

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РОДЮЧОСТІ ГРУНТІВ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Л.В. Гебрин-Байди

*Національний авіаційний університет, просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна,
e-mail: liliya.gebrinbaydi@gmail.com*

У процесі аналізу сучасної системи проведення моніторингу на землях сільськогосподарського призначення визначено основні чинники, що впливають на зниження родючості ґрунтів. Обґрунтовано доцільність застосування методів дистанційного зондування Землі для визначення та оцінювання показників родючості ґрунту. Досліджено рівень наявності зв'язку між спектральною енергетичною яскравістю ґрунту і вмістом гумусу на основі статистичної залежності, визначено значущість такого зв'язку. Розглянуто чинники, що впливають на спектральну яскравість ґрунту у різних діапазонах електромагнітного випромінювання. Виявлено статистичний лінійний регресійний зв'язок між спектральною яскравістю ґрунту та вмістом гумусу, визначеним наземними методами. На підставі обернених лінійних залежностей оцінено точність модельованого вмісту гумусу. Запропоновано нові моделі визначення та оцінювання вмісту гумусу на основі спектральних яскравостей та спектральних індексів видимого та інфрачервоного діапазонів електромагнітного випромінювання. В результаті обчислення середньоквадратичного відхилення фактичного вмісту гумусу від модельованого визначено найточніші моделі, що характеризуються мінімальними похибками.

Ключові слова: аерокосмічні методи, дистанційне зондування Землі, спектральні характеристики, мульти-спектральні знімки, ґрунти, гумус, кореляція, лінійні залежності.

Актуальність і постановка проблеми дослідження.

Охорона та відтворення родючості ґрунтів, захист їх від деградації – фундаментальна пріоритетна проблема земельної політики України, розв'язання якої є неодмінною умовою сталого і високопродуктивного розвитку не лише сільськогосподарського виробництва, а й виживання людини та збереження природного середовища [4, 10]. Сільськогосподарське використання земельного фонду України потребує постійного контролю за станом його родючості, ступенем еродованості, реакцією ґрунтового середовища, а також рівнем забруднення важкими металами, пестицидами та радіонуклідами. Під час вивчення сучасних проблем проведення моніторингу ґрунтового покриву в Україні [8] та в окремих її регіонах, зокрема на Закарпатті [4], виявлено, що застосування іноземного досвіду з метою удосконалення вже існуючої системи є одним з методів поліпшення наявного стану ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення. Найважливішою якісною та кількісною властивістю зазначених земель є саме родючість ґрунтів, а вміст гумусу в ґрунті – один з основних її показників, тому кількісне та якісне оцінювання ґрунту необхідні для проведення ґрунтового моніторингу та агротехнічних заходів щодо збереження і відновлення ґрунтової родючості [7].

Агрохімічний метод оцінювання просторового розміщення гумусу – доволі тривалий, затратний і трудомісткий процес. З метою розв'язання цієї проблеми запропоновано використовувати результати аерокосмічних досліджень у поєднанні з вибір-

ковим відбором ґрунтових зразків для визначення вмісту гумусу [1, 9, 13].

Вивчення ступеня наявності статистичної залежності між спектральною енергетичною яскравістю ґрунту і вмістом гумусу, а також оцінювання значущості цього зв'язку дають змогу підтвердити гіпотезу про зв'язок вмісту гумусу як відсоткового показника із спектральною яскравістю каналів [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На цей час відомо кілька методів моделювання вмісту гумусу в ґрунті на підставі лінійних, нелінійних, множинних регресій [6]. Зокрема, В. Ачасов і Д. Бідолах, які досліджували зв'язок між вмістом гумусу та яскравістю поверхневого шару ґрунту за космічними знімками, визначили стійку кореляцію у червоній частині спектра знімка ($R = 0,74$) [1]. А. Шатохін і М. Линдін, які досліджували чорноземи типові, встановили тісну залежність ($R = 0,94$) між вмістом гумусу та яскравістю в ближньому інфрачервоному каналі [13]. О. Сахацький за даними космічного знімання Landsat 7 у межах тестових ділянок у Чернігівській та Хмельницькій областях виявив лінійну кореляційну залежність між спектральними даними пікселів у червоному ($R = 0,95$), ближньому інфрачервоному ($R = 0,85$) та голубому каналах ($R = 0,81$) з усередненим значенням вмісту гумусу [9]. С. Трускавецький, досліджуючи ґрунтовий покрив на полях Житомирського Полісся з використанням багатоспектрального космічного сканування супутником SPOT, установив значний зв'язок між вмістом гумусу у ґрунті та спектральною яскравістю у зеленому ($R = -0,88$), червоному ($R = -0,88$) та

у ближньому інфрачервоному каналах ($R = -0,90$) [11]. Дослідники ґрунтів Краснодарського краю (Росія) пропонують застосовувати множинні лінійні моделі з використанням видимого та ближнього інфрачервоного діапазонів ($R = 0,74$) [6]. Щодо темно-каштанових ґрунтів Миколаївської обл. С.Г. Чорний запропонував використовувати параболічну модель, яка ґрунтується на співвідношенні даних червоного та ближнього інфрачервоного каналів ($R = 0,63$), а також близьких значень коефіцієнтів кореляції між вмістом гумусу і яскравістю зеленого, червоного та ближнього інфрачервоного спектральних каналів ($R = 0,53$) [12].

Мета статті – визначення та оцінювання кількісних показників гумусу в ґрунті за матеріалами наземних і супутникових досліджень на землях сільськогосподарського призначення різних ландшафтних зон Закарпаття.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження та оцінювання кількісного вмісту гумусу в ґрунті за аерокосмічними та наземними даними було використано статистичні лінійні регресійні залежності. У процесі адаптації ці залежності набувають вигляду [4, 15]

$$B_n = aG_{act} + b,$$

де B – енергетична яскравість ґрунту у відповідному спектральному каналі; n – спектральний канал: червоний, синій, зелений, інфрачервоний; a , b – числові параметри моделі; G_{act} – відсотковий показник гумусу.

Під час визначення та оцінювання вмісту гумусу в ґрунті за даними аерокосмічних та наземних досліджень слід урахувати деякі характеристики та особливі умови досліджуваних полів, а саме: повітряно-сухий стан ґрунту [14, 16]; відсутність кірки, розмір часточок ґрунту (шорсткість) не більш як 2 см [17]; повна або часткова відсутність зеленої чи сухої рослинності або її решток, відсутність забарвлених часточок у ґрунті (сполук заліза) [18, 19].

Для визначення та оцінювання кількісних показників гумусу в ґрунті за результатами опрацювання мультиспектральних знімків використовують методику, що базується на дослідженні динаміки вмісту гумусу, складу ґрунтів та інших характеристик на підставі спектральних даних відкритого ґрунту. Отже, ґрунти – основний об'єкт дослідження [9].

Оцінювання вмісту гумусу в ґрунті за даними аерокосмічних і наземних досліджень в умовах різновисотних ландшафтних зон Закарпатської області складалося з таких етапів [15].

1. Отримання статистичних даних, які характеризують показники родючості ґрунтів області, та попередній аналіз кожного поля. Було використано дані щодо кількості гумусу в ґрунтах (G_{act}) у розрізі моніторингових ділянок (МД), агрохімічну паспортизацію земель сільськогосподарського призначення, районів і ландшафтних зон за 2013 р. [2].

2. Скачування наявних космічних знімків за відповідний період дослідження з мінімальним відсотком хмарності. Було отримано 5 мультиспектральних космічних знімків супутника 8 OLI (5 сцен) на територію області, з відсотком хмарності від 0 до 5 %, за весняний (березень, квітень) та осінній (вересень, жовтень, листопад) періоди 2013 р., що повністю задовольняє процес дослідження. Супутникові знімки скачували з офіційного сайту <http://glovis.usgs.gov>.

3. Попереднє оброблення знімків. За допомогою спеціалізованої програми Erdas Imagine 2013 було сформовано відповідне мультиспектральне зображення, проведено радіометричну та атмосферну корекцію знімків супутників, які потребували оброблення [3].

4. Розрахунок вегетаційного індексу NDVI згідно з показниками яскравостей відповідних спектральних каналів [4]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

де NIR і RED – відповідні значення на зображенні, які отримано у червоній (RED) видимій та ближній інфрачервоній (NIR) ділянках спектра. Усереднені значення індексу NDVI розраховували за даними кількох пікселів, які входили до вибірки у результаті побудови полігона, тому що площа ділянки дорівнює 2500 м².

5. Отримання усереднених значень спектральних яскравостей у вибраних каналах згідно з ділянками відбору зразків ґрунту. Відповідно до координат ділянок кількість пікселів підбирали у такий спосіб, щоб утворена в результаті площа полігона наближалась до площі досліджуваної ділянки, тобто до 2500 м², і можна було визначити усереднені значення енергетичної спектральної яскравості вибраних каналів (Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2).

6. Установлення лінійної статистичної залежності між фактичним вмістом гумусу в ґрунті G_{act} та усередненими значеннями спектральної яскравості по вибраних каналах у визначеній вибірці пікселів, знаходження коефіцієнтів кореляції R та детермінації R^2 , обчислення довірчих інтервалів значущості коефіцієнта кореляції за довірчої ймовірності 0,95 та рівнів значущості 0,05 [5].

7. Побудова графіків залежності між усередненими значеннями спектральної яскравості вибраних каналів у вибраній вибірці пікселів і фактичним вмістом гумусу в ґрунті G_{act} .

8. Визначення найтісніших лінійних залежностей, що характеризуються вищими коефіцієнтами кореляції R та допустимими довірчими інтервалами, а також значущістю коефіцієнта кореляції. Змодельований вмісту гумусу G_{pn} обчислено на основі оберненого рівняння лінійної регресії

$$G_{pn} = B_n \left(\frac{1}{a} \right) - \left(\frac{b}{a} \right).$$

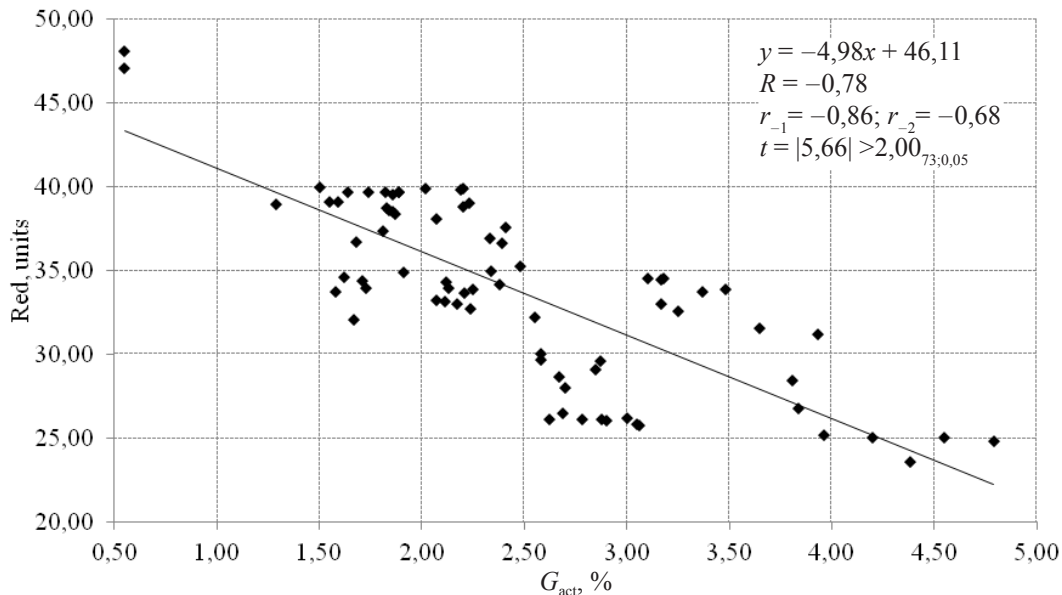


Рис. 1. Лінійні статистичні залежності між вмістом гумусу G_{act} та спектральною яскравістю за даними червоного (Red) каналу (08.03.2013) Landsat 8 OLI

Fig. 1. Linear statistical dependence between G_{act} and spectrum of brightness in Red channel

9. Оцінювання точності отриманих результатів та обчислення середньоквадратичного відхилення σ модельованого вмісту гумусу G_{pn} від фактичного G_{act} :

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (G_{act} - G_{pn})^2}{n-2}}$$

Для удосконалення підходу до визначення кількісних показників гумусу в ґрунті за даними спектрофотометрії ландшафтних зон було запропоновано нові моделі залежності вмісту гумусу від яскравостей каналів і спектральних індексів видимого та інфрачервоного діапазонів електромагнітного випромінювання. Основний критерій оцінки точності – середньоквадратичне відхилення обчисленого вмісту гумусу (G_{pn}) від фактичного (G_{act}); значущість кореляції між ними перевірено на рівні значущості $\alpha = 0,05$ ($p = 0,95$).

Основні результати. Згідно з виявленням статистичного лінійного зв'язку між спектральною яскравістю пікселів на ділянках дослідження та відповідними показниками гумусу в ґрунті, найтісніша обернена лінійна залежність спостерігається у червоному (Red) спектральному каналі видимого діапазону (рис. 1) з такими усередненими значеннями: коефіцієнт кореляції $R = -0,65$, довірчі інтервали: $r_1 = -0,85$; $r_2 = -0,34$; значущість коефіцієнта кореляції $t = |4,13| > 2,0_{73;0,05}$ за довірчої ймовірності $p = 0,95$ та рівня значущості $\alpha = 0,05$; середнє квадратичне відхилення обчисленого вмісту гумусу (G_{pn}) від фактичного (G_{act}) $\sigma = 1,53$ (рис. 2).

Лінійну залежність виявлено між даними голубого (Blue) ($R = -0,51$; $r_1 = -0,77$; $r_2 = -0,14$; $t = |2,93| > 2,0_{73;0,05}$; $\sigma = 3,89$) та зеленого (Green) ($R = -0,51$; $r_1 = -0,77$; $r_2 = -0,14$; $t = |2,83| > 2,0_{73;0,05}$;

$\sigma = 2,49$) спектральних каналів при $p = 0,95$ та $\alpha = 0,05$.

Інфрачервоний діапазон включає три спектральні канали (ближній (NIR): $R = -0,29$; $r_1 = -0,63$; $r_2 = 0,15$; $t = |1,72| < 2,0_{73;0,05}$; $\sigma = 9,75$, і два короткохвильові – SWIR 1: $R = -0,18$; $r_1 = -0,56$; $r_2 = 0,26$; $t = |0,89| < 2,0_{73;0,05}$; $\sigma = 11,99$, і SWIR 2: $R = -0,19$; $r_1 = -0,57$; $r_2 = 0,25$; $t = |1,05| < 2,0_{73;0,05}$; $\sigma = 10,89$ при $p = 0,95$ та $\alpha = 0,05$) і характеризується слабкою залежністю.

Було перевірено 13 різних нових моделей залежності вмісту гумусу від яскравостей каналів і спектральних індексів:

$$1) G_{pn} = a \frac{\text{Blue}}{\text{Red}} + b \frac{\text{NIR}}{\text{Red}} + c \frac{\text{SWIR1}}{\text{Red}} + d \frac{\text{SWIR2}}{\text{Red}} + u;$$

$$2) G_{pn} = a \frac{\text{Green}}{\text{Red}} + b \frac{\text{NIR}}{\text{Red}} + c;$$

$$3) G_{pn} = a \text{Red} + b \frac{\text{Green}}{\text{Red}} + c;$$

$$4) G_{pn} = a \text{Red} + b \frac{\text{Green}}{\text{Red}} + c \frac{\text{NIR}}{\text{Red}} + d;$$

$$5) G_{pn} = a \frac{\text{Green}}{\text{Red}} + b \frac{\text{Green}}{\text{Blue}} + c;$$

$$6) G_{pn} = G_0 \text{Blue}^a \text{Green}^b \text{Red}^c \text{NIR}^d \text{SWIR1}^e \text{SWIR2}^f;$$

$$7) G_{pn} = G_0 \text{Green}^a \text{Red}^b;$$

$$8) G_{pn} = a \frac{\text{Green}}{\text{Red}} + b;$$

$$9) G_{pn} = a \frac{\text{Blue}}{\text{Green}} + b;$$

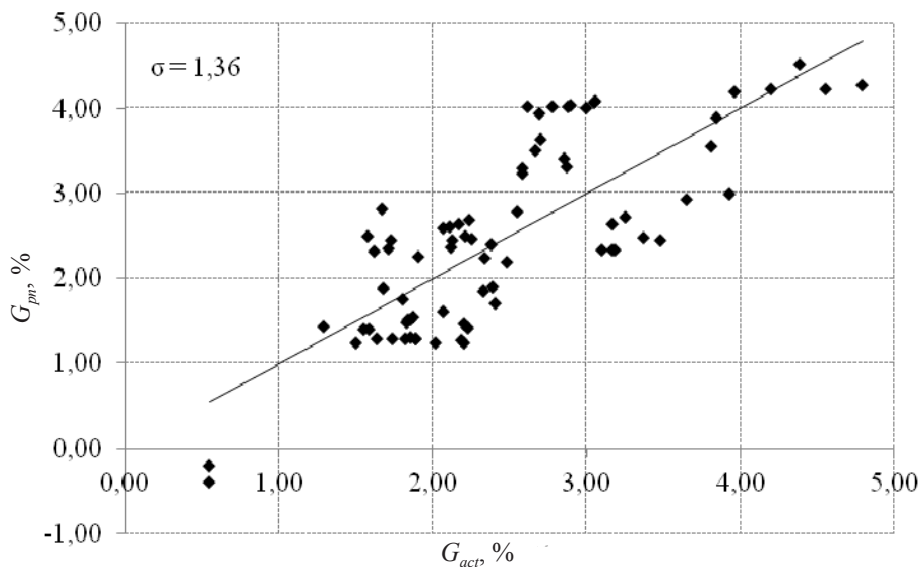


Рис. 2. Графічне зображення середньоквадратичного відхилення обчисленого вмісту гумусу G_{pn} від фактичного G_{act} за даними червоного каналу (08.03.2013)

Fig. 2. The graphic image of mean square deviation between built humus content G_{pn} and actual humus content G_{act} of the red channel (08.03.2013)

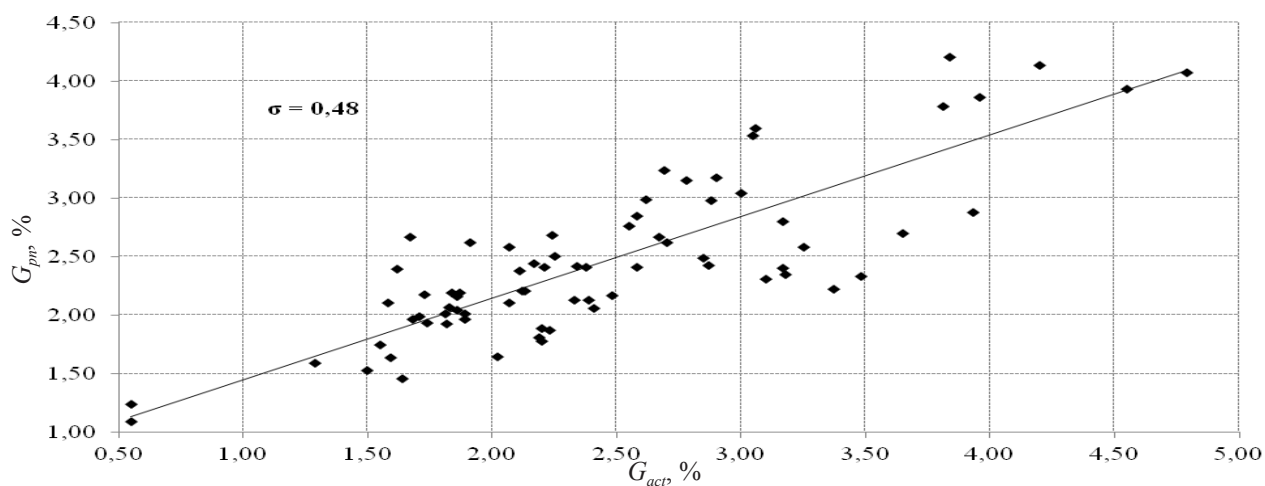


Рис. 3. Середньоквадратичне відхилення обчисленого показника (G_{pn}) від фактичного (G_{act}). Модель 6 (08.03.2013)

Fig. 3. Average square deviation (G_{pn}) and (G_{act}). Model 6 (08.03.2013)

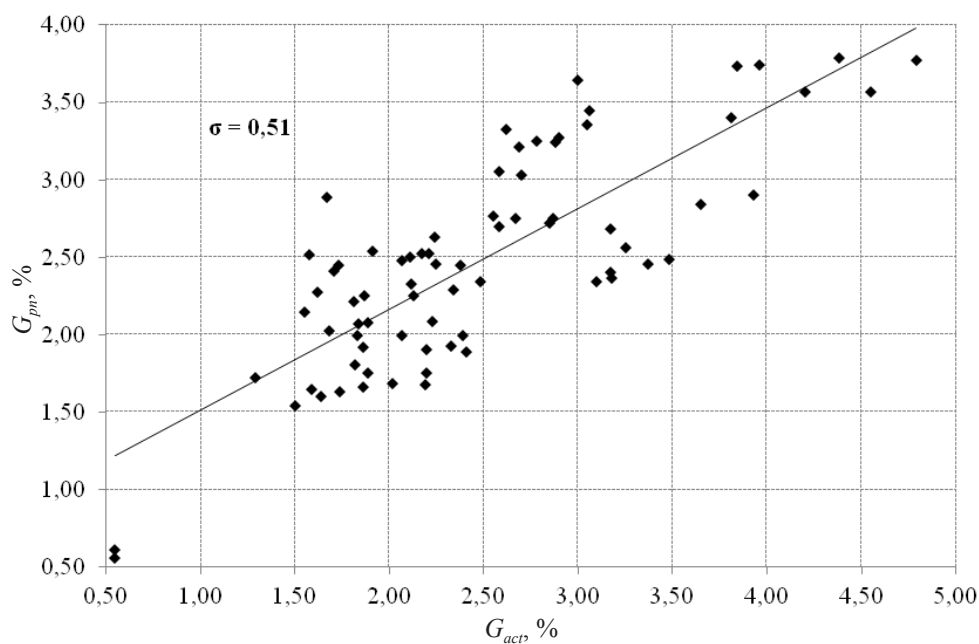


Рис. 4. Середньоквадратичне відхилення обчисленого показника (G_{pn}) від фактичного (G_{act}). Модель 1 (08.03.2013)

Fig. 4. Average square deviation (G_{pn}) and (G_{act}). Model 1 (08.03.2013)

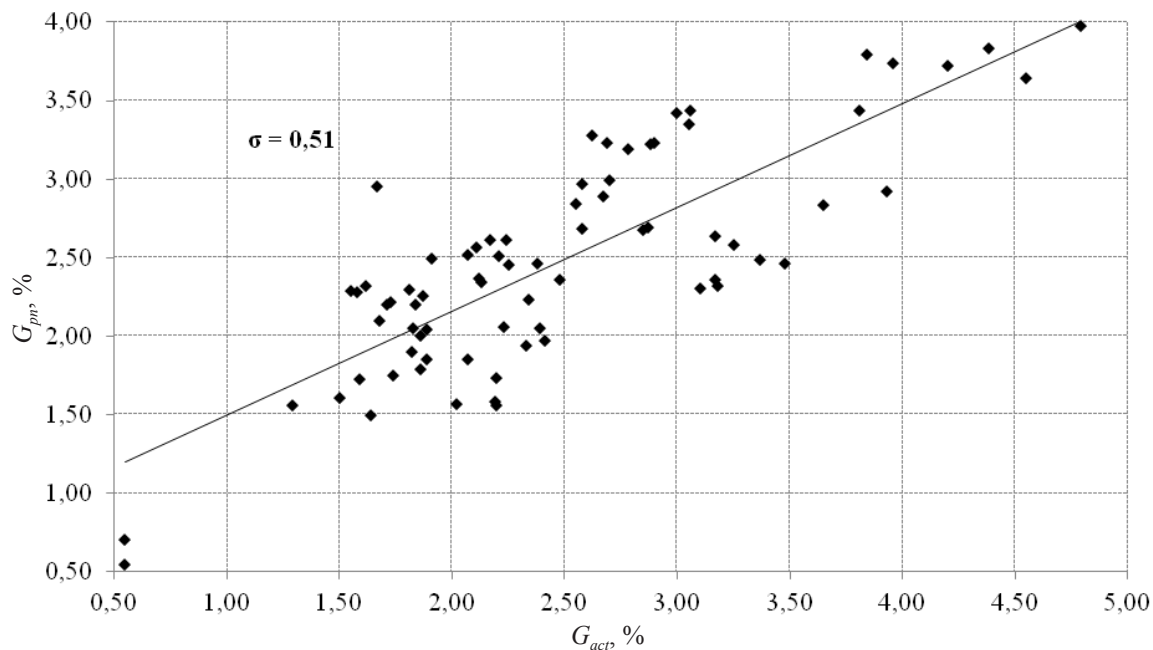


Рис. 5. Середньоквадратичне відхилення обчисленого показника (G_{pn}) від фактичного (G_{act}). Модель 4 (08.03.2013)

Fig. 5. Average square deviation (G_{pn}) and (G_{act}). Model 4 (08.03.2013)

$$10) G_{pn} = a \frac{\text{Blue}}{\text{Red}} + b;$$

$$11) G_{pn} = a \frac{\text{NIR}}{\text{Red}} + b;$$

$$12) G_{pn} = a \frac{\text{SWIR1}}{\text{Red}} + b;$$

$$13) G_{pn} = a \text{Green} + b \text{NIR} + c.$$

У результаті математичної обробки показників виявлено, що найліпше використовувати для визначення та оцінки кількісних показників гумусу в ґрунті за даними наземних і супутникових досліджень степеневу залежність на основі моделі 6 (рис. 3), оскільки усереднене за вибіркою середньоквадратичне відхилення обчисленого вмісту гумусу (G_{pn}) від фактичного (G_{act}) становить $\sigma = 0,52$, тоді як у разі застосування інших моделей цей показник є більшим (див. таблицю).

Запропонована модель 6 використовує шість спектральних каналів Landsat, але за меншої кількості каналів можливе застосування інших моделей з найменшими середньоквадратичними відхиленнями, наприклад: модель 1, у якій використано співвідношення усіх каналів до червоного ($\sigma = 0,57$) (рис. 4); модель 4, у якій використано лише канали Green, Red та NIR ($\sigma = 0,57$) (рис. 5); степенева модель 7, що базується на каналах Green та Red ($\sigma = 0,58$).

Опрацювання запропонованої методики дало змогу виявити, що найліпше використовувати для визначення кількісних показників гумусу в ґрунті за даними супутникових і наземних спостережень степеневу залежність яскравості в різних діапазонах спектра, оскільки усереднене середньоквадратичне відхилення обчисленого вмісту гумусу від фактичного в цій моделі є мінімальним – 0,52. Проте за наявності меншої кількості каналів можливе застосування інших запропонованих моделей

Змодельовані середньоквадратичні відхилення обчисленого вмісту гумусу (G_{pn}) від фактичного (G_{act})

The mean square deviation – between built humus content G_{pn} and actual humus content G_{act} of the model and data of researches

Дата дослідження	Модель												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
08.03.2013	0,51	0,62	0,51	0,51	0,48	0,48	0,51	0,72	0,75	0,49	0,63	0,70	0,71
24.03.2013	0,60	0,72	0,60	0,59	0,68	0,51	0,61	0,82	0,78	0,69	0,71	0,66	0,67
09.04.2013	0,65	0,71	0,60	0,58	0,64	0,53	0,58	0,74	0,80	0,64	0,74	0,77	0,70
02.10.2013	0,49	0,69	0,64	0,62	0,78	0,59	0,65	0,78	0,86	0,79	0,71	0,84	0,75
03.11.2013	0,63	0,62	1,12	0,55	0,75	0,50	0,57	0,75	0,84	0,77	0,67	0,67	0,62
Середнє σ	0,576	0,672	0,694	0,57	0,666	0,522	0,584	0,762	0,806	0,676	0,692	0,728	0,69

з найменшими середньоквадратичними відхиленнями. Такий підхід дає змогу оперативно і достовірно отримувати інформацію про кількісні показники гумусу в ґрунті для прийняття раціональних управлінських рішень щодо застосування доцільних агротехнічних заходів з метою запобігання зниженню родючості ґрунтів відповідно до ландшафтних зон Закарпаття.

Висновки. У результаті застосування запропонованої методики щодо визначення та оцінювання кількісних показників гумусу в ґрунті за даними аерокосмічних і наземних досліджень в умовах різних ландшафтних зон Закарпаття зроблено такі висновки.

1. Досліджено, що 95 % отриманих коефіцієнтів кореляції є від'ємними, а це свідчить про обернену залежність між фактичним вмістом гумусу в ґрунті та спектральною яскравістю пікселя.

2. Визначено кількісні показники гумусу в ґрунті на підставі статистичних лінійних регресійних залежностей між фактичним вмістом гумусу та даними яскравостей вибраних спектральних каналів.

3. Запропоновано нові моделі залежності вмісту гумусу від яскравостей каналів і спектральних індексів видимого та інфрачервоного діапазонів електромагнітного випромінювання.

4. Виявлено, що для визначення та оцінювання кількісних показників гумусу в ґрунті найліпше застосовувати степеневу залежність на основі моделі 6, яка характеризується найменшим середньоквадратичним відхиленням за вибіркою.

Список бібліографічних посилань

1. Ачасов В.А., Бидолах Д.И. Использование материалов космической и наземной цифровой фотосъемки для определения содержания гумуса в почвах. *Почвоведение*. 2008. № 3. С. 280–286.
2. Бандурович Ю.Ю. Звіт про виконання проектно-технологічних та науково-дослідних робіт у 2013 році / за ред. Ю. Ю. Бандуровича. Ужгород: Карпати, 2014. 91 с.
3. Бурштинська Х.В., Долинська І.В. Вплив атмосфери на космічне зображення та принципи її врахування. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2013. № 78. С. 89–96.
4. Гебрин Л.В., Сахацький О.І. Застосування даних дистанційних аерокосмічних методів для узагальненої оцінки стану ґрунтів регіону. *Геоінформатика*. 2015. № 3 (55). С. 68–76.
5. Гмурман В.Е. Теория вероятности и математическая статистика. М.: Высш. шк., 2003. 479 с.

6. Малышевский В.А., Федулов Ю.П., Островский Н.В. Расчет содержания гумуса с использованием данных дистанционного зондирования Земли. *КубГАУ*. 2013. № 92(08). С. 672–682.
7. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины. Концепции, предварительные результаты, задачи. Харьков: Антика, 2002. 428 с.
8. Панас Р.М., Маланчук М.В. Сучасні проблеми здійснення моніторингу ґрунтового покриву України. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. 2013. № 78. С. 201–206.
9. 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.
10. Зубець М.В., Балюк С.А., Греков В.О. Сучасний стан ґрунтового покриву України і невідкладні заходи з його охорони. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2010. №1. С. 7–17.
11. Трускавецький С.Р. Використання багатоспектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриву Полісся України: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: спец. 03.00.18 "ґрунтознавство". Х., 2006. 24 с.
12. Чорний С.Г., Абрамов Д.А. Моніторинг вмісту гумусу у чорноземі південному з використанням багатоспектральних знімків супутника Landsat: просторові та тимчасові аспекти. *ґрунтознавство*. 2016. V. 17, no. 1-2. P. 22–30.
13. Шатохин А.В., Лындин М.А. Сопряженное изучение черноземов Донбасса наземными и дистанционными методами. *Почвоведение*. 2001. № 9. С. 1037–1044.
14. Gao B.C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 1996. № 58. P. 257–266.
15. Gebrin L.V., Zeleznyk O.O., Velikodsky Y.I., Bandurovich Y.Y. Comprehensive technique for constitution estimation based on satellite observation methods. *Proceedings of the National Aviation University*. 2015. № 3 (64). P. 91–97.
16. Sadeghi M., Jons S., Philpot W. A linear physically – based model for remote sensing of soil moisture using short wave infrared bands. *Remote Sensing of Environment*. 2015. № 164. P. 66–76.
17. Serbin G., Craig E., Raymond S., James B. Effects of soil composition and mineralogy on remote sensing of crop residue cover. *Remote Sensing of Environment*. 2009. N 113. P. 224–238.
18. South S., Qi J., Lusch D.P. Optimal classification methods for mapping agriculture tillage practices. *Remote Sensing of Environment*. 2004. № 91. P. 90–97.
19. Schumge T. Microwave remote sensing of soils hydraulic properties. *Soil hydrology, Land use and Agriculture*. 2011. N 19. P. 415–421.

Надійшла до редакції 16.06.2017 р.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ОЦЕНКА КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Л.В. Гебрин-Байди

*Национальный авиационный университет, просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03058, Украина,
e-mail: liliya.gebrinbaydi@gmail.com*

Дан анализ современной системы проведения мониторинга на землях сельскохозяйственного назначения и определены основные параметры, влияющие на снижение плодородия почв. Обоснована целесообразность применения методов дистанционного зондирования Земли для определения и оценки показателей плодородия почвы. Исследована степень наличия связи спектральной энергетической яркости почвы и содержания гумуса на основании статистической зависимости, определена значимость такой связи. Рассмотрены параметры, влияющие на спектральную яркость почвы в различных диапазонах электромагнитного излучения. Изучена статистическая линейная регрессионная связь между спектральной яркостью почвы и содержанием гумуса, полученным наземными методами. На основании обратных линейных зависимостей смоделированы значения содержания гумуса и произведена оценка их точности. Предложены новые модели определения и оценки содержания гумуса на основе спектральных яркостей и спектральных индексов видимого и инфракрасного диапазонов электромагнитного излучения. В результате вычисления среднеквадратического отклонения фактического содержания гумуса от моделируемого определены наиболее точные модели, характеризующиеся минимальными погрешностями.

Ключевые слова: аэрокосмические методы, дистанционное зондирование Земли, спектральные характеристики, мультиспектральные снимки, почвы, гумус, корреляция, линейные зависимости.

IDENTIFICATION AND EVALUATION OF QUANTITATIVE SOIL FERTILITY INDICATORS USING METHODS OF REMOTE SENSING

L.V. Gebrin-Baydi

National Aviation University, 1, Kosmonavta Komarova Ave., Kiev, 03058, Ukraine, e-mail: liliya.gebrinbaydi@gmail.com

Purpose. The aim of the research is to identify and evaluate the quantitative soil fertility indicators, based on the on-ground and satellite research of the agricultural lands of different landscape zones in Zakarpattia.

Design/methodology/approach. The proposed methodology is founded on the usage of linear mathematical regression dependence of the actual humus level in the soil indicator and spectral energetic brightness of pixels of multi-spectral space images. New models were built which correlate the humus level on brightness of channels and spectral indices of visible and infrared spectrum of electromagnetic emission, ratios of correlation were identified, confidence intervals and mean square deviation of the calculated humus level in soil indicator from the actual humus level indicator.

Findings. In establishing statistical linear relation of the spectral brightness of pixels on the sections under study and the relevant humus level indicators, it was found out that there is the tightest reverse linear dependence in the red spectral channel of the visible spectrum. To improve the methodology of identifying quantitative indicators of humus level in soil based on the data of spectrophotometric analysis of landscape zones, we propose new models of dependence of humus level on brightness channels and spectral indicators of visible and infrared electromagnetic spectrum.

Practical value/implications. We have tested 13 different new models of the dependence of the humus level on brightness channels and spectral indicators. It was revealed that the most efficient way in determining quantitative indicators of the humus level in soil, based on the data of satellite and on-the-ground observations, is to use the power dependence of brightness in different spectral ranges (Blue, Green, Red, NIR, SWIR1, SWIR2), since the mean square deviation of the calculated humus level indicator from the actual humus level indicator in the given model is minimal and equals 0,52. This approach allows us to obtain operational and reliable information on the quantitative indicator of the humus level in soil for rational managerial decision-making aimed at applying agrotechnical measures to prevent soil fertility decrease in landscape zones in Zakarpattia.

Keywords: aerospace methods, remote sensing of the Earth, spectral characteristics, multispectral images, soils, humus content, correlation, linear dependence.

References:

1. Achasov V.A., Bidolakh D.I. Ispol'zovanie materialov kosmicheskoy i nazemnoy tsifrovoy fotos'emok dlya opredeleniya sodержaniya gumusa v pochvakh. *Pochvovedenie*, 2008, no. 3, pp. 280-286.
2. Bandurovych Yu.Yu. Zvit pro vykonannya proektno-tekhnolohichnykh ta naukovu-doslidnykh robit u 2013 rotsi: [za red. Yu. Yu. Bandurovycha]. Uzhhorod: Karpaty, 2014, 91 p.
3. Burshtynska Kh. V., Dolynska I.V. Vplyv atmosfery na kosmichne zobrazhennia ta pryntsyipy yii vrakhuvannia. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*, 2013, no. 78, pp. 89-96.
4. Gebryn L.V., Sakhatskyi O.I. Zastosuvannia danykh dystantsiinykh aerokosmichnykh metodiv dlia uzahalnenoi otsinky stanu gruntiv rehionu. *Geoinformatika*, 2015, no. 3, pp. 68-76.

5. Gmurman V.E. Teoriya veroyatnosti i matematicheskaya statistika. M.: Vysshaya shkola, 2003, 479 p.
6. Maleychevskiy V. A., Fedulov Y. P., Ostrovskiy N. V., Lebedovskiy I. A. Humus content calculation the method with use of remote sensing of the Earth. *KubSAU*, 2013, no. 92, pp. 672-682.
7. Medvedev V.V. Monitoring pochv Ukrainy. Kontsepsiya, predvaritel'nye rezul'taty, zadachi. Khar'kov: Antikva, 2002, 428 p.
8. Panas R.M., Malanchuk M.V. Suchasni problemy zdiisnennia monitorynhu gruntovoho pokryvu Ukrainy. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia*, 2013, no. 78, pp. 201-206.
9. Sakhatskiy O.I. Dosvid vykorystannia suputnykovykh danykh dlia otsinky stanu gruntiv z metoiu rozviazannia pryrodoresursnykh zadach. *Dopovidi Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy*, 2008, no. 3, pp. 109-115.
10. Zubets M.V., Baliuk S.A., Hrekov V.O. Suchasnyi stan gruntovoho pokryvu Ukrainy i nevidkladni zakhody z yoho okhorony. *Ahrokhimiia i gruntoznavstvo*, 2010, no. 1, pp. 7-17.
11. Truskavetskiy S.R. Vykorystannia bahatospektralnoho kosmichnoho skanuvannia ta heoinformatsiinykh system u doslidzhenni gruntovoho pokryvu Polissia Ukrainy: avtoref. dys. ... kand. s.-h. nauk: spets. 03.00.18 "Gruntoznavstvo". Kharkiv, 2006, 24 p.
12. Chornyi S.H., Abramov D.A. Monitorynh vmistu humusu u chornozemi pivdennomu z vykorystanniam bahatospektralnykh znmkiv suputnyka Landsat: prostorovi ta tymchasovi aspekty. *Gruntoznavstvo*, 2016, vol. 17, no. 1-2, pp. 22-30.
13. Shatokhin A.V., Lyndin M.A. Sopryazhenoe izuchenie chernozemov Donbassa nazemnymi i distantsionnymi metodami. *Pochvovedenie*, 2001, no. 9, pp. 1037-1044.
14. Gao B.C. NDWI – a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*. 1996. N 58. P. 257-266.
15. Gebrin L.V., Zeleznyk O.O., Velikodsky Y.I., Bandurovich Y.Y. Comprehensive technique for constitution estimation based on satellite observation methods. *Proceedings of the National Aviation University*. 2015. N 3 (64). P. 91-97.
16. Sadeghi M., Jons S., Philpot W. A linear physically – based model for remote sensing of soil moisture using short wave infrared bands. *Remote Sensing of Environment*. 2015. N 164. P. 66-76.
17. Serbin G., Craig E., Raymond S., James B. Effects of soil composition and mineralogy on remote sensing of crop residue cover. *Remote Sensing of Environment*. 2009. N 113. P. 224-238.
18. South S., Qi J., Lusch D.P. Optimal classification methods for mapping agriculture tillage practices. *Remote Sensing of Environment*. 2004. N 91. P. 90-97.
19. Schmugge T. Microwave remote sensing of soils hydraulic properties. *Soil hydrology, Land use and Agriculture*. 2011. N 19. P. 415-421.

Received 16/06/2017