

УДК 528.92

МЕТОДИКА ВІДТВОРЕННЯ КОНТУРІВ ГІДРОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДАНИМИ АВІАЦІЙНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

А. Бабушка

Національний університет "Львівська політехніка"

Ключові слова: елемент гідрографії, гідрографічна мережа, лазерне сканування, імпульс, берегова лінія, ЦМР, растр відносної освітленості схилів, растр інтенсивності.

Постановка проблеми та аналіз літератури

Для правильного моделювання рельєфу земної поверхні, на який суттєво впливають руслові процеси, вагоме значення має точне відтворення гідрографічної мережі [1, 2]. Враховуючи велику різноманітність елементів гідрографії, їхню складність, а також недоступність у заліснених територіях, традиційний фотограмметричний метод не дає змоги виконати коректне і точне відображення елементів гідрографії під час створення топографічних планів і карт, а також для вузькоспеціалізованих гідрографічних досліджень. Тому в останні 15 років для цих цілей почали активно використовувати метод лазерного сканування місцевості, сфера застосування якого насправді є набагато ширшою. Лазерне сканування використовують у практиці моніторингу земної поверхні, для побудови цифрових моделей рельєфу та місцевості, дослідженні лісових масивів, для інженерно-вишукувальних робіт, екологічних досліджень, в електроенергетиці та інших прикладних завданнях [3].

Метод оснований на вимірюванні часу проходження лазерного імпульсу від джерела випромінювання (лазерного сканера, встановленого на повітряному носії) до об'єкта сканування і назад до приймача. Знаючи швидкість поширення лазерного променя в атмосфері, знаходять відстань до об'єкта [3, 5].

Основою типового лазерного сканера є напівпровідниковий лазер, який працює в імпульсному режимі. Найчастіше використовують лазер, який випромінює хвилі в близькому інфрачервоному діапазоні. Оптична система відхиляє лазерний промінь перпендикулярно до напрямку польоту, а за рахунок переміщення носія отримують сукупність смуг сканування. Оптична система спроектована так, що лазерний промінь проходить по тій самій оптичній траєкторії як на передавання сигналу, так і на приймання [5]. Частота випромінювання лазерних імпульсів в сучасних системах сягає 400 кГц.

Система повітряного лазерного сканування працює в інтеграції з чотирма основними системами вимірювання: 1) глобальна система позиціонування (GPS), яка застосовується для фіксування позиції авіаційної платформи; 2) інерційна навігаційна система (IMU), використовується для фіксування кутової орієнтації сенсора; 3) LiDAR (світлова реєстрація і вимірювання), система використовується для випромінювання і фіксування лазерних імпульсів; 4) сканувальна система перенапрявляє лазерний імпульс під прямим кутом вниз від платформи літального апарата для отримання смуг даних від поверхні землі. Додатково на борту носія встановлено фотокамеру, яка веде знімання усєї території сканування [5].

Особливістю лазерного сканера є те, що він може фіксувати не тільки просторове положення відбитих точок, а й інтенсивність відбитого сигналу. Тобто фіксується кількість відбитої від об'єкта енергії. За цією інформацією під час камеральної обробки створюють растр інтенсивності. Використовуючи відбиті здатності різних поверхонь, растр інтенсивності слугує додатковою інформацією для дешифрування.

Другою особливістю лазерного сканування є можливість фіксування декількох відбиттів енергії, яка стосується до одного випроміненого імпульсу. Тобто у разі потрапляння лазерного променя на рослинність частина енергії повертається до приймача, а частина проходить далі. Таких відбитих сигналів може бути до чотирьох. Ця особливість дає змогу отримувати інформацію безпосередньо про рельєф, а також інші об'єкти, які не можна ідентифікувати за допомогою зображень.

Основні переваги методу лазерного сканування:

- висока продуктивність;
- можливість знімання заліснених територій;
- результат не залежить від природної освітленості (можливість ведення знімання в нічний час);
- висока точність побудови ЦМР;
- час на отримання кінцевого продукту значно менший порівняно з традиційними методами;
- менші фінансові затрати;
- можливість одержання 3D-моделей об'єктів (наприклад, міст).

Найвідомішими виробниками апаратури для повітряного лазерного сканування є компанії TopoSys (Німеччина), Optech Inc. (Канада), Leica Geosystems (Швейцарія).

У таблиці наведено основні технічні характеристики деяких лазерних знімальних систем [6–8].

Лазерно-локаційний батиметр, або батиметричний лідар, працює за тим самим принципом, що і звичайний авіаційний лазерний сканер. Але до його складу входить не один, а два лазерні сканери імпульсного типу. Один з них працює у видимому діапазоні з довжиною хвилі 532–534 нм, інший – в близькому інфрачервоному діапазоні з довжиною хвилі 1064 нм. Імпульси першого лазера мають здатність проникати крізь маси води і доходити до дна. Імпульси інфрачервоного сканера використовують для того, щоб отримати відбиття від водної поверхні. Приймач забезпечує реєстрацію обох відбитих сигналів. Обмеженням для роботи лазерних батиметрів є наявність механічних і хімічних домішок у воді, які її забруднюють. За даними виробників, максимальна глибина, на якій можливе знімання в чистій воді, сягає 70 м.

Постановка завдання проблеми

Для створення цифрових топографічних планів та карт важливе значення має точне відображення елементів гідрографії зокрема.

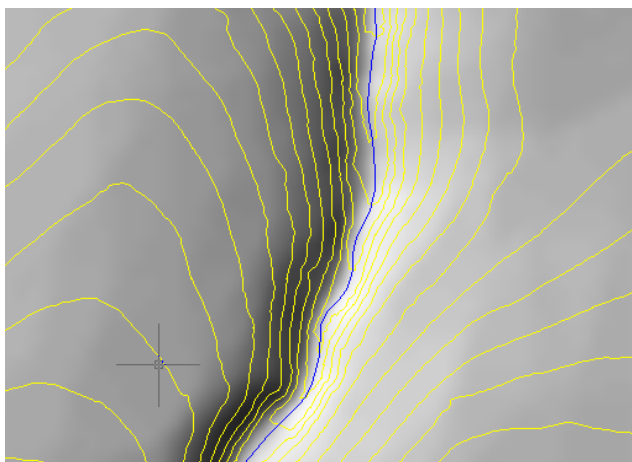


Рис. 1. Контрольні горизонталі й растр відносної освітленості схилів

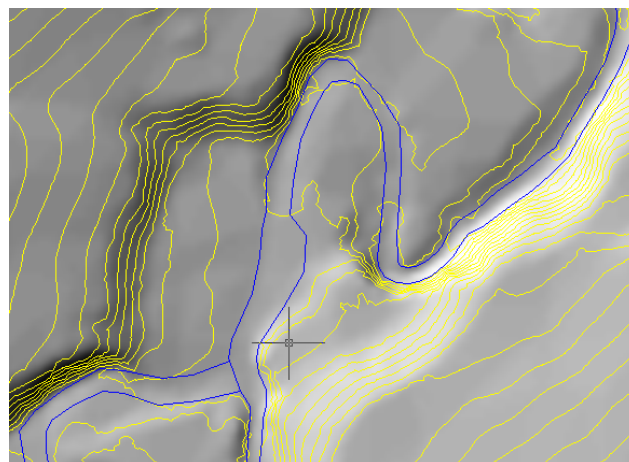


Рис. 3. Контрольні горизонталі й растр відносної освітленості схилів

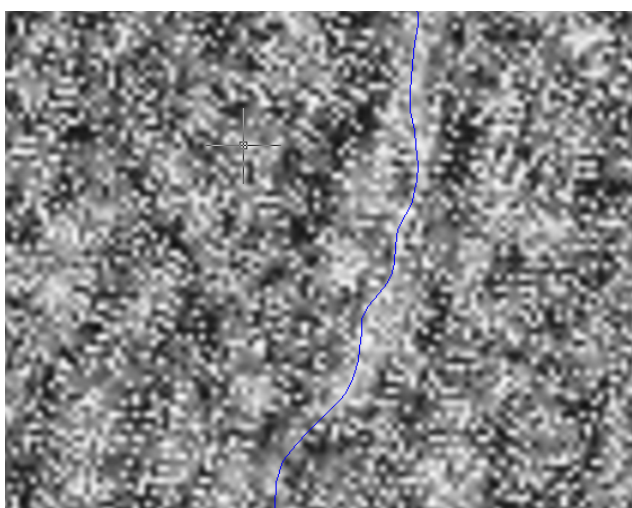


Рис. 2. Растр інтенсивності

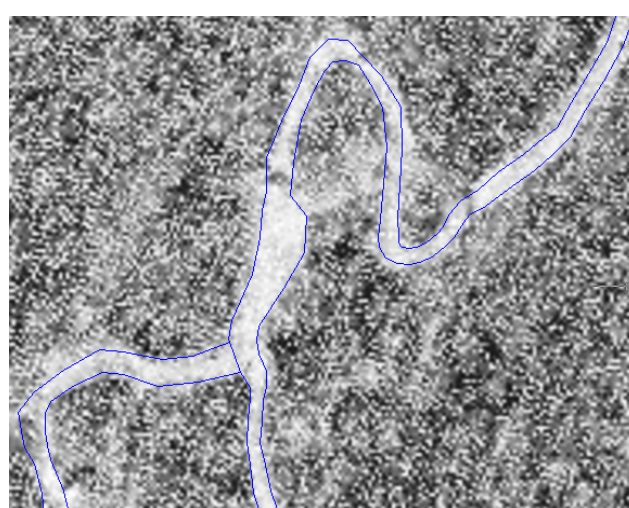


Рис. 4. Растр інтенсивності

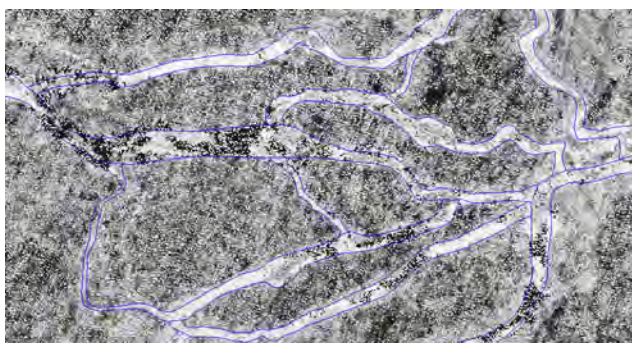


Рис. 5. Растр інтенсивності

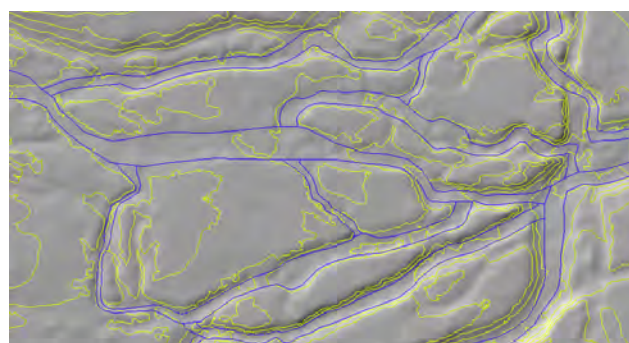


Рис. 6. Контрольні горизонталі й растр відносної освітленості схилів



Рис. 7. Ортофотозображення і контрольні горизонталі

Порівняно з найпопулярнішою системою компанії Ortech Inc. моделлю ALS3100, дані якої використано у поданих дослідженнях, у сучасних системах суттєво покращився тільки один параметр – ефективна частота повторення імпульсів, яка, наприклад, у моделі PEGASUS HD400 зростає більш ніж вдвічі [6].

Останніми роками для комплексного картографування озер, рік, шельфових зон морів та океанів використовують лазерно-локаційні батиметричні системи [9].

Основні технічні характеристики лазерних знімальних систем

Виробник	Leica Geosystems	Optech Incorporated	Optech Incorporated	TopoSys GmbH
Назва	ALS 60 Airborne Laser Scanner	ALTM 3100C	ALTM PEGASUS HD400	FALCON III
Висота польоту, м	200 – 4000	80 – 3500	300 – 2500	30 – 2500
Точність планових координат, см	7 – 64	1/2000 × H	1/5500 × H	< 20
Точність по висоті, см	8 – 24	< 15 – 35	< 5 – 15	< 10
Ефективна частота повторення імпульсів, kHz	35 – 200	33 – 100	100 – 400	50 – 125
Максимальна кількість зареєстрованих відгуків на кожен імпульс	4	4	4	9
Робочий діапазон хвилі, нм	1064	1064	1064	1560
Тип/клас лазера	Class IV	Class IV	Class IV	Class IV

Важливою є інформація про їхнє просторове положення, а також узгодження з рельєфом місцевості. Для такого узгодження і детальної ідентифікації використовують додаткову інформацію у вигляді растрових зображень і векторних шарів. Такою інформацією є:

- растр інтенсивності (створюють на підставі інформації про інтенсивність відбитого від певної поверхні сигналу);
- растр рослинності (створюють на основі точок лазерного відбиття, класифікованих як “рослинність”, це кольоровий растр, і кожному кольору відповідає певна висота рослинності);
- растр hillshade (тіньова модель рельєфу, яку будують за всіма точками лазерного відбиття, класифікованими як “земля”);
- ортофотозображення;
- контрольні горизонталі (векторний шар з горизонталями, які будують за всіма точками лазерного відбиття, класифікованими як “земля”);
- точки лазерного відбиття, які належать до класу “земля”.

У завдання дослідження входило за даними авіаційного лазерного сканування, зокрема контрольними горизонталями, растрами інтенсивності та відносної освітленості схилів, ортофотозображеннями, відтворити берегові лінії складних гідрографічних об’єктів, а також узгодити їх з рельєфом місцевості.

Виклад основного матеріалу та результати досліджень

Особливості лазерного сканування під час дослідження гідрографічних об’єктів. Сила інтенсивності відбитого сигналу залежить від частоти сканування, від розміру відбитого променя на поверхні, кута падіння променя на точку відбиття і спектральних характеристик поверхонь відбиття. Фізичні аспекти лазерного сканування пов’язані з відбивними властивостями поверхонь [4]. Деякі об’єкти і поверхні мають дуже високу відбивну здатність і тому відбиті промені мають значну інтенсивність; наприклад, металеві поверхні, як правило, мають високу відбивну здатність у близькому інфрачервоному діапазоні довжин хвиль. Свіжий асфальт або вологі поверхні поглинають більшу частину енергії лазерних хвиль близького інфрачервоного діапазону, що призводить до зниження енергії, яка повертається.

Існують певні особливості відбиття лазерного променя від поверхні водойм. Відкриті водойми утворю-

ють спеціальний стан, де відбивні властивості визначаються кутом падіння променя. Для бурхливої водної поверхні – це зазвичай ситуація, коли промені з високою інтенсивністю повертаються від надирного напрямку, тоді як промені, що відбилися від країв смуги сканування, повертаються з дуже слабким сигналом або повністю втрачають його. Дані про інтенсивність сигналів особливо корисні для ідентифікації певних ознак, оскільки растр інтенсивності подібний до чорно-білої фотографії.

У прибережних ділянках лазерний імпульс може відбитись від дна водойми або від рослинності, яка росте на мілководді. Виділити берегову лінію дуже важко в місцях, де вздовж берегів є густа рослинність, а також під час зображення гірських струмків, які протікають повністю під кронами дерев.

Важливою характеристикою лазерної системи є можливість неперервно випромінювати імпульси з високою повторюваною частотою (PRF – pulse repetition frequencies). Висока частота повторення імпульсів дає щільну кількість точок на поверхні і забезпечує високу точність опису поверхні. Але ця властивість обмежена можливістю системи перезаряджати енергію імпульсу після попереднього сигналу. Також є обмеження за висотою сканування у послідовних поодиноких імпульсах, випущених системою, які пов’язані з граничним значенням швидкості світла і неспроможністю сенсора розрізнити два імпульси, які перекриваються (збігаються). Тобто енергія від випроміненого імпульсу повинна повернутись до сенсора до того, як наступний імпульс буде випущений, інакше вона не запишеться [5].

У практичних ситуаціях досліджень компроміс часто шукають між високою частотою випущених імпульсів і високою енергією імпульсу. Наприклад, під час картографування густозарослих ділянок висока енергія лазерного імпульсу, проходячи через листя, дасть змогу реєструвати достатню кількість енергії від поверхні ґрунту. Зі зростанням частоти випущених імпульсів і, отже, зниженням енергії імпульсу, ймовірність проходження імпульсу до поверхні землі знижується, через те саме листя і повернутий до сенсора сигнал буде знижений. Однак більша кількість імпульсів на одиницю площі збільшить ймовірність того, що більше імпульсів досягне поверхні землі. Тому рішення прийняти високу частоту імпульсів або високу силу імпульсу в конкретній ситуації досліджень буває досить складним.

Камеральна обробка даних лазерного сканування місцевості. Процес камеральної обробки даних лазерного сканування місцевості проходить за два основні етапи:

1. Автоматична класифікація точок лазерного відбиття з подальшим доопрацюванням оператором, побудова ортофотоплану, растра інтенсивності, растра відносної освітленості схилів, растра рослинності, генерування контрольних горизонталей, які будують за всіма точками, що належать до класу “земля”. (Зазначимо, що кількість точок землі зазвичай є дуже великою, тому для побудови ЦМР інформацію фільтрують. Цей процес проходить в автоматизованому режимі. Оператор тільки вказує алгоритм “зглядення” залежно від рельєфу місцевості.)

2. Побудова ЦМР та створення топографічного плану.

Перший етап виконується частково в автоматизованому режимі, проте вимагає доопрацювання оператора. 90 % компаній, які займаються обробкою даних лазерного сканування місцевості, на цьому етапі використовують програмне забезпечення фінської компанії TerraSolid, яке працює під програмною оболонкою Bentley MicroStation.

На другому етапі можна використовувати будь-який з програмних продуктів, який дає змогу створювати топографічні плани і карти, зображення (растри) слугують підкладкою, зокрема і український програмний продукт Digitals. У викладених дослідженнях використано програмний пакет Civil 3D компанії Autodesk.

Вихідні дані. Вихідними даними для роботи були:

- контрольні горизонталі, побудовані за всіма точками лазерного відбиття, які були класифіковані як “земля”;
- растр відносної освітленості схилів (hillshade);
- растр інтенсивності;
- ортофотоплан.

Уточнення берегової лінії водоймищ. Процедура уточнення берегових ліній розпочинається із завантаження вихідних даних:

- у програмному середовищі Civil 3D у командному рядку вводимо команду `mapinsert` і завантажуюмо по черзі всі растрові зображення;
- командою `mapimport` завантажуюмо файл контрольних горизонталей, який має вигляд шейп-файла (розширення *.shp).

Оскільки всі елементи гідрографії повинні брати участь у побудові ЦМР, то правильного відображення планового положення елементів гідрографії недостатньо для її побудови. Потрібна також інформація про висотне положення. Тому після уточнення планового положення необхідну інформацію було додано.

У результаті експериментальних досліджень уточнено елементи гідрографічної мережі, а саме: вузький гірський струмок; звивиста річка з притокою; розгалужена річка на заболоченій території; озеро.

Найпростішим випадком, хоч часто через густий ліс його взагалі неможливо побачити, є відображення вузького гірського струмка. На рис. 1 наведено

зображення контрольних горизонталей, накладених на hillshade. Як бачимо, завдяки характерним “затяжкам” контрольних горизонталей чітко можна визначити положення струмка. Також він добре проглядається за растром hillshade.

У такому разі стає непотрібним ортофотозображення, а растр інтенсивності може використовуватись тільки для його ідентифікації (рис. 2), за відсутності додаткових картматеріалів.

Відображення звивистої річки на рівниннішій території, яка є достатньо широкою і позначається на картах двома лініями, потребує більшої уваги. Через густу рослинність за ортофотопланом можна тільки приблизно визначити місцезнаходження.

Растр відносної освітленості схилів є менш інформативним на рівнинній території і показує тільки круті береги річки (рис. 3). “Затяжки” на контрольних горизонталях менш виражені й однозначно встановити положення берегової лінії змоги не дають.

І тільки за растром інтенсивності можна чітко ідентифікувати річку і наявність притоки (рис. 4).

На рис. 6 зображено складну розгалужену систему, яка утворюється в результаті протікання річки по рівнинній заболоченій території. На растрі відносної освітленості схилів добре видно місцезнаходження всіх фрагментів системи. Оскільки територія рівнинна, контрольні горизонталі не надають необхідної інформації.

Щоб відтворити таку складну систему, потрібно багато часу, а також використання всіх допоміжних матеріалів, зокрема і растра інтенсивності (рис. 5), який є чи не найінформативнішим для відображення гідрографічних об'єктів на залісненій території.

Для контрастності картини наведемо зображення невеликого озера, яке добре дешифрується за ортофотопланом (рис. 7).

У цьому випадку потрібно тільки узгодити зображення озера з контрольними горизонталями. Растр інтенсивності і hillshade відіграватимуть тут другорядну роль і їх використовувати не обов'язково.

Інформація про висотне положення об'єктів гідрографії вноситься ще на стадії їх нанесення. Всі об'єкти наносять за допомогою 3d-поліліній (за винятком озер). Найпростіша ситуація з озерами, щодо яких потрібно внести інформацію про рівень води. Для цього в ділянку берегової лінії підвантажують точки з вихідного файла (розширення *.bin) і вибирають середню висоту, яка повинна відповідати контрольним горизонталям.

Трохи складніша ситуація з вузькими струмками. Наносять їх, активізуючи режим прив'язки, і по черзі прив'язують до всіх контрольних горизонталей, які перетинає струмок. Тоді кожній точці буде присвоєна висота відповідної контрольної горизонталі. Для всіх точок, які містяться між двома горизонталями, і яким не було присвоєно значення висоти, їх визначають в процесі апроксимації.

Для всіх об'єктів, які відображаються двома лініями, висоти на протилежних берегах повинні бути однаковими. Також однаковими мають бути висоти двох об'єктів в одній точці, де вони зливаються. В складній системі (рис. 5) потрібно стежити за тим, щоб не залишилось нульових значень.

Найскладнішою є ситуація із системою зрошувальних каналів. Дуже малі перепади висот часто не дають змоги визначити навіть напрям стоку. Тому потрібно багато часу, щоб їх нанести.

Висновки

1. У результаті лазерного сканування місцевості отримують багато додаткової інформації, яка дає змогу наносити складні гідрографічні об'єкти з більшою точністю, що є важливим під час побудови ЦМР.

2. За результатами досліджень для точнішого нанесення основних типів гідрографічних об'єктів встановлено, що:

- вузький гірський струмок доцільно наносити з використанням контрольних горизонталей та растра hillshade;
- широкі ріки, які протікають по рівнинній території, найкраще наносити за растром інтенсивності;
- відкриті озера ефективно дешифруються з використанням ортофотопланів і для їх нанесення не потрібно застосовувати додаткові растри;
- під час нанесення всіх гідрографічних об'єктів потрібно використовувати контрольні горизонталі як для уточнення планового положення берегових ліній, так і для внесення інформації про висотне положення об'єктів гідрографії.

Література

1. Використання даних лазерного сканування для побудови цифрових моделей рельєфу гідрографічних мереж гірських систем / Х. Бурштинська, А. Бабушка, І. Василюха, С. Пікулик // Міжвідомчий науково-технічний збірник "Геодезія, картографія і аерофотознімання". Вип. 71. – Львів: Національний університет "Львівська політехніка". 2009. – С. 146–152. Міжнародний проект.
2. Особливості відтворення гідрографічних об'єктів за матеріалами лазерного сканування місцевості / Х. Бурштинська, А. Бабушка, О. Тарнавська, І. Василюха // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Вип. I (15). – 2008. – С. 200–213.
3. Лазерная локация земли и леса / И.М. Данилин, Е.М. Медведев, С.Р. Мельников. – Красноярск, 2005. – 182 с.
4. Основы импульсной лазерной локации: Учеб. пособие для вузов / В.И. Козинцев, М.Л. Белов, В.М. Орлов и др.: под ред. В.Н. Рождествина. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 512 с.
5. Chris Hopkinson, Alain Pietroniro and John W. Pomeroy, editors HYDROSCAN: Airborne laser mapping of hydrological features and resources // Saskatoon, SK., Sept. 22, 2006. – 376 p.
6. <http://www.optech.ca/>
7. <http://www.leica-geosystems.com>
8. www.toposys.com
9. <http://www.nevbasis.ru/>

Методика відтворення контурів гідрографічних об'єктів за даними авіаційного лазерного сканування

А. Бабушка

Досліджено особливості лазерного сканування для гідрографічних об'єктів. Подано методику нанесення гідрографічних об'єктів з використанням додаткової інформації.

Методика отображения контуров гидрографических объектов с использованием данных авиационного лазерного сканирования

А. Бабушка

Исследованы особенности лазерного сканирования для гидрографических объектов. Приведена методика нанесения гидрографических объектов с использованием дополнительной информации.

Methods of Reconstruction of Hydrographic Objects contours based on Airborne Laser Scanning

A. Babushka

The peculiarities laser scanning for hydrographic objects are researched. The method of reconstruction of hydrographic objects using additional information is presented.

II З'їзд УКРАЇНСЬКОГО ТОВАРИСТВА ГЕОДЕЗІЇ І КАРТОГРАФІЇ

31 жовтня – 1 листопада 2011 р.

м. Кіїв

www.utgk.com.ua

тел.: +380503706402