

УДК 621.396.33:528.8
(631.41)
© 2010

*С.Г. Чорний,
доктор сільсько-
господарських наук
І.М. Гашипоренко*

*Миколаївський державний
аграрний університет*

ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ГУМУСУ В ҐРУНТАХ ДИСТАНЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ

На основі кількісного аналізу даних за вмістом гумусу в чорноземах південних та темно-каштанових ґрунтах та коефіцієнтів спектральних яскравостей у червоній частині спектра, які було одержано супутником SPOT-4, складено ряд регресійних рівнянь. За їх допомогою визначено темпи дегуміфікації досліджуваних ґрунтів.

Гумус значною мірою визначає родючість ґрунту. Його кількість тісно пов'язана з найважливішими хімічними, водними, фізичними та фізико-хімічними властивостями ґрунту (структурність, ємність поглинання, буферність, водопроникність, кислотність (лужність) ґрунтового розчину тощо). У гумусі міститься близько 100% ґрунтового азоту, який часто є єдиним джерелом цієї речовини для сільськогосподарських рослин, а також близько 50% фосфору. Він містить біологічно активні речовини, стимулятори росту, вітаміни тощо [4].

Довготермінові зміни вмісту гумусу в ґрунті є одним із головних критеріїв оцінки якості систем землеробства щодо їхнього впливу на родючість ґрунту. Втрата органічної речовини при сільськогосподарському використанні ґрунтів є показником нераціонального землеробства, а зростання вмісту гумусу свідчить про покращення ґрунтової родючості.

Результати моніторингу гумусного стану ґрунту, який проводять фахівці обласних ППЦ охорони родючості ґрунтів та якості сільськогосподарської продукції, мають вигляд циклічних (один раз у 5 років) спостережень за вмістом гумусу (шар ґрунту 0—25 см) на сільськогосподарських угіддях з подальшим узагальненням їх у межах колишніх колгоспів та радгоспів (нині — у межах сілград) та адміністративних районів. Але використання даних багатоспектральної супутникової зйомки з метою створення системи дистанційного гумусового моніторингу дає можливість значно здешевити та прискорити оперативність процедури визначення вмісту гумусу в ґрунтах.

Накопичений в Україні досвід щодо використання матеріалів багатозонального космічного сканування для гумусового моніторингу показав [1, 5, 7, 8], що найчастіше існує тісний зв'язок між вмістом гумусу в різних ґрунтах України та спектральними коефіцієнтами яскравості (СКЯ) в червоній частині спектра. Авторами наведено лінійні або нелінійні (найчастіше — експоненціальні) рівняння регресії між цими показниками, в яких величини СКЯ зменшуються разом зі зростанням вмісту органічної речовини, що пов'язано зі зростанням вмісту в

ґрунті найбільш інтенсивно фарбованих гумусових речовин — гумінових кислот [8].

Аналіз результатів цих досліджень засвідчує певну складність їх застосування при організації системи супутникового гумусового моніторингу. По-перше, зазвичай, сучасні показники щодо вмісту гумусу та інших властивостей порівнюються із спектральними характеристиками супутникових зображень, які одержано за 5—15 років до початку польових досліджень [1, 7, 8]. Але через нераціональну систему землеробства, зокрема вилучення бобових культур із структури посівних площ та невнесення органічних та мінеральних добрив, темп дегуміфікації був на Поліссі на рівні 0,7—0,8 т/га, у Лісостепу — 0,6—0,7, Степу — 0,5—0,6 т/га [6]. Більш точні розрахунки по Миколаївській області показали, що з кінця 80-х років до середини 2000-х щорічні втрати гумусу по різних типах (підтипах) ґрунтів становили 0,3—1,2 т/га [2]. А тому порівняння показників щодо вмісту гумусу, одержаних із СКЯ супутникового зображення багаторічної давності, не є коректним. По-друге, залежності між вмістом гумусу та СКЯ отримано при дослідженнях на відносно невеликих ділянках («полігонах») — площі не більше кількох сот гектарів. Процедура екстраполяції залежностей по інших територіях з аналогічними ґрунтами в публікаціях не наведено, а тому пряме застосування рівнянь регресії навіть на сусідніх територіях, у межах одного типу (підтипу ґрунту), може призвести до істотних помилок.

Отже, **мета досліджень** — створення універсальних методик використання багатоспектральних знімків космічних апаратів для гумусового моніторингу ґрунтів зони Південного та Сухого Степу України. В нашому дослідженні було використано багатоспектральні космічні знімки Херсонської та Миколаївської областей, здійснені французьким супутником SPOT-4 24 квітня 1993 р. та 5 квітня 1996 р. за нульової хмарності. Зйомку було проведено мультиспектральною камерою HRV за 3-ма каналами: Я₁ — 0,50—0,59 мкм (зелений діапазон); Я₂ — 0,61—0,68 мкм (червоний); Я₃ — 0,79—0,89 мкм (близький інфрачервоний діапазон). Роздільна

1. Регресійні залежності між вмістом гумусу (G) та СКЯ червоної частини спектра (Y_I)

Характеристика ґрунтового покриву				Рівняння	Коефіцієнт		Помилка рівняння, %	
Тип (підтип) ґрунту	Гранулометричний склад	Функція Шеннона-Уівера	Скорочене визначення		детермінації, R ²	кореляції, R	абсолютна (±m)	відносна
Чорнозем південний	Важко- і середньосуглинковий	N(x)=0	ЧПВССС(N=0)	G=6,591·exp(−0,013·Y _I)	0,29	0,54	0,13	3,6
		N(x)>0	ЧПВССС(N>0)	G=12,125 exp(−0,026·Y _I)	0,35	0,59	0,28	8,1
	Легкосуглинковий	N(x)=0	ЧПЛС(N=0)	G=43,558 exp(−0,056·Y _I)	0,56	0,75	0,38	17,5
		N(x)>0	ЧПЛС(N>0)	G=13,008 exp(−0,027·Y _I)	0,29	0,54	0,31	9,5
Темно-каштановий	Важко- і середньосуглинковий	N(x)=0	ТКВССС(N=0)	G=4,917·exp(−0,013·Y _I)	0,30	0,55	0,40	17,8
		N(x)>0	ТКВССС(N>0)	G=5,722 exp(−0,016·Y _I)	0,30	0,55	0,41	18,4
	Легкосуглинковий	N(x)=0	ТКЛС(N=0)	G=14,204 exp(−0,033·Y _I)	0,37	0,61	0,44	17,9
		N(x)>0	ТКЛС(N>0)	G=6,943 exp(−0,020·Y _I)	0,40	0,63	0,20	8,2

здатність знімка дорівнювала 20 м на піксел електронного зображення. За метеорологічними даними, поверхня ґрунту на момент сканування перебувала у повітряно-сухому стані. З метою пошуку полів, не зайнятих рослинністю на момент сканування, розраховано вегетаційний індекс (NDVI) за формулою:

$$NDVI = (Y_{IR} - Y_R) / (Y_{IR} + Y_R), \quad (1)$$

де Y_{IR} — коефіцієнт спектральної яскравості в інфрачервоному діапазоні спектра, Y_R — коефіцієнт спектральної яскравості в червоному діапазоні спектра. Якщо значення вегетаційного індексу було близьким до нуля ($<0,1$) або від'ємне, то вважали, що поле не зайняте рослинністю.

Отже, було ідентифіковано 390 полів загальною площею 38409 га в Миколаївському, Очаківському, Жовтневому районах Миколаївської області та Білозерському районі Херсонської, зайнятими чорноземами південним та темно-каштановими ґрунтами. Дані щодо вмісту гумусу в шарі ґрунту 0—25 см на момент зйомки (квітень 1993 р. та квітень 1996 р.) було взято з архівів відповідних турів агрохімічних досліджень, які проводили Миколаївський та Херсонський обласні центри охорони родючості ґрунтів та якості сільськогосподарської продукції. Часова різниця між термінами зйомки та визначення вмісту гумусу не перевищувала 2-х років.

СКЯ розраховували в кожному пікселі зображення в межах конкретного поля за допомогою програми ENVI 4.1, а потім визначали середні величини. Слід зазначити, що висока комплексність ґрунтового покриву є типовою для Південного та Сухого Степу України. Зональні південні чорноземи та темно-каштанові ґрунти різною мірою еродовані, а по улоговинах («подах») утворилися засолені та осолонцювані ґрунти різного ступеню гідроморфності. Очевидно, що при використанні середніх значень вмісту гумусу, СКЯ по кожному полю та комплексність ґрунтів є важливим фактором, який впливатиме на якість зв'язків між цими параметрами. Для врахування комплексності ґрунтового покриву використано показник інформаційного різноманіття — функцію Шеннона-Уівера ($H(x)$) [9], яку розраховують за формулою:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n p(i) \cdot \log_2 p(i), \quad (2)$$

де p_i — частка кожного ґрунтового виділу в кожному полі, %.

Теоретично функція (2) матиме максимальне значення, коли є найбільша складність ґрунтового покриву в середині кожного поля, тобто коли є кілька ґрунтових виділів рівної площі, і мінімальне, коли всю площу поля займає один ґрунтовий виділ. У нашому випадку розрахун-

2. Визначення сучасних змін у вмісті гумусу в ґрунтах Півдня України

№ поля	Значення СКЯ в червоній частині спектра зображення Landsat	Характеристика ґрунтового покриття	Вміст гумусу, %		Зміни вмісту гумусу, %	Середні щорічні зміни вмісту гумусу в шарі ґрунту 0—25 см, т/га
			у 2003 р.	у 1993—1996 рр.		
6	57	ЧПССВС(H>0)	2,69	3,15	-0,46	-1,3
7	60	ЧПССВС(H>0)	2,49	3,60	-1,11	-3,1
9	66	ЧПССВС(H=0)	2,81	3,30	-0,49	-1,4
10	73	ЧПССВС(H>0)	1,76	3,50	-1,74	-4,8
11	79	ЧПССВС(H>0)	1,51	3,10	-1,59	-4,4
13	62	ЧПССВС(H=0)	2,96	3,65	-0,69	-1,9
14	63	ЧПССВС(H=0)	2,92	3,55	-0,63	-1,8
16	75	ЧПССВС(H>0)	1,67	3,15	-1,48	-4,1
23	62	ЧПССВС(H>0)	2,36	4,20	-1,84	-5,1
24	63	ЧПССВС(H=0)	2,92	3,65	-0,73	-2,0
25	59	ЧПССВС(H>0)	2,55	3,45	-0,90	-2,5
26	66	ЧПССВС(H=0)	2,81	3,70	-0,89	-2,5
28	70	ЧПССВС(H=0)	2,67	3,55	-0,88	-2,4
29	79	ТКЛС(H=0)	1,06	2,50	-1,44	-4,0
32	83	ТКЛС(H>0)	1,32	2,50	-1,18	-3,3
34	84	ТКЛС(H=0)	0,90	2,30	-1,40	-3,9
38	82	ТКЛС(H=0)	0,96	2,00	-1,04	-2,9
41	80	ТКЛС(H>0)	1,40	2,50	-1,10	-2,8
47	77	ТКЛС(H>0)	1,49	2,70	-1,21	-3,4
48	78	ТКЛС(H=0)	1,10	3,10	-2,00	-5,6
193	79	ТКВССС(H=0)	1,76	1,62	+0,14	+0,4
199	84	ТКВССС(H=0)	1,65	1,76	-0,11	-0,3
200	77	ТКВССС(H=0)	1,81	1,76	+0,05	+0,1
204	79	ТКВССС(H=0)	1,76	1,97	-0,21	-0,6
209	80	ТКВССС(H=0)	1,74	1,77	-0,03	-0,1
219	88	ТКВССС(H=0)	1,57	1,90	-0,33	-0,9
221	88	ТКВССС(H=0)	1,57	1,93	-0,36	-1,0
243	83	ТКВССС(H=0)	1,67	2,64	-0,97	-2,7

ки за формулою (2) показали, що за ґрунтовим різноманіттям усі поля можна поділити на 2 групи: з одноманітним ґрунтовим покритвом ($H(x)=0$) та зі строкатим — ($H(x)=0,29-1,37$).

За результатами робіт спеціалістів ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. Н.О. Соколовського» [8], на значення СКЯ впливає гранулометричний склад ґрунту, а тому в кожній з груп окремо розглядали спектральні характеристики легкосуглинкових ґрунтів та середньо- і важкосуглинкових.

Для одержання регресійних залежностей між вмістом гумусу та СКЯ червоної частини спектра використовували експоненціальну апроксимацію даних за допомогою відповідної функції в комп'ютерній програмі MS EXCEL. Перелік одержаних залежностей «уміст гумусу» (G) — «СКЯ в червоній частині спектра» (Y_r), коефіцієнтів детермінації (R^2) і кореляції (R), абсолютної помилки рівнянь регресії ($m \pm$) та відносної помилки наведено в табл. 1. Як свідчать дані табл. 1, за відносно невеликих коефіцієнтів детермінації (0,29—0,56) та, відповідно, коефіцієнтів кореляції (0,54—0,75), але за існуючою класифікацією, ці значення характеризують «середню» взаємозумовленість ознак, які вивчаються. Помилки розрахованих рівнянь,

що коливаються у межах 0,13—0,44%, теж слід вважати припустимими. Як визначено в роботі [3], граничне значення погрішності результатів аналізу гумусу лабораторним методом за Тюрінім (ДСТУ 4289:2004) становить (за вмістом гумусу в ґрунті до 3%) 20%. У нашому випадку визначені помилки рівнянь (табл. 1) коливаються у межах 3—18%.

Одержані залежності дають можливість використовувати будь-які багатоспектральні космічні знімки регіону для визначення вмісту гумусу. Зокрема, для визначення темпів деґуміфікації в регіоні в 90-ті роки XX ст. та на початку XXI ст. було порівняно супутникові зображення у червоній частині спектра з використанням рівнянь з табл. 1 по деяких полях Херсонської та Миколаївської областей. Для цієї процедури використовували багатоспектральний космічний знімок американського супутника «Ландсат», зроблений у квітні 2003 р. Слід зазначити, що сканування червоної частини спектра цим супутником відбувається в діапазоні 0,63—0,69 мкм, що дещо не збігається з червоним діапазоном знімків, отриманих при скануванні французьким супутником SPOT-4 (0,61—0,68 мкм), а тому при порівнянні цих даних можлива невелика систематична помилка.

Результати процедури порівняння наведено в табл. 2. За 7—10 років у ґрунтах відбулися значні втрати гумусу в ґрунті — у чорноземах південних середньо- та важкосуглинкових у середньому на 2,9 т/га, темно-каштанових легкосуглинкових — 3,7, а в темно-каштанових середньо- та важкосуглинкових втрати були мінімальними — 1,1 т/га. Більше того, по 2-х полях з темно-каштановими середньо- та важкосуглинковими ґрунтами спостерігається зростання вмісту гумусу. Наведені величини загалом є більшими за оцінки, що наводяться у науковій літературі [2, 6].

Пояснення цього феномену пов'язано з тим, що саме у розпал економічної кризи в 1995—2003 рр. у рослинницькій галузі Миколаївської та Херсонської областей відбулися найбільш негативні зміни в структурі посівних площ. Зокрема частка чорних парів збільшилася з 3—5% у 1990—1995 рр. до 18—21% у 2003—2005 рр. Слід зазначити, що щорічні втрати гумусу в неудобрених чорних парах сягають 2,2 т/га. Великі втрати гумусу спостерігаються в посівах просапних культур та колосових зернових. Зок-

рема розширення посівів соняшника в ці роки від 6—10 до 20—25% загальної структури посівних площ негативно вплинуло на баланс гумусу не стільки з точки зору втрат гумусу (близько 1,4 т/га щорічно), скільки з причин практично повної нездатності рослинних решток соняшника перетворитися на гумус. Позитивно впливають на баланс гумусу багаторічні бобові трави, але вони практично зникають зі структури посівних площ. Їхня площа в цих областях на початку XXI ст. не перевищує 2—3%. Швидке зменшення вмісту гумусу в ґрунтах пов'язано також з різким скороченням унесення органічних добрив, що є результатом швидкого зменшення поголів'я великої рогатої худоби, свиней та овець у 90-ті роки XX ст. А тому з 1996 р. щорічна норма органічних добрив у Миколаївській та Херсонській областях коливалася в межах лише 0,1—0,3 т/га ріллі. Саме повна відсутність органічних добрив разом з нераціональною структурою посівних площ стали головною причиною швидких втрат гумусу в ґрунтах ріллі Миколаївської та Херсонської областей.

Висновки

Для моніторингу вмісту гумусу за допомогою багатоспектральних супутникових знімків найкращою технологією є отримання регресійних рівнянь зв'язку між вмістом гумусу та СКЯ в червоній частині спектра з використанням даних архівів обласних центрів охорони родючості ґрунтів та якості сільськогосподарської продукції. Кількісний аналіз цих даних для чорноземів південних та темно-каштанових ґрунтів на площі в кілька де-

сятків тисяч гектарів дав змогу розрахувати ряд регресійних рівнянь, в яких враховуються не тільки типи (підтипи) ґрунту, а й його гранулометричний склад та рівень комплексності ґрунтового покриву кожного поля. При практичному використанні одержаних рівнянь можна порівнювати дані різночасових супутникових зображень та визначати темпи де-гуміфікації чорноземів південних та темно-каштанових ґрунтів.

Бібліографія

1. Ачасов А.Б., Бидолах Д.И. Использование материалов космической и наземной цифровой фотосъемки для определения содержания гумуса в почвах//Почвоведение. — 2008. — № 3. — С. 280—286.
2. Любарцев В.М., Чорна Т.М., Чорний С.Г. Моніторинг вмісту гумусу в ґрунтах Миколаївської області: просторово-часові аспекти//36. наук. праць ПДАТУ. — 2007. — Вип. 15. — С. 34—37.
3. Методи аналізу ґрунтів і рослин (метод. посіб.). Кн. I/За ред. С.Ю. Булигіна, С.А. Балюка та ін.). — Харків, 1999. — 156 с.
4. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів. — Харків: 13 типографія, 2006. — 239 с.
5. Сахачкий О.І. Досвід використання супутникових даних для оцінки стану ґрунтів з метою розв'язання природоресурсних задач//Доповіді НАН

України. — 2008. — № 3. — С. 109—115.

6. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства/За ред. В.В. Медведєва і М.В. Лісового. — Харків: Штрих, 2001. — 97 с.

7. Трускавецький С.Р. Використання багатоспектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриву Полісся України: Автореф. ... дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук. — Харків, 2006. — 24 с.

8. Шатохин А.В., Лындин М.А. Сопряженное изучение черноземов Донбасса наземными и дистанционными методами//Почвоведение. — 2001. — № 9. — С. 1037—1044.

9. Шеннон К.Э. Работы по теории информации и кибернетике. — М.: ИЛ, 1963. — 829 с.