

УДК 631.4:445.4
© 2013

П.Г. Назарок

ННЦ «Інститут
грунтознавства
та агрохімії імені
О.Н. Соколовського»

* Науковий керівник —
доктор сільсько-
господарських наук
В.А. Величко

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ ГУМУСУ У СХИЛОВИХ ҐРУНТАХ ДИСТАНЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ*

Проаналізовано процедуру виділення на космічному знімку відкритого ґрунтового покриву на основі вегетаційних індексів та встановлено її імовірнісний характер. Доведено вплив на структуру космічного знімка ландшафтного розподілу вмісту заліза і глинистих мінералів у ґрунті, теплових властивостей поверхні та характерних ознак сільськогосподарського використання схилів земель.

Ключові слова: вміст гумусу, орографічні умови, багатоспектральне сканування.

Вступ. Багатофакторність формування космічного зображення під впливом як природних факторів (вологість, вміст органічної речовини, сполук заліза і солей, гранулометричний та агрегатний склад) так і антропогенних (вид та якість агротехнічних операцій) впливає на точність інтерпретації гумусного стану ґрунту [2, 3, 6, 8]. Складність інтерпретації гумусного стану схилів земель зумовлена неоднорідністю материнської породи та катенарною структурою ґрунтового покриву, сформованою за рахунок диференціації гідротермічного режиму [10].

Мета роботи — аналіз безпосередньої дистанційної індикації вмісту органічної речовини в орному шарі схилів земель на основі даних, отриманих у результаті багатоспектрального сканування (БСС) поверхні зі штучних супутників Землі. Завдання роботи такі — встановлення ділянок із відкритою ґрунтовою поверхнею на основі аналізу вегетаційних індексів; аналіз чинників неоднорідності яскравості космічного знімка схилів земель; встановлення вмісту гумусу дистанційними методами на основі БСС.

Об'єкти, методи та умови досліджень. Об'єктом дослідження є неоднорідність яскравості пікселів космічного знімка (у видимому, субінфрачервоному та тепловому інфрачервоному діапазонах) території полігона між селищами Комунист і Зелений Колодязь (Харківський та Чугуївський райони Харківської області) та стаціонару Харківського національного аграрного університету (ХНАУ). Відібрано 153 проби ґрунту з шару 0–30 см на середніх лініях стоку по горизонталях із перепадом висот між ними 5 м (час відбирання проб — серпень–вересень). Ґрунти представлені катенарним рядом чорноземів типових важкосус-

глинкових. У зразках визначено вміст гумусу (ДСТУ 4289:2004).

Під час проведення аналізу використано: архівні дані зйомки космічним апаратом Landsat-7 ETM+ (L7 ETM+) на 16.07.2001 р.; дані з книги історії полів і сівозміни стаціонару ХНАУ; топографічну карту, на основі якої побудовано цифрову модель рельєфу (ЦМР) та похідну від неї — модель крутизни схилів. На підставі кластерного аналізу моделі крутизни схилів розділено територію дослідження на елементи схилу.

Перерахунок значення пікселя раstra з DN (відкаліброване значення пікселя раstra) в значення альbedo ρ_λ проведено за формулами, наведеними у Landsat handboob [12].

У роботі використано такі вегетаційні індекси (BI) для встановлення проєктивного покриття рослинністю поверхні ґрунту NDVI, SAVI, PVI, TSAVI, MSAVI₂, GEVI, ARVI [4, 11, 15]. При виборі BI взято такі критерії: поширеність, вільний член рівняння лінії ґрунту приймає довільне значення, діапазон значень у межах — [-1; 1], крім GEMI — [0; 1].

Результати досліджень та їх обговорення.

Рівняння лінії ґрунту було побудовано на основі ділянки чорного пару (стаціонар ХНАУ) — $\rho_{NIR}=2,78 \times \rho_{RED}-0,10$. Теоретичний зміст вищенаведеного рівняння полягає в існуванні множини значень яскравості в червоному та інфрачервоному діапазонах відкритого від рослинного покриву ґрунту, зумовлених варіаціями вмісту гумусу, оксиду заліза, солей тощо, характерних для місцевих ґрунтів, які при знаходженні лінійної залежності між ρ_{NIR} і ρ_{RED} утворюють лінію ґрунту [11]. Довжина перпендикуляра, опущеного на цю лінію, визначає ступінь проєктивного покриття ґрунту. Для встановлення ділянок із відкритим ґрун-

товим покривом взято PVI, який враховує локальні особливості спектральних характеристик досліджуваних ґрунтів. На основі розрахунку PVI побудовано маску для досліджуваної території в границі його значень — $<0,02$, у межах досліджуваних полів та проведено кластерний аналіз (метод K-Means), взявши до нього всі діапазони. У результаті збільшення кількості класів обґрунтовано виділення послідовно: агрофону — чорний пар, стерня тощо, в границях навколо нульового значення PVI (при порівнянні виділених класів загальної території полігона зі стаціонаром ХНАУ); відмінності у якості технологічних операцій з обробітку ґрунту (пущення, оранка, т.п.) і впливу орографічних умов на структуру ґрунтового, або рослинно-ґрунтового покриву (тобто наближення до виділення елементарних ґрунтових ареалів).

Для обґрунтування структури ґрунтової катени відсортуюмо знайдені класи за елементами схилу та розрахуємо, використавши середню яскравість пікселів класів, такі показники: індекс умісту оксидів заліза ρ_3/ρ_1 , де ρ_1 — альbedo і діапазону L7 ЕТМ+; індекс умісту залізистих мінералів ρ_5/ρ_4 ; індекс умісту глинистих мінералів ρ_5/ρ_7 ; температура поверхні $T=K_2/\ln((K_1/L_\lambda)+1)$, де T — абсолютна температура, К; K_1 , K_2 — калібрувальні константи, які відповідно дорівнюють 666,09 та

1282,71. Обґрунтуємо фізичний зміст перерахованих вище показників (табл. 1) [4, 10, 12].

Аналіз даних табл. 1 свідчить, що теоретичний зміст наведених вище показників (індекс умісту оксиду заліза, глинистих і залізистих мінералів) ґрунтується на відношенні діапазону відбиття до діапазону поглинання відповідною сполукою (елементом) ґрунту. Логічним буде також співвідношення ρ_2/ρ_1 для визначення індексу вмісту закисного заліза.

Проаналізуємо значення BI, розраховані для класів, визначених на основі дискретизації зображення полігона (табл. 2): NDVI, розрахований за DN, має невластиві (не табличні) значення для відкритої ґрунтової поверхні, що є характерними для об'єктів з більш низьким значенням даного BI (хмари, сніг, лід, вода). З таких причин: формули BI розраховані на подачу даних у вигляді ρ_λ , про що йдеться у їхньому змісті; змінні $L_{\min\lambda}$, $L_{\max\lambda}$ мають певні значення для діапазону зйомки та режиму роботи сенсора, змінна $E_{0\lambda}$ приймає певне значення для кожного діапазону, тобто при перерахунку з DN у ρ_λ значення за спектральними діапазонами непропорційно змінюються [5]; направленість та форма ізоветаційних ліній, що зумовлюється вибором BI, значенням кутового коефіцієнта та вільного члена рівняння лінії ґрунту та підбором змінних L та X (для коригування фоновому впливу ґрунту — тобто

1. Особливості поглинання/відбиття сонячної радіації сполуками (елементами) ґрунту [2, 3, 8, 9, 13, 14]

Номер каналу L7 ЕТМ+, спектральний діапазон	Особливості поглинання/відбиття
1 — 450–515 нм	поглинання три- та двовалентним залізом, органічною речовиною та водою; відбиття карбонатами
2 — 525–605 нм	поглинання тривалентним залізом, органічною речовиною та водою; відбиття двовалентним залізом та карбонатами
3 — 630–690 нм	поглинання двовалентним залізом, органічною речовиною та водою; відбиття тривалентним залізом та карбонатами
4 — 760–900 нм	поглинання три- та двовалентним залізом, органічною речовиною та водою; відбиття карбонатами
5 — 1550–1750 нм	поглинання водою; максимальне відбиття для більшості типів гірських порід
7 — 2080–2350 нм	поглинання глинистими мінералами, слюдою, карбонатами, сульфатами
Примітки: <i>Залізо:</i> області поглинання Fe^{3+} — 0,50, 0,90, Fe^{2+} — 0,45, 1,0; відбиття Fe^{3+} — 0,75, Fe^{2+} — 0,56 мкм. <i>Гумус:</i> гумінова кислота ахроматична; фульвокислота збільшує відбиття в зеленій та червоній частинах спектра; діапазон впливу на спектральні характеристики 0,4–1,2 мкм, максимальна залежність між яскравістю та вмістом гумусу у діапазоні 0,68–0,70 мкм. <i>Глинисті мінерали:</i> смуга поглинання OH^- — 1,4, 1,9, 2,2, 2,4 мкм; діапазон відбиття глинистими мінералами — 1,55–1,75 мкм. <i>Карбонати:</i> діапазон поглинання CO_3^{2-} — 1,9–2,5 мкм. <i>Вода:</i> смуга водного поглинання — 0,96, 1,1 1,4, 1,9, 2,7, 6,27 мкм.	

2. Значення ВІ, індексу вмісту оксиду заліза, глинистих, залізистих мінералів і температури поверхні для класів, визначених на основі дискретизації зображення полігона

Геоморфологічне положення ¹	NDVI за DN	NDVI	SAVI, L=1	PVI	TSAVI	MSAVI ₂	GEMI	ARVI	Вміст гумусу, %	ρ_2/ρ_1	ρ_3/ρ_1	ρ_5/ρ_4	ρ_5/ρ_7	t, C°
B	-0,17	0,24	0,08	0,00	0,02	0,08	0,37	0,42	4,26	0,81	0,75	1,45	1,22	33,1
B	-0,04	0,37	0,17	0,02	0,08	0,18	0,49	0,45	3,91	0,89	0,86	0,91	1,81	31,7
B, BC	-0,05	0,37	0,16	0,02	0,08	0,17	0,47	0,46	4,41	0,88	0,83	0,96	1,71	31,7
BC	-0,08	0,34	0,18	0,00	0,01	0,19	0,51	0,32	3,91	0,96	1,04	0,83	1,93	29,5
CC	-0,13	0,28	0,14	-0,01	-0,04	0,15	0,47	0,25	3,34	0,97	1,07	0,93	1,76	30,5
BC, CC, HC	-0,09	0,33	0,16	0,00	0,02	0,17	0,49	0,34	3,27	0,93	0,98	0,86	1,90	29,4
BC, CC, HC	-0,06	0,36	0,18	0,01	0,05	0,18	0,50	0,38	3,52	0,93	0,96	0,81	1,91	29,4
CC, HC, PC	-0,15	0,26	0,15	-0,02	-0,09	0,15	0,48	0,19	3,29	1,02	1,19	0,91	1,86	30,4
Всі елементи схилу	-0,10	0,32	0,14	0,01	0,04	0,14	0,45	0,39	3,71	0,89	0,86	1,06	1,62	32,1
Всі елементи схилу	-0,14	0,27	0,12	0,00	0,00	0,12	0,43	0,33	4,55	0,89	0,90	1,05	1,68	31,2

¹ В — вододіл; BC — верхня частина схилу; CC — середня частина схилу; HC — нижня частина схилу; PC — підніжжя схилу

зсуву точки перетину ізовегетаційних ліній), визначає результат оцінки проективного покриття рослинним покривом ґрунту.

Проаналізуємо ландшафтний розподіл значень індексів вмісту оксиду заліза, глинистих, залізистих мінералів і температури поверхні, розрахованих для класів, визначених на основі дискретизації зображення полігона [1, 7]: розподіл значень індексу вмісту оксиду заліза (закисного заліза), глинистих мінералів окреслює характерну закономірність міграції заліза та вторинних мінералів з елювіального до акумулятивного елементарного геохімічного ландшафту (вплив рослинного покриву на значення наведених індексів вмісту нівелюється порівнянням їх з однаковими значеннями NDVI для різних елементів схилу; зважаючи на значний вплив вмісту гумусу на відбивні властивості ґрунту, можна стверджувати, що висновки про розподіл сполук заліза, визначені на основі їх індексів, не завжди коректні, але завдяки зв'язку між цими компонентами ґрунту, вони можуть бути цілком достовірними); зниження температури денної поверхні в підпорядкованих ландшафтах можливо спричинено вищою вологістю ґрунтової маси та більш важким гранулометричним складом (які можливо можна простежити за співвідношенням ρ_5/ρ_7), що логічно тягне за собою збільшення вмісту гігроскопічної вологи.

Виділені класи частково прив'язані до геоморфологічних одиниць (елементів схилу) в межах одного поля, що пов'язано з неоднорідностями, які виникли в результаті їхнього сільськогосподарського використання.

Наведені результати досліджень дають можливість зробити висновок: неоднорідності викликані як природним фактором — структурою ґрунтового покриву, так і антропогенним — сільськогосподарським використанням, що може спотворювати результати дистанційної індикації вмісту гумусу.

Проаналізуємо наступний можливий шлях вирішення проблеми підвищення точності індикації вмісту гумусу: 1 — проведення кластерного аналізу з використанням усіх діапазонів та в яких відсутній вплив вмісту гумусу (тобто 5–7), на основі припущення, що в знайдених класах діють більш прості зв'язки між вмістом гумусу та значенням альbedo; 2 — пошук залежності між альbedo (в трьох діапазонах — 2–4, де наявний вплив вмісту гумусу) та вмістом гумусу в межах класу (принцип побудови рівнянь за [2]); 3 — побудова карти прогнозованого вмісту гумусу (значення вмісту гумусу визначалося за отриманою залежністю для класу, у випадку відсутності такої залежності — за рівнянням, яке було виведено без поділу на класи); 4 — підрахунок загального коефіцієнта детермінації як відношення суми добутків коефіцієнтів детермінації на площу окремих класів до загальної площі полігона.

Використовуючи всі діапазони у кластерному аналізі, при розділенні на 3 класи (виділення агрофону), загальний коефіцієнт кореляції та детермінації між вмістом гумусу і значенням альbedo відповідно становлять — 0,33 та 0,11, при розділенні на 11 класів залежності усередині класів не виявлено. Тобто,

у виділених однорідностях, сформованих за рахунок елементарних ґрунтових ареалів та ідентичного сільськогосподарського використання, неістотний внутрішній розподіл гумусу, що підтверджується також результатами дисперсійного аналізу.

Кластерний аналіз при використанні 5-, 6- та 7-го діапазонів має деякі особливості. Беручи до уваги перераховані канали, розділяємо такі характеристики ґрунтового (рослинно-ґрунтового) покриву: вологість, уміст глинистих мінералів (гранулометричний склад), карбонатів, теплові властивості (теплоємність, яка визначається вологістю, упаковкою ґрунтового матеріалу (макро-, мікроагрегати), альbedo поверхні) тощо. Різниця в виділених класах

при використанні всіх діапазонів та 5-, 6-, 7-го, свідчить про групування відмінних властивостей. При виділенні 4 класів загальний коефіцієнт кореляції та детермінації відповідно дорівнюють — 0,42, 0,18; при виділенні 10 класів відповідно — 0,53, 0,28. Тобто, згідно алгоритму пошуку суми рівнянь для однорідностей, отриманих у результаті класифікації 5-, 6- та 7-го діапазонів, удалося підвищити точність прогнозування вмісту гумусу за коефіцієнтом кореляції від 0,42 до 0,53, відповідно для коефіцієнта детермінації від 0,18, до 0,28 відносно загального рівняння без класифікації. Пошук рівнянь для агрофонів (класифікація на основі всіх діапазонів) дає незадовільний результат.

Висновки

На основі класифікації космічного знімка та значень індексів умісту оксиду заліза, глинистих мінералів, температури поверхні та вегетаційних індексів можна обґрунтувати як катенарну структуру ґрунтового покриву досліджуваних схилих земель, так і характерні ознаки сільськогосподарського використання.

Потенційним шляхом зменшення впливу природно-антропогенних факторів формування неоднорідностей космічного знімка

для побудови карти більш точного прогнозу вмісту гумусу є пошук регресійних рівнянь для знайдених у результаті класифікації багатоспектрального зображення однорідностей. У випадку відсутності залежності застосовується до однорідності рівняння, яке було виведено без поділу на неоднорідності. При використанні цього способу доведено можливість покращення прогнозування при взятті до кластерного аналізу 5-, 6- та 7-го діапазонів L7 ETM+.

Бібліографія

1. Алексеева Т.А., Алексеев А.О., Ковалевская И.С., Осина Г.М., Моргунов Е.Г. Минералогический состав илстой фракции почв сопряженных ландшафтов Ставропольской возвышенности//Почвоведение. — 1988. — № 9. — С. 113–124.
2. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем/Б.В. Виноградов. — М.: Наука, 1984. — 320 с.
3. Дистанционное зондирование: количественный поход/[Ш.М. Дейвис, Д.А. Ландгребе, Т.Л. Филлипс и др.]; под ред. Ф. Свейна, Ш. Дейвис. — М.: Недра, 1983. — 415 с.
4. Жилев М.Ю. Обзор применения мультиспектральных данных ДЗЗ и их комбинаций при цифровой обработке/М.Ю. Жилев//Геоматика. — 2009. — 3. — С. 56–64.
5. Изображения Земли из космоса: примеры применения. — М.: ООО инженерно-технологический центр «Сканэкс», 2005. — 100 с.
6. Карманов И.И. Спектральная отражающая способность и цвет почв, как показатели их свойств/И.И. Карманов. — М.: Колос, 1974. — 352 с.
7. Койнов В., Кабакчиев И., Стайков И., Бонева К. Геохимическое перераспределение в различных районах Болгарии//Почвоведение. — 1972. — № 9. — С. 34–46.
8. Кондратьев К.Я. Аэрокосмические исследова-

ния почв и растительности/К.Я. Кондратьев, В.В. Козодеров, П.П. Федченко. — Л.: Гидрометеоиздат, 1986. — 232 с.

9. Спектральна бібліотека Aster [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://speclib.jpl.nasa.gov>

10. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. — М.: Мысль, 1972. — 424 с.

11. Fox G.A., Sabbagh G.J., Searcy S.W., Yang C. An automated soil line identification routine for remotely sensed images//Soil Science Society of America Journal. — 2004. — № 68. — Р. 1326–1331.

12. Landsat handbook [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook.html>.

13. Podwysocki M.H., Power M.S., Jones O.D. Preliminary evaluation of the Landsat-4 thematic mapper data for mineral exploration//Advances in Space Research. — 1985. — № 5. — Р. 13–20.

14. Qaid A.M., Basavarajappa H.T., Rajendran S. Integration of VNIR and SWIR spectral reflectance for mapping mineral resources: A case study, north east of Hajjah, Yemen//Journal of the Indian Society of Remote Sensing. — 2009. — 37. — 2. — Р. 305–315.

15. Terrill W.R. A FAQ on vegetation in remote sensing [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.yale.edu/ceo/Documentation/rsvegfaq.html>

Надійшла 14.08.2013.