

## ОСОБЛИВОСТІ ВІДБИТТЯ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЯ ВІД ВОДНИХ ОБ’ЄКТІВ

© Бабушка А.В., 2012

*Представлены теоретические основы авиационного лазерного сканирования. Вычислены коэффициенты Френеля для разных углов падения лазерного луча. Описано особенности отражения лазерного луча от водной поверхности.*

*The physical principles of airborne laser scanning are presented. Fresnel coefficient for a different angels of incidence are calculated. Peculiarities of laser optical reflection from the open water are described.*

**Постановка проблеми.** Авіаційне лазерне сканування при створенні топографічних планів і карт, а також розв’язанні низки прикладних задач, крім багатьох позитивних аспектів, висуває невирішені проблеми. В останні десятиліття лазерні сканери широко використовують при вирішенні таких прикладних задач, зокрема, дослідженні лісових масивів, інженерно-вишукувальних роботах, екологічних дослідженнях, інвентаризації ліній електропередач, гідрологічних дослідженнях. Лазерний сканер дозволяє отримати не тільки геодезичні координати точок місцевості (X, Y, Z), а також величину інтенсивності відбитого від об’єкта сигналу, що слугує додатковою інформацією при інтерпретації зображень [1]. За цією інформацією будують так-звані растри інтенсивності (або лазерні інфрачервоні зображення), які за своїми характеристиками є близькими до чорнобілої фотографії.

Особливо ефективним в новітніх технологіях є комбінація різних методів отримання інформації – космічного чи аерознімання з лазерним скануванням місцевості. Всі об’єкти земної поверхні характеризуються власною відбивною здатністю, що виражається також і під час лазерного сканування. Відбивання від водних об’єктів через специфіку знімання має свої особливості. Воно характерне тим, що має дзеркальний характер. На інтенсивність відбитого сигналу впливають такі основні чинники [5]:

- оптичні властивості води;
- стан водної поверхні (спокійний чи збурений);
- температура водної поверхні;
- тип підстильної поверхні.

**Фізичні основи лазерного сканування водних поверхонь.** Як вже зазначалось, відкриті водойми відбивають лазерний промінь дзеркально (рис. 1). Тому відбивні властивості води визначаються кутом падіння променя. При незбуреній водній поверхні лазерний імпульс повертається до сенсора тоді, коли кут його падіння буде близьким до  $0^\circ$ . Із збільшенням кута падіння внаслідок дзеркального відбиття сигнал практично повністю втрачається. У разі бурхливої водної поверхні – це ситуація, коли промені надирого напрямку повертаються з високим коефіцієнтом відбиття, в той час, як промені, що відбилися від країв смуги сканування, мають слабкий сигнал або повністю втрачаються [4]. Тому загальна кількість зареєстрованих сигналів на поверхні води не перевищує 12 % [2].

Сила інтенсивності відбитого сигналу залежить від частоти сканування, від розміру відбитого променя на поверхні, кута падіння променя на точку відбиття і спектральних характеристик поверхонь, на які він падає. В близькій інфрачервоній зоні спектра (в якій працюють більшість сучасних лазерних сканерів) поглинання водою є дуже великим. Відбивні характеристики води (межі розділу “повітря-вода”) задаються коефіцієнтами відбиття Френеля, які для незбуреної хвилями водної поверхні визначаються такими формулами [3]:

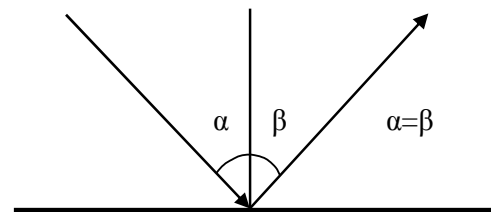


Рис. 1. Геометричне зображення закону дзеркального відбиття

$$V_{\parallel}^2 = \left( \frac{n \cos \alpha - \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}}{n \cos \alpha + \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}} \right)^2 ;$$

$$V_{\perp}^2 = \left( \frac{\cos \alpha - \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha + \sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right)^2 ,$$

де  $V_{\parallel}, V_{\perp}$  – френелівські амплітудні коефіцієнти відбиття для компоненти електричного вектора відповідно в площині падіння і в перпендикулярній площині падіння;  $\alpha$  – кут падіння;

$$n = \frac{n_2}{n_1} ;$$

$n_1, n_2$  – коефіцієнти заломлення повітря і води.

Якщо в падаючому випромінненні немає переважаючого напрямку коливань електричного вектора, то коефіцієнт відбиття  $V^2$  визначається так:

$$V^2 = 0,5(V_{\parallel}^2 + V_{\perp}^2).$$

Величина  $n$  для межі розподілу “повітря-вода” на довжині хвилі 1мкм становить 1,33. Обчислимо коефіцієнт Френеля для різних кутів падіння лазерного променя (таблиця).

#### Коефіцієнти Френеля для різних величин кутів падіння променя

Кут падіння, $\alpha^{\circ}$	Коефіцієнт Френеля, $V^2$
0	0,020
5	0,020
10	0,020
15	0,020
20	0,020
25	0,021
30	0,021
45	0,028
60	0,059
75	0,211
90	0,999

За результатами таблиці побудуємо графік (рис. 2).

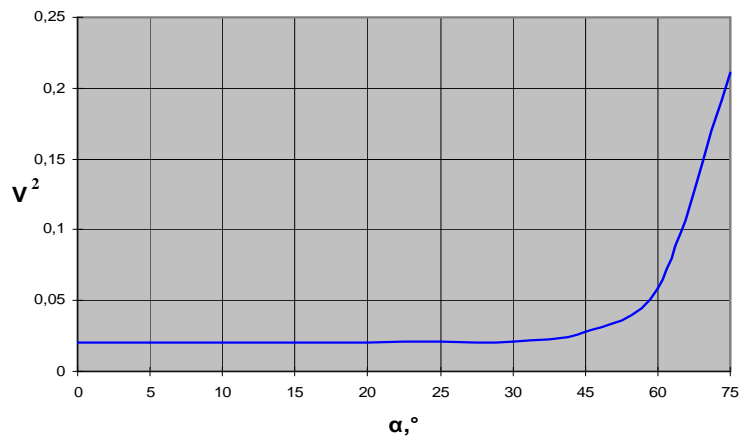


Рис. 2. Залежність коефіцієнта відбиття від кута падіння

Результати цих розрахунків показують, що коефіцієнт Френеля практично не змінює свого значення при кутах падіння променя від  $0^\circ$  до  $30^\circ$  і становить приблизно 0,02. По мірі збільшення кута падіння до  $90^\circ$  коефіцієнт наближається до 1. Але при великих кутах сигнал повністю втрачається внаслідок дзеркального відбиття, а малий коефіцієнт відбиття не завжди дає можливість зафіксувати повернутий сигнал, оскільки він є дуже малим. Тому кількість сигналів на поверхні водойм є значно меншою, ніж на поверхні землі. Хоча здебільшого навіть такої кількості сигналів достатньо для визначення позначки рівня води.

**Особливості відбиття лазерного променя від різних типів водних об'єктів.** Кількість сигналів на поверхні водойм може бути більшою при збуреній водній поверхні, оскільки в цьому разі збільшується ймовірність відбиття лазерного променя назад до приймача, або при зменшенні кута падіння променів на поверхню (повітряний носій пролетить безпосередньо над водним об'єктом). На рис. 3 зображено озеро, на поверхні якого є достатня кількість сигналів в окремій ділянці, що зумовлено одним з вищеперелічених чинників.

Невелика кількість точок на поверхні водойм не завжди є негативним явищем [2]. В такому випадку на растрі інтенсивності водна поверхня зображається чорною плямою, що свідчить про відсутність сигналу. Покажемо такий випадок на рис. 4. Така особливість дозволяє чітко виділити берегову лінію, однак визначення позначки води є проблематичним і вимагає використання додаткових даних.

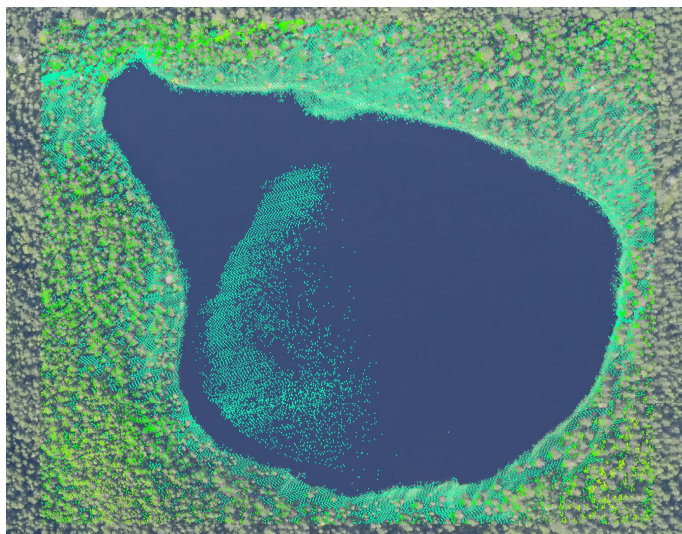
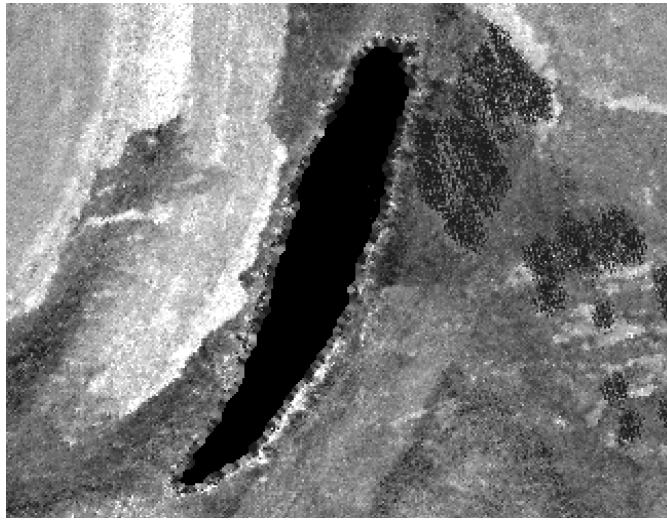


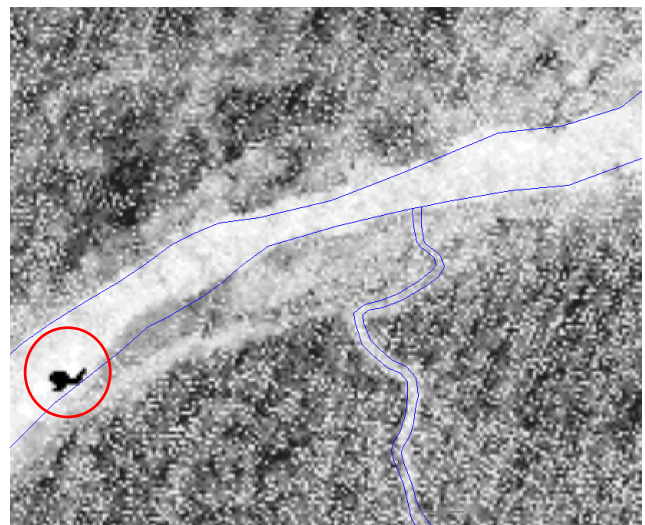
Рис. 3. Озеро з відбитими від поверхні води сигналами лазерних променів



*Рис. 4. Відсутність сигналу на поверхні озера*



*Рис. 5. Ортофотоплан річки*



*Рис. 6. Растр інтенсивності річки*

Часто невеликі водні об'єкти, такі як струмки або невеликі річки, можуть частково або повністю закриватись рослинністю. На ортофотопланах вони майже не проглядаються. Растр інтенсивності теж не дає можливості точно віддешифрувати такі об'єкти, оскільки у побудові зображення братимуть участь і ті точки, що відбилися від рослинності, яка знаходиться над водною поверхнею. Здебільшого це призводить до того, що на растрі інтенсивності водні об'єкти навпаки будуть світлішими і вони краще ідентифікуються. Покажемо на рис. 5 та 6 зображення річки на ортофотоплані та растрі інтенсивності відповідно.

Червоним на рис. 6 виділено чорну пляму на поверхні річки. Це та частина водної поверхні, де сигнал був повністю втрачений.

**Висновки.** Процес відбиття лазерного променя від водної поверхні є складнішим, ніж від інших природних об'єктів. Його специфіка є такою, що дуже велика частина інформації втрачається під час сканування. Це значною мірою впливає на остаточний результат. Тому для дослідження таких об'єктів потрібно використовувати всю наявну інформацію, а також шукати нові підходи для її інтерпретації.

*1. Бабушка А. Методика відтворення контурів гідрографічних об'єктів за даними авіаційного лазерного сканування / Бабушка А. // Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства*

УТГК “Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва”. – Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2011. – Вип. II (22). – С. 188–192. 2. Данилин И.М. Лазерная локация земли и леса / Данилин И.М., Медведев Е.М., Мельников С.Р. – Красноярск, 2005. – 182 с. 3. Козинцев В.И. 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.: ил. – (Электроника). 4. 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. 5. Wolfe, W. and Zissis, G. J. *The infrared handbook. The Infrared Information Analysis Center. Enviromental Research Institut of Michigan*, 1989. – 1700p.