

*Л. І. Давибіда**Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу*

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ І ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ ПЛАТФОРМИ GOOGLE EARTH ENGINE ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ

Метою даного дослідження є оцінка потенціалу застосування платформи Google Earth Engine (GEE) для обробки даних дистанційного зондування Землі при вирішенні різноманітних завдань моніторингу довкілля та для інших галузей прикладної геоінформатики. GEE є відкритою хмарною платформою, що дозволяє здійснювати аналіз і візуалізацію геопросторових наборів даних великого обсягу для наукових, освітніх, громадських, державних і комерційних організацій. GEE надає інструментальні програмні засоби з відкритим кодом для геопросторового аналізу, а також доступ до публічного каталогу растрових і векторних даних, який включає супутникові зображення, дані метеорологічних, геофізичних спостережень, тощо. У даній роботі виконано аналіз структури і функцій платформи, а також можливостей отримання відкритих даних дистанційного зондування, наданих каталогом GEE, для вирішення задач регіонального екологічного моніторингу. Здійснено систематичний огляд актуальних наукових публікацій, який підтвердив широкий спектр застосування даної платформи науковцями різних країн для аналізу навколишнього середовища як у регіональному, так і у глобальному масштабі. Одним із найбільш поширених типів завдань, які реалізуються засобами GEE, є розрахунок нормалізованих диференційних індексів, які використовуються для картографування рослинності, врожаю, земельного покриття, біорізноманіття та моніторингу пожеж, засух та інших негативних природних і техногенних процесів. Для досліджуваної території Карпатського регіону виконано оцінку часового періоду наявних даних спостережень, покриття супутниковими знімками, їх роздільної здатності, дешифрувальних характеристик. За даними багатоканальних космознімків за допомогою редактора коду GEE і мови програмування JavaScript здійснено розрахунок нормалізованих диференційних індексів NDVI, MNDWI, NDBI і виконано візуалізацію отриманих результатів.

Ключові слова: дистанційне зондування Землі, прикладна геоінформатика, хмарні технології, геоінформаційні системи, бази геоданих, нормалізовані диференційні індекси.

Постановка проблеми. В останні десятиліття проблеми, пов'язані із впливом кліматичних змін, природних та антропогенних небезпечних процесів (таких як землетруси, зсуви, повені, засухи, пожежі), набули глобального характеру і потребують постійного вивчення і моніторингу за допомогою спеціального технічного та інформаційного забезпечення. На даний час важливим інформаційним ресурсом є зібрані дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), колекції супутникових космознімків (зокрема історичні архіви даних Landsat, MODIS, Sentinel тощо), роздільна здатність яких є достатньою для наукових досліджень глобального і регіонального масштабів і розробки практичних рекомендацій для прийняття рішень у сфері управління довкіллям і природними ресурсами. Проте використання згаданих баз геоданих потребує не тільки знання предметної області, навиків обробки космознімків, але й наявності спеціальних програмних продуктів (наприклад, ENVI, Erdas Imagine або ArcGIS Image), які, як правило, є дороговартісними і формують високі вимоги до апаратного забезпечення, а отже, потребують суттєвих фінансових вкладень. Останнім часом значний розвиток вільного і відкритого програмного забезпечення і, особливо, хмарних технологій, значно розширили можливості створення, редагування, аналізу, зберігання і публікації просторових даних, а отже, і наукових досліджень у сфері моніторингу навколишнього середовища. Серед програмного забезпечення даного типу слід в першу чергу відзначити Google Earth Engine (GEE), хмарну платформу обробки й аналізу геопросторових даних моніторингу глобального масштабу [1-5].

Постановка завдання. Зміни навколишнього середовища потребують постійного спостереження і аналізу, що, враховуючи обсяги даних моніторингу і специфіку процесів їх обробки, може бути ефективно реалізовано тільки при умові використання ГІС-технологій і хмарних інтернет-сервісів [1-3, 5]. Метою даного дослідження є оцінка потенціалу геопросторових інструментів хмарних обчислень платформи GEE для обробки великих наборів даних ДЗЗ для

вирішення різноманітних завдань моніторингу довкілля та інших галузей прикладної геоінформатики.

Для досягнення поставленої мети виконано такі завдання, як аналіз і систематизація результатів, представлених у наукових публікаціях, присвячених застосуванню GEE, оцінка можливостей та інформаційного супроводу, які надає платформа GEE користувачам і розробникам, створення бази геоданих (геоінформаційного забезпечення першої черги) засобами GEE для тестової території Карпатського регіону, розрахунок найбільш типових нормалізованих диференційних індексів і візуалізація отриманих результатів за допомогою інструментів редактора коду GEE.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. GEE – це хмарна платформа геопросторової обробки та аналізу даних моніторингу навколишнього середовища. Безкоштовна у використанні платформа GEE при умові створення облікового запису користувача надає доступ до петабайт даних дистанційного зондування та інших готових до використання продуктів за допомогою веб-програми Explorer, швидкісних паралельних алгоритмів обробки та машинного навчання з використанням обчислювальної інфраструктури Google і бібліотеки додатків прикладного програмування (API) із середовищами розробки, які підтримують популярні мови кодування, такі як JavaScript та Python. Разом ці основні функції дозволяють користувачам відкривати, аналізувати та візуалізувати великі обсяги геопросторових даних, не потребуючи доступу до суперкомп'ютерів чи спеціалізованого обладнання [1, 2].

Проект Earth Engine був запущений у 2010 році на конференції ООН зі зміни клімату в Канкуні (Мексика) в рамках Лабораторії Google. У той час набір наявних у ньому даних обмежувався колекцією знімків програми дистанційного зондування Землі Landsat, які застосовувалися для глобальної оцінки зміни лісів на планеті. Увагу широкої громадськості GEE привернув у 2013 році, коли в засобах масової інформації почали з'являтися публікації з анімаціями багаторічних змін земної поверхні, що показували динаміку знищення лісів Амазонки, танення льодовиків Аляски, розростання мегаполісів, тощо. Після запуску ще одного проекту, Google Earth Timelapse, у 2016 році інтерес до платформи GEE продовжує зростати. Середовище GEE для програм дистанційного зондування стало одним із найбільш використовуваних світовою науковою спільнотою інструментом дослідження і ухвалення рішень. Безумовно цьому сприяє, той факт, що доступ до платформи і її інструментів є повністю безкоштовним, оскільки головна мета реалізації проекту – це забезпечення науковців та країн світу, що розвиваються, засобами для широкого оперативного розвитку існуючих наукових методів та посилення здатності державних установ і громадянського суспільства краще розуміти, управляти та звітувати про стан природних ресурсів [6-11].

Всього, починаючи з жовтня 2010 року і до жовтня 2020 року, було опубліковано більш, ніж 500 рецензованих статей у виданнях, що індексуються у наукометричних базах Scopus і Web Of Science, тематика яких стосувалася використання GEE у широкому спектрі досліджень екологічного спрямування як на регіональному, так і на глобальному рівні (рис. 1).

Однією із безумовних переваг GEE є виняткова швидкість обчислень і перетворення даних дистанційного зондування у великих масштабах, оскільки обробка проводиться на зовнішніх серверах Google. Платформа пропонує значну кількість наборів даних, які постійно оновлюються і доповнюються (рис. 2). Як вже зазначалося, доступ до всіх каталогів даних є безкоштовним, але потребує реєстрації і активації доступу до Google Earth Engine за допомогою дійсного облікового запису Google.

Результати, представлені у [1, 2] підтверджують, що платформа має суттєвий прогрес у вирішенні глобальних викликів, пов'язаних з опрацюванням великих об'ємів геоданих. При цьому, в абсолютній більшості досліджень (90%) використовувались набори даних дистанційного зондування (у першу чергу, дані Landsat з архівом, що перевищує 40 років), тоді як у 10% проектів застосовувались готові до використання набори даних. Наприклад, дані щодо нормалізованого вегетаційного індексу NDVI були використані у 27% наукових робіт при картографуванні стану рослинності, прогнозуванні врожаю, моніторингу змін земного покриття та засух. Серед найбільш часто використовуваних для обробки супутникових знімків і похідних зображень алгоритмів слід відзначити алгоритми класифікації і машинного навчання [6-11].

Аналіз тенденцій географічної приналежності публікацій результатів досліджень із використанням платформи GEE свідчить про такий їх розподіл: Азія – 34%, Північна Америка – 24%, Африка – 22%, Південна Америка – 8%, Європа – 6%, Австралія – 5%, Антарктида – 1%.

Що стосується України, то станом на початок 2021 року в базі Scopus було проіндексовано 3 статті згаданої тематики, що свідчить про недостатнє приділення уваги даному продукту. Необхідно відзначити роботи авторського колективу Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», який у 2016 році виграв дослідницький грант Google Earth Engine Research Award і став першим університетом України, який долучився до цієї ініціативи компанії Google [12-14]. В рамках даного проекту здійснюється побудова карт земного покриття для великих площ із використанням злиття оптичних на радіолокаційних супутникових даних засобами платформи GEE. Крім того, зростає інтерес українських дослідників до можливостей використання GEE і в інших сферах, зокрема для класифікації лісового покриття [15], вивчення виникнення і поширення лісових пожеж [16], аналізу хмарності [17], підвищення просторового розрізнення космознімків [18].

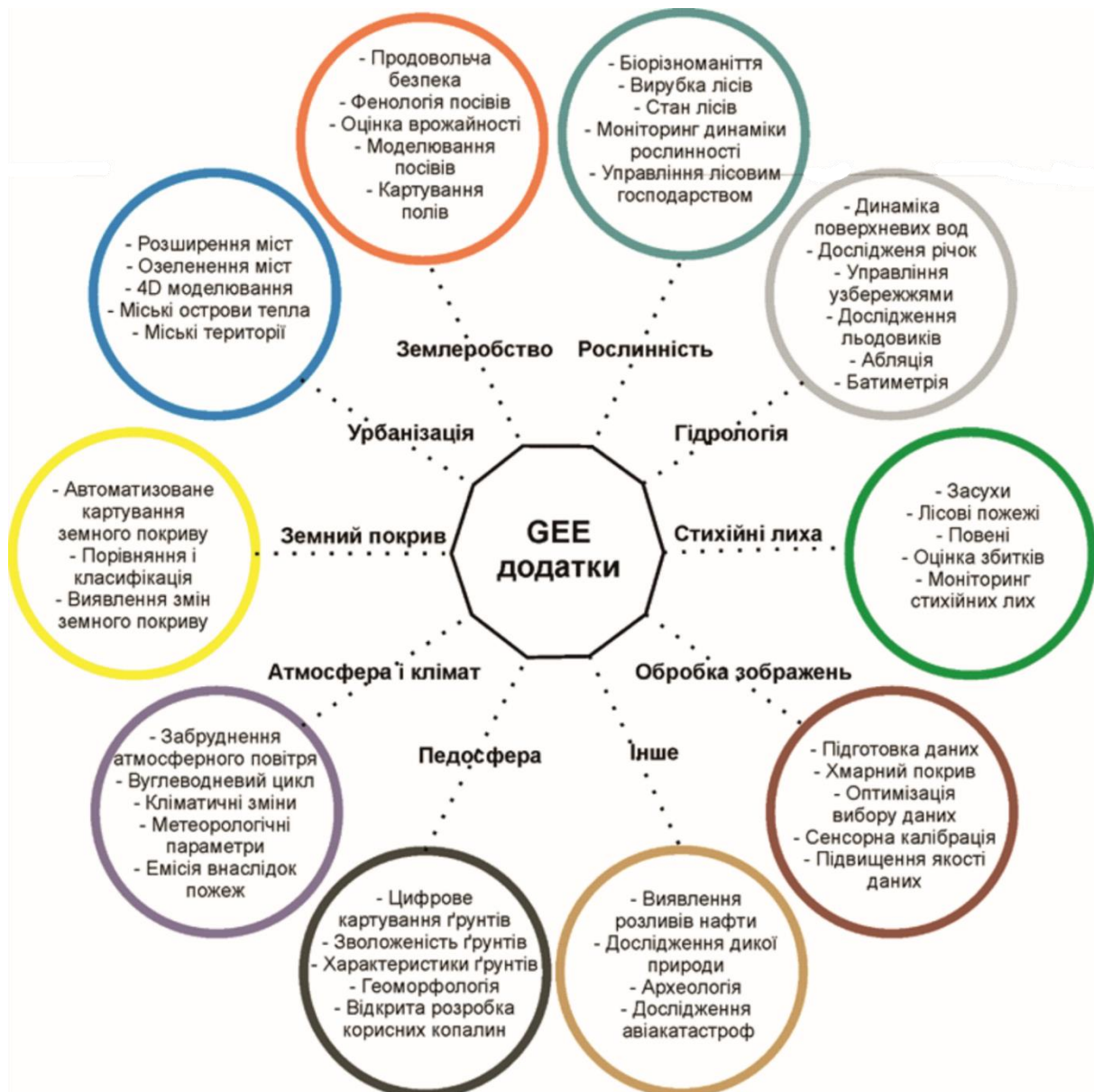


Рис. 1. Тематичні категорії розроблених на основі GEE програмних додатків, результати застосування яких описані в наукових публікаціях (за даними, наведеними в [1])

Враховуючи функціональні можливості і вільний доступ, доцільність широкого впровадження GEE як для вирішення науково-прикладних, так і освітніх завдань, є очевидною. Зокрема, вивчення даної платформи є перспективним для включення до освітніх програм таких спеціальностей, як 193 «Геодезія та землеустрій», 101 «Екологія», 103 «Науки про Землю», 106 «Географія», для забезпечення таких програмних результатів навчання, передбачених відповідними стандартами вищої освіти [19]:

- збір, оцінка, інтерпретація та використання геопросторових даних, метаданих щодо об'єктів природного і техногенного походження, застосування статистичних методів їхнього аналізу для розв'язання спеціалізованих задач у сфері геодезії та землеустрою;
- вибір і застосування інструментів, обладнання, устаткування та програмного забезпечення, які необхідні для дистанційних досліджень у сфері геодезії та землеустрою;
- організація та виконання дистанційних робіт у сфері геодезії та землеустрою, оформлення результатів робіт;
- розробка документації із землеустрою, кадастрової документації і документації з оцінки земель із застосуванням комп'ютерних технологій, геоінформаційних систем та цифрової фотограмметрії, наповнення даними державного земельного, містобудівного та інших кадастрів;
- використання інформаційних технологій, картографічних та геоінформаційних моделей у галузі географічних наук;
- збір, обробка та аналіз інформації в області географічних наук;
- вміння використовувати сучасні інформаційні ресурси з питань екології, природокористування та захисту довкілля;
- вміння оцінювати ландшафтне і біологічне різноманіття та аналізувати наслідки антропогенного впливу на природні середовища;
- аналіз складу і будови геосфер (у відповідності до спеціалізації) на різних просторово-часових масштабах.



Рис. 2. Основні категорії наборів даних каталогу GEE (доступ за адресою <https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog>)

Виклад основного матеріалу дослідження. Загалом платформа GEE складається з наступних трьох складових:

- 1) провідник (GEE Explorer), який дозволяє переглядати дані спостережень, а також імпортувати власні дані, виконувати нескладні аналітичні операції авторизованим користувачам;
- 2) відео-каталоги просторово-часових даних (GEE Timelapse), що дозволяють переглянути, як змінювалась поверхня Землі протягом останніх 40 років;
- 3) редактор коду (GEE Code Editor), функції якого розроблені для того, щоб спростити та швидко виконувати складні геопросторові робочі процеси, і є доступними після безкоштовної реєстрації і створення акаунту розробника.

Інтерфейс редактора коду складається з таких основних функціональних елементів (рис. 3):

- 1) відображення карти для візуалізації наборів геопросторових даних;
- 2) редактор коду JavaScript;
- 3) менеджер шарів;
- 4) пошук даних або збережених скриптів;
- 5) менеджер скриптів на основі Git;
- 6) документація Application Programming Interface (API);
- 7) менеджер об'єктів;
- 8) інструменти для створення геометричних примітивів;
- 9) масштабування;
- 10) створення лінку (URL) для скрипта;
- 11) збереження;
- 12) компіляція;
- 13) диспетчер завдань;
- 14) вивід консолі;
- 15) запит на інтерактивну карту;
- 16) довідка;
- 17) зворотній зв'язок.

Для вирішення завдань даного дослідження першочергово у середовище GEE був завантажений полігональний векторний шар формату SHP, який відображає територію Карпатського регіону України.

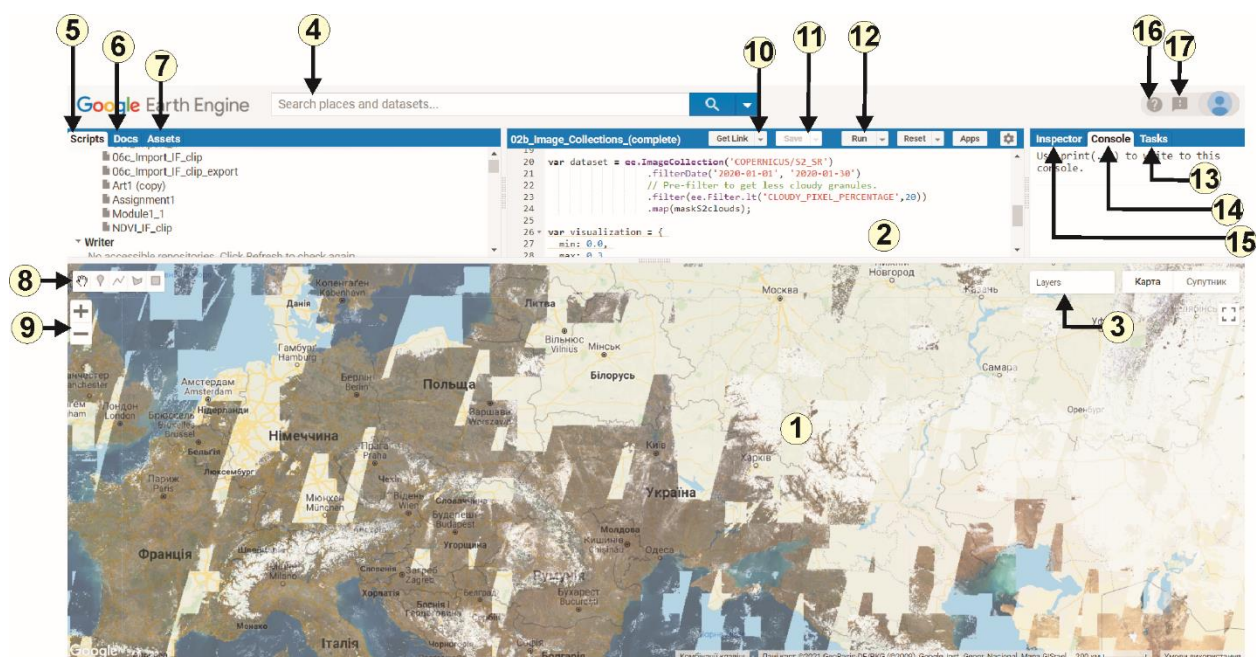


Рис. 3. Інтерфейс редактора коду GEE (доступний за адресою code.earthengine.google.com)

У межах Карпатського регіону, який включає Закарпатську, Івано-Франківську, Львівську та Чернівецьку області площею 5660,7 тис. га (9,4% території держави), зосереджено 22% лісів, 26% земель природно-заповідного фонду, формується 36% водних ресурсів річкового стоку, розташовано 42% родовищ підземних мінеральних вод. Для даної території притаманна низка несприятливих природно-господарських особливостей: низькі питомі показники забезпечення орними землями, погіршена транспортна доступність, ускладнені для господарювання кліматичні й гідрологічні умови. У Карпатському регіоні спостерігається активізація екологічно несприятливих явищ – загрозливих і катастрофічних паводків, ерозії ґрунтів, забруднення поверхневих і підземних вод, вітровалів, ураження лісів шкідниками та хворобами. Не оптимальною через значне зменшення покритої лісом площі є структура земельного фонду. Разом з тим, Карпатський регіон володіє вагомим потенціалом для досягнення цілей сталого розвитку. Метою політики збереження, відтворення та ефективного використання природних ресурсів Карпатського регіону є збалансування та оптимізація використання природних ресурсів, відтворення природних екосистем, підтримка їх цілісності, покращення екологічної ситуації для забезпечення гармонійного розвитку і підвищення якості життя населення регіону [20]. Для досягнення зазначеної мети є необхідним моніторинг компонентів навколишнього середовища із залученням сучасних ГІС і ДЗЗ-технологій. На практиці [7, 8, 10, 11, 13] для контролю параметрів рослинності, а також інших природних компонентів найчастіше застосовуються спектральні індекси, для розрахунку яких використовують відповідні формули (1-3).

Спектральні індекси зображень – це зображення, отримані з багатоканальних знімків, які допомагають більш чітко виявити певне явище, пом'якшуючи дію інших факторів, які приховують досліджуваний ефект у багатоканальному зображенні. Ці індекси часто створюються шляхом комбінування, додавання і видалення каналів, які знаходяться в певних частинах електромагнітного спектра. Різні об'єкти довкілля, такі як, наприклад, рослинність, вода або ділянки, що постраждали від пожеж, по-різному реагують на різні світлові хвилі. Спектральні індекси використовують ці особливості для отримання цієї конкретної інформації із застосування математичних операцій принаймні до двох хвиль різного діапазону. Найчастіше ці математичні операції ґрунтуються на нормалізованій різниці типу $(a-b)/(a+b)$. Результати розрахунків є безрозмірними величинами і коливаються в межах від -1 до +1, залежно від характеристик земного покриття досліджуваної території. Одним з основних способів використання цих індексів є порівняння одного і того ж об'єкта (території) на множині зображень за визначений період часу.

Для території розглянутого регіону у середовищі GEE за допомогою The Earth Engine API/JavaScript здійснено розрахунок нормалізованих диференційних індексів NDVI, MNDWI, NDBI, які використовуються для аналізу основних типів земного покриття (рослинність, водойми, забудовані території), за даними багатоканальних космознімків Landsat 8 OLI/TIRS із роздільною здатністю 30 м. Опрацьовані набори даних мають глобальне покриття і містять космознімки, отримані з квітня 2014 року і по даний час із частотою оновлення 16 днів. Картографічні зображення було згенеровано на основі обробки даних спостережень 2020 року шляхом фільтрування результатів моніторингу за часовим періодом, допустимим відсотком хмарності (<10%), визначення відповідних медіанних значень яскравості і значень спектральних індексів для кожного пікселя. Часові ряди можуть бути отримані у вигляді відповідних графіків і числових вибірок даних для відповідних точок або полігонів (населених пунктів, районів, об'єднаних територіальних громад тощо), заданих користувачем (рис. 4-6).

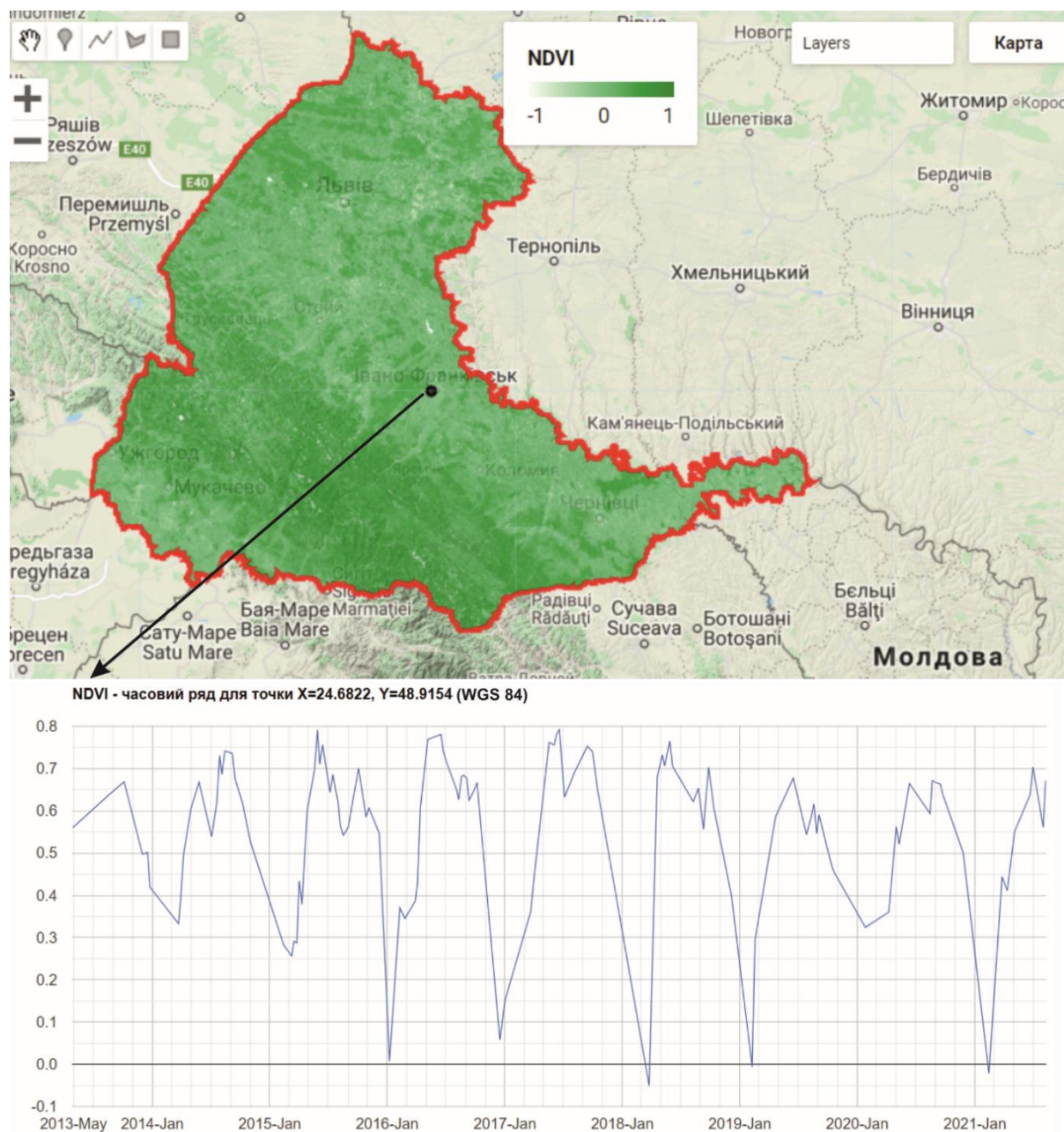


Рис. 4. Узагальнена станом на 2020 рік карта NDVI для Карпатського регіону і ряд динаміки індексу за весь період спостережень для локального пункту спостережень (м. Івано-Франківськ, район міського озера)

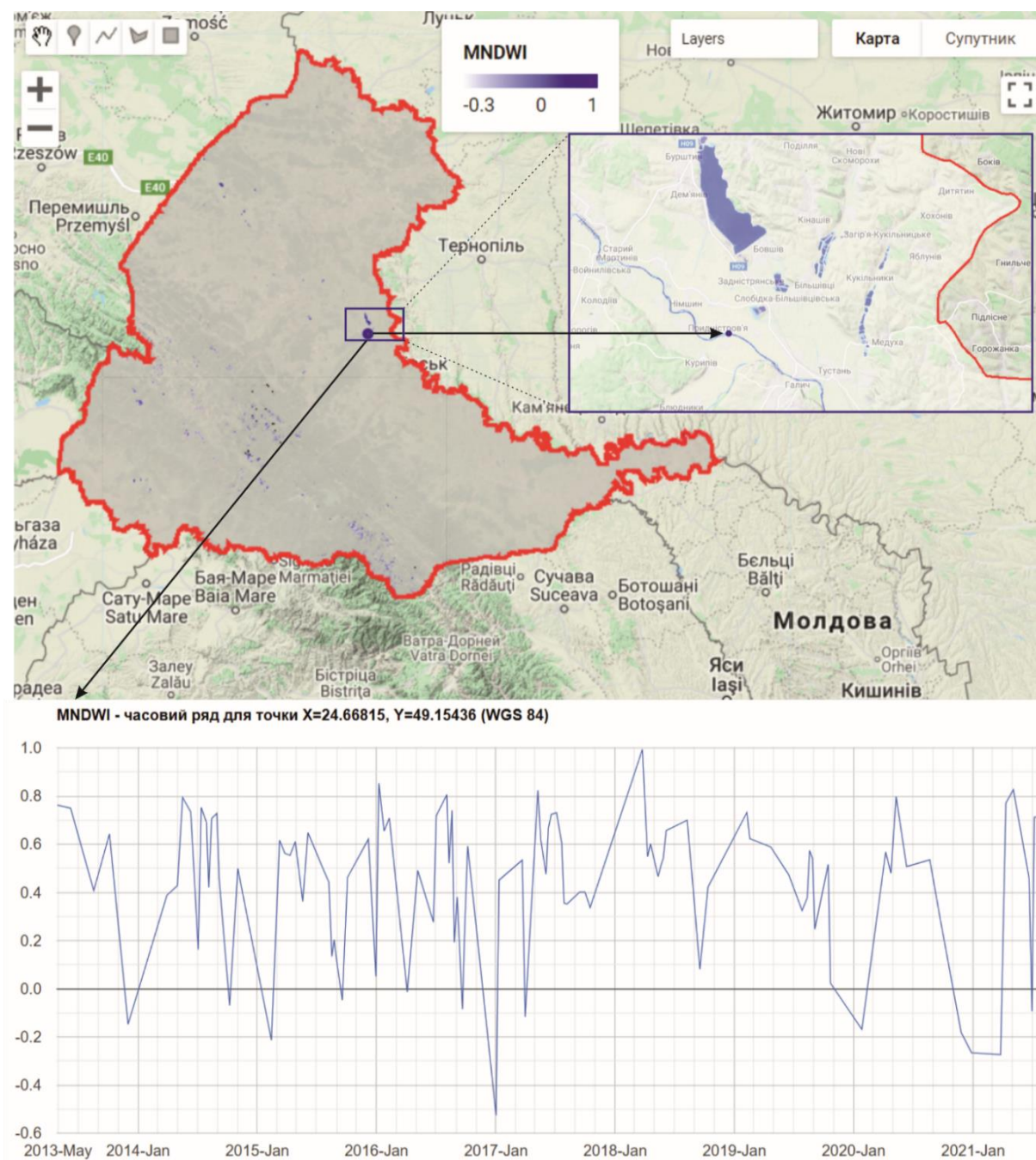


Рис. 5. Узагальнена станом на 2020 рік карта MNDWI для Карпатського регіону і ряд динаміки індексу за весь період спостережень для локального пункту спостережень (Івано-Франківська область, с. Придністров'я, заплава р. Дністер)

Першочергово був обчислений нормалізований диференціальний вегетаційний індекс *NDVI* (Normalized Difference Vegetation Index) (рис. 4):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

де *NIR* – відбиття в ближньому інфрачервоному діапазоні спектру з довжиною хвилі в межах 0,84-0,88 нм, що для Landsat 8 OLI/TIRS відповідає каналу B5; *RED* – відбиття в червоному діапазоні спектру з довжиною хвилі в межах 0,64-0,67 нм, що для Landsat 8 OLI/TIRS відповідає каналу B4.

NDVI часто використовується для моніторингу посухи, прогнозування сільськогосподарського виробництва, ризику виникнення пожеж, опустелювання. Даний індекс вважається кращим для глобального моніторингу рослинності, оскільки він дозволяє компенсувати мінливість умов освітлення, нахилу поверхні, експозиції та інших зовнішніх чинників. Загалом, *NDVI* – це показник стану здоров'я рослин, оснований на їх здатності відбивати світло певних частот. Діапазон значень індексу – від -1 до 1, де негативні значення відповідають в

основному хмарам, водним об'єктам та сніговому покриву, значення, близькі до нуля, характерні для відслонень гірських порід, оголеного ґрунту, урбанізованих територій, значення від 0,2 до 0,3 представляють чагарники та луки, а від 0,6 до 0,8 і більше вказують на лісову рослинність.

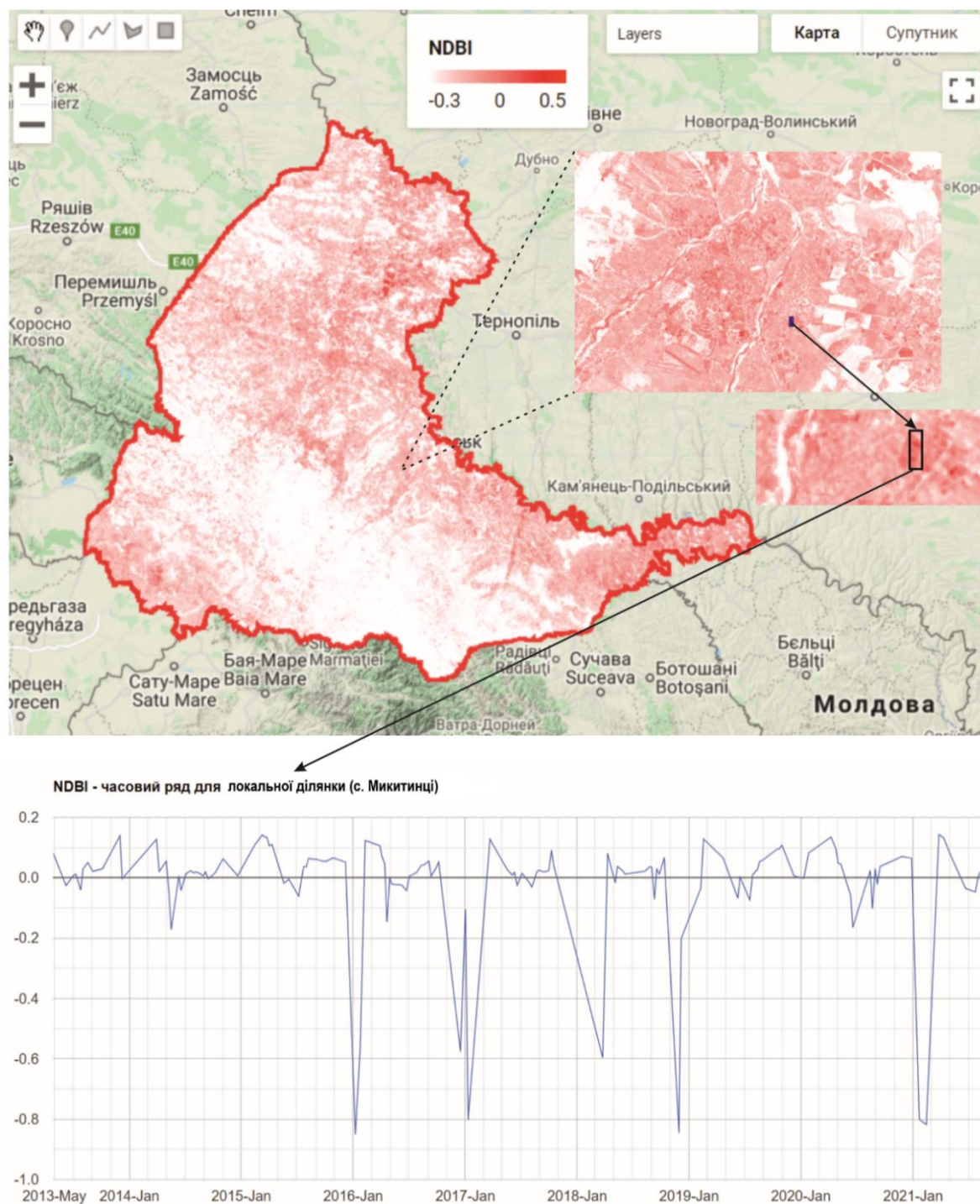


Рис. 6. Узагальнена станом на 2020 рік карта NDBI для Карпатського регіону і ряд динаміки осереднених значень індексу за весь період спостережень для локальної забудованої ділянки (Івано-Франківська область, с. Микитинці)

Модифікований нормалізований диференційований водний індекс *MNDWI* (Modified Normalized Difference Water Index) (рис. 5), дозволяє досить точно ідентифікувати водні об'єкти, зменшуючи вплив забудованих територій, які часто корелюють із відкритими водними поверхнями, класифікованими на основі інших спектральних індексів. Даний індекс визначається за аналогією з *NDVI* як:

$$MNDWI = \frac{GREEN - SWIR1}{GREEN + SWIR1}, \quad (2)$$

де *GREEN* – відбиття в зеленому діапазоні спектру з довжиною хвилі в межах 0,53-0,59 нм, що для Landsat 8 OLI/TIRS відповідає каналу B3; *SWIR1* – відбиття в короткохвильовому інфрачервоному діапазоні спектру з довжиною хвилі в межах 1,57-1,65 нм, що для Landsat 8 OLI/TIRS відповідає каналу B6.

MNDWI використовується як для аналізу динаміки водних об'єктів, визначення площ водного дзеркала, моніторингу затоплення і підтоплення ґрунтовими водами, так і для прогнозування засух, оцінки ризику виникнення лісових пожеж, оскільки його значення є чутливими до вмісту вологи у рослинності та ґрунтах. Результати обчислення *MNDWI* можуть змінюватися в межах від -1 до +1, відповідно високі значення індексу дозволяють виконати класифікацію і картування відкритих водних поверхонь.

Нормалізований диференційний індекс забудови *NDBI* (Normalized Difference Built-Up Index) (рис. 6) дозволяє зробити більш контрастними забудовані території і оснований на співвідношенні, що пом'якшує вплив атмосферних явищ і різного рівня освітлення місцевості:

$$NDBI = \frac{SWIR1 - NIR}{SWIR1 + NIR}, \quad (3)$$

NDBI аналогічно до попередніх спектральних індексів може набувати значень у діапазоні від -1 до +1, причому вищі додатні значення характерні для територій із більшою щільністю забудови. Даний індекс широко використовується для картування типів земного покриття, моніторингу урбанізації, трансформації природних ландшафтів тощо. Від'ємні значення (< -0,5) даного індексу відображають водні об'єкти, або підвищений рівень зволоження, що також може бути використане для контролю витоків із комунальних мереж і підтоплення забудованих територій.

Висновки та перспективи досліджень. Google Earth Engine (GEE) представляє собою хмарну технологічну геоінформаційну платформу, яка дозволяє відстежувати та аналізувати зміни в навколишньому середовищі у планетарних масштабах, використовуючи мультипетабайтний каталог даних спостережень. Платформа надає користувачам внутрішньо-паралельний обчислювальний доступ до тисяч комп'ютерів у центрах обробки даних Google. Наразі GEE розміщує в Інтернеті історичні архіви зображень Landsat, MODIS, Sentinel, які щоденно оновлюються. Платформа підтримує створення просторових і часових мозаїк, композицій космознімків, фільтрацію для видалення хмар і прогалів на супутникових знімках, а також обчислення і картування різноманітних спектральних індексів. GEE також включає основу програмування прикладних програм, Application Programming Interface (API), яка дозволяє вченим отримувати безпрецедентний доступ до обчислювальних ресурсів та даних, застосовувати існуючі алгоритми або розробляти нові без необхідності зберігання локальних даних або встановлення додаткового програмного забезпечення. GEE швидко стає одним з найбільш використовуваних інструментів у науковій спільноті для вирішення завдань, пов'язаних із даними дистанційного зондування, про це свідчить значна кількість публікацій у рецензованих виданнях. Поєднання наукових підходів із величезними обсягами даних і технологічними хмарними ресурсами надає переваги швидкості обчислень, простоти у використанні та співпраці при проведенні досліджень у сферах картографування змін клімату і земного покриття, моніторингу лісів і сільськогосподарських культур, деградації природних ландшафтів, виявлення змін поверхні землі внаслідок урбанізації, вивчення і прогнозування стихійних лих тощо.

Прикладом використання можливостей GEE для вирішення задач моніторингу регіонального рівня є виконана в даній роботі обробка результатів довгострокових дистанційних спостережень Landsat 8, за допомогою якої вперше для території Карпатського регіону реалізовано методику обчислення нормалізованих диференційних індексів *NDVI*, *MNDWI* і *NDBI*, що характеризують відповідно параметри рослинності, водних об'єктів і урбанізованих територій, та сформовано геоінформаційну базу просторово-часових даних, що вміщує як первинні структуровані дані ДЗЗ, так і похідні результати обчислень із просторовою роздільною здатністю 30×30 м і 14-денним кроком часових рядів. GEE дозволяє виконати візуалізацію отриманих результатів шляхом побудови карт на задані розробником дату чи часовий період або у вигляді впорядкованих вибірок числових даних (часових рядів) і їх графіків для обраної користувачем локальної точки, ділянки, населеного пункту, тощо. Крім того, розроблені з використанням інструментів API JavaScript у середовищі GEE оригінальні програмні модулі дають змогу здійснювати постійну автоматизовану актуалізацію даних, виконувати експорт отриманих результатів у вигляді геопросторових шарів у ГІС-середовище (QGIS, ArcGIS тощо).

Отримані результати є актуальними для вирішення проблем екологічної безпеки досліджуваного регіону, обумовлених проявами катастрофічних метеокліматичних явищ, розвитком небезпечних екзогенних геологічних процесів, неконтрольованою вирубкою лісів, непродуманою забудовою, нагромадженням побутових відходів, оскільки дозволяють здійснювати регулярне оновлення і систематизацію даних моніторингу стану рослинності, водних об'єктів, забудованих територій. Такі структуровані дані є основою для подальшого більш глибокого аналізу просторово-часової мінливості параметрів довкілля досліджуваної території Карпатського регіону, вивчення взаємозв'язку динаміки нормалізованих диференційних індексів, як числових характеристик факторів впливу, із режимом розвитку і активізації небезпечних природно-техногенних процесів. У першу чергу, перспективи використання отриманих наборів геопросторових шарів нормалізованих диференційних індексів пов'язані із необхідністю актуалізації і вдосконалення геоінформаційних моделей і систем регіонального просторового прогнозування зсувів, селів, карсту, підтоплення для територій Карпатського регіону.

Література

- 1 Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. // *Remote Sens. Environ.* – 2017. – № 202. – 18–27.
- 2 Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine/ Zhao Q., Yu L., Li X., Peng D., Zhang Y., Gong, P. // *Remote Sens.* – 2021. – № 13. – 3778 p. doi.org/10.3390/rs13183778
- 3 Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review / M. Amani et al. // *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing.* – 2020. – № 13. – 5326-5350. doi: 10.1109/JSTARS.2020.3021052
- 4 Kumar L. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential / L. Kumar, O. Mutanga // *Remote Sens.* – 2018. – № 10. – 1509 p.
- 5 Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review/ Tamiminia H., Salehi B., Mahdianpari M., Quackenbush L., Adeli S., Brisco, B.// *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* – 2020. – № 164. – pp. 152-170. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001
- 6 An Operational Before-After-Control-Impact (BACI) Designed Platform for Vegetation Monitoring at Planetary Scale / Poortinga A., Clinton N. and others. // *Remote Sens.* – 2018. – № 10. – 760 p.
- 7 Mapping Vegetation and Land Use Types in Fanjingshan National Nature Reserve Using Google Earth Engine/ Tsai Y.H., Stow D. and others. // *Remote Sens.* 2018. – № 10. – 927 p.
- 8 A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform/ Chen B. and others // *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.* – 2017. – № 131. – pp. 104–120. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.011
- 9 A large-scale change monitoring of wetlands using time series Landsat imagery on Google Earth Engine: a case study in Newfoundland. / Mahdianpari M., Jafarzadeh H., Granger J., Mohammadimanesh F., Brisco, B., Salehi B., Homayouni S. // *GIScience & Remote Sensing.* – 2020. – 57(8). – pp. 1102-1124. doi: 10.1080/15481603.2020.1846948
- 10 Ballanti L. K. Remote Sensing for Wetland Mapping and Historical Change Detection at the Nisqually River Delta / Ballanti L. K., Byrd I., Woo and C. Ellings // *Sustainability.* – 2017. – № 9. – P. 1919. doi:10.3390/su9111919
- 11 Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine / Zurqani, H.A., Post, C.J., Mikhailova, E.A., Schlautman, M.A., Sharp, J.L. // *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* – 2018. – № 69. – pp. 175–185.
- 12 Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping / Shelestov A., Lavreniuk M., Kussul N., Novikov A., & Skakun S. // *Frontiers in Earth Science.* – 2017. – № 5. – 17. doi.org/10.3389/feart.2017.00017
- 13 Kussul N. Crop inventory at regional scale in Ukraine: developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and SAR satellite imagery / Kussul N., Lavreniuk M., Shelestov, A., & Skakun, S. // *European Journal of Remote Sensing.* – 2018. – 51 (1). – pp. 627-636.
- 14 Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data / Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., & Shelestov, A. // *IEEE Geoscience and Remote Sensing*

Letters. – 2017. – 14(5). – pp. 778–782.

15 Миронюк В. В. Класифікація лісового покриву за сезонними композитними мозаїками Landsat / В. В. Миронюк // Науковий вісник НЛТУ України. – 2018. – 28(1). – С. 28–33.

16 Зібцев С. В. Просторово-часовий розподіл пожеж у природних ландшафтах Рівненської області / С. В. Зібцев, В. В. Миронюк, О. М. Сошенський, М. С. Корень, В. А. Корень // Науковий вісник НЛТУ України. – 2019. – 29(6). – С. 18-23.

17 Бородатий П. А. Геоінформаційна технологія аналізу хмарності на території Західної України з використанням супутникових зображень / П. А. Бородатий, Р. А. Бунь // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Серія: Інформаційні системи та мережі. – 2018. – № 887. – С. 31–42.

18 Zyelyk Ya. I. Enhancement of the spatial resolution of the land surface thermal field imagery based on the multispectral data coupling from various space systems / Ya. I. Zyelyk, S. V. Chornyy and L. V. Pidgorodetska // 19th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Retrieved from www.scopus.com.

19 Затверджені стандарти вищої освіти (2021). веб-сайт. URL: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/naukovo-metodichna-rada-ministerstva-osviti-i-nauki-ukrayini/zatverdzeni-standarti-vishoyi-osviti> (дата звернення: 23.09.2021).

20 Карпатський регіон: актуальні проблеми та перспективи розвитку; Том 1. Екологічна безпека та природно-ресурсний потенціал / наук. ред. В.С. Кравців// НАН України. Інститут регіональних досліджень – Львів. – 2013. – 336 с.

L. Davybidia

*Ivano-Frankivsk National
Technical University of Oil and Gas*

ANALYSIS OF CAPABILITIES AND EXPERIENCE OF USING GOOGLE EARTH ENGINE PLATFORM FOR ENVIRONMENTAL MONITORING CHALLENGES

The purpose of the study is to assess the potential of using the Google Earth Engine (GEE) platform for processing the Earth remote sensing data in solving various problems of environmental monitoring and in other areas of applied geoinformatics. GEE is an open cloud platform that allows performing the analysis and visualization of large-scale geospatial datasets for scientific, educational, public, governmental and commercial organizations. GEE provides open-source tools for geospatial analysis, as well as access to a public catalogue of raster and vector data, which includes satellite images, meteorological, geophysical observation data, etc. In the paper, the structure and functions of the platform were analyzed, as well as the possibilities of obtaining open data of remote sensing provided by the GEE catalogue for the regional environmental monitoring problems solution. A systematic review of the current scientific publications was carried out, which confirmed the wide range of applications of the platform by the scientists from different countries to analyze the environment both regionally and globally. One of the most common types of tasks implemented by GEE is the calculation of normalized difference indices used for mapping vegetation, crops, land cover, biodiversity and monitoring of fires, droughts and other negative natural and man-made processes. For the studied territory of the Carpathian region, an assessment of the time period of the available observation data, coverage of satellite images, their spatial resolution, decoding characteristics was performed. According to the data of multi-channel space images, the normalized difference indices NDVI, MNDWI, NDBI were calculated using the GEE code editor and JavaScript programming language, and the obtained results were visualized.

Key words: Earth remote sensing, applied geoinformatics, cloud technologies, geoinformation systems, geodatabases, normalized difference indices.

References

1 Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone / Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R. // Remote Sens. Environ. – 2017. – № 202. – 18–27.

2 Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine/ Zhao Q., Yu L., Li X., Peng D., Zhang Y., Gong, P. // Remote Sens. – 2021. – № 13. – 3778 p. doi.org/10.3390/rs13183778

3 Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review / M. Amani et al. // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth

Observations and Remote Sensing. – 2020. – № 13. – 5326-5350. doi: 10.1109/JSTARS.2020.3021052

4 Kumar L. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential / L. Kumar, O. Mutanga // Remote Sens. – 2018. – № 10. – 1509 p.

5 Google Earth Engine for geo-big data applications: A meta-analysis and systematic review/ Tamiminia H., Salehi B., Mahdianpari M., Quackenbush L., Adeli S., Brisco, B.// ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2020. - № 164. – pp. 152-170. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.04.001

6 An Operational Before-After-Control-Impact (BACI) Designed Platform for Vegetation Monitoring at Planetary Scale / Poortinga A., Clinton N. and others. // Remote Sens. –2018. – №10. – 760p.

7 Mapping Vegetation and Land Use Types in Fanjingshan National Nature Reserve Using Google Earth Engine/ Tsai Y.H., Stow D. and others. // Remote Sens. 2018. –№ 10. – 927 p.

8 A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine cloud computing platform/ Chen B. and others // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. – 2017. – № 131. – pp. 104–120. doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2017.07.011

9 A large-scale change monitoring of wetlands using time series Landsat imagery on Google Earth Engine: a case study in Newfoundland. / Mahdianpari M., Jafarzadeh H., Granger J., Mohammadimanesh F., Brisco, B., Salehi B., Homayouni S. // GIScience & Remote Sensing. – 2020. – 57(8). – pp. 1102-1124. doi: 10.1080/15481603.2020.1846948

10 Ballanti L. K. Remote Sensing for Wetland Mapping and Historical Change Detection at the Nisqually River Delta / Ballanti L. K., Byrd I., Woo and C. Ellings // Sustainability. – 2017. – № 9. – P. 1919. doi:10.3390/su9111919

11 Geospatial analysis of land use change in the Savannah River Basin using Google Earth Engine / Zurqani, H.A., Post, C.J., Mikhailova, E.A., Schlautman, M.A., Sharp, J.L. // Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. – 2018. – № 69. – pp. 175–185.

12 Exploring Google Earth Engine Platform for Big Data Processing: Classification of Multi-Temporal Satellite Imagery for Crop Mapping / Shelestov A., Lavreniuk M., Kussul N., Novikov A., & Skakun S. // Frontiers in Earth Science. – 2017. – № 5. – 17. doi.org/10.3389/feart.2017.00017

13 Kussul N. Crop inventory at regional scale in Ukraine: developing in season and end of season crop maps with multi-temporal optical and SAR satellite imagery / Kussul N., Lavreniuk M., Shelestov, A., & Skakun, S. // European Journal of Remote Sensing. – 2018. – 51 (1). – pp. 627-636.

14 Deep Learning Classification of Land Cover and Crop Types Using Remote Sensing Data / Kussul, N., Lavreniuk, M., Skakun, S., & Shelestov, A. // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. – 2017. – 14(5). – pp. 778–782.

15 Myroniuk V. V Forest Cover Mapping Using Landsat-Based Seasonal Composited Mosaics/ V. V. Myroniuk // Scientific Bulletin of UNFU. – 2018. – 28(1). – pp. 28–33.

16 Zibtsev S. V. Wildfire regimes of natural landscapes of the Rivne region of Ukraine / Zibtsev, S. V., Myroniuk, V. V., Soshenskyi, O. M., Koren, M. S., & Koren, V. A. // Scientific Bulletin of UNFU. - 2019. – 29(6). - pp. 18-23.

17 Borodatyi P. Geoinformation technology for cloudiness analysis on the territory of western Ukraine using satellite images / Petro Borodatyi, Rostyslav Bun // Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Serie: Informatsiini systemy ta merezhi. – Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniky, 2018. – № 887. – P. 31–42.

18 Zyelyk Ya. I. Enhancement of the spatial resolution of the land surface thermal field imagery based on the multispectral data coupling from various space systems / Ya. I. Zyelyk, S. V. Chornyy and L. V. Pidgorodetska // 19th International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Retrieved from www.scopus.com.

19 Approved standards of higher education (2021). website. URL: <https://mon.gov.ua/ua/osvita/visha-osvita/naukovo-metodichna-rada-ministerstva-osviti-i-nauki-ukrayini/zatverdzeni-standarti-vishoyi-osviti> (date of access: 23.09.2021).

20 Carpathian region: current issues and prospects for development; Volume 1. Ecological safety and natural resource potential/ Science editor V. S. Kravtsiv /// NAS of Ukraine. Institute for Regional Studies. – Lviv, 2013. – 336 p.