

УДК 504.05:528.7(045)

**ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕГРАДАЦІЇ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ КАЛУСЬКОГО РАЙОНУ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ  
ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

**\*Т. В. Дудар**, канд. геол.-мін. наук, доц.; **\*\*С. А. Станкевич**, д-р техн. наук;  
**\*І. В. Лоїк**, **\*О. В. Мартинова**

\*Національний авіаційний університет  
iraloyik@hotmail.com

\*\*Науковий центр Космічних досліджень Землі НАН України  
st@casre.kiev.ua

*Проаналізовано причини деградації земельних ресурсів Калузького району Івано-Франківської області. Виділено основні індикатори деградації земель — зміна рослинного покриву та динаміка ерозії ґрунтів. Побудовано карту деградації земель досліджуваної території з використанням багатоспектральних супутникових знімків, а також цифрового рельєфу місцевості, характеристики ґрунтів та кліматичних параметрів.*

**Ключові слова:** деградація земельних ресурсів, ерозія, геоінформаційні системи, багатоспектральні супутникові знімки.

*The analysis of main causes of land degradation in Kalush district of Ivano-Frankivsk oblast is given in this publication. Vegetation cover and soil erosion dynamics were highlighted as the main indicators of land degradation. The land degradation map for the researched area was built using multispectral space images as well as digital terrain model, soil and climatic characteristics.*

**Keywords:** land degradation, erosion, geoinformational systems, and multispectral satellite images.

**Актуальність дослідження**

Земельні ресурси є невід’ємною частиною багатства народу. Саме земля протягом багатьох століть залишалася головним ресурсом держави, джерелом добробуту і процвітання. Інтенсивні темпи росту населення та викликана ними необхідність інтенсифікації сільськогосподарського виробництва потребують збільшення площі орних земель. Масштабне освоєння земельних територій окрім позитивних наслідків призводить до деградації земельних ресурсів. З кожним роком проблема деградації земельних ресурсів в Україні стає дедалі актуальнішою.

Деградація земель означає зниження чи втрату біологічної та економічної продуктивності й складної структури ґрунтів орних земель, погіршення їхнього стану, складу, корисних властивостей і функцій та інших органічно пов’язаних із землею природних компонентів [1]. У свою чергу, до деградованих земель належать: а) земельні ділянки, поверхня яких порушена внаслідок розвитку ерозійних процесів, зсувів, карстоутворення, повеней, добування корисних копалин тощо; б) земельні ділянки з еродованими, перезволоженими, з підвищеною кислотністю або засоле-

ністю, забрудненими хімічними речовинами ґрунтами та ін. [2, стаття 171]. У цій роботі авторами розглядаються проблеми деградації земельних ресурсів з використанням методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та сучасних геоінформаційних технологій на прикладі Калузького району, розташованого у північно-східній частині Івано-Франківської області в зоні Прикарпатського передгір’я.

**Аналіз попередніх публікацій та досліджень**

Використання даних ДЗЗ відкриває нові можливості для дослідження та спостереження за навколишнім природним середовищем та зокрема за процесами деградації земельних ресурсів. Дані ДЗЗ використовуються для виявлення й оцінювання наслідків надзвичайних ситуацій, контролю за лісовими вирубками і землекористуванням, моніторингу стану природних екосистем, вирішення природоресурсних завдань [3]. Оскільки ці технології вважаються неінвазивними та точнішими порівняно із традиційними методами спостереження за природними і природно-антропогенними екосистемами, тому вони усе частіше застосовуються для моніторингу навко-

лишнього середовища [4–6]. Окрім того, технології ДЗЗ широко застосовуються для оцінювання стану деградації земельних ресурсів [7; 8]. Карти та вимірювання деградованих земель можна легко отримати безпосередньо із даних ДЗЗ шляхом аналізу та статистичної інтерпретації цих даних [9; 10].

### Постановка проблеми

Калуський район Івано-Франківської області розглядається як один з найнебезпечніших регіонів України, де переплелися декілька серйозних екологічних проблем. Калуш-Голинське родовище калійних солей, розташоване у Калуському районі, сьогодні визначається як район екологічної катастрофи внаслідок сукупності багатьох антропогенних впливів. Кам'яну сіль тут добували протягом кількох десятків років, проте із середини ХХ ст. предметом промислового інтересу стали поклади калійно-магнієвих солей, що залягають серед кам'яної солі.

Видобування калійних солей здійснювалося на трьох рудниках: «Калуш», «Голинь» та «Ново-Голинь», що складаються із семи шахтних полів, та єдиному у світі Домбровському кар'єрі, де видобування калійних солей відбувалось відкритим способом.

Калійно-металургійний комбінат було введено в експлуатацію у 1968 р. та закрито у 2001 р. Так, у власності підприємства знаходиться три рудники, Домбровський кар'єр, два відвали засоленних ґрунтів, два хвостосховища та шламонакопичувач, які створюють загрозу довкіллю.

У результаті нераціонального землекористування протягом останніх десятиріч район було оголошено «зоною надзвичайної екологічної ситуації» Указом Президента № 145/2010 у 2010 р.

До основних екологічних проблем району можна віднести:

1) полігон токсичних відходів, де зберігається 50 % усіх наявних небезпечних відходів І-го класу небезпеки України, який утворився в результаті діяльності Калуського хіміко-металургійного комбінату.

2) домбровський кар'єр калійних руд, де видобування калійних солей відбувалось відкритим способом. Роботи були припинені лише через затоплення кар'єру. Об'єм заповнення розсолами сягає 12 млн м<sup>3</sup> та інтенсивно збільшується за рахунок атмосферних опадів, надходження підземних вод та вод річки Сівка. Значну небезпеку становить інтенсивний розвиток карсту в північній частині кар'єру, який спричиняє зсуви бортів і просочення води річки Сівка, що створює ризик затоплення кар'єру та потрапляння небезпечних розсолів до річок Лімниця та Дністер;

3) розвиток екзогенних геологічних процесів, що представлені деформацією земної поверхні, розвитком зсувів та карстів, утворенням провальних воронок, деградацією земель, засоленням водних об'єктів.

Безумовно, така ситуація призвела до погіршення якості земельних ресурсів та розвитку процесів площинної ерозії в районі. Метою роботи є вивчення цих процесів та побудова карти деградації ґрунтів з використанням даних ДЗЗ та сучасних геоінформаційних технологій. Для дослідження деградаційних процесів земельних ресурсів було використано методику картування деградації земель [10] на основі дворівневої моделі обробки багатоспектральних космічних знімків та статистичного злиття даних.

### Методика дослідження та порядок виконання

В основі вивчення деградації земельних ресурсів досліджуваного району проведено оброблення багатоспектральних супутникових знімків Landsat/TM рівня 1В за період 1991–2011 рр., одержані з архіву Геологічної служби США (USGS Landsat Global Archive) через портал даних EarthExplorer. Для першого рівня моделі було проведено картування просторового розподілу двох основних показників деградації земель — змін рослинного покриву та ґрунтової ерозії. Другий рівень моделі забезпечив поєднання даних, одержаних на першому рівні, у прикінцеву тематичну карту [10].

Основним завданням обробки багатоспектральних супутникових знімків є відновлення тієї інформації, яка найдостовірніше відтворює деградаційні процеси. Для виявлення змін рослинного покриву та динаміки ерозійних процесів як двох індикаторів, що найповніше характеризують деградацію земель, окрім багатоспектральних супутникових зображень середньої просторової розрізненності залучалися допоміжні геопросторові дані: цифрова модель рельєфу (ЦМР) місцевості, карта ґрунтів та кліматичні характеристики досліджуваної території.

Зміни рослинного покриву із використанням супутникових знімків визначалися стандартними методами. Беручи до уваги умови розвитку ерозії на сільськогосподарських ґрунтах Калуського району, нами було використано модифікований ґрунтово-скоригований вегетаційний індекс MSAVI замість стандартного нормалізованого вегетаційного індексу NDVI. Індекс MSAVI.  $F_v$  розраховується за формулою:

$$F_v = \frac{2E_n + 1 - \sqrt{(2E_n + 1)^2 - 8(E_n - E_r)}}{2}, \quad (1)$$

де  $E_n$  та  $E_r$  — оптичні сигнали багатоспектрального зображення у ближньому інфрачервоному і червоному спектральних діапазонах відповідно [10].

Важливим проявом деградації є ерозія ґрунтів. Ерозія ґрунту — це руйнування його верхнього найродючішого горизонту і підґрунтя під впливом природних та антропогенних чинників. Залежно від природних чинників, вирізняють вітрову та водну ерозію.

Так, водну ерозію можна визначити, використовуючи непрямий індекс вегетаційного стану. Площі, де розвинена інтенсивна водна ерозія, характеризуються низьким вегетаційним індексом. Деградовані та мінералізовані ґрунти мають вищу енергетичну яскравість у видимому спектральному діапазоні. Зменшення щільності вегетаційного покриву є важливою характеристикою деградації земель.

Ґрунтовий покрив району дослідження в основному складається з дерново-підзолистих, дерново-буроземних, буроземно-підзолистих, лучних та болотних ґрунтів. Площа сільськогосподарських угідь становить близько 39 тис. га. На території району є поклади корисних копалин, таких як калійні солі, газ, глина, гіпс [10].

Водна ерозія залежить від типу і мінерального складу ґрунту, рівня опадів, геометричної крутизни схилів та густоти рослинного покриву. Величина водної ерозії  $z_s$  (мм/міс) розраховується із використанням регресійної залежності [10]:

$$z_s = k_s Q^2 (\operatorname{tg} \alpha)^{1,67} \exp(-0,07v), \quad (2)$$

де  $k_s$  — ерозійний коефіцієнт ґрунту;  $Q$  — поверхневий стік (мм/міс);  $\alpha$  — кут нахилу місцевості;  $v$  — відсоток покриття місцевості рослинністю.

Поверхневий стік визначається співвідношенням кількості опадів  $P$  (мм/міс) та водним утриманням  $R$  (мм/міс):

$$Q = \frac{(P - 0,2R)^2}{P + 0,8R}, \quad (3)$$

де  $R$  залежить від табличного гідрологічного показника ґрунту  $C$

$$R = 25,4 \left( \frac{1000}{C} - 10 \right). \quad (4)$$

Відсоток покриття місцевості рослинністю вважається пропорційним NDVI у межах досліджуваної території та розраховується за багатоспектральним зображенням.

Вітрова ерозія виникає внаслідок взаємодії структурних частин ґрунту із приземним повітряним потоком. Спрощена модель вітрової ерозії може бути подана таким чином:

$$z_w \approx 0,059(w - u)d_s^{-3,67}, \quad (5)$$

де  $z_w$  — величина вітрової ерозії, мм/міс;  $w$  — швидкість приземного повітряного потоку, м/с;  $u$  — критична швидкість повітряного потоку, м/с

$$u = 3,202 + 0,25d_s, \quad (6)$$

тут  $d_s$  — еквівалентний розмір структурних частинок ґрунту, мм.

Для дерново-підзолистого ґрунту ця величина дорівнює 0,12 мм. Швидкість приземного повітряного потоку при сталій динамічній швидкості вітру  $w_0$  визначається переважно опором рослинного покриву:

$$w = w_0 \exp(-0,0139v). \quad (7)$$

Повна ерозія ґрунту визначається додаванням (2) та (7). Для картографування деградації земель Калуського району використовувались багатоспектральні знімки сенсора TM супутника Landsat-5 за період із серпня 1991 по вересень 2011 року. Було розраховано індекс MSAVI  $F_v$  (1) та картувалися його зміни за період спостережень.

Паралельно було оцінено повну ерозію  $z = z_s + z_w$  та прокартовано її зміни. Відсоток покриття рослинністю  $v$  розраховувався безпосередньо за вихідними багатоспектральними супутниковими знімками, а нахил місцевості — за ЦМР SRTM v4 та ASTER GDEM v2. Додатково було враховано такі дані за гранулометричним складом та гідрологічним показником дерново-підзолистих ґрунтів, що переважають у районі: середня щільність — 1,2 г/см<sup>3</sup>, еквівалентний розмір структурних частинок ґрунту  $d_s = 0,12$  мм; ерозійний коефіцієнт  $k_s = 0,37$ , мм/міс<sup>-1</sup>.

Кліматичні дані, а саме середньомісячні опади 76 мм/міс та середня швидкість вітру 2,5 м/с одержувалися з тематичного сервера World Climate.




На першому етапі було побудовано серії тематичних просторових класифікацій принципово різних індикаторів, що описують деградацію земель: змін рослинного покриву та змін ґрунтової ерозії. На другому етапі часткові класифікації першого рівня поєднувалися у результуючу класифікацію методом байєсівського злиття даних.

Значення, що були отримані в результаті злиття часткових індикаторів, умовно поділені на сім класів. Перші три класи (значне покращення, середнє покращення, слабке покращення) вказують на позитивні тенденції зміни індикаторів, що можна розглядати як зменшення ризику погіршення якості земель.

Четвертий клас (без змін) представляє територію, де протягом 1991–2011 рр. не відбувалось значущих змін. Останні ж три класи (низька ерозія, середня ерозія та висока ерозія) представля-

ють території, де спостерігаються негативні зміни індикаторів та існує підвищений ризик деградації земель. У таблиці наведено легенду позначень відповідних класів.

**Позначення класів індикаторів розвитку деградаційних процесів**

Позначення	Клас
	Значне покращення
	Середнє покращення
	Слабке покращення
	Без змін
	Низька ерозія
	Середня ерозія
	Висока ерозія

Основні етапи отримання прикінцевої карти деградації земель досліджуваного району можна проілюструвати послідовністю супутникових зображень та тематичних шарів рис. 1–5.

За отриманою картою можна визначити тенденції розвитку деградаційних процесів території дослідження. Значна частина площі району не зазнала суттєвих змін. Процеси деградації (жовті та червоні кольори на карті рис. 4) розвинені поблизу Калуш-Голинського родовища калійних солей, а особливо навколо шахтних полів «Північнокаїнітове», «Хотінь», «Голинь», «Сівка Калуська» та Домбровського кар'єру, де спостерігається середня та висока інтенсивність деградаційних процесів.

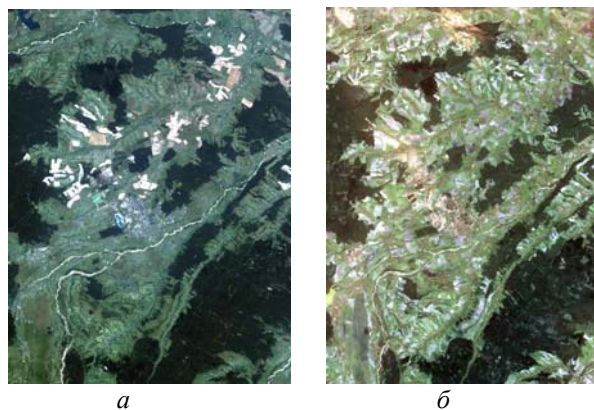


Рис. 1. Вхідні багатоспектральні супутникові зображення Landsat/TM:  
а) 16.08.1991 р.; б) 18.08.2011 р.

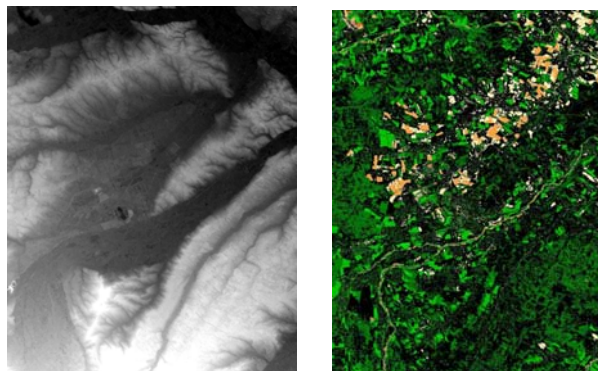


Рис. 2. Цифровий рельєф місцевості ASTER GDEM v2 території дослідження

Рис. 3. Карта змін рослинного покриву території дослідження за 1991–2011 рр.



Рис. 4. Карта деградації земель Калуського району в 1991–2011 рр.



Рис. 5. Топографічна основа Калуського району

Також зазначені процеси розвинені і на північному сході району — поблизу населених пунктів Войнилів, Перевозець та Середня, що зокрема пов'язано з наявністю гіпсових родовищ, які особливо схильні до розвитку ерозійних процесів. Окрім того, незначні прояви ерозії спостерігаються уздовж руслу річок Лімниця та Луква.

### Висновки

Одержана карта деградації земель Калуського району, що показана на рис. 4, наглядно демонструє розвиток деградаційних процесів на досліджуваній території.

Більшість площі району залишається незмінною (чорний колір 41%) або зазнає незначних змін (приблизно 29 % зелені кольори). Низьким, середнім та високим ступенем ерозії (жовті кольори) характеризується приблизно 30 % площі району. Отримані дані наглядно демонструють вплив довготривалих змін рослинного покриву та кореляцію інтенсивного розвитку гірничо-видобувної промисловості з деградацією земель на території району.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на проведення наземної завірки результатів досліджень за статистично репрезентативними вибірками вимірювань *in situ*, та на моделювання додаткових чинників деградації земель, які не можуть бути визначені безпосередньо за супутниковими даними.

### ЛІТЕРАТУРА

1. *Про охорону земель* : Закон України за станом на 21 березня 2012 р. / Верховна Рада України. — Офіц. вид. — К. : Парлам. вид-во, 2012. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/962-15>.

2. *Земельний кодекс України*: за станом на 05.09.2012 р. / Верховна Рада України. — Офіц. вид. — К. : Парлам. вид-во, 2012. [Електронний

ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.

3. *Мальчикова Д. С.* Використання ГІС/ДЗЗ-технологій для вивчення територіальної структури землекористування регіону / Д. С. Мальчикова // *Періодичне видання. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії.* — 2010. — № 12. — С. 123–128.

4. *Жолобак Г. М.* Використання методів дистанційного зондування Землі для моніторингу агроресурсів України / Г. М. Жолобак // *Космічна наука і технологія.* — 2010. — Т. 16. № 6. — С. 16–23.

5. *Lefteri Dushaj, Ilir Salillari, Valentina Suljoti, Majlinda Cenameri, Fatbardh Sallaku* Application on gis for land use planning: a case study in central part of albania *Research Journal of Agricultural Science*, Vol. 41 (2), 2009. — P. 104–111.

6. *Francis Balfour Agurgo* Remote Sensing & GIS for Land Degradation Assessment and Land Management in Ghana // *Proceedings of Sub-Regional Workshop on Forestry Statistics*, Nakuru, Kenya. — 2008. — P. 517–522.

7. *Joanne McNeill, Richard MacEwan* Using GIS and a Land Use Impact Model to Assess Risk of Soil Erosion in West Gippsland // *Applied GIS.* — 2006. — Volume 2, Number 3, Monash University Press.

8. *Idowu Innocent Abbas, Mayowa Johnson Fasona* Remote Sensing and Geographic Information Techniques: Veritable Tools for Land Degradation Assessment // *American Journal of Geographic Information System.* — 2012. — № 1(1). — P. 1–6.

9. *Регіональна доповідь Про стан навколишнього природного середовища в Івано-Франківській області за 2010 р.* // м. Івано-Франківськ, 2011. — 219 с.

10. Дистанционная оценка риска деградации земель с использованием космических снимков и геопространственного моделирования / М. А. Попов, С. А. Станкевич, А. А. Козлова // *Доповіді Національної академії наук України. Математика, природознавство, технічні науки: Науково-теоретичний журнал.* — 2012. — № 6. — С. 100–104.

Стаття надійшла до редакції 03.12.2012.