

А. Б. АЧАСОВ¹, д-р с.-г. наук, проф., А. О. АЧАСОВА², канд. біол. наук, доц.

¹Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 6, м. Харків, 61022, Україна

²Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н.Соколовського»
вул. Чайковського, 4, м. Харків, 61024, Україна

e-mail: achasov.ab@gmail.com
achasova@ukr.net

ORCID ID : <http://orcid.org/0000-0002-5009-7184>
<https://orcid.org/0000-0002-6294-2445>

ОСОБЛИВОСТІ ВІЗУАЛЬНОГО ДЕШИФРУВАННЯ ПРОЯВІВ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ ЗА ДАНИМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Мета. Ааналіз особливостей візуального дешифрування еродованих ґрунтів та ерозійних процесів за даними дистанційного зондування.

Методи. Дистанційні дослідження, польовий, порівняльно-географічний, історичний, картографічний, ГІС-аналіз.

Результати. Основна увага в статті приділяється особливостям візуального дешифрування лінійних форм ерозії. Як показує порівняльний аналіз аерофотознімків 1943р та сучасних космічних знімків для території Харківського району, в другій половині ХХ сторіччя ріст ярів на території України був майже зупинений завдяки масштабним протиерозійним заходам, що проводилися. Зараз основні ерозійні втрати припадають на невеликі лінійні форми. В статті наведений перелік дешифрувальних ознак, за якими визначають лінійні форми ерозії на знімках. Та показано, які складнощі можуть виникати при автоматичному дешифруванні. Як приклад артефактних утворень, що потребує участі людини-аналітика при дешифруванні, показаний так званий «Турецький вал», сліди якого можуть похибково діагностуватися, як прояв лінійної ерозії

Висновки. Автоматичне дешифрування процесів водної ерозії та інвентаризація ерозійних форм рельєфу потребує обов'язкового контролю кваліфікованого аналітика для виключення похибок ідентифікації об'єктів.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: візуальне дешифрування, дистанційне зондування, ерозія ґрунтів, лінійна ерозія, поховані ґрунти

Achasov¹A. B., Achasova²A. O.

¹V. N. Karazin Kharkiv National University, Svoboda Square, 6, Kharkiv, 61022, Ukraine

²National Scientific center «A. N. Sokolovsky Institute of Soil Science and Agrochemistry», Tchaikovsky St., 4, Kharkiv, 61024, Ukraine

FEATURES OF VISUAL DECODING OF WATER EROSION BY REMOTE SENSING DATA

Purpose: analysis of the features of visual decoding of eroded soils and erosion processes according to remote sensing data.

Methods. Remote sensing, field, comparative geographical, historical, cartographic, GIS analysis.

Results. The main attention in the article is paid to the features of visual decoding of linear forms of erosion. Comparative analysis of aerial photographs of 1943 and modern satellite imagery for the Kharkov region shown that in the second half of the 20th century the growth of gullies was almost stopped due to large-scale anti-erosion measures carried out at that time. Currently the main erosion losses occur in sheet erosion and small gully erosion. The article provides a list of decoding features that determine linear forms of erosion in the images. It is shown problems that can arise during automatic decoding. As an example of artifact formations requiring the participation of a human analyst in the decryption process, the so-called "Turkish Wall" is shown, the traces of which can be erroneously diagnosed as a manifestation of linear erosion

Conclusions. Automatic decoding of water erosion processes and an inventory of erosion landforms requires the obligatory monitoring of a qualified analyst to eliminate object identification errors.

KEYWORDS: visual interpretation, remote sensing, soil erosion, linear erosion, buried soil

Ачасов А. Б.¹, Ачасова А. А.²

¹Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, площадь Свободы, 6, г. Харьков, Украина 61022

²Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского», ул. Чайковского, 4, 61024, г. Харьков, Украина

ОСОБЕННОСТИ ВИЗУАЛЬНОГО ДЕШИФРИРОВАНИЯ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Цель. Анализ особенностей визуального дешифрирования эродированных почв и эрозионных процессов по данным дистанционного зондирования.

Методы. Дистанционный, полевой, сравнительно-географический, исторический, картографический, ГИС-анализа.

Результаты. Основное внимание в статье уделяется особенностям визуального дешифрирования линейных форм эрозии. Как показывает сравнительный анализ аэрофотоснимков 1943 и современных космических снимков для территории Харьковского района, во второй половине XX века рост оврагов был почти остановлен благодаря проведенным в это время масштабным противоэрозионным мероприятиям. В настоящее время основные эрозионные потери приходятся на площадную эрозию и небольшие линейные формы. В статье приведен перечень дешифровочных признаков, по которым определяют линейные формы эрозии на снимках. И показано, какие сложности могут возникать при автоматическом дешифрировании. В качестве примера артефактных образований, требующих участия человека-аналитика в процессе дешифрирования показан так называемый «Турецкий вал», следы которого могут ошибочно диагностироваться, как проявление линейной эрозии

Выводы. Автоматическое дешифрирование процессов водной эрозии и инвентаризация эрозионных форм рельефа требует обязательного контроля квалифицированного аналитика для исключения ошибок идентификации объектов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: визуальное дешифрирование, дистанционное зондирование, эрозия почв, линейная эрозия, погребенные почвы

Вступ

Водна ерозія ґрунтів є однією з найгостріших проблем України. При цьому це не лише екологічна, а й економічна проблема, в світовому масштабі ерозія ґрунтів спричиняє щорічне зниження виробництва продовольства на 33,7 млн. тон. [1]. У грошовому вираженні збитки від ерозії оцінюються в досить широких межах [2], та незважаючи на розбіжність оцінок – сягають за щонайменше декілька мільярдів доларів США на рік. Ерозія ґрунту визнається однією з найсерйозніших глобальних екологічних проблем [3, 4]. В Україні площа земель, вражених процесами водної ерозії становить 13,3 млн. га, площа ярів становить 141,1 тис. га, а їх кількість перевищує 500 тисяч. Економічні збитки внаслідок ерозії перевищують 6 млрд. дол. США в рік. [5] Ця проблема може бути вирішена лише за умови наявності актуальної та кількісної інформації про стан ґрунтового покриву країни та темпи сучасних ерозійних процесів.

На сьогодні в світі добре пророблена методологія оцінки потенційного ризику ерозії ґрунтів, що базується на використанні методів математичного моделювання та експертних оцінок ризику ерозії [3, 5, 6, 7, 8]. Цьому питанню присвячені численні публікації, кількість яких щорічно зростає.

В той же час оцінка фактичної еродованості ґрунтів, особливо для великих земельних масивів, являє собою не менш актуальний і важливий напрям досліджень, якому на теперішній час приділяється значно менше уваги. Масштабна оцінка прояву просторово виражених процесів, таких, як водна ерозія ґрунтів, не можлива без застосування даних дистанційного зондування – зокрема, космічних знімків або аерофотозйомки [9, 10, 11].

Дані космічного зондування є надійною основою для моніторингу ґрунтових ресурсів, що обумовлюється високою деталістю та оглядовістю знімків, можливістю їх оперативного оновлення, відносній дешевизні отримуваних даних [12]. В той же час відомо, що космічний знімок сам по собі є «напівфабрикатом», який набуває справжньої тематичної інформативності лише після інструментальної обробки фахівцем з використанням спеціального технічного та програмного забезпечення, тобто – дешифрування [13]. При цьому найбажанішим та найскладнішим є варіант автоматизованого дешифрування даних дистанційного зондування, за яким виділення та інтерпретація об'єктів на знімку виконується комп'ютером при незначному втручанні людини.

Хоча повна автоматизація процесу залишається поки що теорією, перші кроки до неї вже здійснено. Наприклад, Veguería (2006) виділив еродовані території в межах водозбору шляхом використання поліноміальної логістичної регресії як методу класифікації знімків. До аналізу разом зі знімками космічного апарату Landsat TM була залучена також інформація про геологічні та геоморфологічні умови досліджуваної території [14]. Кагамі з співавторами [15] оцінював лінійну ерозію по знімках супутника IRS-P6 за допомогою попиксельного та об'єктно-орієнтованого методів автоматизованої класифікації. В роботі [10] наводиться алгоритм автоматизованого виділення зон площинної ерозії на основі вико-

ристання даних дистанційного зондування, цифрових моделей рельєфу та архівних ґрунтових карт.

Втім відмітимо, що ерозійне космічне дешифрування має багато «підводних каменів», які обумовлюються складністю повної формалізації таких дешифрувальних ознак як форма об'єкту, його структура, текстура та ін. На даному етапі будь-який метод автоматизованого дешифрування має підтверджуватись як даними польових досліджень, так і візуальним аналізом космічних зображень.

Метою статті є аналіз особливостей візуального дешифрування еродованих ґрунтів та ерозійних процесів на космічних знімках видимого діапазону.

Методи дослідження

Дослідження проводились на землях Липкуватівського аграрного коледжу (рис.1) що розташовані у Нововодолазькому районі Харківської області на протязі 2009-2015 років. За цей термін тут було проведено три довготермінові навчальні практики з картографії ґрунтів зі студентами ХНАУ ім. В.В. Докучаєва та проведено декілька наукових експедицій щодо дослідження стану ґрунтів і сільськогосподарської рослинності за допомогою даних дистанційного зондування [16, 17]

Дешифрування ерозійних процесів та їх наслідків проводилось по знімках високої роздільної здатності не менш 10 м у дина-

міці за декілька років (сервіс GoogleEarth). Для уточнення результатів дешифрування застосовувалися архівна ґрунтова (масштаб 1:10000) і топографічна карти (масштаб 1:10000). Обидві карти були прив'язані до системи географічних координат у програмному забезпеченні ArcGIS.

Польові дослідження проводились згідно з існуючими методиками. Було встановлено, що ґрунтовий покрив досліджуваної території представлений в основному чорноземами типовими та опідзоленими, а також темно-сірими опідзоленими важкосуглинковими ґрунтами різного ступеня еродованості.

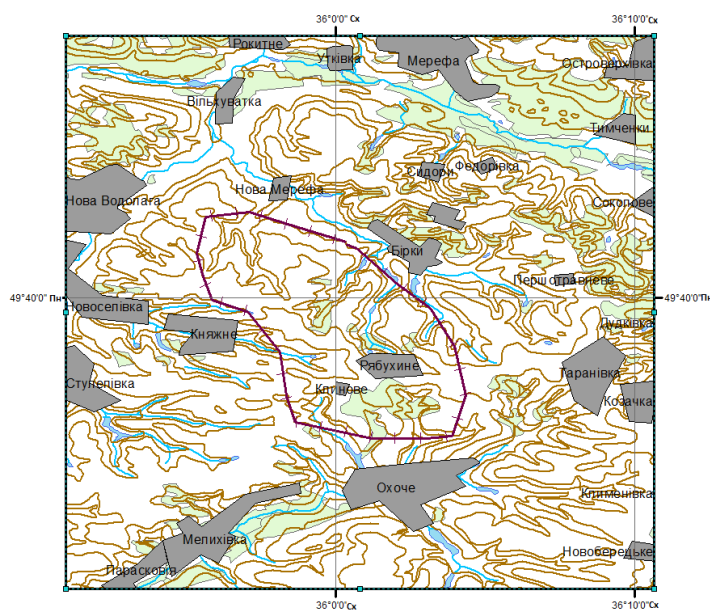


Рис. 1 – Територія досліджень

Методична схема досліджень складалась з таких етапів:

1. Виділення в результаті попереднього візуального дешифрування космічних знімків ймовірних територій з наслідками ерозійних процесів.

2. Камеральна перевірка та відбракування цих територій за допомогою аналізу додаткових матеріалів (грунтова та топографічна карти).

3. Польове обстеження відібраних об'єктів.

Візуальне дешифрування є найстарішим видом дешифрування, яке виникло одночасно з першими спробами підйому людини у повітря. Його суть полягає в ідентифікації на аерокосмічних зображеннях об'єктів реального світу за їх характерними

особливостями без використання якогонебудь спеціального обладнання або програмного забезпечення [13].

Під час візуального дешифрування використовуються геометричні, оптичні і структурні характеристики об'єктів (прямі дешифрувальні ознаки), а також різноманітні взаємозв'язки та взаємозалежності між ними (непрямі дешифрувальні ознаки). «Впізнання» об'єктів відбувається в результаті складного логіко-інтуїтивного процесу, на який здатен лише людський мозок. Саме складність формалізації цього процесу обумовила той факт, що, незважаючи на всі сучасні прилади та розвинуте програмне забезпечення, візуальне дешифрування залишається дуже дієвим засобом аналізу ДДЗ.

Результати досліджень та обговорення

Як відомо водна ерозія поділяється на площинну (поверхневу) та лінійну (яружну).

Лінійна ерозія є результатом значної концентрації води у природних пониженнях наслідком чого є утворення лінійних розмивів ґрунту.

Поверхнева ерозія відбувається у випадку відносно рівномірного змиву ґрунту невеликими струмками по всій поверхні ділянки. Її наслідком є утворення значних площ достатньо рівномірно еродованих ґрунтів без значних проявів лінійної ерозії.

Діагностика площинної ерозії по космічних знімках ґрунтується на спектральних властивостях змитих ґрунтів – як правило вони є значно світлішими за кольором наслідок виходу на поверхню перехідних слабобогумусованих горизонтів ґрунту. Алгоритм дешифрування площинної ерозії складається з таких етапів:

1. Виділення візуально або за допомогою чисельного аналізу NDVI індексу полів з відкритим ґрунтом.
2. Переконавання, що ґрунт на момент зйомки був у повітряно-сухому стані. За даними метеостанцій перевіряють чи не було опадів на досліджуваній території принаймні за три-чотири доби до дати зйомки.
3. Автоматична класифікація знімка. Можуть використовуватись як методи «з вчителем», так і «без вчителя». Вибір залежить від наявності навчаючих вибірок. Результатом етапу є створення першого варіанту карти еродованості.
4. Співставлення першого варіанту карти еродованості з цифровою моделлю рельєфу та архівною ґрунтовою картою.

Останнє необхідно для відокремлення дійсно змитих ґрунтів від силових неповнорозвинених, опідзолених або ж ґрунти, що сформувались на легких материнських породах. Результат - другий варіант карти еродованості.

5. Перевірка другого варіанту карти в польових умовах.

6. Створення третього варіанту карти еродованих ґрунтів.

Даний алгоритм і результати його дії детально викладені в роботах [10, 18], тому в цій статті ми зосередимось на особливостях дешифрування активної лінійної ерозії.

З усіх класифікаційних одиниць лінійної ерозії на нашу думку найбільш потребують уваги промоїни та мікроулоговини (із сучасних ланок гідрографічної мережі) та улоговини і лощини (зі стародавньої). Активні процеси яроутворення, що були поширені на теренах лісостепу України ще у середині минулого століття, були успішно зупинені завдяки масштабному застосуванню агролісомеліоративних та гідротехнічних протиерозійних заходів в після Другої світової війни.

Переконатись в цьому можна порівнявши німецьку військову аерозйомку з сучасними загальнодоступними знімками сервісу GoogleEarth (рис.2). Як видно на знімках, представлених на рис.2, в 1943 році для північних околиць м. Чугуєва була характерна велика кількість ярів, які знаходились у фазі активного росту, на що вказує загострена форма вершин ярів та їх відвершків. Сучасні знімки показують, що ці яри на да-



а) Фрагмент аерофотознімку околиць м. Чугуїв, 1943 р. [19]



б) Сучасний вигляд тієї ж території на космічних знімках (© Google)

Рис. 2 – Порівняння розвитку лінійних форм ерозії на північній околиці м. Чугуїв за матеріалами аерофотозйомки 1943 року та космічної зйомки 2018 року

ний час закріплені та захищені створеними в повоєнні часи протиерозійними лісонасадженнями. На даний час яри не ростуть, а

деякі з них взагалі засипані та заорані. Практика свідчить, що в сучасних умовах основні ерозійні втрати приходяться на поверх-

неву (площинну) ерозію та її невеликі лінійні форми. Однак положення може швидко змінитися враховуючи сучасний економічний і соціальний стан країни та витікаючи з цього негативні екологічні наслідки – інтенсивне вирубування лісосмуг. Адже небезпека поновлення росту ярів при знищенні захисних лісонасаджень зберігається, та з кожним роком нехтування питаннями інвентаризації та відновлення протиерозійних лісонасаджень стає все більшою.

При дешифруванні даних дистанційного зондування (в першу чергу, космічних знімків) індикація лінійної ерозії проводиться за такими ознаками:

- характерна криволінійна форма;
- розмір об'єкту – він має бути порівняний з розмірами полів;
- дендровидна структура лінійних елементів;
- приуроченість розривів к давнім ерозійними формам – балкам, які діагностуються на знімках дуже чітко;
- повторюваність форми у часі;
- характерне комбіноване світле/темне забарвлення;
- контраст яскравості зображення між проміною і сусідніми об'єктами (полями).

Сприйняття всіх цих ознак, з чим людина інтуїтивно вдало справляється, для комп'ютера може викликати значні труднощі.

Наведемо приклад розпізнавання лінійної ерозії по космічним знімкам високого дозволу. На рисунку 3 наведені знімки

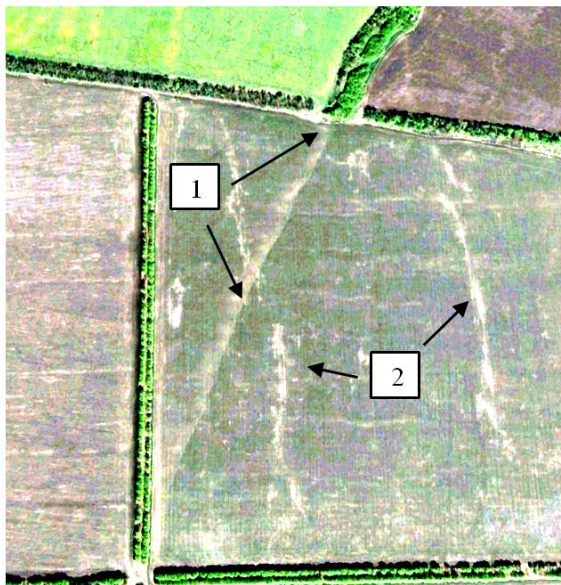
одного з полів (координати: 49.691678 п.ш., 35.9872871с.д.) досліджуваної території, що отримані 5.06.2007 (рис.3а) і 3.09.2016 (рис.3б). На рис.3а ми бачимо декілька світлих лінійних об'єктів. Об'єкт №1 це улоговина, що обробляється. Про це свідчить майже повний набір вищенаведених дешифрувальних ознак. Об'єкти №2 не відносяться до ерозійних проявів. Доказом цього є:

1) відсутність повторюваності форми об'єктів у часі,

2) відсутність тіньового контуру, який з'являється у від'ємних форм рельєфу в результаті нахилу сонця при зйомці,

3) перехрещення вказаних об'єктів, що неприпустиме для дендровидної топології гідрографічної мережі.

При автоматичному дешифруванні як прояви лінійної ерозії, так і антропогенні об'єкти можуть бути віднесені до одного класу за такими ознаками, як лінійність чи контрастність забарвлення, навіть, повторюваність в часі (наприклад, для автошляхів), тому для розділення антропогенних та природних об'єктів використовуються спеціальні алгоритми, що дозволяють виключити тимчасові об'єкти (неоднорідність обробітку, рослинні залишки тощо), антропогенні лінійні об'єкти – шляхи, трубопроводи та інше. Однак, в деяких випадках без експертної оцінки людиною виявлених на знімках артефактів не обійтися.



а) 5.06.2007



б) 3.09.2016

Рис. 3 – Лінійні елементи різного походження на космічних зображеннях (© Google)

Проаналізуємо зображення на рис. 4 (координати: 49.6443486, п.ш., 35.9630185,993 с.д.). На рисунку позначені лінійні об'єкти №3 і №4. На перший погляд їх також можна охарактеризувати як елементи лінійної ерозії – повторюваність у часі, світлий колір, значні розміри. Але детальний аналіз змушує засумніватися у цьому. Відміни на перший погляд несуттєві: трохи пряміша форма об'єкту; різкий контраст за кольором; порушення логіки топології. Все

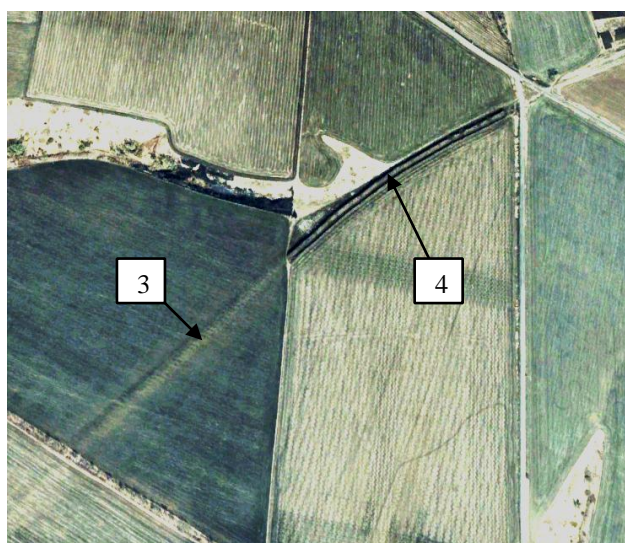
це разом формує відчуття "артефактності" даного утворення.

Дійсно, так воно насправді і є – це стародавній скіфський захисний вал, який місцеві мешканці називають «турецьким». Об'єкт №4 представляє собою частину валу, яка збереглася до наших часів, а об'єкт №3 – результат знесення іншої частини валу.

На карті Харківської губернії, яка датується 1869 роком цей вал має назву «Рябий» (рис.5). На карті ясно видно, що це саме вал, і що він перетинає два природні яри.



а) 5.06.2007



б) 3.09.2016

Рис. 4 – Видял «Турецького валу» на космічному знімку (© Google) видимого діапазону

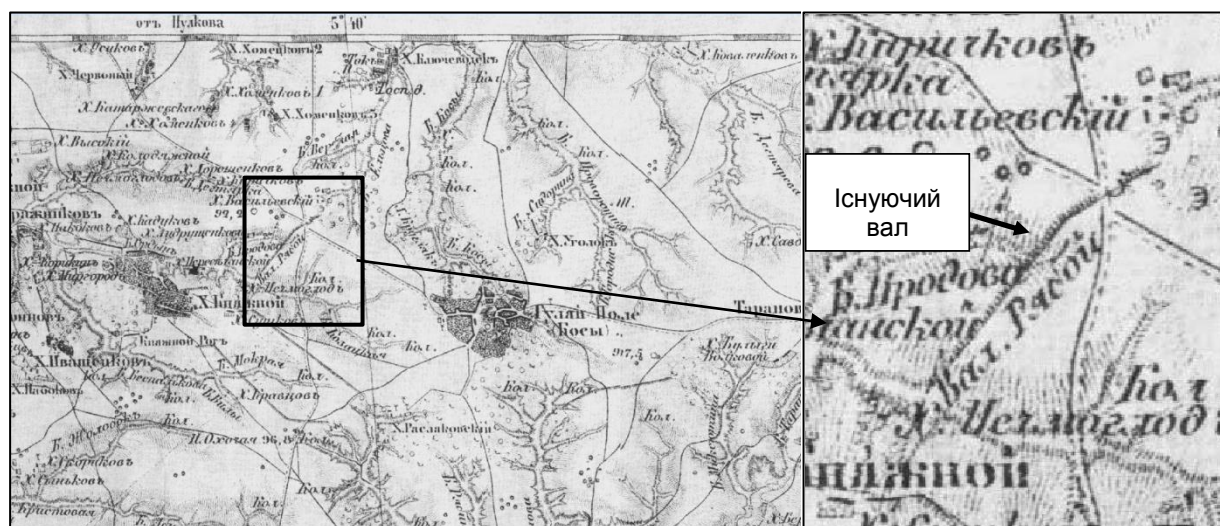


Рис. 5 – Фрагмент військово-топографічної карти Російської Імперії Ф.Ф. Шуберта (1869 р.) [20] Масштаб: 3 версти в 1 дюймі



Рис. 6 – Сучасний вигляд «Турецького валу»

На сьогодні залишки валу мають висоту до 5 м, він поріс травною (рис. 6), що обумовлює його насичений зелений колір на знімку.

Об'єкт 3 на рис. 4 являє собою слід від зруйнованої частини валу – ясно-сіру смугу 8-12 м завширшки. Поле, на якому розташована ця смуга, обробляється. Ясно-сірий колір об'єкту різко контрастує з оточуючим ґрунтовим покривом, що може пояснюватись відмінами в генезисі цих ґрунтів. Консультації з археологами дозволили датувати вік створення валу V сторіччям до н.е. Аналіз архівних матеріалів показав, що знесення частини валу відбулось приблизно 50-60 років тому, отже, логічно припустити, що ґрунти, які складають вищеописану смугу, були "законсервовані" на 2500 років і характеризують умови ґрунтоутворення часів створення валу.

Польові дослідження похованих під валом ґрунтів довели, що вони відносяться до ясно-сірих лісових ґрунтів, які безперечно є нетиповими для Харківської області зараз, але вочевидь мали достатнє поширення раніше. Ґрунти, що розташовані поруч з валом, класифікуються як темно-сірі опідзолені. Отже, на цій підставі можна припустити, що за 2500 роки існування валу, внаслідок зміни природно-кліматичних умов на прилеглий території відбулась еволюція ґрунту від ясно-сірого до темно-

сірого опідзоленого ґрунтів. Зрозуміло, що цей висновок є попереднім і потребує подальших досліджень. Однак, на користь цього припущення свідчить відміна у будові профілів ґрунту поля, по якому проходив вал, та ґрунту, що був весь цей час законсервований під валом (рис.5).

Для цього ґрунту властивий не лише менший вміст гумусу, що може бути пояснено дегуміфікацією за рахунок мікробіологічного руйнування органічної речовини, а й зовсім інша будова профілю (рис.7) – наявність яскраво виражених елювіального (E) та ілювіального (I) горизонтів (рис. 5), що відсутні в темно-сірому ґрунті прилеглих територій. Саме завдяки зниженому вмісту гумусу та збагаченості кремнеземом (SiO₂) цей ґрунт виділяється на космічних знімках як світла смуга.

Ґрунт самого валу, сформований з насипного ґрунту, трансформованого за 2500 років під лучно-степовою рослинністю в умовах підвищеного, порівняно з вирівняною поверхнею навколишніх полів, ксероморфізму (за рахунок прискореного сніготанення та стікання вологи зі схилів) має морфологічні ознаки чорнозему типового.

Моноліт похованого ґрунту (рис. 7), відібраний С.В. Крохіним та А.Б.Ачасовим під час проведення польової практики з картографії ґрунтів із студентами ХНАУ імені В. В. Докучаєва нині зберігається в

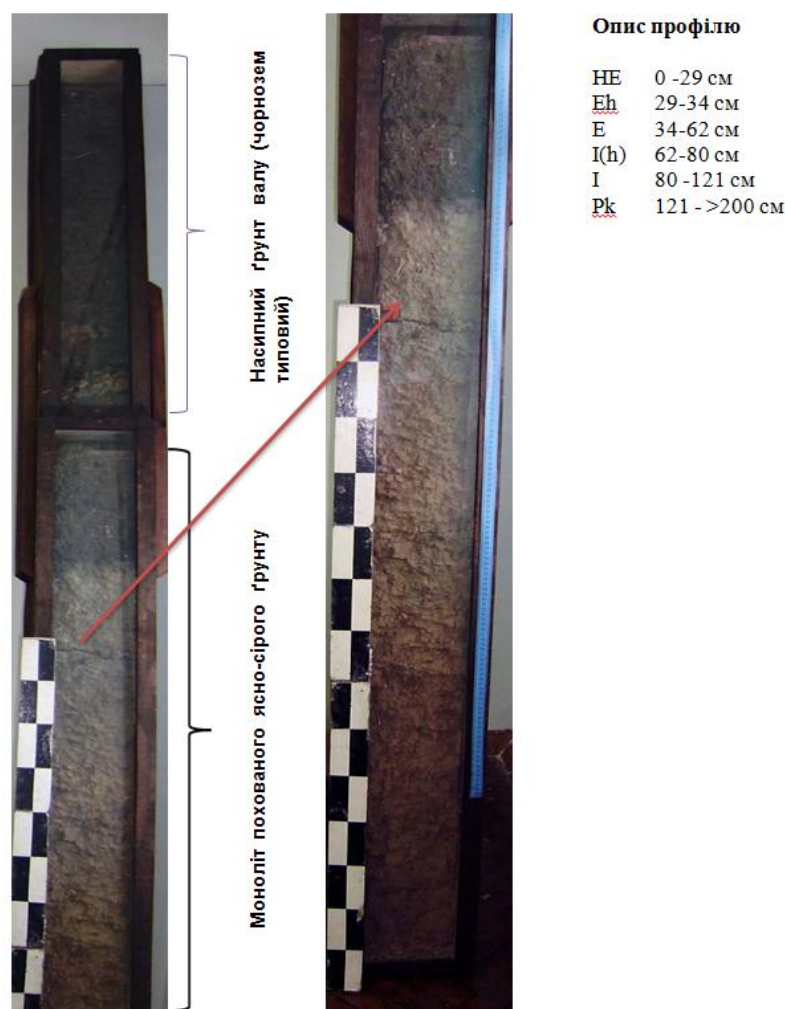


Рис. 7 – Моноліт похованого ґрунту, відібраний під «Турецьким валом» у 2009 році.

Музеї генезису і картографії ґрунтів ХНАУ ім. В.В. Докучаєва [21].

Відмітимо, що досліджені об'єкти 2 і 3 формально відповідають всім дешифрувальним ознакам елементів яружно-балкової мережі і в ході автоматизованого дешифрування даних дистанційного зондування можуть бути помилково класифіковані як елементи гідрографічної мережі.

Висновки

Автоматичне дешифрування процесів водної ерозії та інвентаризація ерозійних форм рельєфу на сьогодні знаходиться на початковому етапі та потребує обов'язкового контролю кваліфікованого аналітика для виключення похибок ідентифікації об'єктів. Як слушно сказав в своєму інтерв'ю для блогу ESRI Ф. Авіла, директор комерційного відділу виявлення та оцінювання GEOINT NGA (Національного агентства геопросторової розвідки США), авто-

Наведений приклад підтверджує той факт, що дешифрування аерокосмічних знімків має обов'язково проводитись під контролем оператора. При цьому оператором має бути людина з належною освітою, широким кругозором і достатньою кваліфікацією, що забезпечить можливість вирішення навіть таких нетривіальних ситуацій.

матичне дешифрування даних дистанційного зондування - це не стільки заміна людини машиною, скільки зміна того, на чому має зосередитися людина-аналітик. Автоматизація процесу дешифрування знімків за допомогою комп'ютерів дозволяє не звільнити людей, а вивільнити час фахівців-аналітиків для того, щоб виконувати когнітивні і більш складні завдання, які, за його досвідом, людина виконує краще, ніж машина [22].

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувалися етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Література

1. Sartoria M. et al. A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. *Land Use Policy*. 2019. V. 86. P. 299-312. URL: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014>
2. Ачасова А. Сучасні підходи до еколого-економічної оцінки збитків від ерозії ґрунтів. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*, 2020. Вип. 22. С. 8-20. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-01>
3. Outcome document of the Global Symposium on Soil Erosion. Rome. FAO, 2019. 28 с. URL: <http://www.fao.org/3/ca5697en/ca5697en.pdf>
4. Eswaran H., Lal R., Reich P.F. Land degradation: an overview. Response to land degradation/ E.M. Bridges et al., Sombatanit S. (Eds.) Science Publishers Inc, Enfield, NH, USA. 2001. P. 20-35.
5. Наукові та прикладні основи захисту ґрунтів від ерозії в Україні. Харків, 2010. 460 с.
6. Panagos P. et al. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environment Science & Policy*. 2015. V.54. P. 438–447. URL: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
7. Benavidez R., Jackson B., Maxwell D., Norton K. A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2018. Vol.22. P. 6059–6086. URL: <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018>
8. Bayramin U., Denguz O., Bakan O., Parlak M. Soil Erosion Risk Assessment With ICONA Model; Case Study: Beypazari Area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2003. Vol. 27. P.105-116
9. Luleva M.I., van der Werff H., van der Meer F., Jetten V. Gaps and opportunities in the use of remote sensing for soil erosion assessment. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*. 2012. Vol. 21. N 5. P. 748-760.
10. Ачасов А. Б., Ачасова А. О., Булигін С. Ю. та ін. Великомасштабне картографування ґрунтів за допомогою інтегрального аналізу даних дистанційного зондування й цифрових моделей рельєфу. Методичні рекомендації. Харків, ХНАУ. 2010. 47 с.
11. Кучма Т., Ілієнко, Т., Сиротенко О., Тараріко О., Минкевич Н., Мудрик С. Методичні рекомендації з визначення та ідентифікації водної ерозії ґрунтів в агроландшафтах за даними космічного знімання високого просторового розрізнення. К., 2013. 31с. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1401255>
12. Seutloali, K.E., Dube, T. & Mutanga, O. Assessing and mapping the severity of soil erosion using the 30-m Landsat multispectral satellite data in the former South African homelands of Transkei (viewed 06 June 2017). *Physics and Chemistry of the Earth*. 2017. 100. 296-304. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.10.001>
13. Некос А. Н., Ачасов А. Б., Кочанов Е. О. Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища: дистанційні методи. Харків, 2017. 244 с.
14. Beguería, S. Identifying erosion areas at basin scale using remote sensing data and GIS: a case study in a geologically complex mountain basin in the Spanish Pyrenees. *International Journal of Remote Sensing*. 2006. Vol. 27 (20), P. 4585-4598. URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431160600735640>
15. Karami A., Karami A., Khorani A., Noohegar A.; Shamsi S. R. F., Moosavi V. Gully erosion mapping using object-based and pixel-based image Classification methods. *Environmental and Engineering Geoscience*. 2015. Vol. XXI. N 2 P. 101–110. URL: <https://doi.org/10.2113/gsegeosci.21.2.101>
16. Ачасов А. Б., Ачасова А. О., Тітенко Г. В. Селіверстов О. Ю., Седов А. О. Щодо використання БПЛА для оцінки стану посівів. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. сер. Екологія*. 2015. вип. 13. С. 13-18. URL: <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/5546>
17. Achasova A. Evaluating crop characteristics in the visible range. 23.02.2016 URL: <http://www.50northspatial.org/otsinka-stanu-posiviv/>
18. Ачасов А.Б. Протиерозійна оптимізація агроландшафтів: геоінформаційний підхід. Харк. нац. аграр. ун-т. Х., 2016. 409 с
19. Аэрофотосъёмка Второй Мировой Войны. Харьков. URL: <http://warfly.ru/?lat=49.983903&lon=36.240807&z=12>
20. Військово-топографічна карта Російської Імперії 1846-1863 рр. Створена під керівництвом Ф.Ф. Шуберта і П.А. Тучкова. М.: 3 версти на дюйм. Ряд: XXIV, лист: 14. URL: <http://www.etomesto.ru/shubert-map/24-14/>
21. Музеї «генезису і картографії ґрунтів». Сайт: Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва. 8-07-2013. URL: <https://knau.kharkov.ua/muzey-henezusu.html>
22. Wheeler C. Discovering the context of complex problems. *Faces of GIS/esri.com/arcuser*. Winter 2020 URL: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/discovering-the-context-of-complex-problems/>

References

1. Sartoria, M., Philippidis, G., Ferrari, T., Borrelli, P., Lugato, E., Montanarella, L. & Panagos, P. (2019). A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. *Land Use Policy*. 86. 299-312. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014>.
2. Achasova, A. (2020). Modern approaches to environmental and economic estimation of damage from water erosion of soil. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University series «Ecology»*, 22, 8-20. Retrieved from <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2020-22-01> (in Ukrainian).
3. Outcome document of the Global Symposium on Soil Erosion. (2009). FAO. Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/3/ca5697en/ca5697en.pdf>
4. Eswaran, H., Lal, R. & Reich, P. F. (2001). Land degradation: an overview. In: Bridges, E.M., Hannam, I.D., Oldeman, L. R., Penning de Vries, F.W.T., Scherr, S.J. & Sombatpanit, S. (Eds.). *Response to land degradation* (pp.20-35). Science Publishers Inc, Enfield, NH, USA.
5. Balyuk, S. A. & Tovazhnyansky, L.L. (Eds.). (2010). *Scientific and applied bases of soil protection from erosion in Ukraine*. Kharkiv: NTU "KPI" (in Ukrainian).
6. Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., Ballabio, C., Lugato, E., Meusburger, K., Montanarella, L. & Alewell, C. (2015). The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environment Science & Policy*. 54, 438–447. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.08.012>
7. Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D. & Norton, K. (2018). A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22, 6059–6086. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018>
8. Bayramin, U., Denguz, O., Bakan, O., Bayramin, U., Denguz, O., Bakan, O. & Parlak, M. (2003). Soil Erosion Risk Assessment With ICONA Model; Case Study: Beypazari Area. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 27. 105-116.
9. Luleva, M. I., van de Werff, H., van der Meer, F. & Jetten, V. (2012). Gaps and opportunities in the use of remote sensing for soil erosion assessment. *Chemistry: Bulgarian Journal of Science Education*, 21 (5), 748-764.
10. Achasov, A. B., Achasova, A. O., Bulygin, S. Yu., Tikhonenko, D. G. & Astakhov, E. A. (2010). Large-scale mapping of soils by integrated analysis of remote sensing data and digital terrain models. Guidelines. Kharkiv: KhNAU (in Ukrainian).
11. Kuchma, T., Iliencko, T., Syrotenko, O., Tarariko, O., Mynkevych, N. & Mudryk, S. (2013). Guidelines for detection and identification of water erosion in agricultural landscapes according to the data of space survey of high spatial resolution. Kyiv. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1401255> (in Ukrainian).
12. Seutloali, K. E., Dube, T. & Mutanga, O. (2017). Assessing and mapping the severity of soil erosion using the 30-m Landsat multispectral satellite data in the former South African homelands of Transkei (viewed 06 June 2017). *Physics and Chemistry of the Earth*. 100, 296-304. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.10.001>
13. Nekos, A. N., Achasov, A. B. & Kochanov, E. O. (2017). Methods of measuring environmental parameters: remote sensing methods. Kharkiv: V. N. Karazin KhNU (in Ukrainian).
14. Beguería, S. (2006). Identifying erosion areas at basin scale using remote sensing data and GIS: a case study in a geologically complex mountain basin in the Spanish Pyrenees. *International Journal of Remote Sensing*Int. 27 (20), 4585-4598. Retrieved from <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431160600735640>
15. Karami, A., Khorani, A., Noohegar, A., Shamsi, S.R.F. & Moosavi, V. (2015). Gully erosion mapping using object-based and pixel-based image Classification methods. *Environmental and Engineering Geoscience*. 21 (2). 101–110. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.21.2.101>
16. Achasov, A. B., Achasova, A. O., Titenko, A. V., Seliverstov, O. Yu. & Sedov, A. O. (2015). UAV usage for crop estimation. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series «Ecology»*, 13, 13-18. Retrieved from <https://periodicals.karazin.ua/ecology/article/view/5546> (in Ukrainian).
17. Achasova, A. (2016). Evaluating crop characteristics in the visible range. Retrieved from <http://www.50northspatial.org/otsinka-stanu-posiviv/>
18. Achasov, A. B. (2016). Anti-erosion optimization of agrolandscapes: geoinformation approach. Kharkiv: KhNAU Dep. in the State Scientific Library of Ukraine (in Ukrainian).
19. Aerial photography of World War II. Kharkov. Retrieved from <http://warfly.ru/?lat=49.983903&lon=36.240807&z=12>
20. Schubert, F. F. & Tuchkov, P. A. (Eds). Military topographic map of the Russian Empire in 1846-1863. M. : 3 versts per inch. Series: XXIV, sheet: 14. Retrieved from <http://www.etomesto.ru/shubert-map/24-14/>
21. Museums of "genesis and cartography of soils". (2013). V.V. Dokuchaev Kharkiv National Agrarian University.. Retrieved from <https://knau.kharkov.ua/muzey-henezusu.html> (in Ukrainian).
22. Wheeler, C. (2020). Discovering the context of complex problems. *Faces of GIS/esri.com/arcuser*. Winter 2020. Retrieved from <https://www.esri.com/about/newsroom/arcuser/discovering-the-context-of-complex-problems/>