
THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



S. G. Chorny[✉] Dr. Sci. (Agri.), Professor
D. A. Abramov

UDK 631.417.2: 528.8.042.3

*Mykolayiv National Agrarian University,
Paryska Komuna str., 9, Mykolayiv, Ukraine, 54020*

THE MONITORING OF SOUTHERN CHERNOZEM SOIL HUMUS CONTENT WITH USING MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES LANDSAT: SPATIAL AND TEMPORAL ASPECTS

Abstract. For rational use of soils it is necessary to possess exact information on soil properties. The traditional methods of monitoring of soils and (or) their separate properties based on local, one-time supervision don't give an adequate assessment of a current state of a soil cover it should be noted. Transition to spatio-temporal methods with use of modern geoinformation and space technologies is necessary. Remote satellite methods of soil monitoring gain fast distribution, owing to the efficiency, a certain objectivism and relative low cost now, and also because of unique opportunities of one-time coverage by the images received from big height, enough territories, big on the area. For the development of remote monitoring chernozems southern used materials of multispectral scanning multispectral camera ETM+ («Enhanced Thematic Mapper Plus»), which is on board the satellite «Landsat-7» (data of 2006, 2010, 2012) and OLI («Operational Land Imager»), which is on board the satellite «Landsat-8»(data 2015).

The information obtained from them is unified from the point of view of preservation of geometry, calibration, a covering, spectral characteristics, quality of the image and availability of data, despite various carriers of devices ETM+ and OLI. The composite image which has been received from three cloudless satellite images of spring of 2012 (three terms of shooting – 21.04, 30.04, 05.05) has allowed to make the correlation analysis of extent of influence of maintenance of organic matter in a layer of soil of 0–10 cm at a brightness with various spectral channels of the camera ETM+. Such analysis has shown that the closest connection exists between the content of soil organic matter and brightness of the second (green), the third (red) and the fourth (the neighbor infrared) spectral channels. From them three, the greatest value of correlation has dependence between the content of soil organic matter (humus) and brightness of the red spectral channel ($r=0,32$). For the purpose of spatio-temporal interpretation of the equation of multiple regressions, 20 agro landscapes in different parts of the Right-bank steppe of Ukraine (The Mykolayiv district and Zhovtnevy district of the Mykolayiv oblast) have been selected. For each agro landscapes was defined content of soil organic matter in the soil using Landsat 7 satellite images taken in 2006 and in 2010 and Landsat images 8 for 2015.

The made estimates of maintenance of soil organic matter have shown on processes of fast loss of humus in all layers of soil. Annual losses of soil organic matter in a layer of 0–10 cm from 2006

✉ Tel.: + 38097-449-35-87, e-mail: s.g.chorny@gmail.com

DOI: 10.15421/041602

for 2015 have made 0,16 % in a year, in a layer of 0–50 cm of about 0,13 % in a year, and in a layer of 0–100 cm at 0,10 % in a year. The irrational structure of sown areas and distribution of wind and water erosion processes is the reason of this sad process.

Keywords: *monitoring of soils, chernozem, multispectral scanning, humus, loss of soil organic matter.*

УДК 631.417.2:
528.8.042.3

С. Г. Черный
Д. А. Абрамов

д-р с.-х. наук, проф.

*Николаевский национальный аграрный университет,
ул. Парижской Коммуны, г. Николаев, Украина, 54020,
тел.: +38097-449-35-87, e-mail: s.g.chornyuy@gmail.com*

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ЧЕРНОЗЕМЕ ЮЖНОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ СНИМКОВ СПУТНИКОВ LANDSAT: ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ

Аннотация. Разработана методика дистанционного определения содержания гумуса в черноземах южных тяжелосуглинистых Правобережной степи Украины с помощью многоспектральных спутниковых изображений «Landsat 7» и «Landsat 8». Было определено, что наиболее тесная статистическая связь существует между содержанием гумуса и яркостями зеленого, красного и ближнего инфракрасного каналов. Сделанные пространственные и временные оценки содержания гумуса показывают на процессы усиленной дегумификации почв региона.

Ключевые слова: *почвенный мониторинг, чернозем, многоспектральное сканирование, гумус, дегумификация.*

УДК 631.417.2:
528.8.042.3

С. Г. Чорний
Д. А. Абрамов

д-р с.-г. наук, проф.

*Миколаївський національний аграрний університет,
вул. Паризької Комуни, м. Миколаїв, Україна, 54020,
тел.: +38097-449-35-87, e-mail: s.g.chornyuy@gmail.com*

МОНИТОРИНГ ВМІСТУ ГУМУСУ У ЧОРНОЗЕМІ ПІВДЕННОМУ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗНІМКІВ СУПУТНИКІВ LANDSAT: ПРОСТОРОВІ ТА ТИМЧАСОВІ АСПЕКТИ

Анотація. Розроблена методика дистанційного визначення вмісту гумусу в важкосуглинкових південних чорноземах Правобережного степу України за допомогою багатоспектральних супутникових зображень «Landsat 7» та «Landsat 8». Було визначено, що найбільш тісний статистичний зв'язок існує між вмістом гумусу та яскравостями зеленого, червоного та ближнього інфрачервоного каналів. Були зроблені просторові та часові оцінки вмісту гумусу, які показують на процеси посиленої дегуміфікації ґрунтів регіону.

Ключові слова: *ґрунтовий моніторинг, чорнозем, багатоспектральне сканування, гумус, дегуміфікація.*

ВСТУП

Для раціонального використання ґрунтів необхідно володіти точною інформацією про їх стан. Слід зазначити, що традиційні методи моніторингу ґрунтів і (або) їх окремих властивостей, засновані на локальних, одноразових спостереженнях не дають адекватної оцінки сучасного стану ґрунтового покриву (Medvedev, 2002). Давно назрів перехід до просторово-часових методів з використанням сучасних геоінформаційних та аерокосмічних технологій. Останні отримують зараз швидке поширення, внаслідок своєї оперативності, певного об'єктивізму та відносної дешевизни, а також в силу унікальних можливостей разового охоплення зображеннями, отриманими з великої висоти, досить великих за площею територій.

Важливою складовою ґрунтового моніторингу є контролювання вмісту органічної речовини. Особливий інтерес до моніторингу ґрунтового гумусу полягає не тільки в широко відомій винятковій ролі гумусу в родючості, а й у сучасних процесах дегуміфікації. Наземні дослідження, наведені в роботі (Chornyy et al., 2007), демонструють факт інтенсивної втрати органічної речовини з ґрунтів Степу України, що, в сучасних господарських умовах, пояснюється зниканням зі структури посівних площ багаторічних трав, бобових культур, скороченням норм органічних добрив, інтенсифікацією водної та вітрової ерозії ґрунтів.

Аналіз низки літературних джерел показує, що найбільш перспективним методом моніторингу вмісту гумусу є багатоспектральне сканування (БСС) поверхні ґрунту за допомогою спеціальної апаратури, розташованої на борту космічних апаратів. Для різних ґрунтів Світу в різні роки були вираховані статистичні зв'язки між вмістом гумусу в верхньому шарі та значеннями яскравостей в певних частинах спектру.

Зокрема, згідно з результатами роботи А. Б. Ачасова і Д. І Бідолаха (Achasov, Bidolah, 2008), вміст гумусу найтісніше пов'язаний зі значеннями яскравості в червоній частині спектра знімка ($r=0,74$), отриманого камерою КФА-1000 супутника «Ресурс Ф1». А. В. Шатохін і М. А. Линдін (Shatohin, Lyndin, 2001), які об'єктом дослідження вибрали чорноземи звичайні Донецької області, при використанні спектрального сканування космічного апарату SPOT, встановили, що між вмістом гумусу в верхньому шарі ґрунту і яскравістю в ближньому інфрачервоному спектрі існує досить тісна залежність ($r=0,94$). А. І. Сахацький (Sakhatskiy, 2008) наводить результати, за даними БСС камери ЕТМ, що знаходиться на супутнику Landsat 7 в межах тестових ділянок на ґрунтах Чернігівської і Хмельницької областях України. Статистична обробка даних показала на лінійну кореляційну залежність між спектральними характеристиками в червоному спектрі ($r=0,95$) і ближньому інфрачервоному спектрі ($r=0,85$) з середнім вмістом гумусу.

Дослідження субтропічних ґрунтів Східного Китаю показали (Wu et al., 2009), що вміст органічної величини мав помірну негативну кореляцію з яскравістю у видимій області спектра даних БСС камери ЕТМ+, що знаходиться на супутнику Landsat (зелений, блакитний та червоні частини спектру) та у дальній короткохвильовій інфрачервоній області, а також низьку позитивну кореляцію у ближній інфрачервоній спектральній області. Автори констатують про неможливість створення системи спостереження за вмістом органічної речовини за допомогою дистанційного зондування.

Для вилугування чорноземів Краснодарського краю Російської федерації було отримано статистично достовірне множинне лінійне рівняння залежності вмісту гумусу від спектральної яскравості у ближньому інфрачервоному діапазоні, червоному, зеленому та середньому інфрачервоному діапазоні БСС, отриманого SPOT (Malyshevskij, 2013).

Слід зазначити, що цитовані вище автори, а також інші спеціалісти, які вивчають можливість використання БСС поверхні ґрунтів для визначення вмісту гумусу неконтактними методами, констатують деякі обмеження щодо впровадження таких технологій. Зокрема (Wu et al., 2009), ґрунт повинен перебувати у повітряно-сухому стані, шорсткість поверхні повинна бути мінімальною, а на поверхні ґрунту повинна бути відсутня рослинність та (або) рослинні рештки. Існує також думка (Sullivan et al., 2005), що стійкі зв'язки між вмістом гумусу та яскравостями в певних частинах спектру може існувати лише при середньому та високому вмісту органічної речовини (1–5 %), а в умовах низького вмісту гумусу в ґрунті таких залежностей не спостерігається.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для розробки методів моніторингу чорноземів південних використовували матеріали БСС багатоспектральної камери ЕТМ+ («Enhanced Thematic Mapper Plus»), яка знаходиться на борту супутника «Ландсат-7» (данні 2006, 2010,

2012 років) та OLI («Operational Land Imager»), яка знаходиться на борту супутника «Ландсат-8» (данні 2015 року). Попри різні носії пристроїв ETM+ та OLI інформація, що отримується з них уніфікована з точки зору збереження геометрії, калібрування, покриття, спектральних характеристик, якості зображень і доступності даних.

БСС, яке здійснюється 1–7 каналами багато спектральної камери ETM+ та 2–8 каналами пристрою OLI, реалізується у семи частинах спектра (спектральних каналах). Виходячи з літературних даних для гумусового моніторингу з цієї точки зору найбільш інформативними є шість: блакитна частина спектру – 0,45–0,52 мкм, зелена – 0,53–0,60 мкм, червона – 0,63–0,68 мкм, ближня інфрачервона – 0,78–0,90 мкм (у ETM+) та 0,85–0,89 мкм (у OLI), середня інфрачервона – 1,55–1,75 мкм (у ETM+) та 1,56–1,66 мкм (у OLI) та дальня інфрачервона – 2,09–2,35 мкм (у ETM+) і 2,10–2,30 мкм (у OLI). Елементарна просторова одиниця (піксель на екрані дисплея), з якої ETM+ та OLI отримує дані по кожному з каналів, дорівнює на місцевості квадрату в 30×30 м або 0,09 га. Зображення представлені на сервері Геологічної служби США (USGS) (www.glovis.usgs.gov) з попередньою програмною обробкою на виключення впливу властивостей атмосфери на показники яскравостей в кожному спектральному каналі. Цей важливий аспект впливає на інтерпретацію даних, які отримуються при використанні зображень з камер ETM+ та OLI. Уніфікація атмосферних впливів на яскравості дозволяє коректно порівнювати між собою супутникові зображення, які були отримані в різні терміни в середині року.

Кількісне визначення величини яскравості по кожному каналу в кожному пікселі здійснювалося за допомогою спеціального програмного забезпечення – ENVI 4.8.

Для отримання базової статистичної залежності оцінки гумусового стану чорнозему південного використовувалися безхмарні супутникові знімки весни 2012 року (три терміни знімання – 21.04, 30.04, 05.05). Для просторово-часової інтерпретації отриманих даних, використовувалися зображення зроблені в 2006 році (терміни знімання – 08.10) в 2010 році (терміни знімання – 24.09) та у 2015 році (терміни знімання – 23.09). Слід зазначити, що при роботі з інформацією з пристрою ETM+ слід враховувати той факт, що можлива повна або часткова втрата даних при попаданні на об'єкти дослідження можливих дефектів супутникових зображень (так званих «чорних смуг»), пов'язаних з помилками в роботі Лінійного сканувального коректора (Scan Line Corrector або SLC) камери ETM+. Ці пробої або розриви в зображеннях («gaps» – в англійській літературі (Beck, 2003; Williams et al., 2005)) істотно ускладнюють використання знімків при дешифруванні і потребують створення одного «композитного» зображення з кількох приблизно однотермінових зображень з чорними смугами.

Аналіз структури посівних площ регіону показав, що кінець березня – початок травня, а також вересень – жовтень є найбільш сприятливим періодом для дистанційного зондування поверхні ґрунту агроландшафтів, оскільки в цей період ґрунт максимально непокритий сільськогосподарською рослинністю. В той же час, для кожного пікселя наявність (або відсутність) рослинних залишків, сільськогосподарської рослинності і бур'янів на поверхні ґрунтів визначається за допомогою розрахунку так званого вегетаційного індексу NDVI (Wu et al., 2009). Він ідентифікується за значеннями яскравості червоного спектрального каналу і ближнього інфрачервоного:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

де *NIR* – значення яскравості ближнього інфрачервоного каналу; *RED* – значення яскравості червоного каналу.

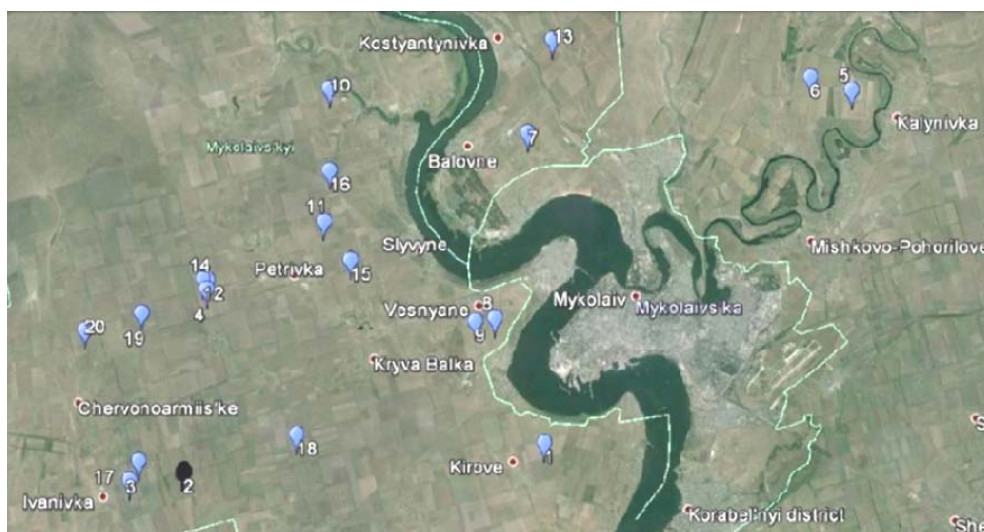
Згідно з джерелом (Wu et al., 2009), якщо значення вегетаційного індексу менше ніж 0,15, то вважається, що поверхня ґрунту не має розвинутого рослинного покриву та не покрита рослинними рештками і значення яскравостей різних каналів характеризують лише оптичний стан поверхні ґрунту.

Крім цього, при визначенні термінів знімання, слід враховувати метеорологічні особливості цього періоду, що робиться для визначення стану поверхневого шару ґрунту. Аналіз архівів метеорологічних даних по метеостанції Миколаїв, яка є найближчою до району досліджень, показав, що напередодні часу отримання супутникової інформації у 2006, 2010, 2012 та 2015 роках значних опадів не спостерігалось, а температури повітря були досить високими, що дає змогу констатувати про високу ймовірність повітряно-сухого стану ґрунту.

З ґрунтових розрізів та прикопок були відібрані зразки ґрунту, в яких потім у п'ятикратній повторності визначалося вміст гумусу за методом Тюріна (національний стандарт ДСТУ 4289-2004). З метою точної ідентифікації місць проведення ґрунтових досліджень на супутникових багато спектральних зображеннях здійснювалась просторова прив'язка прикопок і розрізів здійснювалась за допомогою GPS-навігатора фірми «Garmin» GPSMAP 60Сх. Статистичний аналіз даних проводився за допомогою програмного пакету Excel, що входить до складу стандартного набору Microsoft Office.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як базову тестову ділянку використовувалися землі ННВЦ (навчально-науково-виробничого центру) Миколаївського національного аграрного університету (МНАУ), які розташовані в Миколаївському районі Миколаївської області, в зоні Південного Степу України. Координати північно-східного кута полів ННВЦ – 46°56'56,5" п.ш., 31°42'56,5" с.д. (рисунок). Ґрунтовий покрив полів ННВЦ представлений чорноземами південними важкосуглинковими на лесах різного ступеня еродованості.



Розташування дослідних агроландшафтів

Номера біля позначень збігаються з нумерацією в табл. 2. Позначення чорним кольором – агроландшафти ННВЦ МНАУ.

На площі понад 1000 га було відібрано 50 зразків ґрунту, в яких був визначений вміст гумусу. Ґрунтові аналізи відібраних зразків показали, що на землях ННВЦ МНАУ в шарі 0–10 см вміст гумусу коливається у межах 3,54 %–6,71 % при середньому значенні 4,71 %. Головною причиною таких великих коливань вмісту гумусу є висока комплексність ґрунту в результаті інтенсивної водної та вітрової ерозії. Згідно дослідженням ґрунтового покриття господарства було визначено, що еродовані варіанти складають приблизно 40 % (438 га) від всієї площі.

Композитне зображення, отримане з трьох безмарних супутникових знімків весни 2012 року (три терміни знімання – 21.04, 30.04, 05.05), дозволило зробити кореляційний аналіз впливу вмісту гумусу в шарі ґрунту 0–10 см на яскравість за різними спектральними каналами камери ETM+ (табл. 1). Такий аналіз показав, що найтісніший зв'язок існує для другого (зеленого), третього (червоного) та четвертого (ближній інфрачервоний) спектральних каналів. З них трьох, найбільше значення кореляції має червоний спектральний канал ($r=-0,32$). Приблизно однакові значення коефіцієнтів кореляції між вмістом гумусу і значеннями яскравості трьох спектральних каналів показує на можливість переходу до рівняння множинної регресії. Розрахунки показали, що вміст гумусу в шарі залежить від яскравостей цих трьох каналів наступним чином:

$$H_{0-10} = 0.15 \times Green - 0.14 \times Red + 0.08 \times NIR + 8.27 \quad (2)$$

де H_{0-10} – вміст гумусу в шарі 0–10 см; *Green* – значення яскравості зеленого каналу; *Red* – значення яскравості червоного каналу; *NIR* – значення яскравості ближнього інфрачервоного каналу. Коефіцієнт кореляції рівняння складає 0,53.

Таблиця 1

Кореляційний зв'язок між вмістом гумусу у шарі 0–10 см і спектральною яскравістю чорноземів південних

Номер спектрального каналу	Коефіцієнт кореляції, r	Коефіцієнт детермінації, r ²
1	-0,208	0,043
2	-0,239	0,057
3	-0,318	0,101
4	-0,225	0,0508
5	-0,0208	0,0004
7	0,016	0,00025

Коефіцієнт кореляції регресії вказує на значний зв'язок між H_{0-10} і яскравістю трьох спектральних каналів, включених у кореляційну модель. Стандартна помилка дорівнює 0,65. В ході перевірки гіпотези про відсутність зв'язку між H_{0-10} і спектральною яскравістю трьох спектральних каналів, за ступенів свободи $k_1=3$, $k_2=46$, та заданому рівні значущості 0,05, встановлено, що критичне значення критерію Фішера складає $F_{0,05}=2,8$. Розрахункове значення критерію Фішера $F_{\text{спост}}=5,98$, що означає відкидання гіпотези про відсутність зв'язку між H_{0-10} і спектральною яскравістю трьох спектральних каналів, оскільки $F_{0,05} < F_{\text{спост}}$. Таким чином, регресійна модель є статистично значущою. Практичне значення рівняння (2) пов'язано з можливістю проведення просторових оцінок гумусового стану земель та розрахунків темпів гуміфікації темпів дегуміфікації ґрунтів.

Що стосується просторових оцінок вмісту гумусу, то треба мати на увазі, що рівняння (2) описує дуже конкретні ґрунти. А саме, чорнозем південний важкосуглинковий. А тому просторова інтерпретація може бути поширена лише на аналогічні ґрунти в межах Правобережного степу України.

Слід також зауважити, що залежність (2) отримана для шару ґрунту в 0–10 см. Для просторової і часової інтерпретації цієї залежності більш показовим буде вміст гумусу в шарі ґрунту 0–50 та 0–100 см. Спеціально проведені дослідження щодо розподілу вмісту гумусу в важко суглинкових південних чорноземів регіону показало, що між вмістом гумусу в шарі 0–10 см та вмістом гумусу в шарі ґрунту 0–50 та 0–100 см існують досить надійні залежності. Аналітично це описується наступними рівняннями:

$$H_{0-50} = 0.84 \times H_{0-10}, \quad (3)$$

$$H_{0-100} = 0.61 \times H_{0-10}, \quad (4)$$

де H_{0-50} та H_{0-100} – вміст гумусу у шарі ґрунту відповідно в шарі ґрунту 0–50 см та 0–100 см; H_{0-10} – вміст гумусу в шарі 0–10 см. Коефіцієнт детермінації (r^2) взаємозв’язку перемінних, що має вираз у рівнянні (3) дорівнює 0,96, а рівняння (4) – 0,86.

З метою просторово-часової інтерпретації рівняння (2) були цілком випадково відібрані 20 агроландшафтів у різних частинах Правобережного степу України (Миколаївський та Жовтневий район Миколаївської області (рисунк)). По кожному полю, за залежностями (2, 3, 4), був визначений вміст гумусу з використанням супутникових зображень Landsat 7, зроблених у 2006 році та у 2010 році і знімків Landsat 8 для 2015 року. У центрі кожного поля був обраний контур приблизно в 10–20 пікселів, що відповідає на місцевості площі ділянки в 1–4 га, із значенням індексу NDVI менше ніж 0,15. Координати центру такої ділянки приведені в табл. 2.

Розрахунки показали (табл. 1), що тільки в одному випадку спостерігалось зростання вмісту гумусу, як у шарі ґрунту 0–10, так і в товщі ґрунту 0–50 см та 0–100 см. В інших випадках спостерігалось лише зниження вмісту гумусу. В середньому за 9 років, з 2006 до 2015, щорічні втрати гумусу становили 0,16 %, причому в перші чотири лише 0,08 %, а в наступні 5 років уже 0,21 %. В шарі 0–50 см щорічні втрати гумусу склали приблизно 0,13 %, а в шарі ґрунту 0–100 см – біля 0,10 % за рік. В цілому ці дані приблизно збігаються з наземними спостереженнями за змінами у вмісті органічної величини у ґрунті регіону (Войко, Чорнуу, 2001; Чорнуу et al., 2007).

Таблиця 2

Значення параметрів рівняння (1) та вміст гумусу по трьом термінам визначення

№	Роки	Значення NIR	Значення Red	Значення Green	Координати, п. ш., сх. д.	Вміст гумусу в шарі ґрунту, %		
						0–10 см	0–50 см	0–100 см
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2006	31	30	25	46,90235, 31,92422	5,34	4,49	3,26
	2010	34	30	26		5,25	4,41	3,20
	2015	34	65	60		5,45	4,58	3,32
2	2006	32	27	24	46,90223, 31,6808	5,53	4,65	3,37
	2010	38	36	29		4,54	3,81	2,77
	2015	60	87	78		2,99	2,51	1,82
3	2006	29	27	24	46,908912, 31,65109	5,77	4,85	3,52
	2010	39	34	28		4,59	3,86	2,80
	2015	55	94	86		3,61	3,03	2,20
4	2006	37	32	27	46,985137, 31,705984	4,88	4,10	2,98
	2010	38	37	30		4,55	3,82	2,78
	2015	51	87	76		3,41	2,86	2,08
5	2006	31	28	24	47,052198, 32,150311	5,47	4,59	3,34
	2010	37	35	29		4,76	4,00	2,90
	2015	45	72	64		4,19	3,52	2,56
6	2006	32	30	26	47,059824, 32,123326	5,41	4,54	3,30
	2010	35	33	27		4,90	4,12	2,99
	2015	41	72	64		4,51	3,79	2,75
7	2006	40	31	27	47,044953, 31,93005	4,78	4,02	2,92
	2010	34	30	27		5,40	4,54	3,29
	2015	47	81	71		3,82	3,21	2,33
8	2006	30	27	24	46,961227, 31,897808	5,69	4,78	3,47
	2010	31	29	26		5,63	4,73	3,43
	2015	43	77	69		4,4	3,70	2,68
9	2006	32	27	24	46,960558, 31,884415	5,53	4,65	3,37
	2010	32	28	25		5,54	4,65	3,38
	2015	55	98	100		5,15	4,33	3,14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	2006	30	26	23	47,07254, 31,79910	5,68	4,77	3,46
	2010	33	32	27		5,2	4,37	3,17
	2015	47	80	68		3,51	2,95	2,14
11	2006	29	26	24	47,011954, 31,788223	5,91	4,96	3,61
	2010	32	31	26		5,27	4,43	3,21
	2015	39	73	65		4,68	3,93	2,85
12	2006	37	30	26	46,989703, 31,703901	5,01	4,21	3,06
	2010	39	36	32		4,91	4,12	3,00
	2015	55	91	78		2,83	2,38	1,73
13	2006	32	28	25	47,086728, 31,951743	5,54	4,65	3,38
	2010	28	26	24		5,99	5,03	3,65
	2015	46	78	69		4,02	3,38	2,45
14	2006	36	30	27	46,989194, 31,706675	5,24	4,40	3,20
	2010	36	33	29		5,12	4,30	3,12
	2015	53	89	85		4,32	3,63	2,64
15	2006	28	27	24	46,993222, 31,804035	5,85	4,91	3,57
	2010	36	33	28		4,97	4,17	3,03
	2015	35	75	62		4,27	3,59	2,60
16	2006	31	28	24	47,03497, 31,79481	5,47	4,59	3,34
	2010	32	30	25		5,26	4,42	3,21
	2015	45	79	68		3,81	3,20	2,32
17	2006	28	26	24	46,900457, 31,64382	5,99	5,03	3,65
	2010	31	27	24		5,61	4,71	3,42
	2015	72	96	98		3,77	3,17	2,30
18	2006	29	27	24	46,915256, 31,758492	5,77	4,85	3,52
	2010	35	30	27		5,32	4,47	3,25
	2015	47	73	64		3,89	3,27	2,37
19	2006	32	27	25	46,976519, 31,660832	5,68	4,77	3,46
	2010	34	30	27		5,4	4,54	3,29
	2015	74	110	115		4,2	3,53	2,56
20	2006	36	30	27	46,970658, 31,621933	5,24	4,40	3,20
	2010	37	35	29		4,76	4,00	2,90
	2015	38	70	66		5,33	4,48	3,25
Середнє	2006			5,49	4,61	3,35		
	2010			5,17	4,34	3,15		
	2015			4,04	3,40	2,47		

Отже, дистанційні спостереження за вмістом гумусу та розрахунки за залежностями (2–4) вказують на посилену деградацію ґрунтового покриву регіону, що пов'язано з нераціональною структурою посівних площ регіону, поширенням процесів вітрової та водної ерозії.

ВИСНОВКИ

Розроблена методика дистанційного визначення вмісту гумусу в важко суглинкових південних чорноземах Правобережного степу України за допомогою багато спектральних супутникових зображень «Landsat 7» та «Landsat 8». Було визначено, що найбільш тісним є зв'язок між вмістом гумусу і яскравостями зеленого, червоного та ближнього інфрачервоного каналів. Зроблені просторові та часові оцінки вмісту гумусу показують на процеси посиленої дегуміфікації у всіх шарах ґрунту. Щорічні втрати гумусу в шарі 0–10 см за період з 2006 по 2015 роки склали 0,16 %, в шарі 0–50 см приблизно 0,13 %, а в шарі ґрунту 0–100 см – біля 0,10 % за рік. Причиною цього процесу є нераціональна структура посівних площ регіону та поширенням процесів вітрової та водної ерозії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Achasov, A. B., Bidolah, D. I., 2008. Ispolzovanie materialov kosmicheskoy i nazemnoy tsifrovoy fotosemok dlya opredeleniya sodержaniya gumusa v pochvah [Use of materials space and land digital photographings for determination of content of a humus in soils]. Eurasian Soil Science 3, 280–286 (in Russian).
- Beck, R., 2003. Scan Line Corrector-off Products Available. Landsat Project News. October/November 2003. http://landsat.usgs.gov/project_news/october_november_2003.php
- Boyko, M. F., Chorny, S. G., 2001. Ekolohiya Khersonshchyny. Navchalnyy posibnyk [Ecology Kherson region. Manual]. Terra, Kherson (in Ukrainian).
- Chorny, S. G., Lyubartsev, V. M., Chorna, T. M., 2007. Monitorynh vmistu humusu v gruntakh Mykolayivs'koyi oblasti: prostorovo-chasovi aspekty [Monitoring humus content in soils of Mykolayiv region: spatio-temporal aspects]. Proceedings of PDATU 15, 34–37 (in Ukrainian).
- Malyshevskij, V. A., Fedulov, Ju. P., Ostrovskij, N. V., Lebedovskij, I. A., 2013. Raschet sodержaniya gumusa s ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovaniya Zemli [Calculation of maintenance of humus with use of data of remote sensing of Earth]. Scientific magazine KubSAU 92(08), 1–11 (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2002. Monitoring pochv Ukrainy. Konceptija, predvaritel'nye rezultaty, zadachi [Monitoring of soils of Ukraine. Concept, preliminary results, tasks]. City printing house, Kharkiv (in Russian).
- Sakhatsky, O. I., 2008. Dosvid vykorystannya sputnykovykh danykh dlya otsinky stanu gruntiv z metoyu rozvyazannya pryrodoresursnykh zadach [Experience of using satellite data for the assessment of soil to resolve natural-resource problems]. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine 3, 109–115 (in Ukrainian).
- Shatohin, A. V., Lyndin, M. A., 2001. Soprzazhennoe izuchenie chernozemov Donbassa nazemnymi i distancionnymi metodami [The interfaced studying of chernozems of Donbass by land and remote methods]. Eurasian Soil Science 9, 1037–1044 (in Russian).
- Sullivan, D. G., Shaw, J. N., Rickman, D., Mask, P. L., Luvall, J. C., 2005. Using remote sensing data to evaluate surface soil properties in Alabama ultisols. Soil Sci. 170(12), 954–968.
- Williams, D. L., Goward, S., Arvidson, T., 2006. Landsat: Yesterday, Today and Tomorrow. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 72(10), 1171–1178.
- Wu, C., Wu, J., Luo, Y., Zhang, L., DeGloria, S., 2009. Spatial Prediction of Soil Organic Matter Content Using Cokriging with Remotely Sensed Data. Soil Sci. Soc. Am. J. 73(4), 1202–1208.

Стаття надійшла в редакцію: 28.01.2016