

УДК 332.6

ПРО ДЕЯКІ ВИМОГИ КАДАСТРОВИХ РОБІТ ДО АЕРОКОСМІЧНОГО ЗНІМАННЯ

О. Дорожинський, С. Почкін
Національний університет “Львівська політехніка”

Постановка проблеми

Виконання кадастрових робіт в країнах пострадянського простору ґрунтується на все ширшому використанні даних аерокосмічного знімання. Це дає змогу виконувати широкомасштабні роботи на значних територіях, формувати картографічні бази даних, що в суті своїй є процедурою, скерованою на автоматизацію земельного кадастру та об'єктивну оцінку стану і раціонального використання земельних ресурсів. У цій проблемі є ще багато невирішених завдань, які висуває і сучасна практика, і сучасний стан наукового супроводу картографічних робіт, який безперервно вдосконалюється.

Зв'язок з важливими науковими і практичними завданнями

Картографічне забезпечення кадастрових робіт в Україні тісно пов'язане із проведенням земельної реформи, а в Республіці Білорусь із розв'язанням завдань загальнодержавного значення – відслідковування стану земельних ресурсів та раціонального їх використання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених розв'язанню даної проблеми

Проблематика картографічного забезпечення кадастрових робіт, вимоги до картографічних матеріалів, основні методологічні засади і положення викладені в роботах [1–6.], а також у роботах відомих науковців і практиків А.М. Третяка, М.Г. Лихогруда, Л.М. Перовича, Р.М. Панаса, П.Г. Черняги, М.Г. Ступеня, А.А. Лященка, Ю.О. Карпінського, С.П. Войтенка та багатьох інших. Що стосується точності картографічних матеріалів, прийнятої проекції, системи координат і висот, то за цими параметрами вони зорієнтовані на нормативні документи СРСР, в яких сформульовані високі вимоги до топографічних карт і планів. До них насамперед належать: “Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів від 1:10 000 до 1:1 000 000”, затверджених наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України №156 від 31.12.1999р. [4], “Инструкция по топографическим съемкам в масштабе 1:10 000, 1:25 000. Полевые работы”[5], затверджені ГУГК СССР 26.04.1977г.

Постановка завдання.

Кадастрові роботи висувають доволі жорсткі критерії оцінки картографічних матеріалів, які є основою для функціонування кадастрових систем. Нами сформульовані основні вимоги до картографічного забезпечення кадастрових робіт.

Перша вимога стосується точності нанесення об'єктів на карту (план).

Друга вимога стосується змісту картографічного наповнення карт (планів), що істотно пов'язано з якісним відтворенням (відображенням) об'єктів на картах (планах).

Третя вимога пов'язана з актуалізацією картографічної інформації, тобто карта (план) повинна відображати реальний стан території на певний період функціонування кадастрової системи.

Четверта вимога стосується кадастру в такій місцевості, де вартість одиниці площі є високою, а похибка у визначенні площі ділянки істотно впливає на нормативно-грошову оцінку землі. Існують й інші вимоги, які можна класифікувати як похідні від попередніх або як другорядні.

Виклад основного матеріалу

Описані вище вимоги є основою для формулювання основних критеріїв оцінки аеро-та космічних зображень в плані їх можливого використання для кадастрових робіт.

Критерій 1: геометрична точність аеро-та космічних знімків повинна забезпечити необхідне по точності нанесення об'єктів на кадастрові карти (плани). Геометричну точність ще прийнято називати просторовою роздільною здатністю.

Критерій 2: радіометрична роздільна здатність аеро-та космічних зображень повинна забезпечити якісне, повноцінне розпізнавання на знімках об'єктів, що становлять зміст кадастрових карт (планів).

Критерій 3: частота виконання аеро-та космічного знімання повинна бути такою, щоб забезпечити кадастрові системи актуальною інформацією (карти, плани не можуть бути застарілими).

Критерій 4: визначення площі земельної ділянки повинно бути настільки точним, щоб ця похибка істотно не впливала на нормативно-грошову оцінку ділянки.

Розглянемо детальніше ці питання.

Вплив просторової роздільної здатності аерознімків

З теорії фотограмметрії, наприклад, [7], відомо, що під час використання аерофотознімання похибка m_x планового положення пункта на землі обчислюється так:

$$m_x = \frac{H}{f} \times m_\phi = m \times m_\phi, \quad (1)$$

де H – висота фотографування; f – фокусна віддаль аерокамери; m – знаменник масштабу знімка; m_ϕ – похибка фотограмметричних вимірювань.

Оскільки допуском на точність картографування є величина m_k в масштабі карти 1:М, то маємо:

$$m_x = M \times m_k, \quad (2)$$

З (1) отримаємо формулу для планованого масштабу аерознімка:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{M} \times \frac{m_\phi}{m_k}. \quad (3)$$

Величину m_ϕ можна трактувати як середню похибку нанесення тих чи інших точок (контурів) на карту. З вимог [2] маємо:

- для поворотних точок меж = 0,2 мм,
- для чітких контурів = 0,5 мм,
- для будівель = 0,4 мм,
- для нечітких контурів = 1,0 мм.

Отже, найвища вимога становить $m_k = 0,2$ мм, яку і приймемо для подальших обчислень:

$$\frac{1}{m} = \frac{1}{M} \times \frac{m_\phi}{0,2 \text{ мм}}. \quad (4)$$

Що стосується точності фотограмметричних вимірювань, то на підставі даних з різних літературних джерел можна стверджувати, що сучасні аерознімальні системи та вимірювальні прилади дають змогу отримувати фотограмметричні координати з точністю від 0.002 мм (т.зв. бездисторсійні знімальні системи) до 0.015 мм. Беручи до уваги такі відомості, можна отримати рекомендовані масштаби аерознімання для кадастрових карт в Україні та Білорусі (таблиця 1). При цьому карти в масштабах 1:500000, 1:200000 і 1:50000 опустимо, бо вони, як правило, створюються методом картографічної генералізації з карт більших масштабів.

**Теоретичні масштаби аерофотознімання для кадастрових робіт в Україні та в Білорусі
(для поодинокого знімка)**

Україна	Білорусь	Масштаб карти	Похибка фотограмметричних вимірів, мкм	Масштаб знімання
Назва карти	Назва карти, клас			
Індексна кадастрова карта. Ортофотокарта для с/г угідь	Карти класу А,С: земель регіону (А) сільських населених пунктів земель с/г, лісгосп, інших підприємств (А),(С)	1:10000	7	1:285000
			10	1:20000
			15	1:133000
Індексна кадастрова карта для сільських населених пунктів Ортофотокарта для такої території	Карти класу А,С: земель сільських населених пунктів (А),(С) земель с/г, лісгоспів, інших підприємств (С)	1:5000	7	1:143000
			10	1:100000
			15	1:67000
Індексна кадастрова карта для населених пунктів з числом жителів більше 200000 Ортофотокарт для такої території	Карти класу А,С: для міст, селищ міського типу (А),(С).	1:2000	7	1:57000
			10	1:40000
			15	1:27000

Аналіз наведених розрахунків свідчить про високий потенціал сучасних фотограмметричних технологій, і навіть може видаватись неправдоподібним. Якщо оцінити співвідношення масштаб аерознімка /масштаб карти для останнього рядка табл. 1, то виявимо, що це співвідношення 1:27000/1:2000 становитиме 13,5. Проте наведені в підручнику [10] аерофотознімки для камери RC-30 показують, що збільшення оригінального знімка допустиме до 15 разів без втрати якості зображення.

Розрахунки, наведені в табл. 1, стосуються того випадку, коли маємо поодинокий знімок, прив'язаний до геодезичної мережі, тобто коли маємо суцільну прив'язку знімків. У реальних умовах суцільна прив'язка не проводиться, а виконується згущення опорної мережі методом фототріангуляції. Тому параметр m_ϕ знижується в кілька разів, і залежить від деяких чинників: це блочна чи маршрутна фототріангуляція, використання бортової GPS для фіксації координат центрів фотографування, довжини маршрутів, густота опорної мережі, точність фотограмметричних вимірювань та ін. Досвід показує, що точність фотограмметричних побудов в сучасних умовах зменшує величину m_ϕ в 3–5 разів.

Доречно зауважити, що при великомасштабному картографуванні не є доцільним значне розрідження опорної мережі, бо віддалі між опорними точками є невеликими, і тому переїзди, переходи, транспортні витрати істотно не впливають на загальну вартість і час виконання робіт. Приймемо коефіцієнт пониження точності такий, що дорівнює 3, і для величин m_ϕ в колонці 4 (табл. 1) запишемо збільшені в три рази похибки: 21 мкм, 30 мкм, 45 мкм. У табл. 2 отримуємо рекомендовані масштаби аерознімання для кадастрових робіт.

Рекомендовані масштаби аерофотознімання

Україна	Білорусь	Масштаб карти	Похибка фотограмметричних вимірів, мкм	Масштаб знімання
Назва карти	Назва карти, клас			
Індексна кадастрова карта. Ортофотокарта для с/г угідь	Карти класу А,С: земель регіону (А) сільських населених пунктів земель с/г, лісгосп, інших підприємств (А),(С)	1:10000	28	1:95000
			40	1:67000
			60	1:44000
Індексна кадастрова карта для сільських населених пунктів Ортофотокарта для такої території	Карти класу А,С: земель сільських населених пунктів (А),(С) земель с/г, лісгоспів, інших підприємств (С)	1:5000	28	1:47000
			40	1:33000
			60	1:22000
Індексна кадастрова карта для населених пунктів з числом жителів більше 200000 Ортофотокарт для такої території	Карти класу А,С: для міст, селищ міського типу (А),(С).	1:2000	28	1:19000
			40	1:13000
			60	1:9000

Отримані тут масштаби знімання наближаються до рекомендацій [1, 2, 6] за умови, що похибка фотограмметричних вимірювань дорівнює 15 мкм, а фототріангуляція понижує точність побудов в 3 рази. Це свого роду перестраховання від можливих негативних впливів. У цьому проявляється певна недовіра до сучасних високоточних фотограмметричних технологій.

Вплив просторової роздільної здатності цифрових аерозображень

Цифрові аерознімальні системи поступово витісняють фотографічні системи, про що свідчать численні публікації. Тому доцільно розглянути критерій 1 для таких цифрових систем. Основним геометричним параметром, що описує геометричну точність знімальної системи, є P – просторова роздільна здатність, виражена в розмірі пікселя на землі. Його величина встановлюється на підставі експериментальних даних і подається як остаточна величина для знімальної системи. Особливо це актуально для систем космічного базування. Під час аерознімання можливий дещо інший підхід, який полягає ось у чому. Подамо це на прикладі системи ADS 40, для якої технічні характеристики є такими:

- фокусна віддаль становить $f = 62,5$ мм,
- розмір пікселя в площині лінійки (зображення) $\Delta x = 0,007$ мм.

Просторова роздільна здатність ΔX залежить від висоти знімання H і обчислюється так:

$$\Delta X = \frac{H}{f} \times K \times \Delta x, \quad (5)$$

де K – деякий коефіцієнт, що залежить від якості знімальної системи, визначається експериментально.

Прийемо, що $K = 2$, і це означатиме, що розмір пікселя на зображенні становитиме 0,014 мм, що погоджується з реальною точністю фотограмметричних вимірювань.

Тоді величина ΔX становить

$$\Delta X = \frac{H \cdot K \cdot \Delta x}{f} = H / 4464. \quad (6)$$

Потрібна точність картографування $0,2 \text{ мм} \times M$ повинна узгоджуватись з величиною ΔX та впливом на весь процес картографування фототріангуляційних побудов. Приймаючи вплив останньої з коефіцієнтом 3, отримаємо

$$\Delta X = \frac{0,2 \text{ мм} \times M}{3} = 0,067 \text{ мм} \times M. \quad (7)$$

Підставляючи (7) в (6), отримаємо

$$H = 4464 \times \Delta X = 299 (\text{мм}) \times M. \quad (8)$$

Масштаб аерознімання тепер не є важливою величиною, проте можна поррахувати традиційно:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H}. \quad (9)$$

У табл. 3 подано рекомендовані масштаби аерознімання у разі використання цифрової знімальної системи.

Таблиця 3

Рекомендовані масштаби знімання цифровою камерою ADS 40

Україна	Білорусь	Масштаб карти	Висота польоту, м	Масштаб знімання
Назва карти	Назва карти, клас			
Індексна кадастрова карта. Ортофотокарта для с/г угідь	Карти класу А,С: земель регіону (А) сільських населених пунктів земель с/г, лісгосп, інших підприємств (А),(С)	1:10000	2990	1:47800
Індексна кадастрова карта для сільських населених пунктів Ортофотокарта для такої території	Карти класу А,С: земель сільських населених пунктів (А),(С) земель с/г, лісгоспів, інших підприємств (С)	1:5000	1500	1:24000
Індексна кадастрова карта для населених пунктів з числом жителів більше 200000 Ортофотокарт для такої території	Карти класу А,С: для міст, селищ міського типу (А),(С).	1:2000	600	1:9500

Виконані розрахунки добре узгоджуються між собою та з результатами практичних робіт, виконаних як в Україні, так і в європейських країнах.

Вплив просторової роздільної здатності космічних зображень

Для супутникових зображень розрахунки мають дещо інший характер. Просторова роздільна здатність (розмір пікселя на землі) є сталою величиною для цієї знімальної системи, оскільки висота орбіти (аналог висоти польоту під час аерознімання) є сталою і незмінною величиною. Тому маніпулювання масштабом знімання є неможливим. Окрім цього, власники знімальних систем космічного базування, як правило, не надають точної інформації про елементи орієнтування зображень. Все це в сукупності вимагає іншого підходу до визначення можливостей космічних знімків для кадастрових робіт.

Спочатку обрахуємо теоретичну придатність космічних зображень для картографування територій, беручи до уваги просторову роздільну здатність знімальної системи ΔX_c та допустиму точність картографування:

$$\Delta X = 0,2 \text{ мм} \times M = \Delta X_c. \quad (10)$$

Звідси отримаємо

$$M = \frac{\Delta X_c}{0,2 \text{ мм}}. \quad (11)$$

Використаємо відомості про просторову роздільну здатність різних знімальних супутникових систем [7] та про граничні масштаби картографування (табл. 4).

Таблиця 4

**Граничні масштаби картографування та рекомендовані
до використання супутникові знімальні системи**

Україна	Білорусь	Граничні масштаби картографування	Масштаб карти	Тип супутника
Тип карти	Тип карти, клас			
немає		1:150000	-----	Land Sat 7
немає		1:117000	-----	IRS-1C
Тематичні карти	Клас Д2	1:100000	1:100000	SPOT1-4
Повна базова карта району	Підклас В3	1:50000	1:50000	SPOT4
-----//-----	-----//-----	1:29000 1:25000 1:20000 1:12000	1:50000	IRS-1C SPOT5 IKONOS EROS A
Індексна кадастрова карта сільських населених пунктів	Клас С	1:5000 1:3500 1:3000	1:5000	IKONOS EROS B Quick Bird

Наведені розрахункові дані дають завищені показники, оскільки не враховується процес створення ортофотокарт.

Як відомо, для виконання цієї складної операції необхідно побудувати цифрову модель рельєфу (ЦМР), а також виконати трансформування з використанням опорних точок. Для підтвердження цього наведемо деякі відомості про найточнішу сьогодні знімальну систему Quick Bird [8, 9, 11] та типи продукції (табл. 5).

Таблиця 5

Типи зображень від QuickBird та види корекції

Вид корекції знімка	Назва(тип) продукту після попередньої обробки			
	Basic	Standart	Ortho Ready Standart	Ortorectified
Радіометрична	+	+	+	+
Калібрувальна (приведена до математичної моделі приймача)	+	+	+	+
Геометричне (трансформування)	-----	+	+	+
Ортотрансформування	-----	приблизно	+	Точно
Трансформування опорними точками	-----	-----	-----	+

Як очевидно з табл. 5, продукція має чотири типи, які різняться між собою рівнем попередньої обробки і придатності кінцевого продукту для картографічних цілей.

Усі види зображень проходять радіометричне виправлення та приводяться до прийнятих калібрувальних параметрів системи (це аналог внутрішнього орієнтування для аерокамер з центральною проекцією).

Далі рівень опрацювання відрізняється, бо вимагає наявності ЦМР та опорних точок. Повна інформація про чинні стандарти опрацювань подані в роботах [8, 9].

Експериментальні дослідження показали, що точність побудованого ортофотоплану істотно залежить від точності ЦМР. У табл. 6 подані узагальнювальні результати.

Таблиця 6

Допустимий масштаб ортофотоплану за заданої точності ЦМР

Точність ЦМР, середня кв. похибка, м	Допустимий масштаб ортофотоплану
0,6	1:2000
1.0	1:5000
1.7	1:10000

Отже, лише супутникові системи, які мають просторову роздільну здатність 0,6 м, краще можна застосовувати для кадастрових робіт. При цьому не врахована радіометрія зображень, що є предметом окремих досліджень.

Висновки

Сучасні аерознімальні системи і фотограмметричні технології відповідають вимогам кадастру до картографічних матеріалів. Натомість космічні системи навіть надвисокої роздільної здатності не можуть поки що забезпечити в повному обсязі вимоги земельного кадастру в Україні та в Республіці Білорусь.

Література

1. Основные положения о кадастровых картах и планах, создаваемых для целей государственного земельного кадастра и мониторинга земель Республики Беларусь. Государственный комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь. – Минск, 1999. – 7 с.
2. Технические требования к базовым кадастровым картам и картам административно-территориального деления Республики Беларусь. Государственный комитет по земельным ресурсам, геодезии и картографии Республики Беларусь. – Минск, 1999. – 12 с.
3. Сучасний стан земельної реформи в Україні. Державний комітет України по земельних ресурсах. – К.: Урожай, 2005. – 98 с.
4. Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів від 1:10000 до 1:1000000. Головне управління геодезії, картографії та кадастру України Наказ №156 від 31.12.1999 р.
5. Інструкція по топографічних зйомках в масштабах 1:10000 і 1:25000. Польові роботи. Затверджено ГУГК СРСР 26.04.1977 р.
6. Проект видачі державних земельних актів на право власності на землю в сільській місцевості та розвиток системи кадастру. Позика №4709-ИА. Державний комітет України по земельних ресурсах. Договір №ДКЗ-4-ІСВ.6.119 Заміна сертифікатів на право власності на земельну частку (пай) державними актами на право власності на земельну ділянку і створення базових та індексних кадастрових карт. – К., 2006. – 121 с.

7. Дорожинський О.Л., Тукай Р. Фотограмметрія. – Львів. Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – 330 с.
8. Ардов В., Карионов Ю. и др. Определение точностных характеристик снимков QuickBird. 5-ый Международный семинар пользователей систем Photomod. Тезисы докл. – Юрмала, 2005.
9. QuickBird Imagery product Guide. – Revision 4.5. Release date: 16 march 2005.-Digital Globe.
10. Дорожинський О.Л. Основи фотограмметрії. – Львів. Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2003. – 212 с.
11. Барладін О., Ярошук П. Використання космічних знімків QuickBird для створення і оновлення карти великого міста (на прикладі Києва) // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Львів, 2006. – С.183–190.

Про деякі вимоги кадастрових робіт до аерокосмічного знімання

О. Дорожинський, С. Почкін

Сформульовані вимоги до матеріалів аеро- та космічного знімання, що висувуються кадастровими роботами в Україні та в Республіці Білорусь. Детально розглянуто критерій оцінки точності, що ґрунтується на просторовій роздільній здатності зображень. Зроблено висновок, що сучасні аерозображення та фотограмметричні технології забезпечують вимоги кадастру, тоді як сучасні космічні зображення навіть надвисокої роздільної здатності не можуть в повному обсязі забезпечити вимоги земельного кадастру.

О некоторых требованиях кадастровых работ к материалам аэрокосмических съемок

А. Дорожинский, С. Почкин

Сформулированы требования к материалам аэро- и космических съемок, выдвигаемых кадастровыми работами в Украине и в Республике Беларусь. Детально рассмотрен критерий оценки точности, основанный на пространственной разрешающей способности изображений. Сделан вывод о том, что современные аэроизображения и фотограмметрические технологии обеспечивают требования кадастра, а современные космические снимки даже сверхвысокого разрешения не могут в полном объеме удовлетворить требования земельного кадастра.

About some requirements of cadastral works for aerospace survey materials

O. Dorozhynskyu, S. Pochkin

There were formulated the requirements to materials of aerial and space surveys advanced by the cadastral works in Ukraine and republic of Belarus. The criterion of accuracy evaluation, based on the spatial image resolution, is considered in detail. There was made conclusion that modern aerial images and photogrammetric technologies provide the cadastre requirements, and modern space images, even high resolution, can not completely satisfy the requirements of land cadastre.