

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ, ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА АЕРОКОСМІЧНОЇ ГЕОДЕЗІЇ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач випускової кафедри  
д. ф. – м. н., професор кафедри  
\_\_\_\_\_ Железняк О. О.  
« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНА РОБОТА**  
**(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)**

ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»  
ЗА ОПП «ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ»

**Тема: «Застосування геоінформаційних технологій для картографування геофізичних полів земних ландшафтів»**

**Виконавець:** студентка групи ГС – 208М Комар Марина В'ячеславівна

**Керівник:** к. ф.- м. н., доцент кафедри Беленок Вадим Юрійович

**Нормоконтролер:** \_\_\_\_\_ к. ф. - м. н., доцент Великодський Ю. І.

КИЇВ 2020

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет екологічної безпеки, інженерії та технологій

Кафедра аерокосмічної геодезії

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Освітньо-професійна програма «Геоінформаційні системи і технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

д. ф.-м. н., проф. Железняк О. О.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання дипломної роботи

Комар Марини В'ячеславівни

1. Тема дипломної роботи: «Застосування геоінформаційних технологій для картографування геофізичних полів земних ландшафтів»

затверджена наказом ректора від «25 жовтня» 2019 р. №2499/ст

2. Термін виконання роботи: з 25.10.2019 по 05.02.2019

3. Вихідні дані до роботи: літературні дані (наукові статті, монографії), картографічні джерела, інтернет - джерела.

4. Зміст пояснювальної записки: загальні відомості про геофізичні поля, поняття картографування геофізичних полів, використання геоінформаційних технологій для створення геофізичних карт, охорона праці.

5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу: тематичні карти температур та тематичні карти гравітаційних аномалій за редукціями Буге та у вільному повітрі на територію України.

## 6. Календарний план-графік

№ з/п	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
	Отримання завдання на дипломну роботу	25.10.2019	
	Пошук та аналіз літературних джерел по темі дипломної роботи	25.10.2019 05.11.2019	
	Написання вступу та 1 розділу дипломної роботи	07.11.2019 15.11.2019	
	Написання 2 та 3 розділів дипломної роботи	18.11.2019 25.12.2019	
	Створення та оформлення графічного матеріалу	05.01.2020 18.01.2020	
	Підготовка роздаткового матеріалу та презентації на захист дипломної роботи	25.01.2020 03.02.2020	
	Захист дипломної роботи	05.02.2020	

7. Дата видачі завдання: «25 жовтня» 2019 р.

Керівник дипломної роботи к. ф.-м. н., доц. \_\_\_\_\_ Беленок Вадим Юрійович

Завдання прийняла до виконання ст. \_\_\_\_\_ Комар Марина В'ячеславівна

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломної роботи «Застосування геоінформаційних технологій для картографування геофізичних полів земних ландшафтів»: 90 сторінок тексту, 28 рисунків, 1 таблицю, 49 використаних джерел.

Об'єкт дослідження: геофізичні поля земних ландшафтів.

Предмет дослідження: геоінформаційне картографування геофізичних полів.

Мета роботи: виконання геоінформаційного аналізу картографічних і цифрових джерел даних геофізичних полів.

Методи дослідження: аналітичний, методи геоінформаційного картографування.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНЕ КАРТОГРАФУВАННЯ, ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ,  
ТЕМАТИЧНА КАРТА, ДЖЕРЕЛА ДАНИХ, ARCGIS.



# ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ.....	13
1.1 Поняття геофізичного поля.....	13
1.2 Гравітаційне поле Землі .....	14
1.3 Магнітне поле Землі .....	17
1.4 Електричне поле Землі .....	20
1.5 Теплове поле Землі .....	20
1.6 Радіаційне поле Землі.....	25
1.7 Сейсмічне поле Землі .....	26
РОЗДІЛ 2 ПОНЯТТЯ КАРТОГРАФУВАННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ ПОЛІВ .....	28
2.1 Геофізичне картографування та його особливості.....	28
2.2 Геоінформаційне картографування .....	38
2.3 Інформаційні ресурси картографування .....	44
2.4 Супутникові джерела даних .....	46
2.4.1 Проект CHAMP.....	48
2.4.2 Проект GRACE .....	50
2.4.3 Проект GOCE.....	53
РОЗДІЛ 3 ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ КАРТ.....	56
3.1 Основні джерела відкритих геофізичних даних.....	56
3.2 Побудова тематичних карт температур на основі платформи Google Earth Engine.....	62

3.3 Створення тематичних карт аномалій сили тяжіння в редуції Буге і у вільному повітрі за допомогою моделей EGM2008 та WGM2012 .....	68
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ .....	79
ВИСНОВКИ.....	82
СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

ГІС – геоінформаційні системи

ГК – геоінформаційне картографування

CHAMP – Challenging Minisatellite Payload

EGM2008 – Earth Gravitational Model 2008

EMAG2 – Earth Magnetic Anomaly Grid (2-arc-minute resolution)

EMAG3 – Earth Magnetic Anomaly Grid (3-arc-minute resolution)

GOCE – Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer

GPS – Global Positioning System

GRACE – Gravity Recovery And Climate Experiment

WDMAM – World Digital Magnetic Anomaly Map

WGM2012 – World Gravity Map 2012

## ВСТУП

Геофізика вивчає фізичні явища, які за своїм походженням є природними, а тому геофізичні карти за об'єктом дослідження відносяться до тематичних карт природи. Різноманіття сфер застосування карт фізичних полів зумовило наявність неоднозначних точок зору по займаному ними положенню в тематичному картографуванні.

У нечисленних профільних зарубіжних публікаціях, спрямованих переважно на огляд стану державного геофізичного картографування, зазвичай більша увага приділяється вивченості території за даними з геофізичних полів, ніж теоретичним і практичним питанням створення геофізичних карт. В результаті поняття «геофізична карта» досі не має повного визначення в науковій літературі.

У найбільш спрощеному варіанті під геофізичними картами розуміються карти фізичного поля Землі (гравітаційного, магнітного, електричного, теплового та ін.). З позицій геології геофізичні карти представляють собою тільки карти, на яких графічно зображені результати геофізичних зйомок, проведених для геологічного картування, пошуків і розвідки корисних копалин. Однак геофізичні карти мають ширшу тематику картографування, обумовлену тісними зв'язками геофізики не тільки з геологією, а й з іншими науками.

Існує декілька підходів до класифікації карт. Відповідно до першого підходу, представленого в загальній класифікації тематичних карт за компонентами географічного середовища і наукам, що їх вивчають, геофізичні карти відносяться до самостійного розділу карт природи.

Другий підхід враховує тісний зв'язок геофізичних явищ з геологічною будовою земної кори і визначає геофізичні карти як один з основних типів карт геологічного змісту. Наприклад, до таких карт, крім карт фізичних полів, відносять карти речового складу, віку і генезису геологічних тіл, карти глибинної будови і геодинаміки літосфери.

Слід виділити і третій підхід, який враховує специфіку картографованого явища геофізичного поля. Ця класифікація виділяє геофізичні карти у відокремлену категорію поряд з картами природних і соціально-економічних полів, що підкреслює їх роль в якості еталону ізолінійного відображення явищ, які безперервно змінюються в просторі і часі.

Таким чином, питання про становище геофізичних карт в системі тематичного картографування залишається не до кінця вирішеним. Найбільш оптимальним є перший підхід, оскільки він концентрує увагу на самостійності геофізичних карт і їх особливої ролі у відображенні природних явищ.

Існуючі класифікації геофізичних карт, як правило, засновані на класифікаціях геофізичних полів, які в свою чергу не представляють собою єдину систему, оскільки при розподілі враховуються різні ознаки. Відсутність загальноприйнятої системи класифікації геофізичних карт також пов'язано з їх тривалим розвитком в рамках геологічного картографування. В результаті наявні варіанти класифікації є переліками карт і представлені в невеликій кількості.

Зазначені приклади ілюструють розрізненість класифікацій і недостатню повноту опису існуючих варіантів геофізичних карт. Разом з тим, в геологічному картографуванні до сих пір відсутня повноцінна система карт, яка охоплювала б весь обсяг карт геологічного змісту.

Тому складання узагальненої класифікації геофізичних карт може стати важливим кроком у розвитку теоретико-методологічних основ геофізичного картографування і подальшого дослідження властивостей геофізичних карт і можливостей їх використання. Однак для обґрунтованого виконання цього завдання необхідно враховувати історичні передумови розвитку цієї галузі тематичної картографії.

Сучасне виробництво геофізичних карт спирається на використання геоінформаційних систем, цифрових моделей геофізичних полів, різних методів аналізу і застосування спеціалізованого програмного забезпечення. Основним способом картографічного зображення геофізичних полів є спосіб ізоліній, що наглядно дозволяє відображати просторовий розподіл геофізичних полів.

Багато галузей картографії на даний час відчутно трансформуються і з'являються все нові напрями. Якщо брати до уваги публікації, то суттєво зменшилась кількість досліджень щодо питань складання, проектування, редагування, оформлення та видання карт.

Зацікавленість змістилась в бік геоінформаційних технологій, а географо-картографічні аспекти поступились місцем розробкам методик і алгоритмів цифрового картографування. Значно збільшився відсоток праць пов'язаних з ГІС і ГК у наукових публікаціях.

В умовах комп'ютеризації залишається все менше розбіжностей між сферами створення і використання карт, оскільки робота в інтерактивному режимі постійно пов'язана з моделюванням, перетворенням, формуванням похідних зображень і тому подібне, і стає незрозумілим де закінчується створення карти, а де починається її використання.

Водночас виникли нові потужні напрями, наприклад цифрове картографування, і ще більш помітним став розвиток нових тематичних галузей картографії. Посилилась увага до картографування проблем довкілля, суспільства і їх взаємодії – це забезпечено створенням міжнародних глобальних баз даних і можливостями ширшого доступу до них.

Сьогодні у всьому світі картографія тісно переплітається з геоінформатикою в організаційному плані. На розробку ГІС витрачаються значні фінансові кошти та беруть участь цілі галузі промисловості, створюється розгалужена картографо-геоінформаційна інфраструктура пов'язана з телекомунікаційними мережами.

Геоінформаційне картографування розглядається як компонент загальнонаукової інформаційної інфраструктури і як фрагмент реалізації національної політики в області інформатизації. Наявність точної і достовірної просторової картографічної інформації забезпечує переваги у сферах економіки, політики, екології і експлуатації природних ресурсів, розвитку засобів масової інформації та зв'язку, освіти і культури.

Очевидним є те, що розробка теорії і методів геоінформаційного картографування належить до фундаментальних проблем картографії і навіть більше

– всіх наук про Землю і близьких до них соціально-економічних наук. При усій своїй фундаментальності ГК має явний практичний напрям, який відповідає змісту багатьох прикладних задач.

Проте на тлі стрімкого прогресу програмно-апаратного і інформаційного забезпечення геоінформаційного картографування стає помітним відставання його змістовного географічного обґрунтування.

На жаль розробники ГІС не беруть до уваги, мимоволі чи навмисно, що працюють не просто з інформаційними системами, але ще й з географічними, адже це не тільки пояснення просторовості чи територіальності у вузькому сенсі слова, але і свідчення комплексності і геосистемності ГІТ.

У сучасних методиках створення карт провідних державних і приватних геолого-геофізичних організацій передбачається комбіноване використання інструментів і спеціалізованих програмних комплексів.

**Актуальність дослідження** У зв'язку з появою високоточних засобів вимірювання характеристик геофізичних полів і залученням до процесу створення карт цифрових моделей для підвищення ефективності використання геофізичних карт, стає актуальною потреба в застосуванні геоінформаційних технологій при створенні й удосконаленні картографічного зображення геофізичних полів.

Адже геофізичні карти застосовуються для вирішення широкого кола науково-практичних завдань. Картографічне зображення геофізичних полів дозволяє наочно відображати просторовий розподіл геофізичних полів і одночасно проводити картометричні роботи.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дипломної роботи є виконання геоінформаційного аналізу картографічних і цифрових джерел даних геофізичних полів. Для досягнення поставленої мети необхідно реалізувати наступні завдання:

- Поглиблення основної інформації щодо геофізичних полів Землі;
- Узагальнення та підсумування досвіду геофізичного картографування;
- Аналіз існуючих джерел даних геофізичних полів земних ландшафтів;
- Створення тематичних карт температур на територію України;

— Побудова тематичних карт аномалій сили тяжіння в редукціях Буге та у вільному повітрі використовуючи програмне забезпечення ArcGIS.

**Об'єктом дослідження** є геофізичні поля земних ландшафтів.

**Предметом дослідження** є геоінформаційне картографування геофізичних полів.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених завдань використані аналітичний, методи геоінформаційного картографування.



# РОЗДІЛ 1

## ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ

### 1.1 Поняття геофізичного поля

Геофізичні поля Землі – це особлива форма матерії, яка забезпечує зв'язок масивів гірських порід в єдині системи, здійснює передачу дії одних тіл на інші, тримає в собі атмосферу та гідросферу, підтримує процеси перенесення енергії, які необхідні для існування життя на Землі. До фізичних полів Землі належать: гравітаційне, магнітне, теплове, електричне, сейсмічне, радіаційне. Через фізичні поля здійснюється взаємодія Землі як планети з Сонцем і з усім космічним простором [1].

Природні фізичні поля називають геофізичними в межах Землі і навколоземного фізичного простору, підкреслюючи тим самим безпосередній зв'язок з планетою. Стабільне існування і адаптацію живих організмів в процесі еволюції біосфери забезпечили гравітаційна, магнітна і температурна ситуації на Землі [1].

Гравітаційне поле, якщо і змінювалося на протязі історії існування планети, то, вочевидь, не дуже швидко. Це дозволяє припустити, що Земля існувала при відносно стабільному гравітаційному полі. Магнітне поле зазнало більших змін, що носили стрибкоподібний характер. Про це свідчать дрейф магнітних полюсів, зміни магнітної полярності та підтверджують дані палеомагнітних досліджень [1].

Кожне поле відрізняється від іншого умовами виникнення та впливом на довкілля. В існуванні полів є багато спільного, враховуючи те, що у них одні і ті ж середовища розповсюдження, є можливим одночасне існування декількох фізичних полів. Природне чи штучне походження фізичних полів не є залежності з їхніми закономірностями. Сучасний стан геобіосфери визначається тісним зв'язком окремих складових природних фізичних полів [1].

Кожне поле відрізняється від іншого умовами виникнення та дією на навколишнє середовище. В існуванні полів є багато спільного, враховуючи те, що у них одні і ті ж середовища розповсюдження, є можливим одночасне існування декількох фізичних полів. Пов'язані між собою зміни сейсмічного, гравітаційного поля. Можна продемонструвати експерименти, що підтверджують зв'язок гравітаційного і магнітного полів. Не існують відособлено між собою магнітне і електричне поля. Вони є компонентами єдиного електромагнітного поля [1].

Всі закономірності фізичних полів не залежать від їх походження, природного або штучного. Серед природних фізичних полів окремі складові досить тісно пов'язані. Саме така взаємодія визначає стан сучасної геобіосфери та саме існування життя на Землі [1].

Перевищення якогось допустимого рівня в якомусь з відомих фізичних полів може нести загрозу для життя людини і всього живого на Землі. Якщо проаналізувати техногенний вплив на фізичні поля, то найбільш стійким до впливу людини є гравітаційне поле, оскільки воно пов'язане із масою планети [1].

## 1.2 Гравітаційне поле Землі

Гравітаційне поле Землі (рис. 1.1), або іншими словами поле сили тяжіння – це фізичне поле зумовлене тяжінням Землі і відцентровою силою внаслідок добового обертання планети навколо своєї осі. Його умовно поділяють на аномальну та основну – нормальну частини, які розраховують за формулами розподілу прискорення нормальної сили тяжіння [2].

Структуру аномального гравітаційного поля на карті зображають лініями однакових значень його величини, які називають ізоаномалами. Оскільки аномальна частина поля значно менша за величиною, має складну будову і відображає особливості фігури Землі та неоднорідність густини її надр. [2].

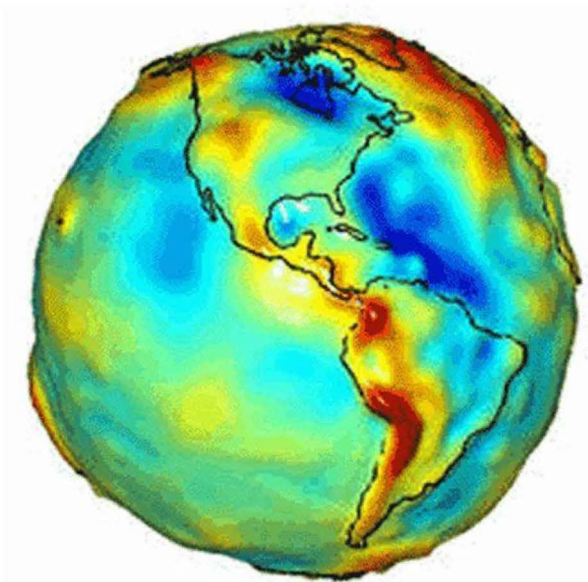


Рис. 1.1. Точна карта гравітаційного поля Землі

Аномальне гравітаційне поле території України змінюється в широких межах в зв'язку з великою різноманітністю розподілу густини порід земної кори і верхньої мантії. На Заході України (Передкарпатський прогин), де потужна осадова площа і відчутно занурена межа кора – мантія, або розділ Мохоровича (Мохо), спостерігається мінімальне значення поля в редукції Буге (до -100 мГал). На захід від Карпат розділ Мохо різко піднімається і поле стає додатнім (до +30 мГал). У північно-західній частині території, де товща осадів сягає 1 – 3 км, поле слабо від'ємне (порядку -10 – 20 мГал) [2].

Центральна частина України розташована на Українському щиті. Тут рівень поля залежить, в основному, від густини порід у верхній частині кристалічної кори: гранітні масиви характеризуються субнульовим полем (за винятком аномалії у -30 мГал над масивом в районі міст Новоукраїнка, Кропивницький), а масиви основних порід – додатними значеннями поля, найбільш інтенсивне з яких (більше +60 мГал) спостерігається в районі міста Голованівськ [2].

На південному сході щита значні додатні аномалії утворюються структурами, що містять у собі залізо, в районах міст Кривий Ріг, Дніпро, Нікополь, Запоріжжя, Мелітополь, Маріуполь. Для глибинної частини Українського щита спостерігається

взаємна компенсація утворюючих аномалії чинників: ущільнена кора притаманна блокам із зануреним розподілом Мохо, а в блоках суттєво легкої гранітної кори розподіл Мохо піднімається [2].

У східній частині України розташований Дніпровсько-Донецький авлакоген (ДДА). Тут поле залежить від співвідношення ефектів осадової товщі та основних порід девонського віку, укорінених в кору вздовж осі авлакогену. Там, де основних порід багато спостерігаються інтенсивні додатні аномалії – в районах міст Чернігів (понад +90 мГал), Лохвиця, Гадяч. Високе поле спостерігається на Донбасі (понад +40 мГал), де породи потужної осадової товщі є дуже метаморфізованими і мають високу густину. З півночі ДДА характеризується мінімальним полем, що обумовлено товщею легких осадів, а локальні інтенсивні мінімуми в районах міст Северодонецьк (-40 мГал), Сватове, Шевченкове, Охтирка викликані низькою густиною порід фундаменту [2].

На півдні Криму, спостерігається дуже високе поле, максимум якого (понад +150 мГал) розташований в Кримських горах. Тут земна кора має переважно основний склад і не виключена присутність основних порід. В тектонічно активних структурах (зона Карпат, Донбас, Крим) у гравітаційному полі спостерігаються також ефекти зменшення густини порід мантиї, викликані впливом високих температур [2].

З глибинними особливостями структури та речовинного складу земної кори, а в деяких регіонах і верхів мантиї, зв'язок гравітаційного поля здебільшого зворотній. Тому особливості розподілу аномальної густини земної кори і верхньої мантиї були виявлені тільки за допомогою розробленої в Україні методики та технології гравітаційного моделювання градієнтно-шаруватих тривимірних глибинних структур, що спирається на швидкісні розтини, кореляційні залежності для кристалічних порід, що базуються на експериментах за РТ умов глибинних структур з урахуванням поправок на специфіку речовинного складу порід, вивчення теоретичних моделей різних типів блоків, сучасне математичне та програмне забезпечення. Завдяки цьому виділенні зони аномальної густини порід земної кори та верхньої мантиї та встановлені закономірності в їх розподілі [2].

Тільки завдяки сильному гравітаційному полю на Землі утримуються гідросфера і атмосфера, що забезпечує існування життя. Гравітаційне поле (прискорення вільного падіння) в межах поверхні планети змінюється від  $9,78 \text{ м/с}^2$  на екваторі до  $9,83 \text{ м/с}^2$  на полюсах. На фоні таких закономірних широтних змін поля сили тяжіння виділяються гравітаційні аномалії геологічної природи до  $(3-30) \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$ , і тимчасові варіації, обумовлені приливною дією космічних тіл, і в першу чергу Місяця і Сонця, що може приводити до періодичних змін висотного положення поверхні планети, а також до повільного перерозподілу мас усередині земної кулі [3].

Приливні варіації можуть досягати  $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$ , можлива величина вікових змін сили тяжіння протягом року ймовірно складає до  $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$ . Останніми роками все більшу увагу звертає на себе прояв тих чинників зміни сили тяжіння на поверхні літосфери, які обумовлені зміною сили тяжіння у зв'язку із інженерною діяльністю людини [3].

Адже вилучення з надр Землі значної кількості корисних копалин, штучне зниження або підвищення рівня підземних вод, створення водосховищ, будівництво великих міських агломерацій може певною мірою відобразитися на протіканні багатьох екологічно значущих процесів, таких, наприклад, як сейсмотектонічні переміщення, обвальні явища, зсуви, карстоутворення, просідання та опускання земної поверхні, тощо [3].

### **1.3 Магнітне поле Землі**

Магнітне або геомагнітне поле (рис. 1.2) – це силове поле, спричинене внаслідок електромагнітних процесів в ядрі Землі, у верхніх шарах іоносфери та намагніченістю гірських порід земної кори. Саме крайній фактор відображає наявність порід з різною концентрацією магнітних мінералів у земній корі та тим самим формує аномальне магнітне поле. Нормальне поле відображається у декількох апроксимуючих моделях, оскільки не має точного аналітичного зображення [4].

Аномальне магнітне поле території України є дуже диференційованим і має у своєму складі регіональну та локальну компоненти, що відрізняються між собою за поперечними розмірами аномалій та глибинністю їх джерел. Регіональна компонента поля, зумовлена неоднорідністю складу нижньої частини земної кори і рельєфом підшви магнітоактивного шару. Вона відображає регіональні риси великих геоструктур, зокрема, окремих блоків Українського щита і накладених западин платформної частини території, границі Східно-Європейської платформи та неоднорідність земної кори в межах Гірського Криму та Карпат [4].

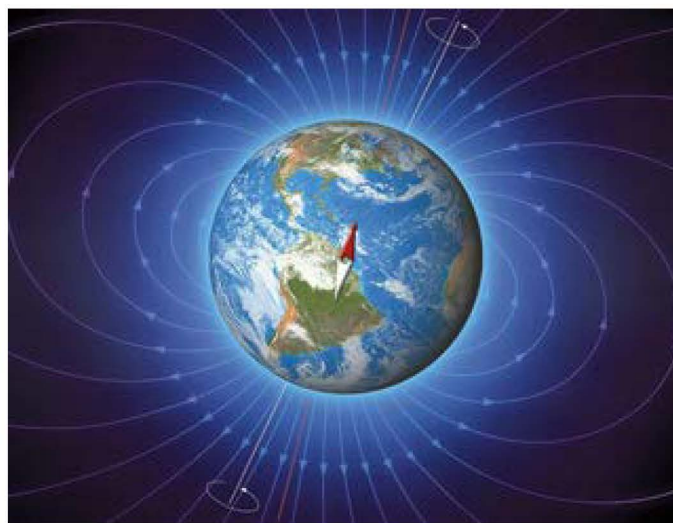


Рис. 1.2. Магнітне поле Землі

Локальна компонента аномального магнітного поля відображає склад і будову впливу намагнічених порід верхньої частини кори. На даний час при геологічному картуванні порід, вивченні складчастої та розривної тектоніки, тектонічному районуванні ця компонента використовується як одне з надійних джерел інформації, а в комплексі з регіональною компонентою та іншими геофізичними даними – для вивчення співвідношень приповерхневих та глибинних структур літосфери. Останнє є важливим чинником для розробки пошукових критеріїв різних типів корисних копалин [4].

В останні роки аномальне магнітне поле успішно застосовується для створення об'ємних моделей різного масштабу геологічного середовища, що є невід'ємним

фактором оцінювання перспективності геологічних структур щодо різноманітних корисних копалин [4].

Вчені з різних країн намагалися пояснити походження магнітного поля Землі. З багатьох теорій, які брали до розгляду, найбільш поширеною є теорія динамо, згідно якої Земля електромагніт: електричний струм, що генерується внаслідок конвекції в рідкому ядрі, утворює навколо себе постійне магнітне поле. Землю розглядають як магнітний диполь. Його південний полюс знаходиться на географічному Північному полюсі, а північний, на Південному. Вісь магнітного поля нахилена по відношенню до осі обертання Землі на  $11,6^\circ$  [4].

Область навколоземного простору, в межах якої виявляється земне магнітне поле, називається магнітосферою. Магнітосфера простягається на 70 – 80 тис. км в напрямі Сонця, вона екранує поверхню Землі, захищаючи від впливу заряджених частинок, високої енергії та космічних променів, які є шкідливими [5].

Магнітосфера Землі відхиляє потік частинок, серед яких іонізовані заряджені частинки сонячного вітру, що летять з космосу до полюсів, забираючи їхню початкову енергію. Направляючи частинки вздовж ліній магнітного поля, змінюється і траєкторія їх руху. Затримуючись у верхніх шарах атмосфери потоки космічних частинок перетворюються на таке явище як полярне сяйво [5].

Історія літосфери та її формування тісно пов'язана з магнітними властивостями порід і магнітним полем Землі. При цьому магнітне поле зобов'язане своїм існуванням в основному завдяки відносно стабільним джерелам, що знаходяться в ядрі Землі, та частково струмами, що ініціюються сонячною активністю. Земля є магнітним диполем гігантських розмірів, поле якого має прояв на поверхні планети далеко за її межами в навколоземному просторі, створюючи так звану магнітосферу. Магнітне поле, що спостерігається на земній поверхні або поблизу неї, зумовлено сукупним впливом безлічі джерел і у тому числі, розташованих в об'ємі літосфери [3].

На тлі нормального геомагнітного поля, напруженістю величиною 39,8 – 49,2 А/м, виділяються аномалії, які обумовлені різними причинами, такими як скупчення гірських порід з вираженими магнітними властивостями в межах верхніх шарів

літосфери, наслідки дії зовнішніх джерел на магнітосферу Землі. В першому випадку залишається незмінним просторове положення аномалії, а її величина змінюється від одиниць до 100 А/м; в другому випадку можливі істотні зміни, які стосуються як просторового положення, так і амплітуди аномалій [3].

## 1.4 Електричне поле Землі

Електричне поле Землі, природне електричне поле Землі як планети, яке спостерігається в твердому тілі Землі, в морях, в атмосфері і магнітосфері. Воно обумовлено складним комплексом геофізичних явищ. Розподіл потенціалу поля несе в собі певну інформацію про будову Землі, про процеси, що протікають в нижніх шарах атмосфери, в іоносфері, магнітосфері, а також в ближньому міжпланетному просторі і на Сонці [6].

Методика виміру електричного поля визначається тим середовищем, в якому спостерігається поле. Найбільш універсальний спосіб – визначення різниці потенціалів за допомогою рознесених в просторі електродів. Цей спосіб застосовується при реєстрації земних струмів, при вимірі з літальних апаратів електричного поля атмосфери, а з космічних апаратів – магнітосфери і космічного простору [6].

Існування електричного поля в атмосфері Землі пов'язане в основному з процесами іонізації повітря і просторовим розділенням що виникають при іонізації позитивних і негативних електричних зарядів. Іонізація повітря відбувається під дією космічних променів ультрафіолетового випромінювання Сонця; випромінювання радіоактивних речовин, що є на поверхні Землі і в повітрі; електричних розрядів в атмосфері і т. д. [6].

Багато атмосферних процесів: конвекція утворення хмар, осідання та інші – приводять до часткового розділення різнойменних зарядів і виникнення атмосферних електричних полів. У обміні зарядами між поверхнею Землі і атмосферою значну роль відіграє осідання. В середньому осідання приносить в 1,1 – 1,4 разів більше



позитивних зарядів, ніж негативних. Витік зарядів з атмосфери заповнюється також за рахунок струмів, пов'язаних з блискавками і набряканням зарядів із загострених предметів [6].

Існування статичного негативного заряду на поверхні Землі говорить про те, що ці струми в середньому збалансовані. Електричні поля в іоносфері обумовлені процесами, що протікають як у верхніх шарах атмосфери, так і в магнітосфері. Приливні рухи повітря мас, вітри, турбулентність – все це є джерелом генерації електричного поля в іоносфері завдяки ефекту гідромагнітного динамо [6].

Одним з безпосередніх джерел електричного поля в магнітосфері є сонячний вітер. При обтіканні магнітосфери сонячним вітром виникає електрорушійна сила. Вона викликає електричні струми що замикаються зворотними струмами, поточними поперек хвоста магнітосфери. Останні породжуються позитивними просторовими зарядами на ранішній стороні хвоста магнітосфери і негативними – на його вечірній стороні. Величина напруженості електричного поля поперек хвоста магнітосфери досягає 1 мВ/м [6].

За генетичною ознакою джерела, які створюють поля електричних струмів, підрозділяються на природні і штучні (техногенні), а по відношенню до літосферного простору – на зовнішні і внутрішні. Природа електричних полів різноманітна. Це, з одного боку, природні поля природних електронних провідників, фільтраційні і термофільтраційні, дифузійні, телуричних струмів і грозових розрядів. З другого боку, існують поля електричних струмів штучного походження, що створюються внаслідок діяльності людини [3].

## **1.5 Теплове поле Землі**

Теплове поле (рис. 1.3) – поле, зумовлене одномоментною сукупністю значень температури і щільності теплового потоку у всіх точках досліджуваного простору, яка визначається внутрішніми і зовнішніми джерелами тепла, а також тепловими властивостями гірських порід [8].

Теплове поле Землі формується за рахунок різних джерел тепла, його перенесення і перерозподілу. Джерелами тепла служать внутрішні глибинні теплові процеси і сонячна енергія. Перенесення і перерозподіл тепла в земній корі здійснюється молекулярною теплопровідністю гірських порід, конвекцією та випромінюванням. На глибинах понад 10 км найбільшу роль в переносі тепла відіграють випромінювання нагрітої речовини надр і конвекція. Вимірюваними параметрами теплового поля Землі є температура гірських порід, приріст її з глибиною і теплопровідність [8].

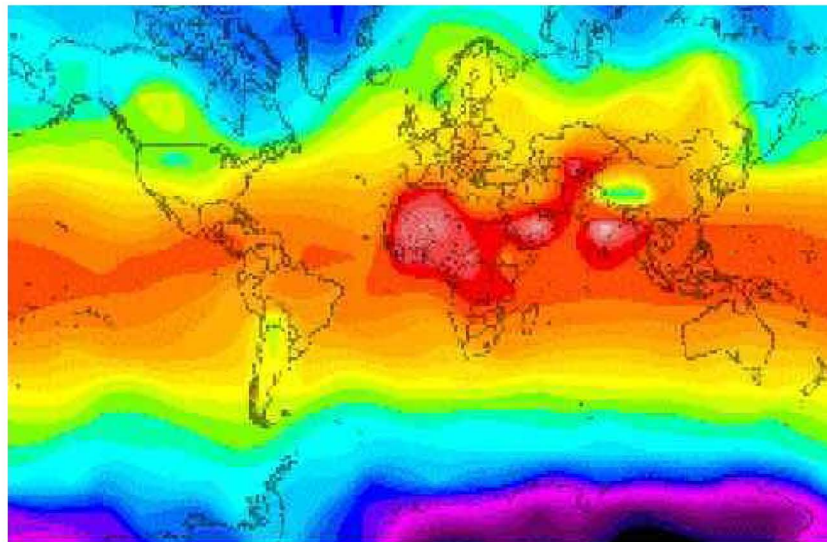


Рис. 1.3. Розподіл температур Землі

Тепловий потік із земних надр – не єдина форма внутрішньої енергії Землі. Крім вулканів, які представляються головним чином явищами термічного характеру, найзначнішим проявом внутрішньої енергії слід вважати тектонічну активність. До основних процесів, керуваних тектонічною активністю Землі, відносяться тільки ті процеси, які в найбільшій мірі знижують потенційну енергію нашої планети і системи Земля – Місяць. При цьому зниження потенційної енергії відбувається за рахунок її переходу в тепло, і в кінетичну енергію руху земних мас - конвекцію, дрейф літосферних плит, горотворення і т. д. [8].

У свою чергу, будь-які переміщення земних мас також супроводжуються розсіюванням кінетичної енергії і виділенням тепла. Тепло це призводить до часткового розплавлення речовини верхньої мантії або порід континентальної кори, живлячи тим самим своєю енергією магматизм Землі. Однак, врешті-решт, все це тепло поступово втрачається з тепловим випромінюванням через земну поверхню і розсіюється в космос [8].

Найбільш потужними внутрішньоземними енергетичними процесами є: процес гравітаційної диференціації земної речовини за щільністю, процес розпаду радіоактивних елементів і процес приливної взаємодії Місяця з Землею. Впливом інших джерел енергії на тепловий стан Землі можна знехтувати. Не має на внутрішню енергетику нашої планети і істотного впливу тепловий потік сонячного випромінювання, так як він активно впливає лише на прояв процесів – вивітрювання порід, поверхнєве перенесення продуктів їх руйнування і т. д. [8].

Безпосередні геотермічні вимірювання і непрямі дані дозволяють виділити в земній товщі три характерні термічні зони. Вони розрізняються за джерелами генерації тепла і, як наслідок, змін температури в часі і по глибині. Верхня, приповерхнева, тонка (в середньому до 30 м) зона земної кори має температуру, яка визначається сонячною радіацією. Це геліометрична зона, яка має сезонні коливання температури [8].

Надходження сонячної радіації на земну поверхню має яскраво виражений добовий, сезонний, річний і багатолітний хід, що призводить до відповідних циклічних змін температури повітря і поверхні Землі. Чим більший період циклічності середніх температур повітря, тим на більшу глибину в земну кору вони проникають. Залежно від глибини проникнення амплітуди коливань температури в геліометричній зоні виділяють шар добових і шар річних коливань температури. Нижче розташовується ще більш тонка нейтральна зона (пояс) з постійною температурою, яка відповідає середній річній температурі даного місця. Всю товщу земної кори, яка залягає нижче, а також мантію і земне ядро займає геотермічна зона, температура якої визначається внутрішніми тепловими джерелами Землі, теплопровідністю порід і наростає з глибиною [8].

За рахунок зовнішніх і внутрішніх джерел тепла формується тепловий стан земної поверхні. Екзогенний потік енергії складається в основному з електромагнітного випромінювання Сонця – сонячної радіації, яка майже повністю перетворюється в тепло потрапляючи на Землю. Від географічної широти місцевості, пори року, хмарності і прозорості атмосфери залежить кількість отриманої сонячної радіації. Земна поверхня поглинає тільки частину сонячного випромінювання, а іншу частина відбиває. Саме від відбивної здатності поверхні залежить частина поглинутого випромінювання [8].

Тепло, яке утворюється за рахунок гравітаційної енергії, яка виділяється при переміщенні глибинної речовини в земне ядро, в процесі розпаду радіоактивних елементів, адіабатичного стиску Землі і хімічних реакцій в гірських породах відносять до ендогенних джерел теплового поля. Енергія земних припливів, тобто деформацій Землі, які відбуваються в більшості випадків вздовж розломів під дією притягання Місяця і Сонця є важливим джерелом. Процеси гравітаційного розшарування глибинної речовини, згідно із сучасними дослідженнями дають основну кількість тепла, яке визначає теплове поле планети [8].

Тепловий стан Землі (рис. 1.4) і закономірності його зміни визначаються загальним тепловим балансом масивів гірських порід, який залежить від розподілу отриманої енергії. Він, обумовлений глобальними, регіональними і локальними особливостями будови планети і її приповерхневих частин [3].

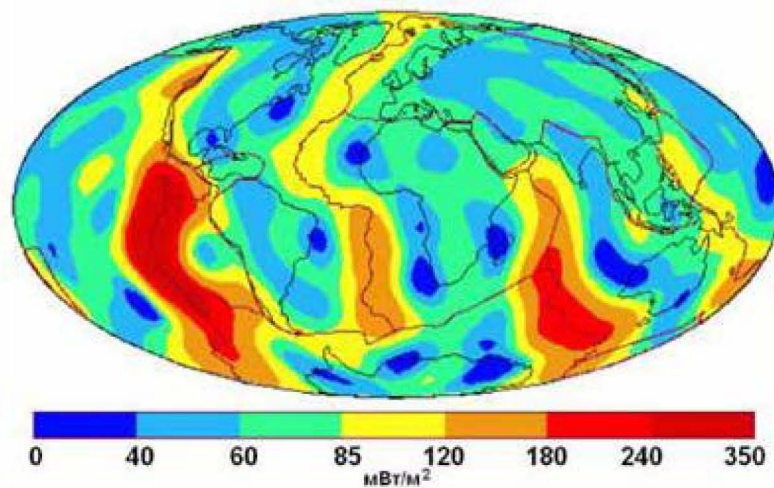


Рис. 1.4. Тепловий потік Землі

Енергетична взаємодія Землі з Сонцем, космічним простором та з джерелами теплової енергії встановлює температурний режим верхньої частини земної кори. Внутрішнім основним джерелом тепла є реакції ядерного розпаду радіоактивних елементів, потужність якого приблизно в 1,5 рази перевищує сумарну потужність всієї решти планетарних джерел теплової енергії [3].

## 1.6 Радіаційне поле Землі

Поле іонізуючих випромінювань (рис. 1.5) притаманне Землі, як космічному об'єкту, і складається з космічного випромінювання, радіоактивного розпаду елементів земної кори та дегазації радіоактивних газів, що виходять на поверхню. В результаті на денній поверхні формується радіаційний фон [3].

Радіоактивні елементи є головними джерелами земної радіації, вони містяться в гірських породах, які утворилися в результаті геофізичних процесів. В гранітних породах і вулканічних утвореннях міститься найбільша концентрація радіоактивних елементів. При цьому, радіоактивність цих порід неоднакова. Середніми (нормальними) за радіоактивністю вважаються природні об'єкти, в яких кларковий вміст не перевищує 2,5 г/т [8,8].

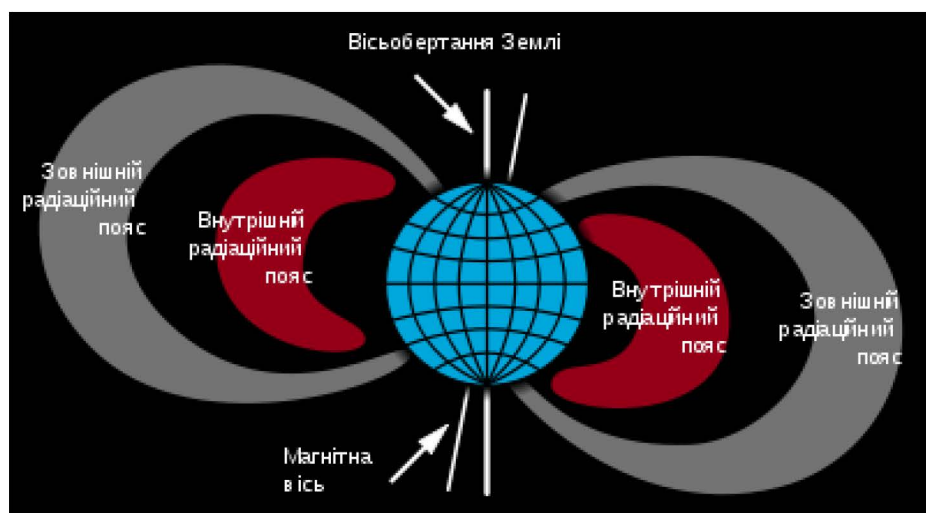


Рис. 1.5. Радіаційне поле Землі



Потужним захистом для людства від космічної радіації є магнітне поле Землі, хоча деяка кількість високоенергетичних частинок проходить крізь нього і досягає верхніх шарів атмосфери. Одні ділянки земної поверхні відчувають більший вплив космічної радіації, наприклад Південний і Північний полюси отримують більше опромінення, ніж екваторіальні області, через менший вплив магнітного поля Землі. Радіаційні пояси утворюються від заряджених частинок, які потрапляють в магнітне поле. Рівні земної радіації неоднакові і залежать від концентрації радіонуклідів в тій чи іншій ділянці земної кори. Природні джерела радіоактивності в малих кількостях містяться в будь-якому ґрунті [8].

Космічний фон, на частку якого доводиться всього близько 12% загального рівня радіоактивності, характеризується потужністю дози випромінювання в 3 – 6 мкР/год або 0,03 – 0,06 мкГр/год. У високогір'ї космічний радіаційний фон зростає на 0,015 мкГр/год (1,5 мкР/год) на кожний кілометр перевищення відмітки рельєфу місцевості [3].

## 1.7 Сейсмічне поле Землі

Сейсмічне поле Землі – це поле, яке зумовлене активними процесами руху речовини в надрах Землі, які проявляються великою кількістю землетрусів різної сили, і реєструються по всій поверхні Землі, але досягаючи відчутної сили лише в окремих регіонах (зони активного гороутворення, узбережжя океанів тощо) [10].

Досліджують це явище, виконуючи автоматичні записи на спеціальній апаратурі, завдяки чому вчені проводять моніторинг пружних хвиль. Пружними хвилями, які виникають внаслідок низькочастотних механічних коливань речовини в земних надрах розповсюджується енергія сейсмічного поля. На шляху енергія хвилі частково поглинається, підвищуючи внутрішню енергію, а інтенсивність зменшується обернено пропорційно квадрату відстані від джерела до точки спостережень [10].

Виділяють поверхневі та об'ємні хвилі. Об'ємні, відповідно, поділяються на поздовжні, які поширюються у твердих тілах, рідинах, газах і їх швидкість залежить від властивості об'ємного стискання, густини речовини та її пружних характеристик та поперечні. Враховуючи геологічну будову регіону і віку порід були приблизно визначені швидкості поздовжніх та поперечних хвиль для корисних копалин. На шляху від глибин до поверхні, хвилі відбиваються та заломлюються на межах різних шарів земних надр [10].

Сейсмоприймач, увімкнений в електричне коло разом зі спеціальною технікою – сейсмічними станціями або сейсмографами здійснює реєстрацію моменту досягнення хвилею певної точки земної поверхні [10].

Визначити горизонтальні та вертикальні зміщення гірських порід можна на основі взаємозв'язку між механічною напругою та деформацією. В умовах земної поверхні вимірюють деформації порід за змінами електричного струму в котушці, осердя якої рухається разом з ґрунтом.

Струм, який виникає в електричному колі, за законом електромагнітної індукції, фіксується апаратурою. Далі виконується детальна обробка і аналіз отриманих даних для виявлення необхідної інформації (в сейсмології – про епіцентр, силу та напрям землетрусу, про глибинну будову Землі; в сейсморозвідці – про наявність певних корисних копалин, під час сейсмічних досліджень в свердловинах – про властивості певного шару гірських порід). При цьому обов'язково використовуються дані та результати інших методів та геофізики [10].

## РОЗДІЛ 2

### ПОНЯТТЯ КАРТОГРАФУВАННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ ПОЛІВ

#### 2.1 Геофізичне картографування та його особливості

Геофізичне картографування являє собою особливу галузь тематичної картографії, основним завданням якої є достовірне відображення результатів досліджень геофізики.

Геофізика характеризується комплексним підходом до вивчення геосфер за допомогою методів природничих і точних наук, тому результати геофізичних досліджень застосовуються при вирішенні широкого кола науково-практичних завдань. Основними з них є розвідка і видобуток корисних копалин, освоєння енергії земних надр, вивчення магнітної і сонячної активності, охорона навколишнього середовища і інших.

Концепція геофізичних досліджень має на меті створення фізико-геологічними тілами безперервних фізичних полів як результату впливу чинників різного генезису. Виявлення природи цих факторів і аналіз полів проводяться за допомогою геофізичних методів досліджень. Методи розвідувальної геофізики дозволяють проводити вивчення таких фізичних полів як гравітаційне, магнітне, електричне, сейсмічне поле, теплове (термічне) і радіоактивне [19, 20].

У процесі вивчення просторового розподілу полів відбувається отримання інформації про зміну значень геофізичних параметрів і їх коливаннях щодо нормальних значень. Геофізичні аномалії, що представляють собою різницю між значеннями спостережуваного геофізичного поля і нормального поля Землі (або іншого розрахункового рівня), обумовлені різними факторами, облік яких здійснюється за геологічної інтерпретації.

Результати досліджень геофізичних полів піддаються кількісній та якісній інтерпретації з метою отримання відомостей про досліджуване явище і їх тлумачення



з урахуванням особливостей. Для цих цілей в геофізиці використовують різні засоби моделювання, серед яких найбільш значущу роль відіграє картографічна модель [19, 20].

Картографічна форма подання є найбільш оптимальним методом відображення геофізичної інформації, що відрізняється своєю безперервністю в просторі і в часі. Для відображення реального фізичного поля використовується ізолінійне моделювання, що дозволяє забезпечити достатньо високу математичну точність відтворення інформації на карті.

В цьому відношенні вивчення картографічної моделі геофізичної інформації дає можливість більш ефективно розвивати застосування поля як методу вивчення не тільки для безперервних природних об'єктів, а й соціально-економічних об'єктів картографування [19, 20].

Сьогодні геофізичне картографування розвивається переважно в рамках геологічного картографування. Наслідком цього є недолік уваги до геофізичних карт як до особливих тематичних карт. На даний момент є поодинокі публікації, що стосуються теоретичних і методологічних проблем окремих галузей геофізичного картографування. Найбільш розвиненим в цьому відношенні є картографування магнітного поля Землі, якому присвячені роботи в області магнітної картографії [21, 22].

Історія геофізичного картографування налічує більше трьох століть, проте на сьогодні відсутній структурований опис основних картографічних творів різних етапів розвитку геофізичного картографування [24].

У світовій і вітчизняній літературі різняться відомості про наявність картографічних творів минулого, а наявні періодизації характеризують винятково технічний прогрес геофізичних спостережень. В цьому відношенні найбільш повними є історико-наукові праці, присвячені геологічному картографуванню і картографуванню магнітних явищ [24].

Зародження геофізичного картографування безпосередньо пов'язано з першими успіхами людства в області вивчення елементів земного магнетизму. В епоху Великих географічних відкриттів з'явилися перші карти геофізичних явищ –

карти магнітного схилення. Така інформація і її подальший детальний аналіз стали потужним поштовхом до розвитку науки про геомагнетизм і застосування карт в наукових і практичних дослідженнях геофізичних явищ [22].

У XIX столітті з'являються карти інших елементів магнітного поля і стають головним інструментом при вивченні геомагнетизму і становленні науки про нього. До кінця XIX століття вивчення магнітного поля Землі набуває значимості державних масштабів.

Таким чином, поява перших геофізичних карт – карт магнітного поля – приурочена до практичної діяльності людини в області мореплавства і тим самим послугувало становленню науки про геомагнетизм і космічну геофізику [23].

Новим етапом розвитку геофізичного картографування став період формування загальної геофізики і розвідувальної геофізики, чий методи дослідження надр Землі майже миттєво прийшли в геологорозвідувальні роботи і розширили тематику геофізичних карт [23].

Карти фізичних полів стали широко використовуватися у вивченні регіональної геологічної будови в післявоєнний період. Почали здійснюватися систематичні зйомки гравітаційного і магнітного полів, а згодом і полів природної радіоактивності великих територій [23].

Найбільш поширеними є карти параметрів магнітного та гравітаційного полів, а також сейсмічні карти, що характеризують природне поле пружних хвиль. Карти теплового поля поміщають тільки в національні атласи, а карти інших полів або представлені дуже рідко зважаючи на специфіку явища (радіометричні поля), або відсутні повністю внаслідок найбільш ефективного вивчення на локальному рівні (електричні поля) [25].

Необхідно відзначити особливу роль, яку зіграли геофізичні карти в розширенні методичної бази картографування безперервних просторових і часових явищ. Саме через геофізичні карти в картографію проникли прийоми математичного аналізу, що застосовувалися в геофізиці [25].

Специфіка геофізичних полів, а також властивості самої картографічної моделі, обумовлюють різні методи створення геофізичних карт в залежності від масштабного рівня, просторового охоплення території і призначення.

На вибір математичної основи для геофізичних карт основний вплив роблять фактори, що характеризують створювану карту, а саме масштаб і призначення карти. Для великомасштабних геофізичних карт через невелике охоплення території характерно застосування рівнокутної поперечно-циліндричної проекції Гауса – Крюгера. Для середньо- і дрібномасштабних використовуються проекції, придатні для більш широких територій зі збереженням конфігурації ізоліній [26].

Якщо карта призначена для аналізу майданного поширення явища, то слід використовувати рівновеликі і рівнопроміжні проекції, що дозволяють зберігати об'єкти з невеликими спотвореннями площі. У разі необхідності проведення картометричних робіт за геофізичними картами важливо зберігати без спотворень напрямки і кути, тобто використовувати рівнокутні проекції [26].

Компонування геофізичної карти також залежить від її призначення. У практиці геофізичного картографування використовується жорстке і плаваюче компонування. У разі складання геофізичних карт в атласи використовується компоновка, прийнята для карт відповідного розділу. Також для узагальненого або детального відображення поширення геофізичних явищ допускається застосування дрібномасштабних карт-врізів [26].

Загальногеографічна основа на геофізичних картах служить просторовим орієнтиром, у зв'язку з чим елементи рельєфу і рослинності, як правило, не показуються, а населені пункти, об'єкти дорожньої і гідрографічної мереж значно розвантажуються в залежності від масштабу карти [26].

Питання складання загальногеографічної основи великомасштабних геофізичних карт вирішуються шляхом значної схематизації без конкретних значень цензів. В атласах витримуються принципи узгодження загальногеографічного і тематичного змісту, тому для геофізичних карт застосовується типова основа карт природних явищ.

Для забезпечення географічної прив'язки тематичного змісту елементи загальногеографічної основи оформляються приглушеним сірим кольором, створюючи багатоплановість зображення [26].

Основним способом картографічного відображення на геофізичних картах є спосіб ізоліній, тематичний зміст передається різними системами ізоліній [26].

Спосіб ізоліній використовується в наступних найбільш поширених варіантах:

1. Кольорове оформлення ступенів між ізолініями.

Кольорове оформлення ступенів між ізолініями широко використовується в практиці не тільки вітчизняного, але і зарубіжного складання геофізичних карт. Часто колірні шкали будуються за принципом градієнтної шкали з хроматичними кольорами на обох кінцях, і в разі широкого діапазону картографованого геофізичного параметра спостерігається недостатнє розрізнення сусідніх ступенів.

Для поліпшення зорового сприйняття при розробці колірних шкал геофізичних карт справедливо враховувати деякі основні вимоги, сформульовані щодо гіпсометричних шкал в роботі [27].

Наприклад, колірні шкали повинні формувати враження єдиної поверхні, незважаючи на ступінчастий характер забарвлення. Ступені шкал повинні бути помітними, не містити темні кольори і забезпечувати надійне читання карти [27].

В атласному картографуванні також поширене відображення параметрів геофізичних полів тільки фоновим забарвленням без проведення ізоліній. У цьому випадку досягається ефект наочності, проте зазнає збитків точність, оскільки плавний перехід не дозволяє достовірно визначити кількісно кордони зміни картографованого явища [27].

2. Оформлення без фонового забарвлення ступенів між ізолініями (рис. 2.1).

Спосіб раніше широко використовувався для великомасштабних геофізичних карт, створюваних за підсумками польових зйомок, на які наносилися тільки ізолінії. Сьогодні оформлення без фонового забарвлення ступенів між ізолініями застосовується в тих випадках, коли забарвлення мають самі ізолінії [27].

Крім кольору відмінності в ізолініях підкреслюються їх товщиною і використанням штрихування. Потовщення ізоліній застосовується для відображення

нульових значень показника, а також для ізоліній з кратними значеннями, подібно потовщеним горизонталям на топографічних картах.

Пунктирні ізолінії застосовуються в різних випадках: для показу негативних значень аномалій, для додаткових ізоліній, для позначення передбачуваних ізоліній [27].

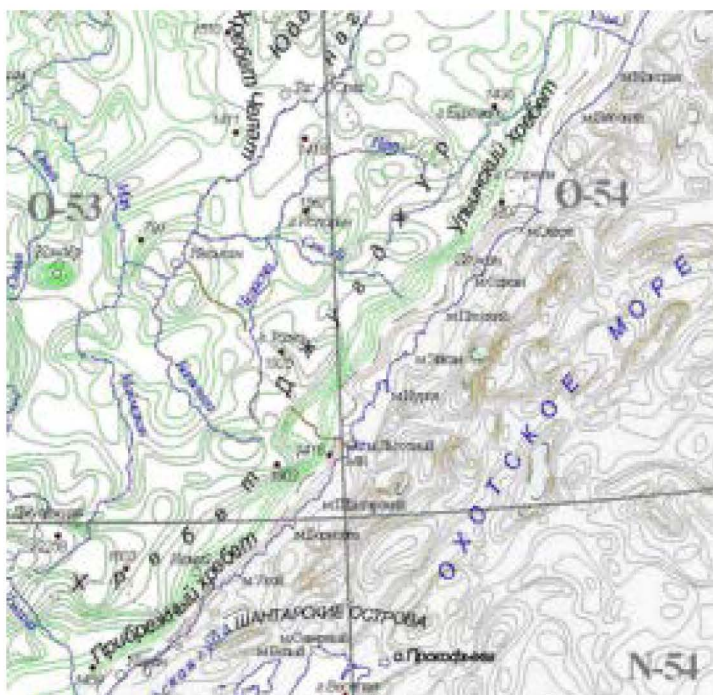


Рис. 2.1. Фрагмент карти гравітаційного поля оформлений без фонового забарвлення ступенів між ізолініями

### 3. Оформлення з використанням методу тіньової пластики (рис. 2.2).

Метод тіньової пластики використовується для більш доступного сприйняття особливостей тематичного змісту геофізичних карт і створення ілюзії об'ємності. Крім ізоліній для передачі інформації на геофізичних картах різного змісту застосовуються методи значків, лінійні знаки, а також якісний і кількісний фон [27].

Способом значків, як правило, передаються відомості про об'єкти і явища, що мають локальний характер поширення. Спосіб лінійних знаків використовується для показу геофізичних явищ, що мають умовно лінійний характер поширення.

Умовність визначена тим, що геофізичне поле саме по собі є безперервним явищем, однак для найкращого відображення окремих елементів поля вигідно застосовувати лінійний знак, наприклад, в разі наявності градієнтної зони розподілу поля, необхідності відобразити напрямки екстремальних значень градієнтів, сейсмотектонічних ліній різного ступеня активності, осей позитивних або негативних аномалій, і так далі. Також спосіб лінійних знаків застосовується на картах геофізичної вивченості, де виділяються профілі спостережень [27].

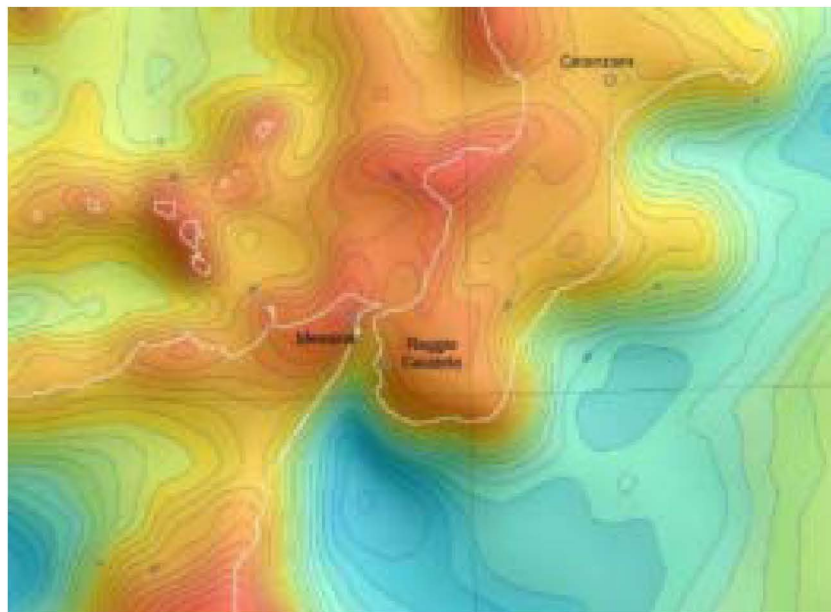


Рис. 2.2. Фрагмент карти гравітаційного поля оформлений з використанням методу тіньової пластики

Якісний і кількісний фон застосовується для геофізичних карт, який складають за результатами узагальнення просторових даних, типологічного розподілу картографованого явища. Якісний фон застосовується при відображенні областей поля, однорідних за своїми морфологічними особливостями – в залежності від виду карти використовується колірний або штриховий фон. Спосіб використовується в основному при оформленні карт районування. Кількісним фоном на геофізичних картах показуються райони поширення поля, виділені за числовими критеріями [27].

На даний час складання карт геофізичних полів регламентується різними інструкціями, які, як правило, є складовою частиною базових нормативно-

методичних документів з проведення геофізичних зйомок, складання геологічних карт і інше.

Інформаційні ресурси в геофізичному картографуванні є основним фактором якості підсумкових картографічних матеріалів і об'єктом регламентування існуючих нормативних документів. Джерела інформації, якими оперують при складанні геофізичних карт різного масштабу, умовно можна поділити на первинні і вторинні. До первинних джерел відносяться власне дані геофізичних зйомок, а до вторинних – картографічні матеріали, цифрові моделі геофізичних полів і ГІС-атласи.

На основі аналізу нормативних документів та нечисленних робіт, можна визначити загальні етапи технологічних процесів складання геофізичних карт незалежно від виду картографованого поля [27]:

1. Вибір і попередній аналіз вихідних даних.
2. Обробка даних.
3. Створення і оформлення підсумкових результатів.

Перший етап включає вибір і оцінку якості джерел інформації з подальшим складанням карт вивченості і схем використаних матеріалів. Етап обробки включає в себе комплекс процедур підвищення якості даних, їх переведення в інший формат представлення, безпосередньо обробку із застосуванням математичних методів і інтерпретацію отриманих результатів. На цьому етапі вибирається оптимальна роздільна здатність осередку матриці і метод інтерполяції. Заключний етап включає створення цифрової моделі геофізичного поля і її візуалізацію згідно картографічним правилам [27].

Підсумковими цифровими моделями можуть бути як безпосередні результати обробки даних, так і спеціально підготовлені для картографічної візуалізації ґрід-файли з розрідженою регулярною мережею. Використання останніх дозволяє уникнути зайвої деталізації тематичного змісту, оскільки при побудові цифрової моделі враховується масштаб майбутньої карти і прийнятий на ній перетин ізоліній [27].



Особливості етапів складання геофізичних карт в залежності від вихідних даних наведено у таблиці 2.3.1.

Таблиця 2.3.1

Етапи складання геофізичних карт в залежності від вихідних даних

Етапи складання геофізичних карт	Картографічні матеріали	Цифрові моделі геофізичних полів
Аналіз вихідних даних	Визначення відповідності даних вимогам інструкцій; перетину ізоліній; особливостей генералізації; актуальності інформації, що передається; масштабу; якість відтворення.	Визначення просторового дозволу; застосованих методів інтерполяції.
Обробка даних	Виконання сканування; геоприв'язки; зшивання аркушів; векторизації і усунення помилок векторизації; перекладу в матричну форму; спеціалізованої обробки: трансляція в інший формат, ув'язка, фільтрація, згладжування, усунення нев'язок.	Виконання редукування детальної і базової матриці (знаходження нев'язок за рівнем поля, розрахунок тренда поправок і перерахунок вихідних матриць); ув'язка різноформатних даних; спільна обробка єдиної матриці (фільтрація, згладжування).
Побудова карти	Виконання інтерполяції цифрової матриці; вибір перетину ізоліній і їх побудова; розробка загальногеографічного змісту; зарамкове оформлення.	Виконання інтерполяції цифрової матриці; вибір перетину ізоліній і їх побудова; розробка загальногеографічного змісту; зарамкове оформлення.
Підсумкові результати:	Цифрова модель поля. Картографічна модель.	Нова або оновлена цифрова модель поля. Картографічна модель



Підсумкові макети карт в даний час створюються в геоінформаційних системах шляхом конвертації цифрових моделей в ГІС-середовище, подальшою побудовою на їх основі систем ізоліній і полігонів для оформлення рівнів колірної заливки [27].

В цьому напрямку розробляються і застосовуються певні прийоми використання інструментів згладжування ізоліній, отриманих по цифровій моделі, узгодження і ув'язки ізоліній в разі складання сусідніх аркушів карт, нанесення підписів ізоліній, колірного оформлення і так далі. Таким чином, на сьогоднішній день геофізична інформація представляється у вигляді цифрових картографічних моделей полів [27].

Останні роки принесли в геофізичне картографування необхідність застосування цифрових методів складання карт, обробки інформації та створення банків і баз геолого-геофізичних даних.

В даний час геофізичні карти представляють собою цифрові моделі матричного формату, що дозволяє вирішувати завдання багаторазового використання інформації і складання моделей геофізичних полів як на локальні і регіональні ділянки земної поверхні. Геоінформаційні технології розширили застосування геофізичних методів не тільки для цілей геології, а й для інших галузей знань і посилили загальний інтерес до вивчення глобального розподілу геофізичних полів за допомогою карт. Атласне картографування зміщується в сторону створення ГІС атласів, що представляють собою збірки картографічних та інших даних.

В даний час геофізичне картографування характеризується використанням геоінформаційних систем і цифрових моделей геофізичних полів, веденням баз даних, розробкою і застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення. Це зумовлює використання карти як однієї з форм сучасного представлення інформації про геофізичні поля.

В цифровому геофізичному картографуванні використовуються методи геоінформаційного картографування, методи кореляційного, кластерного, таксономічного аналізу, геостатистичні методи, сучасні інформаційні технології, а також математико-картографічне моделювання та інші методи автоматизації процесів складання карт.

## 2.2 Геоінформаційне картографування

Геоінформаційне картографування (ГК) – автоматизоване створення і використання карт на основі ГІС і баз картографічних даних. Сутність ГК складає інформаційно-картографічне моделювання геосистем [29].

Геоінформаційне картографування виникло і розвивається як пряме продовження комплексного, синтетичного і далі – системного картографування в новому середовищі інформаційних технологій.

ГК як і будь-який інший вид картографування, може бути галузевим і комплексним, аналітичним і синтетичним. Відповідно до класифікацій прийнятих в картографії, виділяються види і типи картографування. Можна підрозділяти ГК за просторовим охопленням, масштабом, призначенням, ступеня синтезу та інших підставах.

Серед характерних рис ГК, які свідчать про суттєво новий рівень картографування, найбільш важливі наступні [29]:

- висока ступінь автоматизації, опора на бази цифрових картографічних даних і бази географічних знань;
- системний підхід до відображення і аналізу геосистем;
- інтерактивність картографування, яка забезпечує тісне поєднання методів створення і використання карт;
- оперативність, яка наближаються до реального часу, в тому числі, з широким використанням даних дистанційного зондування;
- багатоваріантність, яка припускає різносторонню оцінку ситуацій і спектр альтернативних рішень;
- мультимедійність, яка дозволяє поєднувати іконічні, текстові, звукові відображення;
- застосування нових графічних зображувальних засобів і дизайну;

- створення геозображень, нових видів і типів (електронних карт, тривимірних комп'ютерних моделей і анімацій та інше);
- переважно проблемно-практична орієнтація картографування, націлена на забезпечення прийняття рішень.

Одним з ключових понять в картографії, в тому числі і в геоінформаційному картографуванні, є поняття картографічного зображення. При цьому, оскільки саме геоінформаційне картографування характеризується перерахованими поруч принциповими особливостями, призначення, сутність і властивості картографічного зображення також вимагають переосмислення та аналізу.

Призначення картографічного зображення обумовлено тим, що воно не є єдиним інформаційним продуктом. У ГК створюються і використовуються 3 види інформаційних продуктів: геоінформаційні (цифрові) моделі місцевості, геоінформаційні (цифрові) картографічні зображення та інші (некартографічні) комп'ютерні геозображення.

Геоінформаційна модель місцевості забезпечує модельне уявлення місцевості в комп'ютерній (цифровій) формі і призначене для безпосередньої комп'ютерної обробки і просторового аналізу в середовищі геоінформаційних систем.

Вона містить координовану інформацію про розташування, форму, розміри і задані характеристики географічних об'єктів місцевості, природних явищ, природних і техногенних процесів, що відбуваються на досліджуваній її території. Геоінформаційна модель підлягає накопиченню, зберіганню і оновленню в територіальних банках даних. На ній вирішуються різні просторові завдання і розробляються просторові рішення [49].

Геоінформаційні картографічні та некартографічні зображення також забезпечують модельне уявлення місцевості в комп'ютерній формі, але вони призначені для безпосереднього сприйняття, що в свою чергу забезпечує участь людини в геоінформаційній обробці і аналізі даних, вирішенні завдань, підготовці і прийнятті рішень.

При цьому вони вже не є безпосереднім джерелом інформації для вирішення просторових задач в процесі геоінформаційної обробки, а або служать засобом

візуалізації змісту баз даних або вироблених просторових проектів (картографічні зображення), або є додатковою образною інформацією (аерокосмічні знімки, фото, відео, перспективні зображення).

Геоінформаційні картографічні зображення займають чільне місце серед комп'ютерних геозображень. Вони, як і всі попередні, забезпечують цілісне модельне уявлення великих територій, мають метричний характер, відображають значне число семантичних характеристик об'єктів місцевості в образно-знаковому вигляді, містять картографічні відображення візуально невидимих об'єктів території [49].

Вони можуть бути згенеровані внаслідок геоінформаційної обробки і відтворювати образ реально неіснуючої місцевості, наприклад, прогнозований стан земної поверхні. Однак при цьому, комп'ютерні картографічні зображення в ГК відрізняються від традиційних карт тим, що вже є не об'єктом безпосередньої ГІС-обробки, а засобом візуалізації результатів цієї обробки.

Будь-яке картографічне зображення відтворює такі якості реального світу, що візуально сприймаються, як розташування, форму, розміри, семантичну сутність об'єктів і явищ. При цьому з точки зору форми подання, воно поділяється на аналогове і цифрове [49].

У свою чергу, цифрові картографічні зображення за застосовуваними форматами можуть бути векторними і растровими. Векторні складають основу цифрових карт (цифрових моделей карт), а растрові – основу електронних карт.

Хоча цифрові карти з точки зору сприйняття людиною є проміжним продуктом геоінформаційного картографування, саме вони підлягають накопиченню, зберіганню, оновленню в банках картографічних даних. Вони служать вихідним матеріалом для зміни, генералізації, а також основою складання тематичних карт в цифровий формі.

Електронні карти забезпечують відтворення на екрані монітора або на інших пристроях комп'ютерної візуалізації зображення і можуть вважатися кінцевим продуктом геоінформаційного картографування.

Залежно від способу створення та обумовлених цим характеристик слід розрізняти два типи електронних карт:

1. Електронні карти на основі растрового комп'ютерного зображення, отриманого в процесі сканування аналогової карти. Вони мають ті ж картографічні характеристики, що і аналогове зображення.
2. Електронні карти, створені в процесі візуалізації цифрової карти (цифрової моделі карти). Вони не мають обмежень, пов'язаних з роздільною здатністю растра.

Аналогові картографічні зображення (АКЗ) є головним елементом традиційних карт і служать безпосереднім джерелом і сховищем геоінформації. Вони призначені для сприйняття людиною інформації про просторові властивості світу і вирішення завдань, пов'язаних з розташуванням просторових об'єктів [45].

Цифрові картографічні зображення (ЦКЗ) є засобом візуалізації цифрової картографічної моделі, що відображає об'єкти реального світу картографічним методом, але представлені в цифровій формі. Таким чином, ЦКЗ служить своєрідним інтерфейсом між людиною і машиною [45].

Картографічне зображення показує розміщення просторових предметів та їх семантику за допомогою графічних кодів – умовних знаків. Істотною відмінністю умовних знаків на графічній карті і на растровому зображенні є статичність. Умовні позначення ЦКЗ векторної карти є відображенням семантики, представлені в цифровій моделі карти комп'ютерними кодами, і можуть бути як статичними, так і динамічними [47].

Растрове картографічне зображення (РКЗ) є статичним, тоді як ЦКЗ на векторній карті, на відміну від РКЗ, дає можливість за допомогою динамічних умовних знаків і анімацій продемонструвати виникнення, розвиток, зміну в часі і переміщення в просторі різних процесів і явищ.

Найкращі можливості для динамічного геоінформаційного картографування представляють сучасні анімаційні комп'ютерні програми, що створюють картографічні анімації:

- Переміщення картографічного зображення по екрану з різною швидкістю;
- Мультиплікаційні послідовності карт-кадрів;
- Переміщення окремих елементів змісту по карті;

- Зміна освітленості або фону;
- Масштабування (приближення) зображення або його частини;
- Створення ефекту руху над картою.

Динамічні геозображення додають традиційним статичним картам необхідний часовий аспект. У зв'язку з цим введено поняття тимчасового масштабу (масштабу часу). Звідси виникають нові для геоінформаційного картографування проблеми тимчасової генералізації, розробки принципів сприйняття анімаційних геозображень [49].

Новий напрям сформувався не раптово і не на пустому місці. Геоінформаційне картографування інтегрує в себе ряд наукових напрямів сучасної картографії, піднімаючи їх на більш високий технологічний рівень.

Перш за все, його витoki прослідковуються в комплексному картографуванні, яке на чільне місце ставило програмно-координоване створення узгоджених, зіставлених і, які взаємно доповнюють серій карт і атласів природи, населення і господарства. ГК завжди являло собою метод багатостороннього пізнання дійсності картографічними методами [29].

Розвиток ідей і методик комплексного підходу привело до формування синтетичного картографування, яке висунуло на перший план цілісне відображення геосистем шляхом інтеграції параметрів, властивостей і відношень компонентів, які їх складають [29].

Особливу галузь склало оціночно-прогнозне картографування, задача якого – цілеспрямована інтегральна оцінка геосистем чи їх компонентів і передбачення їх подальшого розвитку у часі і просторі з точки зору вирішення будь-яких конкретних практичних завдань. В цьому напрямі вперше була чітко позначена роль карт, як засобу забезпечення прийняття рішень. Виник навіть особливий вид карт – рекомендовані, вміст яких складає розміщення пропонованих заходів щодо реалізації прийнятих рішень [29].

Наступний крок – розвиток системного картографування, при якому увага зосереджується на цілісному відображенні геосистем і їх елементів, ієрархії,

взаємозв'язків, динаміки, функціонування. Системний підхід проявився, з однієї сторони, в нових методах картографічного моделювання геосистем, з іншої – в системній організації самого процесу картографування.

Розуміється, синтетичне і системне картографування вимагали ґрунтового розвитку математичних методів і автоматизованих технологій, а звідси вже був один крок до створення автоматичних картографічних систем і ГІС.

Таким чином, є всі підстави вважати, що ГІС виникло і розвивається як пряме продовження комплексного, синтетичного і далі – системного картографування у новому геоінформаційному середовищі.

Принципи комплексування і оптимізація набору джерел інформації – карт, знімків, польових спостережень, статистичних даних та інше і прийомів їх аналізу – це одне з досягнень методики географічних досліджень. На жаль, комп'ютерні технології послабили увагу до проблеми встановлення раціонального комплексу методів і моделей.

Нерідко ставиться задача вводу в ГІС всієї доступної інформації, максимально повного використання всіх джерел, які є в розпорядженні, не зважаючи на їх надлишковість, взаємозалежність чи суперечливість. Підвищення надійності ГІС і ГІС потребує розробки географічно достовірних критеріїв раціонального, тобто доцільно обмеженого комплексу даних і набору методів [29].

Вичерпний перелік всіх областей і сфер застосування ГІС навряд можливий. В цьому випадку справедливі слова про те, що картографуванню доступно все. Можна назвати ряд актуальних напрямів забезпечення практичної діяльності на основі ГІС:

- пошук і раціональне використання природних ресурсів;
- територіальне і галузеве планування та управління промисловістю, сільським господарством, транспортом, енергетикою, фінансами та іншими напрямками господарства;
- розвиток засобів зв'язку і мереж телекомунікації;
- ведення комплексного і галузевого кадастру;

- моніторинг екологічного стану і природного ризику, оцінка техногенних впливів на середовище і їх наслідків, забезпечення екологічної безпеки і стійкого розвитку територій, екологічна експертиза;
- контроль умов життя і зайнятості населення, охорона здоров'я і рекреація, соціальне обслуговування та інше;
- діяльність органів законодавчої і виконавчої державної влади, політичних партій, засобів масової інформації;
- робота правоохоронних органів, силових структур, оборона країни;
- розвиток освіти і культури;
- наукові дослідження і прогнозування.

Досвід останнього часу рясніє сумними свідченнями того, що неповне врахування геоінформації, в тому числі, і недостатність картографічного забезпечення, приводять до економічних втрат, кризисних екологічних ситуацій, неефективному плануванню, прорахунків в області національної політики.

### **2.3 Інформаційні ресурси картографування**

Інформаційні ресурси в геофізичному картографуванні є основним фактором якості підсумкових картографічних матеріалів і об'єктом регламентування існуючих нормативних документів. Джерела інформації, якими оперують при складанні геофізичних карт різного масштабу, умовно можна поділити на первинні і вторинні. До первинних джерел слід відносити власне дані геофізичних зйомок, а до вторинних джерел – картографічні матеріали, цифрові моделі геофізичних полів і ГІС-атласи [39].

Польові спостереження є основним джерелом інформації для великомасштабних і рідше для середньомасштабних карт. Геофізичні зйомки різних полів проводяться за допомогою реєстрації показника, по рівномірно розподіленім



пунктам спостережень (майданна зйомка), або по системам профілів чи маршрутів, що утворюють регулярну мережу спостережень (профільна зйомка).

Вимоги до проектування зйомок встановлюються відповідними інструкціями і містять вказівки щодо вибору оптимальної густоти мережі спостережень, методики проведення спостережень в залежності від масштабу зйомки, точності визначення положення пунктів, значень досліджуваного показника і інших чинників.

Спостережені значення використовуються при побудові первинних звітних карт методами інтерполяції на міжмаршрутних ділянках. Крім великомасштабних карт результатами польових спостережень є технічний звіт, каталог пунктів спостережень і інші матеріали, що є первинними джерелами інформації.

Завдяки наступництву переданої інформації, найбільш поширеним джерелом даних є картографічні матеріали. Середньомасштабні карти можуть бути складені як за матеріалами польових зйомок регіонального охоплення, так і за первинними великомасштабними картами. Картографічні дані відрізняються довготривалістю і цінністю при вивченні історичної зміни параметрів геофізичних полів.

На сьогодні більша частина картографічних матеріалів представляється у вигляді аналогових і оцифрованих карт. У зв'язку з розвитком цифрових технологій частка останніх істотно зросла. Проводяться роботи з оцифрування дрібномасштабних геофізичних карт аномальних магнітних і гравітаційних полів з подальшим відновленням конфігурації поля у вигляді цифрових моделей [39].

Цифрові моделі геофізичних полів є найбільш пріоритетним джерелом інформації в геофізичному картографуванні на даний момент. Моделі представляють собою безперервні поверхні у вигляді значень поля у вузлах прямокутної регулярної сітки або растрові матричні мережі, в яких кожному пікселю відповідає певне значення.

В даний час проводяться роботи по актуалізації цифрових моделей шляхом доповнення інформації з оцифрованих карт більшого масштабу, що дозволяє забезпечити безперервність цифрової інформації. Створюються глобальні цифрові моделі геофізичних полів в різних форматах (ASCII GRID (.XYZ), SURFER GRID і інші) [39].

До числа основних відносяться глобальні моделі гравітаційного поля WGM2012, магнітного поля Землі WDMAM, теплового потоку Global Heat Flow Database і так далі. Також створюються спеціальні бази даних і цифрових картографічних моделей, узагальнюючих накопичену інформацію [39].

Перспективним напрямком є застосування карт і моделей геофізичних полів, представлених в ГІС-атласах – систематизованих збірниках картографічної, довідкової та іншої інформації, виконаних за програмою як цілісна база просторових даних, візуалізована у вигляді програмного інтерфейсу [39].

## 2.4 Супутникові джерела даних

В останнє десятиліття істотний внесок в забезпечення необхідної точності визначення орбіт вносить використання бортової апаратури супутникової навігації за сигналами систем GPS і ГЛОНАСС [12].

Сучасний методичний та технічний стан супутникової альтиметрії дозволяє використовувати альтиметричні дані при виведенні глобальних моделей геопотенціалу і визначенні детальних характеристик гравітаційного поля в Світовому океані у вигляді цифрових моделей висот геоїда, відхилень прямовисних ліній, аномалій сили тяжіння. Використання даних супутникової альтиметрії при виведенні моделей гравітаційного поля дозволяє отримати гармонійні коефіцієнти геопотенціалу до  $n = 180$  [12].

Суттєвим обмеженням методу супутникової альтиметрії є те, що як метод вивчення гравітаційного поля Землі він не працює на суші. Тому для отримання глобального покриття земної кулі вимірами гравітаційних аномалій дані супутникової альтиметрії в океанах необхідно комбінувати з даними гравіметричної зйомки на суші і морі [14].

Використання систем супутникової альтиметрії стикається також з обмеженнями по інформативності при виконанні вимірювань над акваторіями, покритими льодом. Як наслідок, даний метод сам по собі не може вирішити проблему

детального визначення гравітаційних аномалій в високоширотних районах земної кулі [14].

Реальні можливості супутникової альтиметрії в плані точності і роздільної здатності з урахуванням взаємної просторової кореляції і комплексування альтиметричних даних потенційно дозволяють забезпечити визначення аномалій сили тяжіння із середньою квадратичною похибкою близько 5 мГал з просторовим дозволом не гірше 20 км [15].

Високоточні технології у визначенні гравітаційного поля Землі розвиваються за допомогою методів супутникової градієнтометрії. Використання супутникових гравітаційних варіометрів для побудови моделей гравітаційного потенціалу Землі засноване на рішенні крайової задачі теорії потенціалу, що дозволяє визначати коефіцієнти сферичного гармонічного аналізу потенціалу сили тяжіння по виміряним другим похідним потенціалу сили тяжіння. Градієнти геопотенціалу більш чутливі до аномалій сили тяжіння, ніж гармонійні коефіцієнти геопотенціалу.

Однак, науки, які спираються на знання гравітаційного поля Землі, вимагають набагато вищу точність. Проблема може бути вирішена шляхом спільного використання даних супутникової альтиметрії і низькоорбітальної супутникової градієнтометрії космічних місій CHAMP, GRACE, GOCE [12].

Технологічні досягнення в галузі космічних досліджень дозволили розробити супутникові методи визначення гравітаційного поля Землі з високою роздільною здатністю. Щоб подолати обмеження, пов'язані з наземними спостереженнями супутників, що представляють традиційні методи, повинні виконуватися три фундаментальних критерії:

- висота орбіти повинна бути якомога нижче (200 – 500 км);
- безперервне охоплення тривимірними спостереженнями великих орбітальних дуг;
- поділ гравітаційних і негравітаційних сил, що діють на супутник.

З такими міркуваннями реалізуються дві концепції, які вже перевірені [16]:

- спостереження «супутник – супутник» (вимірювання відстаней і швидкості зміни відстаней між супутниками);

- супутникова градієнтометрія (вимір різниці прискорень сили тяжіння всередині супутника).

Технологія «супутник – супутник» (satellite – to – satellite tracking, SST) полягає у вимірюванні швидкості між двома супутниками. При цьому передбачається два варіанти взаємного розташування супутників: високий супутник і низький супутник (high – low (HL)) і два низьких супутника (low – low (LL)), розташованих на близьких орбітах на відстані 50 – 300 км [12].

В системі «супутник – супутник» в режимі «високий – низький» навколоземна орбіта низько літаючого супутника безперервно відстежується високими супутниками типу GPS, ГЛОНАСС або Galileo щодо мережі наземних станцій. На низькому супутнику встановлюють акселерометр, який вимірює тривимірні збурені прискорення, викликані гравітаційним полем Землі, що діють на низький супутник.

Ці прискорення відповідають першим похідним гравітаційного потенціалу  $V$ . Поле сили тяжіння виводиться шляхом звернення отриманої інформації щодо орбіти низького супутника [12].

Місії CHAMP, GRACE і GOCE мають різні характеристики і тому задовольняють різним аспектам високоточного визначення гравітаційного поля [12].

### **2.4.1 Проект CHAMP**

Запуск супутника CHAMP здійснений 15 липня 2000 року з російського космодрому Плесецьк. Задуманий і реалізований проект Науково-дослідним геоцентром Потсдаму переслідує наступні основні цілі:

- вивчення глобального поля сили тяжіння, чи конкретніше, уточнення довгохвильової частини статичного поля і її часових варіацій (викликаних, наприклад, перерозподілами атмосферних мас, океанічною циркуляцією, зміною рівня моря за рахунок танення полярного льоду);
- вивчення глобального магнітного поля, або ж, уточнення основного магнітного поля і магнітного поля земної кори і їх просторово-часових варіацій;

- профілювання іоносфери і тропосфери, чи більш визначено, уточнення атмосфери з точки зору її температури, вмісту водяних парів і електронної структури за даними про заломлення сигналів GPS. [11]

Основні параметри супутника:

- орбіта майже кругова (ексцентриситет  $e < 0.004$ ) і майже полярна ( $i = 87.3^\circ$ );
- початкова висота 454 км, кінцева – 300 км;
- проектна тривалість 5 років;
- вага 522 кг, довжина 8.33 м (включаючи «хвостову стрілу» 4 м довжини), ширина 1.6 м, висота 0.75 м;
- період обертання – 93.61 хв.

Вказану початкову висоту можна розглядати як компроміс між умовами для вимірювання магнітного і гравітаційного полів, так як для вимірювання гравітаційного поля бажана більш низька висота. Завдяки, головним чином, атмосферному опору, висота поступово зменшувалась до порядку 300 км і навіть менше, що сприятливо відобразилося на чутливості визначення гармонічних коефіцієнтів гравітаційного поля. [11]

Причиною дивного розміру 4 м хвостової частини пояснюється технологічними вимогами магнітометрії – вимірювальний прилад повинен був відділений від основної частини супутника. [11]

Для досягнення цілей проекту на борту супутника використовувалось наступне обладнання:

- приймач GPS подвійної частоти, зв'язаний з системою антен, щоб визначати орбіту супутника CHAMP, використовуючи кодові і фазові псевдовіддалі;
- тривісний акселерометр, для вимірів негравітаційного прискорення, яке діяло на космічний корабель (аеродинамічний опір, тиск сонячного опромінення, альbedo і інше);
- лазерний ретранслятор для дублювання системи відслідковування, щоб виміряти двосторонню відстань між наземними станціями і супутниками

з точністю 1 – 2 см, ці вимірювання забезпечують точне визначення орбіти;

- магнітометр магнітного потоку, який призначений для вимірювання векторних компонентів магнітного поля Землі;
- обладнання для визначення електричного поля, концентрації, температури і зносу іонів;
- два удосконалених прилади для слідкування за зірками, щоб отримувати високоточну інформацію відносно орієнтування тривісного акселерометра і цифрового вимірювача іонного зносу, а також для коректування положення супутника. [11]

Основою проекту CHAMP являється система супутник – супутник в режимі високий – низький. Гравітаційне поле Землі збурює орбіту супутника CHAMP. Ці збурені прискорення відповідають першим похідним гравітаційного потенціалу  $V$ , тому гравітаційне поле Землі може бути уточнено за результатами вимірювань гравітаційних збурень орбіти супутника, користуючись для цього або численним інтегруванням орбіти супутника, або принципом енергетичного балансу. [11]

## 2.4.2 Проект GRACE

Проект GRACE (рис. 2.3) – спільний проект Американського національного управління з аеронавтики і космонавтики (U. S. National Aeronautics and Space Administration, NASA) і Німецького центру авіаційних і космічних польотів (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR). Система «супутник – супутник» SST – LL реалізована в проекті GRACE [11].

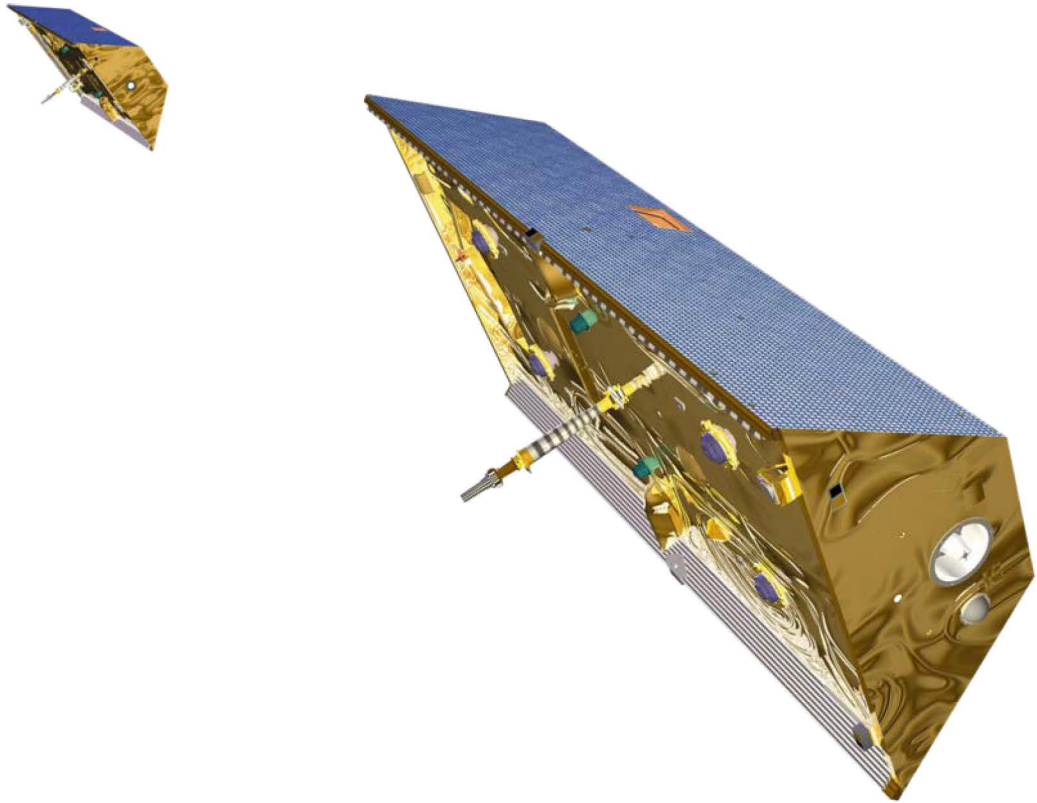


Рис. 2.3. Загальний вигляд супутника GRACE

Основними цілями проекту є:

- визначення глобального гравітаційного поля Землі з високою роздільною здатністю;
- вивчення варіації сили тяжіння з часом.

Інша задача полягає у вивченні за допомогою GPS – вимірювань явищ заломлення в іоносфері і тропосфері шляхом детального визначення електронного складу [11].

Два супутники цього проекту були одночасно запуснені 17 березня 2002 року з російського космодрому Плесецьк. Основні параметри супутників:

- орбіта майже кругова (ексцентриситет  $e < 0.005$ ) і майже полярна ( $i = 89^\circ$ );
- початкова висота між 485 км і 500 км;
- супутники знаходяться на відстані приблизно 220 км один від одного;
- розрахункова проектна тривалість 5 років, але передбачена операція щодо продовження;
- вага кожного супутника – наближено 480 кг, довжина близько 3 м.

Як і у випадку з CHAMP, висота супутників GRACE з часом зменшилася перш за все через атмосферний опір. Величина зниження залежить від циклу сонячної активності і може складати наближено від 50 км за низької активності до 200 км за високої активності за час дії місії [11].

Відстань між двома супутниками повинно вимірюватись з максимальною точністю. Швидкість його зміни необхідно знати краще ніж  $1\text{км}\cdot\text{с}^{-1}$ , що досягається за допомогою міжсупутникових мікрохвильових вимірів. Основна ідея полягає в тому, що варіації сили тяжіння викликають варіації у відстані між цими двома супутниками; райони з великими значеннями сили тяжіння впливають спочатку на перший супутник, який там з'явиться, і відповідно розганяють його відносно наступного супутника [11].

GRACE дає інформацію не тільки про статичне глобальне поле сили тяжіння, але також і про його часові варіації. Основним обладнанням, яким були забезпечені супутники проекту для досягнення цілей, було:

- ключовим інструментом GRACE являється далекомірна система в смузі частот K, яка вимірює зміни відстані між обома супутниками, використовуючи двосмугові мікрохвильові сигнали (тобто дві односторонні віддалі) з точністю порядку  $1\text{км}\cdot\text{с}^{-1}$ . Відстані вимірюються з частотою 10 Гц.
- GPS – приймач слугує для точного визначення орбіти космічного корабля GRACE, і доставляє дані для атмосферного і іоносферного профілювання. Щоб досягнути цього система супутник – супутник реалізована не тільки між двома супутниками GRACE, але і між GPS – супутниками. Навігаційні визначення на борту включають положення, швидкість і часові відмітки. Все це необхідно для системи орієнтації. Точна орбіта визначається на землі за кодами і несучими псевдовіддалями.
- система орієнтації і відслідковування орбіти включає газову двигунну установку, три магнітних крутильних динамометри, прилад для



спостереження за зірками, тривісну інерційну відлікову систему для вимірювання кутових швидкостей і тривісний магнітометр.

- акселерометр вимірює всі негравітаційні прискорення, які виникають на космічному кораблі GRACE, наприклад, за рахунок тиску сонячного опромінення чи аеродинамічного опору.
- лазерний ретранслятор являється пасивним інструментом, призначеним для відображення коротких лазерних імпульсів, які посилаються наземними станціями. Відстань між наземною станцією і супутником GRACE може бути виміряно з точністю до 1 – 2 см. Лазерні дані з ретранслятора використовуються разом з даними GPS – приймача для точного визначення орбіти.

В 2004 році наукова група GRACE опублікувала першу версію нової моделі гравітаційного поля до степені і порядку 150. Концепція GRACE може трактуватись як одномірний градієнтометр з дуже довгою базою 220 км [11].

### **2.4.3 Проект GOCE**

Апарат GOCE (рис.2.4) – спільний проект багаторічної роботи дослідників і інженерів з 45 європейських компаній – призначений для дослідження гравітаційного поля Землі. Проект GOCE являється важливим в програмі (Living Planet Programme) Європейського Космічного Агентства (ESA).

Основна ціль – вимірювання стаціонарного поля сили тяжіння Землі і визначення геоїда з дуже високою точністю, а саме:

- визначення аномалії сили тяжіння з точністю до 1 мГал;
- визначення геоїда з точністю до 1 – 2 см;
- досягнення просторової розрізненості краще, ніж 100 км.



Рис. 2.4. Загальний вигляд супутника GOCE

17 березня 2009 року з російського космодрому Плесецьк стартувала ракета – носій «Рокот» з європейським супутником GOCE на борту. Основні параметри супутника:

- сонячно – синхронна орбіта (ексцентриситет  $e < 0.001$ ), ( $i = 96,7^\circ$ );
- висота орбіти 255 – 285,4 км;
- стрілоподібна форма, а також «плавники» допомагають супутнику зберігати орієнтацію і зменшують гальмування у верхній атмосфері;
- вага 1052 кг (з урахуванням маси ксенону (40 кг), який використовується в якості палива), довжина близько 5 м;
- проектна тривалість – 20 місяців, включаючи тримісячний ввід в дію і калібрування і дві фази вимірювання по шість місяців кожна, між фазами вимірювань – довгий період затемнення.

Основними складовими корисного навантаження є:

- тривісний градієнтометр, складений із трьох пар електростатичних акселерометрів, призначений для вимірювання похідних сили тяжіння в трьох взаємно ортогональних напрямках; корисний сигнал – різниця гравітаційних прискорень (між парою акселерометрів, відділених на 0.5

- м) пробної маси всередині космічного корабля, викликаних аномаліями сили тяжіння за рахунок неоднорідностей мас Землі;
- геодезичний двочастотний (щоб компенсувати іоносферні затримки) багатоканальний GPS – приймач з безкодовою здатністю спостереження визначає орбіту супутника GOCE і виділяє гравітаційну інформацію;
  - лазерний ретранслятор для відслідковування наземними лазерними станціями;
  - управління орієнтацією з приводами іонного прискорювача, прилади спостереження за зірками, тривісний магнітний динамометр і деякі інші датчики.

## РОЗДІЛ 3

# ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ГЕОФІЗИЧНИХ КАРТ

### 3.1 Основні джерела відкритих геофізичних даних

В даний час існує значна кількість відкритих джерел геолого-геофізичних даних, як правило, від відповідних міжнародних організацій або великих університетів. Такі дані можуть використовуватися як безпосередньо при вирішенні завдань вивчення Землі, так і в якості додаткових матеріалів при моделюванні систем, в які геологічне середовище входить як одна з підсистем.

Значна частина геолого-геофізичних даних є просторовими, у багатьох випадках робота з ними може успішно здійснюватися з використанням традиційного інструментарію геоінформаційних систем.

Оскільки ефективність вирішення багатьох практичних завдань найчастіше залежить від можливості залучити різні за своєю природою геолого-геофізичні дані, і представляється корисним їх впорядкування в певний зведений перелік.

Через вкрай високу різномірність розв'язуваних при вивченні Землі завдань, і пов'язану з цим різномірність накопичуваних даних, зібрати разом всі типи даних і всі існуючі джерела являється проблематичним [18].

У той же час, для багатьох типів геолого-геофізичних даних зберігається існуюча протягом багатьох років практика публікації лише похідних матеріалів, в той час як публікація вихідних даних, на основі яких вони були отримані, не передбачена. Частково дана практика пов'язана з тим, що для більшості завдань затребувані лише похідні продукти, а вихідні дані занадто об'ємні і різномірні, через що їх публікація може бути проблематичною.

При цьому, на відміну від готових похідних матеріалів, ефективно використовувати сирі дані зможе лише вкрай невелике число висококваліфікованих фахівців. З іншого боку, відсутність таких матеріалів у відкритому доступі породжує появу значної кількості частково дубльованих матеріалів, що не піддаються перевірці і при цьому мають між собою розбіжності.

Проте навіть такі матеріали можуть представляти для дослідника істотну цінність, найчастіше будучи єдиним джерелом, що дозволяє, нехай і опосередковано, врахувати окремі типи даних. Це стосується, наприклад, геологічних карт, які є, по суті, продуктом суб'єктивної інтерпретації наявних польових спостережень і водночас єдиним джерелом інформації, що дозволяють врахувати ці спостереження.

Найбільш повним джерелом даних про розподіл аномалій магнітного поля Землі є модель WDMAM. Магнітні властивості мінералів, що входять до складу гірських порід, виявляються в локальному розподілі аномалій магнітного поля Землі. Таким чином, дані про магнітне поле дозволяють стверджувати про магнітні властивості гірських порід, а в окремих випадках – і про історію їх формування [18].

Наприклад, смугові магнітні аномалії океанічної кори є цінним джерелом даних про історію формування океанів. Найбільш актуальні дві версії моделі: EMAG3 (див. рис. 3.1), і попередня версія – EMAG2 (див. рис. 3.2). Специфіка модельованого поля і методів отримання вихідних даних при його вивченні не дозволяє достовірно змоделювати розподіл аномалій для ділянок з відсутніми вихідними даними, в зв'язку з цим модель не є безперервною, а містить «білі плями» [18].

На сторінці проекту пропонується сама модель EMAG3 в форматах KMZ і ASCII (повнорозмірний і заархівований), дані, на основі яких вона була отримана, стаття, що описує процес побудови моделі, і зверстаний макет карти в форматі PDF.

Безпосередньо модель являє собою послідовність записів у форматі: широта, довгота, значення. Через значну кількість рядків в моделі (більше 25.9 млн.) для її відкриття і виконання будь-яких операцій над нею може знадобитися застосування спеціалізованих програмних засобів [18].



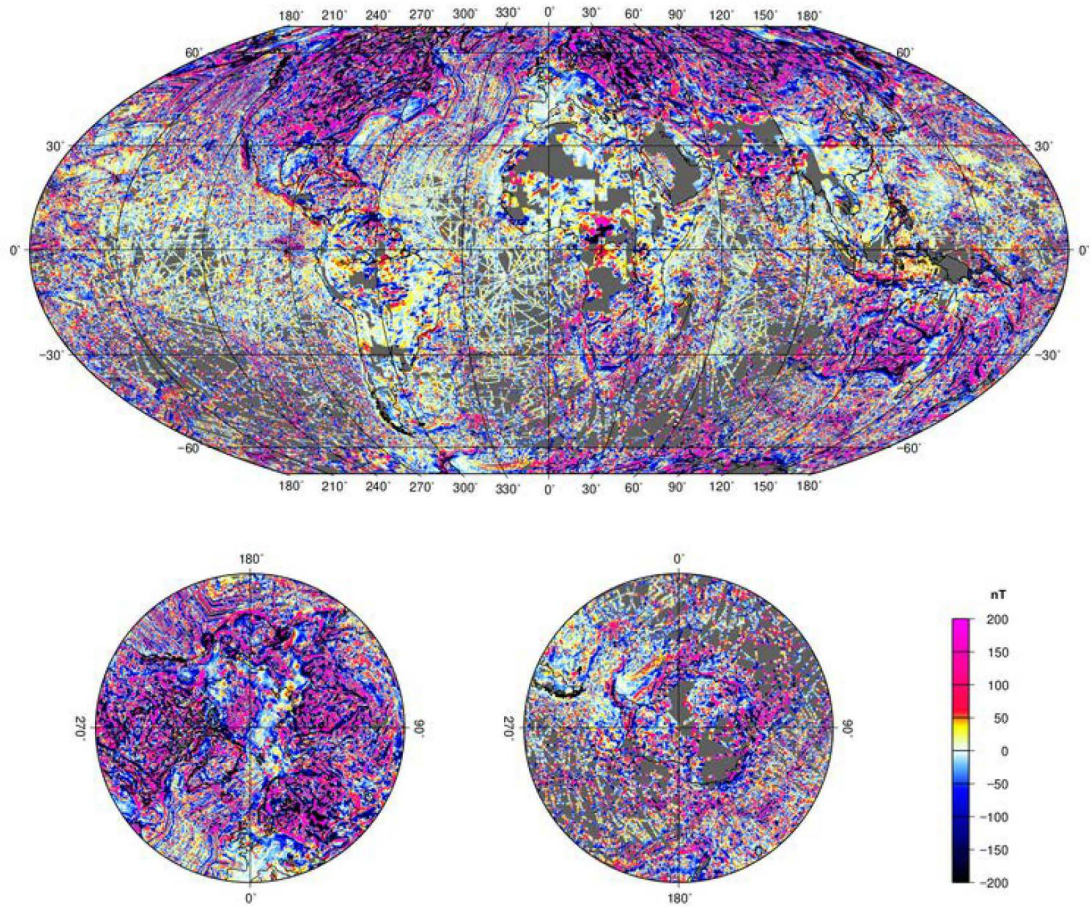


Рис. 3.1. Загальний вигляд моделі EMAG3

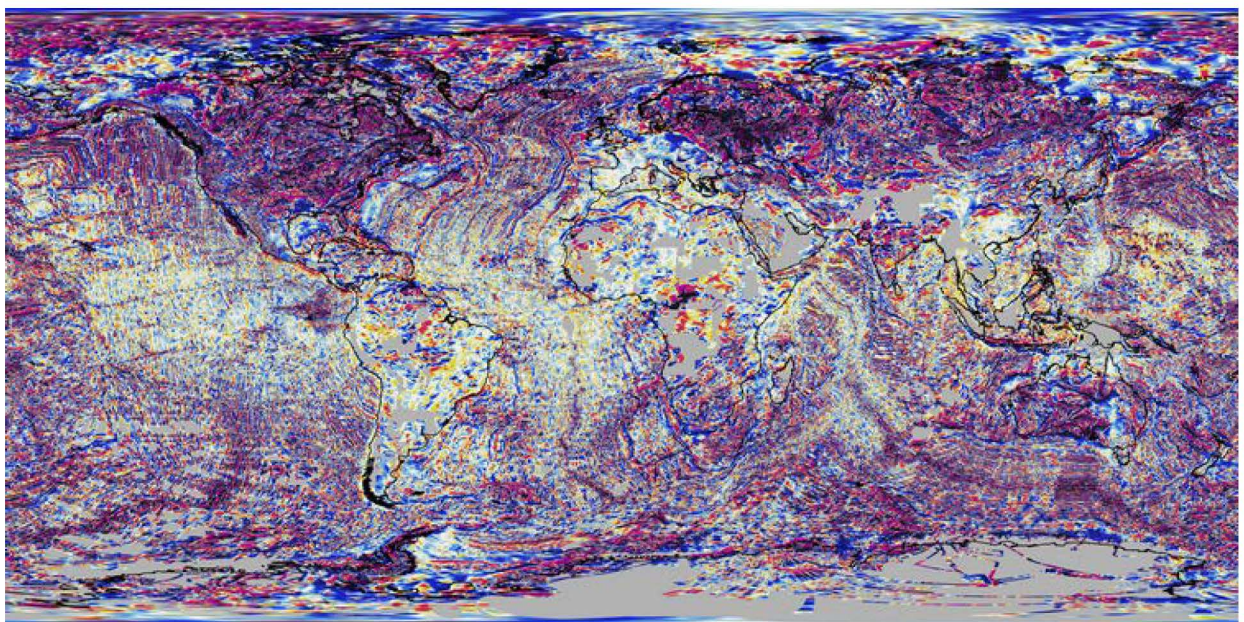


Рис. 3.2. Загальний вигляд моделі EMAG2

На сторінці проекту доступна як сама модель EMAG2 у форматах KMZ і ASCII, GeoTIFF і NETCDF, так і похідні матеріали: візуалізована карта у форматі GeoTIFF з легендою, що додається окремо, зверстаний макет карти [18].

EMAG2 містить послідовність записів у форматі: широта, довгота, значення та відповідно велику кількість рядків (більше 52.6 млн.), тому як і у випадку з EMAG3, може бути необхідним використання спеціалізованих програмних продуктів для її відкриття і виконання операцій над нею. До моделі також додається стаття, що описує процес побудови [18].

Аномаліями гравітаційного поля є виражені неоднорідності густини будови верхніх частин Землі. У зв'язку з цим існує можливість дослідження геологічної будови на основі вивчення його гравітаційного поля.

Даний тип геофізичних досліджень називається гравірозвідкою тобто розвідувальною гравіметрією. При побудові моделі аномалій гравітаційного поля, крім результатів вимірювання сили тяжіння, враховується також і місцевість, тому достовірність одержуваної моделі залежить не тільки від коректності та точності гравіметричних досліджень, а й від моделі рельєфу [18].

WGM2012 є глобальною моделлю гравітаційних аномалій (редукція Буге, ізостатична редукція і редукція в вільному повітрі (див. рис. 3.3, 3.4, 3.5)) з високою роздільною здатністю (2 кутові хвилини).

Проект був реалізований Міжнародним Бюро Гравіметрії (BGI) в рамках співпраці з міжнародними організаціями, такими як Комісія по геологічній карті Світу (CGMW), ЮНЕСКО, Міжнародна асоціація геодезії (IAG), Міжнародний союз геодезії і геофізики (IUGG), Міжнародний союз геологічних наук ( IUGS) і різними науковими установами [18].

Модель WGM2012 є похідною від існуючих гравітаційних моделей EGM2008 і DTU10 і включають поправки за рельєф 1-хвилинного дозволу, отримані з використанням моделі рельєфу ETOPO1.



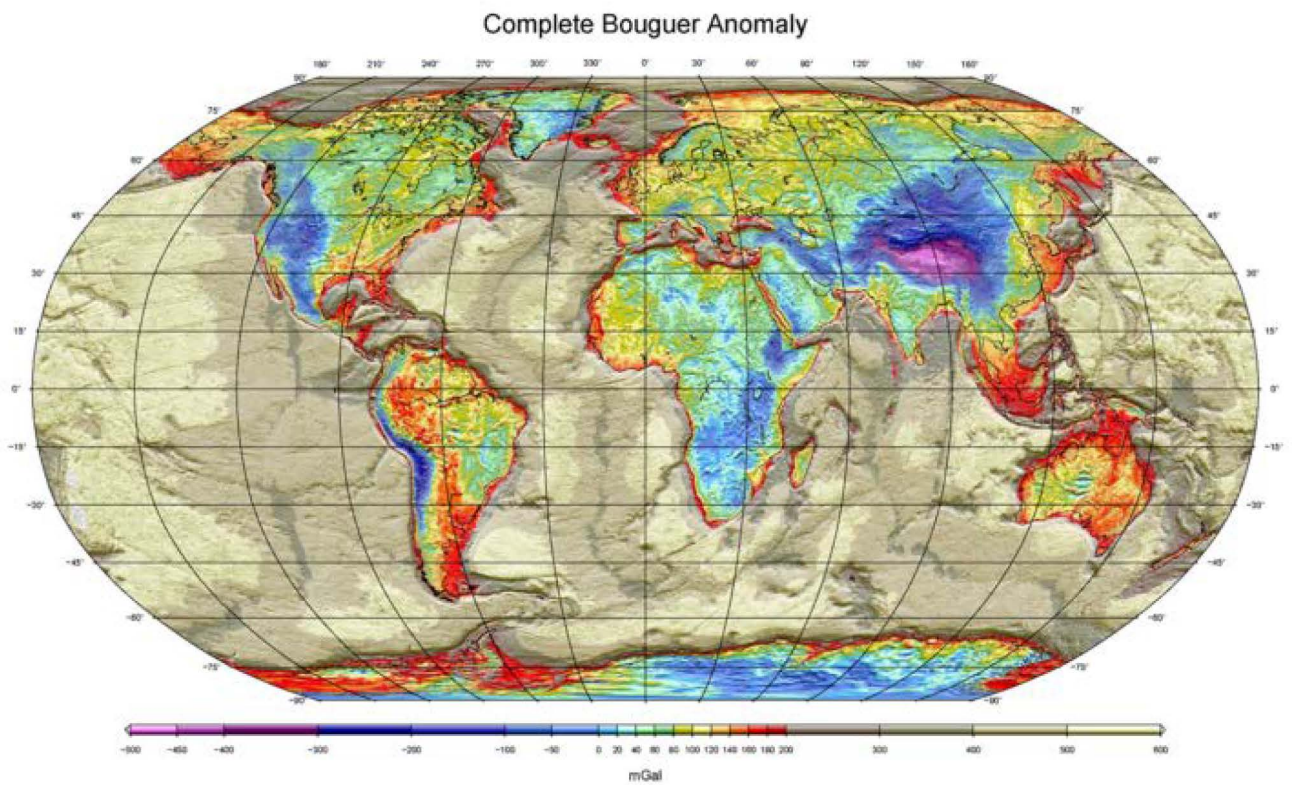


Рис. 3.3. Загальний вигляд моделі WGM2012 за редукцією Буге

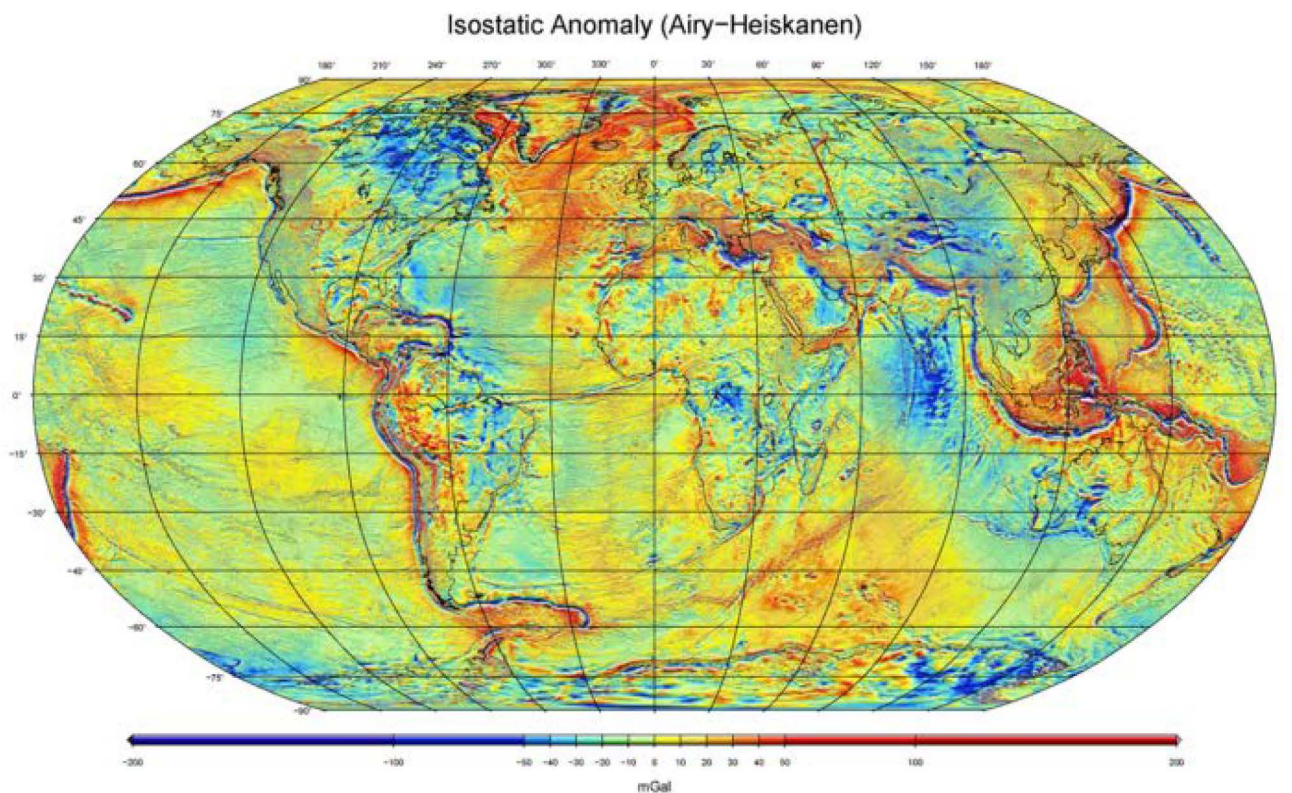


Рис. 3.4. Загальний вигляд моделі WGM2012 за ізостатичною редукцією



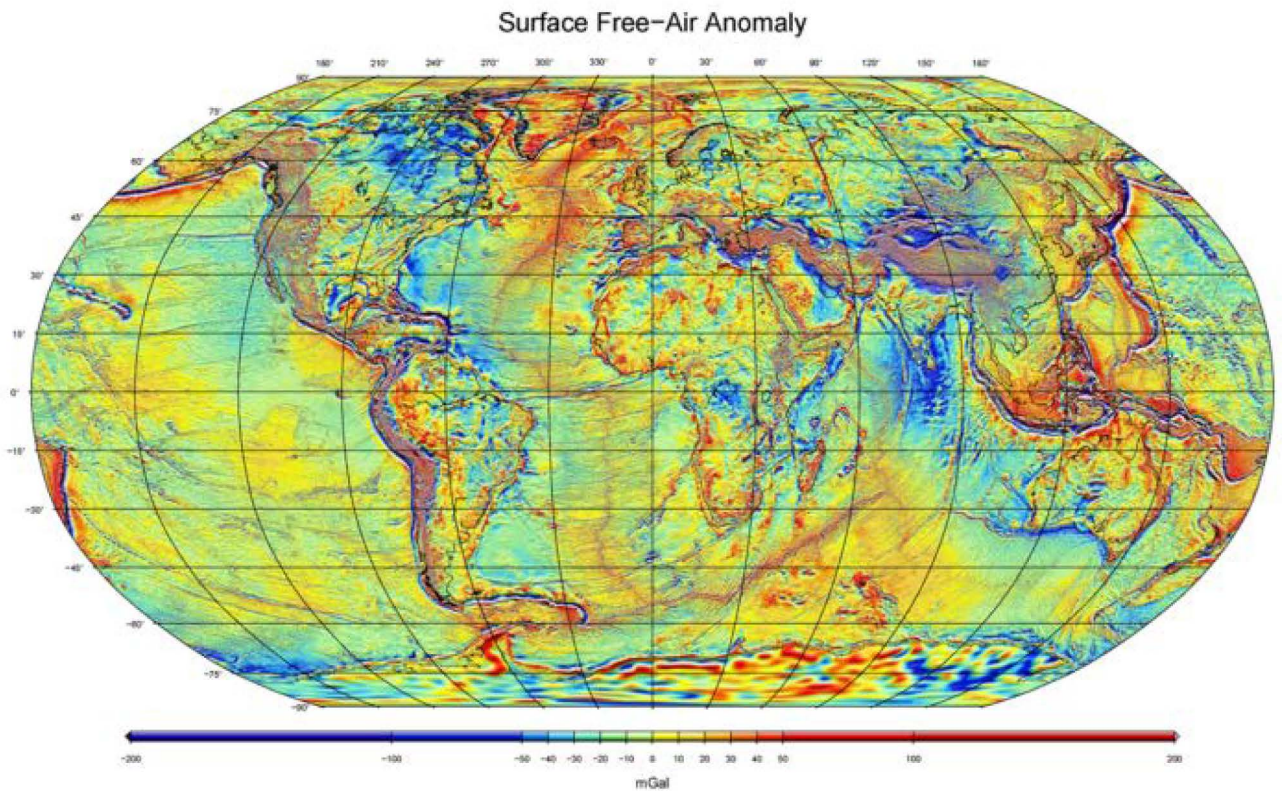


Рис. 3.5. Загальний вигляд моделі WGM2012 за редукцією у вільному повітрі

На сторінці проекту доступні як самі моделі аномалій у всіх трьох редукції в форматах NetCDF і ASCII, так і документація, що описує процес їх побудови.

Результати аналізу температурного градієнта за даними свердловини термометрії дозволяють характеризувати процес надходження теплової енергії з надр Землі і характер розподілу теплового потоку в приповерхневій частині літосфери. Ці дані можуть використовуватися як при моделюванні геодинамічних процесів, так і в суміжних областях, наприклад, сільському господарстві [18].

Основним джерелом подібних даних є Глобальна база даних теплового потоку (Global Heat Flow Database) при Міжнародній комісії по тепловому потоку (International Heat Flow Commission), підтримувана університетом Північної Дакоти. Загальний вигляд даних Global Heat Flow Database показано на рисунку 3.6 [18].

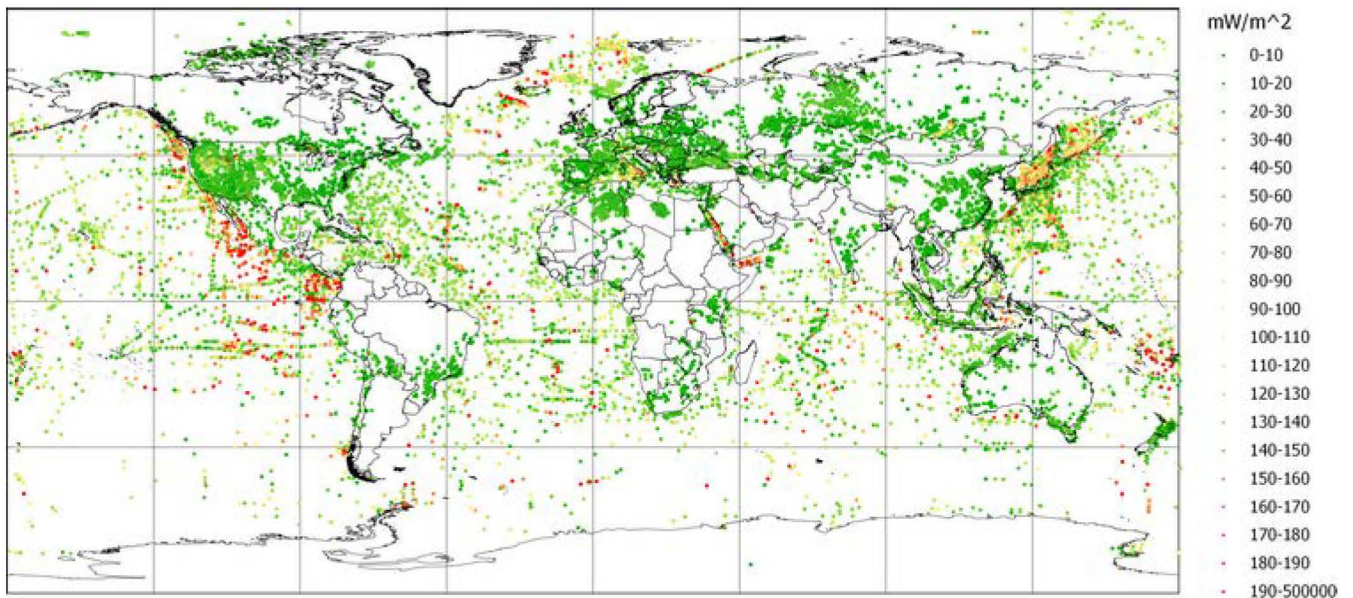


Рис. 3.6. Загальний вигляд даних Global Heat Flow Database

База містить близько 60 тисяч записів, що включають координати проведення заміру, результати виміру та контекстну інформацію. Пропонується як єдиний набір даних, так і попередньо підготовлені набори по окремим континентах і океанах, по країнам. Є карти, попередньо підготовлені по цим наборам. Майданна неоднорідність наявних даних зумовлена характером розміщення точок, обраних для проведення досліджень [18].

### 3.2 Побудова тематичних карт температур на основі платформи Google Earth Engine

На сьогодні екологічні проблеми набувають все глобальнішого характеру. Оскільки геофізичні поля пов'язані між собою і в цілому складають єдину геосферу, питання екологічного характеру, відображається і на них. Тому моніторинг інформації щодо теплового, магнітного, гравітаційного та інших полів дозволяє виконати аналіз ситуації на даний період часу та зробити певні прорахунки для необхідних заходів в подальшому.



Теплове поле, на жаль, десятиріччями зазнає все більшого впливу від техногенних чинників, які породжують собою глобальні зміни. Це стосується таких явищ як потепління, зміна клімату та танення льодовиків, адже в основі цих змін лежить підвищення температурних значень на планеті. Україна не є винятком, і останнім часом це явно прослідковується.

Доречним є використання доступних джерел супутникової інформації для отримання наочних результатів змін геофізичних полів. Каталог даних, в якому є весь каталог ландшафтів EROS (USGS / NASA), численні набори даних MODIS, Sentinel-1, NAIP, дані про опади, температури поверхні моря, кліматичні дані CHIRPS та дані висоти, міститься на платформі Google [30].

Інтернет-платформа Google Earth Engine (рис. 3.7) , позиціонується як система моніторингу навколишнього середовища Землі і завдяки супутникам місії Landsat формуються її супутникові дані.

Google Earth Engine – це платформа для наукового аналізу та візуалізації геопросторових наборів даних для академічних, некомерційних, ділових та державних користувачів [30].

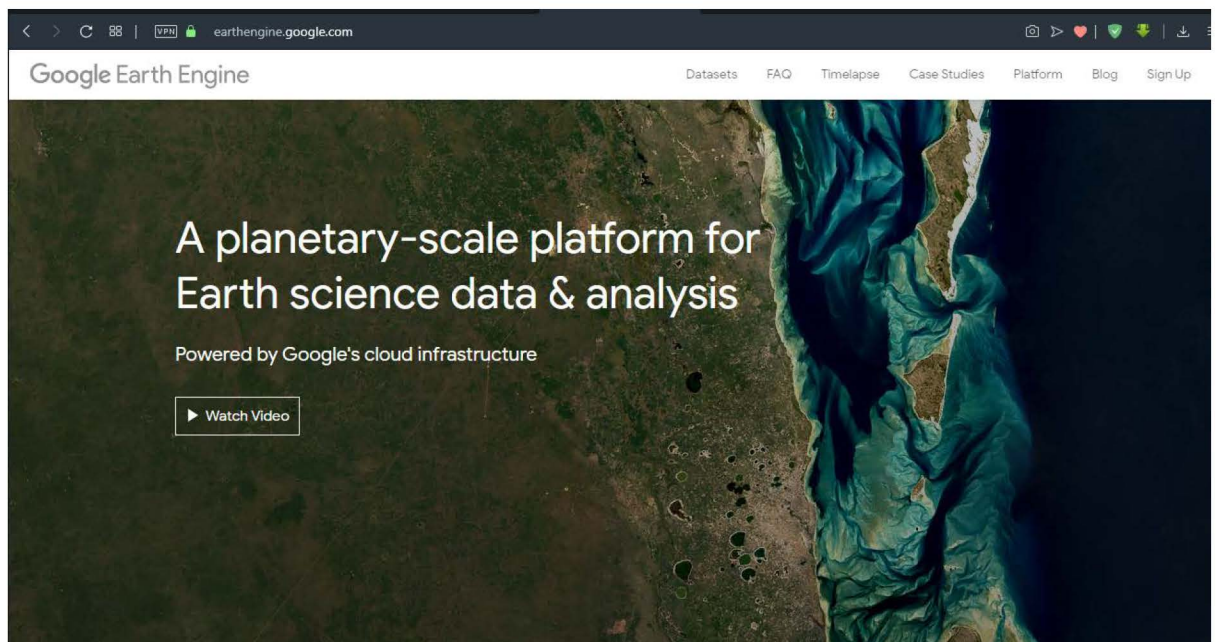


Рис. 3.7. Головна сторінка платформи Google Earth Engine

Google Earth Engine розміщує супутникові знімки та зберігає їх у архіві загальнодоступних даних, який включає в себе історичні зображення Землі, що налічують понад сорок років. Зображення, що приймаються щодня, потім стають доступними для обміну даними глобального масштабу.

Технічно сервіс представляє собою набори даних із зазначенням географічної і часової прив'язки, які можна відкрити на карті у вигляді шарів приблизно так, як це виконується в ряді ГІС-програм, таких як ArcView або ArcGIS. Також присутня можливість аналізу даних, правда, досить скромна. Google Earth Engine також пропонує API та інші інструменти для аналізу великих наборів даних. З іншого боку, Google Earth Engine – це інструмент для аналізу геопросторової інформації.

Місія Google – організувати інформацію у світі та зробити її загальнодоступною та корисною. Відповідно до цієї місії, Google Earth Engine організовує геопросторову інформацію та робить її доступною для аналізу [30].

Технічна інфраструктура Google Earth Engine надає повноваження щодо гуманітарних, наукових та екологічних ініціатив, які підтримуються Google і також забезпечує простий веб-доступ до великого каталогу супутникових знімків та інших геопросторових даних у форматі, готовому до аналізу [30].

Каталог даних поєднується зі масштабованою обчислювальною потужністю, підтримуваною центрами обробки даних Google та гнучкими API, що дозволяють безперешкодно реалізовувати існуючі геопросторові робочі процеси. Це дає можливість передового, глобального масштабу аналізу та візуалізації. Будь-який аналіз, виконаний у Google Earth Engine, може бути завантажений для використання сторонніми інструментами. Перевагою є те, що платформа безкоштовна для досліджень, освіти та некомерційного використання [30].

Завдяки простоті використання і отримання даних, було доцільним використати платформу Google Earth Engine для створення тематичних температурних карт на територію України. Основою слугували космічні знімки супутника MODIS. Використовуючи існуючий API, були скоректовані скрипти, для отримання необхідних вхідних даних (рис. 3.8), які написані нижче. Текст програми був

незмінним для всієї території України, корегувались лише параметри часу, за яким відбувався пошук даних.

```
var dataset = ee.ImageCollection('MODIS/006/MOD11A1')
    .filter(ee.Filter.date('2019-09-01', '2019-11-30'))
    .median();

var landSurfaceTemperature = dataset.expression('Land*0.02-273.15',
{'Land': dataset.select('LST_Day_1km')});

var landSurfaceTemperatureVis = {
  min: -5,
  max: 30.0,
  palette: [
    '040274', '040281', '0502a3', '0502b8', '0502ce', '0502e6',
    '0602ff', '235cb1', '307ef3', '269db1', '30c8e2', '32d3ef',
    '3be285', '3ff38f', '86e26f', '3ae237', 'b5e22e', 'd6e21f',
    'fff705', 'ffd611', 'ffb613', 'ff8b13', 'ff6e08', 'ff500d',
    'ff0000', 'de0101', 'c21301', 'a71001', '911003'
  ],
};

var countries = ee.FeatureCollection('USDOS/LSIB_SIMPLE/2017');
var Ukraine = countries.filter(ee.Filter.eq('country_na', 'Ukraine'));
Map.setCenter(30.5, 50.5, 6);
Map.addLayer(
  landSurfaceTemperature.clip(Ukraine), landSurfaceTemperatureVis,
  'Land Surface Temperature');
Export.image.toDrive({
  image: landSurfaceTemperature.clip(geometry).reproject('EPSG:3395',null,1000),
  description: 'landSurfaceTemperature',
  region: geometry,
  scale: 500
});
```

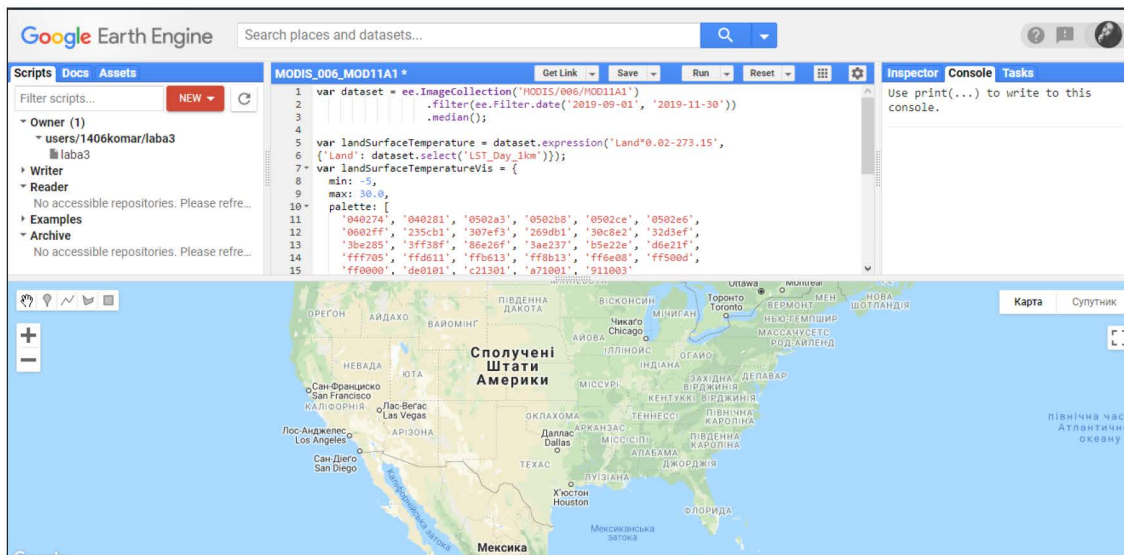


Рис. 3.8. Вікно програми

Знайшовши потрібні дані, вони були завантажені і далі опрацьовувались в програмі ArcMap програмного забезпечення ArcGIS. Для створення двох тематичних карт і виконання аналізу було обрано часові межі від 1 вересня до 30 листопада 2009 року та від 1 вересня до 30 листопада 2019 року. Були усереднені значення температур протягом осені для кращої наочності і відповідно зменшення обсягів зайнятої пам'яті.

У програмному продукті ArcMap були виконані такі дії як класифікація отриманих даних, зональна статистика та підбір колірної схеми для кращого зорового сприйняття. На основі зональної статистики були підсумовані числові значення температур растру в межах зони, тобто на територію України за 2009 і 2019 роки відповідно, та створені таблиці, які містять підсумкову інформацію за значеннями в кожній зоні. У результаті побудовані тематичні карти температур, показані на рисунках 3.9 і 3.10.



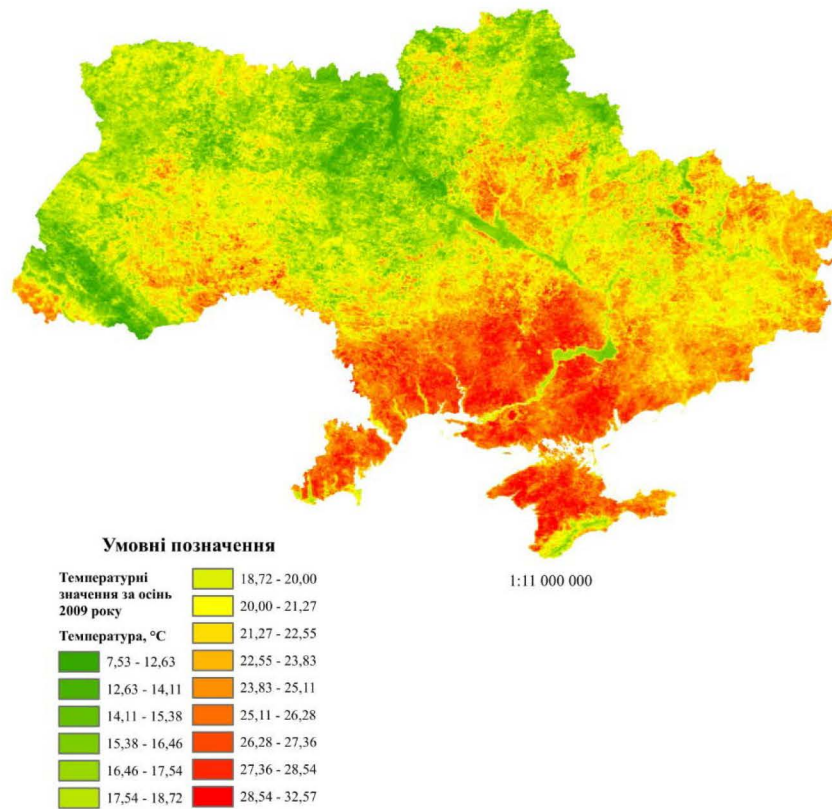


Рис. 3.9. Тематична карта температур за осінь 2009 року

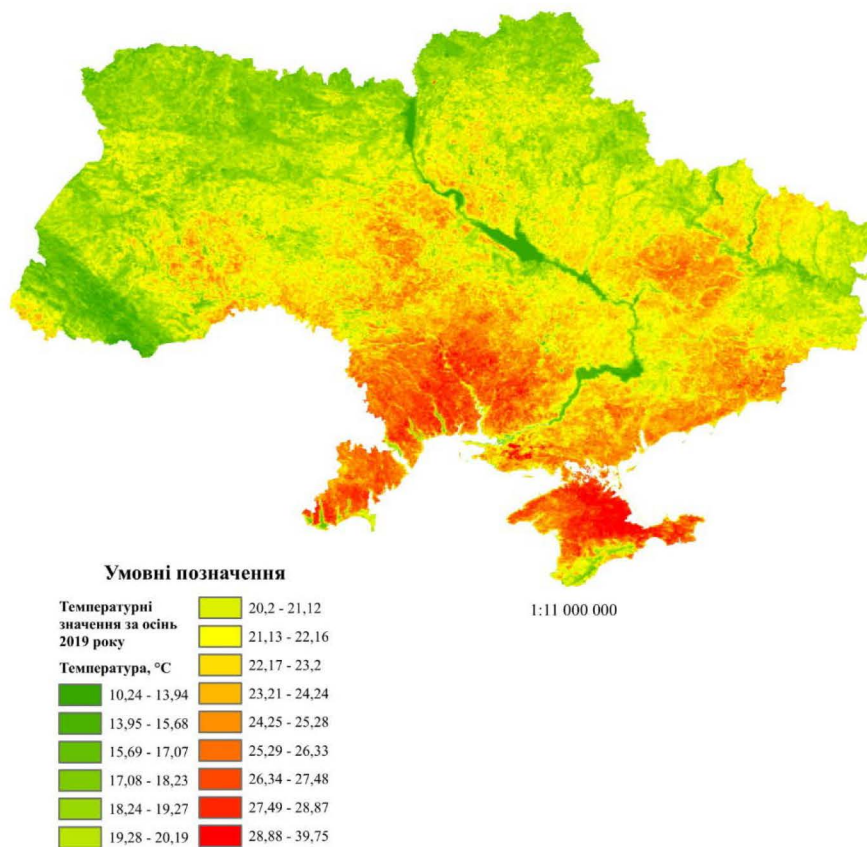


Рис. 3.10. Тематична карта температур за осінь 2019 року

За отриманими даними середня температура осені 2009 року становить  $20.87^{\circ}\text{C}$ , мінімальна усереднена температура  $7.53^{\circ}\text{C}$ , максимальна усереднена температура  $32,57^{\circ}\text{C}$ , середня температура 2019 року –  $21.36^{\circ}\text{C}$ , мінімальна усереднена температура  $10.24^{\circ}\text{C}$ , максимальна усереднена температура  $39.75^{\circ}\text{C}$  що свідчить про підвищення температурних значень і означає потепління та поступову зміну клімату України.

На карті показано осередки високих та низьких температур відтінками червоного та зеленого кольорів та у легенді містяться числові значення, які відповідають цим кольорам. В подальшому тематичні карти можна використовувати в процесі детального аналізу і вивчення теплового поля України і досліджувати зміни температур обраної території.

### **3.3 Створення тематичних карт аномалій сили тяжіння в редукції Буге і у вільному повітрі за допомогою моделей EGM2008 та WGM2012**

Картографічний метод вивчення різних геофізичних полів, в тому числі і гравітаційного, на даний час широко використовується при проведенні геофізичних досліджень. Карти застосовуються як при візуальному, так і інструментальному аналізу виділених аномалій і їх взаємозв'язків з геологічними структурами. Результати досліджень безпосередньо залежать від достовірності картографічного зображення геофізичних полів.

Джерелом інформації можуть слугувати наявні карти, проте через растровий формат, це ускладнює їх багаторазове використання. У зв'язку з цим краще використовувати цифрові моделі, до прикладу WGM2012.

Карта сили тяжіння світу (WGM) позначає цілу карту гравітаційних аномалій з високою роздільною здатністю та цифрові сітки (гріди), обчислені на глобальному морському просторі з наявних еталонних моделей гравітації Землі та підняття.



WGM2012 включає набір з трьох карт аномалій, отримані з геопотенціальної моделі EGM2008 та глобальної моделі рельєфу ETOPO1. WGM2012 є першим набором карт гравітаційних аномалій, що враховує реалістичну модель Землі та частку поверхневих мас (атмосфери, землі, океанів, внутрішніх морів, озер, льодовиків).

На основі типових обчислень, що відповідають геодезичним та геофізичним розмежуванням гравітаційних аномалій WGM2012 надає однорідну інформацію про статичне гравітаційне поле Землі на масштабах регіонального та глобального рівнів (також доступна у цифровому форматі) для різноманітних геофізичних застосувань в навчанні та дослідженнях.

У дипломній роботі були використані дані моделей EGM2008 та WGM2012 в редукціях Буге та у вільному повітрі, які знаходяться у вільному доступі на сайті Міжнародного Бюро Гравіметрії (BGI) (див. рис. 3.11).

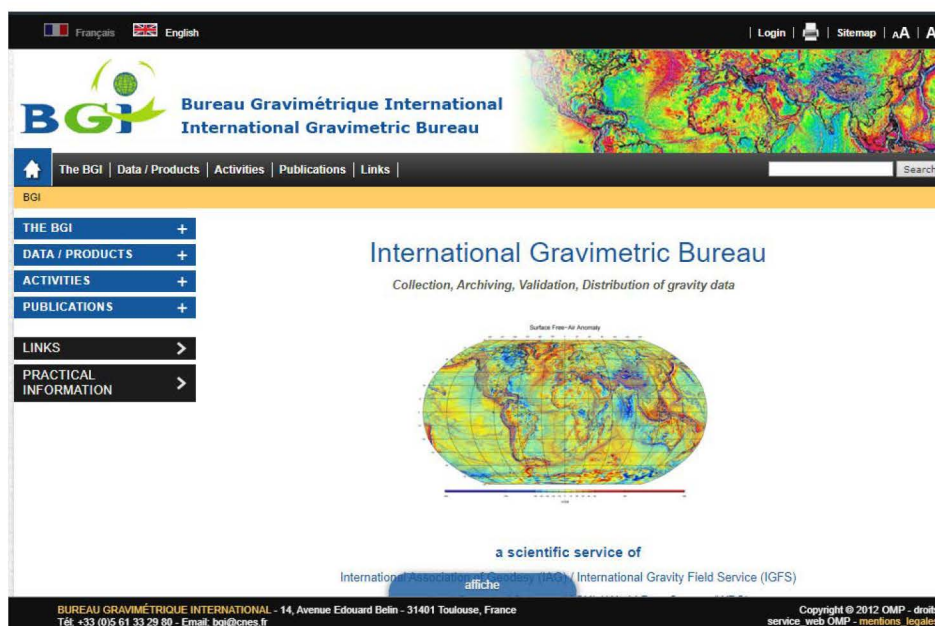


Рис. 3.11. Початкова сторінка сайту BGI

BGI одна із служб Міжнародної асоціації геодезії (IAG) та її Міжнародної служби гравітаційного поля (IGFS), яка координує з 2001 року обслуговування геодезичної та геофізичної спільноти за допомогою даних, програмного забезпечення та інформації, пов'язаних з гравітацією. Він також визнаний однією із служб

Федерації служб аналізу астрономічних та геофізичних даних (FAGS), яка діє під егідою Міжнародної ради з питань науки (ICSU).

Найчастіше послуга, яку може надати BGI – це консультація та отримання даних про гравітацію та інформація про місцеві або регіональні райони. Запити даних видаються через веб-сайт BGI і обробляються в електронному вигляді (електронною поштою, передачею або прямим завантаженням). Кілька мільйонів відносних даних в даний час поширюються щороку науковим користувачам.

Редукція у вільному повітрі, або редукція Фая, полягає в приведенні нормального значення сили тяжіння при утворенні аномалії до точки приведення. Якщо відомі висоти над рівнем моря та висоти геоїда, то таке редукування до точки спостереження може бути виконано точно. Редукцію у вільному повітрі використовують при вивченні фігури Землі, тому що в цьому випадку зберігається повна маса Землі [42].

Таким чином, аномалії сили тяжіння з редукцією у вільному повітрі відображають, з одного боку, неоднорідність густини гірських порід під точками спостережень, з іншого – вплив зовнішніх мас, обумовлений різницею висот точок спостереження над рівнем моря. В числовому відношенні значення другого фактору прямо пропорційно висоті точки спостереження над рівнем моря та може досягати десятків мГал, тобто в ряді випадків значно перевищувати гравітаційний ефект, викликаний неоднорідністю густини всередині земної кори [42].

З усіх видів редукцій, які використовуються при геологічній інтерпретації даних гравіметричних досліджень, найбільш широке застосування має редукція Буге. Вона представляє собою суму редукції за вільне повітря та поправки за притягання проміжного шару [42].

Поправка Буге дозволяє виключити вплив зовнішніх по відношенню до геоїду мас. Тому залежність аномалій Буге від висоти значно слабкіша, ніж для аномалій у вільному повітрі. Аномалії Буге застосовують в розвідувальній геофізиці при пошуках родовищ корисних копалин, тому що при такому редуванні підкреслюється гравітаційний ефект неоднорідностей густини в земних надрах.

Редукцію Буге з поправкою за рельєф всієї Землі в цілому прийнято називати топографічною редукцією [42].

Для побудови тематичних карт аномалій сили тяжіння було взято за основу дані гравітаційних моделей з сайту <http://bgi.omp.obs-mip.fr> на територію України в редукції Буге і у вільному повітрі. Завантажені файли містили в собі текстові документи з числовими значеннями, зображення аномалій та пояснювальну записку.

Робота виконувалась у ArcMap, програмного забезпечення ArcGIS. Оскільки текстові формати не підтримуються програмою, тому першочерговим завданням було трансформування числових даних з текстового документа у табличний коректний вигляд за допомогою Excel.

Наступним кроком стала конвертація таблиць Excel в таблиці програми ArcMap для подальшої роботи, яка виконувалась за допомогою інструменту «Конвертація в таблицю». Оскільки табличний вигляд не дозволяє наочно показати вхідні дані, тому для відображення числових значень у властивостях елементів було обрано відображення X і Y, в якому обирались і вказувались поля з широтою, довготою та відповідними значеннями аномалій. Після чого вхідні дані набули вигляду точок у робочому полі (рис. 3.12).

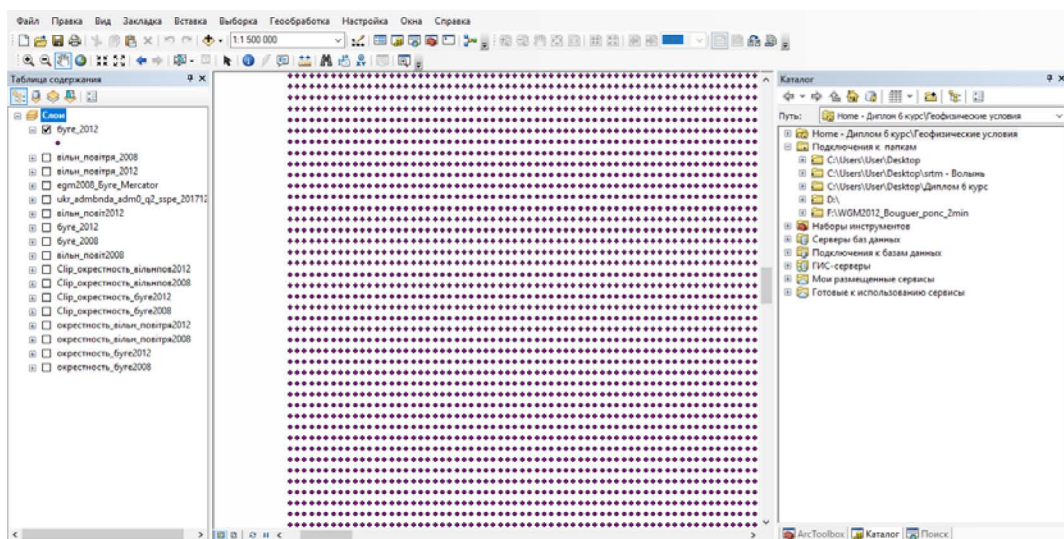


Рис. 3.12. Вікно програми

ArcGIS є повною системою, яка дозволяє збирати, організовувати, керувати, аналізувати, обмінювати і розподіляти географічну інформацію. Завдяки чому є можливість синтезувати дані з декількох джерел в один пов'язаний географічний вид. За допомогою ArcGIS легко створювати географічні дані з використанням розумної оцифровки, що дозволяє промальовувати об'єкти безпосередньо на карті і зберігати їх в базі географічних даних системи.

Важливим етапом є задання системи координат фрейму даних, адже вхідні файли не мали геопросторової прив'язки, як у випадку з космічними знімками, тому універсальним варіантом є проекція WGS 1984 World Mercator.

Аналіз в програмному забезпеченні зазвичай включає в себе первинне окреслення завдання і залучення факторів, потім виконується збір і вивчення вхідних даних і вибір необхідного інструменту з набору доступних. Дані можуть оброблятися з метою їх конвертації в форму, придатну для використання в обраною процедурою. Наприклад, точкові дані, що представляють собою результати вимірів, можуть бути інтерпольовані для створення поверхні безперервних даних, яка потім може поєднуватися з іншими даними поверхні. Для автоматизації багатоетапних процедур можуть бути створені моделі і сценарії геообробки.

Для виконання редагування і подальшої побудови тематичних карт, необхідним було експортування точкових шарів в класи просторових об'єктів. Всі компоненти створюються і зберігаються в єдиній базі даних для усунення можливостей виникнення помилок під час виконання дій над ними.

База географічних даних дозволяє зберігати географічну інформацію в структурованому вигляді, що забезпечує просте управління, оновлення, повторне використання та обмін. ArcGIS дає можливість проектувати, створювати, підтримувати і використовувати бази географічних даних як місце зберігання і управління основних верств даних, що використовуються в ГІС.

Система ArcGIS містить сотні аналітичних інструментів і операцій, які можуть застосовуватися для вирішення широкого кола завдань: від пошуку об'єктів, які відповідають певним критеріям, до моделювання природних процесів або

використання просторової статистики для визначення інформації, яку може надати набір крапок про розподіл феномена.

Далі був застосований інструмент «Естественная окрестность», який полягає в інтерполяції поверхні растру на основі значень точок з використанням методу естественной окрестности. Алгоритм, який використовується інструментом інтерполяції «Естественная окрестность» (Natural Neighbor), знаходить найближчу до запитованої точки підмножину вхідних зразків і застосовує до них ваги, засновані на пропорційних областях, щоб інтерполювати значення. Вона також відома як інтерполяція Сібсона або «захоплюючої області».

Основні властивості методу це – те, що будучи місцевою, він використовує тільки підмножину зразків, які оточують точку запити, і те, що інтерпольовані висоти гарантовано будуть в межах діапазону використовуваних зразків. Він не виводить тренди і не буде створювати піки, ями, ребра або точки мінімуму, які вже не представлені вхідними зразками. Поверхня проходить через них, і вона гладка всюди, крім місць розташування вхідних зразків.

Природні околиці будь-якої точки – пов'язані з сусіднім, з полігонами Вороного. При порівнянні інструмент інтерполяції, заснований на відстані, наприклад ОВР (IDW) (обернено-зважені відстані), присвоює подібні ваги найбільш північній і північно-східній точкам, ґрунтуючись на схожості їх відстані від точки інтерполяції. А інтерполяція природною околиці призначає ваги 19,12% і 0,38% відповідно, які ґрунтуються на відсотку перекриття.

Відповідно до цього вказувались вхідні точкові об'єкти, поле значень  $Z$  (поле значень аномалій), вихідний растр – растр інтерпольованої поверхні та додатково розмір вихідної комірки. Якщо центр осередку периметра вихідного растру виходить за межі опуклої оболонки (визначеної вхідними точками), то цим осередкам будуть присвоєні значення NoData. Якщо вхідна точка потрапляє на одну з комірок з розташованих по периметру, і центр осередку знаходиться поза опуклої оболонки, осередку все одно буде присвоєно значення NoData.

Деякі вхідні дані можуть мати кілька точок з однаковими  $X$ ,  $Y$  координатами. Якщо значення точок в одних і тих же місцях розташування збігаються, такі точки

вважаються ідентичними і передбачається, що вони не впливають на вихідні дані. Якщо значення розрізняються, такі точки розглядаються як такі, які збігаються.

Різні інструменти інтерполяції можуть використовувати цю умову для даних по-різному. Наприклад, в деяких випадках для обчислення використовується перша зустрічна точка, яка збігається; в інших випадках використовується остання точка. Така ситуація може призводити до того, що в деяких точках вихідного растру значення будуть відрізнятися від очікуваних. Рішенням цієї проблеми може стати попередня підготовка даних, при якій збігаються точки будуть видалені.

Інструмент має обмеження, тому що не може обробити більше 15 мільйонів вхідних точок. Якщо вхідний клас об'єктів містить дуже велику кількість точок (більше 15 мільйонів), інструмент може припинити обробку і результат не буде отриманий. Це обмеження можна обійти шляхом обробки поверхні і створення мозаїки з результатів для отримання єдиного великого набору растрових даних і також рекомендується, щоб вхідні дані були в проекційній системі координат, а не в географічній.

У програмі ArcMap доступний додатковий модуль ArcGIS 3D Analyst, в якості альтернативи, був використаний набір даних TIN. Спочатку було створено TIN з вихідних даних. Потім перетворено результуючу мережу TIN в растр за допомогою інструменту «TIN в растр» (TIN To Raster) і параметра «Естественная окрестность» (Natural Neighbors). Така методика особливо ефективна при наявності ліній перегину або області даних неправильної форми.

Після виконання методу, наступним кроком було виконання побудови ізоаномалів з основним перерізом в 10 мГал та вирізання з отриманих результатів необхідної території по кордонам України, збереження їх в базу даних та виконання завершальних етапів компоновки тематичних карт, які показані на рисунках 3.13 – 3.16.

На тематичних картах помітно різницю у зображенні аномалії сили тяжіння, оскільки використовувались дві моделі гравітаційних даних. WGM2012 в цьому плані є достовірнішою, оскільки як згадувалось у роботі, вона враховує глобальну модель рельєфу, на відміну від EGM2008.



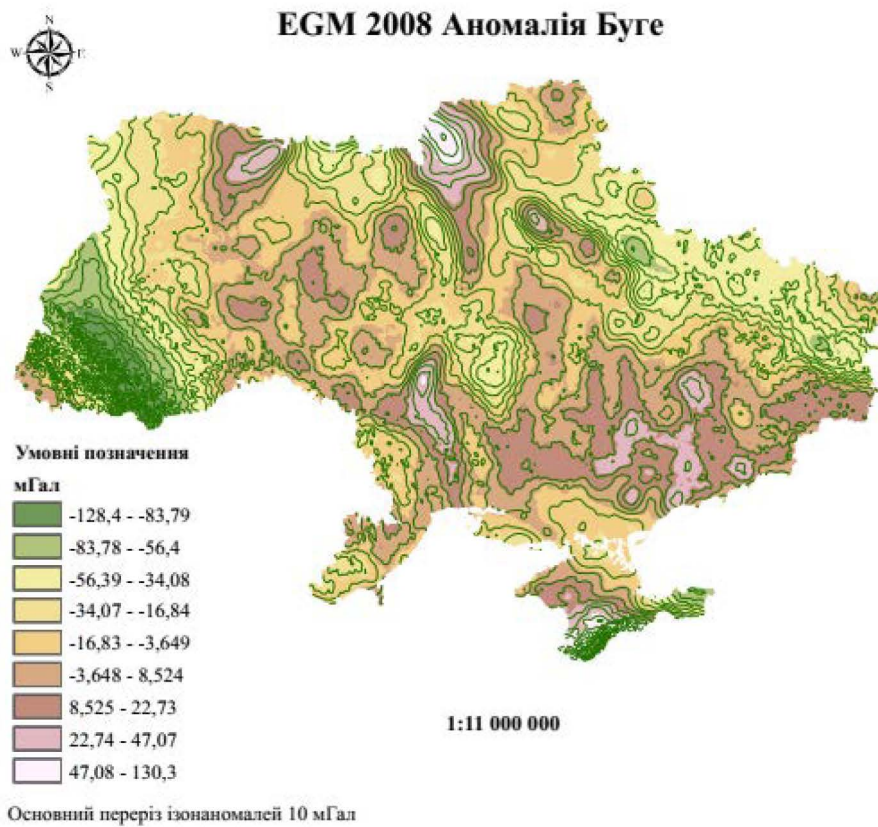


Рис. 3.13. Тематична карта аномалії в редукції у Буге за EGM2008

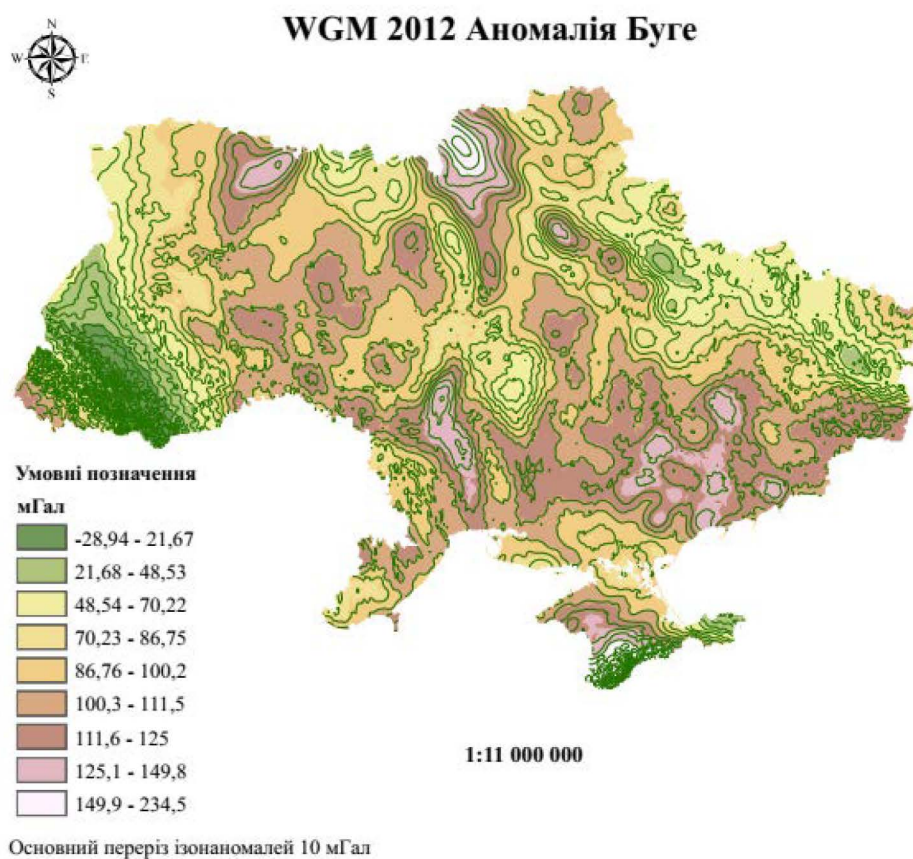


Рис. 3.14. Тематична карта аномалії в редукції Буге за WGM2012

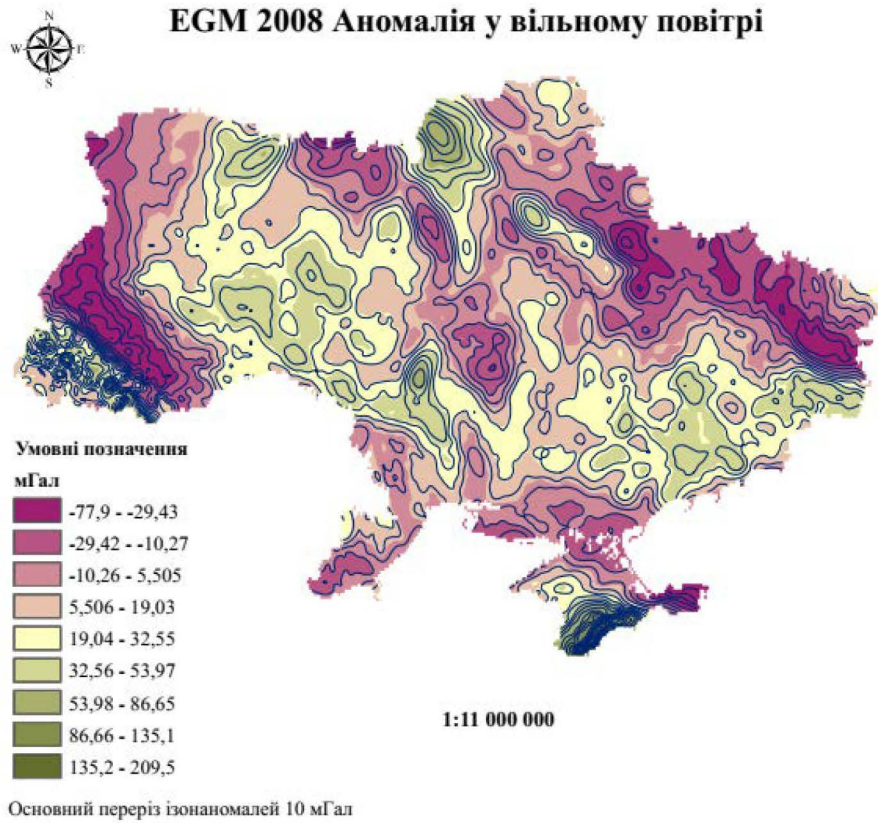


Рис. 3.15. Тематична карта аномалії в редукції у вільному повітрі за EGM2008

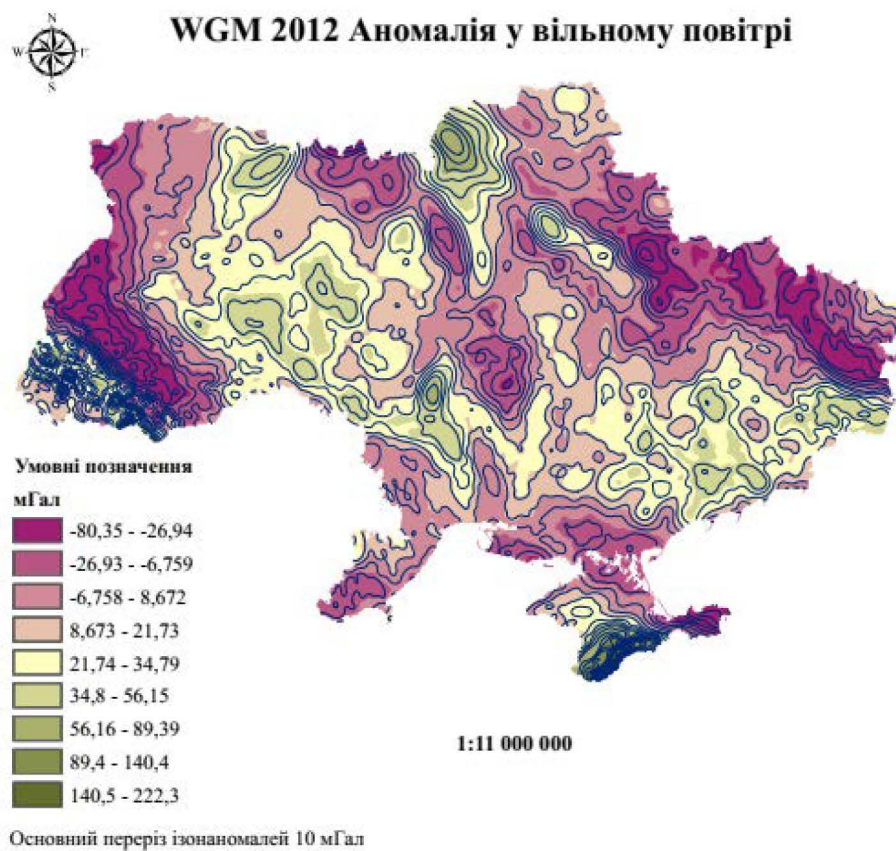


Рис. 3.16. Тематична карта аномалії в редукції у вільному повітрі за WGM2012



Використовуючи аномалії можна отримати важливі величини такі як висоти геоїда над еліпсоїдом (рис. 3.17) та складові відхилення прямовисних ліній в площині меридіана і в площині 1-го вертикалу.

Ондуляцію геоїда отримують за формулою:

$$\begin{aligned} h &= H + N, \\ N &= h - H. \end{aligned} \quad (3.1)$$

де  $h$  – еліпсоїдальна висота (висота земної поверхні вище чи нижче еліпсоїда);

$H$  – ортометрична висота (відстань між земною поверхнею і геоїдом);

$N$  – ондуляція геоїда (відстань між еліпсоїдом і геоїдом).

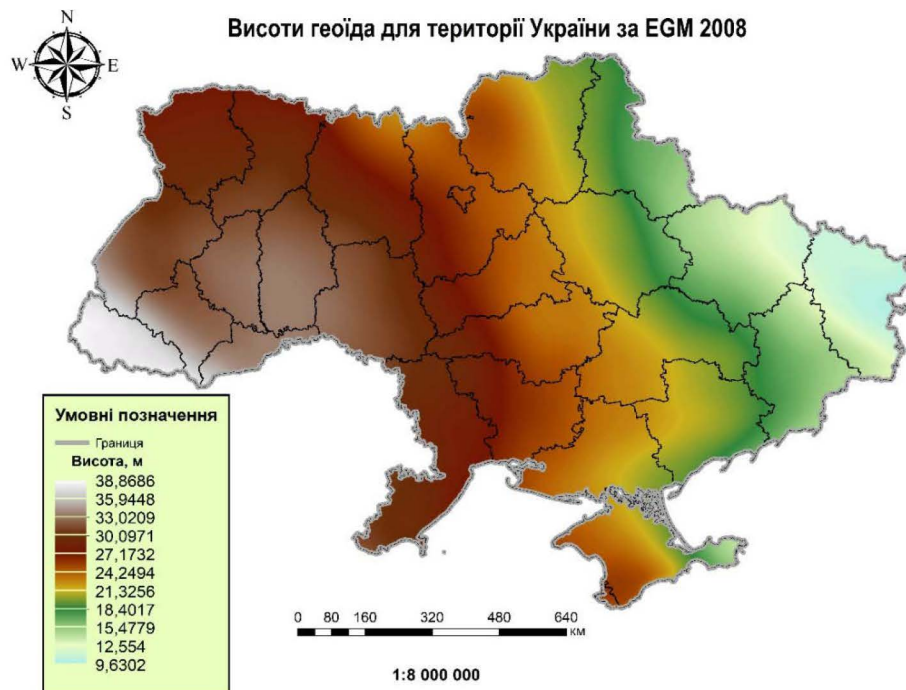


Рис. 3.17. Карта ондуляції геоїда для території України

Відхилення прямовисних ліній це різниця напрямів, яка може складатись з двох компонент: північно-південної  $\zeta$  і східно-західної  $\eta$ . Оскільки напрями відхилення безпосередньо визначаються астрономічними координатами (широтою  $\Phi$  і довготою  $\Lambda$ ) то компоненти можуть бути просто виражені через них. Реальні астрономічні координати точки геоїда, які визначають напрям прямовисної лінії чи вектора сили тяжіння можуть бути знайдені астрономічними вимірюваннями. Еліпсоїдальні

координати (або геодезичні, які розглядаються як географічні координати на еліпсоїді), задаються як  $\varphi$  і  $\lambda$  (рис. 3.18).

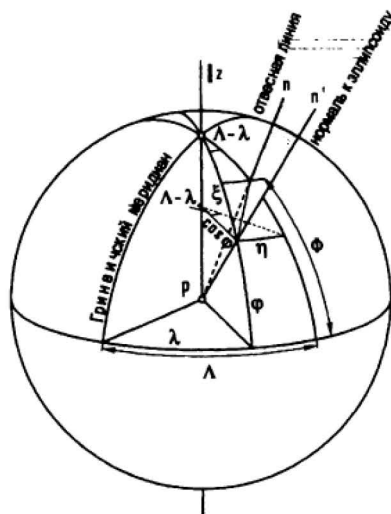


Рис. 3.18. Ілюстрація відхилення за допомогою одиничної сфери

Таким чином можна записати формули для розрахунку:

$$\begin{aligned} \xi &= \Phi - \varphi, \\ \eta &= (\Lambda - \lambda) \cdot \cos \varphi. \end{aligned} \quad (3.2)$$

Точність визначення гравіметричних складових відхилення прямовисної лінії у моделі EGM 2008 становить 0,5-1'' на території Західної Європи, півночі Росії, Австралії, Північної Америки; 1-2,5'' на решту території, крім Антарктиди, де точність є гіршою за 4'', а також деяких інших областей (переважно гірських), де точність становить 2,5-3,5''. На території України точність визначення гравіметричних складових відхилень прямовисних ліній моделі EGM 2008 становить у середньому 0,5''.

У багатьох завданнях гравітаційна вертикаль, яка визначається інструментально, береться за той напрямок, якому перпендикулярна місцева горизонтальна площина. Однак відхилення геодезичної вертикалі від місцевої прямовисної лінії – величина непостійна. Гравітаційна вертикаль нахилиється в бік більш масивних обсягів всередині нашої планети і в сторону позитивної ондуляції геоїда. У ряді спрощених практичних завдань відхиленням вертикалі нехтують, і вертикаль місця приймається за географічну вертикаль.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Сьогодні сучасний розвиток технічного та технологічного стану виробництва передбачає постійну автоматизацію та оптимізацію виробничих процесів. Через масовий характер робіт, що виконуються працівниками за допомогою комп'ютера, законодавством України чітко врегульовано норми та вимоги до використання комп'ютерної техніки на підприємстві, безпосередньо й охорона праці при роботі з комп'ютером [28].

*Вимоги до приміщення [28].*

Приміщення, в яких планується встановлення та подальша робота з комп'ютером, повинні відповідати проектній документації будинку, та бути погоджені з уповноваженими державними органами. Крім того, роботодавець має враховувати санітарні норми освітлення, параметри мікроклімату (температура, відносна вологість), ступінь і силу вібрації, звуковий шум і вогнестійкість приміщення, а також характеристики електромагнітного, ультрафіолетового та інфрачервоного полів [28].

*Вимоги до особистого робочого місця працівника [28].*

Роботодавець, який використовує найманих працівників, повинен забезпечити їхні робочі місця відповідними комфортними та безпечними умовами. Розмір одного робочого місця має становити не менше 6 квадратних метрів. При необхідності, суміжні робочі місця співробітників, що працюють з комп'ютером, слід розділити перегородками висотою до 2 метрів [28].

Необхідно додатково враховувати предмети меблів або обладнання, які знаходяться в кімнаті, при визначенні достатнього розміру приміщення і робочого місця на одну особу. За умови, що не буде обмежуватись видимість екрану і не заважатиме працівнику, на столі можливо поставити допоміжні для роботи пристрої (принтери, колонки, сканери), та місця для зберігання документів [28].

У разі надмірного шуму чи вібрації технічного обладнання, роботодавець повинен забезпечити працівників антивібраційними килимками. Робочий стілець співробітника має бути підйомно-поворотним, легко регульованим за висотою та забезпечувати належну підтримку та зручне положення спини і хребта особи (див. рис. 4.1.). Щодня необхідно проводити вологе прибирання приміщення, та очищати робоче місце та безпосередньо монітор комп'ютера від запиленості [28].

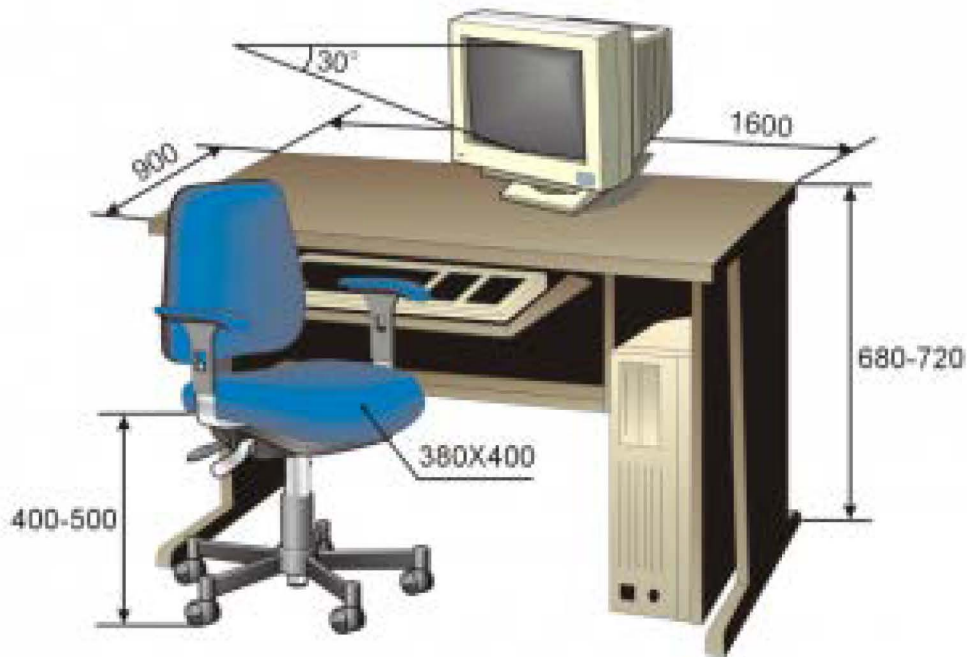


Рис. 4.1. Розміри робочого місця працівника

На підприємстві заборонено: проводити ремонт та технічне обслуговування комп'ютера за робочим місцем працівника; самостійно лагодити або намагатись здійснити технічне налагодження комп'ютера без залучення компетентних спеціалістів; складати на робочому місці зайві документи, деталі та предмети, що не потрібні для роботи; застосовувати монітори з нечітким зображенням та з наявними поламаками екрану; працювати з матричним принтером без антивібраційного покриття та зі знятою кришкою. Допуск осіб, які не пройшли затвердження на підприємстві курс охорони праці для роботи з комп'ютером, до роботи заборонений [28].

*Соціальні та профілактичні засоби захисту робітників, які працюють з комп'ютером [28].*

Лікарський огляд кожної особи є необхідним при прийнятті на роботу. Крім цього, при подальшій трудовій діяльності в компанії, вона підлягає регулярному лікарському огляду не рідше ніж раз на 2 роки. Обов'язковим є проходження терапевта, невропатолога та офтальмолога. В залежності від складності роботи мають бути чітко встановлені перерви для відпочинку працівників (окрім перерви на обід), як правило, тривалістю 10 – 15 хвилин раз на годину або дві в компанії [28].

Роботодавець у будь-якому випадку, повинен скласти розпорядок роботи на підприємстві таким чином, щоб час неперервної роботи з комп'ютером був не більше ніж 4 години. Додатковою є рекомендація виділення на підприємстві окремого побутового приміщення для відпочинку та зняття нервово-емоційного напруження працівників, що виникає при роботі з комп'ютером, для збереження належного рівня здоров'я та професійної придатності робітників [28].

## ВИСНОВКИ

В останнє десятиліття картографія переживає період глибоких змін і технологічних інновацій, викликаних інформатизацією науки, виробництва і суспільства в цілому. Тому виникла необхідність перегляду багатьох понять цієї наукової дисципліни.

На думку більшості сучасних картографів, технологічні аспекти картографії не є головними в епоху інформатики і всі визначення картографії через технологію – помилкові. Картографія залишається прикладною, переважно візуальною дисципліною, в якій велике значення мають комунікаційні аспекти.

Помилковою також є і оцінка комп'ютерних карт в сенсі їх схожості, нерозрізненості з картами, які створені вручну. Справжнє значення геоінформаційних технологій як раз і полягає в можливості створення творів нового типу. При цьому головним завданням картографії залишається пізнання реального світу, і тут досить важко відокремити форму (картографічне відображення) від змісту (відображеної дійсності).

Прогрес геоінформаційних технологій лише збільшив діапазон даних, що підлягають картографуванню, розширив коло наукових дисциплін, які потребують картографії. Екранні (дисплейні) карти і електронні атласи, які стають тепер частиною національних картографічних програм у багатьох країнах, лише підсилюють зв'язок картографії з комп'ютерною графікою і ГІС, не змінюючи суті картографування.

Слід зазначити, що цифрова картографія в генетичному плані не є прямим продовженням традиційної (паперової) картографії. Вона розвивалася в ході загального розвитку програмного забезпечення ГІС і тому часто розглядається як другорядна ГІС-складова, яка, на відміну від програмного забезпечення ГІС, не вимагає вкладення значних засобів і сил.

З іншого боку, як зазначають фахівці-картографи, через видиму легкість і простоту відбувається недооцінка цифрової картографії з усіма наслідками, що звідси випливають.

Лише останнім часом з розвитком ринку ГІС почала зростати потреба в якісних цифрових картах. Користувачі стали звертати увагу не тільки на швидкість цифрування карт і їх низьку ціну, але і на якість. Зростає кількість місць, де здійснюється підготовка фахівців з використанням геоінформаційних технологій. Таким чином, очевидна тенденція якісного розвитку цифрової картографії в загальному розвитку ГІТ.

Необхідно відзначити, що попри різноманіття задач, що вирішуються за допомогою цифрових карт, важко однозначно визначити універсальні критерії їх якості, тому найбільш загальним критерієм повинна бути здатність забезпечити вирішення поставленого завдання.

На даний момент ситуація на ринку цифрових карт така, що в основному вони створюються для конкретного проекту, на відміну від традиційної картографії, де в якості основи карти використовуються вже існуючі картографічні матеріали. Тому найчастіше створення цифрової карти визначається не установленими і перевіреними часом інструкціями, а розрізненими і не завжди професійно складеними технічними завданнями.

Історія розвитку геофізичного картографування нерозривно пов'язана з найважливішими науковими відкриттями в галузі фізики, з технічним прогресом засобів геофізичних спостережень, а також з розвитком геологічного картографування.

Узагальнення вітчизняного і зарубіжного досвіду геофізичного картографування дає можливість врахувати специфіку картографічного зображення геофізичних полів при використанні сучасних методів складання та оформлення карт. Оскільки картографічна форма відображення інформації є важливим і необхідним інструментом для дослідження геофізичних полів.

На жаль на сьогодні відсутня впорядкована інформація про основні картографічні твори геофізичного напрямку та активне використання карт в геофізиці

обумовлює неоднозначність у визначенні місця геофізичних карт в тематичному картографуванні. На даний час відсутня систематизованість існуючих варіантів класифікації карт, що викликає необхідність розробки в подальшому узагальненої системи критеріїв та підходів.

Геофізичне картографування має специфічні особливості складання математичної, загальногеографічної і тематичної основ, а також оформлення геофізичних карт.

Аналіз картографічних творів і геофізичних карт, дозволяє виявляти можливості вдосконалення використання способів картографічного відображення особливостей геофізичних полів. Тому концентрування уваги на самостійності геофізичних карт і їх особливої ролі в відображенні природних явищ, на мою точку зору є найбільш оптимальним підходом з усіх відомих.

Слід відзначити, що цифрове картографічне зображення в геоінформаційному картографуванні володіє низкою відмінних властивостей і переваг в порівнянні з аналоговим, які вимагають подальшого вивчення.

До розповсюдження ГІС для вирішення різних завдань використовувалися аналогові карти. З розвитком ГІС потреба в аналогових картах різко зменшується, на перший план виходять цифрові і електронні карти, без яких вже неможливий повноцінний розвиток багатьох сфер, зокрема і економічних.

Таким чином, при постійному збільшенні потреби в різноманітній інформації, в тому числі і просторовій, основним завданням для фахівців в області ГІС стає поліпшення якості та збільшення поширення цифрової картографічної продукції. А це в свою чергу вимагає відповідного теоретичного обґрунтування.

Згідно з усім вище описаним та на основі виконаних завдань дипломної роботи можна зробити певні висновки. Поглиблення інформації щодо геофізичних полів Землі є важливим аспектом у вивченні та розумінні будови світу, оскільки це пояснює безліч складних процесів природного походження на планеті.

Завдяки узагальненню досвіду геофізичного картографування є можливим при застосуванні методів створення і оформлення карт сучасності приймати до уваги специфіку геофізичних полів та їх картографічного зображення.



На основі аналізу інформації про джерела геофізичних даних, можна стверджувати про значну кількість наявних у відкритому доступі для користувачів, баз та каталогів, з якими безпосередньо може використовуватись інструментарій ГІС. Вивчення особливостей подання геофізичної інформації дозволяє виявляти напрямки вдосконалення методів візуалізації даних, вирішувати питання узгодження тематичного і загальногеографічного змісту геофізичних карт і інше.

Джерела відкритих геофізичних даних та інформаційних ресурсів суттєво скорочують терміни створення карт геофізичних полів. За гравітаційними моделями EGM2008 та WGM2012, які знаходяться у вільному доступі, було побудовано тематичні карти аномалій сили тяжіння за редукцією Буге і у вільному повітрі у програмному забезпеченні, і також на основі платформи Google Earth Engine тематичні карти температурних значень на територію України.

Взагалі аналіз і удосконалення картографічного зображення має відбуватись з одночасним збереженням традиційного складання і компонування карт геофізичних полів при залученні ГІТ на усіх етапах їх створення.

## СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Особливості фізичних полів Землі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://irenag1967.blogspot.com/2015/12/blog-post\\_17.html](http://irenag1967.blogspot.com/2015/12/blog-post_17.html) – Назва з екрана.
2. Аномальне гравітаційне поле. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wdc.org.ua/uk/node/235> – Назва з екрана.
3. І.М.Байсарович, М.М.Коржнев, В.М.Шестопапов Базові поняття екологічної геології. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/base\\_ecogeol.pdf](http://www.geol.univ.kiev.ua/lib/base_ecogeol.pdf) – Назва з екрана.
4. Аномальне магнітне поле. Регіональні магнітні аномалії. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wdc.org.ua/uk/node/112> – Назва з екрана.
5. Магнітне і електричне поля землі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://irenag1967.blogspot.com/2015/12/blog-post\\_77.html](http://irenag1967.blogspot.com/2015/12/blog-post_77.html) – Назва з екрана.
6. Електричне поле Землі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://vslova.com.ua/word/Електричне\\_поле\\_Землі-124986u](http://vslova.com.ua/word/Електричне_поле_Землі-124986u) – Назва з екрана.
7. Природні умови та природні ресурси. Геофізичні поля. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://wdc.org.ua/uk/node/111> – Назва з екрана.
8. Лобова Г.А. Строение Земли и ее естественные геофизические поля : учебно-методическое пособие / Г.А. Лобова ; Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 63 с.
9. Теплове і радіаційне поля землі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://irenag1967.blogspot.com/2015/12/blog-post\\_5.html](http://irenag1967.blogspot.com/2015/12/blog-post_5.html) – Назва з екрана.
10. Гравітаційне і сейсмічне поля землі. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://irenag1967.blogspot.com/2015/12/blog-post\\_22.html](http://irenag1967.blogspot.com/2015/12/blog-post_22.html) – Назва з екрана.
11. Бернхард Гофман-Велленгоф, Гельмут Мориц Физическая геодезия.: Перевод с английского Ю. М. Неймана, Л. С. Суигаповой/Под редакцией Ю. М. Неймана. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2007, 426 с., илл.

12. Исследование современных глобальных моделей гравитационного поля Земли: монография / В. Ф. Канушин, А. П. Карпик, И. Г. Ганагина, Д. Н. Голдобин, А. М. Косарева, Н. С. Косарев - Новосибирск: СГУГиТ, 2015. -270 с.
13. Лебедев С. А. Спутниковая альтиметрия в науках о Земле // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Т. 10, № 3. – С. 33–49.
14. Спутниковая альтиметрия / П. П. Медведев и др. // Гравиметрия и геодезия. – М.: Научный мир, 2010. – С. 332–351.
15. Канушин В.Ф., Ганагина И. Г. Современные проблемы физической геодезии. – Новосибирск: СГГА, 2013. – 123 с.
16. Dedicated gravity field missions – principles and aims / R. Rummel et al. //J. of Geod. – 2002. – Vol. 33. – P. 3–20.86
17. Дубовской В. Б. Спутниковая градиентометрия // Гравиметрия и геодезия. – М.: Научный мир, 2010. – С. 352–354.
18. Источники открытых геолого-геофизических данных. [Электронный ресурс].– Режим доступа: <https://gis-lab.info/qa/geology-geophysics-open-data-sources.html> – Назва з екрана.
19. Новаковский, Б.А. Цифровые модели рельефа реальных и абстрактных геополей / Б.А. Новаковский, С.В. Прасолов, А.И. Прасолова. – М.: Научный мир, 2003. – 104 с.
20. Червяков, В.А. Концепция поля в современной картографии / В.А. Червяков. – Новосибирск: Наука, 1978. – 150 с.
21. Колесова, В. И. Аналитические методы магнитной картографии / В. И. Колесова. – М.: Наука, 1985. – 223 с.
22. Литвинова, Т. П. Теоретические и методологические аспекты прикладной магнитной картографии / Т. П. Литвинова // Региональная геология и металлогения, №61, 2015. – С. 50-58.
23. Гордин, В. М. Очерки по истории геомагнитных измерений / В. М. Гордин. – М.: ИФЗ РАН, 2004. – 162 с.

24. Jonkers, A. R. T. Four centuries of geomagnetic data from historical records / A. R. T. Jonkers, A. Jackson, A. Murrey // *Rev. Geophys.*, 41, 1006. – DOI: 10.1029/2002RG000115.
25. Берлянт, А. М. Картографический метод исследования / А. М. Берлянт. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 257 с.
26. Геодезия, картография, геоинформатика, кадастр: Энциклопедия. В 2-х т./ под общ. ред. А.В. Бородко, В.П. Савиных. – М.: Геодезкартиздат, 2008. – Т. I. – 496 с.
27. Верещака, Т. В. Изображение рельефа на картах. Теория и методы / Т.В. Верещака, О.В. Ковалева. – М.: Научный мир, 2016. – 184 с
28. Охорона праці при роботі з комп'ютером. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.victorija.ua/dovidnik/osnovni-pravyla-dotrymannya-ohorony-pratsi-pry-roboti-na-personalnyh-eom.html> – Назва з екрана.
29. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование. М.: 1997. -64с.
30. Google Earth Engine [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://earthengine.google.com> – Назва з екрана.
31. International Gravimetric Bureau [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bgi.omp.obs-mip.fr> – Назва з екрана.
32. Трофимов, В.Т. Экологическая геология: учеб. для вузов /В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг. – М.: Геоинформмарк, 2002. – 416 с.
33. Тикунов, В.С. Моделирование в картографии: учебник /В.С. Тикунов. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – 405 с.
34. WGM2012 Earth's gravity anomalies [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://bgi.omp.obs-mip.fr/data-products/Grids-and-models/wgm2012> – Назва з екрана.
35. Шихов А.Н., Черепанова Е.С., Пьянков С.В. Геоинформационные системы: методы пространственного анализа: учеб. пособие /А.Н. Шихов, Е.С. Черепанова, С.В. Пьянков. Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2017. – 88 с.
36. Зацерковний В.І., Тішаєв І.В., Віршило І.В., Демидов В.К. Геоінформаційні системи в науках про Землю. –Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2016.-510 с.

37. Пітак І.В., Негадайлов А.А., Масікевич Ю.Г., Пляцук Л.Д., Шапорев В.П., Моїсеєв В.Ф. Геоінформаційні технології в екології.
38. Эгеланд, А. Космическая геофизика / А. Эгеланд, О. Холтер, А. Омхольт. – Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 545 с.
39. Loginov, D.S. Specific features of using GIS atlases in the geophysical mapping / D.S. Loginov // Proceedings of the 6th International Conference on Cartography and GIS, 13-17 June 2016, Albena, Bulgaria. Eds: Bandrova T., Konecny M. – P. 615-623.
40. Map viewer (SGU) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-index-en.html> – Назва з екрана.
41. Maus, S. National Geophysical Data Center candidate for the World Digital Magnetic Anomaly Map [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://geomag.org/models/emag2.html> – Назва з екрана.
42. Підручник «Гравіметрія» в 3 книгах, книга 1 «Теоретичні основи гравіметрії» для студентів спеціальності 6.040103 – «Геологія» (спеціалізація – геофізика/ Упорядник – доц. Безродний Д.А. – електронний ресурс, 2017 – 185 с.
43. Введение в ArcGIS [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://resources.arcgis.com/ru/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm> – Назва з екрана.
44. ArcGIS Desktop [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://desktop.arcgis.com/en/> – Назва з екрана.
45. Основы геоинформатики: В 2 кн. Кн. 1: Учеб. пособие для студ. вузов / Е.Г. Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; Под ред. В.С. Тикунова. - М.: Издательский центр “Академия”, 2004. - 352 с.
46. Лисицкий Д.В. Глобальные изменения сущности и роли картографии в современном обществе /Д.В. Лисицкий// Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-10-2004): Доклады 10-й Международной научно-практической конференции. Новосибирск, 5,6 окт. 2004 г. - Томск: Издательство Томского университета, 2004, С. 281-284

47. Лисицкий Д.В. Общность и различие понятий “цифровая модель местности”, “цифровая карта” и “электронная карта” / Д.В. Лисицкий // Современные проблемы геодезии и оптики. LI научно-техн. конф., 16-19 апреля 2001 года. Тезисы докл./ Новосибирск: СГГА, 2001. - С. 143-144.
48. Карпик А.П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: Монография. / А.П. Карпик. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 260 с.
49. Д.В. Лисицкий, С.Ю. Кацко Назначение и особенности цифрового картографического изображения в геоинформационном картографировании Новосибирск: СГГА, 2005.