

## МЕТОДИКА АВТОМАТИЧНОГО ВИДІЛЕННЯ СТРУКТУРНИХ ЛІНІЙ РЕЛЬЄФУ З РАСТРОВИХ ЦМР, СТВОРЕНИХ ЗА ДАНИМИ ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

© Колб І., Процик М., 2009

*На теоретической платформе геоинформационного моделирования предложено методику автоматизации процесса структурного моделирования рельефа. Практическая реализация осуществлена на примере цифровых моделей, построенных, исходя из материалов лазерного сканирования местности.*

*It is proposed for automatical detecting of break-lines from raster Digital Terrain Models (DTM) based on geo-informational modeling. Practical implementation is performed on the DTM, was been created from Laser Scanning.*

**Постановка проблеми і зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.** Метод лазерного сканування місцевості зарекомендував себе як ефективний спосіб збирання геоданих для цілей картографування та інженерних вишукувань. Особливу цінність цей метод має у разі отримання високоточних тривимірних моделей рельєфу Землі. Актуальним завданням є вдосконалення методик класифікації точок лазерного відбиття з метою виділення точок, що належать земній поверхні та геометричного моделювання поверхонь для врахування структурних особливостей форм рельєфу, що досліджується.

У науково-дослідній роботі розглянуто теоретичні та практичні питання, що стосуються методик створення оптимальних геометричних моделей рельєфу. Виконано аналіз прийомів геометричного моделювання рельєфу. Це дало змогу запропонувати методику виділення структурних ліній рельєфу з масиву точок лазерного відбиття.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Роботи, в яких описано виділення структурних елементів поверхонь, і топографічного рельєфу, зокрема, є доволі поширеними в літературі. Основна причина – намагання отримати формальну математичну модель, яка б описувала місце „зламу” поверхні. Застосування такої моделі гарантує створення цифрових описів об'єктів, оптимальних як за кількістю геометричних елементів, так і з топологічного погляду. Тема пошуку структурних елементів поверхонь особливо активізувались з широким впровадженням методу лазерної локації. Пов'язане це з необхідністю цифрового моделювання об'єктів за точковими моделями даних, які як правило мають значну надмірність інформації.

Задача легко розв'язується для випадку задання стандартних геометричних поверхонь (у найпростішому випадку – перетин двох площин). Тому один з шляхів вирішення проблеми у разі моделювання складних рельєфів – апроксимація частин території елементарними плоскими поверхнями. Такий підхід застосовують і автори робіт [1, 2] під час опрацювання даних лазерної локації. Причому в другому випадку використовують і опрацювання растрових моделей за допомогою різного роду частотних фільтрів (зокрема Гауссіана – для пошуку точок екстремуму). Ці самі автори в роботі [3] пропонують методику визначення горизонтального і вертикального напрямку структурної лінії в точках, де нормалі до поверхні є вертикальними (рис. 1).

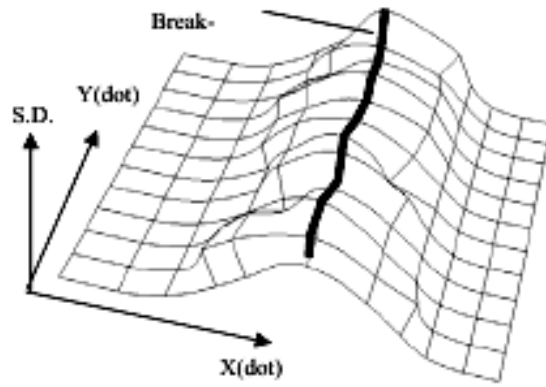


Рис. 1. Визначення структурної лінії (хребет) вздовж точок, де нормалі до поверхні є вертикальними [3]

Дослідження, наведені у доповіді [4], побудовано на використанні під час вивчення поверхні похідних другого порядку, отриманих в елементарних комірках растрової поверхні (рис. 2). Аналіз графіка другої похідної для множини профілів поверхні дає підстави для встановлення областей, де ймовірна наявність структурної лінії. Від вказаної оператором інтерактивно першої точки і виконується побудова структурної лінії.

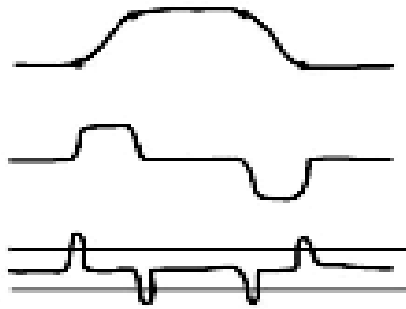


Рис. 2. Ілюстрація профілю насипу (згори) та графіків першої та другої похідних

Аналогічний підхід використано і в роботі [5] (рис. 3) з посиланням на проф. К. Крауса і Н. Пфейфера.

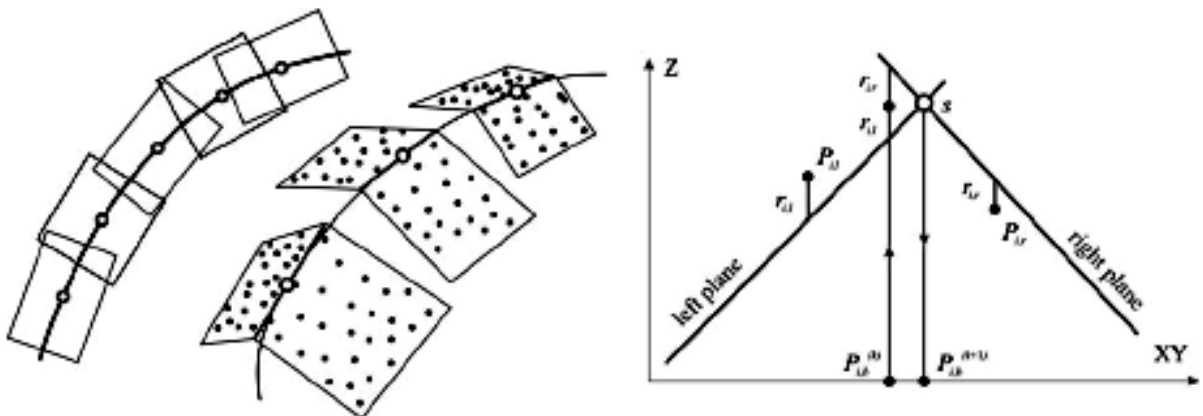


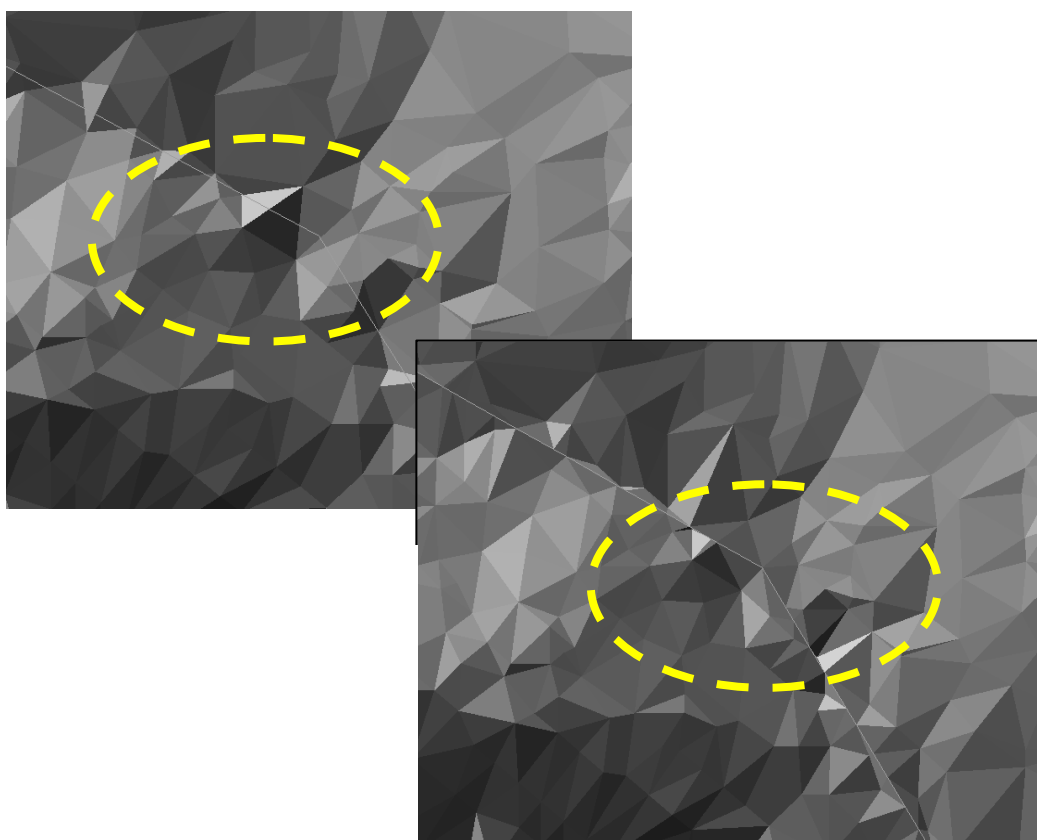
Рис. 3. Сегменти поверхні, що перекриваються, побудовані вздовж структурної лінії

Чимало публікацій присвячено проблемі оптимізації даних лазерної локації для створення цифрових моделей рельєфу та окремих топографічних і інженерних об'єктів [6–13].

**Невирішені частини загальної проблеми.** Для правильного відображення горизонталями морфології рельєфу (тобто чітке окреслення і відокремлення від інших окремих форм рельєфу) необхідно враховувати існуючі структурні лінії (breaklines) – лінії, які визначають розриви в топографії, як, наприклад, кручі, канали, і річки. Це забезпечує реалістичніше зображення місцевості.

Горизонталі, отримані без структурних ліній, можливо, статистично точні і найбільше відповідають істинному стану поверхні землі, проте вони складні для інтерпретації, “забруднені” незначними, неістотними деталями. З додатковим структурними лініями, горизонталі “слідують” за місцевістю реалістичніше; в результаті горизонталі дають змогу швидше і якісніше, інтуїтивно інтерпретувати місцевість.

Крім того, у разі застосування програм автоматичного створення моделі TIN превалюють умови Делоне, і нерідко грані трикутників вибудовуються так, що їхні ребра розташовуються впоперек існуючих на місцевості ліній перегину рельєфу, формуючи неіснуючі в природі „перемички” в тальвегах та „промоїни” у вододілах (рис. 5).



*Рис. 5. Неврахування структурної лінії призводить до створення перемичок у тальвегу (верхній рисунок). Внизу трикутники сторонами опираються на структурну лінію – топологія рельєфу збережена*

Застосування структурних ліній під час створення триангуляції передбачає однозначне „опирання” граней трикутників на відрізки найближчих структурних ліній. Це робить неможливим виникнення вищеописаних артефактів.

Із зростанням обсягів інформації, що її надають аерокосмічні зображення і дані лазерної локації, гостро вимальовується проблема автоматизації процесу пошуку структурних ліній.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Використовуючи можливості ArcGIS щодо створення моделей обробки даних [14], розроблено модель, призначенням якої є автоматичне виділення з масиву точок ЦМР структурних ліній рельєфу типу „ВОДОДІЛ” та „ТАЛЬВЕГ” (рис. 6).

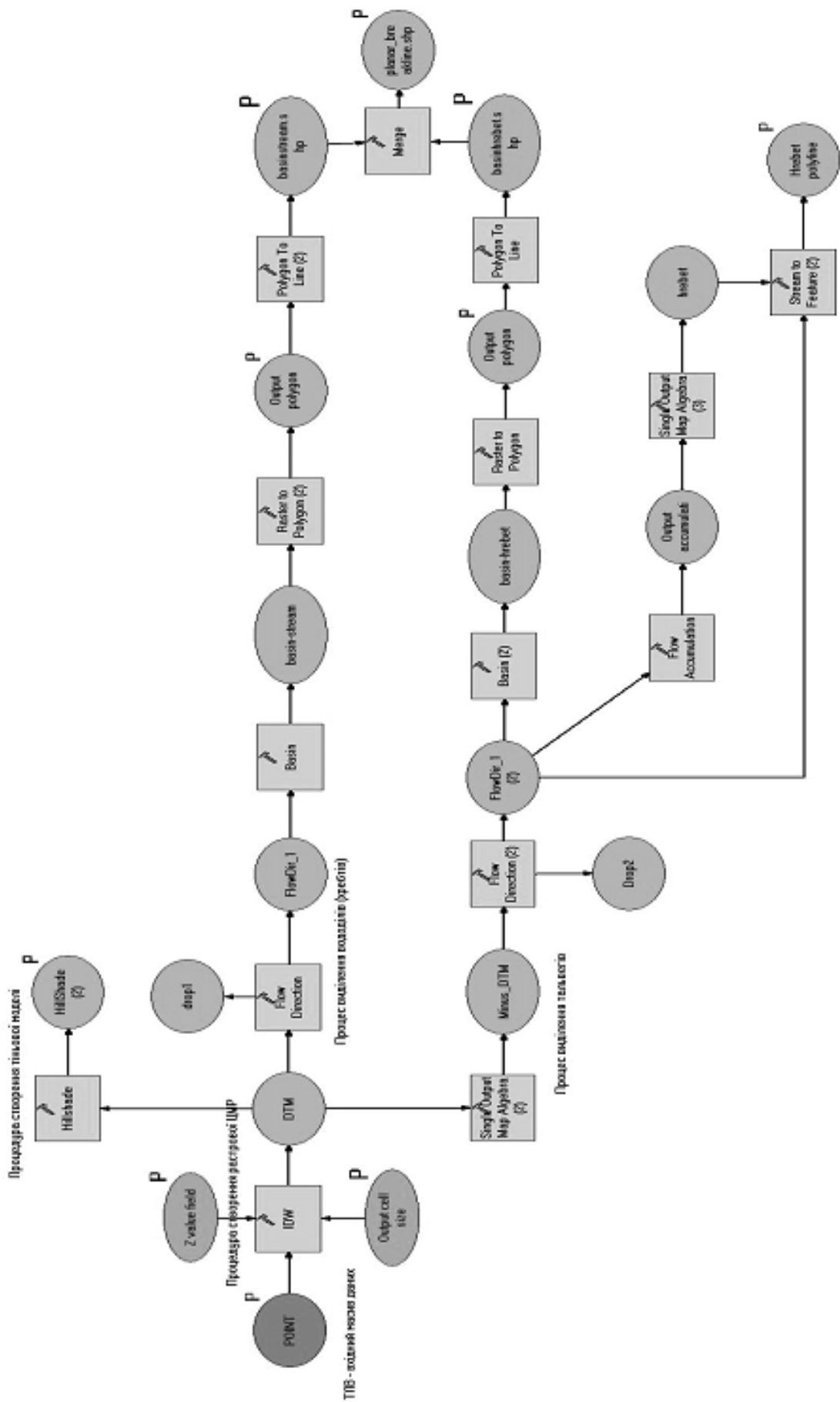


Рис. 6. Модель автоматичного виділення структурних ліній рельєфу з растрової ЦМР

Модель являє собою блок-схему, в якій послідовно вказано порядок виконання операцій над масивами даних. Згідно з цією послідовністю інструменти (на блок-схемі показані прямокутниками) запускаються в автоматичному режимі, а створені в результаті виконання їхньої дії нові набори даних (на блок-схемі показані овалами) записуються на жорсткий диск і своєю чергою можуть піддаватись обробці іншими інструментами.

Вхідними наборами даних є шейп-файли точок, що класифіковані як точки землі.

Процес розпочинається із створення растрової ЦМР методом IDW, тобто інтерполяція значень висот за точками в межах вказаного радіуса кола з вагами, пропорційними до відстані від точки до центра створюваного пікселя. Параметри цього процесу можуть бути змінені залежно від типу рельєфу чи характеру розташування точок. Результатом роботи цього інструменту є растровий набір даних з назвою DTM.

Растр DTM є вхідним параметром для виконання трьох процесів:

- створення тіньової моделі рельєфу (інструмент HillShade);
- виділення тальвегів;
- виділення хребтів.

Тіньова модель рельєфу є зручною під час оцінювання структури рельєфу, використовується для візуальної оцінки якості моделювання.

Два останні процеси – це послідовний запуск низки інструментів, які використовують алгебру карт та інструменти гідрології.

Далі процес розгалужується. Одна його гілка (на рисунку – верхня) має на меті визначення вододілів і призводить до створення лінійного шейп-файла. Нижня гілка ідентична, але працює з інвертованою ЦМР (її значення висот від'ємні). Ця гілка призводить до створення лінійного шейп-файла тальвегів.

Паралельно тальвеги можна отримати через стандартний порядок використання інструментів Гідрології (нижнє відгалуження в блок-схемі), який передбачає встановлення напрямків потоків (інструмент Flow Direction), зон акумуляції потоків (інструмент Flow Accumulation) та виділення точок власне водотоків, якщо ці точки акумулюють виноси з заданої кількості комірок ЦМР (цей параметр підбирається емпірично для кожного типу поверхні). Далі отримане растрове зображення тальвегів перекодовується у векторне зображення.

У кінці ці два основні процеси сходяться для створення єдиного шейп-файла (інструмент Merge), який містить плоске зображення структурних ліній рельєфу з назвою planar\_breakline.shp.

Для застосування отриманих структурних ліній при створенні TIN моделей необхідно конвертувати планарну лінію в 3D. Для цього використовують інструмент ArcToolBox – 3D Analyst Tools – Functional Surface – Interpolate Shape, який накладає об'єкт на растрову поверхню і таким чином робить цю лінію тривимірною.

Дослідження розробленої моделі виконувались її багатократним застосуванням щодо різних ділянок з різною структурою рельєфу за різних параметрів.

На рис. 7 показано результати автоматичного виділення структурних ліній для ділянки з гірським, чітко структурованим рельєфом.

Емпірично для цієї ділянки підібрано розмір комірки растру DTM 1м, а кількість комірок акумуляції – 100 для тальвегів і 150 для водорозділів.

Розроблений авторами геоінформаційний інструмент є ефективним у разі виділення хребтів та тальвегів в гірській частині ділянки. Натомість у рівнинній частині з'являється велика кількість коротких ліній, які окреслюють дрібні, локальні водозбори і які можна відсіяти ручним редагуванням чи по цензу довжини лінії (наприклад, встановивши мінімум довжини структурної лінії для конкретного типу рельєфу і точності його моделювання).

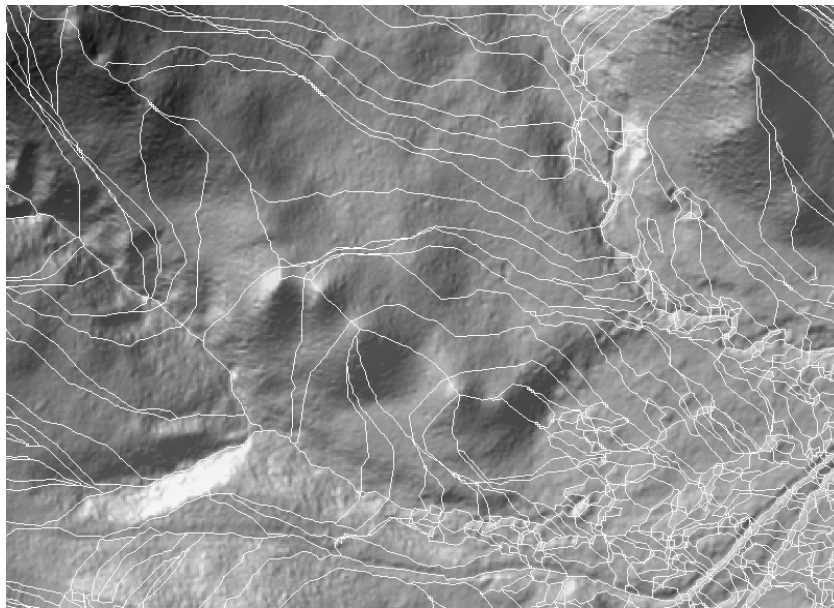


Рис. 7. Результат автоматичного виділення структурних ліній за растровою ЦМР

**Висновки.** Автори запропонували алгоритм виділення структурних ліній рельєфу типу „тальвер” та „водорозділ” з масиву даних растрової цифрової моделі рельєфу. На основі запропонованих алгоритмів створено відповідні моделі геообробки для інструментальної ГІС ArcGIS, які використовують інструменти Гідрографії та Алгебри Карт. На нашу думку, запропонована методика виділення структурних ліній може бути використана під час фотограмметричного збирання геоданих, генералізації рельєфу у разі створення картографічних моделей, а також у дослідженнях природничо-екологічного характеру. Експериментальні роботи підтвердили можливість практичного застосування цієї моделі геообробки для створення якісних цифрових картографічних моделей.

1. Ю.Л. Костюк, К.Г. Гульбин, С.В. Пешехонов. Построение поверхностной триангуляции и выделение пространственных фигур по данным лазерного сканирования // *Вестн. Томск. госуд. ун-та.* – 2006. – № 293. Сер. “Информатика. Кибернетика. Математика”, стр. 151-155.
2. Hiroshi Yokoyama, Hirofumi Chikatsu. 3D Mjdeling of structures using break –lines and corners in 3D point CLOWD data. // *Tokyo Denki Univ., Dept. of Civil Eng., Commission V, WG V/4.* – yokoyama@chikatsu-lab.g.dendai.ac.jp.
3. Hiroshi Yokoyama, Hirofumi Chikatsu. Automatic break-line detection from Laser Scanner Data using surface flatness. // *Tokyo Denki Univ., Dept. of Civil Eng., Commission V, WG V/4.* – yokoyama@chikatsu-lab.g.dendai.ac.jp.
4. George Vosselman. Extraction of break lines from airborne laser scanning data. *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation*, 2007.
5. C. Briese, G. Mandlbürger, N. Pfeifer. *Airborne Laser Scanning – high quality Digital Terrain Modeling / Vienna University of Technology Institute of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2007.
6. Горькавий И.Н. Метод виртуальной поверхности для классификации данных LIDAR и генерации трехмерной модели земного рельефа // *Тр. I Междун. научн.-практ. конф. “Современные информационные технологии и ИТ-образование”*, 2005.
7. Данилин И.М., Медведев Е.М., Мельников С.Р. *Лазерная локация земли и леса: Учеб. пособие.* – Красноярск: Ин-т леса им. Сукачева СО РАН, 2005. – 182 с.
8. Жигалов К.Ю. Векторизация и конвертация данных лазерной локации в ГИС-технологиях // *Автореф. дис... канд. техн. наук. Спец. 25.00.35 – Геоинформатика.* – М., 2007.
9. Костюк Ю.Л., Фукс А.Л. Построение и аппроксимация изолиний однозначной поверхности, заданной набором исходных точек // *Геоинформатика. Теория и практика. Вып. 1.* – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1998, с. 119-126.
10. Мищенко С.А., Мищенко Ю.А. *Технология оптимизации цифровой модели рельефа, полученной по данным воздушного лазерного сканирования* // <http://www.injgeogis.ru/publications/5/>.
11. *Цифровая аэрофототопография. Итоги 2006 года* // <http://www.geolidar.ru/publications/article/geoprofi6-2006/>.
12. Soininen A. *Quality of Laser Scanning.* Helsinki University of Technology. <http://www.terrasolid.fi/>.
13. LIDAR Data Points filtering using ArcGIS 3D and SPATIAL ANALYST. Juliano Kersting, Ana Paula B. Kersting// <http://www.copel.com>.
14. Jill McCoy. *Геообработка в ArcGIS. Copyright 2001–2004 ESRI. Russian Translation by DATA+, Ltd.* – 364 с.