



УДК 542-86

<https://doi.org/10.31713/ve420235>

JEL: F59, I23, O33

Бабич С. В. [1; ORCID ID: 0000-0002-8669-7288],

к.т.н., здобувач вищої освіти другого (магістерського) рівня,

Тихончук Л. Х. [1; ORCID ID: 0000-0001-6807-8232],

д.н. з держ.упр., доцент

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ГЛОБАЛЬНА ІНІЦІАТИВА BIG DATA EARTH: ПЛАНЕТАРНА ДІДЖИТАЛІЗАЦІЯ

Діджиталізація в Україні є відголоском аналогічного процесу планетарного масштабу – глобальної ініціативи Big Data Earth. За два десятиліття, в цифровому аспекті, Земля перейшла в новий етап, що характеризується «Великими Даними Землі», що ініціює як нові виклики так й нові можливості.

В статті надано огляд розвитку глобальної ініціативи Big Data Earth, підсумовуючи досягнення досліджень, обговорюються можливості та виклики, з якими стикаються в межах ініціативи. Як саме підхід до наукових досліджень з інтенсивним використанням даних, в межах глобальної ініціативи Big Earth Data, надають нове бачення та методологію наукам про Землю. Визначено переваги «Великих даних» про Землю у сфері дослідженні глобальних змін. Оцінено тенденцію розвитку цифрової Землі.

Ключові слова: цифрова земля; великі дані; наука з інтенсивними даними; діджиталізація; глобальні зміни; міжнародні відносини.

Постановка проблеми. З початку другої промислової революції кількість носіїв даних практично подвоювалася кожне десятиліття. Вступаючи в епоху інформації, сховища даних подвоювалися кожні три роки. У двадцять першому столітті швидкий розвиток мереж і обчислень уможливив появу «великих» даних без просторових і часових обмежень. Дані можуть бути «великими» різними способами [1]. Міжнародна корпорація даних визначає великі дані як «нове покоління технологій та архітектури, призначених для економічного вилучення цінності з дуже великих обсягів різноманітних даних, забезпечуючи швидке захоплення, відкриття та/або аналіз». Узагальнено [2] великі дані як набір даних, який «перевищує доступність зазвичай використовуваних апаратних середовищ і програмних інструментів для збору, керування та обробки в межах допустимого часу, що минув для популяції користувачів». Визначено [3] великі дані як «набори даних, розмір яких перевищує здатність

типових програмних інструментів баз даних для збору, зберігання, керування та аналізу», великі дані просто «занадто великі, щоб з ними розумно оброблятися за допомогою сучасних/традиційних технологій» [4].

Передбачається, що до 2020 року обсяг даних у всьому світі зросте до 40 трильйонів гігабайт, подвоюючись кожні два роки [5]. Дослідження показують, що близько 80% даних пов'язані з просторовим розташуванням [6]. Відтоді як півстоліття тому було запущено перший супутник спостереження Землі, в усьому світі їх було запущено понад 510 для комплексного спостереження. Розроблено супутники спостереження Землі зі значно вищою просторовою та спектральною роздільною здатністю, відповідно зростає швидкість передачі даних і ємність зберігання [7]. Обсяг даних дистанційного зондування, створених бортовими та космічними датчиками, зростає зі швидкістю терабайт на день, а один набір даних може досягати гігабайта. За статистикою, у 2013 році в архіві Системи даних та інформації про Землю NASA міститься 7,5 ПБ даних [8]. До 2014 року лише для Європейського космічного агентства обсяг даних спостереження Землі перевищив 1,5 ПБ [9]. Крім того, Web 2.0, мобільні пристрої, участь громадян і краудсорсинг стали ще одним потоком у зборі соціально-економічних даних, пов'язаних із географією, з розвитком мереж [10]. Дані мережевих сенсорів на місці, дані відстеження GPS з мобільних пристроїв, дані геосоціальних мереж і краудсорсингові чи добровільні дані географічної інформації сприяють збільшенню даних [11].

Як приклад великих даних у галузі наук про Землю, Digital Earth виявилася комплексною системою для організації, аналізу, моделювання, представлення та аналізу даних із системи Земля та створення з них знань. Концепція «великих даних про Землю», спочатку висунута як новий етап цифрової Землі була далі визначена [12] як великі дані, отримані за допомогою засобів спостереження (наприклад, космічні, повітряні та наземні датчики).

Поява великих даних дала новий імпульс дослідженню цифрової Землі, як було підкреслено на шостому саміті Digital Earth Summit під темою «Цифрова Земля в еру великих даних». Саміт, організований Міжнародним товариством цифрової Землі (ISDE), був скликаний у Пекіні, Китай, у 2016 році. Він залучив експертів до обговорення прогресу в технологіях і застосуванні цифрової Землі в контексті великих даних. Це була нагода проаналізувати розвиток науки та технологій цифрової Землі та подивитись на нові етапи в майбутньому.



1. Розвиток Digital Earth

Досягнення Digital Earth. Digital Earth – це глобальна ініціатива, спрямована на використання даних та інформаційних ресурсів Землі для кількісного опису та представлення планети, а також для моніторингу, вимірювання та прогнозування природної та людської діяльності на Землі. Висунуте в 1998 році бачення цифрової Землі було сформульовано як тривимірне візуальне представлення Землі з різною роздільною здатністю, яке допоможе людству скористатися перевагами географічної інформації про фізичне та соціальне середовище [13]. Після цього цифрова Земля отримала більшу увагу в наукових і соціальних спільнотах [14–18].

Цифрове дослідження Землі. Керуючись різними вимогами, такими як служби інформації про місцезнаходження в Інтернеті, регіональний сталий розвиток, безпека, прийняття рішень, наукові дослідження системи Землі та глобальні зміни, цифрові системи Землі розвивалися та зріли, маючи відмінні риси. Згідно з різними дослідницькими цілями, систему Digital Earth можна розділити на три категорії: (I) комерційні платформи на основі визначення місця розташування; (II) наукові платформи, засновані на науках про систему Землі; (III) громадські платформи, орієнтовані на регіональний сталий розвиток і підтримку прийняття рішень. Тут ми коротко представляємо перші дві системи Digital Earth.

Починаючи з першого програмного забезпечення для географічного навчання 3D Earth Atlas 2000, запущеного корпорацією Microsoft, Earth System була розроблена в 2001 році, інтегруючи великомасштабні зображення дистанційного зондування та важливі набори даних точок у глобальну 3D-модель з кількома терабайтами даних. Тоді Esri запустила ArcGIS 9 для візуалізації глобальних даних із різною роздільною здатністю. У 2005 році Google запустив Google Earth, що об'єднує комп'ютерну технологію та 3D-технологію для вільного перегляду Землі в 3D, дозволяючи робити запити, вимірювати, аналізувати та використовувати послуги визначення місцезнаходження на основі маси даних дистанційного зондування [19]. З того часу було створено кілька віртуальних глобусів, у тому числі Skyline Globe Virtual Earth (Skyline), WorldWind (NASA), GeoGlobe (Wuhan University) і Virtual Earth і Bing Maps (Microsoft). У 2006 році журнал Nature повідомив про «Віртуальну Землю» як абсолютно новий спосіб спостереження та розуміння Землі за допомогою 3D візуалізації [20]. Поєднання Web 2.0 і сенсорних мереж із технологією віртуальної Землі створило добровільну систему Digital Earth, що відображає потреби глибоких програм [21].

Разом з теоретичним і технологічним розвитком Digital Earth також було створено багато наукових платформ. Прототип системи цифрової Землі Китайської академії наук (DEPS/CAS), створений Ключовою лабораторією цифрових наук про Землю при Інституті дистанційного зондування та цифрової Землі CAS, є такою платформою, яка об'єднує програмне забезпечення для отримання та обробки зображень дистанційного зондування, редагування графіки, мережових обчислень, служби просторової інформації, віртуальної реальності та широкого спектру прикладних послуг [15]. Він може ефективно аналізувати дані про Землю від спостережень дистанційного зондування для застосування в багатьох сферах, наприклад прогнозувати глобальні зміни клімату та землетруси [15]. Eyes on the Earth – це створене Лабораторією реактивного руху програмне забезпечення комп'ютерної візуалізації для візуалізації даних на місці з космічних апаратів NASA, що обертаються навколо Землі, і тих, які були зібрані на самій Землі. Застосунок дозволяє користувачам відстежувати життєво важливі показники Землі, такі як висота рівня моря, концентрація вуглекислого газу в атмосфері та антарктичний озон, а також перевіряти найспекотніші та найхолодніші місця на Землі за допомогою карти глобальної температури поверхні. Він також відображає місцезнаходження всіх діючих місій NASA зі спостереження Землі в режимі реального часу (NASA 2009). Крім того, уряди та інститути багатьох інших країн створили платформи Digital Earth для певних дослідницьких цілей. Наприклад, Blue Link і Glass Earth, досліджені австралійським урядом, мали на меті, відповідно, спостереження та імітацію океану та дослідження верхнього кілометра поверхні австралійського континенту та його геологічних процесів. Симулятор Землі, розроблений трьома японськими інститутами, надав підтримку в дослідженні змін навколишнього середовища [22].

Міжнародне товариство цифрової Землі. У 1999 році перший Міжнародний симпозіум з цифрової Землі був ініційований попередником ISDE, а саме Міжнародним керівним комітетом Міжнародного симпозіуму з цифрової Землі. У відповідь на основні результати симпозіуму, Пекінську декларацію про цифрову Землю 1999 року, ISDE було засновано в Пекіні в 2006 році. ISDE є міжнародною науковою організацією, яка головним чином сприяє академічному обміну, освіті, науковим і технологічним інноваціям, а також міжнародній співпраці в галузі цифрових технологій. Місія ISDE полягає в тому, щоб принести користь суспільству, сприяючи розвитку та реалізації Digital Earth.



ISDE встановлює механізми співпраці з іншими організаціями для обміну знаннями та ідеями на Digital Earth. У 2009 році ISDE приєднався до Групи зі спостереження за Землею (GEO), яка є найбільшою у світі міжурядовою організацією з використання геопросторових даних. ISDE також встановив партнерські відносини з Комітетом з даних для науки та технологій, Міжнародною Євразійською академією наук, Глобальною асоціацією інфраструктури просторових даних та Африканською асоціацією дистанційного зондування навколишнього середовища. Зараз вона широко визнана в усьому світі як ключова міжнародна організація з досліджень геопросторової інформації.

Міжнародні симпозиуми та саміти про цифрову Землю. Щоб сприяти розвитку Digital Earth, ISDE скликав багато академічних заходів для вчених у спільноті Digital Earth для спілкування та обміну думками та ідеями.

Міжнародний симпозиум з цифрової Землі, починаючи з 1999 року, проводився кожні два роки. Дотепер було проведено дев'ять симпозиумів у семи країнах світу. Щоб задовольнити попит спільноти, ISDE почав організовувати саміти Digital Earth, які мають на меті залучити експертів до спеціалізованих дискусій на конкретні, вузькі теми. Ці саміти також проводяться кожні два роки між симпозиумами ISDE. Відбулося шість самітів у п'яти країнах.

Крім того, ISDE організовує міжнародні семінари для обговорення майбутніх стратегій просування Digital Earth. У 2011 році в Пекіні відбувся семінар «Цифрове бачення Землі до 2020 року». За результатами цього семінару було підготовлено дві важливі статті, які були опубліковані в журналах PNAS і International Journal of Digital Earth (IJDE). Ці бачення були кристалізацією ідей і колективної уяви членів ради ISDE.

Ці академічні заходи слугували міжнародними платформами для обміну ідеями та результатами досліджень і заклали міцну основу для вдосконалення та збагачення концепції Digital Earth та просування програм Digital Earth.

Міжнародний журнал цифрової Землі. IJDE – це академічний журнал ISDE. IJDE – це перший міжнародний рецензований академічний журнал, який зосереджується на галузях, пов'язаних із цифровою Землею. Він спільно опублікований ISDE та англійським видавництвом Taylor & Francis.

IJDE був запущений у березні 2008 року і був прийнятий для охоплення Science Citation Index Expanded у серпні 2009 року. У 2015 році IJDE мав імпаکت-фактор 3,291, посівши 4 місце з 28 журналів

дистанційного зондування та 7 місце з 46 географічних журналів. Відтоді IJDE було включено до 12 великих міжнародних баз даних цитування.

Нині IJDE став основною академічною платформою в міжнародному дослідницькому полі Digital Earth. Він і надалі відіграватиме більш важливу роль у дисциплінарному розвитку Цифрової Землі, у сприянні обміну інформацією в глобальному масштабі та в керуванні сталим розвитком науки та технологій Цифрової Землі.

Віхи цифрової Землі. Розуміння цифрової Землі розвивалося разом із технологічним прогресом у сфері спостереження Землі, систем географічної інформації, систем глобального позиціонування та Інтернету. Певні віхи розвитку Digital Earth продемонстрували зміни в сприйнятті та дослідницькому прогресі цієї концепції, стимульовані вченими, урядами та підприємствами.

Етап 1: Цифрова Земля: розуміння нашої планети в двадцять першому столітті. У промові Ела Гора 1998 року «Цифрова Земля: розуміння нашої планети в двадцять першому столітті» він накреслив візуальне зображення Землі. Ця «Цифрова Земля» містила величезну кількість геопросторових даних і мала можливість керувати масивною геопросторовою інформацією та відображати її. Кілька технологій, необхідних для побудови Цифрової Землі, наприклад, обчислювальна техніка, супутникові зображення, широкосмугові мережі, сумісність і метадані, були достатніми на той час, але це було витоком бачення цифрової Землі. Це було дуже складне наукове бачення для досліджень, промисловості та політичних методів стимулювання економічного прогресу, приділяючи набагато більше уваги візуальному середовищу чи обчислювальній системі для глобальних даних та інформації з геоприв'язкою.

Етап 2: Пекінська декларація про цифрову Землю 1999 року. Важливим результатом першого Міжнародного симпозиуму з цифрової Землі в 1999 році є Пекінська декларація про цифрову Землю 1999 року, яка була оприлюднена (ISDE1 1999). Він дав чітке визначення масштабу дослідження цифрової Землі з двох напрямків: глобальних проблем і системи Землі. Він закликав до важливості розвитку потенціалу для технологій. У відповідь на промову Гора було виділено п'ять ключових технологій, хоча вони відповідають більш практичним цілям і конкретним напрямкам досліджень з точки зору інформаційних і технологічних інфраструктур, глобального систематичного спостереження та моделювання, комунікаційних мереж, баз даних і взаємодії геопросторових даних. Було обговорено



та погоджено, що діяльність Digital Earth повинна починатися з трьох пріоритетів для вирішення «проблем захисту навколишнього середовища, ліквідації наслідків стихійних лих і збереження природних ресурсів».

Вона мала на меті підвищення обізнаності та залучення більшої кількості зацікавлених сторін до бачення цифрової Землі, тому декларація закликала до належної підтримки, тісної співпраці та співпраці між урядами, державним і приватним секторами, неурядовими організаціями та міжнародними організаціями та інституціями.

Етап 3: 2009 Пекінська декларація про цифрову Землю. Після 10 років розвитку цифрової Землі разом із досягненнями в науці та технологіях з точки зору технології просторової інформації, технологій комунікаційних мереж, високопродуктивних обчислень і науки про систему Землі, у 2009 році була видана друга Пекінська декларація про цифрову Землю (ISDE6 2009). У цій декларації було піднято важливість створення платформи для обміну даними Digital Earth. Можливо, це було результатом усвідомлення необхідності надання доступу до різноманітних даних спостереження Землі та геоінформації широкому колу користувачів як у державному, так і в приватному секторах. Цифрова Земля перейшла до більш практичного дизайну системи, щоб задовольнити потреби в обміні даними та інформацією, а також допомогти у вирішенні питань усунення цифрового розриву.

Вісім передових технологій, визначених у цій декларації, які повинні бути інтегровані в Digital Earth, були більше орієнтовані на дані та інформацію спостереження Землі. Це були спостереження за Землею, геоінформаційні системи, системи глобального позиціонування, комунікаційні мережі, сенсорні мережі, електромагнітні ідентифікатори, віртуальна реальність і мережеві обчислення.

Стосовно додатків, у декларації стверджується, що Цифрова Земля має розширити свою роль у всіх сферах, пов'язаних із глобальною зміною клімату, запобіганням стихійним лихам і реагуванням на них, новими джерелами енергії, сільськогосподарською та продовольчою безпекою, а також міським плануванням і управлінням. Він продовжує рекомендувати співпрацю та співпрацю між секторами та зацікавленими сторонами, а також закликає до збільшення інвестицій у наукові дослідження з боку планувальників та осіб, які приймають рішення.

Етап 4: Цифрове бачення Землі 2020. У 2011 році 15 експертів з ISDE зібралися в Пекіні та обговорили тенденції розвитку Digital Earth. Семінар зрештою призвів до двох наукових статей: «Цифрова Земля наступного покоління», опублікована в PNAS [18] та «Цифрова Земля 2020: на шляху до бачення наступного десятиліття», опублікована в IJDE [17]. Ці документи дали нове розуміння концепції цифрової Землі.

У документі під назвою «Цифрова Земля наступного покоління» йдеться про те, що нові розробки в Інтернеті, 3D і технологіях спостереження за Землею ще більше прискорили реалізацію концепції цифрової Землі та розширили можливості того, чим може бути цифрова Земля. Стало зрозуміло, що наступне покоління Digital Earth буде не єдиною системою, а скоріше кількома пов'язаними інфраструктурами, заснованими на відкритому доступі та участі в багатьох технологічних платформах, які задовольнятимуть потреби різних аудиторій. Також було запропоновано більш динамічний погляд на цифрову Землю як цифрову нервову систему земної кулі, яка активно інформує про події, що відбуваються на (або поблизу) поверхні Землі, підключаючись до сенсорних мереж і ситуаційних систем.

2. Поява Big Earth Data

Великі дані привертають увагу в усьому світі. Великі дані, як ресурс для дослідження світу, революція в баченні світу та інновація в мисленні про світ, розглядаються як «стратегічне високогір'я» в нову еру інтенсивного використання даних. Він привернув увагу урядів країн усього світу.

Уряди різних країн доклали зусиль, щоб зрозуміти переваги великих даних, створивши національні стратегії. На початку 2012 року уряд Сполучених Штатів оголосив про «Ініціативу дослідження та розвитку великих даних», спрямовану на покращення можливостей виявлення знань із великих даних [23]. У 2014 році президенту Сполучених Штатів було представлено два документи, а саме «Великі дані: використання можливостей, збереження цінностей» і «Великі дані та конфіденційність: технологічна перспектива». У 2011 році Європейська комісія оприлюднила заяву «Відкриті дані: двигун інновацій, зростання та прозорого управління». У 2013 році уряд Австралії оголосив «Стратегію великих даних для державних послуг Австралії». У 2013 році уряд Китаю оголосив, що великі дані є розглядається як один із стратегічних ресурсів суспільного розвитку. У відповідь на цю ініціативу було запущено кілька проєктів, які фінансуються Національним фондом природничих наук і



Міністерством науки і технологій Китаю. У 2015 році китайський уряд випустив свій «План дій щодо сприяння розвитку великих даних».

Окрім націй, великі дані привернули увагу з усього світу з боку міжнародних організацій. У 2012 році Глобальний пульс ООН опублікував білу книгу «Великі дані для розвитку: можливості та виклики», в якій пропонується просувати проекти/програми дослідження великих даних як національну стратегію. «Великі дані спостереження Землі для дослідження зміни клімату» дослідницької групи Інституту дистанційного зондування та цифрової Землі Академії наук Китаю стали одним із переможців кліматичного конкурсу ООН «Великі дані». Це показує, як великі дані можуть стимулювати кліматичні заходи. У 2013 році Організація економічного співробітництва та розвитку опублікувала «Дослідження інновацій, керованих даними, як нового джерела зростання», досліджуючи потенційну роль даних і їх аналітики для створення значних конкурентних переваг і формування базованих на знаннях капітал. Міжнародна рада з науки (ICSU) опублікувала свій «Стратегічний план на 2012–2017 роки», наголошуючи на важливості управління даними та відкриття нових знань у величезних масивах даних. Великі дані, особливо великі дані про Землю, надають потужні інструменти для розуміння та пояснення системи Землі та подальшого сприяння сталому глобальному розвитку. У відповідь на це у 2015 році була започаткована 10-річна ініціатива «Земля майбутнього», спільно ініційована ICSU та Міжнародною радою соціальних наук, спрямована на розвиток глобальної науки та дослідницького потенціалу за допомогою ефективної міждисциплінарної співпраці. Як міжурядова організація GEO ініціювала місію створення Глобальної системи систем спостереження Землі (GEOSS), яка координує дані спостереження Землі та системи обробки в глобальному масштабі. В межах GEOSS було створено глобальне партнерство щодо великих даних спостереження Землі. Існує великий потенціал для сприяння поглибленому розвитку наукових досліджень про Землю, і великі дані про Землю можна розглядати як новий ключ до розуміння світу.

Усвідомлюючи, що наукові дослідження про Землю трансформувалися з традиційного емпіричного збору даних, теоретичної науки та обчислювального моделювання на наукові відкриття, що містять інтенсивні дані, методологія дослідження змінилася на дослідження кореляції між величезними міждисциплінарними або міждисциплінарними наборами даних. За допомогою цих наборів даних можна ідентифікувати нові шаблони, відкривати нові знання та встановлювати нові правила, приховані за

даними, щоб допомогти людству зрозуміти реальний світ і направити людей до правильних рішень та ефективної роботи [24].

Зі збільшенням уваги до великих даних поступово стає очевидним, що швидко зростаючі великі геопросторові дані відіграють важливу роль у підвищенні здатності людей контролювати та розуміти суспільство та природу, а також реагувати на екологічні проблеми з просторових і часових вимірів [25]. У 2015 році ООН ініціювала 17 цілей сталого розвитку, спрямованих на подолання бідності, нерівності та зміни клімату до 2030 року. Серед 17 цілей принаймні 8 можна було б реалізувати, використовуючи різну користь від Big Earth Data, зокрема чисту воду, доступну енергію, стійкі міста, зміна клімату, життя під водою, життя на суші, міцне здоров'я та мир.

Виклики технологіям Big Earth Data. Технології, пов'язані з великими даними Землі, охоплюють, зокрема, спостереження за Землею, комунікаційні технології та комп'ютери. З визнанням того, що великі дані про Землю поглибили здатність людства розуміти Землю, також стає необхідним відповідати на виклики, пов'язані з передачею, зберіганням, обробкою, аналізом, керуванням і спільним використанням великих геопросторових даних. Величезна кількість даних спостереження Землі в поєднанні зі швидкістю отримання даних у реальному або майже реальному часі та кількома масштабами особливо кидає виклик існуючій технології. Завдяки численним більш довгостроковим, дешевшим датчикам і більш критичним у часі вимогам до обміну їхніми даними, складніше зберігання, обробка і аналіз цих даних. Цей потік даних потребує вдосконаленої технічної підтримки, яка є більш комплексною ніж підтримка традиційних технологій.

Щоб вирішити ці проблеми, вчені докладають зусиль для розробки обчислювальних платформ, алгоритмів і програмних систем. Ці технології включають високопродуктивні платформи, технологію масового зберігання даних, комплексну автоматизацію, ефективні обчислення, обмін даними та системи обслуговування, щоб зробити Big Earth Data керованим і цінним. Однак у низці ключових технологій все ще існують вузькі місця, які необхідно подолати.

З точки зору обчислювальної техніки, прорив у геопросторовому аналізі великих даних може полягати в переході від традиційного машинного навчання та технології інтелектуального аналізу даних до технологій MapReduce/Hadoop [26]. Завдяки ефективній масштабованості та відмовостійкості MapReduce діє як хороша модель паралельного програмування для роботи з великими даними. Він підтримує різні обчислювальні архітектури, включаючи



багатоядерні кластери, хмари, кубічні плати та архітектури графічних процесорів [27]. Він також може надавати кінцевим користувачам аналітичні послуги [28].

Великі дані Землі характеризуються кількома просторовими та часовими масштабами. Це в основному викликано багатоступеневими підсистемами, які використовуються для спостереження Землі. Кожна підсистема має свій власний просторово-часовий масштаб, тому отримані дані спостереження Землі мають різні просторово-часові масштаби та різні правила та характеристики в різних масштабах. Складність завдання моніторингу системи Землі охоплює локальний, регіональний і глобальний масштаби, а часовий масштаб коливається від секунд до тисячоліть. Інтеграція всіх цих даних у систему або платформу сама по собі є важким завданням, навіть без їх обробки та аналізу.

Великі дані Землі приносять користь науковим дослідженням.

Великі дані Землі пропонують нові підходи для наукових досліджень у багатьох відношеннях. У цьому розділі ми розглядаємо значні досягнення, які дають переваги Big Earth Data, на прикладах відкриття знань, глобальних змін і цифрової науки про Землю.

Big Earth Data сприяє відкриттю знань. Великі дані Землі допомагають людям зрозуміти планету за допомогою нового підходу, видобуваючи інформацію та відкриваючи знання з великих геопросторових даних. Цей процес є не просто вилученням інформації, а більше зосередженим на видобутку неявних і неочевидних шаблонів, правил і знань, що стоять за великими даними. За допомогою цього процесу можна досліджувати важливу інформацію, а також кореляцію кожної підсистеми та різних біофізичних змінних Землі.

Тим часом великий обсяг геопросторових даних змінив процес відкриття знань з «керованого моделлю» на «керований даними». Проте слід зазначити, що ефективний інтелектуальний аналіз даних за допомогою Big Earth Data все ще перебуває в зародковому стані, але він є актуальним для розробки інноваційних теорій і методів відкриття, пов'язаних з Big Earth Data.

Щоб працювати з величезним обсягом даних спостереження Землі, потрібні технології для передачі, зберігання, керування, обробки, обчислення та спільного використання великих геопросторових даних. Таким чином, розробка теорії та методології відкриття знань за допомогою великих даних Землі стала головною науковою проблемою в галузі науки про Землю.

Big Earth Data підтримує дослідження глобальних змін. Глобальні зміни розглядаються як серйозна загроза сталому розвитку в усьому світі. Для вирішення мультидисциплінарних проблем у глобальному масштабі дослідження глобальних змін стикаються з найважчим завданням отримання різноманітних даних із взаємодіючих підсистем Землі та роботи з ними. Це робить важливим збирати дані з різних елементів системи Землі шляхом моніторингу прогресу глобальних змін у великомасштабних, довгострокових часових послідовностях, а також проводити обробку, аналіз і моделювання відповідно.

Big Earth Data надає широкий спектр довгострокових послідовностей і численні просторово-часові масштаби, що охоплюють усі сфери Землі, такі як атмосфера, гідросфера, літосфера та біосфера. Це гарантується інтегрованою системою спостереження Землі космос-повітря-земля та глобальною мережею збору даних Землі в квазіреальному часі та в будь-якій погоді.

Завдяки безперервному та тривалому моніторингу системи Землі вчені можуть використовувати передові технології геопросторової обробки для моделювання та аналізу процесів динамічної поверхні Землі та виявлення механізмів просторово-часових змін. Це дуже корисно для зацікавлених сторін, щоб сформулювати наукові стратегії та вжити заходів, щоб реагувати на глобальні зміни для сталого розвитку. У цьому сенсі Big Earth Data забезпечує потужну підтримку для посилення нових підходів до дослідження глобальних змін.

3. Новий етап Digital Earth: Big Earth Data

У нову еру великих даних Digital Earth має на меті інтегрувати величезну кількість багатовимірних геопросторових даних із різною роздільною здатністю, різночасових геопросторових даних і соціально-економічних даних, а також алгоритмів і моделей аналізу в межах комплексного аналізу та прикладних систем. Цифрова Земля також присвячена зшиванню величезних цінних наукових даних у різних дисциплінах, що охоплюють галузі не лише атмосфери, географії, геології, навколишнього середовища й екології, а й інформатики, космічної науки, когнітивної науки та інших, тісно пов'язаних із ними, до гуманітарних і соціальних наук. Очікується, що він буде описувати, аналізувати, моделювати та прогнозувати динамічні процеси земної системи, а також взаємодію між людьми та планетою шляхом аналізу таких масивних даних [24].

Щоб вирішити проблеми, пов'язані з великими даними Землі, цифрові системи Землі повинні дотримуватися синтезу та



систематичних спостережень за Землею, а також методів із інтенсивним використанням даних для вивчення моделей земної системи, що призведе до розширення знань. Завдяки національній просторовій інфраструктурі та високошвидкісному Інтернету системи Digital Earth можуть з'єднувати численні супутники та географічні інформаційні центри для завершення збору, передачі, зберігання, обробки, аналізу та розповсюдження просторових даних. Великі дані Землі надалі створюватимуть більше продуктів, послуг і програм Digital Earth.

У цьому контексті великі геопросторові дані є основою та ядром досліджень цифрової Землі. З появою нових методів, технологій і додатків Цифрова Земля перетворилася на нову конотацію від концепції «Помістити Землю в комп'ютер» до «Великих даних про Землю», перспективи під впливом великих даних. Можна припустити, що, слугуючи типовою дослідницькою методологією та системою дослідження Землі, цифрова Земля була змушена перейти до нового етапу Big Earth Data.

4. Big Earth Data Science

Програма Big Earth Data Science Engineering Program (CASEarth) (рис. 1) була офіційно затверджена 1 січня 2018 року Китайською академією наук (CAS) з терміном реалізації п'ять років.



Рис. 1. Інженерна програма Big Earth Data

CASEarth має на меті розробку платформи обміну даними для розміщення великих даних і хмарних сервісів. Платформа має разом різні галузі, включаючи управління ресурсами, навколишнє

середовище, біорізноманіття та екологію, сприяючи основою майбутніх проривів і наукових відкриттів у Big Earth Data, а також забезпечення всебічної макроскопічної підтримки прийняття рішень (рис. 2). Кінцевою метою CASEarth є створення «Міжнародного дослідницького центру великих даних для цілей сталого розвитку», про що нещодавно оголосив Президент КНР Сі Цзіньпін під час свого виступу на 75-й сесії Генеральної Асамблеї ООН 22 вересня 2020 року.

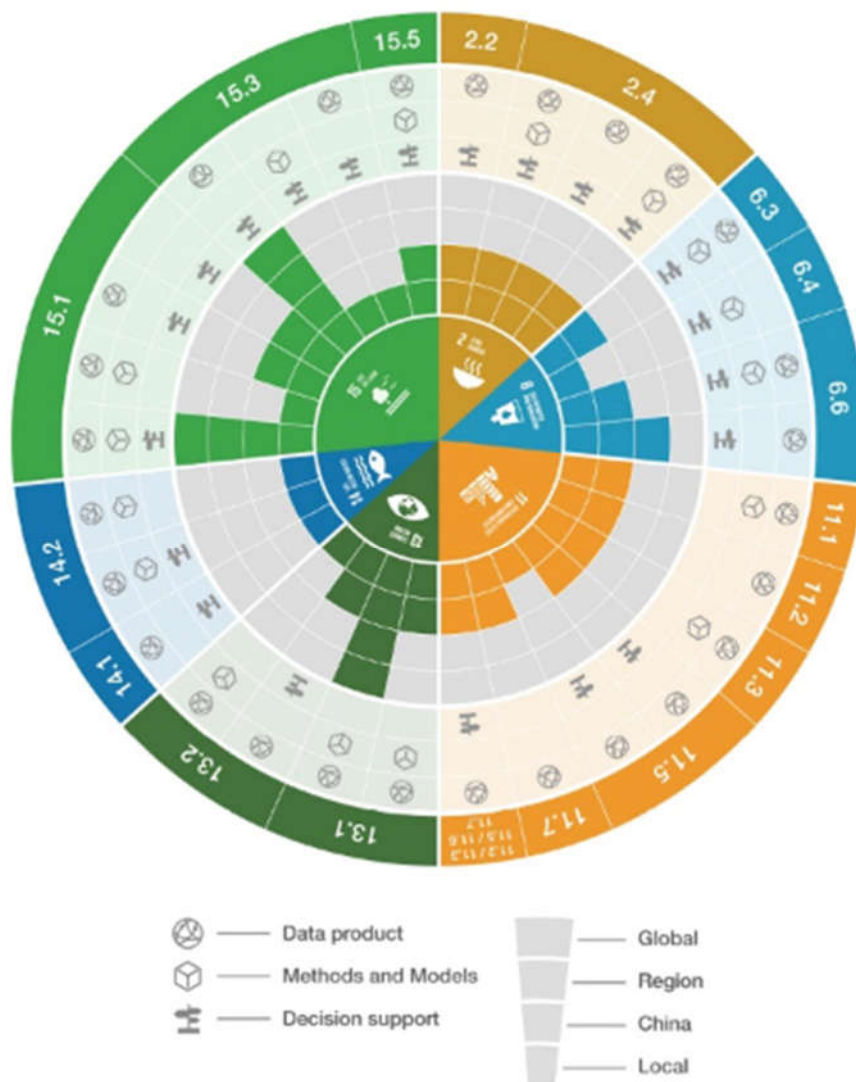


Рис. 2. Технологічні інновації платформи Big Earth Data

Висновки. За два десятиліття розвитку Digital Earth еволюціонувала від дуже оригінального бачення представлення планети кількома ключовими технологіями до нового етапу в контексті великих даних. Цифрова Земля виявилася корисним інструментом, який допомагає нам краще зрозуміти планету, на якій ми живемо, а також допомагає зацікавленим сторонам вживати відповідних заходів для вирішення проблем, з якими ми стикаємося.



Цифрова Земля пропонує нове бачення та нову методологію з помітними перевагами для вчених у дослідженні земної системи, особливо в епоху великих даних.

Незважаючи на те, що існує ще багато проблем, які потрібно подолати з точки зору відповідних технологій, Великі дані про Землю, як науковий підхід із інтенсивним використанням даних, привернули увагу в усьому світі та стали новою можливістю та поштовхом для відкриття знань у науці про Землю. Великі дані Землі дають змогу досліджувати кореляції між мультидисциплінарними даними та відкривати нові моделі, нові правила та нові знання. Довга послідовність кількох просторових і часових масштабів даних спостереження Землі, точні безперервні спостереження наземних станцій і експериментальні дані, наукова основа і теоретичні припущення, а також відповідні технології обробки та аналізу сприятимуть прогресу досліджень науки про Землю.

Варто відзначити важливість напрацювань щодо цієї ініціативи зі сторони платформи Big Earth Data Science, котра працює над формалізацією процесу інформаційної підтримки прийняття рішень у усьому світі. Важливим є той факт, що дослідження цього питання були складені у вигляді серії звітів про дані на підтримку Цілей сталого розвитку, які були представлені як частина офіційних документів на тему діджиталізації, поданих до Організації Об'єднаних Націй на 74-та та 75-та сесії Генеральної Асамблеї.

1. Lynch C. Big Data: How Do Your Data Grow? *Nature*. 2008. Vol. 455. P. 28–29. doi:10.1038/455028a.
2. Adrian Merv. Big Data: It's Going Mainstream, and It's Your Next Opportunity. *Teradata Magazine*. 2011. URL: http://www.nxtbook.com/nxtbooks/mspcomm/teradata_2011q1/#/42. (дата звернення: 02.12.2023).
3. URL: www.mckinsey.com/mgi/publications/big_data/pdfs/MGI_big_data_full_report.pdf (дата звернення: 10.12.2023).
4. URL: www.dbms2.com/2011/09/n/big-data-has-jumped-the-shark/ (дата звернення: 10.12.2023).
5. Gantz J., and D. Reinsel. The Digital Universe in 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East. *IDC's Digital Universe Study Executive Summary*. 2012. URL: <http://idcdocserv.com/1414>. (дата звернення: 10.12.2023).
6. Shekar S., and H. Xiong. *Encyclopedia of GIS*. New York : Springer, 2007.
7. Guo H. China's Earth Observing Satellites for Building a Digital Earth. *International Journal of Digital Earth*. 2012. Vol. 5. P. 185–188.
8. Ramapriyan H., J. Brennan, J. Walter, and J. Behnke. Managing Big Data: NASA Tackles Complex Data Challenges. *Earth Imaging Journal*. 2013. URL: <http://eijournal.com/print/articles/managing-big-data>. (дата звернення: 30.10.2016).
9. He G., L. Wang, Y. Ma, Z. Zhang, G. Wang, Y. Peng, T. Long, and X. Zhang. Processing of Earth Observation Big Data: Challenges and Countermeasures. *Chinese Science Bulletin (Chinese Version)*. 2015. Vol. 60. P. 470–478. doi:10.1360/ N972014-00907.
10. Salk, Carl, Tobias Sturn, Linda See, Steffen Fritz, and Christoph Perger. Assessing Quality of Volunteer Crowdsourcing Contributions: Lessons from the Cropland Capture Game.

International Journal of Digital Earth. 2016. Vol. 9 (4). P. 410–426. **11.** Lee, J. G., and M. Kang. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*. 2015. doi:10.1016/j. bdr.2015.01.003. **12.** Guo H., L. Wang, and D. Liang. Big Earth Data from Space: A New Engine for Earth Science. *Chinese Science Bulletin*. 2016. Vol. 61 (7). P. 505–513. doi:10.1007/s11434-016-1041-y. **13.** Gore A. The Digital Earth: Understanding Our Planet in the 21st Century. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1999. Vol. 65 (5). P. 528–530. **14.** Chen S. The 'Digital Earth' as a Global Strategy and Its Master Point. *Journal of Remote Sensing*. 1999. Vol. 3 (4). P. 247–253. **15.** Guo H., X. Fan, and C. Wang. A Digital Earth Prototype System: DEPS/CAS. *International Journal of Digital Earth*. 2009. Vol. 2 (1). P. 3–15. **16.** Annoni A., M. Craglia, M. Ehlers, Y. Georgiadou, A. Giacomelli, M. Konecny, N. Ostlaender, et al. A European Perspective on Digital Earth. *International Journal of Digital Earth*. 2011. Vol. 4 (4). P. 271–284. **17.** Craglia, Max, Kees de Bie, Davina Jackson, Martino Pesaresi, Gabor Remetey-Fulopp, Changlin Wang, Alessandro Annoni, et al. Digital Earth 2020: Towards the Vision for the Next Decade. *International Journal of Digital Earth*. 2012. Vol. 5 (1). P. 4–21. **18.** Goodchild M. F., H. Guo, A. Annoni, L. Bian, K. de Bie, F. Campbell, M. Craglia, et al. Next-Generation Digital Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012. Vol. 109 (28). P. 11088–11094. **19.** Grossner K., and K. Clarke. Is Google Earth, "Digital Earth?" - Defining a Vision. *Proceeding of the 5th International Symposium on Digital Earth*. Berkeley : CA, 2007. **20.** Butler Declan. Virtual Globes: The Web-Wide World. *Nature*. 2006. Vol. 439. P. 776–778. doi:10.1038/439776a. **21.** Goodchild M. F. Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography. *GeoJournal*. 2007. Vol. 69 (4). P. 211–221. **22.** Yokokawa M. Earth Simulator System. 2002. URL: http://www.thocp.net/hardware/nec_ess.htm. (дата звернення: 02.12.2023). **23.** URL: http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/big_data_fact_sheet_final_1.pdf (дата звернення: 10.12.2023). **24.** Guo H., L. Wang, F. Chen, and D. Liang. Scientific Big Data and Digital Earth. *Chinese Science Bulletin*. 2014. Vol. 59 (35). P. 5066–5073. doi:10.1007/s11434-014-0645-3. **25.** Chen Xu, and Chaowei Yang. Introduction to Big Geospatial Data Research. *Annals of GIS*. 2014. Vol. 20 (4). P. 227–232. **26.** Cosulschi M., A. Cuzzocrea, and R. De Virgilio. Implementing BFS-Based Traversals of RDF Graphs over MapReduce Efficiently. *Presented at 13th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid)*, May. 2013. P. 569–574. **27.** Jiang H., Y. Chen, Z. Qiao, T. H. Weng, and K. C. Li. Scaling Up MapReduce-Based big Data Processing on Multi-GPU Systems. *Cluster Computing*. 2015. Vol. 18 (1). P. 369–383. **28.** Zhao J., L. Wang, J. Tao, J. Chen, W. Sun, R. Ranjan, and D. Georgakopoulos. A Security Framework in G- Hadoop for Big Data Computing Across Distributed Cloud Data Centres. *Journal of Computer and System Sciences*. 2014. Vol. 80 (5). P. 994–1007.

REFERENCES:

1. Lynch C. Big Data: How Do Your Data Grow? *Nature*. 2008. Vol. 455. P. 28–29. doi:10.1038/455028a. **2.** Adrian Merv. Big Data: It's Going Mainstream, and It's Your Next Opportunity. *Teradata Magazine*. 2011. URL: http://www.nxtbook.com/nxtbooks/mspcomm/teradata_2011q1/#/42. (дата звернення: 02.12.2023). **3.** URL: www.mckinsey.com/mgi/publications/big_data/pdfs/MGI_big_data_full_report.pdf (дата звернення: 10.12.2023). **4.** URL: www.dbms2.com/2011/09/n/big-data-has-jumped-the-shark/ (дата звернення: 10.12.2023). **5.** Gantz J., and D. Reinsel. The Digital Universe in 2020: Big Data, Bigger Digital Shadows, and Biggest Growth in the Far East. *IDC's Digital Universe Study Executive Summary*. 2012. URL: <http://idcdocserv.com/1414>.



(data zvernennia: 10.12.2023). **6.** Shekar S., and H. Xiong. Encyclopedia of GIS. New York : Springer, 2007. **7.** Guo H. China's Earth Observing Satellites for Building a Digital Earth. *International Journal of Digital Earth*. 2012. Vol. 5. P. 185–188. **8.** Ramapriyan H., J. Brennan, J. Walter, and J. Behnke. Managing Big Data: NASA Tackles Complex Data Challenges. *Earth Imaging Journal*. 2013. URL: <http://eijournal.com/print/articles/managing-big-data>. (data zvernennia: 30.10.2016). **9.** He G., L. Wang, Y. Ma, Z. Zhang, G. Wang, Y. Peng, T. Long, and X. Zhang. Processing of Earth Observation Big Data: Challenges and Countermeasures. *Chinese Science Bulletin (Chinese Version)*. 2015. Vol. 60. P. 470–478. doi:10.1360/N972014-00907. **10.** Salk, Carl, Tobias Sturn, Linda See, Steffen Fritz, and Christoph Perger. Assessing Quality of Volunteer Crowdsourcing Contributions: Lessons from the Cropland Capture Game. *International Journal of Digital Earth*. 2016. Vol. 9 (4). P. 410–426. **11.** Lee J. G., and M. Kang. Geospatial Big Data: Challenges and Opportunities. *Big Data Research*. 2015. doi:10.1016/j.bdr.2015.01.003. **12.** Guo H., L. Wang, and D. Liang. Big Earth Data from Space: A New Engine for Earth Science. *Chinese Science Bulletin*. 2016. Vol. 61 (7). P. 505–513. doi:10.1007/s11434-016-1041-y. **13.** Gore A. The Digital Earth: Understanding Our Planet in the 21st Century. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1999. Vol. 65 (5). P. 528–530. **14.** Chen S. The 'Digital Earth' as a Global Strategy and Its Master Point. *Journal of Remote Sensing*. 1999. Vol. 3 (4). P. 247–253. **15.** Guo H., X. Fan, and C. Wang. A Digital Earth Prototype System: DEPS/CAS. *International Journal of Digital Earth*. 2009. Vol. 2 (1). P. 3–15. **16.** Annoni A., M. Craglia, M. Ehlers, Y. Georgiadou, A. Giacomelli, M. Konecny, N. Ostlaender, et al. A European Perspective on Digital Earth. *International Journal of Digital Earth*. 2011. Vol. 4 (4). P. 271–284. **17.** Craglia, Max, Kees de Bie, Davina Jackson, Martino Pesaresi, Gabor Remetey-Fulopp, Changlin Wang, Alessandro Annoni, et al. Digital Earth 2020: Towards the Vision for the Next Decade. *International Journal of Digital Earth*. 2012. Vol. 5 (1). P. 4–21. **18.** Goodchild M. F., H. Guo, A. Annoni, L. Bian, K. de Bie, F. Campbell, M. Craglia, et al. Next-Generation Digital Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2012. Vol. 109 (28). P. 11088–11094. **19.** Grossner K., and K. Clarke. Is Google Earth, "Digital Earth?" - Defining a Vision. *Proceeding of the 5th International Symposium on Digital Earth*. Berkeley : CA, 2007. **20.** Butler Declan. Virtual Globes: The Web-Wide World. *Nature*. 2006. Vol. 439. P. 776–778. doi:10.1038/439776a. **21.** Goodchild M. F. Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography. *GeoJournal*. 2007. Vol. 69 (4). P. 211–221. **22.** Yokokawa M. Earth Simulator System. 2002. URL: http://www.thocp.net/hardware/nec_ess.htm. (дата звернення: 02.12.2023). **23.** URL: http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/microsites/ostp/big_data_fact_sheet_final_1.pdf (data zvernennia: 10.12.2023). **24.** Guo H., L. Wang, F. Chen, and D. Liang. Scientific Big Data and Digital Earth. *Chinese Science Bulletin*. 2014. Vol. 59 (35). P. 5066–5073. doi:10.1007/s11434-014-0645-3. **25.** Chen Xu, and Chaowei Yang. Introduction to Big Geospatial Data Research. *Annals of GIS*. 2014. Vol. 20 (4). P. 227–232. **26.** Cosulschi M., A. Cuzzocrea, and R. De Virgilio. Implementing BFS-Based Traversals of RDF Graphs over MapReduce Efficiently. *Presented at 13th IEEE/ACM International Symposium on Cluster, Cloud and Grid Computing (CCGrid)*, May. 2013. P. 569–574. **27.** Jiang H., Y. Chen, Z. Qiao, T. H. Weng, and K. C. Li. Scaling Up MapReduce-Based big Data Processing on Multi-GPU Systems. *Cluster Computing*. 2015. Vol. 18 (1). P. 369–383. **28.** Zhao J., L. Wang, J. Tao, J. Chen, W. Sun, R. Ranjan, and D. Georgakopoulos. A Security Framework in G- Hadoop for Big Data Computing Across Distributed Cloud Data Centres. *Journal of Computer and System Sciences*. 2014. Vol. 80 (5). P. 994–1007.

Babych S. V. [1; ORCID ID: 0000-0002-8669-7288],
Candidate of Engineering (Ph.D.), Master,
Tykhonchuk L. Kh. [1; ORCID ID: 0000-0001-6807-8232],
Doctor of Science in Public Administration, Associate Professor

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

GLOBAL BIG DATA EARTH INITIATIVE: PLANETARY DIGITALIZATION

Digitalization in Ukraine is an echo of a similar process on a planetary scale – the global Big Data Earth initiative. For two decades, in the digital aspect, the Earth has moved into a new stage characterized by «Big Data Earth», which initiates both new challenges and new opportunities. The article provides an overview of the development of the global Big Data Earth initiative, summarizing research achievements, discussing opportunities and challenges faced within the initiative. How the data-intensive approach to scientific research within the framework of the global Big Earth Data initiative provides a new vision and methodology for the Earth sciences. The advantages of Big Earth Data in the field of global change research are identified. The tendency of digital Earth development is estimated.

As an example of big data in the field of Earth science, Digital Earth has proven to be a comprehensive system for organizing, analyzing, modeling, presenting and analyzing data from the Earth system and creating knowledge from it.

In two decades of development, Digital Earth has evolved from a very original vision of representing the planet with a few key technologies to a new stage in the context of big data. Digital Earth has proven to be a useful tool to help us better understand the planet we live on, as well as to help stakeholders take appropriate action to address the challenges we face. Digital Earth offers a new vision and a new methodology with notable benefits for scientists in the study of the earth system, especially in the age of big data.

It is worth noting the importance of the work on this initiative by the Big Earth Data Science platform, which is working to formalize the process of information support for decision-making around the world. It is important to note that research on this issue was compiled in the form of a series of data reports in support of the Sustainable Development Goals, which were presented as part of official documents on digitalization submitted to the United Nations at the 74th and 75th sessions of the General Assembly.

Keywords: digital earth; big data; data-intensive science; digitalization; global changes; international relations.

Отримано: 11 грудня 2023 року
Прорецензовано: 16 грудня 2023 року
Прийнято до друку: 29 грудня 2023 року