

УДК 528

**ОПРАЦЮВАННЯ ДАНИХ ЗЙОМКИ
БПЛА З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ
ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ
ЗАПЛАВНО-РУСЛОВОГО
КОМПЛЕКСУ (НА ПРИКЛАДІ
МОДЕЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ «ТИСІВ»,
Р.СУКІЛЬ)**

**Назар Рибак¹, Юрій Андрейчук¹,
Лідія Дубіс¹, Ігор Бубняк²**

1. Географічний факультет, Львівський національний університет ім. Івана Франко, вул. Грушевського 4, Львів, Україна, 79005 email: nazar.ribak@gmail.com

2. Кафедра інженерної геодезії, Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери 12, Львів, Україна, 79013,

Розглядаються питання обробки даних зйомки за допомогою БПЛА для створення цифрових моделей флювіального рельєфу. Основним інструментом є програмний комплекс PCI Geomatica 2016, що забезпечив вирішення поставлених завдань. Виявлено головні проблеми перетворення цифрової моделі поверхні рельєфу та можливості її використання для геоморфологічних досліджень заплавно-руслового комплексу

Ключові слова: цифрова модель рельєфу (ЦМР); цифрова модель поверхні (ЦМП); безпілотні літальні апарати (БПЛА); геоінформаційні системи (ГІС); фотограмметрія; моделювання; ортофотоплан; PCI Geomatica.

Вступ

Постановка наукової проблеми та її значення. Інтенсивний розвиток сучасних геоінформаційних технологій з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА), дає змогу забезпечити оперативне картографування стану компонентів довкілля, зокрема рельєфу, а також процесів, що відбуваються на його поверхні. Застосування ГІС-технологій забезпечить швидке перетворення картографічної, топографо-геодезичної інформації в якісно новий вид, розширивши можливості її використання [Бурштинська та ін., 2007].

Дані для створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР) отримують з фотограмметричної зйомки, з наземного (геодезичного) вимірювання, за матеріалами дистанційного зондування землі або з використанням лазерних систем – лідарна зйомка [Бурштинська та ін., 2007].

Проте, після перетворення даних у ортофотоплан, ми отримуємо цифрову модель поверхні (ЦМП) [Хромых & Хромых, 2007], яка відображає

рельєф території разом із такими елементами як забудова, рослинність, мости, дорожньо-транспортна інфраструктура, транспортні засоби та іншими об'єктами, які не є елементами чи формами рельєфу. Використання такої цифрової моделі поверхні для геоморфологічних та гідрологічних досліджень буде некоректним, тому постає завдання відфільтрувати зайві елементи, які не стосуються флювіального рельєфу місцевості.

Перевагою ЦМР над ЦМП є можливість створення коректної, максимально наближеної до реальності матриці висот. Так, ми зможемо отримати достовірні морфометричні та морфологічні дані про річкову долину, та її елементи, а окремо – дані про інженерно-технічні споруди, рослинність та інші природні чи антропогенні об'єкти [Ковальчук & Михнович, 2008]. На підставі цих даних та низки гідрометеорологічних показників (максимальних рівнів та витрат води, кількості опадів, режиму проходження повеней) з'являється можливість аналізувати та моделювати гідрологічні, геоморфологічні й інші фізико-географічні процеси й явища, що відбуваються на даній території. З-поміж них – моделювати й оцінювати ризики затоплення територій паводковими та повеневими водами [Ковальчук & Михнович, 2008], інтенсивність розвитку екзогенних процесів як у межах заплавно-руслового, так і схилового комплексів [Хромых & Хромых, 2007].

Аналіз досліджень проблеми. Дослідження проблематики пошуку оптимальних методів математичної побудови цифрової моделі земної поверхні викладені у працях Бурштинської Х. В. Авторка розглядає низку математичних моделей для цифрового моделювання рельєфу та виводить оптимальну для різних умов апроксимації рельєфу [Бурштинська, 2001]. З точки зору флювіального рельєфу цікавою є праця 2007 року, у якій детально описано технологію побудови цифрової моделі рельєфу для створення плану дна русла річки [Бурштинська та ін., 2007]. Ковальчук І.П., Михнович А.В. здійснили ретельне моделювання паводків у верхній частині долини Дністра [Ковальчук & Михнович, 2008], визначили ризики затоплення та рівень, на який може піднятися вода у різних частинах долини, оцінили протипаводкову ефективність існуючих гребель під час паводків [Ковальчук & Михнович, 2008]. Костріков С.В. значну увагу приділяє флювіальній геоморфосистемі, зокрема геоінформаційному моделюванню водозбірної організації рельєфу; визначає загальні принципи вибору моделей і середовищ моделювання водозбірних басейнів [Костріков, 2005].

Питання точності ЦМР широко висвітлено у працях закордонних вчених S. Rozycki, W. Wolniewicz, Dąbrowski R., Kaczynski R., Majde A.. Вони розглядали проблеми визначення похибки при побудові

ортофотопланів та ЦМР на основі даних дистанційного зондування [Rozycki & Wolniewicz, 2005].

Remondino, F., та співавтори із Цюріхського університету дали оцінку можливості використання технологій БПЛА для картографування та складання 3-D моделей, визначили їхнє місце у сучасній науці та перспективи використання у майбутньому [Remondino et al, 2011].

Об'єкт дослідження – заплавно-руслівий комплекс частини р. Сукіль

Предмет дослідження – створення цифрової моделі рельєфу заплавно-руслового комплексу частини р. Сукіль

Мета. Визначити можливість створення цифрових моделей рельєфу заплавно-руслового комплексу на основі даних знімання БПЛА. Об'єкт дослідження охоплює заплавно-руслівий комплекс р. Сукіль у межах населеного пункту Тисів. Довжина відзнятого полігону становить 4,5 км, а ширина – 0,75 км, роздільна здатність зображення 299 пікселів на дюйм. Територія є репрезентативною, оскільки охоплює житлову забудову у межах надзаплавних терас, автомобільні дороги, мости, трубопроводи, та рослинний покрив.

Виклад основного матеріалу дослідження

У нашій роботі використовуємо два головні поняття, перше – поняття моделі поверхні, під яким Хромових В.В., Хромових О.В. розуміють особливий вид тривимірної математичної моделі, яка відображає поверхню ландшафту разом із наявною інфраструктурою та забудовою [Хромых & Хромых, 2007].

ЦМП будують на основі ортофотопланів, отриманих у результаті цифрової обробки аерофотознімків, отриманих за допомогою БПЛА, а також точних вимірювань додатковим геодезичним обладнанням на місцевості. У процесі підготовки отримані дані завантажують у відповідне програмне забезпечення, в якому здійснюють їх алгоритмічну обробку, створюють мозаїку відзнятої території та ортофотоплан [Хромых & Хромых, 2007].

Цифрову модель поверхні створюють для вирішення таких завдань: кадастр та землеустрій, оновлення карт, місцеве самоврядування, моніторинг території, планування будівельних робіт, геологічних робіт, проектно-пошукових робіт [Хромых & Хромых, 2007]. Загалом, ЦМП має здебільшого суспільно-географічне застосування. Для використання у геологічних чи геоморфологічних цілях цифрову модель поверхні слід перетворити у цифрову модель рельєфу [Хромых & Хромых, 2007].

Другим поняттям є цифрова модель рельєфу – дискретне, комп'ютерне представлення форм і елементів рельєфу у вигляді масиву точок з

відомими планіметричними координатами X, Y та висотами точок земної поверхні Z [Часковський та ін., 2009]. За допомогою цієї моделі виконують апроксимацію рельєфу з урахуванням особливостей морфології його поверхні, а також зв'язків між об'єктами, розташованими на земній поверхні [Дорожинський & Тукай, 2008; Лисицин, 2007; Часковський та ін., 2009; Пермяков, 2017].

Завдяки сучасному програмному забезпеченню в автоматичному режимі можна отримати цифрову модель рельєфу у вигляді хмари точок [Шинкевич та ін., 2015]. Точність цієї моделі буде залежати від кількох важливих факторів. Передусім, це якість відзнятого за допомогою БПЛА фотографічного матеріалу, наявність та точність визначених координат центрів фотографування, траєкторія та висота польоту БПЛА, площа території знімання [Tampubolon & Reinhardt, 2015]. Ці параметри здебільшого визначаються технічними характеристиками знімального апарату та встановленим на ньому обладнанням [Шинкевич та ін., 2015].

Окрім того, вихідні дані знімання залежать і змінюються під впливом атмосферних умов [Tampubolon & Reinhardt, 2015]. Найбільшою проблемою є вітер і теплові ефекти, які можуть стати причиною значних кутових зміщень елементів зовнішнього орієнтування – до десятків градусів, що може спричинити некоректну інтерпретацію при фотограмметричній обробці у програмному забезпеченні [Tampubolon & Reinhardt, 2015].

У нашому дослідженні для перетворення ЦМП у ЦМР з вилученням усіх елементів, які не стосуються рельєфу, використано багатofункціональне програмне забезпечення PCI Geomatica 2016.

Розглянемо короткий алгоритм роботи з вказаним програмним забезпеченням. При запуску програми PCI Geomatica спершу з'являється «Geomatica toolbar», в якому є 9 окремих модулів. ЦМР опрацьовують за допомогою модуля «Focus» - це візуальний простір для роботи з даними, отриманими з таких супутникових знімків як LANDSAT, SPOT, RADARSAT, WORLDVIEW, KOMPSAT, а також з безпілотних літальних апаратів. За допомогою цього модуля можна додавати дані ГІС та переглядати інформацію про атрибути.

Для того, щоб розпочати редагування, слід завантажити у програмне середовище ортофотознімок та ЦМП до нього. Відповідно до технологічної схеми перетворення ЦПП у ЦМР (рис. 1), першим кроком необхідно обирати команду Layer → DEM Editing → Create Polygon Layer (яка створює новий шар для редагування областей застосування фільтрів) → New Polygon (команда, за допомогою якої створюється область обробки у вигляді полігону) → Operation: (випадаюче вікно, яке дає можливість вибрати

необхідний фільтр) → Size: Gradient: (задаємо значення апроксимації рельєфу) → Apply (команда, яка застосовує фільтр зі вказаними параметрами).



Рис. 1. Технологічна схема перетворення ЦМП у ЦМР у програмі PCI Geomatica 2016

Важливою у цій технологічній схемі є побудова полігону з подібними елементами для їх відфільтрування (будинки, дерева, вибоїни тощо) та вибір фільтру з відповідними значеннями для їхнього усунення та якісного відображення рельєфу.

Цифрова модель поверхні частини басейну р. Сукіль поблизу с. Тисів містить такі елементи як житлова та нежитлова забудова, рослинний покрив, дороги, мости, трубопроводи, об'єкти сільськогосподарської та антропогенної діяльності. Їх потрібно відфільтрувати, відобразивши при цьому рельєф, на якому вони знаходяться, у природному вигляді.

У програмі PCI Geomatica 2016 для редагування ортофотознімків та цифрової моделі поверхні або рельєфу є 17 основних операцій. Кожна з них має певне призначення і працює лише з відповідними для неї об'єктами на території. Проте лише кілька з цих операцій є універсальними до застосування, інші – мають вузьке використання, наприклад «Road average filter», який використовуються для згладжування доріг, зберігаючи при цьому їхній нахил.

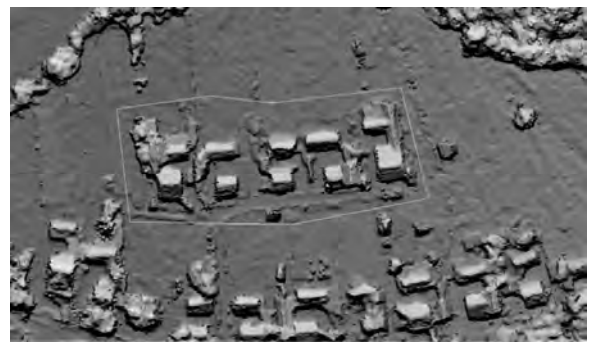
Нижче розглянемо кілька базових операцій потрібних для того, щоб забрати об'єкти які не відносяться до рельєфу, а також внести коригування у вигляд наявних об'єктів, таких як дороги та мости, що зазнали деформації при складанні ортофотоплану. Ці операції дають змогу перетворити цифрову модель поверхні у цифрову модель рельєфу.

Terrain filter (flat) застосовується для роботи із плоскими поверхнями. Він видаляє значення висот, що відповідають будівлям та поодиноким висотним об'єктам, і замінює їх пікселями під маскою з сусідньої вільної поверхні. Значення, яке вводиться у полі «Size», визначає розмір фільтра [PCI Geomatics, 2018]. Чим воно більше – тим більші значення висот буде видалено. Значення, яке вводиться у графі «Gradient», визначає максимальний нахил у градусах, що відповідає природному рельєфу, наприклад пагорбу [PCI Geomatics, 2018]. За допомогою цієї опції програма намагається зберегти особливості рельєфу нижче заданого порогу. Також можна встановити прапорець під «Allow blending subsequently» – це дасть змогу змішувати сусідні

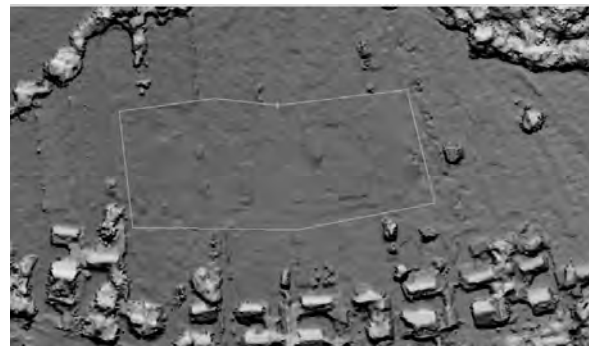
пікселі між побудованим полігоном та сусідніми областями, що зробить перепад висот плавним [PCI Geomatics, 2018].



а) ортофотознімок;



б) цифрова модель поверхні з окресленим полігоном;



в) цифрова модель рельєфу виділеного полігону із значеннями для фільтру Size: 200; Gradient: 10.

Рис. 2. Перетворення ЦМП у ЦМР за допомогою операції Terrain filter (flat).

Як бачимо, спершу на ортофотознімку визначаємо об'єкти для опрацювання Рис.2. (а). Далі переходимо у DEM Editing та вибираємо фільтр і задаємо йому відповідних значень. Аналогічно застосовуємо цей фільтр для усунення інших подібних об'єктів, що знаходяться на плоскій поверхні.

Terrain filter (rough) – цей фільтр оптимізований для роботи із горбистою та слабо-розчленованою місцевістю, який видаляє значення

висот, які відповідають будівлям, деревам та іншим об'єктам, замінюючи пікселі під маскою відповідними значеннями сусідньої поверхні землі [PCI Geomatics, 2018]. Змінні, що задаються, є аналогічними, що й у Terrain filter (flat). Алгоритм намагається зберегти особливості рельєфу нижче заданого порогу [PCI Geomatics, 2018]. Цей фільтр використовувався для опрацювання русла та його елементів із значеннями Size: 200-500; Gradient: 10-30%. Це дало змогу відфільтрувати зайві елементи і зберегти мікрорельєф на поверхні акумулятивних форм рельєфу в руслі.

Road median filter – цей фільтр застосовується для вирівнювання доріг [PCI Geomatics, 2018]. При побудові ЦМП навіть такий площинний та лінійний елемент як дорога зазнає спотворення і потребує подальшого опрацювання. Дія цього фільтру полягає у зчитуванні та усередненні значень лише з виділеної маски (обов'язково повинна бути прямокутної форми), а не з сусідніх областей, як у попередніх фільтрах, винятком є кінці маски [PCI Geomatics, 2018]. Це гарантує, що об'єкти поза дорогою не будуть змішуватись та впливати на саму дорогу, за винятком кінців, де дорога повинна змішуватись з дорогою поза маскою. Значення, яке ми вводимо у полі Size, визначає розмір фільтра [PCI Geomatics, 2018]. За необхідності можна також відмітити прапорець Blend, і у полі праворуч ввести значення ширини змішування. Це дасть змогу уникнути різких ліній перепаду по контуру полігону [PCI Geomatics].

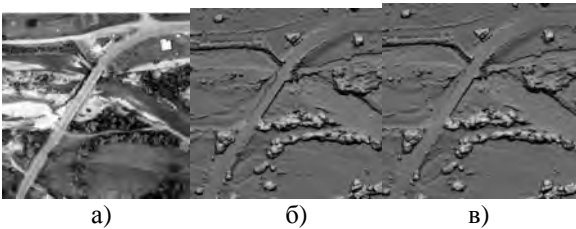


Рис.3. Коригування дороги та моста за допомогою Road median filter. а) ортофотознімок; б) ЦМП; в) ЦМП

Як видно на рис. 3. б, в., фільтр вирівняв лінійне відображення моста, усереднив і згладив значення висот дороги, не вплинувши на сусідні ділянки від краю дороги.

Remove bumps – фільтр для усунення нерівностей (додатних) [PCI Geomatics, 2018]. Подібний до Terrain filter, проте видаляє дрібні додатні форми поверхні. Значення Size визначає розмір фільтра. Параметр Gradient визначає максимальне значення у градусах, щоб його було видалено. Нижчі значення видаляють більше нерівностей, але також усунуть особливості місцевості, які мають бути збереженні [PCI Geomatics, 2018]. Цей фільтр використовується для дрібних об'єктів, наприклад великої рогатої худоби, поодиноких чагарників, автомобілів тощо.

Також його можна застосовувати після Terrain filter для усунення мікронерівностей, якщо такі є.

Remove pits – фільтр для усунення ям та невеликих заглиблень, він намагається заповнити невеликі заглиблення в ландшафті в області під маскою. Значення Size визначає розмір фільтра. Параметр Gradient визначає максимальне значення у відсотках, щоб його було видалено. Нижчі значення видаляють більше ям, але також можуть додати особливості місцевості, яких раніше не було [PCI Geomatics, 2018]. Сфера застосування цього фільтра є аналогічною до вищезгаданого фільтру Remove bumps [PCI Geomatics, 2018].

Програмне забезпечення PCI Geomatica коректно відфільтрує поодинокі об'єкти – такі як будівлі та дерева, замінюючи їх усередненими значеннями рельєфу, який оточує цей об'єкт [PCI Geomatics, 2018]. Проте інтерпретація рельєфу під щільною забудовою та рослинністю є ускладненою. Вихідні матеріали зйомки відображають лише видимі на поверхні об'єкти, наприклад, крони дерев. Рельєф землі, який є під ними – невідомий. А тому програма зчитує вершини крон дерев як мікрорельєф поверхні піднятої ділянки та згладжує горизонталі, які побудовані за кронами дерев, залишаючи саме насадження. Це питання не може бути вирішеним за допомогою даного програмного забезпечення, а тому отримана в межах роботи ЦМР має певні обмеження.

Друга проблема виникає при згладжуванні окремих об'єктів, розташованих уздовж підрізаного берега річки. При згладжуванні таких об'єктів згладжується і сама берегова лінія. У випадку з деревною та чагарниковою рослинністю берегова лінія не дешифрується, тому застосовувати інструменти «Terrain filter (flat)» або «Terrain filter (rough)» недоцільно, оскільки вони згладжують не лише вибрані об'єкти, а й рельєф під ними. Тому, при подальшій обробці матеріалу, підрізаний берег може бути показаним як акумулятивний. Вирішити цю проблему можна в ArcGis, вирівнюючи горизонталі вручну. Подібна проблема виникає і під час вилучення рослинності з островів.

Висновки

Безпілотні літальні апарати мають великий потенціал у швидкому та детальному картографуванні території. Їхня висока роздільна здатність дає змогу отримати матеріал для побудови ЦМП у великому масштабі. У той же час програмне забезпечення розкриває весь потенціал ЦМП та ЦМР. Щоб мати можливість працювати із цифровою моделлю рельєфу, слід відфільтрувати елементи, які не мають відношення до нього. Це можна зробити у різних програмних комплексах, у тому числі і в PCI Geomatica. Дане програмне забезпечення заміщує об'єкти вище або нижче поверхні землі сусідніми ділянками, у такий спосіб зберігаючи ландшафт у його теоретичному

природньому вигляді. У процесі роботи, нам вдалося відфільтрувати забудову, транспортні засоби, дорожньо-транспортну інфраструктуру та частково прибрати рослинний покрив. Алгоритми програми не дають змоги обробляти великі за площею та щільністю зелені насадження і потребують залучення додаткового польового обстеження із застосуванням геодезичного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бурштинська Х. Порівняльний аналіз побудови цифрових моделей рельєфу з використанням апроксимаційних функцій / Христина Бурштинська. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2001. – №61. – С. 137–148.
2. Бурштинська Х. Технологія побудови цифрової моделі рельєфу для створення плану дна ріки / Х. Бурштинська, І. Василюха, П. Коваль. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – №69. – С. 136–137.
3. Дорожинський О.Л. Фотограмметрія: підручник / О.Л. Дорожинський, Р. Тукай. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2008. – 332 с.
4. Ковальчук І. Моделювання паводків у долині верхнього Дністра / І. Ковальчук, А. Михнович // Праці Наукового товариства ім. Шевченка. – Л., 2008. – Т. XXIII: Екологічний збірник. Дослідження біогічного й ландшафтного розмаїття та його збереження. – С. 293–312.
5. Костріков С.В. Загальні принципи вибору моделей і середовищ моделювання водозбірних басейнів / С.В. Костріков // Культура народів Причорномор'я. – 2005. – № 67. – С. 24–29.
6. Лисицин В.Э. Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Практический курс на базе программных продуктов Erdas Imagine 9.1 и Leica Photogrammetry Suite / В.Э. Лисицин. – К., 2007. – 430 с.
7. Пермяков Р.В. Комплексное геоинформационно-фотограмметрическое моделирование рельефа в целях картографирования: автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата географических наук : спец. 25.00.33 – картографія / Р.В. Пермяков. – Москва, 2017.
8. Хромых В. В. Цифровые модели рельефа / В. В. Хромых, О. В. Хромых. – Томск, 2007. – 177 с. – (ТМЛ-Пресс). – (ISBN 5-91302).
- Часковський О. Створення цифрових моделей рельєфу на основі даних аерофотознімання / О. Часковський, С. Гаврилюк, В. Костишин. // Geodesy, architecture and construction. – 2009. – С. 150–151.

11. Шинкевич М. Оценка точности плотной цифровой модели поверхности и ортофотопланов, полученных по материалам аэрофотосъемки с БЛА серии Supercam / М. Шинкевич, Н. Воробьева, М. Алтынцев и др. // GEOMATICS. – 2015. – №4. – С. 37–41.

12. UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling - Current status and future perspectives. / [F. Remondino, L. Barazzetti, F. Nex та ін.]. // International archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences. – 2011. – №38. – С. 22.

13. Rozycki S. Assessment of dsm accuracy obtained by high resolution stereo images / S. Rozycki, W. Wolniewicz. // Institute of Photogrammetry and Cartography, Warsaw University of Technology. – 2005.

14. Tampubolon W. UAV Data Processing For Rapid Mapping Activities / W. Tampubolon, W. Reinhardt. // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2015. – №3. – С. 371–377.

PROCESSING DATA FROM UAV FOR THE CREATION OF THE DIGITAL MODEL OF THE RELIEF OF FLOAT-CHANNEL COMPLEX (CASE STUDIES FROM PILOTE "TYSIV" AREA, OF SUKIL RIVER

Nazar Rybak¹, Yuriy Andreychuk¹,
Lydia Dubis¹, IhorBubniak²

1. Geographical faculty, Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskogo 4 Str, Lviv, Ukraine, 79005, nazar.ribak@gmail.com

2 Department of Engineering Geodesy, National University Lviv Polytechnics, Bandera Str.12, Lviv, Ukraine, 79013

The article deals with the processing of data obtained from UAV for the creation of digital terrain models. The main tool is the PCI Geomatica 2016 software package, which provided the solution of the tasks. The main problems of digital surface model transformation and their use for geomorphological studies of the float -channel complex are revealed.

Keywords: digital terrain model (DEM); digital surface model (DSM); unmanned aerial vehicles (UAVs); geoinformation systems (GIS); photogrammetry; modeling; orthophotoplane; PCI Geomatica.