

## **ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ГУМУСУ В ГРУНТАХ СТЕПУ УКРАЇНИ ДИСТАНЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ**

Гумус в значній мірі визначає родючість ґрунту. Його кількість тісно зв'язана з найважливішими хімічними, водними, фізичними та фізико-хімічними властивостями ґрунту, такими як структурність, ємність поглинання, буферність, водопроникливість, кислотність (лузність) ґрунтового розчину тощо. В гумусі міститься близько 100% ґрунтового азоту, який часто-густо 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 з головних критеріїв оцінки якості систем землеробства з точки зору їх впливу на родючість ґрунту. Втрата органічної речовини при сільськогосподарському використанні ґрунтів є показником нераціонального землеробства. І навпаки – зростання вмісту гумусу дає привід констатувати факт збільшення ґрунтової родючості.

Існуючий зараз моніторинг гумусного стану ґрунту, який проводиться фахівцями обласних ПТЦ охорони родючості ґрунтів та якості сільськогосподарської продукції, має вигляд циклічних (приблизно раз в 5 років) спостережень за вмістом гумусом (шар ґрунту – 0-25 см) на сільськогосподарських угіддях з подальшим узагальненням в межах колишніх колгоспів та радгоспів (зараз – в межах сільрад) та адміністративних районів.

Але використання даних багатоспектральної супутникової зйомки з метою створення системи дистанційного гумусового моніторингу дає можливість значно здешевити та багатократно збільшити оперативність процедури визначення вмісту гумусу в ґрунтах.

Накопичений в Україні досвід в використанні матеріалів багатозонального космічного сканування для гумусового моніторингу

показав [1, 5, 7, 8 тощо], що найчастіше існує тісний зв'язок між вмістом гумусу в різних ґрунтах України та спектральними коефіцієнтами яскравості (СКЯ) в червоній частині спектру. Авторами приводяться або лінійні або нелінійні (найчастіше – експоненціальні) рівняння регресії між цими показниками. В цих рівняннях величини СКЯ зменшуються разом із зростанням вмісту органічної речовини, що пов'язано із зростанням вмісту в ґрунті найбільш інтенсивно фарбованих гумусових речовин – гумінових кислот [8].

Аналіз результатів досліджень наведених вище авторів показують про певні складності при застосуванні результатів цих досліджень при організації системи супутникового гумусового моніторингу. По-перше, як правило, сучасні дослідження вмісту гумусу та інших властивостей порівнюються із спектральними характеристиками супутникових зображень, які були отримані раніш - 5-15 років до початку польових досліджень [1, 7, 8]. Але в результаті нераціональної системи землеробства, зокрема, зникнення бобових культур із структури посівних площ та невнесення органічних та мінеральних добрив темп дегуміфікації складається в Поліссі - 0,7-0,8 т/га, у Лісостепу -0,6-0,7 т/га, Степу -0,5-0,6 т/га [6]. Більш точні розрахунки, які були зроблені по Миколаївській області показали, що з кінця 80-х років до середини 2000-х щорічні втрати гумусу по різним типам(підтипам) ґрунтів складали 0,3-1,2 т/га [2]. А тому порівняння актуального вмісту гумусу із СКЯ супутникового зображення багаторічної давності не є коректним.

По-друге, залежності між вмістом гумусу та СКЯ отримані за рахунок досліджень на відносно невеликих ділянках („полігонах), площею, в кращому випадку, в кілька сот гектар. Процедура екстраполяції залежностей на інші території з подібними ґрунтами в публікаціях не приводиться, а тому пряме застосування рівнянь регресії навіть на сусідніх територіях, в межах одного типу (підтипу ґрунту) може привести до суттєвих помилок.

Отже метою наших досліджень було створення універсальних методик використання багатоспектральних знімків космічних апаратів для гумусового

моніторингу ґрунтів зони Південного та Сухого Степу України. В нашому дослідженні були використані багатоспектральні космічні знімки Херсонської та Миколаївської області, які були здійснені французьким супутником SPOT-4 24 квітня 1993 р. та 05 квітня 1996 р. за нульової хмарності. Зйомка була проведена мультиспектральною камерою HRV за трьома каналами:  $Y_1$  – 0,50-0,59 мкм („зелений” діапазон);  $Y_2$  – 0,61-0,68 мкм („червоний” діапазон);  $Y_3$  – 0,79-0,89 мкм („близький інфрачервоний” діапазон). Роздільна здатність знімку дорівнювала 20 м на піксел електронного зображення. Згідно метеорологічних даних поверхня ґрунту на момент сканування перебувала у повітряно-сухому стані.

З метою знаходження полів не зайнятих рослинністю на момент сканування був розрахований 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 близько до нуля ( $<0,1$ ) або від’ємне, то вважалось, що поле не зайняте рослинністю.

Таким чином було ідентифіковано 390 полів загальною площею 38409 га в Миколаївському, Очаківському, Жовтневому районах Миколаївської області та Білозерському району Херсонської, які зайняті чорноземами південним та темно-каштановими ґрунтами. Дані щодо вмісту гумусу в шарі ґрунту 0-25 см на момент зйомки (квітень 1993 та квітень 1996 р.) були взяті 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 розраховувалися в кожному пікселі зображення в межах конкретного поля за допомогою в програми ENVI 4.1, а потім визначалися середні величини (Рис. 1). Слід зазначити, що висока комплексність ґрунтового покриву є типовим явищем для Південного та Сухого Степу

України. Зональні південні чорноземи та темно- каштанові ґрунти в різній мірі еродовані, а по улоговинам („подам”) утворилися засолені та осолонцьовані ґрунти різного ступеню гідроморфності. Очевидною що при використанні середніх значень вмісту гумусу та СКЯ по кожному полю, комплексність ґрунтів є важливим фактором, який буде впливати на якість зв’язків між цими параметрами.

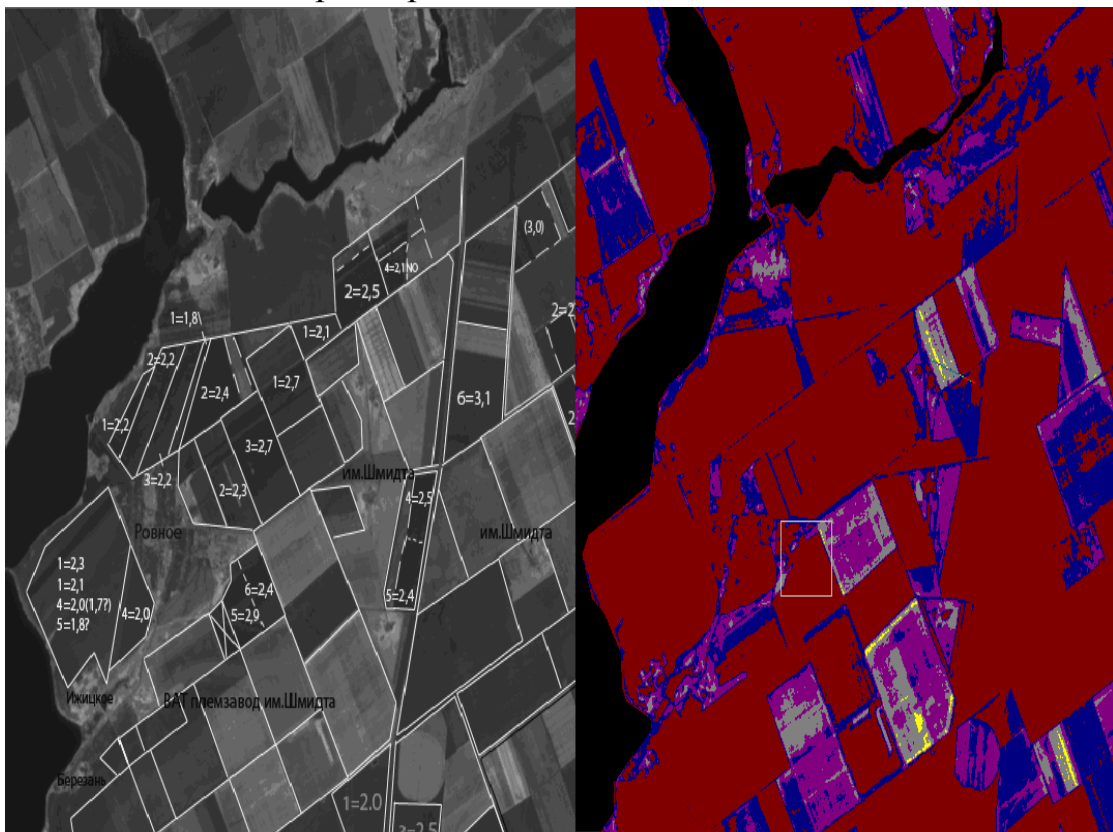


Рисунок 1. Дешифрування багатоспектральних знімків в ГІС-пакеті ENVI 4.1 на прикладі господарства в Очаківському районі, Миколаївської області (справа - знімок інфачервоного спектру синтез знімків з нанесеними межами агроландшафтів, зліва - NDVI класифікація агроландшафтів)

Для врахування комплексності ґрунтового покриву був використаний показник інформаційного різноманіття - функція Шеннона-Уівера ( $H(x)$ ) [9], яка розраховується за формулою:

$$H(x) = \sum(i) \log_2 p(i),$$

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

Теоретично функція (2) буде мати максимальне значення коли є найбільша складність ґрунтового покриву в середині кожного поля, тобто коли мається кілька ґрунтових виділів рівної площі і мінімальне, коли всю

площу поля займає один ґрунтовий виділ. В нашому випадку розрахунки за формулою (2) показали, що за ґрунтовим різноманіттям всі поля можна розділити на дві групи: з одноманітним ґрунтовим покривом ( $H(x)=0$ ) та із строкатим ( $H(x)=0,29-1,37$ ).

Згідно робіт спеціалістів ННЦ „Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. Н.О.Соколовського [зокрема, 8] на значення СКЯ впливає гранулометричний склад ґрунту, а тому в кожній із груп окремо розглядалися спектральні характеристики легкосуглинкових ґрунтів та середньо- і важко суглинкових.

Для отримання регресійних залежностей між вмістом гумусу та СКЯ червоної частини спектру використовувалося експоненціальна апроксимація даних за допомогою відповідної функції в комп'ютерній програмі MS EXCEL. Перелік отриманих залежностей „вміст гумусу- $G_r$ ,-СКЯ в червоній частині спектру ( $Y_r$ ), коефіцієнт детермінації ( $R^2$ ), коефіцієнт кореляції ( $R$ ), абсолютна помилка рівнянь регресії ( $m_{\pm}$ ) та відносна помилка приведені в таблиці 1

Таблиця 1. Регресійні залежності між вмістом гумусу( $G$ ) та СКЯ червоної частини спектру( $Y_r$ ).

Характеристики ґрунтового покритву				Рівняння	Коефіцієнт кореляції ( $R$ )	Помилка	
Тип (підтип) ґрунту	Гранулометричний склад	Функція Шеннона-Уївера	Скорочене визначення			Абсолютна ( $\pm m$ ), %	Відносна, %
Важко- і середньо суглинковий	$H(x)=0$	ЧПВССС( $H=0$ )	$G = 6,591 \cdot \exp(-0,013 \cdot Y_r)$	0,54	0,13	3,6	
		$H(x)>0$	ЧПВССС( $H>0$ )	$G = 12,125 \cdot \exp(-0,026 \cdot Y_r)$	0,59	0,28	8,1
	$H(x)=0$	ЧПЛС( $H=0$ )	$G = 43,558 \cdot \exp(-0,056 \cdot Y_r)$	0,75	0,38	17,5	
		$H(x)>0$	ЧПЛС( $H>0$ )	$G = 13,008 \cdot \exp(-0,027 \cdot Y_r)$	0,54	0,31	9,5
Важко- і середньо суглинковий	$H(x)=0$	ТКВССС( $H=0$ )	$G = 4,917 \cdot \exp(-0,013 \cdot Y_r)$	0,55	0,40	17,8	
		$H(x)>0$	ТКВССС( $H>0$ )	$G = 5,722 \cdot \exp(-0,016 \cdot Y_r)$	0,55	0,41	18,4
	$H(x)=0$	ТКЛС( $H=0$ )	$G = 14,204 \cdot \exp(-0,033 \cdot Y_r)$	0,61	0,44	17,9	
		$H(x)>0$	ТКЛС( $H>0$ )	$G = 6,943 \cdot \exp(-0,020 \cdot Y_r)$	0,63	0,20	8,2

Як видно, при відносно невеликих коефіцієнтах детермінації (0,29-0,56) та, відповідно, коефіцієнтах кореляції (0,54-0,75), все ж, згідно існуючої класифікації, ці значення характеризують „середню» взаємообумовленість ознак, які вивчаються. Помилки розрахованих рівнянь коливаються в межах 0,13-0,44 %, теж слід вважати припустимим. Як визначено в роботі (Методи аналізу...,1999), граничне значення погрішності результатів аналізу гумусу лабораторним методом за Тюрнім (ДСТУ 4289:2004), складає (при вмісту гумусу в ґрунті до 3%) 20%. В нашому випадку визначені помилки рівнянь (табл. 1) коливаються в межах 3-18 %.

Отримані залежності дозволяють використовувати які завгодно багатоспектральні космічні знімки регіону для визначення вмісту гумусу. Зокрема, з метою визначення темпів дегуміфікації в регіоні в 90-ті роки ХХ століття та на початку ХХІ століття, була проведена процедура порівняння супутникових зображень супутникових зображень в червоній частині спектру з використанням рівнянь з таблиці 1 по деяким полям Херсонської області та Миколаївської області. Для цієї процедури використовувався багатоспектральний космічний знімок американського супутника „Ландсат», зроблений в квітні 2003 року. Тут слід зазначити, що сканування червоної частини спектру цим супутником відбувається в діапазоні 0,63-0,69 мкм, що дещо не співпадає з „червоним» діапазоном знімків, які отримані при скануванні французьким супутником SPOT-4 (0,61-0,68 мкм), а тому при порівнянні даних можлива невелика систематична помилка.

Результати процедури порівняння приведені в таблиці 2. Як видно, за 7-10 років в ґрунтах пройшла значна втрата гумусу в ґрунті

– в чорноземах південних середньо- та важкосуглинкових в середньому складає 2,9 т/га, в темно-каштанових легкосуглинкових – 3,7 т/га, а в темно-каштанових середньо- та важкосуглинкових втрати були мінімальними – 1,1 т/га. Більш того по двом полям з темно- каштановим середньо- та важко суглинковими ґрунтами спостерігається зростання

вмісту гумусу. Слід зазначити, що приведені величини, в цілому є більшими за оцінками, що приводиться в науковій літературі [2,6].

Поясненням цього феномену пов'язано з тим, що саме розпал економічної кризи в 1995-2003 рр. в рослинницької галузі Миколаївської та Херсонської області пройшли найбільш негативні зміни в структурі посівних площ. Зокрема частка чорних парів збільшилася з 3-5% в 1990–1995 рр. до 18-21% в 2003–2005 рр. Слід зазначити, що щорічні втрати гумусу в неудобренних чорних парах досягають 2,2 т/га. Великі втрати гумусу спостерігаються в посівах просапних культур та колосових зернових. Зокрема, розширення посівів соняшника в ці роки від 6-10% до 20-25% від загальної структури посівних площ) негативно вплинуло на баланс гумусу не стільки з точки зору втрат гумусу (приблизно – 1,4 т/га щорічно), стільки з причин практично повної нездатності рослинних решток соняшника перетворитися на гумус. Позитивний вплив на баланс гумусу мають багаторічні бобові трави, але вони практично зникати із структури посівних площ. Їх площа в цих областях на початку XXI столітті не перебільшує 2-3%. Швидке зменшення вмісту гумусу в ґрунтах пов'язано також з різким скороченням обсягів органічних добрив. Останнє є результатом швидкого скорочення поголів'я великої рогатої худоби, свиней та овець в 90-ті роки ХХ століття. А тому, починаючи з 1996 року щорічна норма органічних добрив в Миколаївської та Херсонської областях коливалася в межах лише 0,1- 0,3 т/га ріллі. Саме практично повна відсутність органічних добрив разом з нераціональною структурою посівних площ є головною причиною швидких втрат гумусу в ґрунтах ріллі Миколаївської та Херсонської області.

Таблиця 2. Визначення сучасних змін у вмісту гумусу в ґрунтах Південного та Сухого Степу України

№ агроландшафта	Значення СКЯ в червоній частині спектру зображення Landsat	Характеристика ґрунтового покриття	Вміст гумусу в 2003 році	Вміст гумусу в 1993-1996 рр., %	Зміни вмісту гумусу, %	Середні щорічні зміни вмісту гумусу в шарі
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

Отже для моніторингу вмісту гумусу за допомогою багатоспектальних



супутникових знімків найкращою технологією є отримання регресійних рівнянь зв'язку між вмістом гумусу та СКЯ в красній частині спектру із використання 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 десятків тисяч гектар дозволив розрахувати ансамбль регресійних рівнянь, в яких враховуються не тільки типи (підтипи) ґрунту, а і його гранулометричний склад та рівень комплексності ґрунтового покриву кожного поля. Практичне використання отриманих рівнянь дозволило порівняти дані різночасових супутникових зображень та визначити темпи дегуміфікації чорноземів південних та темно-каштанових ґрунтів.

#### *Список літератури:*

1. Ачасов А.Б., Бидолах Д.И. Использование материалов космической и наземной цифровой фотосъемок 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 // Збірник наукових праць ПДАТУ.- 2007.- Вип.15.- С.34-37.
3. Методи аналізів ґрунтів і рослин (методичний посібник). Книга І. (За заг. ред. Булигіна С.Ю., Балюка С.А. та ін.). Харків, 1999 – 156 с.
4. Носко Б.С. Антропогенна еволюція чорноземів. Харків: Вид. «13 типографія», 2006. –239 с.
5. Сахацький О.І. Досвід використання супутникових даних для оцінки стану ґрунтів з метою розв'язання природо ресурсних 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 багато спектрального космічного сканування та геоінформаційних систем у дослідженні ґрунтового покриву полісся України. - Автореф. к. б. н., 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.