходячи з цього, першим етапом слід вважати аналіз геометричних властивостей растрових карт.

Основними геометричними параметрами топографічної карти вважатимемо: незмінність масштабу і збереження подібності контурів зображення.

Якщо в результаті сканування отримана карта не має будь-яких геометричних спотворень масштабу і кутів, то цифрове зображення є подібним до вихідного картографічного зображення.

Невідповідності контурів і масштабу можуть бути викликані або деформацією вихідного картографічного зображення, або невідповідностями, що з'явилися в результаті сканування.

Для визначення і аналізу відхилень геометричних властивостей на карті може бути використано зображення кілометрової координатної сітки шляхом порівняння координат перехресть осей, отриманих на растровому зображенні, з координатами, підписаними на карті. При відсутності спотворень між цими величинами має виконуватися співвідношення ортогональної подібності.

Для аналізу геометричних властивостей растрової карти достатньо дослідити параметри наступних перетворень:

- ортогональне перетворення;
- перетворення поліномами 1-го, 2-го і 3-го ступеня.

Математичний апарат перетворень описаний в [97].

Виконувався розрахунок коефіцієнтів ортогонального перетворення і перетворень поліномами першого, другого і третього порядку.

На растровому зображенні карти було вибрано 110 характерних точок. Ці точки є «перехрестями» кілометрової координатної сітки. Для обчислення перетворень, описаних вище, і для контролю обчислень, обрані точки рівномірно розподілені на 55 опорних і 55 контрольних точок. За координатами опорних точок обчислювалися коефіцієнти перетворень, а за координатами контрольних точок аналізувалися відхилення. Для кожного із зазначених перетворень обчислювалося середнє значення відхилення вздовж осей X і Y .

Результати обчислень відхилень наведені в таблиці.

Коефіцієнти перетворення поліномом першого ступеня (афінного перетворення) дозволяють проаналізувати зміну масштабу вздовж кожної з осей. Для цього необхідно виконати побудову еліпса масштабів [97].

Таблиця 4.2.

Середні значення відхилень для різних перетворень

Перетворення	Середнє відхилення вздовж X, м		Середнє відхилення вздовж Y, м	
	Опорні точки, s_x^o $\frac{\max}{\min}$ серед.	Контрольні точки, s_x^k $\frac{\max}{\min}$ серед.	Опорні точки, s_y^o $\frac{\max}{\min}$ серед.	Контрольні точки, s_y^k $\frac{\max}{\min}$ серед.
Ортогональне	$\frac{12.7}{8.5}$ 10.5	$\frac{13.0}{8.4}$ 10.6	$\frac{13.9}{6.1}$ 9.8	$\frac{13.1}{6.7}$ 10.1
Поліномом 1-го степеня (Афінне)	$\frac{12.7}{8.4}$ 10.4	$\frac{13.0}{8.4}$ 10.5	$\frac{13.7}{6.1}$ 9.8	$\frac{13.0}{6.6}$ 9.9
Поліномом 2-го степеня	$\frac{10.2}{5.1}$ 8.5	$\frac{11.5}{5.1}$ 9.1	$\frac{8.7}{4.8}$ 7.1	$\frac{9.4}{5.3}$ 7.2
Поліномом 3-го степеня	$\frac{9.2}{4.8}$ 7.6	$\frac{9.9}{4.8}$ 8.2	$\frac{8.0}{4.8}$ 6.4	$\frac{8.9}{4.8}$ 6.7

Щоб оцінити різномасштабність вздовж осей при афінному перетворенні, визначалися максимальний і мінімальний масштаби (величини великої півосі – A і малої півосі – B еліпса масштабів).

На основі проведеного розрахунку і побудови еліпса масштабів отримано, що максимальне відношення масштабів склало: $A/B = 1,004106$. Еліпс масштабів з півосями A і B дуже близький до кола.

Різномасштабність невелика і знаходиться в межах графічної точності створення карти, вона не перевищує 0.3мм в масштабі карти, про це свідчить випадковий характер відхилень на контрольних перехрестях координатної сітки при ортогональному перетворенні зображення (рис.4.4), де відхилення відкладені вздовж осі Z в метрах.

Відхилення на контрольних перехрестях сітки координат при афінному перетворенні практично не відрізняється від ортогонального (рис. 4.5 і рис. 4.6).

Про рівномірний розподіл масштабу свідчить випадковий характер відхилень при перетвореннях поліномами. Щоб оцінити цей характер, побудуємо зображення розподілу відхилень по кожній координаті у вигляді

поверхні, де відмітка поверхні дорівнює відповідному відхиленню в цій точці.

Використання перетворень поліномами другого та третього степенів призводять до дещо менших відхилень на перехрестях сітки (див. Таблицю 4.2), ніж при ортогональному і афінному, проте ці відмінності значно менше графічної точності побудови оригіналу карти і можуть не враховуватися.

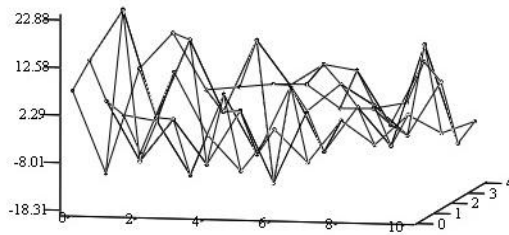


Рис. 4.3. Відхилення вздовж осі X в контрольних точках для ортогонального перетворення

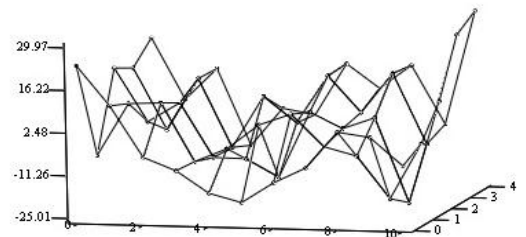


Рис. 4.4. Відхилення вздовж осі Y в контрольних точках для ортогонального перетворення

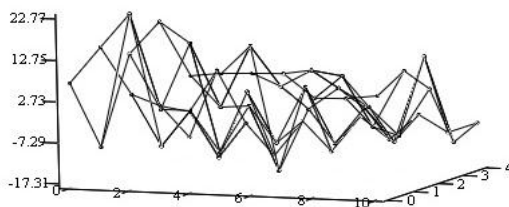


Рис. 4.5. Відхилення вздовж осі X в контрольних точках для афінного перетворення

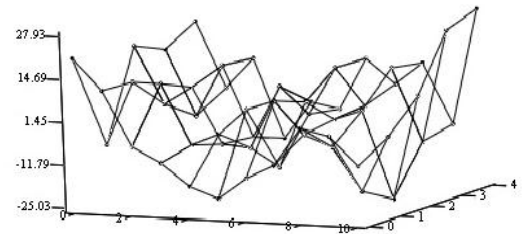


Рис. 4.6. Відхилення вздовж осі Y в контрольних точках для афінного перетворення

Незважаючи на графічну точність карт, встановлену в розрахунках, є істотний недолік, пов'язаний з низьким розрізненням сканування наявних карт. Сканування з роздільною здатністю 21 і 32 м призводить до отримання растрових карт з розміром пікселя 0,3 мм і 0,2 мм відповідно. Значення помилок при скануванні наведені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3.

**Помилки, які виникають під час сканування карт різних
масштабів в залежності від розрізнення**

Масштаб карти Дозвіл	1:25000	1:50000	1:100000
80 dpi	7,5 м	15 м	30м
120 dpi	5 м	10 м	20м

Такі суттєві помилки в загальному випадку вимагають повторного сканування карти з роздільною здатністю не менше 300 dpi. Однак в нашому випадку можливості відсканувати карти повторно немає, оновлювати необхідно наявні карти з низьким розрізненням. Отже, для оновлення можна використовувати космічні знімки високої роздільної здатності, наприклад, SPOT, необхідності в знімках дуже високої і надвисокої роздільної здатності немає. Використання знімків з роздільною здатністю 5м дозволить з відповідною точністю оновити карти масштабу 1:25000, 1:50000, 1:100000, знімків з роздільною здатністю 15м – 1:50000, 1:100000, знімків з роздільною здатністю 30м - 1:100000. З огляду на характер місцевості республіки Ірак (значна частина зайнята пустелями), навіть точність до 30 м є допустимою.

4.3 Приклади оновлення карт на базі автоматизованої технології

Експерименти проводилися на растрових картах 10 іракських міст. Всі наявні карти мають масштаб 1:100000, відскановані з роздільною здатністю 21-32 м, охоплюють території від 300 км² до 400 км². На картах присутні головні, другорядні, гірські, сільські дороги. Паперові карти мають досить високу якість.

Виділення дорожньої мережі на растрових топографічних картах

Кластеризація виконувалася шляхом виділення 8 кластерів і подальшого відкидання непотрібних за допомогою методу k-середніх, описаного в роботі раніше. Для поліпшення візуального сприйняття, в процесі зображення доріг використовується колір, що відрізняється від середнього кольору відповідного кластера. Точки, які не належать кластеру «дорога», зображуються білим кольором.

В результаті кластеризації виходить двоколірне зображення, аналогічне показаним на рис. 4.7, 4.8. До такого зображення можуть бути застосовані скануючі алгоритми для отримання параметрів відрізків прямих, що утворюють дорожню мережу.

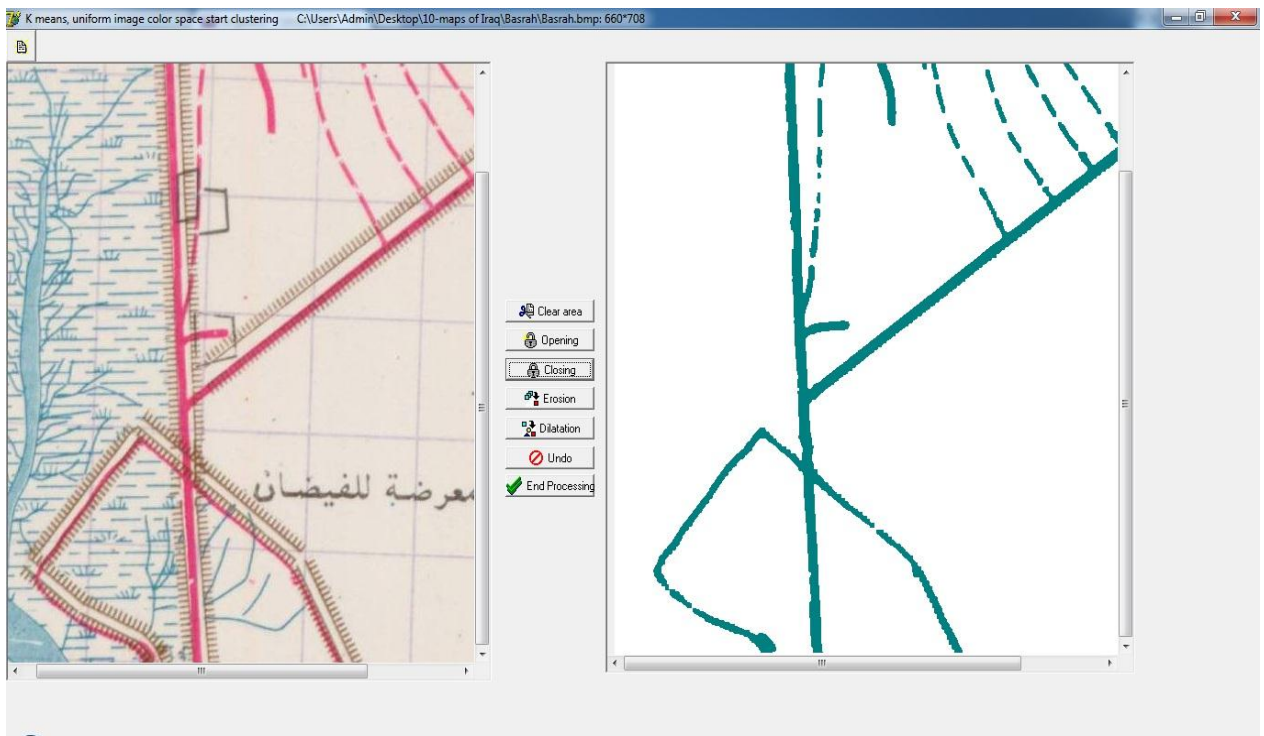


Рис. 4.7. Результат бінаризації фрагмента карти м. Басра, Ірак

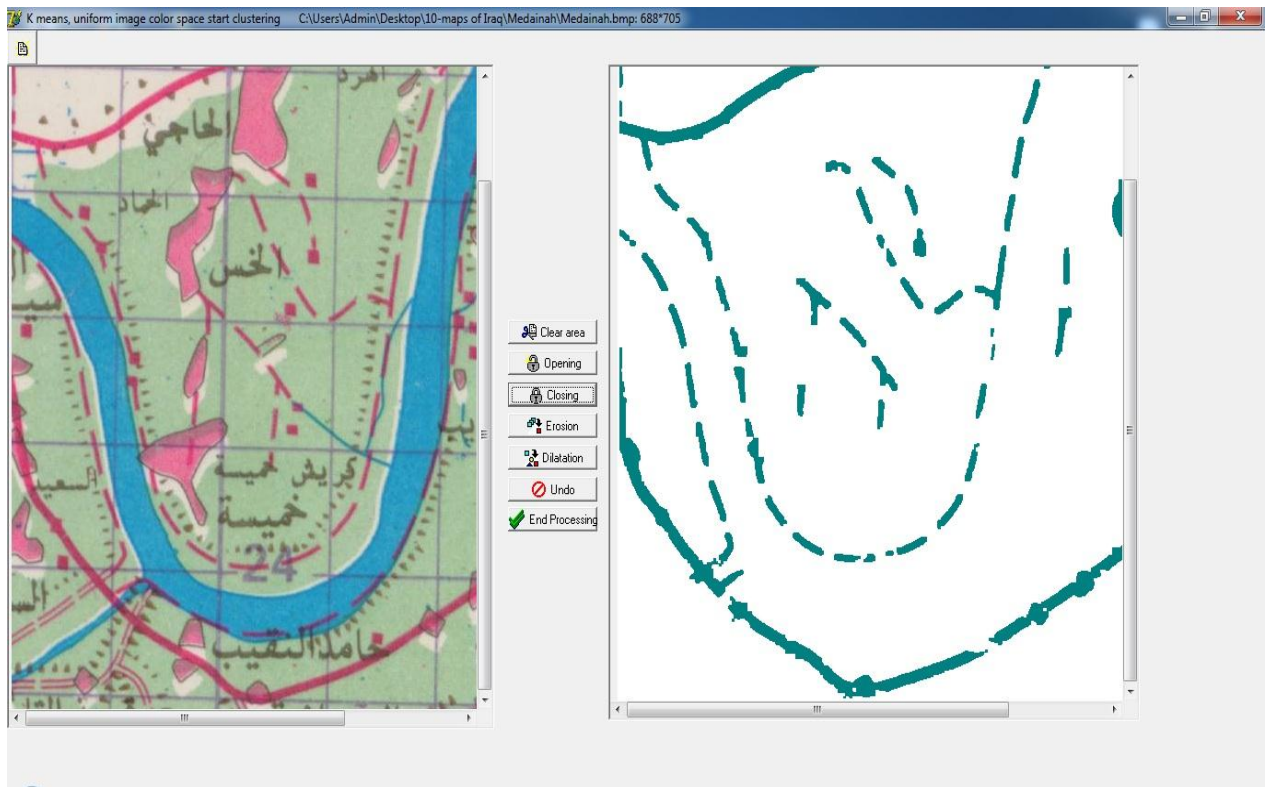


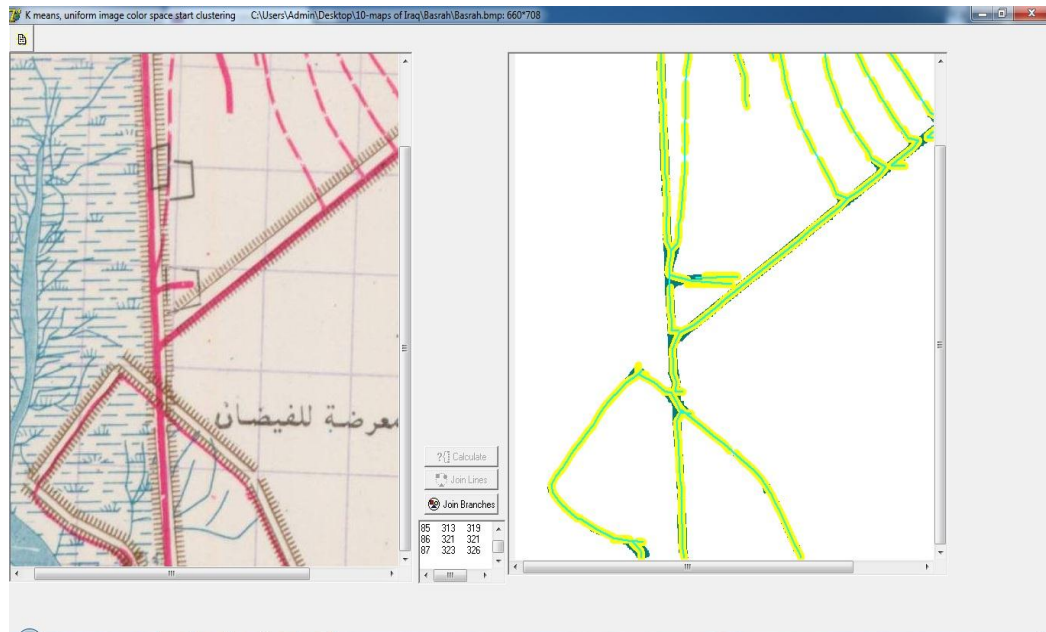
Рис. 4.8. Результат бінаризації фрагмента карти м. Медіна, Ірак

Аналіз зображень, отриманих в результаті кластеризації, показує, що деякі елементи дорожньої мережі не виділяються, що пов'язано з дефектами при їх нанесенні на карту. Крім того, на карті для зображення об'єктів, які не належать дорожній мережі (будівлі, контурні лінії та інше) може використовуватися той же ж колір, і в результаті сегментації ці об'єкти також будуть виділені, дана ситуація є штатною і досить поширеною. Отже, в програмну систему обов'язково потрібно включити інструменти для ручного коректування зображення.

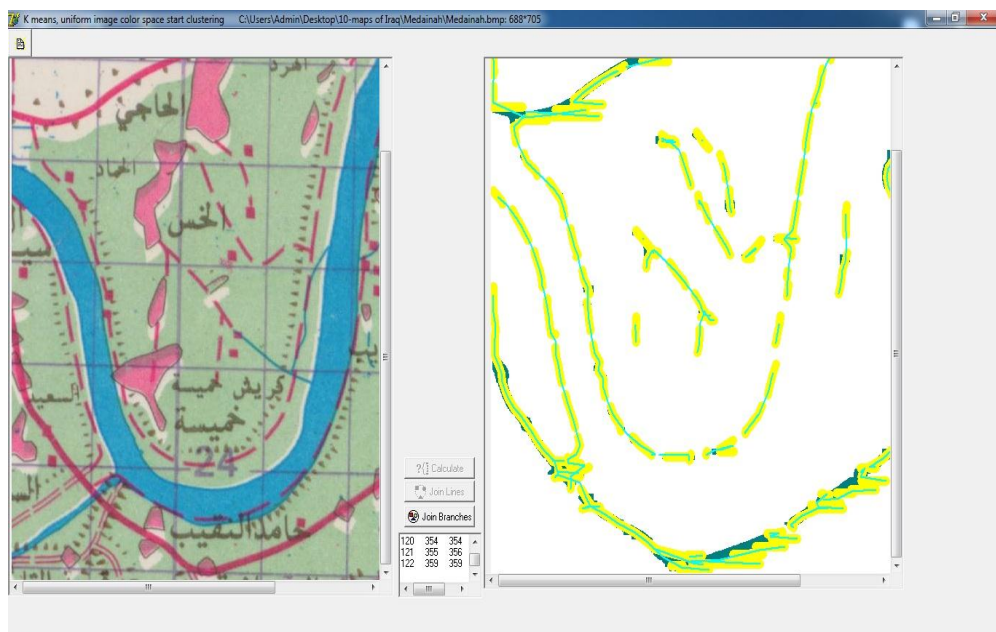
Для виділення лінійних фрагментів дорожньої мережі використовується модифікований скануючий алгоритм, описаний вище. Даний алгоритм окремо розглядає ситуації, коли виявлено початок лінії, її продовження, розгалуження, злиття і кінець.

Результати даного кроку зображуються у вигляді сукупності відрізків прямих, товщина яких дорівнює середньому значенню, розрахованому в процесі роботи скануючого алгоритму.

Далі виконуються об'єднання гілок. Результат виконання даного кроку (рис. 4.9, 4.10) зображується у вигляді осьових ліній відрізків прямих, отриманих на попередньому етапі. Для наочності товщина ліній, розрахована в ході обробки, не відображається.



*Рис. 4.9. Результат виділення дорожньої мережі для фрагмента карти м.
Басра, Ірак*



*Рис. 4.10. Результат виділення дорожньої мережі для фрагмента карти м.
Медіна, Ірак*

Для оцінки результатів виконано порівняння отриманої дорожньої мережі з результатами виділення вручну, людиною-експертом. Для оцінки якості редагування використані дві характеристики: точність P (Precision) і залишок R (Residue). Характеристика точності показує частку одиниць, правильно виділених фрагментів дорожньої мережі, серед всіх одиниць, виділених як дорожня мережа. Залишок характеризує частку одиниць, неправильно позначених фрагментів дорожньої мережі, серед всіх елементів, виділених як дорожня мережа. Також розраховувалася щільність виділеної дорожньої мережі шляхом ділення сумарної довжини виділених доріг на площу ділянки дослідження. У таблиці 4.4 наведені оцінки, отримані для фрагментів карт 10 міст Республіки Ірак. Середнє значення точності становить 0,86, мінімальне – 0,70, максимальне – 0,95. Оцінка даних величин для карт різних місцевостей показала, що для карт, на яких зображена міська територія (карти міст Насірія і Медіна), середнє значення точності становить 72.5%. Для інших карт, на яких зображені заміські ділянки, середнє значення точності виділення становить 89.4%.

Загальний аналіз результатів говорить про те, що для карт місцевості з високою щільністю дорожньої мережі результати виділення в основному гірші, ніж для карт місцевості з низькою щільністю. Причому збільшення розрізнення сканування з 21 до 32 м, не робить помітного впливу на результати розпізнавання.

Оскільки автоматично виділяються не всі елементи дорожньої мережі, необхідно в подальшому передбачити можливість коригування результатів виділення вручну, виділяючи кольором дороги, не виділені автоматично.

Таблиця 4.4.

Результати експериментальної оцінки

№	Місто	Розмір ділянки дослідження (км ²)	Відстань від ділянки дослідження до міста, напрямок	Розрізнення сканування, dpi	Види доріг	Густина дорожніх мереж	Точність	Залишок
1	Сулейманія	300	21 км, північний захід	21	Другорядні, гірські, сільські	0.53	0,95	0,05
2	Умм-Рахел	350	11 км, північний захід	21	Другорядні, сільські	0.66	0,90	0,10
3	Тарі	400	10 км, північ	32	Головні, другорядні	0.73	0,95	0,05
4	Шуайб-Фарадж	400	12 км, південний схід	32	Сільські	0.70	0,95	0,05
5	Румайла	300	15 км, південний захід	21	Головні	0.68	0,90	0,10
6	Чамчамал	300	7 км, північний схід	21	Головні, другорядні, сільські	0.90	0,80	0,20
7	Басра	400	16 км, південний схід	21	Головні, другорядні, сільські	0.72	0,90	0,10
8	Сімава	400	5 км, південний захід	32	Головні, другорядні, сільські	1.10	0,80	0,20
9	Насірія	350	0 км (міська територія)	32	Головні, другорядні, сільські	1.40	0,75	0,25
10	Медіна	400	0 км (міська територія)	21	Головні, другорядні, сільські	1.30	0,70	0,30

Виділення дорожньої мережі на супутникових знімках

Для експериментів використовувався фрагмент космічного знімка околиць м. Сулейманія, показаний на рис.4.11. Космічний знімок отриманий знімальною системою супутника GeoEye-1 у 2013 р. має просторову роздільну здатність 2,8 м, радіометричне розрізнення 11 біт, зменшене до 8 біт.



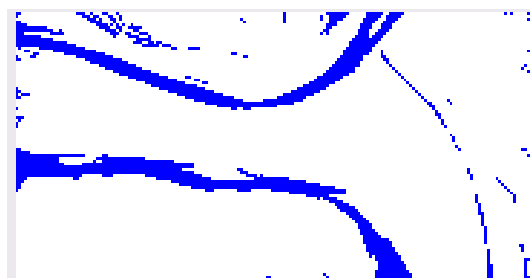
Рис. 4.11. Фрагмент космічного знімка околиць м. Сулейманія – Ірак

Розмір фрагмента космічного знімка 2500*1500 пікселів. На території, представленої на даному знімку, розташовані річка, елементи малоповерхової забудови, дорожня мережа, що складається з міських і заміських доріг.

На малюнку 4.12.а наведено фрагмент, для якого аналізувалася ефективність описуваного підходу (даний фрагмент виділений на рис.4.11 прямокутною рамкою 1), на рис.4.12.б - результат сегментації даного зображення з використанням методу, розробленого автором.



а)



б)

Рис. 4.12. Результати сегментації фрагмента супутникового знімка

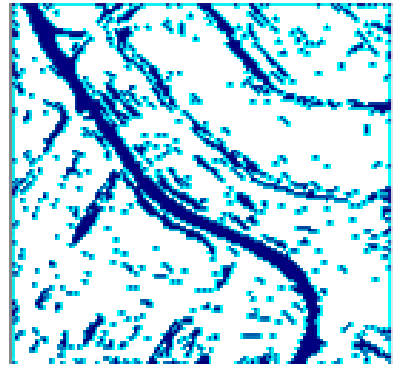
Вихідний фрагмент знімка містить два шари, які можуть бути описані як лінійні протяжні об'єкти: фрагменти дорожньої мережі (світлий об'єкт) і річка (темний об'єкт). Річка, відображена на знімку, теж виділяється як дорога. Дана ситуація цілком природна, так як з точки зору геометричних і яскравісних характеристик зображення річки і дороги на знімку практично не відрізняються. Річка, як і дорога – лінійні протяжні об'єкти, у яких довжина є значно більша за ширину, а яскравість точок – рівномірна. Щоб розрізнити їх, потрібні або додаткові відомості про місцевість, або коригування результатів виділення вручну.

На малюнку 4.13.а,б, показані результати сегментації іншого фрагмента знімка (виділено на рис.4.11 прямокутною рамкою 2), на якому також представлені річка і фрагмент дорожньої мережі. В даному випадку в силу деяких причин (значна ширина річки в порівнянні з шириною дорожнього полотна) шляхом фільтрації виділяється не все русло річки, а тільки його межі. Для усунення даного недоліку також може бути залучений експерт.

Якщо розглядати сегментацію знімка в цілому, то слід зазначити, що на ньому представлені різні типи місцевості, для кожного типу варто виконувати сегментацію з різними значеннями параметрів. Так, шляхом підбору параметрів сегментації отримані прийнятні результати, показані на рис.4.14. Аналіз результатів свідчить про те, що прийнятні результати виходять для тих районів, де всі, хто дороги мають приблизно рівну ширину і придорожня територія однорідна. На рис.4.15 наведені приклади помилкової сегментації, обумовленої характером місцевості. Вказані значення параметрів сегментації, для яких отримані результати: R – радіус сегментації в пікселях, K – мінімальне співвідношення яскравості між точками інтересу і околom. Виділення надлишкових елементів і проблеми з виділенням доріг невеликої ширини говорять про необхідність коригування результатів оператором.



а)



б)

Рис. 4.13. Результати сегментації фрагмента супутникового знімка

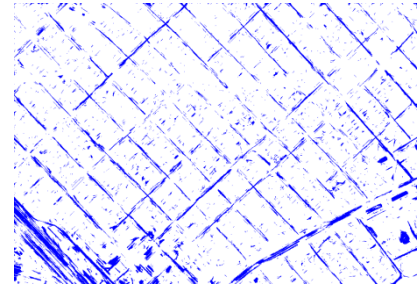
Фрагмент знімка



а)

Результат сегментації, параметри

$R=3, K=3$

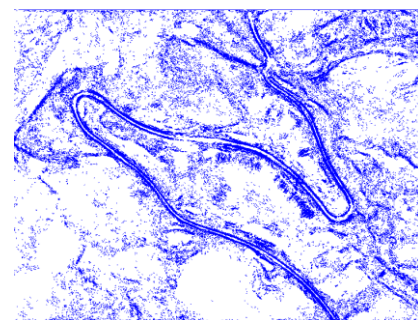


б)

$R=5, K=3$



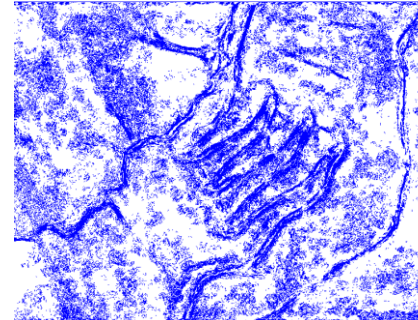
в)



$R=7, K=3$



г)



$R=5, K=3$

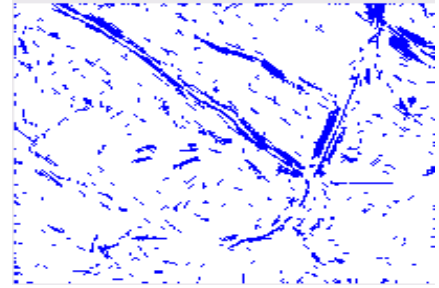
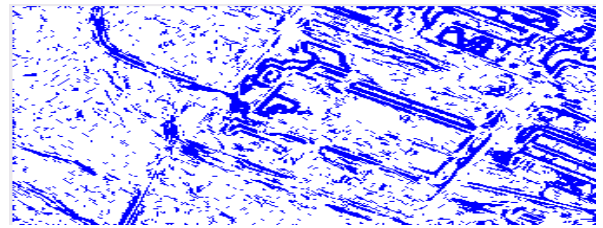


Рис. 4.14. Фрагменти, для яких отримані прийнятні результати сегментації

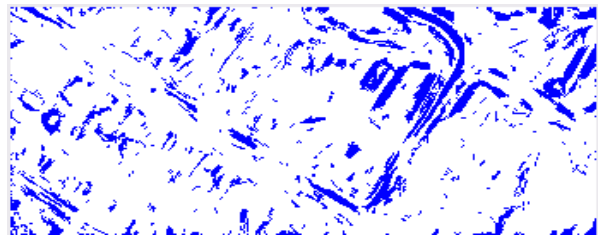
Фрагмент знімка

Результат сегментації

а)



б)



в)

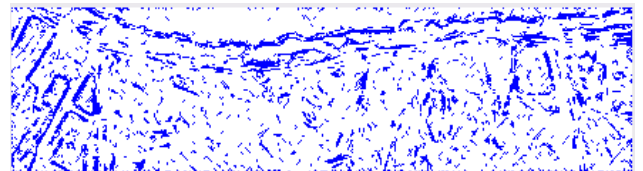


Рисунок 4.15. Незадовільні результати сегментації

Для аналізу ефективності алгоритму була виконана обробка різних фрагментів супутникового знімка м. Сулейманія і околиць.

В результаті сегментації даних знімків виділені фрагменти дорожньої мережі (рис. 4.14). Результати виділення оцінювалися людиною-експертом і наведені в табл. 4.5. Процес сегментації ускладнюється за рахунок наступних властивостей місцевості: дорога проходить близько до протяжної будови прямокутної форми; місцями дерева і тінь закривають дорогу; занадто вузька дорога.

Таблиця 4.5.

Результати сегментації супутникових знімків

	Види доріг	Загальна довжина доріг (км)	Довжина доріг, виділених в результаті сегментації (км)	Ефективність виділення, %
а	Міські	5.1	3.4	67
б	Позаміські	1.1	0.85	77
в	Гірські	1.3	1.1	85
г	Сільські	1.0	0.75	75

Результати експериментів говорять про те, що необхідна додаткова обробка сегментованого зображення оператором, оскільки деякі елементи, які мають характеристики яскравості, схожі з характеристиками дорожньої мережі, виділяються неправильно. Крім того, в ряді випадків, дорожня мережа виділяється в повному обсязі.

Для визначення геометричних параметрів елементів дорожньої мережі використаний скануючий алгоритм, який раніше дозволив отримати прийнятні результати для топографічних карт.

На рисунку 4.16.а наведено зображення, отримане в результаті сегментації частини знімку (див. рис. 4.12) і ручної обробки оператором, на рис.4.16.б – результат його обробки скануючим алгоритмом (осьові лінії виділених елементів дорожньої мережі показані світло-зеленим кольором).

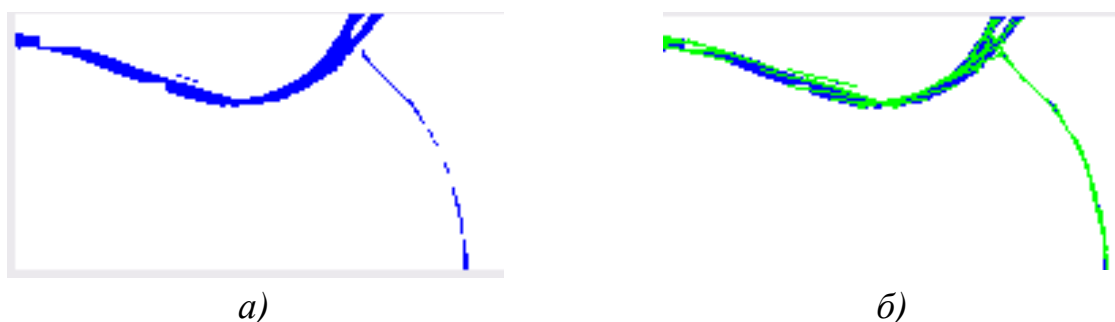


Рис. 4.16. Результати роботи скануючого алгоритму

4.5. Технологічна схема автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними в ПП Erdas Imagine

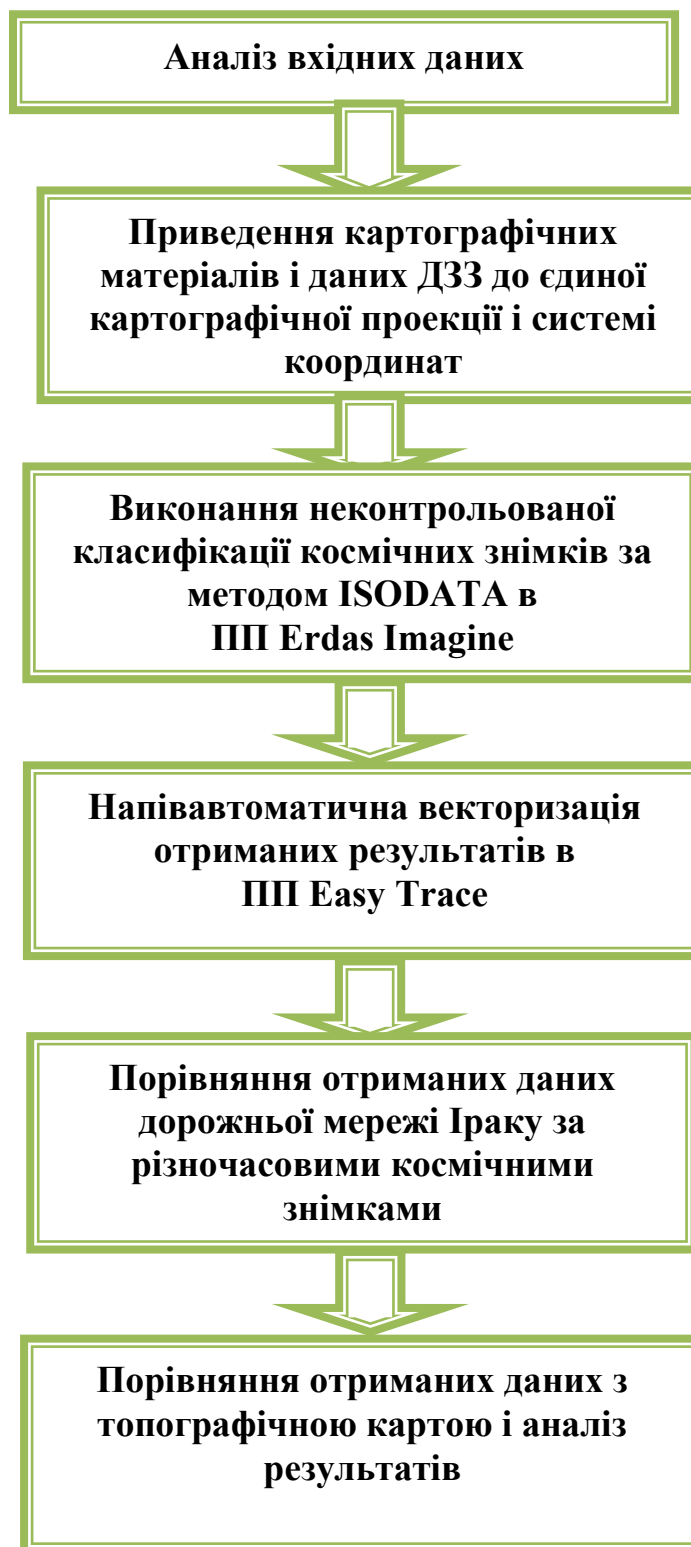


Рис. 4.17. Технологічна схема автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними в ПП Erdas Imagine з використанням ПП EasyTrace

4.6. Методика автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними в ПП Erdas Imagine

Розглянемо альтернативний метод автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку на прикладі топографічної карти і різночасових космічних знімків на територію з районним центром м. Сулейманія в ПП Erdas Imagine.

Дана методика спирається на технологічну схему представлену в параграфі 4.5.

Вхідними даними для реалізації поставленого завдання є: космічний знімок території м. Сулейманія отриманий з супутника QuickBird в 2003 році і космічний знімок території м. Сулейманія отриманий з супутника GeoEye-1 в 2013 році (рис.4.18).

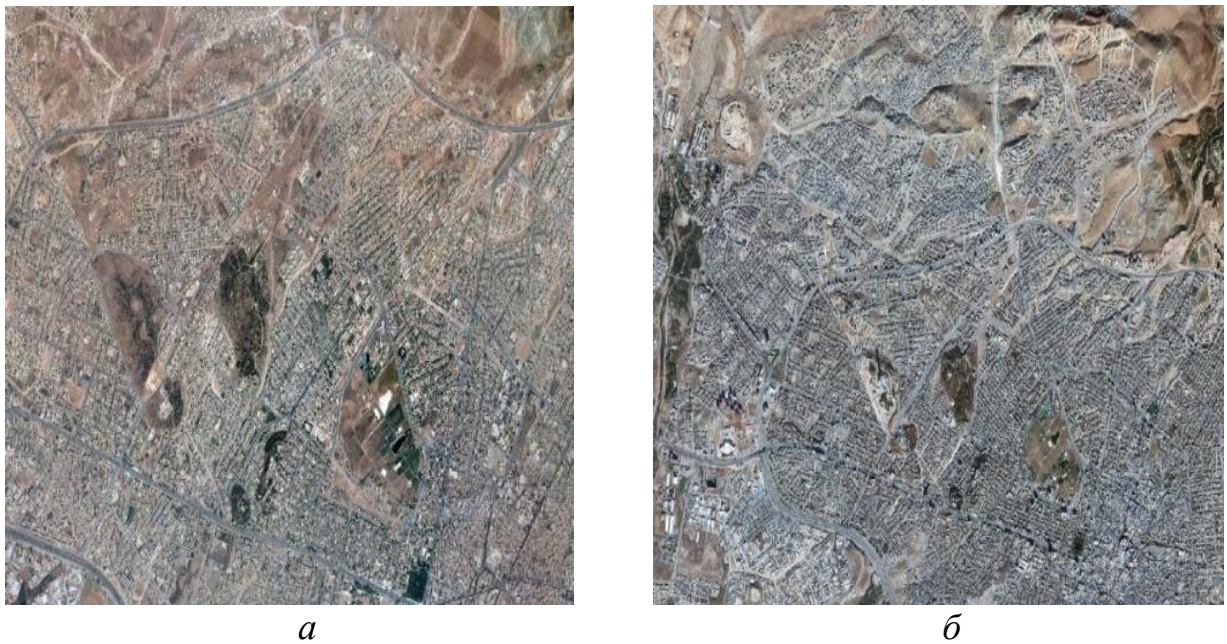


Рис.4.18. Вхідні дані дистанційного зондування: а) космічний знімок території м. Сулейманія отриманий з супутника QuickBird в 2003 році; б) космічний знімок території м. Сулейманія отриманий з супутника GeoEye-1 в 2013 році

Топографічна карта в масштабі 1: 100000 на територію м. Сулейманія представлена на рис.4.19.

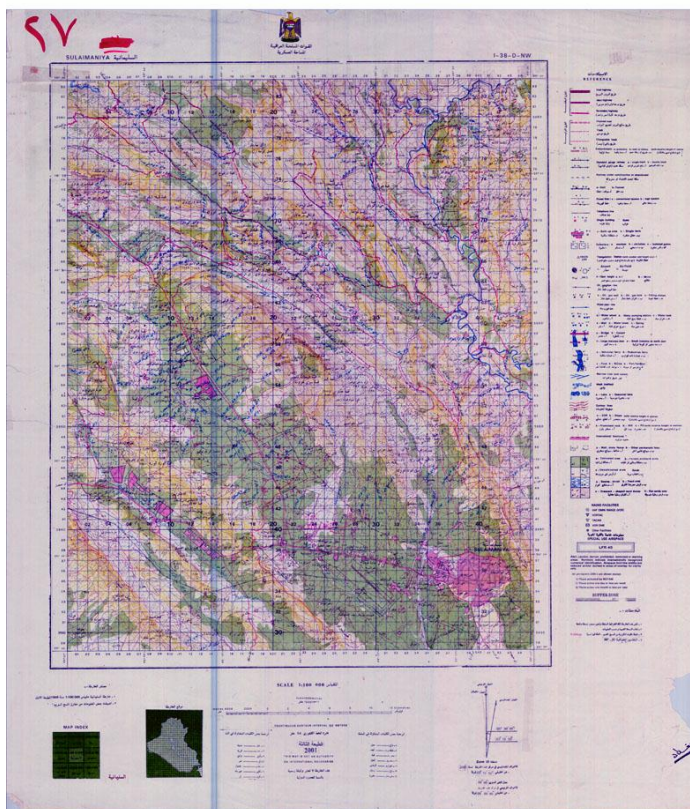
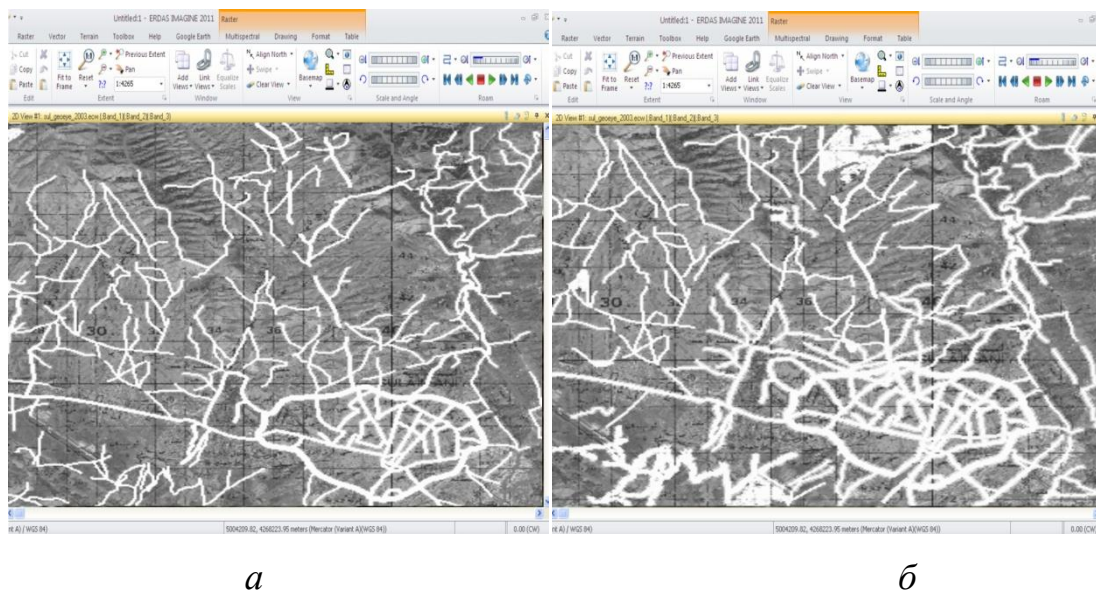


Рис.4.19. Топографічна карта в масштабі 1: 100000 на територію м. Сулейманія видана в 1989 році

Згідно технологічної схеми виконана геометрична корекція космічних знімків по 9 опорним точкам. Обрана проекція WGS84. Максимальна похибка корекції кожного знімка склала 1 піксель, що відповідає 1,65 метрів на місцевості.

Далі космічні знімки 2003 і 2013 років було завантажено в ПП Erdas Imagine і виконана неконтрольована класифікація. Після першої перекласифікації отриманий незадовільний результат через велику кількість помилково класифікованої інформації, тому перекласифікація зображення виконувалася ще 7 разів, до досягнення прийняттого результату. Результати класифікації представлені на рис. 4.20.



*Рис.4.20. Результат класифікації космічних знімків в ПП Erdas
Imagine: а) 2003 рік; б) 2013 рік*

Отримані результати були збережені у форматі GeoTIFF і завантажені в програму EasyTrace для напівавтоматичної векторизації. Результат векторизації представлений на рис. 4.21.

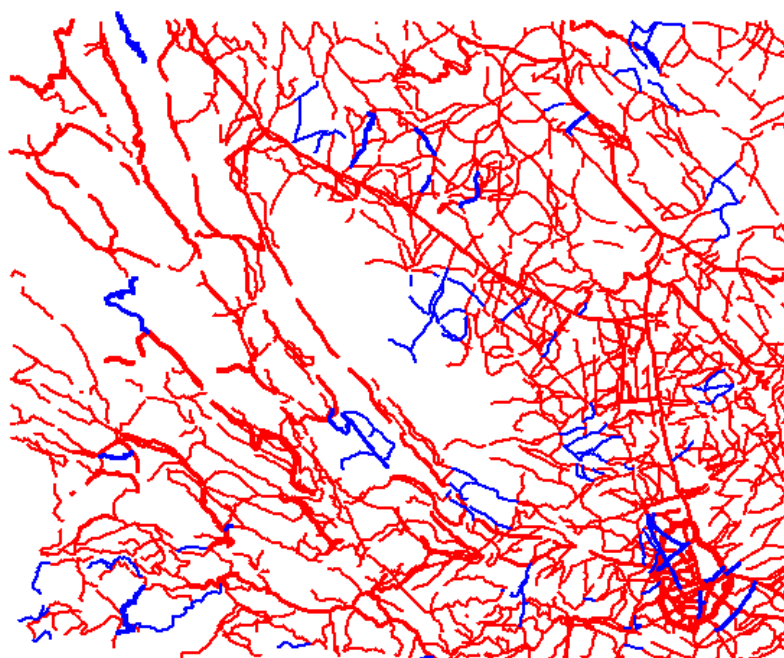


Рис.4.21. Результат векторизації даних класифікації: червоним показані дороги виділені на знімку 2003 року; синім - нові дороги зі знімка 2013 року

За тією ж методикою отримана дорожня мережа центральної частини м. Сулейманія, яка була сильно занедбана за 10 років. Результат представлений на рис.4.22.



Рис.4.22. Результат векторизації даних класифікації дорожньої мережі м. Сулейманія: червоним показані дороги виділені на знімку 2003 року; зеленим – нові дороги зі знімка 2013 року

За отриманими даними підраховано процентні показники нових доріг, які були прокладені за десять років (табл.4.6).

Таблиця 4.6.

Результати підрахованих довжин дорожньої мережі за різночасовими космічними знімками для центральної частини м. Сулейманія

Космічний знімок	Загальна довжина доріг, км	Процент оновлення, %
2003 год	1396	-
2013 год	2544	45

Як видно з таблиці, за 10 років дорожня мережа м. Сулейманія в Іраку оновилася на 45%, що свідчить про стрімкий розвиток дорожньої інфраструктури обласних центрів країни.

В ході проведення експерименту було помічено значну невідповідність дорожньої мережі гірських районів, отриманої зі знімків, з тими ж дорогами на топографічній карті. Топографічна карта була створена з грубими порушеннями законів картографії.

Висновки до розділу 4

За результатами четвертого розділу можна зробити наступні висновки:

1. Мовою програмування Delphi розроблений програмний комплекс для оновлення топографічних карт за даними супутникових знімків, який включає реалізацію наступних функцій: бінаризація карти (за методом К-середніх); обробка бінаризованих карт (операції математичної морфології, очищення фрагмента); виділення прямолінійних ділянок дорожньої мережі на карті; бінаризація знімка (КИХ-фільтрація + хвильова сегментація); обробка бінаризованих знімків; виділення прямолінійних фрагментів дорожньої мережі на знімку.

2. У даному програмному комплексі оброблено 10 аркушів топографічних карт території Іраку в масштабі 1: 100000. Точність виявлення доріг склала 70%-95% з залишком 5%-30%.

3. За розробленою технологією аналогічно виявлені дороги за космічним знімком отриманим з супутника GeoEye-1 в 2013 році на територію міста Сулейманія. Отримані наступні результати ефективності виділення доріг за градаціями: міські – 67%; заміські – 77%; гірські – 85%; сільські – 75%.

4. Розраховані СКП геометричних спотворень використаних топографічних карт. Кращий результат отриманий з використанням поліному третього степеня: $m_x = 7,2\text{м}$ і $m_y = 8,9\text{м}$, що є допустимим значенням для карт масштабу 1: 100000, що становить 10 м при розрізненні сканування 21 м.

5. Запропонована альтернативна технологічна схема автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними заснована на алгоритмі неконтрольованої класифікації ISODATA в ПП Erdas Imagine.

6. Наведена методика автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними в ПП Erdas Imagine, згідно з якою загальна довжина

доріг на космічних знімках 2003 і 2013 року становить 1 396 і 2 544 км відповідно. Розрахований відсоток оновлення складає 45%.

7. В результаті досліджень визначено, що 28% гірських доріг на карті Сулейманії не відповідають дійсності і нанесені помилково, порушуючи всі картографічні правила.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі розглянуто теоретичні та практичні підходи щодо автоматизованого оновлення топографічних карт з використанням космічних знімків, а саме:

1. Проаналізовано історичні дані по картографуванню Іраку. Встановлено, що останнє оновлення топографічних карт відбулося в кінці 80-х років ХХ століття, а починаючи з 2000-го року кількість нових доріг в країні значно зросла, що підтвердило актуальність даної тематики.
2. На підставі аналізу характеристик космічних знімальних систем і області використання знімків різного розрізнення рекомендовано для оновлення топографічних карт використовувати космічні знімки отримані із супутників GeoEye-1, QuickBird, Ikonos, WorldView-2 – для карт масштабу 1:5000; Eros A, Eros B – для карт масштабу 1:10000; Spot-5 – для карт масштабу 1:25000; IRS 1C/1D – для карт масштабу 1:50000; Spot-4 – для карт масштабу 1: 100000;
3. Опрацьовано теоретичні засади і алгоритм автоматизованого пошуку дорожньої мережі на космічних знімках. Запропонована методика оновлення топографічних карт, згідно з якою виділено етапи визначення дорожньої мережі на картах і на знімках. Також представлена концептуальна схема автоматизованої технології оновлення дорожньої мережі на топографічних картах, яка базується на сегментації растрових даних з подальшою їх векторизацією.
4. Розроблено на мові Delphi та апробовано програмний комплекс, з використанням якого оброблено 10 аркушів топографічних карт території Іраку в масштабі 1: 100000. Точність виявлення доріг склала 70%-95% . За космічним знімком, отриманим з супутника GeoEye-1 (2013р.) виявлені нові дороги , які раніше не були показані на картах для м. Сулейманія. Отримані наступні результати ефективності виділення

доріг за градаціями: міські – 67%; заміські – 77%; гірські – 85%; сільські – 75%;

5. Розраховані середні квадратичні похибки (СКП) геометричних спотворень використаних топографічних карт. Кращий результат отримано з використанням поліному третього степеня: $m_x = 7,2\text{м}$ і $m_y = 8,9\text{м}$, що є допустимим значенням для карт масштабу 1: 100000.
6. Запропонована альтернативна технологічна схема автоматичного виділення дорожньої мережі Іраку за растровими даними з використанням програмного пакету Erdas Imagine та алгоритму неконтрольованої класифікації ISODATA . За цією методикою визначено, що загальна довжина доріг на космічних знімках 2003 і 2013 року становить 1 396 і 2 544 км відповідно. Розрахований відсоток оновлення складає 45%;
7. В результаті досліджень визначено, що 28% гірських доріг на карті Сулейманії не відповідають дійсності і нанесені помилково, порушуючи всі картографічні правила.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Republic of Iraq-Ministry of water resources- General organization of Iraqi surveying. <http://www.mowr.gov.iq/gcs/aksam.php>, 25-03-2013.
- 2 General Command of Mapping. Tıp Fakültesi Caddesi 06590 Cebeci/ANKARA/TURKEY. <http://www.hgk.msb.gov.tr/english/>
- 3 http://eussoils.jrc.ec.europa.eu/esdb_archive/EuDASM/asia/images/maps/download/IQ2001_TO.jpg
- 4 <http://www.ngs.noaa.gov/CORS/>
- 5 <http://www.lib.utexas.edu/maps/jog/iraq/>
- 6 United Nations Iraq. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.uniraq.org/>
- 7 http://georepository.com/crs_32638/WGS-84-UTM-zone-38N.html
- 8 Iraq. Transportation and telecommunications [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/293631/Iraq/22947/Transportation-and-telecommunications>
- 9 Мировой атлас данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://knoema.ru/atlas/Ирак/topics/Транспорт>
- 10 Кохан С.С. Сучасні підходи до класифікації космічних знімків. Матеріали Міжнародної науково-методичної конференції «Географічні інформаційні системи в аграрних університетах (GISAU)». Херсон. 2007.
- 11 Рыжова Е. В. Комплекс методик предпроектного обоснования применения космических средств наблюдения для мониторинга состояния лесов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва. 2006.
- 12 Верещака Т.В. Цифровая технология обновления топографических карт масштабов 1:25 000 – 1:200 000 по космическим снимкам и ее концептуальне положення/ Т.В. Верещака, А.С. Вахтанов //

- Геодезия и картография. – 2004. – № 4. – С. 33–42.
- 13 Грузинов В.С. Обновление цифровых топографических карт по данным космической съемки / В.С. Грузинов // Геодезия и картография. – 2002. – № 1. – С. 15–18.
 - 14 Кобзева Е.А. Оценка потенциала снимков с КА Pleiades для создания цифровых топографических карт и планов / Кобзева Е.А. // Геопрофи. № 1, 2014.
 - 15 Кобзева Е.А. Экспериментальная оценка точности и дешифровочных возможностей космических снимков RapidEye // ГЕОМАТИКА. –2010 . – №2. – с. 33-36.
 - 16 Qiaoping Zhang, Couloigner I. A framework for road change detection and map updating. *Geo-spatial Information Science* 01/2004; 7(2), p.89-95.
 - 17 Alonso M. C., Malpica J. A. Satellite imagery classification with LIDAR data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan 2010*, p.730-735
 - 18 Книжников Ю.Ф. и др. Аэрокосмические методы географических исследований // Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, О. В. Тутубалина. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.
 - 19 Снимки земли. http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?Id=22&table=news. Accessed [15 November, 2014].
 - 20 Бурштинська Х. В., Станкевич С. А. Аерокосмічні знімальні системи: навч. Посіб. / Нац. Ун-т «Львів. Політехніка». – Львів: Вид-во Львів. Політехніки, 2013. – 315 с.
 - 21 Андерсон, Джеймс А. Дискретная математика и комбинаторика. – Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 960 с.
 - 22 Лялько В.І., Попов М.О., Федоровський О.Д. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі – К.: Наукова думка, 2006.

– 357 с.

- 23 Горшенин О.Є., Пулеко І.В., Чумакевич В.О. Основи оброблення та дешифрування знімків з космічного апарата «Січ-2» для розв'язання тематичних задач лісового господарства //Науковий вісник НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.15. с.300-308
- 24 Титаров П. С. Практические аспекты фотограмметрической обработки сканерных космических снимков высокого разрешения Текст. / П. С. Титаров // Информационный вестник ГИС-Ассоциации. 2004. - № 3. – С. 45 – 46.
- 25 Mondello C., Hепner G.F., Williamson R.A. 10-Year Industry Forecast. Phases I-III – Study Documentation. // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. January 2004.
- 26 Адров В.Н., Карионов Ю.И., Титаров П.С., Чекурин А.Д. Критерии выбора данных ДЗЗ для топографического картографирования / Пространственные данные, №4 (2005)
- 27 Александров А., Христова Т., Иванова К., Корева М., Маджарова Т., Петрова В. Использование космических снимков для обновления топографических карт города Софии. Сборник докладов IV Международного семинара пользователей системы PHOTOMOD. Минск, 7—10 сентября 2004 г. с. 3-8.
- 28 Xiangyun Hu, Vincent Tao. Automatic Extraction of Main RoadCenterlines from High Resolution Satellite Imagery Using Hierarchical Grouping. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 73, No. 9, September 2007, pp. 1049–1056.
- 29 Qiaoping Zhang. Automated Road Network Extraction from High Spatial Resolution Multi-Spectral Imagery. A thesis submitted to the faculty of graduate studies in partial fulfilment of the requirements for the degree of doctor of philosophy. April 2006
- 30 Le Bris A., Chehata N. Change detection in a topographic building

- database using submetric satellite images. Stilla U et al (Eds) PIA11. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 38 (3/W22), p. 25-30
- 31 Edwin Martínez Martínez. Remote sensing techniques for land use classification of Rio Jauca watershed using IKONOS images, Project report Agricultural and Biosystems Engineering Department, University of Puerto Rico Mayagüez, 2004.
- 32 Gao, J. And Wu, L. Automatic Extraction of road networks in urban areas from Ikonos imagery based on spatial reasoning. Proceedings of ISPRS XXth Congress, Istanbul, Turkey, July 12-23, 2004
- 33 Ву Зань Туен. Методы обновления карт использования земель Вьетнама по многозональным космическим изображениям сверхвысокого разрешения // Известия высших учебных заведений, раздел «Геодезия и аэрофотосъемка», № 3, 2011, с.78-81
- 34 Dan Klang. Automatic Detection of Changes in Road Databases using Satellite Imagery, IAPRS, Vol. 32, Part 4 “GIS Between Vision and Applications”, Stuttgart, 1998, pp. 293-298
- 35 Какиучи Х., Онака М., Асаи М., Итох Ф. Топографические карты масштаба 1:25 000 на базе космических снимков SPOT5. <http://www.racurs.ru/? Page=312>
- 36 Subash J. Automatic road extraction from satellite images using extended Kalman filtering and efficient particle filtering. International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS) Vol.2, No.6, November 2011, p. 135-152
- 37 Grote A. Automatic road network extraction in suburban areas from aerial images. – DGK, Reihe C, Heft № 663, – 2011. 96 p.
- 38 Обновление карт по космическим снимкам. http://www.scanex.ru/ru/data/Applications_ScanEx_p7-16.pdf
- 39 Владимирова Н.А. Космические изображения Aster как источник

- данных для лесного хозяйства: характеристики, методика дешифрирования, перспективы использования // Вестник Московского государственного университета леса –Лесной вестник, № 1(64), 2009, с. 163-173
- 40 Кадничанский С.А. Сравнительный анализ эффективности применения цифровой аэрофотосъемки и космической съемки для целей создания и обновления топографических и специальных карт. <http://www.geokosmos.ru/contacts/press/article05-2009.php>
- 41 Використання космічних знімків у картографії. Оновлення карт за допомогою космічних знімків. http://www.tviss.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=113&Itemid=194
- 42 Грицьків Н., Почкін С. Створення і оновлення базових картографічних матеріалів з використанням аерокосмічних зображень//Геодезія, картографія і аерофотознімання. Український міжвідомчий науково-технічний збірник.№70. Львів, 2008. С.30-37
- 43 Лобанов А. Н. Фотограмметрии: Учебник для вузов. 2 с изд., перераб. и доп. — М., Недра, 1984, 552 с.
- 44 Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие. - М.: ЛОГОС, 2001. – 264 с.
- 45 Чабан Л.Н. Автоматизированная обработка аэрокосмической информации при картографировании геопространственных данных. Учебное пособие. – М.: МИИГАиК, 2013г., - 96 с.
- 46 <http://www.hexagongeospatial.com/products/producer-suite/erdas-imagine>
- 47 Scanex image processor. Дополнительная обработка изображений и получение тематических продуктов <http://www.scanex.ru/ru/software/default.asp?submenu=imageprocessor>

- &id=index
- 48 QGIS User Guide. Выпуск 1.8.0. http://gis-lab.info/docs/qgis/user_guide/qgis-1.8.0_user_guide_ru.pdf
 - 49 Учебное руководство по ГИС GRASS 6.0.
<http://gis-lab.info/docs/grass/tutorial60/index.html>
 - 50 Описание свободной ГИС gvSIG. <http://gis-lab.info/qa/gvsig.html>
 - 51 Болсуновский М.А. Возможности программного комплекса ENVI для обработки данных ДЗЗ. Геопрофи, №3'2006, с.18-19.
 - 52 Абламейко С.В., Боричев С.П. Оперативное обновление объектов цифровых карт по аэрокосмоснимкам / Информатика, № 1, январь-март 2009, с.59-70.
 - 53 Beyen J., Ziems M., Mueller S., Roovers S., Heipke C. Semi-automatic update and quality control of road databases. Proceedings of the 4th GEOBIA, May 7-9, 2012 – Rio de Janeiro – Brazil. P.443 – 448.
 - 54 Knudsen T., Olsen B.P. Automated Change Detection for Updates of Digital Map Databases. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 69, No. 11, November 2003, pp. 1289–1296.
 - 55 Junhee Youn, Bethel J.S., Mikhail E.M., Changno Lee. Extracting Urban Road Networks from High-resolution True Orthoimage and Lidar. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 74, No. 2, February 2008, pp. 227–237.
 - 56 Hu, X., C.V. Tao, and Y. Hu. Automatic road extraction from dense urban area by integrated processing of high resolution imagery and lidar data, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey, 12–23 July 2004, unpaginated CD-ROM.
 - 57 Anil P.N., Natarajan S. Automatic Road Extraction from High Resolution Imagery Based On Statistical Region Merging and Skeletonization/International Journal of Engineering Science and Technology, Vol. 2(3), 2010, 165-171

- 58 Dal Poz A. P., Gallis R. A., da Silva J. F. C. Semiautomatic road extraction by dynamic programming optimisation in the object space: single image case. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34, Part XXX
- 59 Callier S., Saito H. Automatic Road Extraction from Printed Maps. MVA2011 IAPR Conference on Machine Vision Applications, June 13-15, 2011, Nara, JAPAN. P. 243-246
- 60 Чуприна, Е.П. Цифровая технология прямого обновления топографической карты масштаба 1 : 200 000 / Е.П. Чуприна, Н.И. Мазаева // *Геодезия и картография*. – 2002. – № 1. – С. 11–14.
- 61 Haihong Li. Semi-automatic road extraction from satellite and aerial images. A dissertation submitted to the Swiss Federal Institute of Technology for the degree of doctor of technical Sciences. Zurich, 1997.
- 62 Вежневек А., Баринаова О. Методы сегментации изображений: автоматическая сегментация. *Компьютерная графика и мультимедиа*. Выпуск №4(4)/2006. <http://cgm.computergraphics.ru/content/view/147>
- 63 Lucchese L., Mitra S.K. Color Image Segmentation: A State-of-the-Art Survey. 2001
- 64 Tremeau A., Borel N. Region growing and Merging Algorithm to color segmentation. *Pattern Recognition*, 1997
- 65 Kanai Y. Image Segmentation Using Intensity and Color Information. *SPIE – Visual Communications and Image Processing'98*
- 66 Cramariuc B., Gabbouj M., Astola J. Clustering Based Region Growing Algorithm for Color Image Segmentation. *Int. Conf. on Digital signal Processing*, 1997
- 67 Deng Y., Manjunath B. S., Shin H. Color Image Segmentation. *CVPR* 1999

- 68 Jain R., Kasturi R., Schunck B. G. Machine Vision 1995
- 69 Bow S.-T. Pattern Recognition and Image Preprocessing. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, 1992.
- 70 Celenk M. Hierarchical Color Clustering for Segmentation of Textured Images. Proc. of the 29th Southeastern Symposium on system Theory, 1997
- 71 Digabel H., Lantujoul C. Iterative Algorithms. Proc. of the 2nd European Symp. on Quantitative Analysis of Microstructures in Material Science, Biology and Medicine, 1977
- 72 Shafarenko L., Petrov M., Kittler J. Automatic Watershed segmentation of Randomly Textured Color Images. IEEE Trans. on Image Processing, 1997
- 73 Barni M., Rossi S., Mecocci A. A Fuzzy Expert System for Low Level Image Segmentation. EUSIPCO-96
- 74 Ji S., Park H. W. Image Segmentation of Color Image Based on Region Coherency. Proc. of ICIP'98
- 75 German S., German D. Stochastic Relaxation, Gibbs Distributions, and the Bayesian Restoration of Images. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984
- 76 Cross G. R., Jain A. K. Markov Random Field Texture Models. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983.
- 77 Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. — 752 с
- 78 Veksler O. Image Segmentation by Nested Cuts. NEC Research Institute, 2000.
- 79 A New Graph-Theoretic Approach to Clustering and Segmentation (CVPR03)
- 80 Sharon E., Brandt A., Basriy R. Fast Multiscale Image Segmentation. CVPR 2000.

- 81 Sharon E., Brandt A., Basriy R. Segmentation and Boundary Detection Using Multiscale Intensity Measurements. CVPR 2001.
- 82 Galun M., Sharon E., Basri R., Brandt A. Texture Segmentation by Multiscale Aggregation of Filter Responses and Shape Elements. ICCV 2003.
- 83 Legal-Ayala H.A., Facon J. Image Segmentation By Learning Approach. 2003
- 84 Fowlkes C., Martin D., Malik J. Learning Affinity Functions for Image Segmentation: Combining Patch-based and Gradient-based Approaches. 2003
- 85 Fowlkes C., Malik J. How Much Does Globalization Help Segmentation. 2003
- 86 Ziems, M.; Fujimura, H.; Heipke, C.; Rottensteiner, F. (2010): Multiple-model based verification of Japanese road data, In: IntArchPhRS vol. XXXVIII-4-8-2/W9, Haifa, 2010, p. 13-19
- 87 Ziems, M.; Breitkopf, U.; Heipke, C.; Rottensteiner, F. (2012): Multiple-model based verification of road data. In: ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume I-3, 2012. XXII ISPRS Congress, 25 August – 01 September 2012, Melbourne, Australia
- 88 Марчуков В.С. Теория и методы тематической обработки аэрокосмических изображений на основе многоуровневой сегментации. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук 25.00.34 – аэрокосмические исследования земли, фотограмметрия. Москва, МИИГАиК, 2011
- 89 Онешко А.В. Выделение объектов на изображениях радиотехнических систем наблюдения с использованием прямолинейных сегментов границ. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук 05.12.04 –

- радиотехника, с том числе системы и устройства телевидения. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. М.А. Бонч-Бруевича, 2013
- 90 Агилар Вильегас Хуан Мартин. Разработка и исследование фотограмметрической технологии создания и обновления топографических карт на территорию Мексики по космическим сканерным снимкам с использованием архивных мелкомасштабных аэрофотоснимков. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Москва 2008
- 91 Вахтанов А.С. Исследование компьютерных технологий обновления топографических карт по материалам космической съемки (масштабы 1:25000- 1:200000). Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Московский государственный университет геодезии и картографии, 2002.
- 92 Ву Зань Туен. Разработка методик обработки многозональных снимков и данных ГИС для обновления карт использования земель Вьетнама. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук 25.00.34 – Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия, Москва, 2011
- 93 Zheltov S.Yu., Vizilter Yu.V. Robust Computer Image Analysis for Flight Vehicles Navigation, Guidance, 16th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, vol.2., St.Petersburg, 2004, pp 164-167.
- 94 Лавриненко А. А. Методы, алгоритмы и системы обработки растровых аэрокосмических изображений объектов дорожной сети. Диссерт. ... к.т.н. 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации. Курск, ФГБОУ ВПО «Юго-Западный государственный университет», 2014 – 90 с.

- 95 Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 512 с.
- 96 Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2000. - 1072 с.
- 97 Abdallah R.A. Assessment accuracy of the topographic raster maps – Iraq; НУЛП, Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск I (29), 2015, с. 152-155.
- 98 Абдаллах Р.А. Исследование геометрических свойств топографических растровых карт Ирака. ДонНТУ, Наукові праці, серія: гірничо – геологічна. Випуск 1(18) 2013, с. 126 - 130.
- 99 Abdallah R. Geometric characteristics of Iraq’s raster topographic maps used for automatic updating the road network. Geomatics, Landmanagement and Landscape. Poland, University of Agriculture Krakow. 2015, № 3. pp 7-18.
- 100 Абдаллах Р. Четверіков Б. Дослідження динаміки розвитку дорожньої мережі Іраку на прикладі міста Сулейманія. НУЛП, Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, випуск I(31), 2016.???
- 101 Дорожинський О. Абдаллах Р. Методика автоматического выделения дорог на спутниковых снимках. КНУБА, Інженерна геодезія. ???