

О. І. Сахацький**Досвід використання супутникових даних для оцінки стану ґрунтів з метою розв'язання природоресурсних задач***(Представлено членом-кореспондентом НАН України В. І. Ляльком)*

The paper presents the background and the results of investigations of the soil type and the humus content in soil using satellite data from Landsat-7 ETM+ and AVHRR/NOAA. The experimental evaluation of the humus content within two test sites within the Chernigovska and Khmel'nitska oblasts of Ukraine is carried out. The results of humus evaluations are well correlated (coefficient of determination $r^2 \leq 0.92$) with remote sensing data. The proposed approach will be useful for the solution of the problems of agriculture, natural resources, and protection of the environment.

Для контролю за станом земельних ресурсів та їх змінами традиційно використовують як наземні, так і дистанційні (аерокосмічні) методи досліджень. Наземні — ґрунтуються на сучасних фізичних, хімічних, біологічних, мікробіологічних та інших методах; характеризуються високою точністю і надійністю, однак вони порівняно малопродуктивні, дорого коштують, їх неможливо застосовувати для оперативної оцінки великих площ. Дистанційні матеріали істотно доповнюють наземні дослідження і дають змогу оперативно отримувати інформацію про стан ґрунтів, їхню родючість, вологість на великих площах, вести дослідження в режимі моніторингу, оцінювати врожайність тощо. Природно, що використання дистанційних матеріалів можливе лише при наявності завірених наземних досліджень. Вартість дистанційних досліджень значно нижча від вартості наземних робіт і їх можна проводити багаторазово з будь-якою необхідною частотою.

За даними аерокосмічних матеріалів, вивчення зміни складу ґрунтів і зниження вмісту гумусу засноване на тому, що між поверхневим шаром ґрунту, який відображається на знімку, та іншими шарами, які безпосередньо не виходять на поверхню, існує тісна залежність [1, 2].

Таким чином, хоча ми спостерігаємо лише поверхневий шар, одержувана інформація містить відомості про весь ґрунтовий розріз. Більш того, саме поверхневий шар ґрунту найчастіше характеризується максимальним вмістом гумусу і саме його вологість, гранулометричний склад, щільність та інші характеристики визначають умови вирощування рослин і врожайність посівів.

Основними ознаками, що дають змогу виконати кількісне дешифрування ґрунтів і сільськогосподарських посівів по космічних знімках, є їх яскравості в окремих зонах спектра.

Як відомо, головною особливістю ґрунтів є наявність у них гумусу — стійкого колоїдного з'єднання, що утворилося внаслідок розпаду органічних залишків у результаті переробки їх мікроорганізмами, а також фізико-хімічного синтезу (конденсації, полімеризації і згущення) [3–5].

Концентрація гумусу, що містить основну частину живильних елементів рослин, в цілому визначає природну родючість ґрунту. Найбільша частина гумусу концентрується в по-

верхньому, біологічно активному шарі ґрунту, де нагромаджуються рослинні залишки і корені рослин та існують сприятливі умови для життєдіяльності організмів. Потужність цього шару становить від кількох сантиметрів до десятків сантиметрів — порядку 30–40 (для чорноземів).

Гумусовий шар дерново-підзолистих піщаних ґрунтів містить 0,5–0,8% гумусу, сірих лісових суглинних ґрунтів — 1,5–2,7%, бурих лісових ґрунтів — 2%, темно-каштанових глинистих у посушливому степу 1,7–3%, чорноземів — 3–5%, лучно-чорноземних ґрунтів до 6,5%. Саме гумус додає ґрунту характерне забарвлення від чорного і темно-сірого (у чорноземів) до світло-бурого і навіть жовтувато-палевого (у буроземів, збіднених гумусом). Солончакові ґрунти, що мають сольову кірку на поверхні, виглядають ясно-сірими.

Отже, ми бачимо, що наявність гумусу в ґрунті добре корелює з його гранулометричним складом, який, як відомо, визначає водно-фізичні властивості ґрунту, зокрема, фільтраційні та можливість втримувати запаси вологи. З точки зору гідрологів та гідрогеологів, це один з важливих факторів, що визначає складові водного балансу даної території. Особливо привабливою є залежність між типом ґрунту та інтенсивністю інфільтрації поверхневих вод у підземні. Відомо, що на території України найбільш інтенсивно запаси ґрунтових вод поповнюються в місцях поширення піщаних та супіщаних ґрунтів, а в місцях, де ґрунти, складені лесами та лесоподібними суглинками, особливо в зоні рівнин Полісся, ґрунтові води поповнюються майже виключно у понижених формах мікрорельєфу [6, 7].

Різні види деградації ґрунтів спричинюють зменшення концентрації гумусу у верхньому біологічно активному шарі ґрунту. Зі зміною концентрації гумусу змінюється і забарвлення верхнього шару ґрунту, що не може не викликати зміни в спектральних яскравостях. Дослідження змін спектральних властивостей ґрунтів від вмісту гумусу за допомогою спектрометрів проводили різні автори. Одним з перших такі дослідження провів Е. Л. Кринов (1947). Добре відомими є дослідження [1, 2, 8, 9]. Далі, використовуючи власний досвід, нами буде показано, як вміст гумусу відбивається на матеріалах космічної зйомки.

Для вивчення стану ґрунтів за космічними даними використовуються два підходи. Один полягає у вивченні змін вмісту гумусу, складу ґрунтів та інших характеристик ґрунту з урахуванням спектральних характеристик відкритого ґрунту, тобто основний об'єкт вивчення безпосередньо ґрунти [1, 2, 8, 9]. Інший полягає в оцінці врожайності або біомаси рослинності, її екологічного стану, наявності або відсутності стресів та заснований на вивченні спектральних властивостей рослинності [11–13]. На нашу думку, необхідно комплексне використання цих підходів, які доповнюють один одного, та найбільш повно і всебічно відображують різні, але тісно взаємопов'язані прояви процесів, що зумовлюють стан та родючість ґрунтів.

У даному повідомленні наведемо результати проведених досліджень стосовно оцінки вмісту гумусу, за даними космічної зйомки LANDSAT-7 та AVHRR/NOAA, відкритого ґрунту в межах тестових ділянок. Перша з них розташована в Чернігівській області (Ніжинський район) у межах господарства “Червоні партизани”. Другий полігон досліджень охоплює Дунаєвецький район Хмельницької області. (Відомості з вмісту гумусу в ґрунтах у межах полігонів люб'язно надані співробітниками “Держродючість” Чернігівської та Хмельницької областей.)

Для проведення досліджень був використаний знімок Landsat-7 за 21 травня 2002 року. Знімок суміщений з векторизованою схемою землекористування, створеною в ГІС MapInfo за спеціальною методикою співробітниками “Держродючість” (Т. Д. Лев, В. М. Піскун та ін., Київ) за даними, що отримані співробітниками Чернігівського обласного державного



Рис. 1. Фрагмент знімка Landsat-7 (21.05.2002) (а) суміщений зі схемою ділянки “Червоні партизани” (б)

проектно-технологічного центра охорони родючості ґрунтів під керівництвом А. І. Мельника. Для кожного поля в електронному вигляді була надана агрохімічна інформація, що включала усереднене значення вмісту гумусу в межах даного поля. Вибраний фрагмент території характеризується порівняно однорідними умовами у відношенні вологості ґрунтів у поверхневому шарі. Це дає змогу провести кореляцію спектральних відбивних характеристик каналів космознімка з вмістом гумусу в ґрунті (рис. 1).

Використовуючи значення нормованого вегетаційного індексу NDVI були визначені поля, де рослинність майже відсутня (індекс NDVI < 0). Далі, в межах саме таких полів були визначені усереднені значення інтенсивності спектрального відбиття по каналах знімка Landsat-7 (21.05.2001) у межах полів господарства “Червоні партизани” (Чернігівська область), які наведено в табл. 1.

Статистична обробка супутникових і відповідних наземних даних показала чітку кореляційну залежність між спектральними характеристиками космознімка Landsat-7 (21.05.2005) у червоній зоні (рис. 2, а) та близькій інфрачервоній зоні спектра (рис. 2, б) з середнім вмістом гумусу для конкретних полів у межах тестової ділянки “Червоні партизани”.

Застосовуючи залежність між спектральними характеристиками космознімка Landsat-7 у червоній зоні (рис. 2, а) з середнім вмістом гумусу, що має досить велику ступінь кореляції на рівні 0,92, було визначено для кожного пікселя зображення значення гумусу в межах окремих полів (за умови, що значення NDVI у пікселі менше нуля, тобто майже відсутня рослинність).

Рис. 3 ілюструє стадії обробки знімка Landsat-7: а — початкове синтезоване зображення; б — зображення з виділеними полями, де відсутня рослинність; в — результати обробки знімка в межах виділених полів; г — збільшене зображення окремого поля з результатами обробки за кожним пікселем знімка, наведено значення гумусу, що визначене за спектральними відбивними характеристиками у червоному каналі знімка.

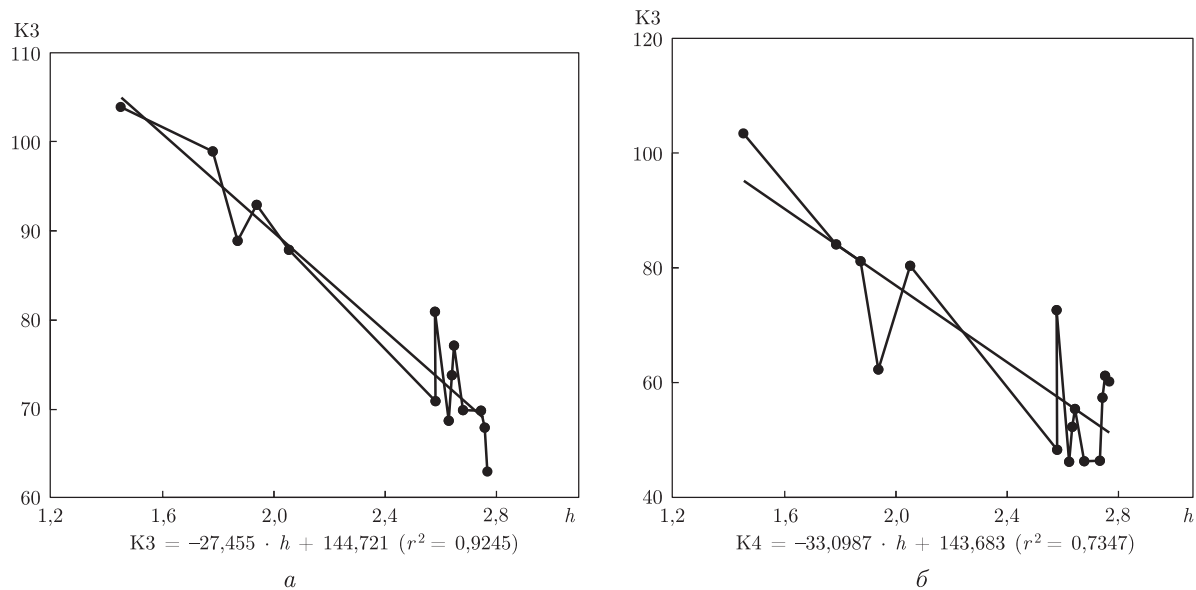


Рис. 2. Лінійні кореляційні залежності між інтенсивністю спектрального відбиття знімка Landsat-7 (21.05.2002) у червоному (К3) та близькому інфрачервоному каналі (К4) та вмістом гумусу (h) (тестова ділянка “Червоні партизани”)

Таким чином, подібний підхід може бути застосований для оцінки вмісту гумусу в ґрунтах з урахуванням космічної зйомки із значною деталізацією в межах полів окремих господарств.

Крім того, нами проведено дослідження з метою встановлення кореляційної залежності, між усередненим вмістом гумусу для певних типів ґрунтів та спектральними відбивними характеристиками космічних знімків Landsat-7 та AVHRR/NOAA.

Фрагмент знімка Landsat-7 (05.06.2000), що наведений на рис. 4, суміщений з картою ґрунтів у межах Дунаєвецького району (б) Хмельницької області для кореляції спектраль-

Таблиця 1

Канали зйомки						Вміст гумусу, %	Ідентифікатор типу ґрунту	NDVI
К1	К2	К3	К4	К5	К7			
99	95	104	104	162	129	1,45	18L	-0,002
91	80	88	81	157	133	2,05	18L	-0,037
96	86	99	85	172	148	1,78	18L	-0,077
91	75	86	64	179	168	3,05	42L + 111L	-0,148
94	79	93	63	180	174	1,94	40 + 103L	-0,198
83	66	70	58	149	138	2,75	40 + 103L	-0,093
91	81	89	82	147	120	1,87	19L	-0,039
80	64	63	61	139	120	2,77	40 + 103L	-0,016
83	63	70	47	156	155	2,74	40 + 103L	-0,194
82	63	70	47	154	152	2,68	40 + 103L	-0,190
82	62	69	47	150	148	2,63	40 + 103L	-0,193
87	75	81	73	139	111	2,58	40 + 103L	-0,051
85	67	74	53	164	159	2,64	40 + 103L	-0,166
88	70	77	56	170	164	2,65	40 + 103L	-0,156
83	64	71	49	156	151	2,58	40 + 103L	-0,185
82	65	68	62	148	134	2,76	40 + 103L	-0,046

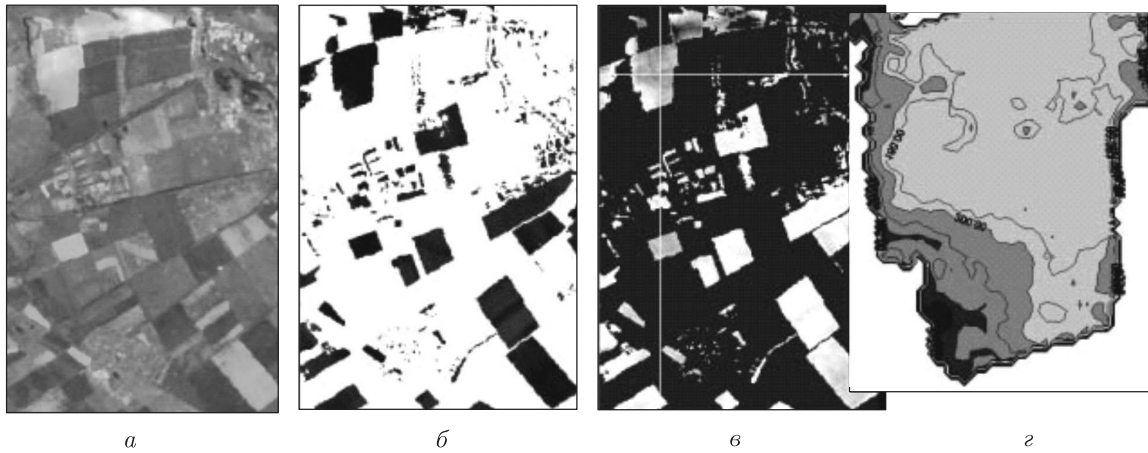


Рис. 3. Фрагмент знімка Landsat-7 (21.05.2002) (а) та результати його обробки для визначення вмісту гумусу в межах ділянки “Червоні партизани”

них відбивних характеристик з усередненим вмістом гумусу в ґрунті для найбільш поширених типів ґрунтів даного району, а саме: ясно-сірих та сірих опідзолених ґрунтів (ідентифікатор типу ґрунту — 29), темно-сірих опідзолених та слабореградованих (ідентифікатор — 40), опідзолених та слабореградованих чорноземів, а також темно-сірих сильно реградованих (41) та типових і сильнореградованих середньо змитих (53) чорноземів.

Методика визначення ділянок для кореляції спектральних яскравостей знімка з усередненим вмістом гумусу була аналогічна до тої, яку застосували на ділянці “Червоні партизани”. А саме, використовуючи значення вегетаційного індексу NDVI було визначено поля, де рослинність майже відсутня (індекс NDVI < 0). Далі, в межах саме таких полів було визначено усереднені значення спектральних яскравостей по спектральних каналах знімка Landsat-7.

Кореляцію значень спектральних яскравостей проводили з усередненим вмістом гумусу для певного типу ґрунту, що було визначено співробітниками “Держзродючість” Хмельницької області.

Статистичною обробкою доведено досить сильний кореляційний зв’язок між спектральними яскравостями космознімка Landsat-7 у 3 каналі (червоний діапазон), 5 каналі (середній інфрачервоний діапазон) та 6–2 каналі (другому тепловому каналі). Частина цих залежностей представлена на рис. 4. Квадратична залежність показана пунктирною лінією.

Подібні дослідження в межах Дунаєвецького району проводилися для встановлення кореляційних залежностей між усередненим вмістом гумусу для основних типів ґрунтів та спектральними характеристиками знімка AVHRR/NOAA (01.04.2001). Хоча знімки AVHRR/NOAA мають низьке просторове розрізнення (1,1 км), але вони надаються безкоштовно та мають перевагу у часовому розрізненні. Їх можна отримувати практично кожного дня і тому гарантовано можна отримати кілька знімків за вегетаційний період у сонячні дні на відміну від знімків Landsat-7, або інших знімків високої розрізненості, які проводять зйомку однієї ділянки земної поверхні приблизно раз у місяць; значна хмарність у момент зйомки може завадити отримати якісні дані. Крім того, знімки AVHRR/NOAA природно інтегрують сигнал відбиття від земної поверхні в межах пікселя розміром приблизно 1,1 × 1,1 км і тому цікаво зіставити ці інтегровані характеристики космічної зйомки з наземними усередненими даними для певних типів ґрунтів.

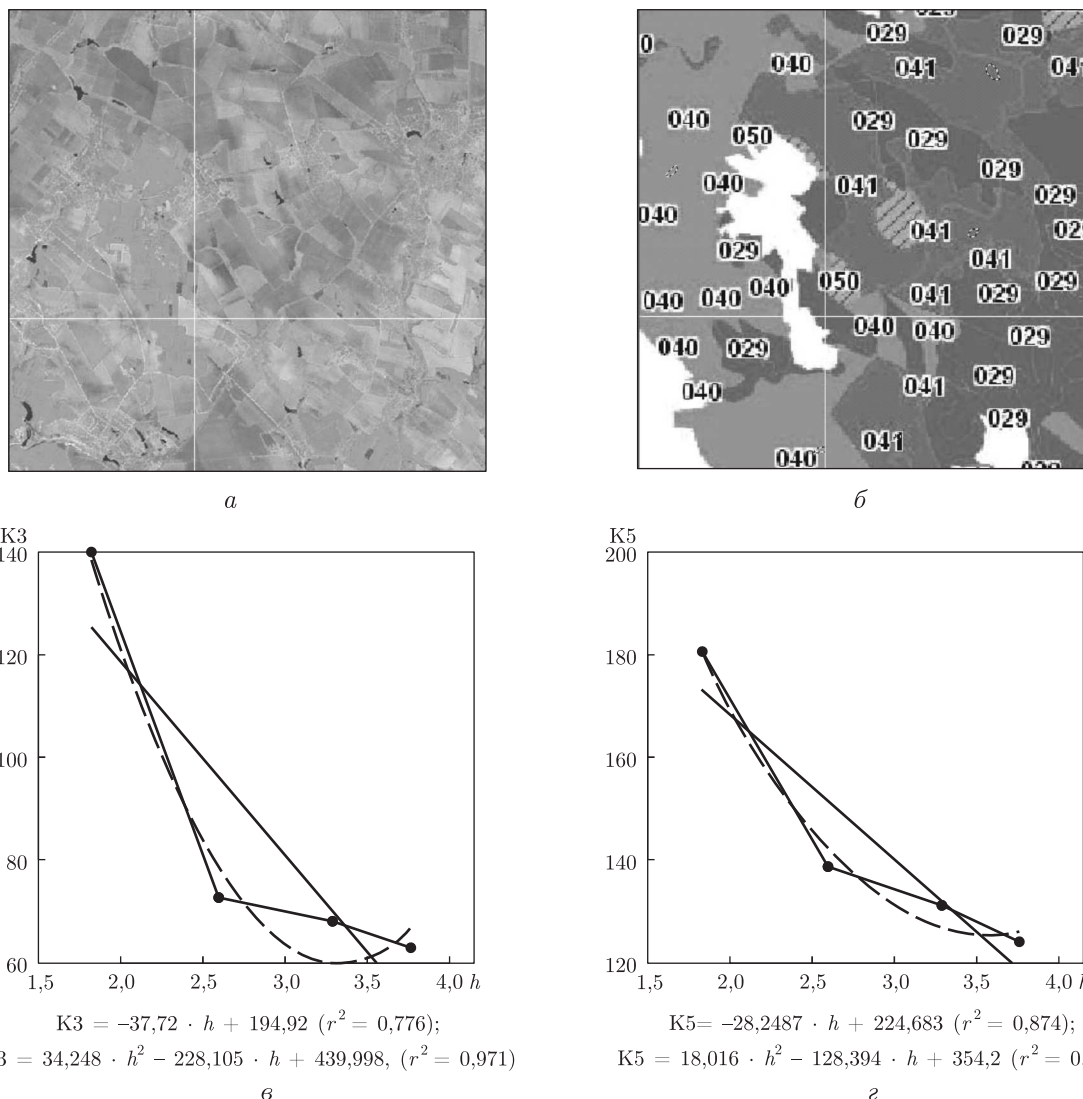


Рис. 4. Фрагмент знімка Landsat-7 (05.06.2000) (а) суміщений з картою ґрунтів у межах Дунаєвецького району (б) та кореляційні залежності між спектральними яскравостями знімка Landsat-7 (21.05.2002) у червоному каналі (в) та інфрачервоному каналі (г) з середнім вмістом гумусу

Оскільки знімок AVHRR/NOAA має досить низьке розрізнення спектральні характеристики для окремих ділянок визначали за одним пікселем, який відповідав вимогам мінімального значення NDVI. Як показують результати вимірів, повністю усунути вплив рослинності було неможливо. Мінімальні значення NDVI вищі за 0. Тому пороговим було визначено інше число – $NDVI < 0,140$, при переважній більшості $NDVI < 0,12$.

У результаті статистичної обробки встановлено досить впевнений кореляційний зв'язок між спектральними характеристика знімка AVHRR/NOAA-16 (01.04.2001) та усередненим вмістом гумусу основних типів ґрунтів. Зокрема, спостерігається кореляційна залежність між спектральною яскравістю у видимому діапазоні (K1) та вмістом гумусу (h) в межах Дунаєвецького району, яка у випадку лінійної апроксимації має такий вигляд: $K1 = -31,5894 \cdot h + 266,253$ ($r^2 = 0,807$); для квадратичної апроксимації: $K1 = 22,53 \cdot h^2 - 156,85 \cdot h + 428,049$ ($r^2 = 0,932$).

Таким чином, було проведено обробку знімків Landsat-7 та AVHRR/NOAA для оцінки можливостей визначення природної продуктивності ґрунтів у межах Хмельницької та Чернігівської областей. У межах полігонів досліджень в результаті сумісної обробки супутникових та завіркових наземних даних отримано кореляційні залежності між спектральними яскравостями космічних знімків та вмістом гумусу в ґрунтах, що може слугувати для оцінки природної продуктивності ґрунтів, контролю за їх деградацією та для визначення водно-фізичних параметрів поверхневих відкладів при гідрологічних та гідрогеологічних дослідженнях. Отримані результати свідчать про можливість використання космічних зйомок для більш детального картування параметрів ґрунтів в межах окремих полів, господарств та районів, але це потребує детальних наземних первинних даних.

1. Андроников В. Л. Аэрокосмические методы изучения почв. – Москва: Колос, 1979. – 280 с.
2. Дейвис С., Сван П. Дистанционное зондирование: Количественный подход. – Москва: Недра, 1983. – 415 с.
3. Виноградов Б. В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. – Москва: Наука, 1984. – 319 с.
4. Канівець В. И. Життя ґрунту. – Київ: Урожай, 1990. – 156 с.
5. Медведев В. В. Мониторинг почв Украины. – Харьков: Антикава, 2002. – 428 с.
6. Шпак И. С. Влияние леса на водный баланс водосборов. – Киев: Наук. думка, 1968. – 282 с.
7. Бублясь В. М., Шестопалов В. М. Аномальные зоны и их роль в перераспределении радионуклидов из поверхности почв в подземные воды // Водообмен в гидрогеологических структурах и чернобыльская катастрофа. Ч. 1: Распространение чернобыльских радионуклидов в гидрогеологических структурах. – Киев, 2001. – С. 251–356.
8. Федченко П. П., Кондратьев К. Я. Спектральное отражение некоторых почв. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1981. – 231 с.
9. Шатохин А. В., Лындин М. А. Сопряженное изучение черноземов Донбасса наземными и дистанционными методами // Почвоведение. – 2001. – № 9. – С. 1037–1044.
10. Лялько В. И, Сахацкий А. И., Ходоровский А. Я. и др. Возможности прогнозирования урожайности зерновых культур на основе совместного использования многозональных космических снимков AVHRR/NOAA и Landsat TM (на примере Киевской области) // Косм. наука і технологія. – 2002. – 8, № 2/3. – С. 249–255.
11. Illera P., Delgado J., Fernandez Unzueta F., Fernandez Manso A. Integration of NOAA-AVHRR and meteorological data in GIS-Application for vegetation monitoring in Castilla y Leon, Spain // Remote Sensing in the 21st Century / Ed. J.L. Casanova. // Econ. and Environ. Appl. – 2000. – P. 47–54.
12. Rasmussen M. S. Developing simple, operational, consistent NDVI-vegetation models by applying environmental and climatic information: Part 1. Assessment of net primary production // Remote sensing. – 1998. – 19, No 1. – С. 97–117.
13. Rasmussen M. S. Developing simple, operational, consistent NDVI-vegetation models by applying environmental and climatic information: Part II. Crop yield assessment // Ibid. – С. 119–139.

Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі
Інституту геологічних наук НАН України, Київ

Надійшло до редакції 12.07.2007