

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ „ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА”**

**ГЕБРИН-БАЙДИ ЛІЛІЯ ВАСИЛІВНА**

УДК 528.94:004:332.33

**ЗАСТОСУВАННЯ АЕРОКОСМІЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ  
РОДЮЧОСТІ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО  
ПРИЗНАЧЕННЯ ЛАНДШАФТНИХ ЗОН ЗАКАРПАТТЯ**

05.24.04 — кадастр і моніторинг земель

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Львів — 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному авіаційному університеті Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник:** доктор фізико-математичних наук, професор  
**Железняк Олег Олександрович**,  
завідувач кафедри аерокосмічної геодезії  
Національного авіаційного університету,  
м.Київ;

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, доцент  
**Кохан Світлана Станіславівна**  
завідувач кафедри геоінформатики і  
аерокосмічних досліджень Землі  
Національного університету біоресурсів і  
природокористування України, м. Київ;

кандидат технічних наук, доцент  
**Калинич Іван Васильович**  
декан географічного факультету  
ДВНЗ «Ужгородський національний  
університет»

Захист дисертації відбудеться «21» червня 2018 р., о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. С. Бандери, 12, ауд. 502, II навч. корп.

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розісланий «11» травня 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

к. т. н., доц. Паляниця Б. Б.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Сільське господарство, а саме розвиток та збалансоване його ведення, є однією з найважливіших проблем сьогодення в умовах здійснення агропромислової політики України. У сучасній системі землеробства спостерігається інтенсивне використання земельного фонду, яке призводить до появи негативних процесів таких як, погіршення якісних і кількісних показників та втрати родючості. Родючість земель є важливою характеристикою, яка визначає виробничу вартість цього природного ресурсу. Інтенсивне використання земельних угідь породжує зміни родючості та призводить до збільшення затрат для вирощування сільськогосподарських культур, а також зростання собівартості продукції, зменшення конкурентоспроможності на ринку сільськогосподарських товарів. У зв'язку з цим необхідно здійснювати оперативний моніторинг ґрунтів, а саме їх родючого шару, на землях сільськогосподарського призначення для підвищення ефективності використання земельних ресурсів у кожному регіоні України.

Серед наявних сучасних методів отримання інформації найбільш оперативним є космічне дистанційне зондування Землі (ДЗЗ). Сучасний етап використання даних космічного моніторингу (КМ) земельних ресурсів сприяє вирішенню широкого кола завдань, пов'язаних з оцінюванням показників родючості ґрунтів, проведенням необхідних агротехнічних заходів та підвищенням ефективності використання земель сільськогосподарського призначення на регіональному рівні. Доведено, що найефективнішими є методи, які засновані на використанні й аналізі різночасових космічних зйомок. Отримана інформація дозволяє вести безперервний моніторинг земель сільськогосподарського призначення, створювати бази різночасових космічних знімків, що слугують основою для проведення порівняльного статистичного аналізу, моделювання та прогнозування стану родючості ґрунтів.

Теоретичну основу дисертаційного дослідження для розв'язання науково-прикладних завдань застосування дистанційних аерокосмічних методів з метою моніторингу оцінювання якісного стану земель становлять наукові праці: А. Ачасова, Г. Андрусенка, Д. Бідолаха, Х. Бурштинської, М. Волощука, А. Владичевського, О. Дорожинського, О. Железняка, Г. Жолобак, В. Зацерковного, С. Кочубей, С. Кохан, Н. Куссуль, А. Москаленко, Р. Пастернака, Р. Панаса, В. Польового, М. Попова, Е. Руднева, О. Сахацького, А. Сохнича, С. Станкевича, С. Трускавецького, Т. Шадчиної, А. Шатохіна і М. Лидіна, О. Федоровського, а також праці закордонних вчених: В. Гершензона, А. Маслова, В. Козодерова, G. Andersen, G. Asrar, F. Baket, P. Chavez, R. Crippen, D. Gates, M. Griffin, A. Huete, J. Messina, J. Rouse, D. Tanre та інших.

З аналізу фахових публікацій з'ясовано, що потребує поглибленого вивчення комплекс питань, пов'язаних з визначенням переліку показників родючості ґрунту на основі спектральних яскравостей знімків, ефективністю використання різних груп вегетаційних індексів, оптимізацією кількості спектральних сигнатур та періодичності проведення космічних зйомок.

Таким чином, актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю розробки та практичного впровадження методик використання серії мультиспектральних знімків для моніторингу показників родючості земель

сільськогосподарського використання з урахуванням специфіки ландшафтних зон Закарпаття для забезпечення достовірною та оперативною просторово-часовою інформацією у прийнятті рішень, пов'язаних з управлінням земельними ресурсами.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Вибраний напрям пов'язаний з науковими дослідженнями кафедри аерокосмічної геодезії Національного авіаційного університету і науково-дослідною державно-бюджетною темою «Спектрофотометрія і дешифрування ландшафтів» (№ 0107U001367, 2012–2014 рр.). Автору у розробці даної теми належить проведення на основі аерокосмічних методів оцінювання родючості ґрунтів і створення математичних моделей ефективності використання земель сільськогосподарського призначення різних ландшафтних зон Закарпаття. Тематика дисертаційної роботи також відповідає концепції Державної програми «Підвищення родючості ґрунтів на період 2015–2016 рр.».

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є розв'язання науково-прикладного завдання оцінювання показників родючості земель сільськогосподарського призначення з використанням аерокосмічних методів на основі побудови статистичних лінійних регресійних залежностей та розроблення й застосування нелінійних математичних моделей ефективності використання земель сільськогосподарського призначення різних ландшафтних зон Закарпаття.

Для досягнення цієї мети в роботі визначено такі основні завдання:

- аналіз та класифікація основних показників родючості ґрунту, що визначаються дистанційними аерокосмічними методами;
- аналіз сучасного стану ґрунтового покриву регіону та встановлення взаємозв'язку між родючістю ґрунту на землях сільськогосподарського призначення та показниками стану рослинності на основі наземної та супутникової інформації;
- удосконалення процесу оцінювання показників родючості ґрунту із застосуванням серії різночасових супутникових знімків та даних агрохімічного обстеження моніторингових ділянок на основі лінійних регресійних залежностей;
- створення та застосування нелінійної математичної моделі ефективності використання земель Закарпаття з урахуванням залежності економічної родючості земель від агротехнічних витрат на вирощування різних сільськогосподарських культур.

**Об'єкт дослідження** — землі сільськогосподарського призначення та показники родючості ґрунтів ландшафтних зон Закарпаття.

**Предмет дослідження** — дистанційні аерокосмічні методи оцінювання показників родючості земель сільськогосподарського призначення.

**Методи дослідження.** Для розв'язання поставлених завдань використовувались структурно-текстурний аналіз космічних знімків, візуальне дешифрування космічних зображень, геопросторовий аналіз, територіально-картографічний та математично-статистичний методи.

**Інформаційна база дисертації:** офіційні дані паспортизації ґрунтів Державної установи «Інститут охорони ґрунтів у Закарпатській області», статистичні дані ДССУ «Головне управління статистики у Закарпатській області», офіційні дані Басейнового управління водних ресурсів річки Тиса Державного агентства водних ресурсів України щодо показників польової (відносної) вологості ґрунтів

Закарпатської області, супутникові знімки Landsat TM, ETM +, OLI, що отримані із сайту NASA glovis.usgs.gov.

**Наукова новизна одержаних результатів.** До основних теоретичних та практичних результатів досліджень належать:

*Вперше:*

1. Здійснено класифікацію земель сільськогосподарського призначення Закарпаття залежно від ландшафтних зон розташування на основі космічних та наземних спостережень.

2. Встановлено, що економічна родючість земель нелінійно залежить від затрат на вирощування вибраних сільськогосподарських культур.

3. Запропоновано та застосовано нелінійну математичну модель залежності економічної родючості земель від величини затрат на вирощування сільськогосподарських культур та знайдено величину затрат, у яких економічна родючість досягає максимальних значень.

4. Виявлено, що для визначення кількісних показників вмісту гумусу в ґрунті за даними супутникових та наземних спостережень застосування моделей з використанням ближнього інфрачервоного каналу, спектрального індексу *NIR/Red* та степеневих моделей з червоним спектральним каналом найкраще відповідають статистичним даним наземних спостережень. Визначено із запропонованих моделей, оптимальну, в якій середній квадрат відхилень мінімальний.

*Удосконалено:*

5. Оцінювання вологості ґрунтового покриву на основі математичного опрацювання значень індексів, що розраховуються із використанням нормованої різниці спектрального відбиття в середній інфрачервоній зоні Swir 1 (1560–1650 мкм) та Swir 2 (2100–2300 мкм) електромагнітного спектра.

6. Знаходження статистичної регресійної лінійної залежності між відносною кількістю та загальним станом рослинності і показниками родючості ґрунтів в умовах різних ландшафтних зон Закарпаття.

*Отримали подальший розвиток:*

7. Методи дистанційного вивчення особливостей показників родючості ґрунту, що визначаються взаємозв'язком наземної та супутникової інформації.

**Практичне значення одержаних результатів.** Результати дисертаційного дослідження впроваджені у навчальний процес на кафедрі аерокосмічної геодезії Національного авіаційного університету під час підготовки фахівців у галузі геодезії та землеустрою, у науково-дослідних роботах Державної установи «Інститут охорони ґрунтів» у Закарпатській області та Державної установи «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», а також використані Українським аграрним холдингом, а саме ТОВ «Агролучки», та можуть бути застосовані в земельно-кадастрових службах України.

**Особистий внесок здобувача.** Основні положення та результати досліджень дисертаційної роботи одержані автором самостійно та викладені у роботах [1–20]. Автор особисто проаналізував та узагальнив можливості використання різночасових космічних зйомок для розв'язання проблеми оцінювання показників родючості земель сільськогосподарського призначення [1, 5]. Автор самостійно обробив та систематизував матеріали власних досліджень — дані тематичного дешифрування

35 космічних знімків за період з 2010 по 2013 рр. та дані наземних досліджень 2010–2013 рр. у межах моніторингових ділянок [6, 8]. Теоретично обґрунтовано та удосконалено методику оцінювання показників родючості земель Закарпаття [9]. Серед наукових праць, які опубліковано у співавторстві, в роботі використано тільки ті положення та результати, які належать автору: визначення основних показників родючості ґрунтів за даними аерокосмічного знімання території Закарпаття [11], участь в обробці даних проведеного агротехнічного обстеження земель та визначення особливостей ефективності використання земель сільськогосподарського призначення [12]; авторські роботи [2–4, 7, 10, 13–20].

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались та отримали схвалення на таких наукових конференціях: Всеукраїнська науково-практична конференція «Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвячується пам'яті П. Г. Черняги» (Рівне, 2014); англomовна наукова конференція молодих учених Capitalizing on natural resources: governance and economic development, Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України» (Київ, 2014); Всеукраїнська науково-практична віртуальна конференція «Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування території» (Полтава, 2015); XII міжнародна науково-технічна конференція «Авіа-2015», «Дистанційні аерокосмічні дослідження» (Київ, 2015); Всеукраїнська науково-практична конференція «Охорона ґрунтів та підвищення їх родючості» (Одеса, 2015); Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів з міжнародною участю «Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики» (Київ, 2015).

**Публікації.** За матеріалами дослідження опубліковано 20 наукових праць, де повністю показані основні результати дисертації, з них 4 статті у наукових фахових виданнях України, 4 статті у наукових періодичних виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 4 статті в інших виданнях України, 8 тез доповідей на наукових конференціях.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків і списку використаних джерел. Загальний обсяг дисертації становить 227 сторінок, з них 152 сторінки основного тексту, 57 рисунків, із яких 10 рисунків на окремих сторінках та 29 таблиць, список літературних джерел обсягом 156 найменувань, викладений на 22 сторінках, додатки викладені на 36 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** коротко розкрито актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету, завдання та методику дослідження, вказано наукову новизну, наведено основні результати роботи та їх практичне значення, викладені відомості про апробацію роботи, повноту публікації результатів та їх впровадження.

У першому розділі «**Аналіз стану та сучасні тенденції застосування даних аерокосмічних досліджень для оцінювання родючості земель сільськогосподарського призначення**» проведено аналіз особливостей сучасного моніторингу ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення Закарпаття. Виокремлено недоліки сучасної системи моніторингу ґрунтового покриву, які

полягають у тому, що наземні методи картографування якості ґрунтів регіону, проведення ландшафтно-факторного знімання і безпосереднє вивчення їх фізико-хімічних властивостей пов'язані зі значними трудовими та фінансовими затратами. Встановлено, під час аналізу нормативно-правових документів, що отримання інформації про стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення є обмеженим як у просторі, так і в часі, та не дає можливості своєчасно приймати оперативні управлінські рішення щодо вживання заходів зі збереження та відтворення ґрунтової родючості.

Обґрунтовано основні переваги аерокосмічних методів у системі моніторингу показників родючості земель сільськогосподарського призначення, а саме: висока оглядовість, можливість миттєвого одержання інформації про великі території, можливість переходу від дискретної картини значень показників до безперервної картини просторового розподілу показників, можливість одержання інформації у важкодоступних місцях та високого рівня генералізації інформації.

У цьому ж розділі проаналізовано та класифіковано основні показники родючості ґрунтів, які можна оцінювати за допомогою супутникової інформації, та подано їх на рис. 1.



Рис. 1. Узагальнена схема системи космічного моніторингу родючості ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення.

В аналізі головних завдань забезпечення ефективного супутникового моніторингу ґрунтового покриття, виділено ряд проблемних питань, що включають: необхідність чіткої регламентації термінів проведення та кількості космічних зйомок на основі сучасних комерційних сенсорів для дослідження стану ґрунтового покриття, вплив проведення процедури атмосферної корекції, що показується на величинах отриманих спектральних яскравостей, обґрунтування вибору

вегетаційних індексів для точності дослідження відкритого ґрунту, залучення більших обсягів статистичної інформації для визначення біомаси та врожайності сільськогосподарських культур на досліджуваних землях.

У другому розділі «**Особливості сучасного стану родючості земель сільськогосподарського призначення Закарпаття**» на основі геопросторового аналізу та інформації моніторингових ділянок, досліджено сучасний стан ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення різних ландшафтних зон. На основі проаналізованих даних знайдено усереднені значення вмісту гумусу в ґрунтах по окремих моніторингових ділянках (МД), районах та зонах, а також побудовані картосхеми вмісту гумусу. Встановлено, за результатами усереднення показників вмісту гумусу, що ґрунти, які розташовані на моніторингових ділянках районів низинної ландшафтної зони характеризуються низькою родючістю  $G_{act} = 2,41 \%$ , а ґрунти, що розташовані у гірській частині області, характеризуються вищим показником вмісту гумусу  $G_{act} = 3,29 \%$  (за даними ЦІНАО -2.1-4.0-низький, > 8.1-високий).

Запропоновано підхід щодо дослідження залежності загального стану рослинності від показників родючості ґрунтів в умовах різних ландшафтних зон Закарпаття, який полягає у розрахунку вегетаційного індексу  $NDVI$  (Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI_{avr} = aG_{act} + b, \quad (1)$$

де  $NDVI_{avr}$  — усереднений показник вегетаційного індексу за вегетаційний період,  $G_{act}$  — усереднений показник вмісту гумусу,  $a$  та  $b$  — параметри залежності.

Згідно з показниками яскравостей відповідних спектральних каналів та отриманих усереднених значень  $NDVI_{avr}$  за вегетаційний період по МД, районах та зонах, встановлено лінійні регресійні статистичні залежності між показниками загального стану рослинності, що показує усереднений вегетаційний індекс  $NDVI_{avr}$  та показника родючості ґрунтів, що показує усереднений показник вмісту гумусу  $G_{act}$  та розраховані відповідні коефіцієнти кореляції  $R$  з довірчими інтервалами, значимістю коефіцієнтів кореляції з рівнем значимості 0,05 і середніми квадратичними відхиленнями (рис. 2, 3).

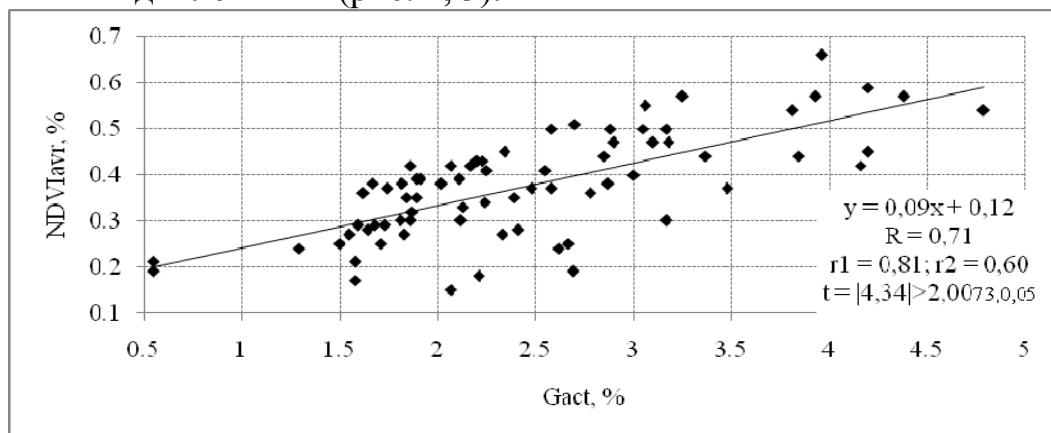


Рис. 2. Лінійні статистичні залежності між усередненим показником вегетаційного індексу рослинності  $NDVI_{avr}$  та фактичним показником вмісту гумусу в ґрунтах  $G_{act}$  по МД 2013 рік



Встановлено, що МД, які належать до гірської ландшафтної зони, характеризуються близьким до середнього показником вмісту гумусу  $G_{act} = 4,00$  та високим показником вегетаційного індексу  $NDVI_{avr} = 0,60$ , а МД низовинної ландшафтної зони характеризуються низьким вегетаційним індексом та низьким вмістом гумусу в ґрунті.



Рис. 3. Фрагмент знімку визначеного індексу  $NDVI$ : а) вхідне мультиспектральне зображення, б) індекс  $NDVI$  території моніторингової ділянки Ракошино

Застосування регресійної лінійної статистичної залежності загального стану та відносної кількості рослинності від показників родючості ґрунтів на прикладі вмісту гумусу в умовах різновисотних ландшафтних зон області дає змогу оцінювати та прогнозувати кількісний врожай сільськогосподарських культур.

У третьому розділі «Застосування аерокосмічних методів для моніторингу показників родючості земель різних ландшафтних зон» проаналізовано та удосконалено узагальнений підхід до оцінювання стану показників родючості ґрунту на основі спектрофотометрії ландшафтів, яка є ефективним інструментарієм інформаційного забезпечення у прийнятті раціональних управлінських рішень щодо моніторингу ґрунтового покриття Закарпаття. Використання такого підходу дозволить конкретизуватись у виборі агротехнічних заходів для підвищення родючості ґрунту.

Проведено дешифрування ґрунтового покриття із використанням комбінації спектральних каналів супутникових знімків Landsat TM, +ETM, 8 OLI за весняний та осінній періоди, згідно з дослідженнями з 2010 по 2013 роки.

Показано опрацьований мультиспектральний знімок весняного періоду (рис. 4 а, б) та встановлено, що дешифрування ґрунтів на моніторингових ділянках, які знаходяться в низинній та передгірській зонах, дає чіткі межі типів ґрунтів. Тоді як гірська зона є складною для достовірного дешифрування, оскільки наявність схилів може нівелювати точність отриманої інформації.

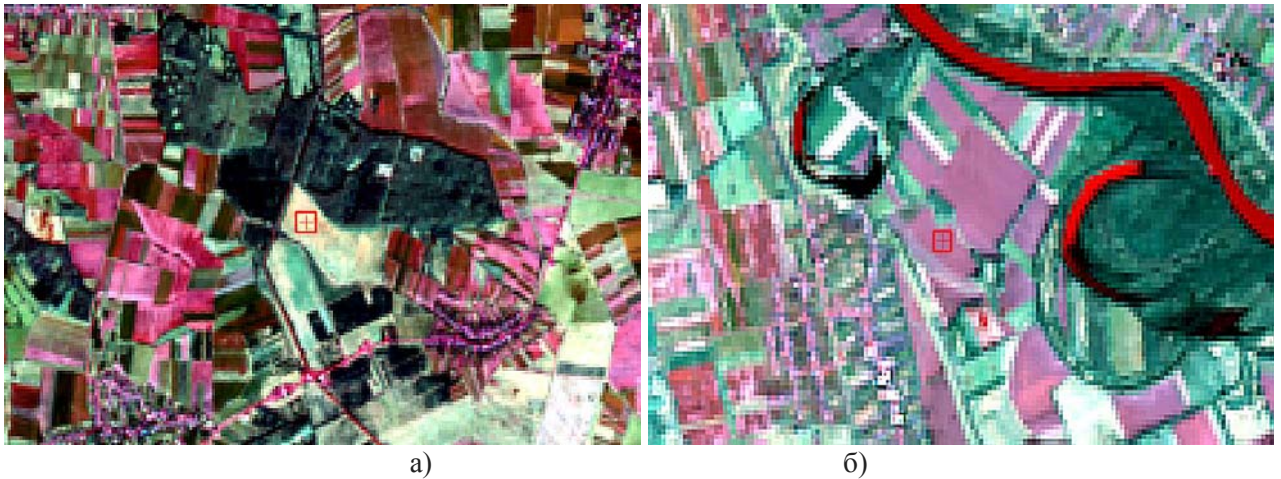


Рис. 4. Фрагмент зображення супутника Landsat 8 OLI (08.03.2013), інтерпретація каналів 7:6:4, просторова розрізненість 30 м/піксель. Червоним квадратом виділена: а) МД Астей низинна зона (дернові глибокі осушені глейові важкосуглинкові ґрунти); б) МД Хуст передгірська зона (дернові супіщані ґрунти)

У процесі модифікації ґрунтового індексу (2) встановлена необхідність використання в математичних розрахунках короткохвильового середнього інфрачервоного каналу. Встановлено, що залежно від типу ґрунту змінюється загальна яскравість по всьому електромагнітному спектру, зростаючи у типі з меншим вмістом гумусу. Таким чином прослідковано, що у ґрунтах, близьких до чорноземів, цей перехід супроводжується зниженням яскравості, а у сірих лісових ґрунтах яскравість підвищується.

Модифікований ґрунтовий індекс (2):

$$SI_1 = \frac{(Green - NIR)}{Green + SWIR1(2) - 2Red}, \quad (2)$$

де  $SI_1$  – ґрунтовий індекс,  $SWIR1, 2$  – короткохвильовий середній інфрачервоний канал.

Проведено розрахунок індексів  $SI$ ,  $SI_1$  та індексу яскравості ґрунту *Brightness* для території моніторингових ділянок Закарпаття (табл. 1).

Таблиця 1

**Значення показників спектральної яскравості ґрунтових індексів для ідентифікації типів ґрунтів**

Ґрунти	Ґрунтові індекси		
	<i>Brightness</i>	<i>SI</i>	<i>SI<sub>1</sub></i>
Супіщані дернові	0,22–0,27	-0,40...-0,50	-0,05...-0,08
Дерново-підзолисті	0,27–0,30	-0,50...-0,55	-0,10...-0,13
Дерново-буроземні	0,31–0,39	-0,55...-0,67	-0,15...-0,20
Опідзолені ґрунти	0,40–0,45	-0,67...-0,75	-0,21...-0,28
Бурі гірсько-лісові	0,45–0,51	-0,75...-0,85	-0,30...-0,40

Для дистанційного визначення гранулометричного складу ґрунту розглянуто та застосовано альтернативні підходи, напівкількісна оцінка на основі неконтрольованої класифікації (Isodata) (рис. 5) і кількісна оцінка на основі математичної обробки даних спектральних яскравостей каналів космічного знімка території моніторингових ділянок Закарпаття.

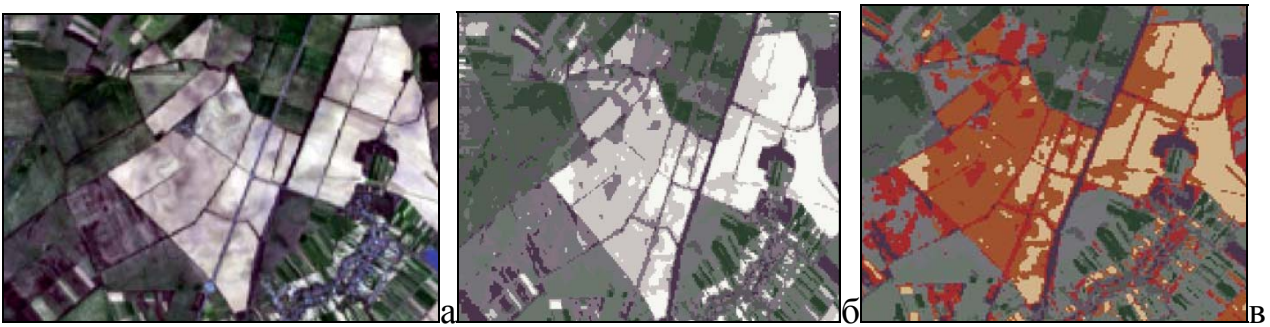


Рис. 5. Ґрунтові виділи гранулометричного складу: а) вхідне зображення МД Соломонове з переважним легко-, середньо-, та важкосуглинковим складом; б) результуюче зображення отримане методом неконтрольованої класифікації (Isodata); в) відповідні різновиди ґрунтів:  — важко-,  — середньо-,  — легкосуглинкові ґрунти

Визначено та проілюстровано в процесі застосування методу неконтрольованої класифікації основні градації гранулометричного складу ґрунтів Закарпаття.

Для виявлення кількісних залежностей для знімка Landsat 8 OLI були розраховані значення показників яскравості в Blue, Green, Red, Nir та Swir каналах зображення за період дослідження. З метою виявлення залежності яскравості та вмісту частинок різних гранулометричних фракцій визначено коефіцієнт кореляції  $R$  та довірчі інтервали, а також рівень значимості:

$$B_n = aS_{gn} + b \quad (3)$$

де  $B_n$  — спектральна яскравість,  $n$  — канали,  $S_{gn}$  — відсотковий вміст частинок гранулометричних фракцій,  $a$  та  $b$  — параметри залежності.

Найбільші значення коефіцієнтів кореляції були отримані за використання лінійних регресійних залежностей між показниками спектральної яскравості у ближньому інфрачервоному каналі та відсотковим значенням гранулометричних частинок у 3, 4, 5 та 6 фракціях. Використання розрахунку вмісту фізичної глини по космічному знімку є точнішим, оскільки полягає в математичних розрахунках з певною довірчою ймовірністю та рівнем значимості. Під час виділення 6 градацій гранулометричного складу точність визначення шляхом розрахунку по знімку становила 87 %, а точність неконтрольованої класифікації — 79 %.

Представлено підхід для оцінювання зволоженості ґрунтового покриття, що базується на застосуванні різних нормово-різницевих водних індексів. Застосовано та проаналізовано різні водні індекси, чутливі до зволоженості земного покриття. У процесі математичної обробки значень пікселів усіх наявних спектральних каналів супутникових знімків Landsat 8 OLI виявлено, що застосування для обчислення нормованих різницевих водних індексів другого короткохвильового інфрачервоного каналу Swir 2 (2100–2300 мкм) згідно з формулою (4), що поширюється на різні ділянки діапазону та дозволяє відрізнити суху землю від мокрої, дає більш чіткі зображення перезволожених територій. Для моніторингових ділянок в результаті обробки знімка Landsat 8 OLI побудовано  $NWI_{swir1-swir2}$ -зображення (4) (рис. 6):

$$NWI_{swir1-swir2} = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2}, \quad (4)$$

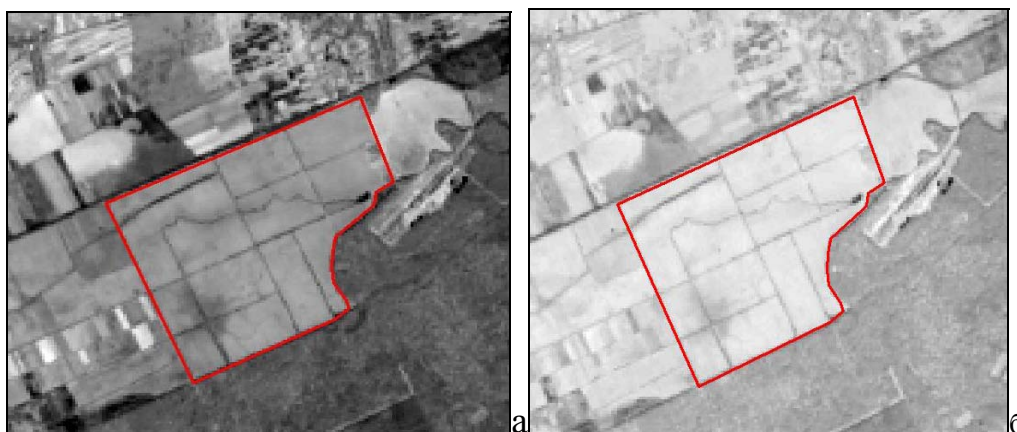


Рис. 6. МД Гать, Берегівський р-н, Закарпатська область: а) інтерпретація індексу  $NWI_{swir1-swir2}$  та  $NWI_{nir-swir2}$

Для оцінювання кількісного статистичного лінійного зв'язку між значеннями водних індексів та вмістом польової (відносної) вологи в поверхневому шарі відкритого ґрунту (0–0,1 м), згідно з відповідними метеоумовами на час зйомки, виконана оцінка статистичної лінійної кореляційної залежності між значеннями польової (відносної) вологості  $W_{x,y}$  % у певних точках на моніторингових ділянках низовинної, передгірської та гірської ландшафтних зон та значеннями пікселів, що відповідали ділянкам опробування (5):

$$NWI_n = aW + b, \quad (5)$$

де  $NWI_n$  — індекс вологості,  $n$  — відповідне співвідношення каналів,  $W$  — відсоток польової (відносної) вологи у ґрунті,  $a$  та  $b$  — параметри моделі.

У процесі дослідження спостерігалась найтісніша регресійна статистична лінійна залежність з коефіцієнтом кореляції  $R = -0,51$ , довірчими інтервалами  $r_1 = -0,77$  та  $r_2 = -0,09$ , значимістю коефіцієнта кореляції  $t = |2,54| > 2,09_{19;0,05}$  за рівня значимості  $\alpha = 0,05$  та середнього квадратичного відхилення  $\sigma = 0,04$  між значенням показника водного індексу, що обчислений за формулою (5), та відсотковим вмістом польової (відносної) вологи у поверхневому шарі ґрунту (0–0,1 м).

Для оцінювання кількісного вмісту гумусу в ґрунті за аерокосмічними та наземними дослідженнями використовувались статистичні лінійні регресійні залежності, що в процесі адаптації набувають вигляду:

$$B_n = aG_{act} + b, \quad (6)$$

де  $B$  — енергетична яскравість ґрунту у відповідному спектральному каналі,  $n$  — спектральний канал: червоний, синій, зелений, інфрачервоний;  $a$  та  $b$  — числові параметри моделі;  $G_{act}$  — відсотковий показник гумусу.

Визначено найбільш тісні лінійні залежності, що характеризуються більш високими коефіцієнтами кореляції  $R$ , допустими довірчими інтервалами та значимістю коефіцієнта кореляції, і визначення розрахункового показника вмісту гумусу  $G_{pn}$  на основі рівняння лінійної регресії (6) та (7), (рис. 7):

$$G_{pn} = B_n \left( \frac{1}{a} \right) - \left( \frac{b}{a} \right). \quad (7)$$

Проведено оцінку точності отриманих результатів шляхом визначення середнього квадратичного відхилення ( $\sigma$ ) розрахункового показника вмісту гумусу  $G_{pn}$  від фактичного  $G_{act}$  згідно з формулою (8):

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (G_{act} - G_{pn})^2}{n - 2}}, \quad (8)$$

де  $\sigma$  — середнє квадратичне відхилення,  $G_{act}$  — фактичний показник вмісту гумусу,  $G_{pn}$  — розрахований показник вмісту гумусу за спектральною яскравістю у відповідному каналі,  $n$  — кількість МД.

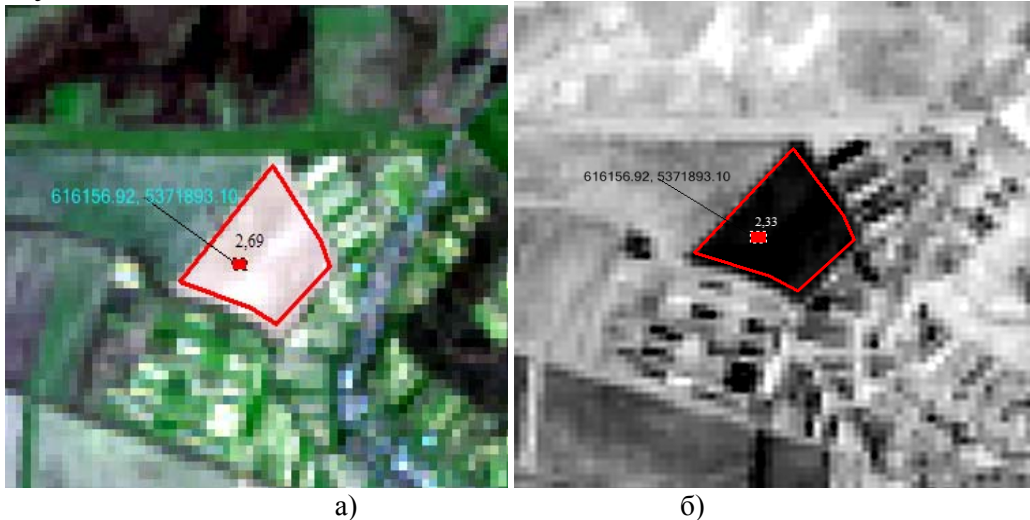


Рис. 7. Обчислений показник вмісту гумусу для МД Туря Ремета: а) фрагмент вхідного зображення ( $G_{act} = 2,69$ ); б) вихідне зображення ( $G_{pn} = 2,33$ )

Для удосконалення підходу до визначення кількісних показників вмісту гумусу в ґрунті за даними спектрофотометрії ландшафтних зон було запропоновано нові моделі залежності вмісту гумусу від яскравостей каналів та спектральних індексів видимого та інфрачервоного діапазону електромагнітного випромінювання. Запропоновані моделі було класифіковано згідно з фізичними законами. На спектральну яскравість ґрунту впливає як наявність рослинності, що визначається на основі вегетаційного індексу  $NDVI$  (проте у цьому дослідженні використовувалось просте відношення яскравостей  $NIR/Red$ ), так і наявність зайвої вологості, яка визначається на основі спектральних індексів із використанням співвідношення ближнього та короткохвильового інфрачервоного каналу, зеленого та ближнього інфрачервоного каналу, а також зеленого та першого короткохвильового інфрачервоного каналу. У результаті встановлення того факту, що найтісніше вміст гумусу корелює з інтенсивністю відбитого та поглинутого випромінювання у червоній та інфрачервоній зоні, було враховано ці два канали у загальну початкову модель:

$$a.2.1 G_{pn} = a Red + b NIR + c \frac{NIR}{Red} + d \frac{Green}{NIR} + u \frac{Green}{SWIR1} + f \frac{NIR}{SWIR1} + g. \quad (9)$$

У вигляді загальної початкової степеневої моделі, яка описує спектральні особливості, що пов'язані з відомими та невідомими фізичними властивостями, які впливають на спектральну яскравість ґрунту, було розглянуто модель:

$$a.3.1 G_{pn} = G_0 Blue^a Green^b Red^c NIR^d SWIR1^u SWIR2^f \quad (10)$$

Для визначення адекватності моделей лінійних комбінацій яскравостей та спектральних індексів, а також степеневих моделей, розглянуто їх спрощені часткові випадки, коли частина коефіцієнтів дорівнює нулю. Основними критеріями вибору оптимальної моделі виступають середнє квадратичне відхилення обчисленого показника вмісту гумусу ( $G_{pn}$ ) від фактичного ( $G_{act}$ ) та критерій Фішера (F-критерій). Останній використовується для порівняння двох моделей, одна з яких є частковим випадком другої. Для цього розраховується F-статистика:

$$F = \frac{(RSS_1 - RSS_2)/(m_2 - m_1)}{RSS_2/(N - m_2)}, \quad (11)$$

де модель 1 — спрощена, 2 — повна,  $RSS$  — залишкова сума квадратів,  $m$  — кількість параметрів, що підбираються у моделі,  $N$  — кількість вимірювань. Для визначення наскільки значущий той чи інший параметр моделі було перевірено в декількох спрощеннях (табл. 2). У процесі спрощення моделі а.2.2 до моделі а.2.8, вилучення червоного та ближнього інфрачервоного каналів є значимим ( $p = 0,001$  %). Аналогічно у моделі а.2.9 вилучення спектрального індексу з відношенням ближнього інфрачервоного каналу до червоного є значимим ( $p = 0,014$  %). Така тенденція для цього спектрального індексу прослідковується і в процесі спрощення моделі а.2.1 до моделі а.2.3 ( $p = 0,106$  %) та моделі а.2.10 до моделі а.2.13 ( $p = 0,196$  %).

Таблиця 2

### Визначення адекватності моделей лінійних комбінацій яскравостей та спектральних індексів

№	Модель	$\sigma$ , %	$N - m$	$p$ , %
a.2.1	$G_{pn} = a Red + bNIR + c \frac{NIR}{Red} + d \frac{Green}{NIR} + u \frac{Green}{SWIR1} + f \frac{NIR}{SWIR1} + g$	0,468	68	-
a.2.2	$G_{pn} = a Red + b \frac{Green}{NIR} + c \frac{NIR}{Red} + d \frac{NIR}{SWIR} + u \frac{Green}{SWIR} + f$	0,483	69	2,202
a.2.3	$G_{pn} = a Red + bNIR + c \frac{Green}{NIR} + d \frac{NIR}{SWIR} + u \frac{Green}{SWIR} + f$	0,503	69	<b>0,106</b>
a.2.4	$G_{pn} = aNIR + b \frac{Green}{NIR} + c \frac{NIR}{Red} + d \frac{NIR}{SWIR} + u \frac{Green}{SWIR} + f$	0,470	69	21,15
a.2.5	$G_{pn} = a Red + bNIR + c \frac{NIR}{Red} + d \frac{Green}{SWIR1} + u \frac{NIR}{SWIR1} + f$	0,470	69	21,15
a.2.6	$G_{pn} = a Red + bNIR + c \frac{NIR}{Red} + d \frac{Green}{SWIR1} + u$	0,486	70	2,867
a.2.7	$G_{pn} = a Red + bNIR + c \frac{NIR}{Red} + d \frac{Green}{NIR} + u \frac{NIR}{SWIR1} + f$	0,468	69	32,08
a.2.8	$G_{pn} = a \frac{NIR}{Red} + b \frac{Green}{NIR} + c \frac{Green}{SWIR1} + d \frac{NIR}{SWIR1} + u$	0,566	70	<b>0,001</b>
a.2.9	$G_{pn} = a Red + b \frac{Green}{NIR} + c \frac{Green}{SWIR1} + d \frac{NIR}{SWIR1} + u$	0,526	70	<b>0,014</b>
a.2.10	$G_{pn} = a Red + bNIR + c \frac{NIR}{Red} + d$	0,493	71	8,463
a.2.11	$G_{pn} = aNIR + b \frac{NIR}{Red} + c$	0,496	72	17,47
a.2.12	$G_{pn} = a Red + b \frac{NIR}{Red} + c$	0,512	72	1,195
a.2.13	$G_{pn} = a Red + bNIR + c$	0,524	72	<b>0,196</b>

Таким чином, можна стверджувати, що значущими показниками у цій моделі є одна зі спектральних яскравостей ( $Red$  або  $NIR$ ) та спектральний індекс  $NIR/Red$ .

Оптимальними моделями можна назвати моделі а.2.11 та а.2.12. При цьому модель а.2.11, яка використовує інфрачервоний канал, має більше значення  $r$ , і тому будемо вважати її найкращою. При застосуванні цього каналу у встановленні звичайних лінійних залежностей, середній коефіцієнт кореляції становить всього лише  $R = 0,36$ , це пояснюється можливою зашумленістю каналу за рахунок впливу рослинності. У використанні моделі а.2.11 спектральний індекс рослинності  $NIR/Red$  робить корегування за рослинність, що приводить до значного зменшення середнього квадратичного відхилення (рис. 8).

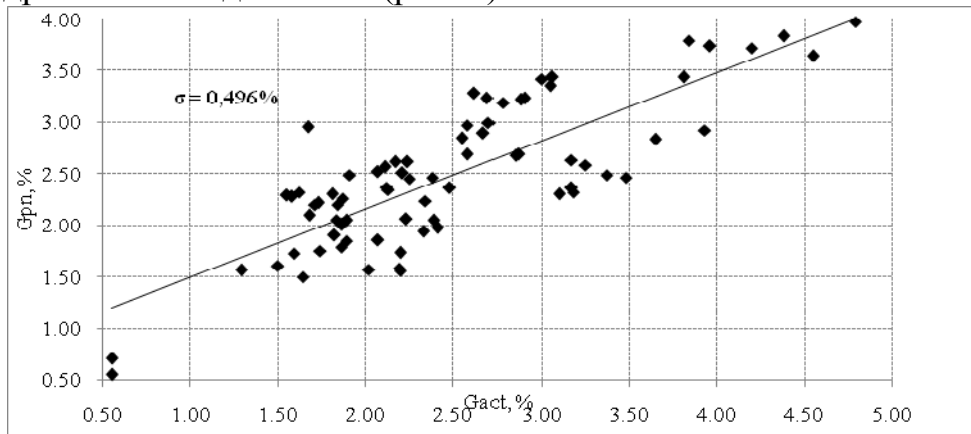


Рис. 8. Середнє квадратичне відхилення ( $G_{pn}$ ) від ( $G_{act}$ ). Модель а.2.11

Під час дослідження степеневих моделей для визначення та оцінювання кількісних показників вмісту гумусу в ґрунті за даними дистанційного зондування Землі та наземними дослідженнями отримано такі результати (табл. 3, рис. 9).

Таблиця 3

#### Визначення адекватності степеневих моделей

№	Модель	$\sigma$ , %	$N - m$	$p$ -значення, %
a.3.1	$G_{pn} = G_0 Blue^a Green^b Red^c NIR^d SWIR1^u SWIR2^f$	0,465	68	–
a.3.2	$G_{pn} = G_0 Blue^a Green^b Red^c NIR^d$	0,469	70	4,536
a.3.3	$G_{pn} = G_0 Green^a Red^b NIR^c$	0,495	71	3,774
a.3.4	$G_{pn} = G_0 Green^a Red^b$	0,508	72	1,538
a.3.5	$G_{pn} = G_0 Green^a NIR^b$	0,710	72	<b>0,001</b>
a.3.6	$G_{pn} = G_0 Red^a NIR^b$	0,508	72	1,538
a.3.7	$G_{pn} = G_0 Red^a$	0,541	73	4,536

Виявлено, що найкраще застосовувати для визначення та оцінювання кількісних показників вмісту гумусу в ґрунті степеневу модель а.3.7, яка використовує яскравість у червоному спектральному каналі.

Проаналізувавши усі моделі, знайдено найоптимальнішу модель шляхом порівняння усереднених середніх квадратичних відхилень  $\sigma$  запропонованих моделей. Отже, усереднене середнє квадратичне відхилення обчисленого показника вмісту гумусу ( $G_{pn}$ ) від фактичного ( $G_{act}$ ) згідно з моделлю, що обчислюється згідно з формулою 6, з використанням червоного каналу становить  $\sigma = 1,531\%$ , з використанням ближнього інфрачервоного каналу  $\sigma = 9,752\%$ , згідно з моделлю а.2.11  $\sigma = 0,496\%$ , згідно зі степеневою моделлю а.3.7  $\sigma = 0,541\%$ .

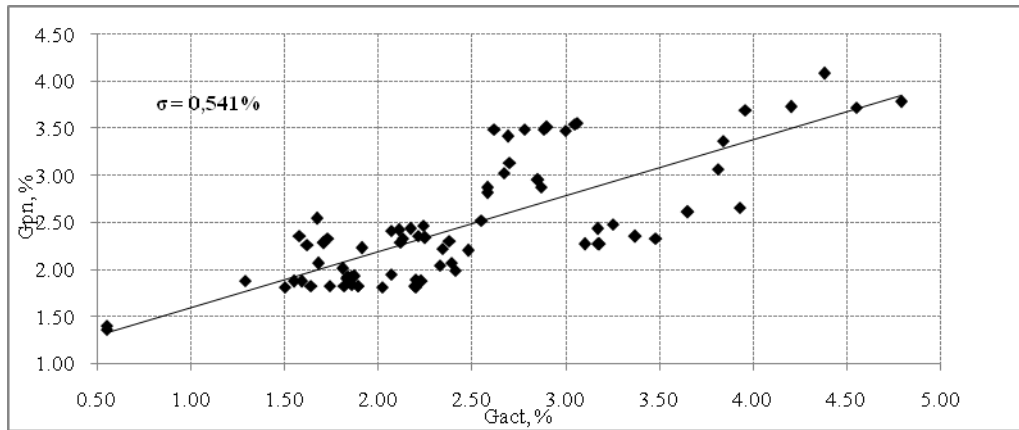


Рис. 9. Середнє квадратичне відхилення ( $G_{pn}$ ) від ( $G_{act}$ ). Модель а.3.7

Це свідчить про ефективність застосування запропонованих моделей згідно з другим та третім підходами запропонованої методики.

Таким чином, вперше для визначення та оцінювання кількісних показників вмісту гумусу в ґрунті на землях сільськогосподарського призначення різних ландшафтних зон Закарпаття застосовано методику, яка складається з трьох різних підходів, що базуються на застосуванні даних дистанційного зондування Землі та наземних досліджень.

У четвертому розділі «Ефективність використання земель сільськогосподарського призначення Закарпаття» встановлено, що економічна родючість ґрунтів Закарпаття для різних ландшафтних зон нелінійно залежить від затрат на вирощування сільськогосподарських культур. Виявлено існування стану насичення родючості ґрунтів залежно від затрат на вирощування основних сільськогосподарських культур. Створено та застосовано нелінійну математичну модель залежності економічної родючості від затрат, та знайдено величину оптимальних затрат, за яких урожайність сільськогосподарських культур у різних ландшафтних зонах Закарпаття досягає максимальних значень. Здійснено класифікацію земель сільськогосподарського призначення Закарпаття залежно від ландшафтних зон розташування та показників родючості ґрунтів.

Виявлена статистична залежність економічної родючості від затрат наближено описується такою функцією:

$$\rho_{i,j} = A_{i,j} z_{i,j}^2 e^{-\beta_{i,j} z_{i,j}}, \quad (12)$$

де  $A_{i,j}$  та  $\beta_{i,j}$  — адаптовані параметри нелінійної математичної моделі, які визначаються методом найменших квадратів для кожної ландшафтно-культурної зони та засіяних культур,  $z_{i,j}$  — затрати на вирощування сільськогосподарських культур,  $e$  — основа натурального логарифма. Встановлено, що після досягнення точки

максимуму врожайності  $(\rho_{i,j})_{\max} = \frac{4A_{i,j}}{\beta_{i,j}^2 e^2}$  немає сенсу для цієї ландшафтно-культурної зони

збільшувати затрати на вирощування вибраної сільськогосподарської культури. Доведено, що загальна віддача гектара сільськогосподарських угідь при цьому буде спадати, а економічна родючість ґрунтів буде зменшуватися. Наявність порогу насичення обумовлений технологіями обробітку землі та не впливає на загальну статистичну закономірність залежності врожайності від затрат, а лише може



зміщувати параметри оптимальних значень врожайності й величини затрат. З математичної точки зору, коефіцієнти  $A_{i,j}$  та  $\beta_{i,j}$  для різних агротехнічних технологій будуть мати різне значення (табл. 4).

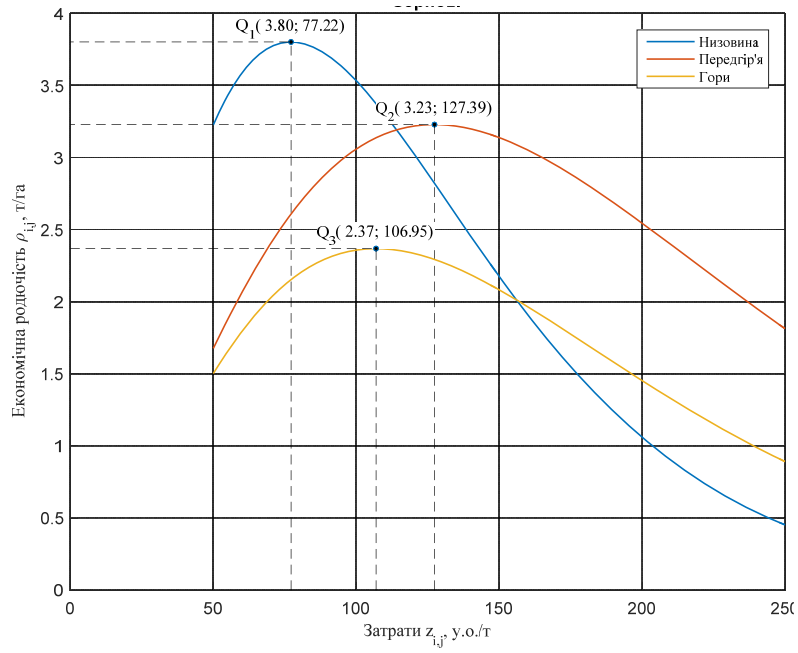
Таблиця 4

**Параметри нелінійної математичної моделі залежності економічної родючості від затрат**

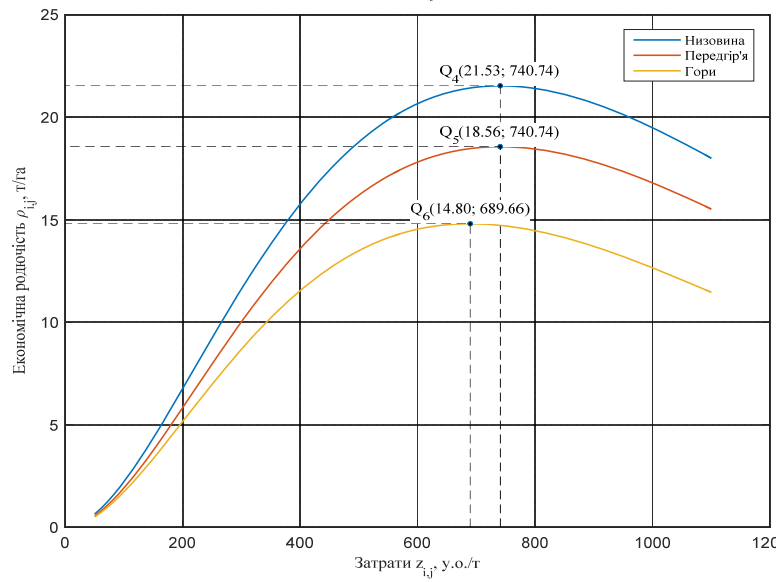
Вибрані культури, ландшафтні зони	Низовина		Передгір'я		Гори	
	$A_{i,j} \cdot 10^{-3}$	$\beta_{i,j} \cdot 10^{-2}$	$A_{i,j} \cdot 10^{-3}$	$\beta_{i,j} \cdot 10^{-2}$	$A_{i,j} \cdot 10^{-3}$	$\beta_{i,j} \cdot 10^{-2}$
Зернові	4,71	2,59	1,47	1,57	1,53	1,87
Овочі	0,29	0,27	0,25	0,27	18,92	2,59
Картопля	8,37	1,57	12,67	2,01	2,88	0,97

Для подальшого аналізу ефективності використання земель сільськогосподарського призначення Закарпаття для кожної культури та вибраної ландшафтної зони побудовано графіки економічної родючості (рис. 10 а, б, в).

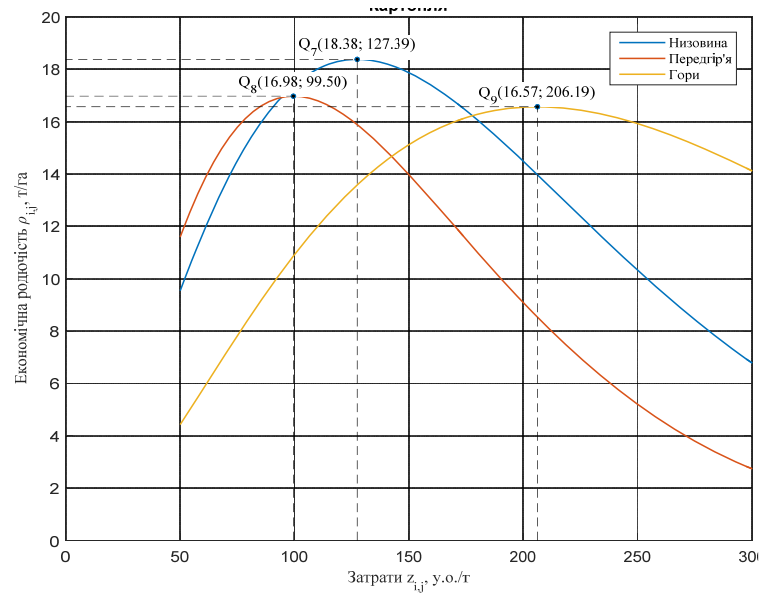
Детально проаналізувавши відповідні графіки залежності економічної родючості від затрат на вирощування зернових, встановлено, що найефективніше вирощувати зернові культури у низовинній ландшафтній зоні. Оскільки за менших затрат можливо збільшити родючість ґрунтів та значно підвищити врожайність, при цьому знайдені критичні затрати, що забезпечують максимальну економічну родючість (точка  $Q_1$ , рис. 10 а). Найменшу економічну родючість по вирощуванні зернових культур прослідковано у гірській ландшафтній зоні, попри те, що затрати на вирощування є такими як і на низовинній ландшафтній зоні. Отримана менша родючість означає зменшення віддачі з одного гектара землі (точка  $Q_3$ , рис. 10 а). Передгірська зона займає проміжне положення згідно з побудованим графіком (рис. 10 а) оскільки на певному інтервалі затрат економічна родючість у точці насичення (поблизу точки  $Q_2$ ) змінюється на незначну величину. Тому ефективність використання земель сільськогосподарського призначення в цій ландшафтній зоні пов'язана зі знаходженням інтервалу раціональних затрат. Під час дослідження затрат на вирощування овочевих культур (рис. 10 б) з'ясовано, що найбільш рентабельним є вирощування овочів саме на низовинній ландшафтній зоні (точка  $Q_4$ ), а найбільш затратною для вирощування є гірська частина області, де економічна родючість не значно зростає за збільшення затрат (точка  $Q_6$ ). Як впливає з рис. 10 б, залежності економічної родючості від затрат для різних зон є подібними й відрізняються лише точками максимуму (точки  $Q_4$ ,  $Q_5$ ,  $Q_6$ ). Проведені дослідження щодо вирощування картоплі виявили, що найбільш ефективним є вирощування картоплі у передгірській ландшафтній зоні (точка  $Q_8$ ). Зі статистичних даних та розробленої нелінійної математичної моделі випливає, що за менших затрат на вирощування картоплі економічна родючість є вищою ніж на низовині та гірській частині області (точки  $Q_7$ ,  $Q_9$ ). Це означає, що вирощування картоплі є економічно вигідним саме у передгірській ландшафтній зоні. Максимальна економічна родючість може досягнути максимуму на низовинній зоні, але тоді потрібно значно збільшити затрати на вирощування (точка  $Q_7$ ). Потребує значних затрат на вирощування картоплі й гірська зона. Тому для досягнення однакової економічної родючості необхідно значно збільшити затрати (рис. 10 в, точка  $Q_9$ ).



а)



б)



в)

Рис. 10. Залежність економічної родючості: а) зернових культур, б) овочів, в) картоплі від затрат на вирощування згідно з ландшафтними зонами

Отже, дослідження статистичних закономірностей дозволило виявити максимальну економічну родючість ґрунтів для різних ландшафтних зон Закарпаття. Запропоновано нелінійну математичну модель залежності економічної родючості від затрат на вирощування, що знайшла своє застосування в різних установах та підприємствах, які вивчають стан земель сільськогосподарського призначення у Закарпатті. Всі знайдені параметри характеризують родючість ґрунтів у середньому по ландшафтних зонах, допускаючи певні відхилення, що залежать від методів управління у галузі сільського господарства та наявності відповідних економічних ресурсів.

## ВИСНОВКИ

Основні результати дисертації дозволяють зробити такі висновки:

1. Здійснено класифікацію земель сільськогосподарського призначення Закарпаття залежно від ландшафтних зон розташування та показників родючості ґрунтів на основі космічного та наземного спостереження. Встановлено, що економічна родючість ґрунтів Закарпаття для різних ландшафтних зон нелінійно залежить від затрат на вирощування основних сільськогосподарських культур. Виявлено існування стану насичення родючості ґрунтів залежно від затрат на вирощування основних сільськогосподарських культур.

2. Запропоновано та застосовано нелінійну математичну модель залежності економічної родючості від затрат, пов'язаних з проведення агротехнічних заходів для покращення економічної родючості ґрунтів. Знайдено величину оптимальних затрат, за яких урожайність сільськогосподарських культур у різних ландшафтних зонах Закарпаття досягає максимальних значень.

3. Виявлено, що для визначення кількісних показників вмісту гумусу в ґрунті за даними супутникових та наземних спостережень застосування моделей з використанням ближнього інфрачервоного каналу, спектрального індексу *NIR/Red* та степеневих моделей з червоним спектральним каналом найкраще відповідають статистичним даним наземних спостережень. Знайдено із запропонованих моделей оптимальну, в якій середній квадрат відхилень мінімальний.

4. Удосконалено процес оцінювання вологості верхнього шару ґрунтового покриву на основі математичної обробки значень індексів. Запропоновано водні індекси, що розраховуються на основі нормованої різниці спектрального відбиття в середній інфрачервоній зоні SWIR 1 (1560–1650 мкм) та SWIR 2 (2100–2300 мкм) електромагнітного спектра для оцінювання вологості ґрунтів на землях різних ландшафтних зон Закарпаття при вирішенні агротехнічних проблем у сільськогосподарському господарстві.

5. Встановлено та досліджено статистичну регресійну лінійну залежність між відносною кількістю та загальним станом рослинності за даними вегетаційного індексу і показниками родючості ґрунтів в умовах різних ландшафтних зон Закарпаття, яка дозволяє оцінювати та кількісно прогнозувати врожайність сільськогосподарських культур. На основі виявленої регресійної статистичної залежності отримано щомісячну локальну та опосередковано інформації про стан рослинності різних ландшафтних зон області, яка допомагає вибрати раціональні агротехнічні заходи щодо покращення економічної родючості ґрунтів.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Публікації у наукових виданнях,*

*що входять до міжнародних наукометричних баз*

1. Gebrin L. V. Comprehensive technique for constitution estimation based on satellite observation methods / L. V. Gebrin, O. O. Zeleznyak, Y. I. Velikodsky, Y. Y. Bandurovich // Proceedings of the National Aviation University. – 2015. – N 3 (64) – P. 91–97.

2. Гебрин-Байди Л. В. Визначення та оцінювання кількісних показників родючості ґрунтів методами дистанційного зондування Землі / Л. В. Гебрин-Байди // Геоінформатика. – 2017. – № 3 (63). – С. 67–75.

3. Gebryn-Baydi L. V. Application of remote sensing methods to evaluation of soil fertility indicators of Zakarpattia lands / L. V. Gebryn-Baydi // Geodesy, cartography and aerial photography. – 2017. – N 85. – pp. 47–58.

4. Гебрин-Байди Л. В. Розробка нелінійної математичної моделі для оцінювання ефективності використання земель ландшафтних зон Закарпаття: [електронний ресурс]. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2017. № 4 (68). Режим доступу до статті: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/issue/view/368>.

*Публікації у наукових фахових виданнях України*

5. Гебрин Л. В. Застосування даних дистанційних аерокосмічних методів для узагальненої оцінки стану ґрунтів регіону / Л. В. Гебрин, О. І. Сахацький // Геоінформатика. – 2015. – № 3 (55). – С. 68–76.

6. Гебрин Л. В. Застосування аерокосмічних методів для визначення ефективності використання земельних ресурсів Закарпаття / Л. В. Гебрин, О. О. Железняк // Наукоємні технології. – К.: НАУ. – 2014. – № 4. – С. 518–521.

7. Гебрин Л. В. Аналіз застосування аерокосмічних методів та технологій ефективності використання земельних ресурсів / Л. В. Гебрин // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА. – 2014. – № 53. – С. 49–51.

8. Гебрин Л. В. Використання даних дистанційного зондування землі та наземних досліджень для оцінювання стану ґрунтового покриву Закарпатської області / Л. В. Гебрин, Ю. Ю. Бандурович // Вісник геодезії та картографії. – 2015. – № 2. – С. 30–35.

*Публікації в інших виданнях*

9. Гебрин Л. В. Концепція розробки комплексної системи оцінки стану сільськогосподарських земель / Л. В. Гебрин, В. І. Зацерковний та ін. // Вісник астрономічної школи. – 2014. – № 1, т. 10. – С. 56–62.

10. Гебрин Л. В. Обґрунтування технічних параметрів функціонування космічних апаратів в задачах моніторингу земельних ресурсів / Л. В. Гебрин // Український журнал дистанційного зондування Землі. – 2014. – № 2. – С. 41–46.

11. Гебрин-Байди Л. В. Нелінійна математична модель економічної родючості ґрунтів ландшафтних зон Закарпаття / Л. В. Гебрин-Байди, О. О. Железняк, А. О. Терещенко // Вісник астрономічної школи. – 2016. – № 1, т. 12. – С. 190–195.

12. Гебрин-Байди Л. В. Використання космічної спектрофотометрії для дистанційного визначення фізико-хімічних властивостей ґрунтів ландшафтних зон

Закарпаття / Л. В. Гебрин-Байди, О. О. Железняк, В. Ю. Беленок та ін. // Вісник астрономічної школи. – 2016. – № 2, т. 12. – С. 57–67.

*Публікації у збірниках матеріалів конференцій*

13. Гебрин Л. В. Інтерпретація космічних знімків з використанням прямих дешифрувальних ознак / Л. В. Гебрин // Актуальні проблеми астрономії та космонавтики: Міжнар. наук. конф. «Астрономічна школа молодих вчених» 15–17 трав. 2013 р.: матер. конф. – Біла Церква, 2013. – С. 12–13.

14. Гебрин Л. В. Використання матеріалів дистанційного зондування та геоінформаційних систем для забезпечення ефективного агрохімічного моніторингу земель / Л. В. Гебрин, О. О. Железняк // Проблеми і перспективи сталого розвитку та просторового планування території: Всеукр. Інтернет-конф. 18 березня. 2015 р.: матер. конф. – Полтава, 2015. – С. 27–30.

15. Гебрин Л. В. Сучасні методи обробки гіперспектральної аерокосмічної інформації за даними дистанційного зондування Землі / Л. В. Гебрин // Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвячується пам'яті П. Г. Черняги: Всеукр. наук.-практ. конф., 5–6 лист. 2014 р.: матер. конф. – Рівне, 2014. – С. 12–14.

16. Гебрин Л. В. Застосування аерокосмічних методів для вивчення динаміки гумусового шару ґрунтів / Л. В. Гебрин // Матер. XII міжн. наук.-техн. конф. «Авіа-2015» секція 25 «Дистанційні аерокосмічні дослідження» 28–29 квіт. 2015 р.: матер. конф. – К., 2015. – С. 17–18.

17. Гебрин Л. В. Использование методов дистанционного зондирования земель для мониторинга плодородия почв / Л. В. Гебрин // Всеукраїнська науково-практична конференція «Охорона ґрунтів та підвищення їх родючості» 16–17 вересня 2015. – Одеса. – С. 12–13.

18. Gebrin L. Spectral characteristics of the soil surfaces / L. Gebrin // Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів з міжнародною участю «Проблеми та перспективи розвитку авіації та космонавтики» 28–29 жовтня 2015. – Київ. – С. 9–10.

19. Гебрин-Байди Л. В. Дешифрування космічних знімків для визначення гранулометричного складу ґрунту / Л. В. Гебрин-Байди // Матер. XVI міжнар. наук.-практ. конф. «Політ. Сучасні проблеми науки» 6–8 квітня 2016. – К., 2016. – С. 6–7.

20. Гебрин-Байди Л. В. Застосування різницевого водних індексів для оцінювання вологості ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення / Л. В. Гебрин-Байди // Матер. XVII міжнар. наук.-практ. конф. «Політ. Сучасні проблеми науки» 6–8 квітня 2017. – К., 2017. – С. 6–7.

## АНОТАЦІЯ

**Гебрин-Байди Л. В. Застосування аерокосмічних методів для оцінювання родючості земель сільськогосподарського призначення ландшафтних зон Закарпаття.** — Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.24.04 Кадастр і моніторинг земель. — Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, Львів, 2018.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню теоретичних та практичних завдань оцінювання показників родючості земель сільськогосподарського призначення з використанням аерокосмічних методів та наземних даних на основі побудови статистичних лінійних регресійних залежностей та застосуванню нелінійних математичних моделей ефективності використання земель сільськогосподарського призначення різних ландшафтних зон Закарпаття. Обґрунтовано та класифіковано основні показники родючості ґрунтів методами дистанційного зондування, що визначаються на основі інформації спектрофотометрії ландшафтів. Досліджено та побудовано статистичну лінійну залежність між показниками стану рослинності, що отримані в результаті обробки мультиспектральних космічних знімків, та показниками родючості ґрунтів в умовах різних ландшафтних зон Закарпаття, яка дозволяє оцінювати та кількісно прогнозувати врожай сільськогосподарських культур. Удосконалено оцінювання показників родючості ґрунтів на основі: проведення дешифрування мультиспектральних космічних зображень та застосування різних ґрунтових індексів для ідентифікації типів ґрунтів, застосування кількісного та напівкількісного підходу для визначення гранулометричного складу ґрунту, застосування різних комбінацій водних індексів для оцінки зволоженості ґрунтового покриву та застосування й розробки різних спектральних індексів для кількісного визначення показника вмісту гумусу в ґрунті. Створено та застосовано нелінійну математичну модель залежності економічної родючості від затрат і знайдено величину оптимальних затрат, за яких урожайність сільськогосподарських культур у різних ландшафтних зонах Закарпаття досягає максимальних значень. Використання розроблених нелінійних математичних моделей залежності економічної родючості земель від затрат підвищує конкурентоспроможність сільськогосподарського виробництва і є основою для прийняття раціональних управлінських рішень.

**Ключові слова:** аерокосмічні методи, ґрунти, дистанційне зондування Землі, економічна родючість земель, ефективність використання земель, лінійні та нелінійні залежності, моніторинг земель, мультиспектральні космічні знімки, сільськогосподарські землі, Закарпаття.

## АННОТАЦІЯ

**Гебрин-Байды Л. В. Применение аэрокосмических методов для оценки плодородия земель сельскохозяйственного назначения ландшафтных зон Закарпатья.** — Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.24.04 Кадастр и мониторинг земель. — Национальный университет «Львовская политехника», Министерство образования и науки Украины, Львов, 2018.

Диссертация посвящена решениям теоретических и практических задач оценки показателей плодородия земель сельскохозяйственного назначения с использованием аэрокосмических методов на основании построения статистических линейных регрессионных зависимостей, создания и применения нелинейных математических моделей эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения различных ландшафтных зон Закарпатья. Обоснованы и классифицированы основные показатели плодородия почв методами

дистанционного зондирования, которые определяются на основании информации спектрофотометрии ландшафтов. Исследованная линейная зависимость между состоянием растительности (*NDVI*) и показателями плодородия почв в условиях различных ландшафтных зон Закарпатья позволяет оценивать и количественно прогнозировать урожай сельскохозяйственных культур. Установлено, что экономическое плодородие почв Закарпатья для различных ландшафтных зон нелинейно зависит от затрат на выращивание сельскохозяйственных культур. Обнаружено существование состояния насыщения плодородия почв в зависимости от затрат на выращивание основных сельскохозяйственных культур. Создано и применено нелинейную математическую модель зависимости экономического плодородия от затрат и найдено величину оптимальных затрат, при которых урожайность сельскохозяйственных культур в различных ландшафтных зонах Закарпатья достигает максимальных значений.

**Ключевые слова:** аэрокосмические методы, почвы, дистанционное зондирование Земли, экономическое плодородие земель, эффективность использования земель, линейные и нелинейные зависимости, мониторинг земель, мультиспектральные космические снимки, сельскохозяйственные земли, Закарпатье.

#### ABSTRACT

*Hebryn-Baidy L.V.* Application of aerospace methods in agricultural soil fertility evaluation of Zakarpattia landscape zones. – Qualification scientific paper accepted as monograph.

Dissertation for a degree of the Candidate of Technical Sciences (Doctor of Philosophy) on the speciality 05.24.04 Cadastre and monitoring of lands. – Lviv Polytechnic National University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2018.

Dissertation is devoted to solving theoretical and practical problems of evaluating the agricultural soil fertility indicators with the usage of aerospace methods and land data based on construction of linear regression dependence and application of non-linear agricultural lands' efficiency models to different landscape zones in Zakarpattia.

Main indicators of soil fertility were justified and classified using the methods of remote sensing that are identified based on the information from landscape spectrophotometric analysis.

The statistical linear dependence between the indicators of the vegetation state obtained as a result of multi-spectrum space images' processing and the soil fertility indicators under the conditions of different landscape zones in Zakarpattia was studied and constructed. This statistical linear dependence enables evaluation and quantitative forecasting of the agricultural crop harvest.

Theoretical aspects of soil fertility are considered and it is stated that significant importance and actuality should be attached to the matter of innovative informational approaches, in particular GIS application to evaluation of agroecological state of the agricultural land as foundation for scientifically grounded recommendations for rational, ecologically safe agricultural land use. The methodological approaches of aerospace survey to study of the state of agricultural land which are aimed at implementing the unified system of aerospace monitoring of the change in soil fertility are analyzed. Analysis and classification of the main soil fertility indicators with the help of remote

sensing methods are performed. Soil fertility indicators that are identified based on spectral brightness information with the help of remote sensing are defined. It is defined that the ground monitoring system should be added with the aerospace information which is based on usage of asynchronous multi-spectral images. An important asset of soil indicators is the fact that they are quantitative rates, thus can serve foundation for standardization of automatic soil deciphering. Methodological approaches to defining of the particle-size content of soil based on spectral brightness of channels on the space images and percent indicator of the quantity of particle-sizes obtained using the ground survey are improved. It is summarized that mathematical calculations enable more precision of findings than classification on the spectral pixel data of. The process of identifying and evaluating of the soil moisture indicator was improved by way of applying processing of multi-spectral aerospace images and conducting mathematical calculations on the data of spectral brightness of channels. Usage of the normalized index of NWI which is calculated on data from multi-spectral aerospace imaging on the basis of normalized difference of the spectral reflection in short-wave infrared spectral band is justified. Efficiency of this index in application to soil moisture evaluation for solving agrotechnical problems is proved. Methodological approaches to identifying and evaluating the quantitative indicator of humus level with the help of aerospace and ground research under conditions of various landscape zones of the oblast is used and improved. As a result of mathematical processing of the indicators it was observed that power dependence based on the model with six spectral channels Landsat is best used for identification and evaluation of quantitative indicators of humus level in soil following ground and satellite research. Given less number of channels, other models with lower standard deviation can be applicable. Application of the designed spectral indicators enables operational and precise collection of information on quantitative indicators of humus level in soil for rational managerial decision-making about utilization of applicable agrotechnical means for prevention of soil fertility reduction in relation to landscape zones of the region. The state of soil fertility saturation according to costs for growing agricultural crops is discussed.

Non-linear mathematical model of dependence of economic soil fertility on cost is proposed and the value of optimal cost is defined at which the fertility of farm crops in different landscape zones in Zakarpattia reached the maximum level. Agricultural lands of Zakarpattia depending on location of landscape zones and soil fertility indicators were classified. Usage of the designed non-linear mathematical models of dependence of economic soil fertility on cost increases competitiveness of agricultural production and serves the basis for rational decision-making.

**Keywords:** aerospace methods, soil, remote sensing, economic soil fertility, efficiency of soil utilization, linear and non-linear dependencies, monitoring of land, multi-spectral space images, agricultural land, Zakarpattia.