



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 12 • № 1 • 2016 С. 57 – 61

УДК 528.8

## Використання космічної спектрофотометрії для дистанційного визначення фізико-хімічних властивостей ґрунтів ландшафтних зон Закарпаття

Л.В. Гебрин-Байди\*, В.Ю. Беленок, О.О. Железняк, М.І. Ніколаєнко

Національний авіаційний університет, м. Київ

*Застосовано методи космічної спектрофотометрії для ідентифікації типів ґрунтів, визначення гранулометричного складу ґрунту, а також для оцінювання кількісного показника вмісту гумусу в ґрунті на основі математичних обрахунків за даними спектральних каналів космічних зображень та даними наземних досліджень в умовах різних ландшафтних зон Закарпатської області. В процесі статистичної обробки даних класифіковано типи ґрунтів, встановлено квадратичну залежність між спектральною яскравістю знімків та вмістом фізичної глини в ґрунті та отримано кількісні показники вмісту гумусу в ґрунті за даними червоного каналу.*

*ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ЛАНДШАФТНЫХ ЗОН ЗАКАРПАТЬЯ, Гебрин-Байды Л.В., Беленок В.Ю., Железняк О.А., Николаенко М.И. — Применены методы космической спектрофотометрии для идентификации типов почв, определения гранулометрического состава почв, а также для оценки количественного показателя содержания гумуса в почве на основе математических расчётов на основе данных спектральных каналов космических изображений и данных наземных исследований в условиях разных ландшафтных зон Закарпатской области. В процессе статистической обработки данных классифицированы типы почв, установлено квадратичную зависимость между спектральной яркостью снимков и содержанием физической глины в почве, получены количественные показатели содержания гумуса в почве по данным красного канала.*

*USAGE OF SPACE SPECTROPHOTOMETRY FOR REMOTE DETERMINATION OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOIL FOR LANDSCAPE AREAS OF THE TRANSCARPATIA, by Gebrin-Baydi L.V., Belenok V.Yu., Zheleznyak O.O., Nikolaienko M.I. — The methods of space spectrophotometry were used to identify soil types, to determine soil granulometric composition and to evaluate quantitative indicator of humus content in the soil based on mathematical calculations using spectral channels data of space images and terrestrial research data for different landscape zones of Transcarpathian region. After statistical processing of data we classified the types of soil, identified quadratic dependence between the spectral brightness of images and the content of physical clay in the soil and obtained quantitative indicators of humus content in the soil using the red channel data.*

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование; аэрокосмические методы исследований; спектрофотометрия; агрохимические свойства почв; определение гумуса; ландшафтные зоны Закарпаття.

**Key words:** remote sensing; space spectrophotometry; agrochemical characteristics of soils; humus determination; landscaped areas of Transcarpathia.

### 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Фізико-хімічні властивості ґрунтів характеризуються вмістом органічних речовин, азотним, фосфорним і калійним режимами, вмістом мікроелементів і біологічною активністю ґрунту. Органічні сполуки ґрунту представлені в основному гумусом. Вміст гумусу в ґрунті є одним із основних показників родючості земель. Кількісна та якісна оцінка ґрунту необхідна для проведення ґрунтово-екологічного моніторингу та агротехнічних заходів щодо збереження і відновлення ґрунтової родючості, а також для оновлення ґрунтових карт.

Одним із поширених методів оцінки просторового розміщення гумусу в ґрунті є метод агрохімічного аналізу ґрунту. Він передбачає відбір зразків ґрунту та їх подальше лабораторне дослідження. До недоліків даного методу слід віднести його велику трудомісткість. Значно ефективнішим, більш прийнятним та економічно вигіднішим, є використання космічної спектрофотометрії. У даній статті розглядається використання космічної спектрофотометрії для дистанційного визначення агрохімічних властивостей ґрунтів ландшафтних зон Закарпаття.

### 2. АНАЛІЗ ПОПЕРЕДНІХ ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідження можливостей дистанційного моніторингу земель з супутників активно ведеться впродовж останніх десятиків років науковими групами та організаціями різних країн [6]. Зокрема, А. Ачасов

\* Гебрин-Байди Лілія Васи́лівна; ✉ [gebrin\\_liliya@mail.ru](mailto:gebrin_liliya@mail.ru)

та Д. Бідолах [1] досліджували зв'язок між вмістом гумусу та яскравістю поверхні ґрунту за знімками і визначили стійку кореляцію (коефіцієнт кореляції  $R = 0,74$ ), пов'язану зі значенням яскравості в червоній частині спектра. А. Шатохин та М. Линдин [7] досліджували чорноземи звичайні і встановили тісну залежність ( $R = 0,94$ ) між вмістом гумусу та яскравістю в ближньому інфрачервоному каналі. О. Сахацький [4] за даними космічної зйомки Landsat 7 виявив лінійну кореляційну залежність між спектральними характеристиками у червоному ( $R = 0,95$ ) та ближньому інфрачервоному ( $R = 0,85$ ) каналах із середнім вмістом гумусу. С. Трускавецький [5], використовуючи дані супутника SPOT, встановив, що є тісний зв'язок між спектральною яскравістю у зеленому каналі і вмістом гумусу у ґрунті ( $R = -0,88$ ), у червоному каналі ( $R = -0,88$ ) та у ближньому інфрачервоному каналі ( $R = -0,90$ ).

### 3. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є застосування методів космічної спектрофотометрії для ідентифікації типів ґрунтів, визначення гранулометричного складу ґрунту, а також для оцінювання кількісного показника вмісту гумусу в ґрунті.

### 4. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

#### 4.1. Дослідження типів ґрунтів на основі розрахунку ґрунтових індексів у процесі дешифрування космічних знімків

Задля того, щоб вибрати канали для застосування та удосконалення побудови ґрунтового індексу, було проаналізовано наявний досвід дешифрування ґрунтового покриття території Закарпаття. Формули для розрахунку ґрунтового індексу (soils indices) умовно виглядають таким чином:

$$SI = \frac{Green - Nir}{Green + Nir - 2Red}, \quad (1)$$

де SI — ґрунтовий індекс, Green — зелений канал, Nir — ближній інфрачервоний канал, Red — червоний канал;

$$SI_1 = \frac{Green - Nir}{Green + Mir - 2Red}, \quad (2)$$

де Mir — середній інфрачервоний канал.

**Таблиця 1.** Значення показників спектрального контрасту ґрунтових індексів для ідентифікації типів ґрунтів

Типи ґрунтів	Ґрунтові індекси	
	SI	SI <sub>1</sub>
Супіщані дернові	-0,50... - 0,80	-0,80... - 0,95
Дерново-підзолисті	-0,80... - 1,00	-0,95... - 1,00
Дерново-буроземні	-1,00... - 1,25	-1,00... - 1,08
Опідзолені ґрунти	-1,25... - 1,70	-1,08... - 1,25
Бурі гірсько-лісові	-1,70... - 2,20	-1,25... 1,40

Ґрунтові індекси SI та SI<sub>1</sub> можна рекомендувати для дешифрування типів ґрунтів та застосування під час картографування ґрунтового покриття. На відміну від багатьох інших способів автоматизованого дешифрування ґрунтового покриття, використання індексів дозволяє поєднати в часі процеси контурного і генетичного дешифрування.

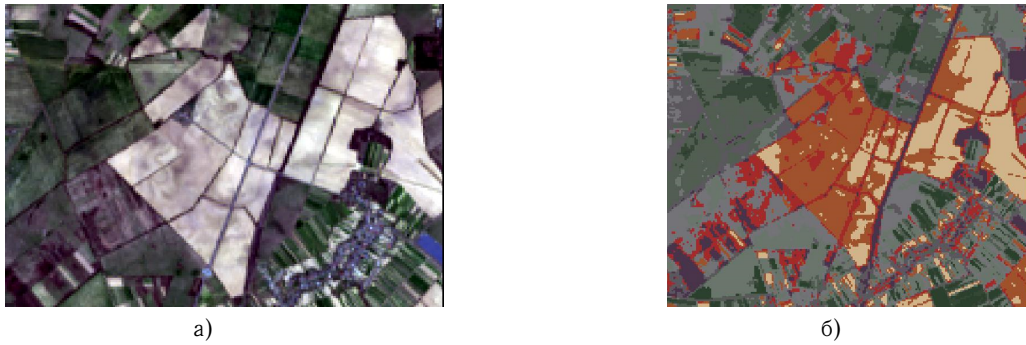
#### 4.2. Методи визначення гранулометричного складу ґрунту з використанням ознак дешифрування космічних знімків

Для дистанційного визначення гранулометричного складу ґрунту застосовано напівкількісну оцінку на основі неконтрольованої класифікації і кількісну оцінку на основі математичної обробки значень яскравостей спектральних каналів знімка [3, 8]. Результати наведено на рис. 1.

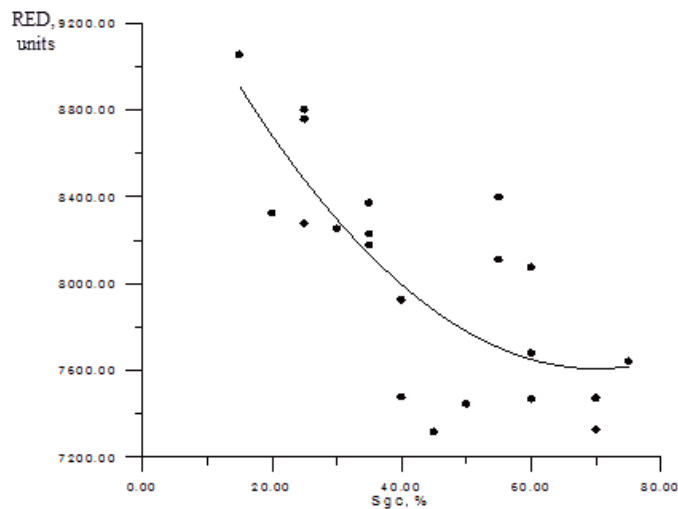
У табл. 2 наведено значення коефіцієнтів кореляції між відбиттям поверхні ґрунту та вмістом частинок різних гранулометричних фракцій при апроксимації поліномом другого порядку (рівень значимості 0,1). Як видно з табл. 2, коефіцієнт відбиття у всіх каналах знімка має тісний зв'язок із вмістом частинок розмірності 0,25 – 1 мм.

Високі коефіцієнти кореляції отримано також для рівнянь по фракції 0,005 – 0,01 мм. Слід зазначити, що для визначення градації гранулометричного складу по Н. Качинському використовується відсотковий вміст часток фізичної глини (з діаметром менше 0,01 мм), який найкраще корелює з коефіцієнтом відбиття поверхні ґрунту по даними третього (0,630 – 0,680 мкм) каналу сенсора Landsat 8 OLI (рис. 2).

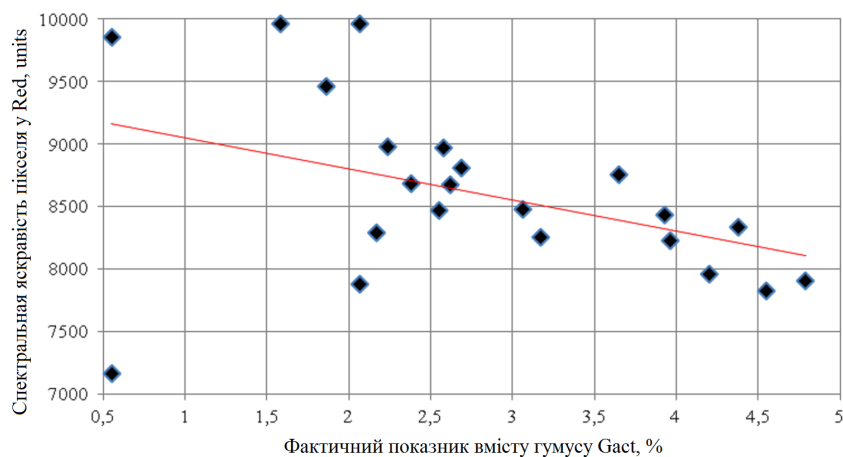
Незважаючи на високу детальність результатів застосування неконтрольованої класифікації, кращим є застосування другого методичного підходу. Використання формули розрахунку вмісту фізичної глини за космічним знімком дало хоча і менш детальні, але більш точні результати. За допомогою запропонованих методів можливим є отримання оперативної інформації про тенденції зміни в складі ґрунтового покриття задля збереження та відновлення родючості як на локальному, так і на опосередкованому рівні.



**Рис. 1.** Ґрунтові виділи згідно з гранулометричним складом:  
*a* — вхідне зображення моніторингової ділянки (МД) Соломонове з переважачим легко-, середньо- та важкосуглинковим складом; *б* — відповідні класи ґрунтових виділів:  
■ важко, ■ середньо, ■ легкосуглинкові ґрунти



**Рис. 2.** Зв'язок між спектральною яскравістю у червоному каналі знімка Landsat 8 OLI та відсотковим вмістом часток фізичної глини в поверхневому шарі ґрунту (Sgc) за даними МД, рівняння  $y = 0,43x^2 - 60,13x + 9712,62$ , коефіцієнт детермінації  $R^2 = +0,60$ ,  $\alpha = 0,1$



**Рис. 3.** Лінійна залежність між  $G_{рп}$  та спектральними яскравостями у Red-каналі

#### 4.3. Визначення кількісних показників вмісту гумусу в ґрунті за даними спектрофотометрії ландшафтних зон Закарпатської області

Для проведення даного дослідження необхідно встановити математичну залежність між спектральною енергетичною яскравістю ґрунту і кількістю вмісту гумусу.

Для дослідження використовувались 15 мультиспектральних космічних знімків супутника Landsat на територію Закарпатської області.

Обробка знімків виконувалась із використанням програмного забезпечення Erdas Imagine. Після

**Таблиця 2.** Коефіцієнти кореляції  $R$  між відбиттям поверхні ґрунту та вмістом частинок різних гранулометричних фракцій для поліноміальних моделей апроксимації другого порядку

Фракції гранулометричного складу ґрунту	Номери спектральних каналів Landsat 8 OLI та довжина хвилі, мкм					
	2 0,450–0,515	3 0,525–0,600	4 0,630–0,680	5 0,845–0,885	6 1,560–1,660	7 2,100–2,300
0,250–1,000 пісок середній та крупний	0,80	0,86	0,82	0,79	0,85	0,78
0,050–0,250 пісок мілкий	0,19	0,19	0,22	0,25	0,27	0,28
0,010–0,050 пил крупний	0,36	0,43	0,41	0,38	0,32	0,37
0,005–0,010 пил середній	0,65	0,63	0,69	0,74	0,62	0,62
0,001–0,005 пил мілкий	0,63	0,70	0,63	0,54	0,56	0,54
Менше 0,001 мул	0,49	0,53	0,56	0,49	0,54	0,38
Сума > 0,010 фізичний пісок	0,68	0,64	0,65	0,65	0,63	0,63
Сума < 0,010 фізична глина	0,70	0,70	0,72	0,62	0,63	0,59

**Таблиця 3.** Коефіцієнти кореляції  $R$  між фактичним показником вмісту гумусу в ґрунті, згідно з відповідним роком та спектральними яскравостями пікселів відповідного знімку

№	Число, місяць, рік знімку	Коефіцієнт кореляції $R$					
		Blue	Green	Red	NIR1	NIR2	NIR3
1	04.10.2010	-0,55	-0,72	-0,82	-0,32	-0,32	-0,30
2	02.03.2010	-0,62	-0,61	-0,63	+0,25	-0,22	+0,17
3	12.10.2010	-0,45	-0,55	-0,78	-0,22	-0,22	+0,06
4	21.11.2010	-0,56	-0,55	-0,73	-0,14	-0,13	-0,001
5	21.03.2011	-0,13	-0,36	-0,44	+0,23	-0,19	-0,26
6	21.09.2011	-0,28	-0,32	-0,41	+0,21	-0,17	-0,24
7	07.10.2011	-0,57	-0,44	-0,76	-0,03	-0,06	-0,14
8	08.11.2011	-0,70	-0,57	-0,74	-0,01	-0,33	+0,02
9	23.03.2012	-0,33	-0,39	-0,32	-0,33	-0,19	-0,44
10	18.11.2012	-0,14	-0,20	-0,24	-0,11	-0,26	-0,25
11	08.03.2013	-0,69	-0,70	-0,76	-0,12	-0,59	-0,78
12	24.03.2013	-0,61	-0,46	-0,62	+0,03	-0,22	-0,66
13	09.04.2013	-0,43	-0,40	-0,57	+0,06	-0,41	-0,52
14	02.10.2013	-0,44	-0,27	-0,46	+0,51	-0,34	-0,52
15	03.11.2013	-0,78	-0,73	-0,75	+0,14	+0,03	-0,18

виконання попередньої обробки знімків, що включала радіометричну та атмосферну корекцію, виконувались операції зі значеннями яскравостей пікселів зображення.

Згідно з координатами МД було проведено підбір кількості пікселів таким чином, щоб утворена в результаті формування знайденого полігону площа наближалась до площі МД, тобто 2500 м<sup>2</sup>, та були визначені усереднені значення спектральної яскравості вибраних каналів. Усереднені значення вегетаційного індексу NDVI розраховувались за даними пікселів, які входили у вибірку.

Було встановлено лінійну залежність між показниками фактичного вмісту гумусу в ґрунті  $G_{act}$  та усередненими показниками спектральної яскравості вибраних каналів у вибірці пікселів згідно з наступною формулою:

$$B_n = a \cdot G_{pn} + b, \quad (3)$$

де  $B_n$  — спектральна яскравість ґрунту у відповідному спектральному каналі  $n$  (червоному, синьому, зеленому, інфрачервоному);  $a$  та  $b$  — числові параметри моделі;  $G_{pn}$  — показник гумусу.

Далі були визначені коефіцієнти кореляції  $R$  та побудовані графіки залежності між усередненими показниками спектральної яскравості вибраних каналів у вибірці пікселів і показниками фактичного вмісту гумусу в ґрунті  $G_{act}$ . Один із таких графіків для прикладу наведено на рис. 3.

Розраховано коефіцієнти кореляції  $R$  між фактичним показником вмісту гумусу в ґрунті, згідно з відповідним роком (ці дані було надано ДУ «Держґрунтоохорона» Інституту охорони ґрунтів у Закарпатській області [2]), та спектральними яскравостями пікселів відповідного знімку. Результати розрахунків наведено у табл. 3.

У результаті проведеного аналізу виявлено лінійний зв'язок між спектральними яскравостями пікселів в точках дослідження та відповідними показниками вмісту гумусу в ґрунті та встановлено, що найтісніша лінійна залежність між показниками спостерігається у червоному спектральному каналі видимого діапазону.

## 5. ВИСНОВКИ

1. Застосовано методи ідентифікації типів ґрунтів на основі обробки космічних зображень та проведено математичні розрахунки за даними спектральних каналів космічних знімків супутника Landsat.

2. Визначено гранулометричний склад ґрунту на основі спектральних яскравостей. При виділенні 5 градацій гранулометричного складу точність визначення шляхом розрахунку по знімку становить 65%, а точність неконтрольованої класифікації — 29%.

3. Проведено оцінювання вмісту гумусу в ґрунті за даними аерокосмічних та наземних досліджень в умовах різних ландшафтних зон Закарпатської області. У результаті побудовано кількісні показники вмісту гумусу в ґрунті на основі обернених лінійних регресійних залежностей між фактичними показниками вмісту гумусу та даними яскравостей вибраних спектральних каналів.

1. Ачасов В.А., Бидолах Д.И. Использование материалов космической и наземной цифровой фотосъемок для определения содержания гумуса в почвах // Почвоведение. — 2008. — № 3. — С.280–286.
2. Звіт про виконання проектно-технологічних та науково-дослідних робіт у 2013 році / за ред. Ю.Ю. Бандуровича. — Ужгород: «Карпати», 2014. — 91 с.
3. Нейштадт И.А., Барталев С.А., Лупян Е.А. Метод выявления используемых пахотных земель по данным дистанционного зондирования со спутников // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. Т.2. — Под ред. Е.А.Лупяна, О.Ю.Лавровой. — М., 2006. — С.271–280.
4. Сахацький О.І. Досвід використання супутникових даних для оцінки стану ґрунтів з метою розв'язання природоресурсних задач // Доповіді Національної академії наук України. — 2008. — № 3. — С.109–115.
5. Трускавецький С.Р. Використання багатоспектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриву Полісся України: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук: спец. 03.00.18 «Ґрунтознавство». — Х., 2006. — 24 с.
6. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и геоинформационные системы. — М.: Техносфера, 2008. — 312 с.
7. Шатохин А.В., Лындин М.А. Сопряженное изучение черноземов Донбасса наземными и дистанционными методами // Почвоведение. — 2001. — № 9. — С.1037–1044.
8. Gallego F.J. Remote sensing and land cover area estimation // International Journal of Remote Sensing. — 2004. — 25, № 14. — P.3019–3047.

Надійшла до редакції 19.08.2016

Прийнята до друку 12.09.2016