

УДК 528.854:911.2

ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛЬЄФУ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Доценко Ярослав, Онойко Юрій

*Центральноукраїнський державний університет імені Володимира
Винниченка, м. Кропивницький, Україна*

В статті проаналізовано особливості застосування методів дистанційного зондування Землі для дослідження рельєфоутворюючих процесів та різноманітних форм рельєфу. Застосовуючи веб-переглядачі матеріалів супутникового моніторингу EO Browser та Google Планета Земля, продемонстровано різні способи діагностики форм рельєфу і рельєфоутворюючих процесів, виявлення їх природних особливостей на основі як прямих, так і непрямих ознак. Розкриті можливості та доведено ефективність застосування дистанційних методів зондування Землі під час вивчення нерівностей земної поверхні.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, супутниковий моніторинг, форми рельєфу, рельєфоутворюючі процеси.

FEATURES OF RELIEF RESEARCH BY METHODS REMOTE EARTH SENSING

Yaroslav Dotsenko, Yuriy Onoyko

Volodymyr Vynnychenko Central Ukrainian State University, Kropyvnytskyi, Ukraine

The article analyzes the peculiarities of the application of remote sensing methods of the Earth for the study of relief-forming processes and various forms of relief. Using web browsers for satellite monitoring materials EO Browser and Google Earth Pro, various methods of diagnosing relief forms and relief-forming processes, identifying their natural features based on both direct and indirect signs are demonstrated. The possibilities of using remote sensing methods of the Earth during the study of the unevenness of the Earth's surface have been revealed and proven.

Key words: remote sensing of the Earth, satellite monitoring, landforms, landform-forming processes.

Постановка проблеми. Найбільш поширеними традиційними методами дослідження нерівностей земної поверхні (рельєфу) є морфологічний, морфометричний, палеогеоморфологічний, морфодинамічний, історико-генетичний, морфотектонічний, морфоструктурний, геоморфологічного знімання, картографування та деякі інші. Слід зауважити, що ці методи характеризуються значними затратами часу, технічних засобів, а часто і людських та фінансових ресурсів. До того ж окремі території можуть бути недоступні для організації польових геоморфологічних досліджень: наприклад,

високогірні райони, льодовики, пустелі. Все це спонукає до розробки нового, більш ефективного методологічного арсеналу геоморфологічної науки.

Мета статті. В останні десятиліття швидкими темпами розвиваються методи дистанційного зондування (вивчення) Землі. Однак на сьогодні вони залишаються ще маловідомими і недостатньо апробованими серед значного кола науковців, освітян, фахівців-практиків. Головною метою статті є аналіз технічних можливостей та особливостей застосування методів дистанційного зондування Землі під час дослідження рельєфу.

Аналіз досліджень і публікацій. Вивченням різних форм рельєфу та рельєфоутворюючих процесів за допомогою дистанційних методів дослідження Землі займалися такі українські вчені як М.В. Арістов та О.В. Томченко [2], Г.Р. Байрак [3], О. Азімов [1], П.В. Жирнов [9], В.С. Готинян, О.В. Томченко, Ю.М. Рябенко та Л.Д. Добридень [4], В.І. Лялько [8], Л.О. Єлістратова, О.А. Апостолов та В.М. Чехній [10] і деякі інші.

Виклад основного матеріалу. *Дистанційне зондування Землі* (далі ДЗЗ) – це одержання інформації про будь-який об'єкт чи процес на земній поверхні чи в атмосфері без прямого контакту з ними [7]. Цим дистанційні засоби зондування Землі якісно відрізняються від прямих методів дослідження Землі (таких як спостереження, вимірювання, експеримент, лабораторні дослідження, топографічна зйомка тощо).

В минулому (XIX ст. – пер. пол. XX ст.) дистанційне зондування Землі було пов'язане в першу чергу з аерофотозйомкою, тобто фотографуванням земної поверхні з літальних апаратів (літаків, дирижаблів, повітряних куль) в приземному шарі атмосфери та подальшим дешифруванням цих знімків. Починаючи з сер. XX ст. ДЗЗ все більше представлене супутниковим моніторингом, тобто спостереженнями, які ведуться зі штучних супутників Землі [6].

Первинну інформацію супутникового моніторингу дослідники часто отримують з різних інтернет-ресурсів, які здійснюють накопичення, систематизацію та первинну обробку космічних знімків. Серед таких сервісів

найбільш популярними і широко доступними для споживачів є веб-переглядачі EO Browser [12] та Google Планета Земля [11]. В цій публікації будемо аналізувати матеріали, отримані авторами саме з використанням даних ресурсів.

EO Browser – це переглядач доступних онлайн супутникових знімків середньої і низької роздільної здатності від Європейського космічного агентства (ЄКА), який оперує знімками із супутників Sentinel-1, Sentinel-2, Sentinel-3, Sentinel-5P, Landsat, Envisat Meris, MODIS, Proba V, GIBS [6; 12]. Приклад інтерфейсу веб-переглядача EO Browser з електронного кабінету Ю.Ю. Оноїка наведено на рисунку 1.

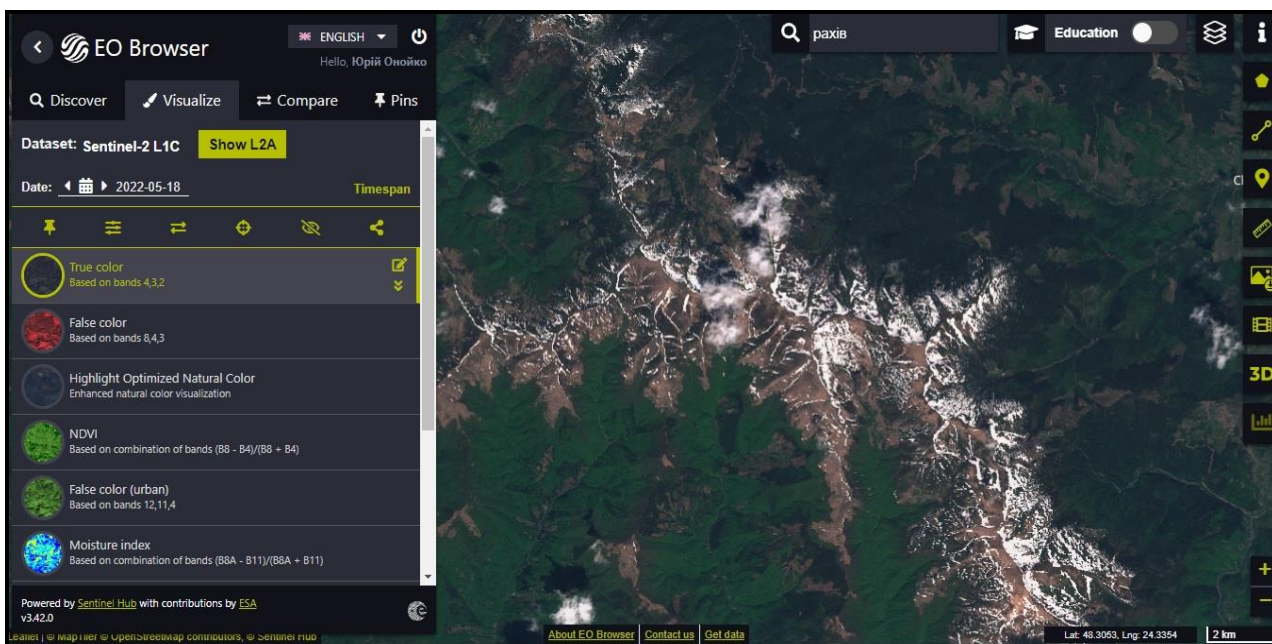


Рис. 1. Інтерфейс веб-переглядача EO Browser [12]

(в робочому вікні – космічний знімок в природних кольорах
Чорногірського хребта Українських Карпат,
зроблений супутником Sentinel-2 за 18 червня 2022 року)

Google Планета Земля – це доступний для широкої аудиторії інтернет-ресурс, який являє собою «віртуальний глобус» нашої планети (а також Марса і Місяця) з накладеними аеро- і космознімками високої роздільної здатності та тематичними шарами для отримання актуальної інформації [6; 11].

Google Планета Земля також має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, зручний для використання вчителями й науковцями в освітній та дослідницькій діяльності (рис. 2).

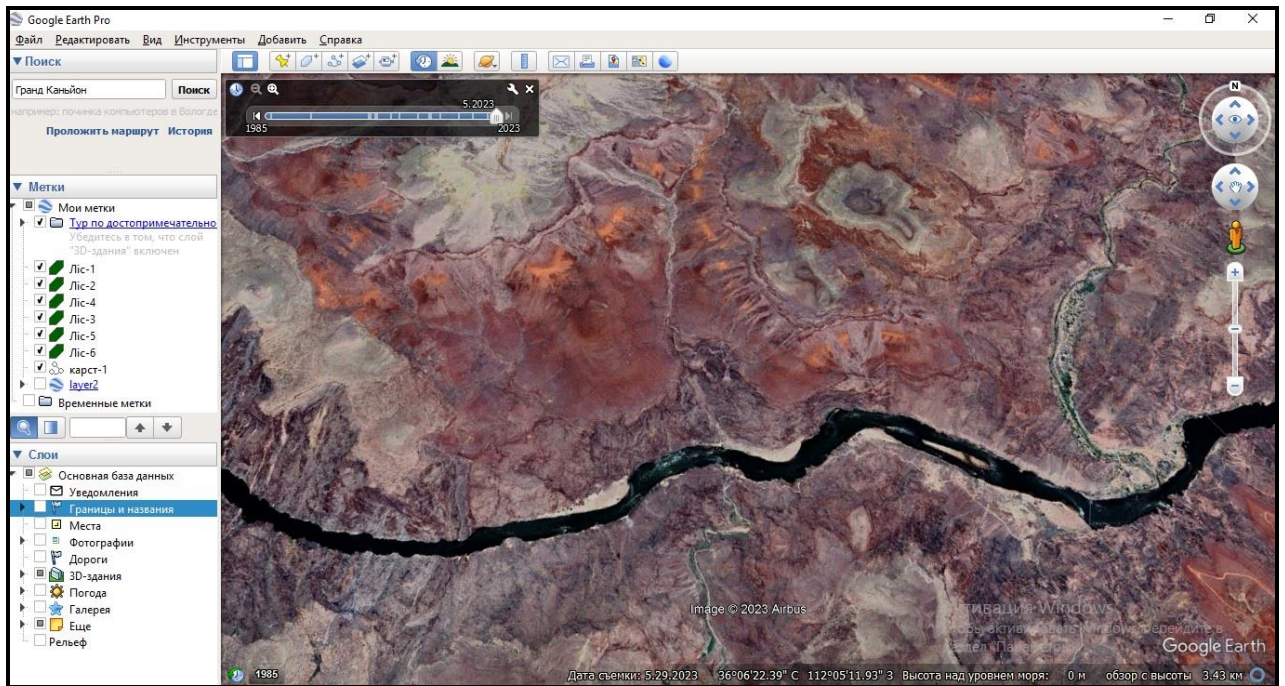


Рис. 2. Інтерфейс веб-переглядача Google Планета Земля [11]

(в робочому вікні – космічний знімок каньйону ріки Колорадо на території Арізони (США))

Найефективніше за допомогою дистанційних методів зондування Землі вивчати екзогенні рельєфоутворюючі процеси та морфологічні і морфометричні особливості макро- (гірські хребти, рівнини), мезо- (яри, балки, річкові долини) та навіть мікроформ (карстові лійки, берегові вали) рельєфу.

На початковому етапі геоморфологічних досліджень за допомогою ДЗЗ одним із головних завдань є виявлення та діагностика на супутникових знімках тих чи інших процесів рельєфоутворення і форм рельєфу різного походження. Основними дешифрувальними ознаками при цьому виступають розміри, форма, колір, відтінки основного кольору, тіні, а також ряд непрямих ознак, застосування яких базується на врахуванні певних взаємозв'язків між географічними процесами, явищами та об'єктами.

Найчастіше під час ДЗЗ виявляються, досліджуються, а потім картографуються такі екзогенні геоморфологічні процеси регіонального та локального рівня як ерозія, карст, суфозія, зсуви, екзарація, абразія, підтоплення, просідання земної поверхні над гірничими виробками [2; 4; 5; 7; 9; 10]. Порівняно легко на супутникових знімках дешифруються яри, балки, річкові долини, карстові лійки, карстові колодязі та провалля, степові блюдця,

поди і подолімани, льодовикові кари та трогові долини, абразійні береги, зсувні маси гірських порід та інші. Розглянемо приклади дешифрування на супутникових знімках деяких із зазначених форм рельєфу та рельєфоутворюючих процесів.

Одним із найпоширеніших екзогенних геоморфологічних процесів на території України є ерозія. На супутникових знімках еродовані ділянки земної поверхні найчастіше проявляються у вигляді світлих плям – так виглядають змиті ґрунти, в яких верхній гумусований шар винесений водою, а на поверхню виходять палево-бурі слабогумусовані шари ґрунту. При чому видовжені вузькі смуги світлого кольору з чіткими контурами вказують на розвиток лінійної ерозії, а широкі освітлені смуги з нечіткими краями – площинної ерозії. На рисунку 3 зображено приклад дешифрування площинної та лінійної ерозії на супутникових знімках території Кіровоградської області у веб-переглядачі Google Планета Земля.

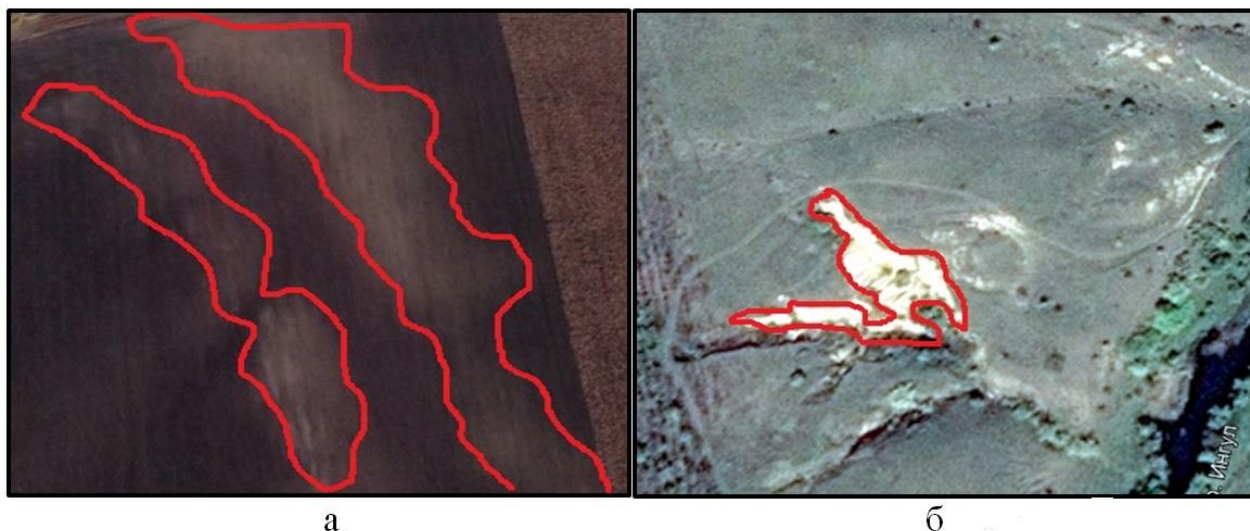


Рис. 3. Дешифрування площинної (а) та лінійної (б) ерозії на супутникових знімках території Кіровоградської області у веб-переглядачі Google Планета Земля

Карстові западини і лійки на супутникових знімках розрізняють за округлою формою у плані, порівняно невеликими розмірами, чіткими краями, груповим розташуванням на одній ділянці земної поверхні (рис. 4). В районах з неглибоким рівнем залягання ґрунтових вод дно карстових западин затоплене водою, що проявляється у вигляді плям зеленого чи темно-синього кольору у центрі западини, обрамлених зсувними світло-сірими схилами. На плакорах

карстові западини в найглибшій центральній частині часто зарослі деревно-чагарниковою рослинністю, що надає їм темно-зеленого забарвлення і відповідну текстуру, тоді як верхні частини схилів та міжзападинні ділянки покриті лучною рослинністю світло-зеленого кольору.



Рис. 4. Розпізнавання карстових западин (а) та карстових лійок (б) на супутникових знімках Закарпатської низовини (а) та Подільської височини (б) у веб-переглядачі Google Планета Земля

Подібну округлу форму мають і суфозійні форми рельєфу – степові блюдця. Однак відрізнити супутникове зображення карстових та суфозійних форм рельєфу слід за непрямими ознаками. Карстові форми рельєфу в Україні утворюються в межах водорозчинних пластів гірських порід зволжених територій: на Поліссі, в зоні широколистяних лісів Західного Поділля, в Українських Карпатах та на плато Гірського Криму. Натомість суфозійні форми рельєфу поширені здебільшого в товщах лесових відкладів Причорноморської низовини та Лівобережжя Дніпра. На Півдні України в умовах неглибокого залягання ґрунтових вод днища степових блюдець та подів постійно чи протягом певної пори року затоплені водою, нижні частини схилів – заболочені (рис. 5).

Поди та подолімани є значно більшими за розмірами, ніж степові блюдця, суфозійними формами рельєфу, мають не округлу, а видовжену форму, часто на супутникових знімках вирізняються освітленими днищами через виступи на поверхні ґрунту водорозчинних солей в умовах випітного водного

режиму (див. рис. 5). Подів та подоліманів особливо багато сформувалося в приморській частині Півдня України.

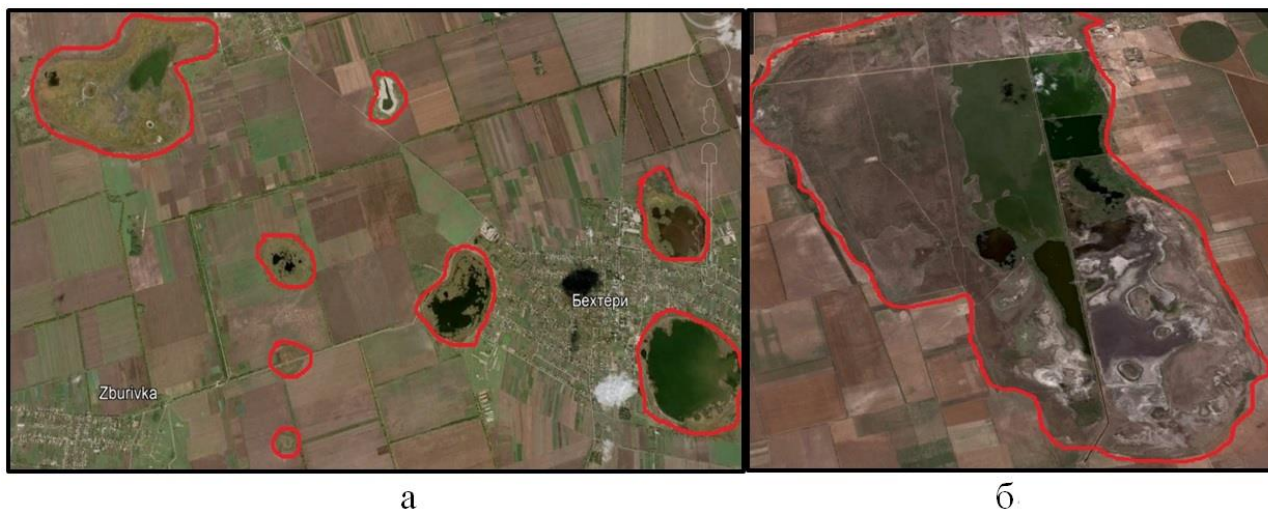


Рис. 5. Суфозійні форми рельєфу України на супутникових знімках у веб-переглядачі Google Планета Земля
(а – степові блюдця у південно-західній частині Херсонської області;
б – Сиваський під на сході Херсонщини)

Досить легко розпізнаються на космічних знімках і водоерозійні форми рельєфу – яри, балки, річкові долини, лощини. При погляді зверху яружно-балкові системи, яких так багато на території Кіровоградської області, мають типовий «деревоподібний» вигляд: від головної балки чи яру в різні боки відходять відгалуження у вигляді ярів, балок, водоріїв 2-го, 3-го та менших порядків. Як правило, яружно-балкові системи відкриваються в бік річкової долини, моря чи передгірної або міжгірної долини. І яри, і балки мають видовжену форму, яка звужується в бік верхів'я. Яри мають чіткі межі, а балки – менш чіткі. Також в лісостеповій та степовій зонах днище та схили балок і рідше ярів покриті густою деревно-чагарниковою рослинністю, яка надає їм специфічного темно-зеленого кольору поміж загального більш освітленого кольору лук, степової рослинності та рослинності сільськогосподарських полів.

Лощини виявити на супутникових знімках важче, оскільки морфологічно вони не такі глибокі як яри та балки, мають пологі схили, поступові переходи між плакором, схилами та днищем. Однак оскільки в лощині часто акумулюється вода під час танення снігу чи випадіння атмосферних опадів, то їх днища покриті більш вологолюбною рослинністю ніж суміжні схили та

плакори. В днищах лощин часто сільськогосподарські насадження не можуть проростати через постійне вимивання водою, натомість добре росте лучна рослинність. Тож густий лучний покрив лощин легко вирізнити по більш насиченому зеленому кольорі рослинності (рис. 6). До того ж лощини мають вузькі, видовжені контури, часто розташовані у верхів'ях ярів та балок, переходячи у них. При цьому розрізнити яри, балки та лощини на знімках можна за розмірами, зокрема шириною, та тональністю кольорів. Балки, а часто і яри, мають значно більші розміри (ширину, протяжність, площу). Днище балок і ярів здебільшого покрите деревно-чагарниковою рослинністю, а днище лощин – лучною, що добре помітно на знімках.

Інколи яружно-балкові системи доповнюються такими водоерозійними формами рельєфу як водорії та ерозійні борозни, які на супутникових знімках найчастіше проявляються у вигляді сітки видовжених і тонких смуг, що за кольором та тональністю суттєво відрізняються від фонових (див. рис. 6).

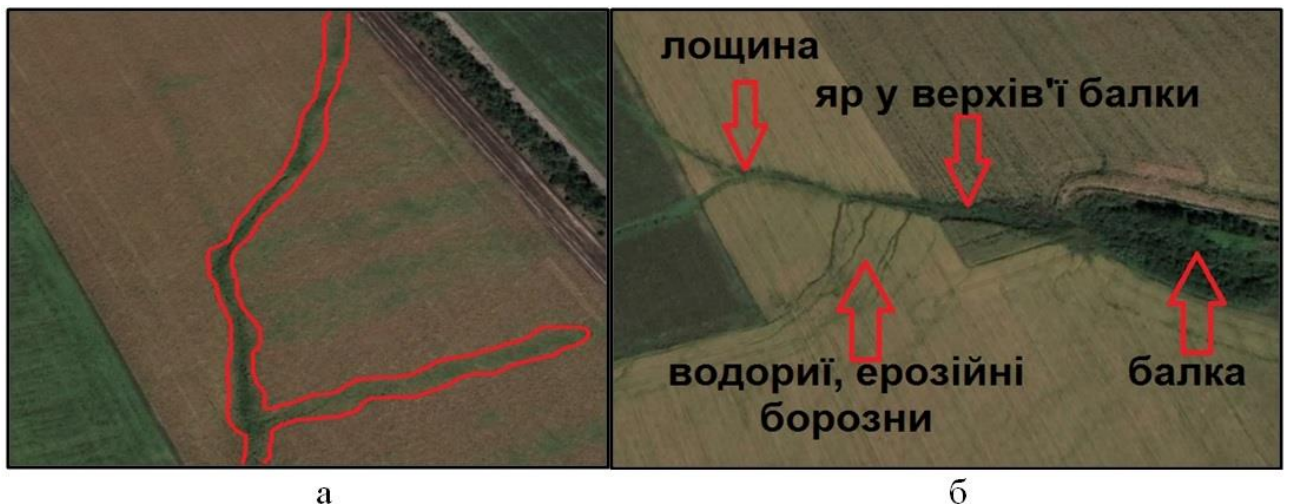


Рис. 6. Водоерозійні форми рельєфу на супутникових знімках у веб-переглядачі Google Планета Земля (лощина (а) та яружно-балкова система (б) в межах Придніпровської височини (Кіровоградська область)

Висновки та перспективи подальших пошуків у напрямі дослідження. Методи дистанційного зондування Землі доводять свою ефективність під час дослідження рельєфоутворюючих процесів та різних форм рельєфу. ДЗЗ дозволяють виявляти закономірності формування рельєфу місцевості, визначати морфогенетичні та морфометричні особливості певних

форм рельєфу, встановлювати взаємозв'язки між ними. Однак застосування дистанційного зондування Землі в геоморфологічних дослідженнях вимагає від науковців глибоких знань технічних аспектів супутникового моніторингу, значного досвіду дешифрування космічних знімків на основі прямих та непрямих ознак, знання природних особливостей території, що вивчається.

Список використаної літератури

1. Азімов О. Дослідження диз'юнктивних дислокацій земної кори аерокосмічними методами (на прикладі регіонів України): автореф. дис. ... доктора геолог. наук: 04.00.01 / О. Азімов. – НАН України, Ін-т геолог. наук. – К., 2008. – 37 с.
2. Арістов М.В. Вивчення зсувів на території Тернопільської області дистанційними методами: матеріали регіональної наради «Можливості супутникових технологій у сприянні вирішенні проблем Тернопільщини» / М.В. Арістов, О.В. Томченко. – Тернопіль, 2007. – С. 23-25.
3. Байрак Г.Р. Аналіз рельєфу і природокористування рівнин заходу України за аерокосмічними даними / Г.Р. Байрак. – Львів: Видавн. Центр ЛНУ, 2007. – 296 с.
4. Готинян В.С. Можливості ГІС/ДЗЗ-технологій для вивчення ерозійно небезпечних ділянок / В.С. Готинян, О.В. Томченко, С.В. Яценко // Можливості сучасних ГІС/ДЗЗ-технологій у сприянні вирішення проблем Черкащини: матеріали регіональної наради (м. Черкаси, 29–30 червня 2016). – Черкаси, 2016. – С. 10-15.
5. Готинян В.С. Оцінка тенденцій прояву небезпечних природних процесів (на прикладі південної частини Тячівського району Закарпатської області) / В.С. Готинян, О.В. Томченко, Ю.М. Рябенко, Л.Д. Добридень // Матеріали регіональної наради «Можливості супутникових технологій у сприянні вирішенні проблем Закарпаття». – Ужгород, 2008. – С. 27-28.
6. Довгий С.О. Дистанційне зондування Землі: аналіз космічних знімків у геоінформаційних системах: навч.-метод. посіб. / С.О. Довгий, С.М. Бабійчук, Т.Л. Кучма. – Київ: Національний центр «Мала академія наук України», 2020. – 268 с.
7. Довгий С.О. Основи дистанційного зондування Землі: історія та практичне застосування: навч. посіб. / С.О. Довгий, В.І. Лялько, С.М. Бабійчук, Т.Л. Кучма, О.В. Томченко, Л.Я. Юрків. – К.: НАПН України, 2019. – 316 с.
8. Експрес-оцінка ерозійно-небезпечних ділянок ґрунтового покриву на території України з використання даних дистанційного зондування Землі з врахування кліматичних факторів та рослинності / В. І.Лялько та ін. // Доповіді НАН України. – Київ, 2018. – № 3. – С. 87–94.

9. Жирнов П.В. Інженерно-геоморфологічний аналіз правобережжя Канівського водосховища (на прикладі ключової ділянки «Київ-Ржищів»): дис. ... канд. геогр. наук: 11.00.04 «Геоморфологія та палеогеографія» / П.В. Жирнов. – М-во освіти і науки, молоді та спорту України, КНУ ім. Тараса Шевченка. – Київ, 2012. – 212 с.

10. Лялько В.І. Аналіз ґрунтово-ерозійних процесів в Україні на основі застосування даних дистанційного зондування Землі / В.І. Лялько, Л.О. Єлістратова, О.А. Апостолов, В.М. Чехній. – Київ: Вісник НАН України, 2017. – № 10. – С. 34-41.

11. Google Earth: офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://earth.google.com/web/>.

12. Sentinel-hub EO Browser: офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>.