

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

БАЛАН Г. К.

ГЕОФІЗИКА З ОСНОВАМИ АСТРОНОМІЇ

(БЛОК «ГЕОФІЗИКА»)

Конспект лекцій

Одеса  
Одеський державний екологічний університет  
2020

УДК 550.3:52

Б20

Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету  
Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол № 9 від 26.06.2018 р.)

**Балан Г.К.**

Геофізика з основами астрономії (блок геофізика): конспект лекцій. Одеса, ОДЕКУ, 2018.  
89 с.

В конспекті лекцій наведені основні викладки теоретичного матеріалу з вивчення Землі в просторі, основні наслідки орбітального та добового руху Землі, геофізичні поля земної кулі, про склад і властивості земної кори, її рельєф, будови Землі, характеристики основних геосфер та їх взаємозв'язок, історію розвитку земної кори та Землі в цілому. Процеси і явища різного просторово-часового масштабу, що протікають в географічній оболонці.

**ISBN 978-966-186-018-5**

© Балан Г.К., 2018  
© Одеський державний екологічний університет, 2020

## ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА.....	4
1 ЗЕМЛЯ В СВІТОВОМУ ПРОСТОРИ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	5
ПРО ЗЕМЛЮ. ФОРМА ТА РОЗМІРИ ЗЕМЛІ .....	5
1.1 Будова Всесвіту. Галактика .....	5
1.2 Гіпотези походження Землі.....	15
1.3 Форма, фігура та розміри Землі .....	18
2 РУХИ ЗЕМЛІ ТА ЇХ ГЕОФІЗИЧНІ НАСЛІДКИ. ЗОВНІШНЯ БУДОВА ЗЕМЛІ .....	21
2.1 Орбітальний і добовий рух Землі. Рух полюсів земної кулі.....	21
3 ГЕОСФЕРИ ЗЕМЛІ.....	34
3.1 Походження атмосфери, гідросфери .....	34
3.2 Атмосфера, її склад та будова .....	37
3.3 Гідросфера та її будова .....	40
3.4 Біосфера .....	43
3.5 Внутрішні геосфери .....	44
3.6 Сучасні уявлення про походження геосфер .....	54
4 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ. ЗАКОНОМІРНОСТІ РОЗМІЩЕННЯ МАТЕРИКІВ І ОКЕАНІВ.....	55
5 ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ ЗЕМЛІ .....	59
5.1 Гравітаційне поле .....	61
5.2 Геомагнітне поле .....	67
5.3 Теплове поле Землі.....	81
6 ВПЛИВ АНТРОПОГЕННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ПРИРОДНІ ФУНКЦІЇ СЕРЕДОВИЩА.....	84
ЛІТЕРАТУРА.....	88

## ПЕРЕДМОВА

**Геофізика** - комплекс наук, які досліджують фізичними методами будову Землі.

Геофізика - багатогалузева наука, вона здатна вирішувати найрізноманітніші та найскладніші проблеми, що охоплюють всі сторони природних і соціальних явищ. Це зумовлено складністю і різноманіттям головного об'єкта її дослідження - географічної оболонки Землі.

Дисципліна "Геофізика" вивчає фізику твердої Землі (земну кору, мантію, зовнішнє і внутрішнє ядро), фізику океанів, поверхневих вод суші (озер, річок, льодовиків) і підземних вод, а також фізику атмосфери (метеорологію, кліматологію та інш.).

Географічна оболонка, яка розташована на межі взаємодії внутрішньоземних і зовнішніх (у тому числі космічних) процесів, включає верхні шари твердої кори, гідросферу, атмосферу і розсіяну в них органічну речовину. В залежності від положення Землі на екліптичній орбіті та завдяки нахилу її осі обертання різні ділянки земної поверхні отримують різну кількість сонячного тепла, подальший перерозподіл якого у свою чергу зумовлений нерівномірним співвідношенням по широті суші та моря.

Сучасний стан географічної оболонки слід розглядати як результат її тривалої еволюції, починаючи з виникнення Землі та становлення її на планетну дорогу розвитку.

Правильне розуміння процесів і явищ різного просторово-часового масштабу, що протікають в географічній оболонці, потребує, щонайменше, багаторівневого їх розгляду, починаючи з глобального - загальнопланетарного.

В той же час, дослідження процесів загальнопланетарного характеру до останнього часу вважалось прерогативою геологічних наук. У загальногеографічному синтезі інформація цього рівня практично не використовувалась, а якщо й залучалась, то досить пасивно і обмежено.

Проте галузевий поділ природних наук достатньо умовний і не має чітких меж. Об'єкт же досліджень у них спільний - Земля та її космічне оточення. Вивчення різних властивостей даного єдиного об'єкта та процесів, які в ньому протікають, потребує розробки різних методів досліджень, що значною мірою і зумовило їх галузевий поділ. Дисципліна "Геофізика" має більше переваг перед іншими галузями знань, оскільки має найбільш розвинену інфраструктуру, що дозволяє проводити всебічне вивчення Землі та навколоземного простору.

# 1 ЗЕМЛЯ В СВІТОВОМУ ПРОСТОРИ. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ЗЕМЛЮ. ФОРМА ТА РОЗМІРИ ЗЕМЛІ

## 1.1 Будова Всесвіту. Галактика

**Сонячна система** - планетна система, що включає центральну зірку - Сонце - і всі природні космічні об'єкти, які обертаються навколо неї: планети та їх супутники, карликові планети і їх супутники, а також малі тіла - астероїди, комети, метеорити, космічний пил.

Сонячна система входить до складу Галактики **Чумацький Шлях**.

Галактика Чумацький Шлях, звана також просто Галактика - гігантська зоряна система, в якій знаходиться Сонячна система, всі видимі неозброєним оком окремі зірки, а також величезна кількість зірок, що зливаються разом і спостерігаються у вигляді чумацького шляху.

Назва Галактика походить з грецької (*галактікос* – молоко). Згідно зі старогрецькою міфологією Гера, наймогутніша з богинь Олімпу, годувала своїм молоком немовля - Геракла, який при цьому заподіяв їй біль, відштовхнувши його, струмінь молока, що бризнув з грудей богині, перетворився на Чумацький Шлях.

Чумацький Шлях - одна з численних галактик Всесвіту, є спіральною галактикою за класифікацією Хаббла, разом з галактикою Андромеди (M31) і галактикою Трикутника (M33), а також декількома меншими галактиками-супутниками утворює місцеву групу, яка входить в сузір'я Діви.

Діаметр Галактики становить близько 30 тисяч парсек (біля 100000 світлових років). Галактика містить майже 200 мільярдів зірок (сучасна оцінка коливається в діапазоні припущень від 200 до 400 мільярдів).

Основна маса зірок розташована у формі плоского диска. Маса Галактики становить  $3 \cdot 10^{12}$  мас Сонця, або  $6 \cdot 10^{42}$  кг. Велика частина маси Галактики міститься не в зірках і міжзоряному газі, а в гало з темної матерії, що не світиться.

Одну галактику ми точно бачимо неозброєним оком - це наша Галактика. Аби відрізнити її від всіх інших галактик, треба писати саме з великої букви. Але наша Галактика має власне ім'я - Чумацький шлях. Ми розглядаємо її зсередини, тому вона має вигляд світлої смуги на нічному небі.

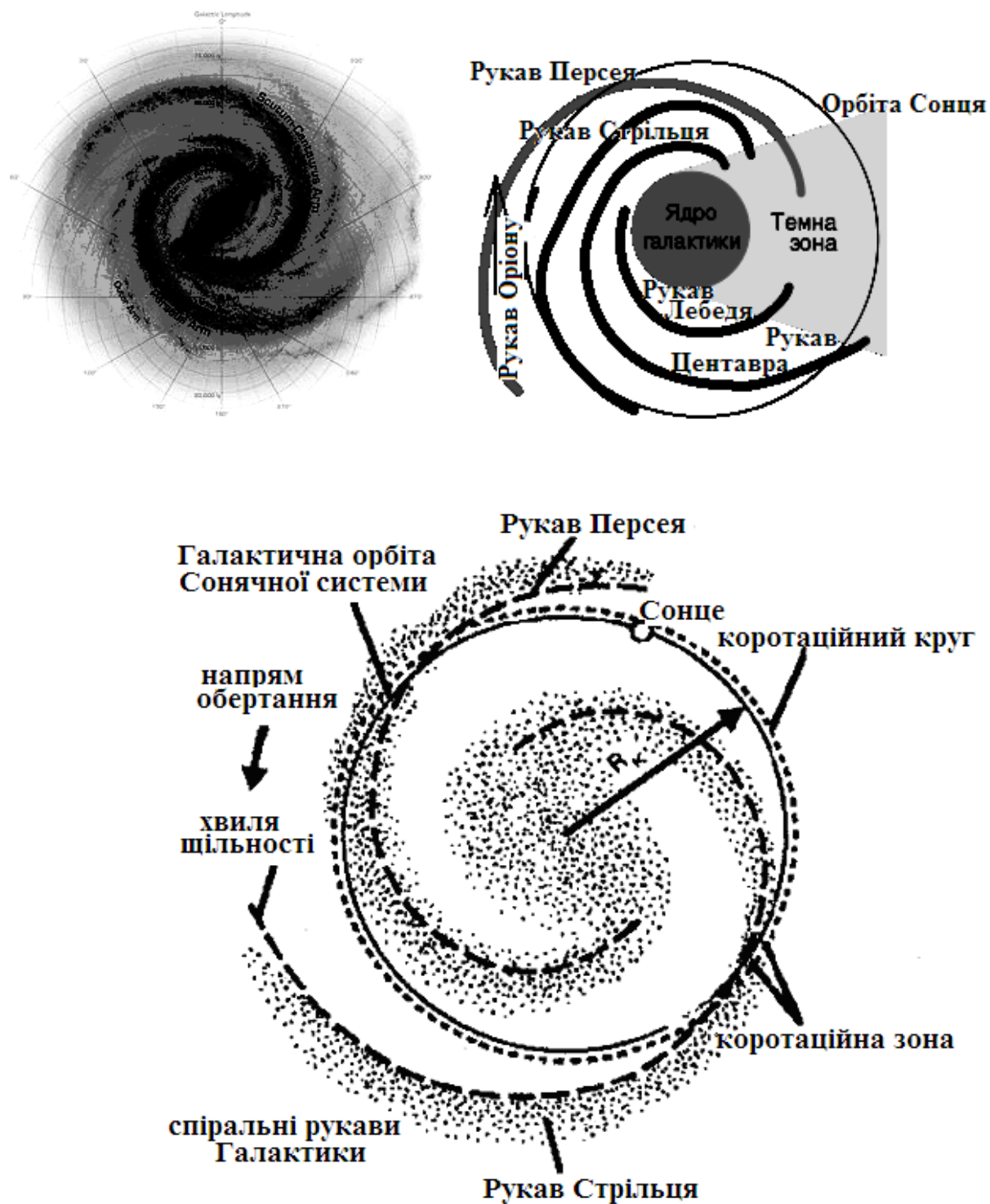


Рис. 1.1 - Чумацький шлях (комп'ютерна модель). Спіральна Галактика з перемичкою. Домінують два з чотирьох рукавів.

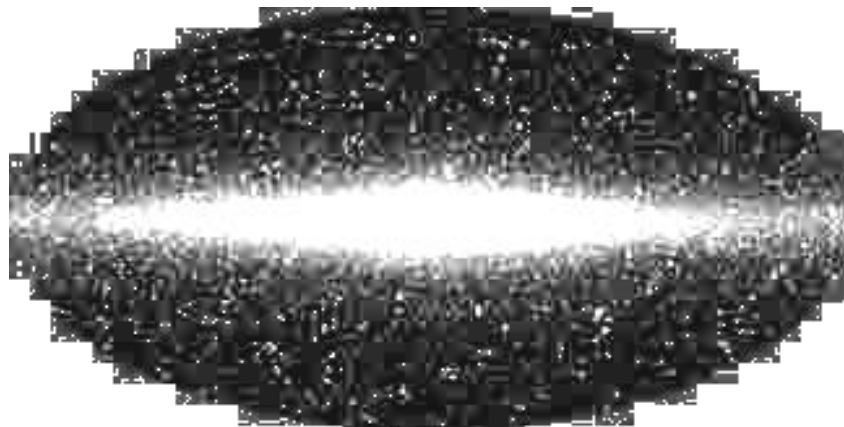


Рис. 1.2– Галактика, вигляд збоку.

Це малюнок, а не фотографія. Такою ми могли б побачити нашу Галактику з боку, якби віддалилися приблизно на 100 тис. світлових років від неї.

У наш час Всесвіт продовжує розширюватися, це встановлений факт. Ми спостерігаємо це розширення як розгін галактик, тобто віддалення їх один від одного. Але розміри самих галактик при цьому не збільшуються. Причому, чим далі від нас знаходиться галактика, тим швидше, як показують спостереження, вона від нас віддаляється.

В 2003 році з'явилося повідомлення про те, що вченим нарешті вдалося побудувати образ раннього Всесвіту за даними спостережень з супутника WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe). Цей унікальний космічний апарат був запущений 30 червня 2001р. і почав картографувати небо в мікрохвильовому діапазоні спектра. Проаналізувавши отриману картину, вчені встановили з досить високою точністю  $\pm 1\%$ , що вік Всесвіту складає 13,7 мільярдів років. А перші зірки у Всесвіті з'явилися всього лише через 200 мільйонів років після Великого вибуху, що набагато раніше, ніж передбачають всі теорії, які існують сьогодні.

Головним тілом Сонячної системи є Сонце - зірка спектрального класу G2 (жовтий карлик). У ньому зосереджено більше 99% маси всієї Сонячної системи.

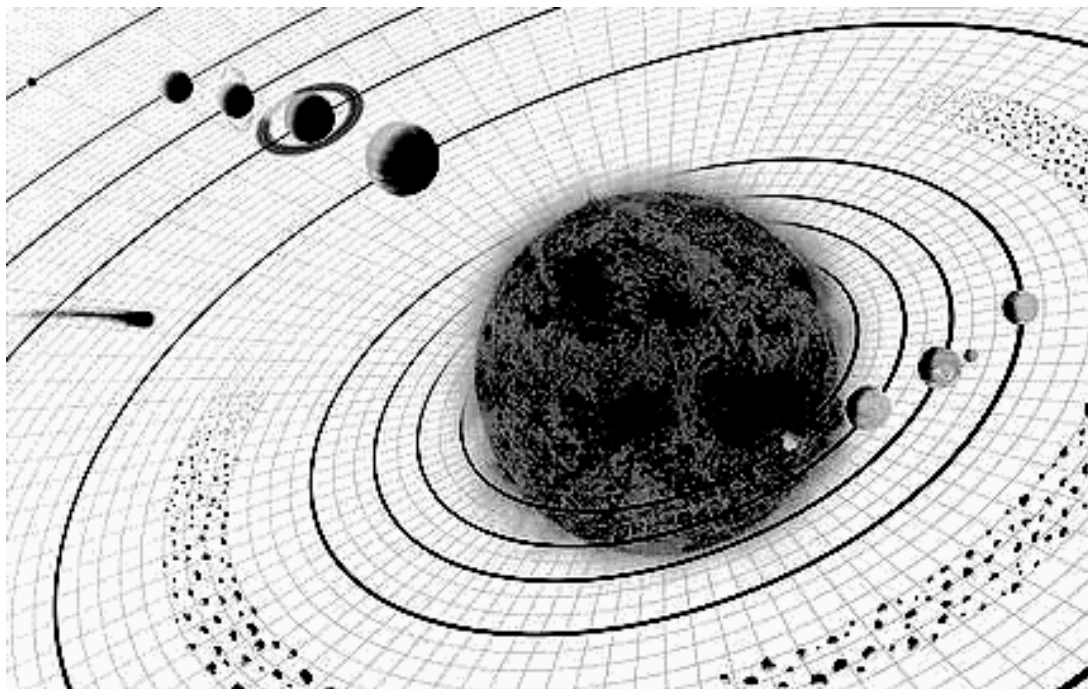


Рис.1.3 - Сонячна система

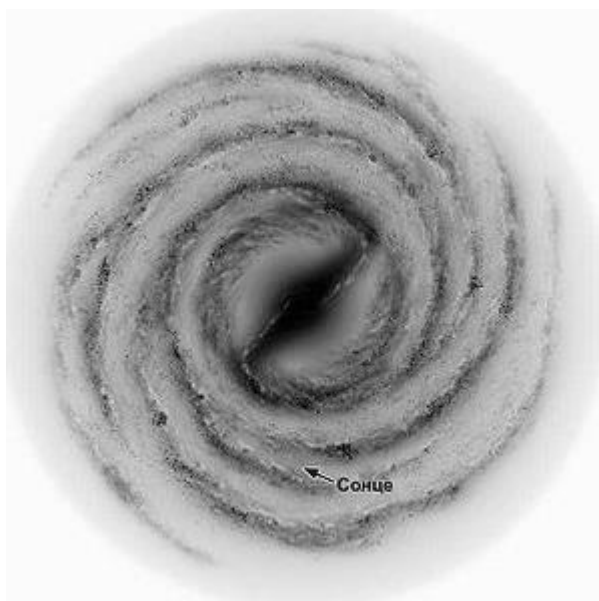


Рис.1.4 - Положення Сонця в нашій Галактиці

У складі Сонячної системи 8 великих планет, розташованих від Сонця в такому порядку:

Меркурій

Венера

Земля



Марс  
Юпітер  
Сатурн  
Уран  
Нептун

і декілька сот тисяч малих планет, названих астероїдами.

Астероїди є глибами неправильної форми, що складаються з силікатів, вуглецю і металів. Велика частина астероїдів розташована в головному поясі астероїдів, який знаходиться між орбітами Марса і Юпітера.

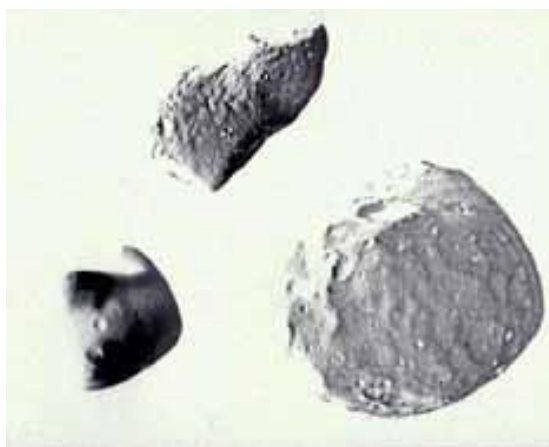


Рис.1.5 - Малі планети або астероїди

Окрім цього, за орбітою Нептуна обертаються декілька мільйонів транснептунових об'єктів, які складають пояс Койпера. Мабуть, колись давно до їх числа входив і Плутон, але був зірваний зі своєї орбіти полем тяжіння Нептуна.

Комети, які теж входять до складу Сонячної системи, обертаються навколо Сонця за надто витягнутими орбітами на відміну від планет, орбіти яких близькі до кола.

За хімічним складом комети значно відрізняються від астероїдів, вони складені з льоду замерзлих газів, а зовні покриті кам'яним пилом. Величезна кількість (сотні мільйонів) кометних ядер зосереджена на самій периферії Сонячної системи в кометній хмарі Оорта.

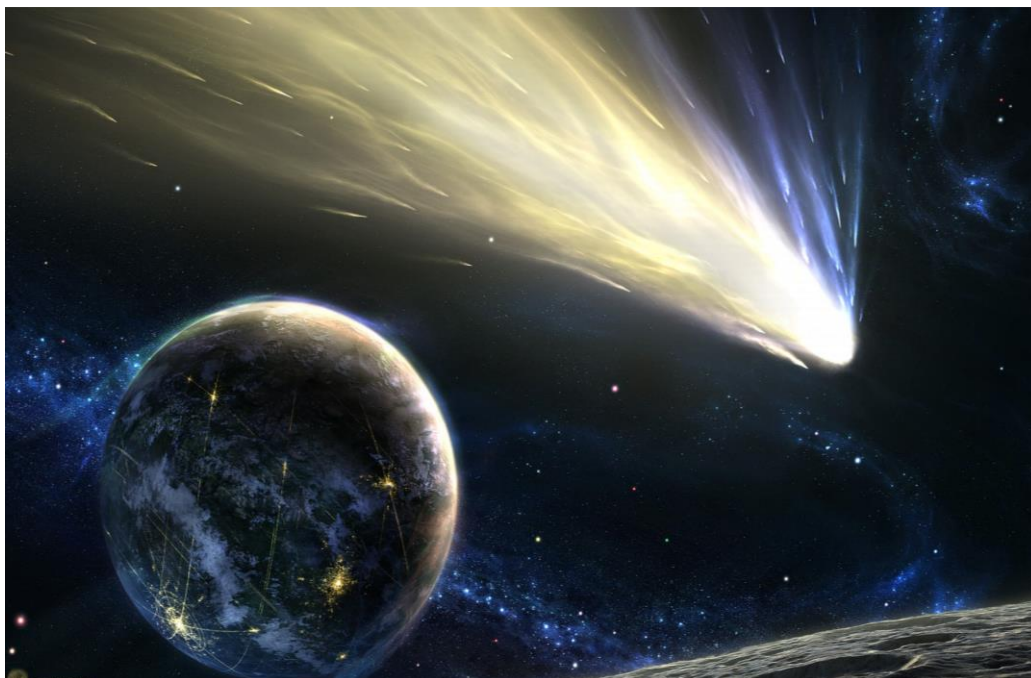


Рис.1.6 - Комети.

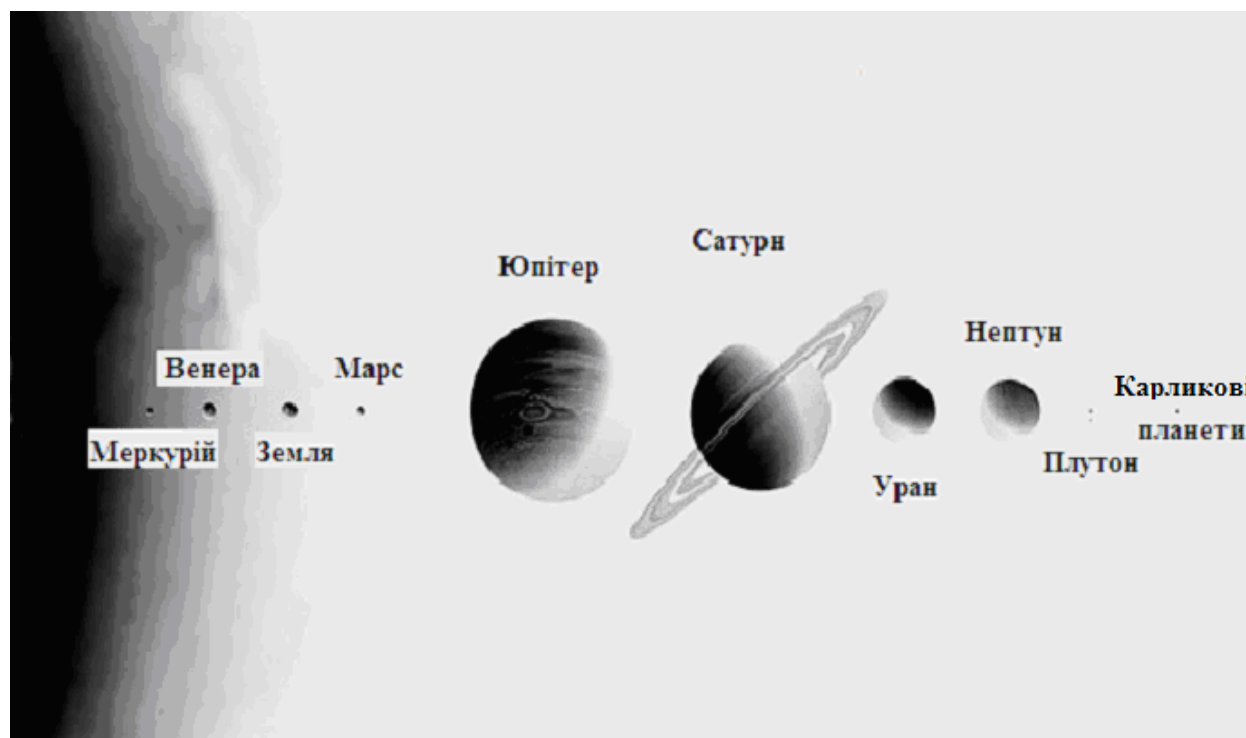


Рис. 1.7 - Сонячна система

Сонячна система включає вісім великих планет, які зі своїми 57 супутниками обертаються навколо масивної зірки по еліптичних орбітах (рис. 1.7).

За своїми розмірами та масою планети можна поділити на дві групи: планети земної групи, розташовані ближче до Сонця, - Меркурій, Венера, Земля і Марс і планети-гіганти - Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун, що знаходяться на значно віддалених від центральної зірки орбітах. Окрім великих планет між орбітами Марса і Юпітера обертається більше 2300 малих планет - астероїдів, безліч дрібніших тіл - метеоритів і метеорного пилу, а також декілька десятків тисяч комет, що рухаються по надто витягнутих орбітах і деякі з них виходять далеко за межі Сонячної системи.

Всі планети і астероїди обертаються навколо Сонця у напрямку руху Землі - із заходу на схід. Це так званий прямий рух.

Основні закономірності руху планет повністю визначаються **законами Кеплера**. Розглянемо ці закони і охарактеризуємо основні елементи еліптичних орбіт.

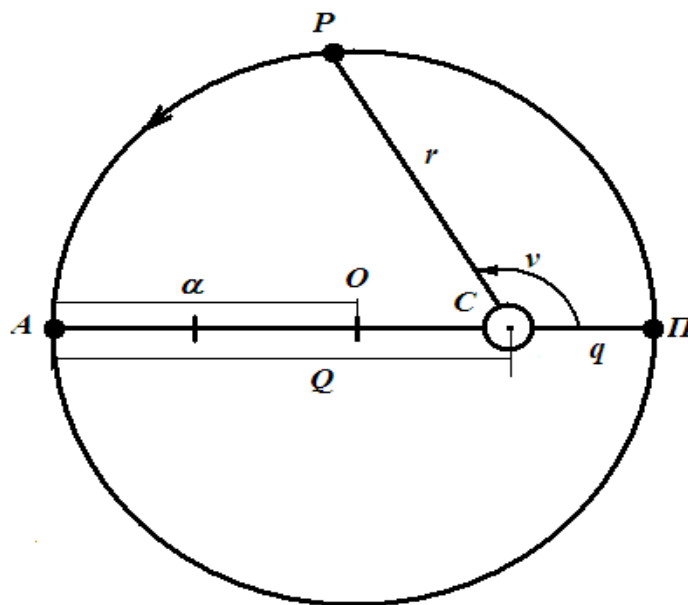


Рис. 1.8 - Елементи планетної орбіти:  $AP$  - велика піввісь орбіти, вісь апсид;  $P$  - перигелій;  $A$  - афелій;  $r$  - радіус-вектор.

**Згідно з першим законом**, всі планети обертаються навколо Сонця по еліптичних орбітах, в одному з фокусів яких знаходиться Сонце.

На рис. 1.8 показані елементи планетних орбіт з Сонцем ( $C$ ) у фокусі. Лінія  $AP$  називається **лінією апсид**, крайні точки якої **афелій** ( $A$ ) і **перигелій** ( $P$ ) характеризують найбільше і найменше віддалення від Сонця.

Відстань планет ( $P$ ) на орбіті від Сонця (геліоцентрична відстань) визначається радіус-вектором  $r = CP$ .

Відношення напівфокальної відстані ( $c$ ) до великої піввісі ( $a$ ) називається *ексцентриситетом орбіти*:

$$\varepsilon = \frac{c}{a}. \quad (1.1)$$

Якщо позначити через  $q$  перигелійну відстань, а через  $Q$  - афелійну відстань, то їх значення легко визначити з виразу:

$$q = a - c = a(1 - e), \quad (1.2)$$

$$Q = a + c = a(1 + e). \quad (1.3)$$

Тоді, визначивши велику піввісь ( $a$ ), ми знайдемо середню річну відстань планети до Сонця:

$$a = \frac{q + Q}{2}. \quad (1.4)$$

Середня геліоцентрична відстань Землі від Сонця дорівнює 149,6 млн. км. Ця величина називається *астрономічною одиницею* і береться за одиницю вимірів відстаней в межах Сонячної системи.

Згідно *другому закону Кеплера*, радіус-вектор планети описує площі, прямо пропорційні проміжкам часу. Якщо позначити через  $S_1$  - площу перигелійного сектора (рис. 1.6), а через  $S_2$  - площу афелійного сектора, то їх відношення буде пропорційне часу  $t_1$  і  $t_2$ , за який планета пройде відповідні відрізки дуги орбіти:

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{\Delta t_1}{\Delta t_2}. \quad (1.5)$$

Звідси випливає, що секторальна швидкість - величина постійна

$$v = \frac{S_1}{\Delta t_1} = \frac{S_2}{\Delta t_2} = \text{const} \quad (1.6)$$

Час, протягом якого планета зробить повний оберт по орбіті, називається *зоряним або сидеричним періодом  $T$* .

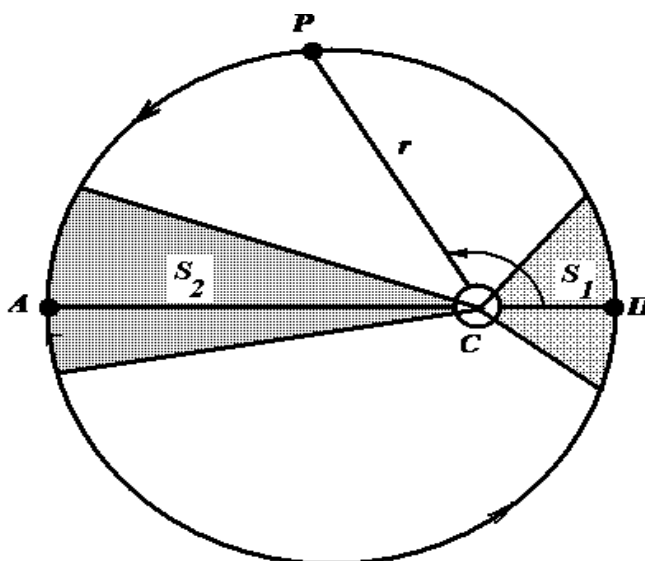


Рис. 1.9 - Площі, описані радіус-вектором планети.

Тому секторальна швидкість є *найбільшою в перигелії, а найменшою - в афелії*.

Використовуючи другий закон, можна обчислити ексцентриситет земної орбіти за найбільшим і найменшим добовим зсувом Сонця по екліптиці, що відображає рух Землі.

Земля в перигелії перебуває на початку січня, а в афелії - на початку липня.

Орбіта Землі не набагато відрізняється від кола.

Згідно **третьому Закону Кеплера**, квадрати сидеричних періодів обертання планет ( $T_1^2$  и  $T_2^2$ ) прямо пропорційні кубам їх середніх відстаней від Сонця ( $a_1^3$  и  $a_2^3$ ):

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3} . \quad (1.7)$$

Якщо одна із планет - Земля, період сидеричного обертання якої рівний  $T_1=1$  року, а відстань від Сонця  $a_1$  покласти рівною  $a_1=1$  а. о., то вираз (1.6) буде мати вигляд:

$$T_2^2 = a_2^3 . \quad (1.8)$$

Отриманий вираз дозволяє за відомими періодами із спостережень

обертання планет та інших небесних тіл навколо Сонця, обчислювати їх середні геліоцентричні відстані.

**Знайдені емпірично закони Кеплера показали, що Сонячна система є механічною системою з центром, що знаходиться в сонячній масі.**

Отже всі рухи в Сонячній системі підпорядковані закону Всесвітнього тяжіння. Виходячи з малої маси планет і тим більше інших тіл Сонячної системи, можна вважати, **що рухи в навколосонячному просторі підлягають законам Кеплера:**

а) всі тіла рухаються навколо Сонця по еліптичних орбітах, в одному з фокусів яких знаходиться Сонце;

б) чим ближче до Сонця небесне тіло, тим більша його швидкість руху по орбіті;

в) тіла можуть рухатися і по розімкнених орбітах - параболі або гіперболі. Це трапляється в тому випадку, якщо швидкість тіла рівна або перевищує значення другої космічної швидкості для Сонця на певному віддаленні від центрального світила. Якщо йдеться про супутники планети, то і космічну швидкість треба розраховувати відносно маси планети та відстані до її центру.

Закони Кеплера послужили Ньютону основою для виведення свого знаменитого закону Всесвітнього тяжіння, який він сформулював так: **кожні дві матеріальні частинки взаємно притягуються з силою, пропорційною їх масам і обернено пропорційною квадрату відстані між ними.**

Математичне формулювання цього закону має вигляд:

$$F = G \frac{Mm}{r^2}, \quad (1.9)$$

де,  $M$  та  $m$  - взаємодіючі маси,  $r$  - відстань між ними,  $G$  - гравітаційна стала.

У системі СІ  $G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{с}^{-2}$ .

Розбіжність між поверхнями геоїда і еліпсоїда (референц-еліпсоїд, сфероїд) не перевищує декількох десятків метрів, у той час як різниця між  $R_e$  і  $R_n$  становить 21,385 км. За сучасними вимірами  $R_z = 6378,142$  км,  $R_n = 6356,757$  км; стиснення геоїда  $a = (R_e - R_n)/R_z = 1/298,255$ , що складає 0,3%, у Юпітера - 6%.

Супутникові виміри показали, що Південний полюс на 30 км ближчий до центру Землі, ніж Північний. Середній радіус Землі  $R_{сер} = 6371,032$  км. За цими даними можна визначити площу поверхні Землі, що становить 510,069 млн.км<sup>2</sup>, з них 29,2% - суша і 70,8% - водна поверхня.

Об'єм Землі -  $1,1 \cdot 10^{27}$  см<sup>3</sup>, її маса -  $6 \cdot 10^{27}$  г, що складає  $3 \cdot 10^{-6}$  маси Сонця. Середня щільність Землі - 5,5 г/см<sup>3</sup>.

## 1.2 Гіпотези походження Землі

Від 12 млрд. до 20 млрд. років тому (точніше сучасна наука допоки сказати не може) виник наш Всесвіт. Запитувати, що було до його виникнення - некоректно (це означає, що розумної відповіді на таке питання дати не можна), оскільки до його виникнення не було ні простору, де б це "що" могло бути, ні часу, в який це "що" могло б відбуватися.

У момент свого виникнення Всесвіт мав нульовий об'єм і нескінченно велику щільність. У перші ж хвилини після виникнення Всесвіту, в результаті первинного нуклеосинтезу виникла речовина. На 70% вона складалася з водню (**H**) і на 30% з гелію (**He**).

**Космогонія** (греч. kosmogonia, від kósmos - світ, Всесвіт і gone, goneia - народження) - *галузь науки, в якій вивчається походження і розвиток космічних тіл і їх систем: зірок і зоряних скупчень, галактик, туманностей, Сонячної системи та всіх тіл, що входять до її складу: Сонця, планет (включаючи Землю), їх супутників, астероїдів (або малих планет), комет, метеоритів.*

Гіпотези космогонії XVIII - XIXст. відносяться головним чином до походження Сонячної системи. Лише у XX столітті розвиток теоретичної астрофізики і фізики дозволив почати серйозне вивчення походження і розвитку зірок. У другій половині XX ст. почалося вивчення походження і розвитку галактик, природа яких була з'ясована лише тепер.

Існує багато гіпотез про походження Землі, але всіх їх можна умовно об'єднати в **дві групи**:

1. Гіпотези **первинно-розплавленого стану** Землі і її подальшого охолодження (гіпотези Ж. Бюффона, І. Канта, П. Лапласа, Д. Джинса та інші)

2. Гіпотези **первинно-охолодженої Землі**, яка зазнала подальшого радіогенного розігрівання і потім нерівномірного охолодження (гіпотези В.Г. Фесенкова, О.Ю. Шмідта, Б.Ю. Льовіна, А.П. Виноградова, Г.В. Войткевича та інш.).

Послідовники **першої групи** гіпотез вважають основним джерелом внутрішньої енергії Землі залишкове тепло, що збереглося від часу її формування, а додатковими джерелами - енергію радіогенну та енергію, що виділялася при стисненні речовини Землі.

Послідовники **другої групи** гіпотез, навпаки, радіогенну енергію вважають основною. У минулому радіоактивних речовин на Землі було набагато більше, але в процесі радіоактивного розпаду їх кількість

зменшилася. Наприклад: 4,5 мільярда років тому урану-238 на Землі було в двічі більше ніж тепер. Окрім цього, тоді існували і невідомі нам "недовговічні" радіоактивні ізотопи з періодом напіврозпаду від 10 мільйонів до 1 мільярда років. Отже у далекому минулому Земля була значно теплішою.

Німецький філософ **Еммануїл Кант** в 1755р. висловив ідею походження Всесвіту з первинної матерії, що складається з найдрібніших частинок. Утворення зірок, Сонця та інших космічних тіл, на його думку, сталося під впливом сил тяжіння і відштовхування в умовах хаотичного руху частинок.

**Кант** вважав, що Сонячна система виникла при еволюційному розвитку пилової туманності, в центрі утворилося Сонце, на периферійних частинах - планети. Згідно гіпотезі **Канта-Лапласа**, спочатку розжарена Земля *охолоджувалася*, стискала, що привело до деформації земної кори.

Французький математик **П. Лаплас** (1796 р.) пов'язував утворення Сонячної системи з обертальним рухом розрідженої і розжареної газоподібної туманності, який привів до виникнення згустків матерії - зародків планет.

П. Лаплас передбачав, що первинна туманність була газовою, надто *гарячою* і швидко оберталася, причому від неї відокремилися кільця - майбутні планети - вони утворилися раніше ніж Сонце. Гіпотеза Канта - Лапласа і сьогодні не втратила наукового значення.

Великий внесок у розвиток уявлень про походження планетної системи зробили в своїх працях **О.Ю. Шмідт** та його послідовники. Процес формування планетної системи з *холодної* газово-пилової хмари, загалом, *представлений досить обґрунтовано*. На першому етапі в газово-пиловій хмарі, що оберталась, відбувалось утворення відносно крупних тіл, проміжних між пиловими частинками і планетами.

Маючи значно менші швидкості, чим легкі газові молекули, частинки збиралися в центральній площині хмари, яка оберталася. Поступово відстань між частинками зменшувалася, взаємне притягання збільшувалось, утворювалися згустки пилових частинок, що рухалися навколо Сонця, в напрямі руху хмари. З часом пилові згустки перетворилися на більш крупні тіла - малі планети - астероїди.

Крупніші тіла притягували дрібні і, поступово збільшуючись в розмірах, ставали великими планетами. При цьому відбувався гравітаційний перерозподіл речовини планети під дією сили тяжіння. Збільшення розмірів йшло спочатку порівняно швидко за рахунок приєднання захопленої в хмарі речовини. Пізні планети продовжували "зростати", але вже повільно, за рахунок прямого випадання речовини на їх поверхню.

За гіпотезою О. Ю. Шмідта (1943 р.) планетна система утворилася з



пилової і метеорної матерії при попаданні її в сферу Сонця. Спочатку *холодна* Земля та інші планети поступово розігрівалися під впливом енергії радіоактивного розпаду, гравітаційних та інших процесів, а потім поступово охолоджувалися.

Радянський астроном **В. Г. Фесенков** в 1951р. запропонував вирішення проблеми з точки зору утворення Сонця і планет із спільного середовища, що виникло в результаті ущільнення газопилової матерії. При цьому передбачалося, що Сонце утворилося з центрального згустку, а планети - із зовнішньої частини. Тіла Сонячної системи формувалися з *первинно холодної космічної твердої і газоподібної матерії* шляхом ущільнення та згущення до утворення Сонця і протопланет.

Астероїди і метеорити вважаються вихідним матеріалом планет Земної групи (Меркурія, Венери, Землі, і Марсу - невеликих за розмірами, в них висока щільність, мала маса атмосфери, незначна швидкість обертання навколо своєї осі); а комети і метеори - планет-гігантів (Юпітера, Сатурна, Урана, Нептуна, - мають величезні розміри, низьку щільність, щільну атмосферу, складену з *H<sub>2</sub>, Ge* і метану, високу швидкість обертання).

Формування сучасних оболонок Землі пов'язане з процесами гравітаційної диференціації первинної однорідної речовини.

Найбільш передова гіпотеза - це пояснення виникнення Всесвіту теорією *Великого вибуху*. Відповідно до цієї теорії ~ 15 млрд. років тому наш Всесвіт було стиснуто в грудку, в мільярди разів меншу за шпилькову головку. За математичними розрахунками її діаметр був рівний, а щільність близька до нескінченності (такий стан називається *сингулярним* – нескінченна щільність в точковому об'ємі). Нестійкий вихідний стан речовини привів до вибуху, що сприяв стрибкоподібному переходу до Всесвіту, який розширюється.

Найраніший етап розвитку Всесвіту називається інфляційним - його період до  $10^{-33}$  секунди після вибуху. В результаті виникають простір і час. Розміри Всесвіту в декілька разів перевищують сучасні розміри, речовина в ньому відсутня.

Наступний етап - гарячий. Викид тіла пов'язаний з енергією, що вивільнюється, при Великому вибуху. Випромінювання нагрівало Всесвіт до  $10^{27}$  К. Після чого настав період охолодження Всесвіту протягом ~500 тисяч років. В результаті виник однорідний Всесвіт. Перехід від однорідного до структурного відбувався від 1 до 3 млрд. років.

Кількісні розрахунки показують, що Земля могла досягти сучасної маси приблизно за 200 мільйонів років. До кінця цього періоду температура в центрі планети становила приблизно +1300С, але поверхня була холодною. Потім розігрівання, в результаті радіоактивного розпаду елементів, привело

до плавлення речовини в надрах Землі та її хімічної диференціації.

Протопланетна хмара внаслідок дуже великої кількості пилу була мало прозорою для сонячного випромінювання. Тому частина хмари, що розташована ближче до Сонця, сильно нагрівалася, тоді як віддалені від Сонця її частини мали дуже низьку температуру. Внаслідок поступового розсіювання газів, біля Сонця могли існувати лише частки нелетких, тугоплавких сполук. Тут утворилися планети подібні до Землі. Далеко від Сонця в умовах низької температури газу заморозувались на холодні пилові частинки, збільшуючи їх об'єм. У цій частині хмари формувалися планетигіганти.

### 1.3 Форма, фігура та розміри Землі

Ще в давнину було усвідомлено, що фігура Землі має вигляд кулі. Це стало першим уявленням про фігуру Землі. Завдання вивчення фігури Землі зводилося до визначення радіусу земної кулі (Ератосфен, Біруні).

У першому наближенні Землю можна вважати *кулею* з середнім радіусом 6371,3 км. Таке уявлення нашої планети використовують для завдань, точність обчислень в яких не перевищує 0,5 %.

Ісаак Ньютон, виходячи з відкритого ним закону Всесвітнього тяжіння, висловив припущення, що фігура Землі внаслідок її обертання навколо осі і взаємного притягання складових її мас, має бути слабо сплюснута у напрямку осі обертання і мати вигляд *сфероїда*, близького до *еліпсоїда обертання*.

Унаслідок відцентрової сили, що виникає при обертанні Землі, відбувається "розтягання", "розтаскування" речовини планети таким чином, що куляста форма Землі змінюється і планета стає немовби "приплюснутою" біля полюсів (точок перетину осі обертання Землі і її фізичної поверхні). Це явище носить назву *полярне стиснення*. Результати градусних вимірів на початку XVIIIст. підтвердили обґрунтованість цього припущення, а також і закону Всесвітнього тяжіння.

Насправді Земля не є ідеальною сферою. В результаті добового обертання вона сплюснута з полюсів; висоти материків різні; припливні деформації також спотворюють форму її поверхні.

У геодезії та космонавтиці зазвичай для опису фігури Землі вибирають *еліпсоїд обертання* або *геоїд*. З геоїдом пов'язана система астрономічних координат, з еліпсоїдом-обертання - система геодезичних координат.



Рис. 1.10 - Поверхні рельєфу, сфероїда і геоїда.

Припущення, що фігура Землі має вигляд еліпсоїда обертання, виявилось другим наближенням в уявленнях про її форму. Завданням вивчення фігури Землі є визначення *екваторіального радіуса* і *стиснення Землі*.

Уявлення про фігуру Землі в цілому можна отримати, уявивши, що вся планета обмежена продовженою поверхнею океанів в спокійному стані. Така замкнута поверхня в кожній своїй точці перпендикулярна до прямовисної лінії, тобто до напрямку дії сили тяжіння. Її називають рівневою поверхнею.

Рівневих поверхонь, що огинають Землю, можна уявити безліч, але ту з них, що співпадає з середнім рівнем води океанів в спокійному стані (у момент повної рівноваги всієї маси води, що знаходиться в ній, під впливом сили тяжіння), називають *основною рівневою поверхнею* або поверхнею *геоїда*.

*За математичну поверхню Землі прийнято вважати рівневу поверхню, в кожній точці якої напрям прямовисної лінії (сили тяжіння) і нормаль співпадають.*

В результаті нерівномірного розподілу мас в надрах Землі геоїд не має правильної геометричної форми і його поверхня не може бути виражена математично, тому для практичних розрахунків її замінюють простішими геометричними моделями. З них щонайближче до геоїда знаходиться сфероїд або еліпсоїд обертання, який є обертанням еліпса навколо його малої осі.

Завдання визначення фігури і розмірів Землі полягає в математичному описі небесного тіла Землі і встановленні різниці між математичною моделлю і дійсним тілом Землі (відступів).

Найбільш вдала математична модель Землі була запропонована проф. Красовським Ф.Н. в 1946 році у вигляді *референц-еліпсоїда* з великою піввіссю  $a=6378,945$  км та малою –  $b = 6356,863$  км, коефіцієнт стиснення біля полюсів  $\alpha = (a-b)/a = 1/298.3 \sim 1/300$ .



Рис. 1.11 - Математична модель Землі.

*Еліпсоїд Красовського* - фігура, отримана обертанням еліпса навколо його малої осі. Земля сплюснута з полюсів під дією відцентрової сили, що виникає при обертанні землі навколо своєї осі.

Для вирішення багатьох завдань навігації і складання карт дрібного масштабу Землю приймають за сферу (кулю).

У практичних розрахунках Землю приймають за кулю з середнім радіусом  $R=6371,11$  км. Невелику ділянку поверхні Землі практично можна вважати горизонтальною площиною, крупнішу ділянку - як частину сфери.

В Україні за рівневу поверхню прийнята Балтійська система висот, відлік ведеться від рівня Балтійського моря (Кронштадтський футшток).

Місцева система висот - Тихоокеанська - (-1873 мм).

### **Запитання для самоконтролю**

1. Що називають Чумацьким шляхом?
2. Що визначають закони Кеплера?
3. Що таке ексцентриситет орбіти?
4. Що називається афелієм і перигелієм?

5. Що називається астрономічною одиницею?
- 6.. Що таке сидеричний, період?
7. Які гіпотези "гарячого" походження планет і хто їх автор?
8. Які ви знаєте гіпотези "холодного" походження планет і хто їх автор?
9. Чим відрізняється референц-еліпсоїд від сфероїда та від геоїда?

## 2 РУХИ ЗЕМЛІ ТА ЇХ ГЕОФІЗИЧНІ НАСЛІДКИ. ЗОВНІШНЯ БУДОВА ЗЕМЛІ

### 2.1 Орбітальний і добовий рух Землі. Рух полюсів земної кулі

Земля, як і інші планети Сонячної системи, одночасно бере участь в декількох видах рухів. Головними, з яких є - *добове обертання* навколо своєї осі і *річний рух по орбіті* навколо Сонця.

Земля обертається із заходу на схід, проти годинникової стрілки, при цьому *кутова швидкість обертання*, тобто кут, на який повернеться будь-яка точка на поверхні Землі, *однакова* і становить 15 градусів за годину. *Лінійна швидкість* залежить від широти місцевості: на екваторі вона максимальна і становить 464 м/с, на полюсах швидкість падає до нуля.

Землі необхідно в середньому 23 години 56 хвилин і 4.091 секунди (зоряна доба), аби зробити один оборот навколо осі.

*Зоряна доба* –це проміжок часу, за який Земля здійснює один оберт навколо своєї осі по відношенню до далеких зірок. На 2000-й рік вона дорівнювала 23год 56 хв 4.091с.

Швидкість обертання планети із заходу на схід становить приблизно 15 градусів за годину (1 градус за 4 хвилини, 15' за хвилину). Це еквівалентно видимому діаметру Сонця або Місяця кожні дві хвилини. (Видимі розміри Сонця і Місяця приблизно однакові.)

Обертання Землі нестабільне, але у великому часовому масштабі - сповільнюється. За століття Земля обертається на 0,0014 секунди повільніше, ніж в попереднє століття.

Земля рухається навколо Сонця по еліптичній орбіті на відстані близько 150 млн. км. із швидкістю приблизно рівною 30 км/с (108 000 км/рік), здійснюючи повний оберт за 365,2564 середніх сонячних діб (один зоряний рік).

Переміщення Сонця відносно зірок становить близько 1° в день в східному напрямі. Швидкість руху Землі по орбіті неоднакова: у липні вона починає прискорюватися (після проходження афелію), а в січні - знову починає сповільнюватися (після проходження перигелію).

**Афелій і перигелій** - точки орбіти небесного тіла - найближча до центрального тіла і найвіддаленіша від центрального тіла, навколо якого здійснюється рух.

Сонце і вся Сонячна система обертається навколо центра Галактики Чумацького Шляху по майже коловій орбіті з швидкістю близько 220 км/с.

У свою чергу, Сонячна система в складі Чумацького Шляху рухається із швидкістю 20 км/с у напрямку до точки, що знаходиться на межі сузір'їв Ліри і Геркулеса, прискорюючись у міру розширення Всесвіту. Земля, захоплена рухом Сонця, описує в просторі гвинтову лінію.

Місяць обертається разом із Землею навколо спільного центра мас кожні 27,32 доби.

Проміжок часу між двома однаковими фазами Місяця (синодичний місяць) становить 29,5 доби. Якщо дивитися на орбіту Місяця з північного полюса світу, то він рухається навколо Землі проти годинникової стрілки.

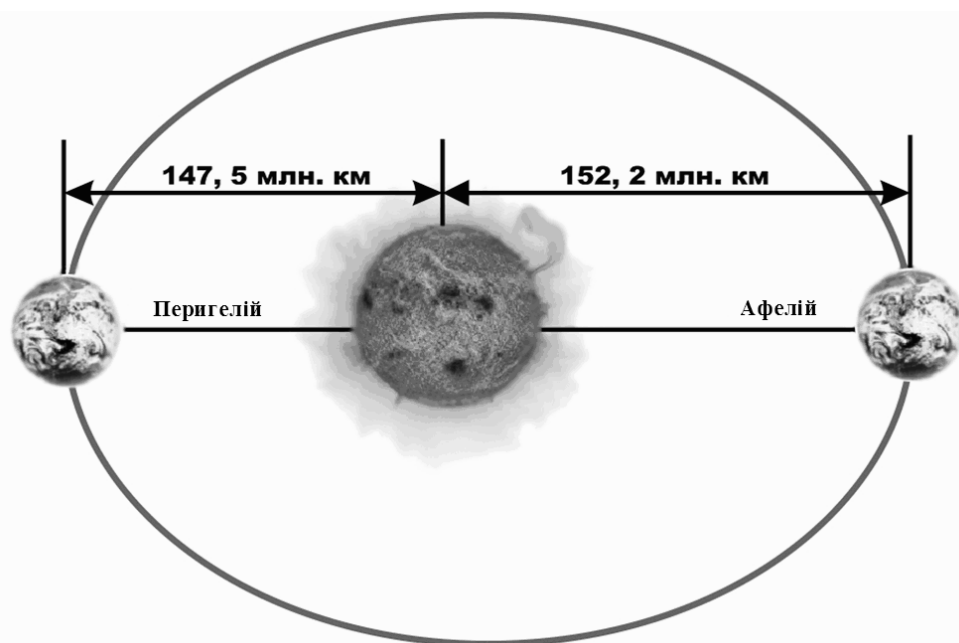


Рис. 2.1- Афелій і перигелій - точки орбіти Землі

**За земну вісь** приймають уявну пряму лінію, що проходить через полюси, навколо якої обертається Земля.

Вісь обертання Землі відхилена від перпендикуляра до площини Земля-Сонце на 23,5 градуса (напрямок і кут нахилу осі Землі залежить від періоду прецесії рівнодення, а видимий зеніт Сонця залежить від пори року); площина Земля-Місяць відхилена на 5 градусів відносно площини Земля-Сонце (без цього відхилення кожні два тижні відбувалося б одне із затемнень: сонячне або місячне).

В результаті нахилу осі Землі висота Сонця над горизонтом протягом року змінюється. Нахил осі зображується як кут між віссю планети і лінією, проведеною через центр планети перпендикулярно до площини орбіти. Для спостерігача в північних широтах, коли північний полюс нахилений до Сонця, світлий час доби триває довше і Сонце знаходиться вище. Це зумовлює високі середні температури повітря. Коли північний полюс відхиляється в протилежну від Сонця сторону, все стає навпаки і клімат стає холоднішим. За північним полярним колом в цей час майже на півроку настає ніч (полярна ніч).



Рис.2.2 - Координати точки на земній поверхні

**Полярне коло** - паралель в кожній півкулі планети, починаючи від якої і до полюса лежать арктичні пояси, де бувають полярний день (влітку) і полярна ніч (взимку).

Оскільки полярне коло визначається в кожній півкулі, у планети може бути лише два полярні кола - північне і південне. Широта полярних кіл визначається кутом нахилу осі обертання планети до площини екліптики.

Земні полярні кола розташовані на широтах  $66^{\circ}33'$  (північної і південної широти). Полярне коло, розташоване в північній півкулі Землі, називається *Північним полярним колом*, в південній півкулі - *Південним полярним колом*.

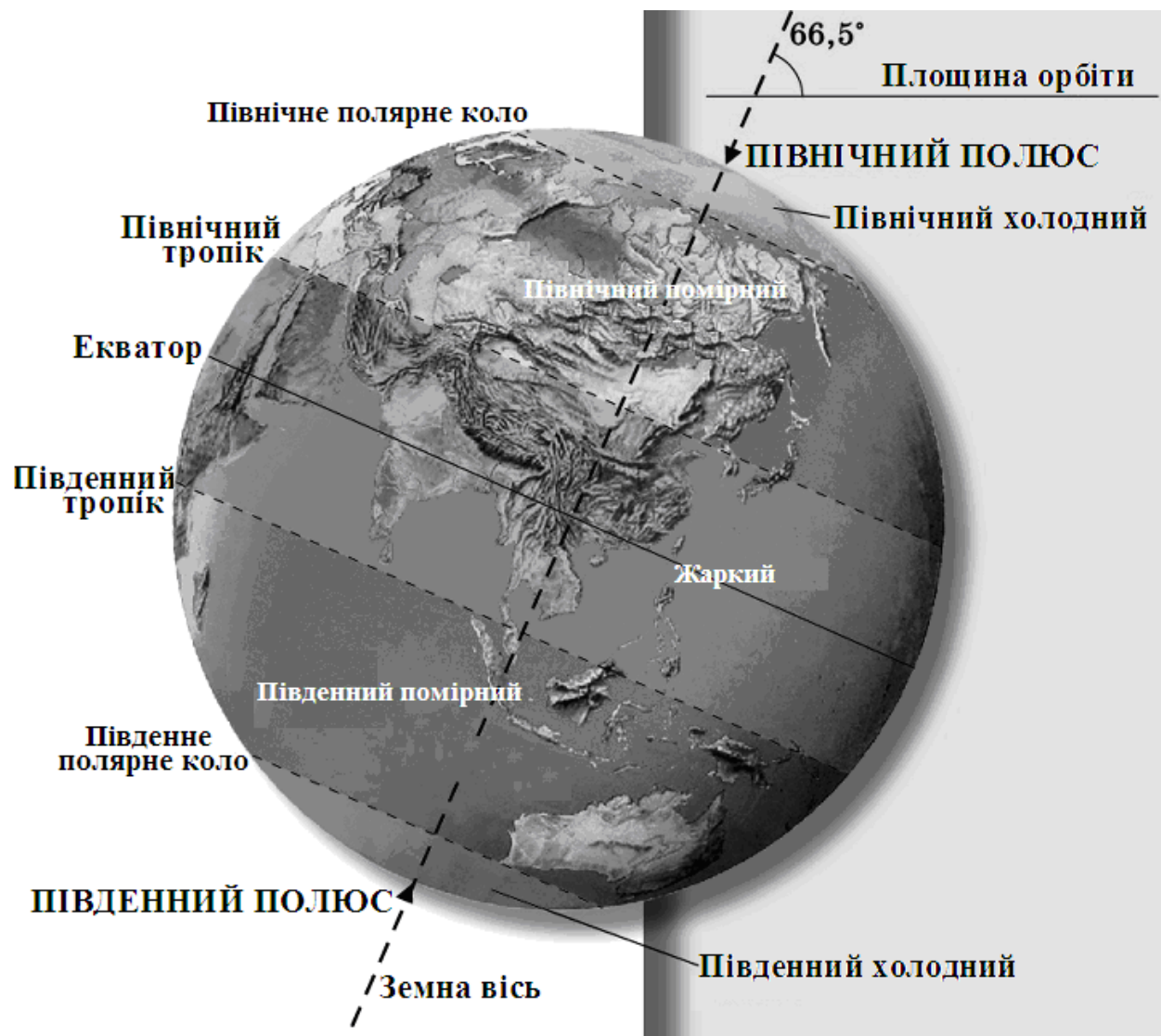


Рис. 2.3 - Вісь обертання Землі.



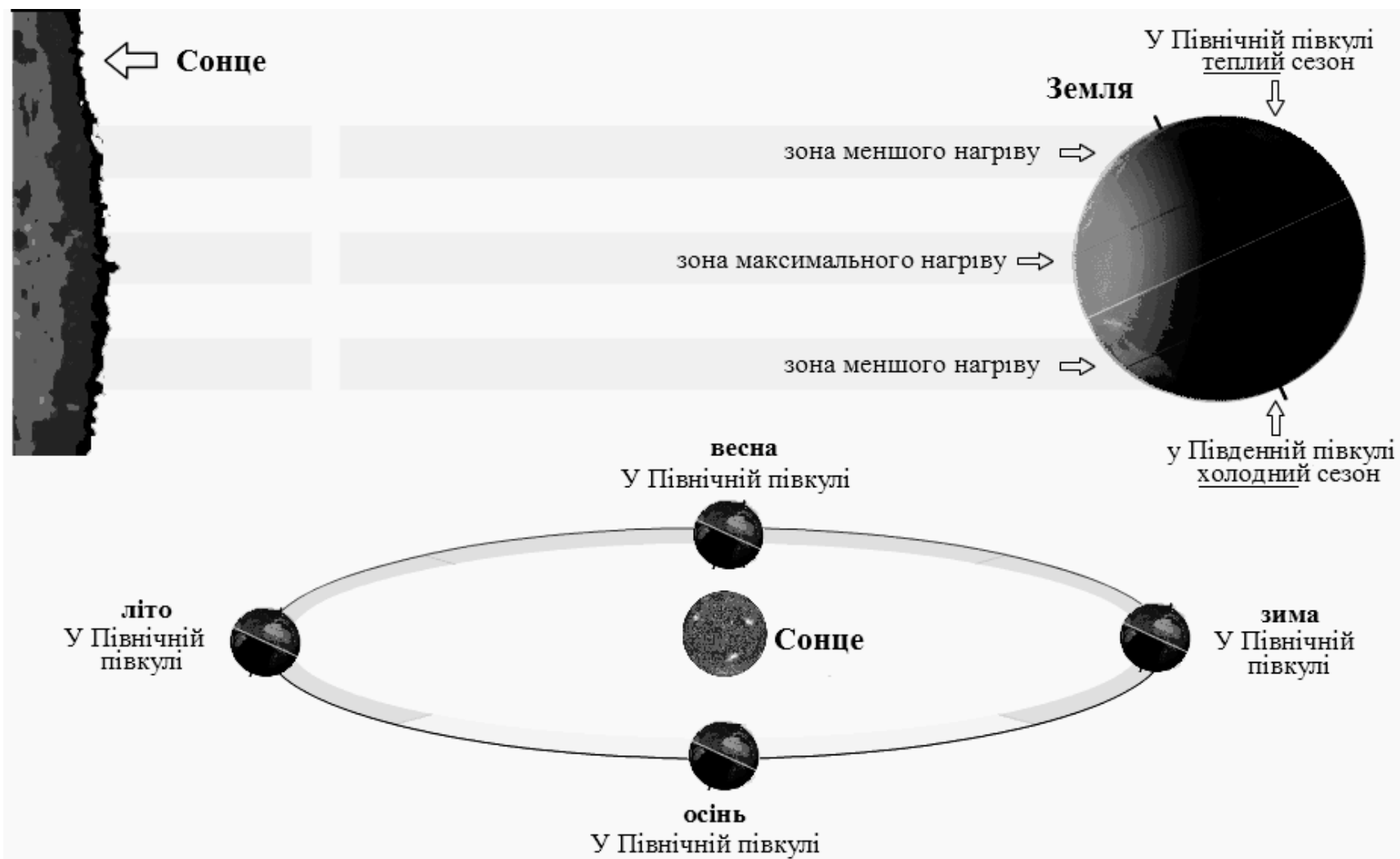


Рис 2.4. - Обертання Землі навколо Сонця

Кут нахилу земної осі відносно постійний протягом довгого часу. Проте цей нахил зазнає незначні, нерегулярні зсуви (відомі як *нутація*) з періодичністю 18,6 років. Так само існують довгоперіодичні нутації (близько 41 000 років). *Нутація* (від латин. „вагання”) - рух твердого тіла, при якому змінюється кут між віссю власного обертання тіла і віссю, навколо якої відбувається прецесія, що відбувається одночасно з прецесією; цей кут називається кутом нутації.

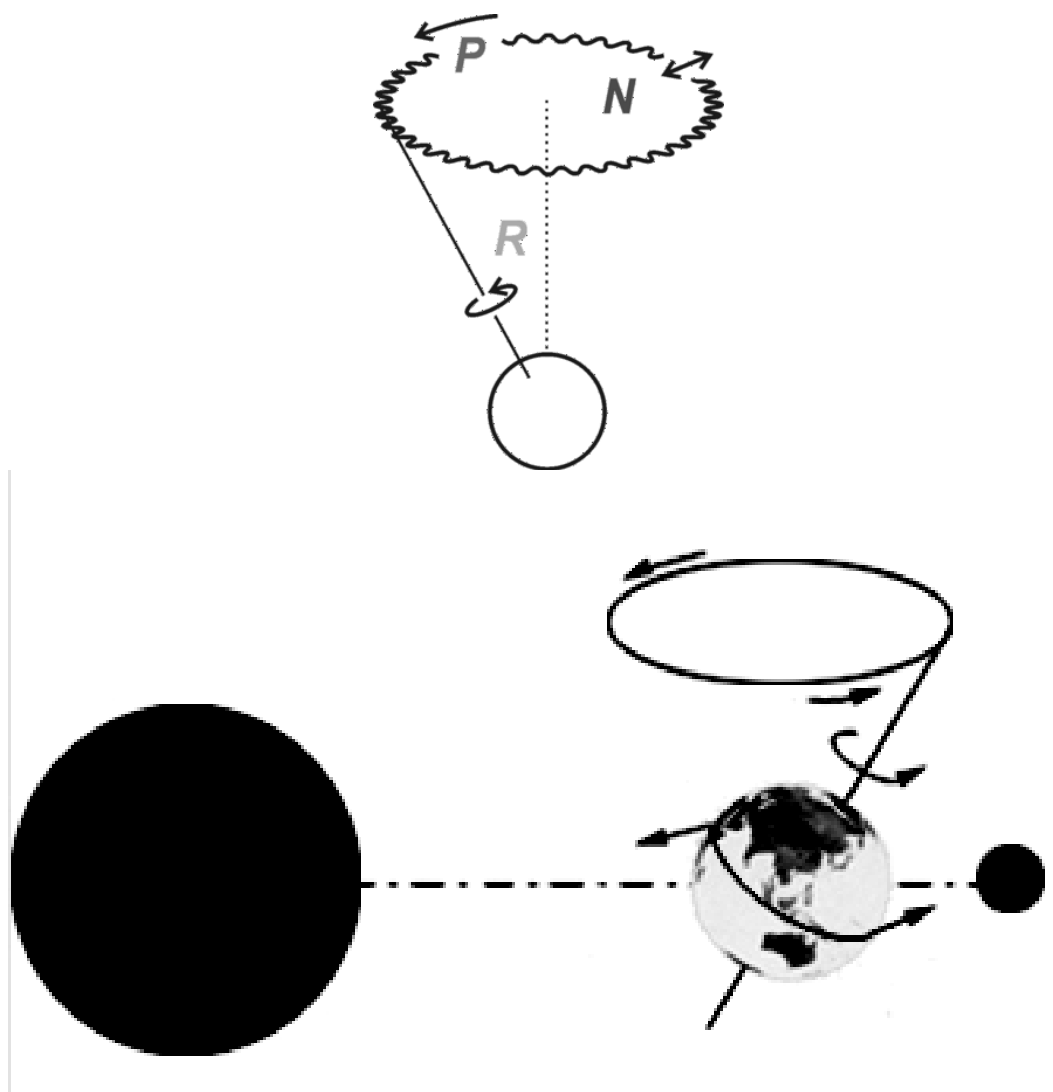


Рис.2.5 - Обертання (R), прецесія (P) і нутація (N) тіла, що обертається.

Орієнтація осі Землі з часом теж змінюється, тривалість періоду прецесії становить 25 000 років; ця прецесія є причиною відмінності зоряного року і тропічного року. Прецесія - явище, при якому вісь об'єкта, що обертається, повертається, наприклад, під дією зовнішніх моментів.

Ці рухи спричинені змінним притяганням, що діє з боку Сонця та

Місяця на екваторіальну площину Землі. Полюси Землі переміщуються відносно її поверхні на декілька метрів. Такий рух полюсів має всілякі, циклічні складові. В доповнення до річних компонентів цього руху, існує 14-місячний цикл руху полюсів Землі.

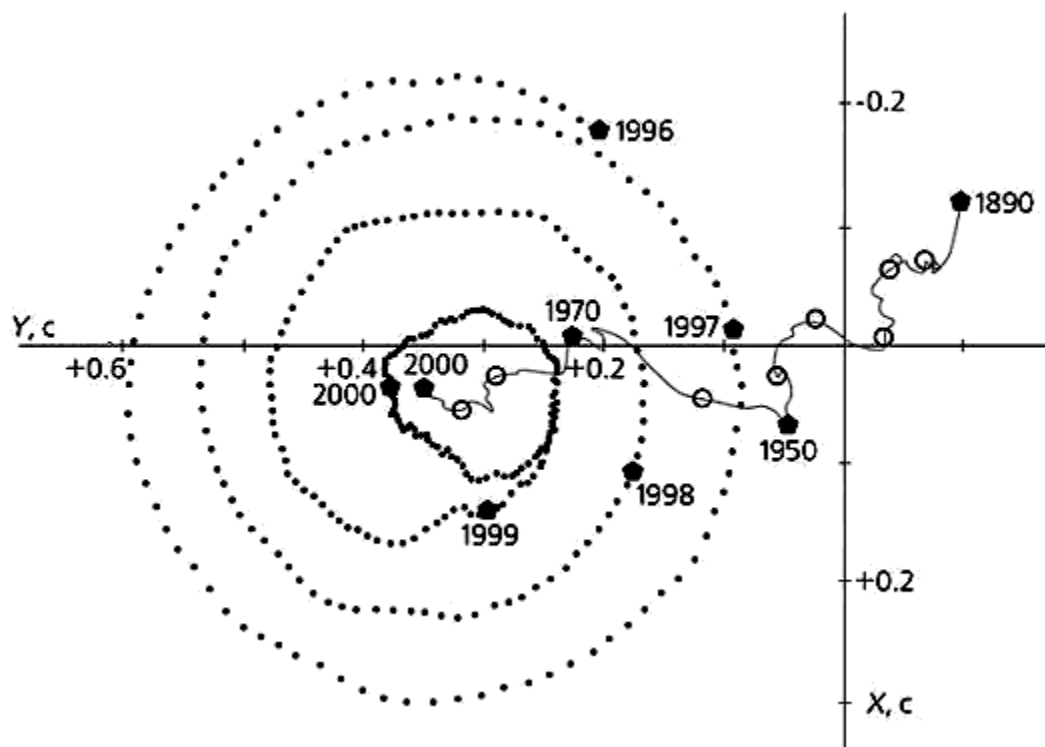


Рис.2.6 - Траєкторія руху Північного географічного полюса у 1996-2010 рр.

Суцільна ламана крива - траєкторія середнього полюса з 1890 по 2010 р.  
(за даними Міжнародної служби обертання Землі, 2010).

Максимальне віддалення миттєвого полюса від середнього спостерігалось в 1996 р. Потім полюс став закручуватись і в 2000 році підійшов на мінімальну відстань до центра спіралі. З 2000 по 2003р. полюс розкручувався, а зараз знову закручується, поступово переміщуючись по спіралі до свого середнього положення.

Найбільше віддалення миттєвого полюса від середнього не перевищує 15 м.

Швидкість обертання Землі також не постійна, що відображається в зміні тривалості доби.

В наш час перигелій Землі припадає приблизно на 3 січня, а афелій - приблизно на 5 липня. В результаті зміни відстані між Землею і Сонцем, в

перигелії кількість сонячної енергії, що досягає Землі, на 6,9 % більша, ніж в афелії. Оскільки південна півкуля нахилена у бік Сонця приблизно в той же час, коли Земля знаходиться найближче до Сонця, то протягом року вона отримує трохи більше сонячної енергії, чим північна. Проте, цей ефект менш значущий, ніж зміна сонячної енергії, зумовлена нахилом земної осі, і більша частина надлишкової енергії поглинається великою кількістю води океанів південної півкулі.

Вважається, що *сила Коріоліса* (відхиляюча сила обертання Землі), вносить вирішальний вклад до динаміки атмосфери, визначаючи напрям і силу переважних вітрів, напрям обертання циклонів, а в гідросфері - напрям океанічних течій.

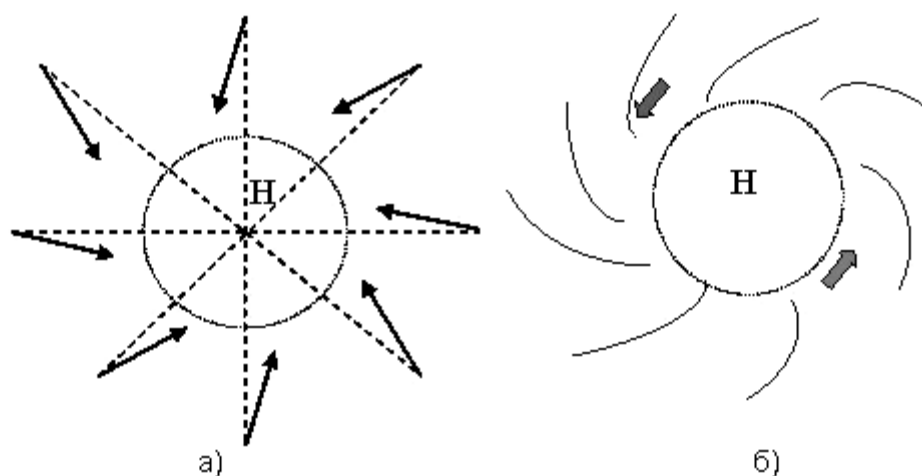


Рис.2.7 - Схема руху повітря в зоні циклону  
 а - відхилення потоку силою Коріоліса,  
 б - рух повітряних мас, відносно зони низького тиску

В наслідок обертання Землі, інерційна сила Коріоліса викликає відхилення горизонтальних повітряних і водних потоків від їх первинного напрямку руху, наприклад, вправо, до центру висхідного потоку в зоні низького тиску в північній півкулі. В результаті ця сила формує загальний рух повітряних мас (рис. 2.7).

### Наслідки руху Землі навколо своєї осі:

1. При обертанні Землі виникає відцентрова сила, яка відіграє важливу роль у формуванні форми планети і тим самим зменшує силу тяжіння.
2. Відбувається зміна дня і ночі.

3. Виникає відхилення тіл від напрямку їх руху, цей процес був названий *силою Коріоліса* (на честь французького вченого, який відкрив це явище в 1835 році). Всі тіла за інерцією прагнуть зберегти напрям свого руху.

Якщо рух відбувається відносно поверхні, що переміщається, то відбувається відхилення цього тіла трохи вбік.

Всі тіла, що рухаються в північній півкулі, відхиляються вправо, а в південній півкулі – вліво від первісного напрямку. Ця сила виявляється в багатьох процесах: вона змінює рух повітряних мас, морських течій. З цієї причини відбувається підмив правих берегів річок в північній півкулі і лівих берегів - в південній півкулі.

Значення астрономічного положення Землі для її природи:

1. Внаслідок осьового і орбітального обертання Землі всі природні процеси мають свої ритми.

2. Температурний режим Землі сприятливий.

3. Супутник Землі - Місяць впливає на припливи і відпливи на Землі.

З обертанням Землі пов'язана єдина одиниця виміру часу - *доба*, а також *зміна дня і ночі*.

З цим процесом пов'язано поняття про час.

Час буває *місцевим, поясним, декретним, літнім і зимовим*. *Місцевим* часом прийнято називати час на одному меридіані. Відмінності між меридіанами, що стоять поряд становлять 4 хвилини, отже, через один градус час змінюється на 4 хвилини.

Наявність в різних пунктах, що лежать на різних меридіанах, свого часу призводило до різних незручностей, тому на Міжнародному астрономічному конгресі в 1884 році було прийнято *поясний відлік* часу. Для цього всю поверхню Землі поділили на *24 часових пояси* по 15 градусів кожен.

За *поясний час* прийнято брати середній час меридіана кожного поясу. Відлік проводиться від Нульового (Гринвіцького) меридіана, що проходить через обсерваторію міста Гринвіч, розташованого недалеко від Лондона. Час початкового меридіана прийнятий як *Всесвітній час*. Відлік часу ведеться із заходу на схід. Межа часових поясів на суші для зручності проведена не строго по меридіанах, а по природних рубежах (горах, річках, адміністративних кордонах).

180-й меридіан прийнято за *міжнародну лінію зміни дат*. Це умовна лінія на поверхні земної кулі, по обидві сторони від якої години і хвилини збігаються, а календарні дати відрізняються на одну добу. Наприклад, Новий рік на захід від цієї лінії починається 1 січня, а на схід - 31 грудня. При перетині лінії дат із заходу на схід в рахунку календарних днів повертаються на одну добу назад, а зі сходу на захід - одна доба пропускається.

### **Рух Землі навколо Сонця.**

Шлях Землі навколо Сонця називається *орбітою*. Орбіта Землі - це еліпс, близький до кола. Її довжина становить більше ніж 940 млн. км. Повний оберт Земля здійснює *за 365 діб 6 годин і 9 хвилин*. Цей проміжок називають *зоряним роком*. Вісь обертання Землі нахилена до орбіти під кутом  $66^{\circ}33'$  градусів, це явище сприяє зміні пір року.

*Нахил земної осі* до площини орбіти і збереження її орієнтування в просторі зумовлює різний кут падіння сонячних променів і відповідно відмінності у надходженні тепла на земну поверхню, а також впливає на неоднакову тривалість дня і ночі протягом року на всіх широтах, окрім екватора.

Із зміною пір року пов'язана сезонна ритмічність в природі. Вона виявляється в зміні температури, вологості повітря і багатьох інших метеорологічних показників, в режимі водоймищ, в житті рослин і тварин.

В результаті річного руху Землі і нахилу осі її обертання до площини орбіти на нашій планеті утворилися 5 основних поясів: жаркий, два помірних і два холодних. Сонце та Місяць зумовлюють не лише припливи у водній оболонці Землі, але і на суші, під їх впливом навіть тверда оболонка Землі подовжується - до 30 см, Земля у свою чергу витягує Місяць на 40 см.

Взаємне розташування Сонця і Місяця змінює величину припливів. Якщо припливні дії Сонця та Місяця складаються (під час повного місяця і молодика), то приливи на Землі великі, якщо вони діють під прямим кутом, коли Місяць знаходиться в першій або третій чверті, то приливи істотно менші.

***В результаті припливних сил виникає сила тертя, що уповільнює обертання Землі навколо осі, тобто збільшує нашу добу.***

Безпосередньо з орбітальним обертанням Землі пов'язано таке явище як календар. ***Календар*** - це система виміру великих проміжків часу, основана на періодичних явищах навколишнього світу, на періодичності таких явищ природи як зміна дня і ночі, зміна фаз Місяця, зміна пір року. Перше з цих явищ визначає одиницю міри часу - добу, друге - синодичний місяць, середня тривалість якого дорівнює 29,5 діб, третє - тропічний рік, що дорівнює в середньому 365,2 доби. Синодичний місяць і тропічний рік не містять цілого числа середньої сонячної доби. Таким чином, всі ці три міри часу не порівнянні, і неможливо просто виразити одну з них через іншу.

Прагнення хоч би до деякої міри погоджувати між собою добу, місяць і рік привело до того, що в різні епохи, різними народами було створено багато різних календарів, які можна поділити на три головних типи: місячні, сонячні, місячно-сонячні.

Якщо зміна дня і ночі визначається осьовим обертанням Землі, а

тривалість дня і ночі - нахилом осі до площини орбіти, то безперервні зміни тривалості дня і ночі на всіх широтах, окрім екватора, результат майже незмінного положення земної осі під час руху Землі навколо Сонця.

Земля рухається навколо Сонця по еліптичній орбіті, причому відстань до Сонця змінюється від 152 млн. км. в афелії (5 липня) до 147 млн. км в перигелії (3 січня). При середній швидкості 29,8 км/с Земля проходить всю орбіту - 940 млн. км. за 365 днів 6 годин 9 хв 9 с. Цей відрізок часу називається **зоряним роком** (сидеричним).

Взимку Земля знаходиться ближче до Сонця, чим влітку. Проте інтенсивність сонячної радіації на Землі залежить не стільки від зміни відстані до Сонця, скільки від кута падіння його променів. Найбільше нагрівання поверхні Землі відчувається там, де кут падіння променів відносно Землі має  $90^\circ$ , тобто чим менший кут, тим менше тепла отримує ця земна поверхня.

Зміна пір року на земній кулі пов'язана з рухом Землі навколо Сонця, але визначальним в цьому русі є нахил земної осі. Вісь Землі нахилена до площини земної орбіти під кутом  $66^\circ 33'$ , а площина земного екватора - під кутом  $23^\circ 27'$ . У зв'язку з рухом навколо Сонця положення Землі відносно сонячного променя протягом року змінюється.

Якби вісь Землі була перпендикулярна до площини орбіти, то Сонце завжди прямовисним променем освітлювало б лише екватор, а далі на північ і південь від нього сонячний промінь падав би на поверхню Землі під меншим кутом. На екваторі протягом року було б однаково жарко, а на полюсах однаково холодно і зміни пір року не відбувалося б.

Насправді, в результаті нахилу земної осі до площини орбіти земна куля повертається до Сонця то північною, то південною півкулею, тому кожна півкуля нагрівається більше або менше.

Нахил земної осі впливає також на тривалість дня і ночі в різних широтах земної кулі (окрім екватора) протягом року.

Під час орбітального руху Землі виділяються чотири характерні позиції, які зустрічаються в літературі і на практиці під назвою: дні літнього і зимового сонцестояння; дні весняного і осіннього рівнодення. Розглянемо ці позиції.

22 червня - **день літнього сонцестояння**.

У північній півкулі початок астрономічного літа. В день літнього сонцестояння Земля нахилена північним полюсом до Сонця і сонячні промені падають перпендикулярно, тобто Сонце знаходиться в зеніті на широті  $23^\circ 27'$  - на північному тропіку.

**Тропіки** - це паралелі  $23^\circ 27'$  в північній і південній півкулі, які обмежують область земної кулі, де Сонце буває в зеніті. На небі всіх широт

північної півкулі цього дня Сонце займає найвище положення протягом року. Широти на північ від  $66^{\circ}33'$  півн.ш. (від північного полярного кола) в цей час знаходяться повністю на освітленій території Землі, де Сонце за горизонт взагалі не заходить - там полярний день. На всіх широтах між екватором і північним полярним колом - день довший за ніч.

У південній півкулі в день літнього сонцестояння Сонце дуже низько над горизонтом. На південь від  $66^{\circ}33'$  півд.ш. (південне полярне коло) - полярна ніч, яка відповідає по тривалості полярному дню тих же широт північної півкулі. На всіх широтах південної півкулі між екватором і південним полярним колом день коротший за ніч. 22 червня - в південній півкулі починається астрономічна зима.

**Полярні кола** - це паралель в  $66^{\circ}33'$ , яка обмежує на земній кулі області, де бувають полярні дні і полярні ночі.

23 вересня Земля, безперервно рухаючись по орбіті, займає положення, при якому світлороздільна лінія проходить через географічні полюси (вона збігається з віссю Землі) і день рівний ночі на всіх широтах Землі. Цей день називається день **осіннього рівнодення**, обидві півкулі (північна і південна) освітлені однаково (сонце в зеніті знаходиться над екватором).

23 вересня - початок астрономічної осені в північній півкулі і початок астрономічної весни - в південній.

22 грудня - день зимового сонцестояння. Земля знаходиться недалеко від перигелію. До Сонця повернена південна півкуля, там починається астрономічне літо, а в північній півкулі настає астрономічна зима. Сонце в зеніті на Південному тропіку ( $23^{\circ}27'$  півд.ш.). У північній півкулі спостерігається найкоротший день і найдовша ніч, в південній - навпаки. Область навколо Південного полюса, обмежена Південним полярним колом, освітлена Сонцем, яке не заходить за горизонт (там полярний день); над відповідною областю в північній півкулі - за Північним полярним колом - Сонце не сходить (там полярна ніч). Цього дня, 22 червня, день дорівнює ночі лише на екваторі.

В день **весняного рівнодення** - 21 березня Сонце освітлює Землю так, як і 23 вересня; воно знаходиться в зеніті над екватором і на всіх широтах земної кулі день дорівнює ночі. У Північній півкулі настає астрономічна весна, а в Південній - осінь.

Отже, якби вісь Землі не була нахилена, кут падіння сонячного променя на земну поверхню залишався б завжди однаковим і нагрівання її зменшувалося б рівномірно від екватора на північ і південь, і зміни пір року не відбувалися. Правда, в широкій смузі між тропіками день майже завжди однаковий, як і кількість теплоти на одиницю площі земної поверхні, тому значних відмінностей в порах року тут немає.



За полярним колом на великих просторах фактично існує дві пори року - полярний день і полярна ніч. У помірних широтах пори року виражені чітко, але їх тривалість тут не однакова.

Земля рухається по орбіті з різною швидкістю: у той період, коли вона буває ближче до Сонця (у перигелії), швидкість її руху найбільша (30,3 км/с). Найменша швидкість (29,3 км/с) під час проходження Землею віддаленої точки - афелію.

Можна зробити висновок, що зі всіх пір року в Північній півкулі найтриваліше літо і найкоротша зима, а в південній - навпаки. Весна в північній півкулі триває 92,8 доби, літо - 93,6 доби, осінь - 89,8 доби, зима - 89,0 доби.

### ***Запитання для самоконтролю***

1. Які астрономічні явища доводять обертання Землі навколо Сонця?
2. З яких спостережень можна встановити, що орбіта Землі не є колом?
3. Коли Земля буває найближче до Сонця і коли найдалше? Яка причина зміни відстані Землі до Сонця?
4. По якому напрямку видно Землю від Сонця, коли вона знаходиться в перигелії, афелії?
5. Якби орбіта Землі була колом, то, як відрізнялися б пори року від тих, які існують насправді? Як змінилися б пори року, якщо ексцентриситет земної орбіти збільшився б до 0,5?
6. Як із спостережень можна показати, що Земля рухається під дією сили тяжіння Сонця?
7. Чи є кругосвітні подорожі доказом кулястості Землі?
8. Інколи, як доказ кулястості Землі, наводиться такий факт: при наближенні корабля до берега спочатку з'являються верхівки щогли, самі щогли, а потім весь корабель. Чи доводить таке явище кулястість Землі?
9. Чи обов'язково дископодібне зображення Землі на фотознімку з космосу доводить її кулястість?
10. Чому на Землі виникають два припливні виступи?
11. Як із спостережень зоряного неба довести, що Земля обертається навколо власної осі і це обертання відбувається із заходу на схід?
12. Який період обертання Землі?
13. Чи рівномірно обертається Земля?
14. Куди і з якою швидкістю рухається точка земної поверхні на широті ( $\varphi$ ) при обертанні Землі?
15. Чи можна бачити з поверхні Землі світило, що знаходиться в цей час під горизонтом?

## 3 ГЕОСФЕРИ ЗЕМЛІ

### 3.1 Походження атмосфери, гідросфери

За сучасними уявленнями, атмосфера і гідросфера виникли в результаті дегазації магми, що виплавляється при вулканічних процесах з верхньої мантії і утворює земну кору.

Первинна гелієво-воднева атмосфера була загублена Землею при розігріванні. З речовини, що утворила планету, при її формуванні виділялися різні гази. Особливо інтенсивно це відбувалося в процесі тектонічної діяльності, при утворенні тріщин і розломів.

Атмосфера і гідросфера складаються з легких летких речовин (сполук водню, вуглецю і азоту), яких на Землі в цілому дуже мало - приблизно в мільйон разів менше, ніж в космосі. Причина такого дефіциту полягає в тому, що ці леткі речовини були "вимиті" ще з протопланетної хмари сонячним вітром (тобто потоками сонячної плазми) і тиском світла.

У момент утворення Землі з протопланетної хмари всі елементи її майбутньої атмосфери і гідросфери знаходилися в зв'язаному вигляді, у складі твердих речовин: вода - в гідрооксидах, азот - в нітридах (і, можливо, в нітратах), кисень - в оксидах металів, вуглець - в графіті, карбідах і карбонатах.

Ймовірно, атмосфера і гідросфера „роздяглися” не відразу. Деякий час Землю обволікав потужний прошарок з водяної пари і газів (*CO*, *CO<sub>2</sub>*, *HF*, *H<sub>2</sub>*, *S*, *NH<sub>3</sub>*, *CH<sub>4</sub>*), мало проникних для сонячних променів. Ця оболонка мала температуру  $\sim +100^\circ \text{C}$ . При зниженні температури стався поділ цієї оболонки на атмосферу і гідросферу. Вільного кисню в цій атмосфері не було. Він повинен був виділятися із земної речовини та утворюватися за рахунок розмноження молекул водяної пари, але витрачався на процеси окислення. Через відсутність озону атмосфера не оберігала Землю від короткохвильового випромінювання Сонця. Значна кількість сполук водню на Землі - це наслідки його переваги в первинній атмосфері.

Вулканічні процеси збагатили атмосферу вуглекислим газом. Знадобилося багато часу, перш ніж в результаті реакції з іншими елементами і фотосинтезу відбулося поглинання великої кількості вуглецю з атмосфери. В кінці протерозою склад атмосфери в цілому вже мало відрізнявся від сучасного: вона стала азотно-кисневою.

Оскільки первинна атмосфера була надто тонкою, температура на поверхні Землі дорівнювала температурі променевої рівноваги в результаті вирівнювання потоку сонячного тепла, що поглинається поверхнею, з потоком тепла, яке випромінюється нею; для планети з параметрами Землі

температура променевої рівноваги приблизно становить 15°C.

В результаті майже всі водяні пари вулканічних газів повинні були конденсуватися, формуючи гідросферу. В цей первинний океан переходили, розчиняючись в воді, й інші складові частини вулканічних газів - більша частина вуглекислого газу, "кислі дими", окисли сірки та частина аміаку.

В результаті *первинна атмосфера* (що складалася з водяної пари,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ ,  $NH_3$ ,  $H_2S$  та інертні газів, була *відновною*) залишалася тонкою і температура на поверхні планети помітно не відхилялася від точки променистої рівноваги, залишаючись в межах існування рідкої води. Це і є однією з основних відмінностей Землі від інших планет Сонячної системи - постійна наявність на ній гідросфери.

Земля - водна планета Сонячної системи: більше 70% її поверхні покрито водами Світового океану. Ймовірно, що гідросфера утворилася одночасно з літосферою і атмосферою в результаті охолодження і дегазації речовини мантії. Хімічно зв'язана вода була вже в речовині холодної газово-пилової протопланетної хмари. Під впливом глибинного тепла Землі вона виділялась і переміщувалась до поверхні Землі. Первинний океан, можливо, покривав майже всю Землю, але був не глибоким. Океанічна вода, ймовірно, була тепла, високо мінералізована. Океан заглиблювався, а площа його скорочувалася. З поверхні Океану випаровувалася волога, випадали рясні дощі.

Як же змінювався об'єм гідросфери впродовж її історії? У розплавленому базальті (у астеносфері) при температурі 1000°C і тиску 5-10 тис. атмосфер розчинено до 7-8%  $H_2O$ : саме стільки води, як встановлено вулканологами, дегазується при виливі лави.

Велика частина цієї води поповнювала собою гідросферу, але частина її поглиналася знову породами океанічної кори. Розрахунки геофізиків показують, що води в океанських западинах було мало - вона навіть не прикривала серединно - океанічні хребти; у океанічну кору вода надходила не з океанів, а - безпосередньо з мантії.

На початку протерозою рівень океанів досяг вершин серединно-океанічних хребтів, але впродовж всього раннього протерозою практично весь об'єм води, що надходив в океани, поглинався породами океанічної кори. На початку середнього протерозою склад океанічної кори набув сучасного вигляду. З того часу об'єм океанів знову почав зростати, і цей процес поступово продовжуватиметься до тих пір, доки на Землі не припиняться вулканічні процеси.

Якщо запитати людину: "чому море солоне?", вона напевно відповість: "Тому ж, чому солоні безстічні озера (на зразок озера Ельтон, що забезпечує харчовою кухонною сіллю): річки, що впадають в моря, несуть деяку

кількість солей, потім вода випаровується, а сіль залишається". Відповідь ця невірна: солоність океану має абсолютно іншу природу, чим солоність континентальних кінцевих водоймищ стоку.

Річ у тому, що вода первинного океану мала різні домішки. Одним джерелом цих домішок були водорозчинні атмосферні гази, іншим - гірські породи, з яких в результаті ерозії (як на суші, так і на морському дні) вимиваються різні речовини. "Кислі дими", розчиняючись у воді, утворювали галогенові кислоти, які тут же вступали в реакцію з силікатами - основним компонентом гірських порід, і витягували з них еквівалентну кількість металів (перш за все - лужних і лужноземельних - *Na, Mg, Ca, Sr, K, Li*).

При цьому, по-перше, вода з кислотої ставала практично нейтральною, а по-друге, солі елементів, витягнуті з силікатів, переходили в розчин; таким чином, вода океану із самого початку була солоною. Концентрація катіонів в морській воді співпадає з поширеністю цих металів у породах земної кори, а ось вміст основних аніонів (*Cl, Br, SO<sub>4</sub>, HCO<sub>3</sub>*) у морській воді набагато вищий від тієї кількості, яка може бути витягнута з гірських порід. Тому геохіміки вважають, що всі аніони морської води виникли з продуктів дегазації мантії, а всі катіони - із зруйнованих гірських порід.

Головний чинник, що визначає кислотність морської води - вміст в ній вуглекислоти (*CO<sub>2</sub>* - водорозчинний газ і в океанах його є 140 трлн. т - проти 2,6 трлн. т, що містяться в атмосфері).

Прісна вода на суші - результат проходження океанічної води крізь атмосферу. Виділення води з магми триває й зараз. При виверженні вулканів виділяється в середньому за рік 1,3108т води. Термальні джерела виносять 108 т. Якщо припустити, що надходження води з мантії в літосферу та на її поверхню було рівномірним і складало в рік на 1 см<sup>2</sup> поверхні планети всього 0,00011г, то і цього вистачить, аби за час існування Землі утворилася гідросфера.

Передбачають також появу води з космосу в результаті падіння на Землю крижаних ядер комет, але їх кількість в цьому випадку невелика.

Гідросфера також втрачає воду при випаровуванні її в космос, де під дією ультрафіолетових променів *H<sub>2</sub>O* розпадається на *H<sub>2</sub>* і *O<sub>2</sub>*.

Що стосується атмосфери, то її склад став змінюватися в протерозої, коли фотосинтезуючі організми почали виробляти (як побічний продукт своєї життєдіяльності) вільний кисень; зараз доведено той факт, що весь вільний кисень планети має **біогенне походження**.

Кисень, на відміну від вугільної кислоти, погано розчиняється в воді (співвідношення між атмосферним та розчиненим в воді *CO<sub>2</sub>* становить 1:60, а для *O<sub>2</sub>* воно складає 130:1), і тому майже весь приріст кисню йде в атмосферу. Там він окислює *CO* і *CH<sub>4</sub>* до *CO<sub>2</sub>*, *H<sub>2</sub>S* - до *S* і *SO<sub>2</sub>*, а *NH<sub>3</sub>* - до *N<sub>2</sub>*;

самородна сірка, природно, випадає на поверхню, вуглекислота і сірчистий ангідрид розчиняються в океані, тому в результаті в атмосфері залишаються лише хімічно інертний азот (78%) і кисень (21%).

Атмосфера з відновної стає сучасною, **окислювальною**.

Окрім кисню і азоту, в атмосфері міститься невелика кількість так званих *парникових газів* - вуглекислий газ, водяна пара та метан. Складаючи мізерну частку атмосфери (менше відсотка), вони проте впливають на глобальний клімат. Це пов'язано з особливими властивостями цих газів: будучи порівняно прозорими для короткохвильового випромінювання, що надходить від Сонця, вони в той же час непрозорі для довгохвильового випромінювання Землею в космос. З цієї причини варіації у кількості атмосферного  $CO_2$  можуть спричинити істотні зміни теплового балансу планети. Із зростанням концентрації цього газу атмосфера за своїми властивостями все більш наближається до скляного даху парника, який забезпечує нагрів оранжерейного повітря шляхом "утримування" променистої енергії, - "*парниковий ефект*".

Поверхня Землі є одним з внутрішніх її кордонів як планети. Вона розділяє тіло Землі з розташованими на ній досить тонким шаром води океанів, морів, озер, льодовиків і ще тоншим шаром води річок від зовнішньої газової оболонки, званою атмосферою.

Відповідно до цієї моделі ядро Землі та її сферичні оболонки, названі геосферами, виникли незалежно одна від одної за дискретною схемою конденсації гарячої газової туманності. Вони існували як початкові, задані при народженні форми, вік яких неоднаковий: найбільш давнім є ядро, а наймолодшою - атмосфера.

### **3.2 Атмосфера, її склад та будова.**

За результатами досліджень Міжнародного геофізичного року (1957-1958рр.) верхню межу атмосфери прийнято проводити по висоті 700 - 800 км. Ця межа умовна і в даному випадку пов'язана з початком так званої екзосфери - області розсіювання (*дисипації*), яка від інших прошарків атмосфери, що лежать нижче, відрізняється відносною безструктурністю.

Маса атмосфери оцінюється в  $5,26 \cdot 10^{18}$  кг і поділяється за висотою відповідно до експотенціального закону. Перехід до безповітряного простору космосу поступовий і тому з врахуванням екзосфери верхню межу атмосфери проводять вже по висоті 2000 - 3000 км.

Атмосфера неоднорідна. За речовинним складом, температурою та характером повітряних течій в ній виділяється декілька прошарків, межа між якими носить назву пауз: *тропопауза*, *стратоплауза*, *мезоплауза*, *термопауза*. За своєю суттю вони градієнтні, тобто фіксуються за різкою зміною

температур і вітрових швидкостей, а також за складом і станом газу (рис. 3.1).

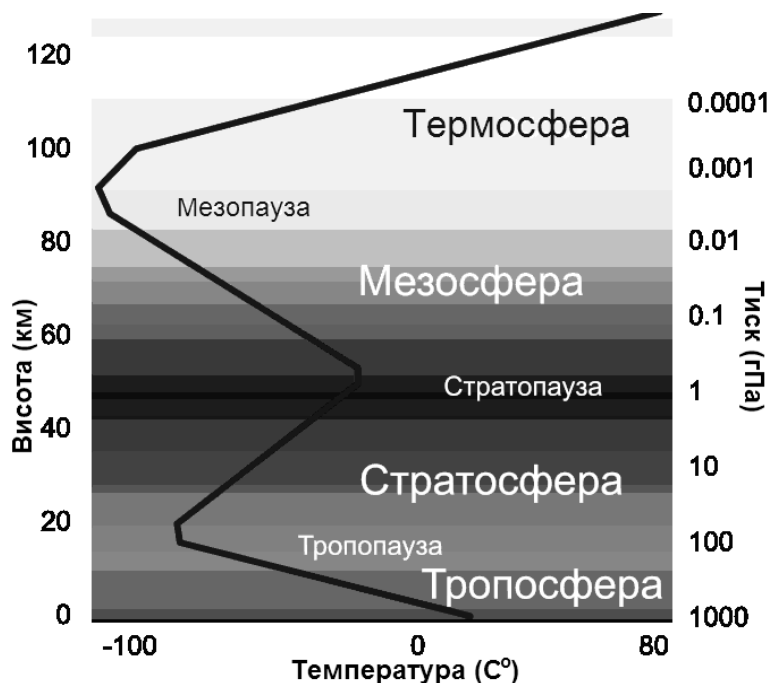


Рис. 3.1 - Схематичний розріз атмосфери.

Паузи виконують заборонні і вирішальні функції. Вони мають свою власну внутрішню структуру, яка гарантує автономію та саме існування тропосфери, стратосфери, мезосфери і термосфери. Іншими словами, завдяки паузам, атмосфера гетерогенна. Проте періодично в паузах можливе виникнення розривів, через які між структурними прошарками атмосфери відбувається обмін речовиною і енергією, тобто реалізуються вирішальні функції меж.

**Тропосфера.** Близько 90 % маси атмосфери зосереджено в тропосфері. Разом з газами тропосфера містить пил різного походження, у тому числі і техногенний, іони та солі, а в останні десятиліття в ній спостерігається і велика кількість промислових газів, особливо над індустріальними районами, а також бактерії і радіоактивні речовини. Тут же міститься і основна кількість атмосферної вологи. Висота її верхньої межі змінюється в залежності від географічної широти: в екваторіальних широтах вона сягає 17-18 км, а в полярних знижується до 8-10 км. Характерним для тропосфери є нерівномірність розподілу температури повітря, яка з висотою *знижується* в середньому на 6°C на кожен кілометр і біля верхньої межі становить - 85°C.

Головними рисами циркуляції в тропосфері є переважання західних

вітрів, а також вертикальне перенесення і турбулентний характер руху.

**Стратосфера.** У стратосфері на висоті від 8-18 до 50-55 км. температура повітря з висотою підвищується до  $-10^{\circ}$  -  $+10^{\circ}\text{C}$ . До появи супутникової метеорології про стратосферу знали дуже мало і вважалося, що вертикальний рух повітря і звичайні види хмар в ній відсутні. В наш час в стратосфері встановлена активна вертикальна циркуляція, яка зумовлює перемішування повітря на висоті приблизно 30 км, що забезпечує приблизно постійний склад суміші газів. Вище починається розшарування. Слід зазначити, що окремі вертикальні струмені зафіксовані ракетним зондуванням на висоті 140 км, що є однією з підстав для ствердження про періодичну появу розривів в страто- і мезопаузах. Переважний напрям вітрів в стратосфері - *східний*, на відміну від *західного* в тропосфері.

Важливою особливістю стратосфери є наявність в ній так званого *озонового шару*, а також локалізованої зони підвищеної вологості на висоті близько 30 км, з якою пов'язано існування сріблястих хмар.

На початку 80-х років минулого століття в Антарктиді на англійській станції Хеллі-бей було виявлено різке зниження вмісту озону в приполюсній області. Пізніше цей феномен отримав назву "озонової діри", поява якої викликала сильне занепокоєння не лише фахівців, але і широкої громадськості. Річ у тому, що шар озону, хоча і незначний за своєю концентрацією, виконує для Землі виключно важливі функції. Він поглинає небезпечно для життя ультрафіолетове випромінювання Сонця і бере участь певним чином у формуванні теплового режиму атмосфери, а отже, і всієї планети. Причини цього явища поки повністю не з'ясовані. Обговорюються в основному дві гіпотези:

- за першою гіпотезою поява озонної діри пов'язується із зміною інтенсивності принесення озону в південну полярну область;
- за другою - головна роль відводиться хімічним процесам, що виникають у зв'язку із забрудненням атмосфери і, зокрема, з появою в ній великої кількості фреону.

Не виключено і простіше пояснення: "озонова діра" є таким же періодичним розривом граничних прошарків, які виявляються в тропопаузі і у вигляді потужних вертикальних струй фіксуються в страто- і мезопаузах та виявляються на межі океан - атмосфера у вигляді тропічних ураганів і т. п.

**Мезосфера** сягає висоти близько 80 км. Її газовий склад, в якому переважають азот і кисень, постійний, температура від нижньої межі до верхньої істотно знижується, досягаючи  $-90^{\circ}\text{C}$ , на верхній межі характерне утворення так званих сріблястих хмар, які є скупченнями найдрібніших крижаних кристалів.

**Термосфера**, верхня межа її проходить приблизно на висоті 800км,

характеризується черговим підвищенням температури до  $1000^{\circ}$  -  $2000^{\circ}\text{C}$ , що зумовило назву цієї оболонки. Найбільш розріджений прошарок, для якого характерною рисою є відносно підвищена іонізація її газів, а також істотне підвищення температури. Загальна підвищена іонізація термосфери сприяє виникненню тут **полярних сьйв**. Порівняно з областями, що лежать нижче, в термосферній циркуляції значну роль відіграють вітри меридіонального напрямку.

**Екзосфера** розташована вище за 800 км і мало вивчена, тут переважають іони легких газів та елементарні частинки, що рухаються з великою швидкістю, але майже не зустрічаються одна з одною.

Середній вміст водяної пари в атмосфері становить 2,6 % (за об'ємом), для середніх широт він різний 1,3 % влітку і 0,4 % взимку. Крім того, нормальна (чиста) атмосфера містить деякі леткі домішки: пил, сірчистий ангідрид, оксиди вуглецю та азоту, а також ряд інших сполук.

### 3.3 Гідросфера та її склад.

Вона об'єднує всі відомі нам форми природних вод:

- розчинені в магматичних розплавах;
- що містяться в хімічній сполуці з мінералами;
- сорбовані поверхнею мінеральних зерен;
- капілярні;
- осмотичні;
- вакуольні;
- біологічно зв'язані;
- рідкі;
- тверді;
- пароподібні.

Ці форми постійно переходять одна в іншу і взаємодіють з середовищами, в яких вони поширені. Наприклад, рідка вода перетворюється на пару і лід, пара конденсується, лід тане.

При виникненні багатьох мінералів вода входить в їх кристалічні грати (скажімо, гіпс -  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  і ін.), при підвищенні температури ці мінерали воду втрачають. Молекули води утримуються і поверхнею мінеральних зерен, хоча цей зв'язок зберігається лише при невисоких температурах (до  $(100 - 300)^{\circ}\text{C}$ ).

Вода знижує температуру плавлення порід і складає частину магми.

Вода бере участь у всіх природних процесах, що відбуваються на Землі. Саме ці процеси об'єднують всі відомі форми природних вод, формують їх єдність і визначають ту *цілісність гідросфери, яка робить її геологічною системою*.



За формами існування води та особливостями середовища гідросфера може бути поділена на групи різних порядків.

До груп першого порядку належить: *вода в атмосфері, води на поверхні Землі і підземні води*. Кожна з цих груп поділяється на підгрупи вищих порядків. Наприклад:

- у атмосфері можна виділити води різних ярусів хмарності;
- на поверхні Землі - води океанів, морів і суші;
- у надрах Землі - води літосфери і мантії;
- в межах літосфери - води кристалічного фундаменту і осадового чохла, в яких у свою чергу виділяють води артезіанських басейнів і гідрогеологічних масивів і т.д.

У природі існують різні форми кругообігу води.

У атмосфері - водообмін: океан - атмосфера, суша - атмосфера, океан – суша.

- На поверхні Землі - через річковий стік.
- У її надрах - через підземний стік, вулканічні і метаморфічні процеси, осадо накопичення у водних басейнах та інше.

Всі форми кругообігу води є майже циклічними процесами. Їх повторюваність і балансова стійкість формують внутрішню структуру гідросфери, створюючи певну автономію різних її частин відповідно до типу та масштабу самого кругообігу.

В той же час взаємодія різних форм кругообігу створює на окремих ділянках внутрішньої межі гідросфери зони збудження, в яких водообмін різко зростає.

Наприклад, на поверхні океану такими зонами є:

- штормові поля, тропічні урагани;
- у атмосфері - струмені вертикальної циркуляції;
- на суші - гирла річок в паводок;
- у земній корі - області активної денудації і ерозійного розкриття водоносних горизонтів, області аномальної тектонічної напруги і магматичної активності.

Гідросфера має дві фундаментальні властивості (притаманні лише їй):

- *Консервативність стосунків вода<=>середовище, що забезпечує її неоднорідність.*
- *Здатність забезпечити найбільш високий ККД теплової машини Землі, тобто найбільш вигідну форму теплопередачі з надр Землі до її периферії.*

Відкриття цих властивостей корінним чином змінює уявлення про гідросферу як переривисту водну оболонку Землі, розташовану між атмосферою і літосферою, як просту сукупність океанів, морів

континентальних водоймищ і крижаних покривів, яким все ще користується географія.

Все це дозволяє розглядати гідросферу як геологічну систему, в якій всі відомі нам форми природних вод (фізичні, хімічні, біологічні) формують ізольовані підсистеми, що існують завдяки колективній структуризації вода-середовище і завдяки здатності забезпечити найбільш ефективно перенесення тепла з глибин Землі до її зовнішніх меж.

Походження гідросфери багато в чому ще дискусійне. До недавнього часу більшість фахівців поділяли погляди акад. В.П.Виноградова, відповідно до яких гідросфера виникла як продукт диференціації мантії в результаті її дегазації. Якщо ж виходити з сучасних уявлень про гарячий початок Землі, гідросфера виникла в самому наприкінці цього процесу і в її розвитку можна виділити дві фази:

- *обводнення верхньої мантії (у 20-відсотковому за масою зовнішньому шарі)*
- *її обезводнення, що співпадає за часом з геологічним етапом розвитку Землі.*

На першій фазі в 20-відсотковому прошарку виникла пористість і тріщинуватість (до конденсації води), потім з'явилася вода фізично зв'язана, далі в результаті ряду подальших процесів виникли води хімічно зв'язані і на останній стадії - вільні.

**Сучасна гідросфера** - це результат тривалої еволюції Землі і глибокої диференціації її речовини. Води річок і озер, підземні води, займаючи порівняно малу частку в загальній масі гідросфери, відіграють найважливішу роль, будучи джерелом водопостачання, зрошування і обводнення. Управління кругообігом цих вод, використання їх для потреб людства - важлива наукова проблема, що має велике економічне і соціальне значення.

З наведеної таблиці 3.1 видно, що основна маса капельнорідких вод Землі зосереджена в Світовому океані. Його хімічний склад досить стійкий і при багатьох екологічних побудовах часто розглядається як деякий гідрохімічний еталон.

Проте, ємкісні можливості Світового океану дійсно великі, але вони не безмежні, і при такому інтенсивному техногенному навантаженні на планету, що існує в наш час, людство свій водний еталон може втратити досить швидко.

Таблиця 3.1- Запаси вільної води в гідросфері

Вигляд води	Об'єм млн. км <sup>3</sup>	Частка від світових запасів, %
1	2	3
<b>Світовий океан</b>	1340,74	96,49
<b>Підземні води (без Антарктиди)</b>		
гравітаційні і капілярні	23,40	1,68
<b>Переважно прісні</b>		
підземні води	10,53	0,76
грунтова волога	0,02	0,001
льодовики і постійний сніговий покрив	24,87	1,79
підземні води багаторічномерзлих порід	0.30	0,022
вода в озерах	0.18	0.013
води боліт	0,01	0,0007
води в руслах річок	0,002	0,0001
<b>Біологічна вода</b>		
у живих організмах і рослинах	0,001	0.0001
вода в атмосфері	0,01	0,0007
<b>Загальні запаси</b>	1389,53	100
<b>Прісні води</b>	35,83	2,58

### 3.4 Біосфера.

Подібно до гідросфери, біосфера - це оболонка Землі, в якій зосереджена білкова форма життя. Звичайно, білки не вичерпують поняття живої речовини, *основними компонентами якої є кисень, водень, вуглець і азот.* До найбільш поширених сполук, окрім білків, відносяться ще вуглеводні і жири. Але лише білки є тим винятковим матеріалом, який служить основою життя на Землі. Поява життя на нашій планеті до цього часу залишається загадкою, яку можна розглядати з двох позицій.

- або земна форма життя занесена до нас з космосу,
- або вона виникла на самій Землі в результаті анабіогенезу (з речовин неорганічної природи).

Нижня межа біосфери проходить на глибинах, де тиск не повинен перевищувати 600 Па (1 - 2 км.), а температура має бути не вище 100 °С. У атмосфері білкові форми життя зафіксовані на висотах до 1000 км. Загальну масу біосфери прийнято вважати рівною приблизно  $10^{14}$  кг. Число встановлених біологічних видів досягає 2 млн. одиниць. Основне життя

зосереджене в океані, на поверхні Землі і в ґрунтовому прошарку. Об'єм біосфери оцінюється в 10 млн. км<sup>3</sup>. Маса рослин перевищує масу тварин майже в 5 разів.

Біосфера має для Землі величезне енергетичне значення і є унікальним механізмом, за допомогою якого промениста енергія перетворюється на інші форми. Напевно, тому вона впливає на розвиток інших оболонок Землі. Зокрема встановлено, що велика частина вуглекислого газу атмосфери має біогенне походження. Жива речовина значною мірою визначає процеси вивітрювання земної кори, окисні та відновні реакції. Саме біосфера визначає структури, які ми називаємо *екологічними системами*.

### 3.5 Внутрішні геосфери Землі

Найглибша свердловина на Землі, пробурена на Кольському півострові недалеко від Мурманська, досягла всього лише 12800 м. Буріння під товщею океанських вод, здійснюване із спеціальних плавучих бурових установок на кораблях спочатку “Гломар Челленджер”, а потім “Джоїдес Резольюшн”, дало результат всього лише в 1,5 км. Знання внутрішньої будови Землі означає, що відомі розподіли щільності речовини та її стану, тиску, температури, напруженості магнітного поля від поверхні до центру Землі, а крім того, латеральні варіації цих параметрів.

Знаходячись на поверхні Землі (12,8 км свердловини це все ще поверхневий шар), ми можемо визначити багато параметрів, які характеризують Землю: склад речовини (гірських порід, вод, океану, атмосфери) і її вік, температуру, силу тяжіння до Землі (прискорення сили тяжіння), величину магнітного поля, і спостерігати безліч явищ: виверження вулканів, землетруси, особливо катастрофічні, і вимірювати час пробігу сейсмічних хвиль, бачити свічення полярних сяїв і багато що інше.

Нас цікавить, якою мірою відомості, отримані на поверхні Землі, можуть пролити світло на будову внутрішніх, недоступних частин Землі, аж до її центра? Завдання подібного роду називають зворотними і, очевидно, що вони не мають єдиного рішення. Це нагадує ситуацію з купівлею кавуна - як, не ріжучи кавуна, визначити міру його стиглості з огляду його зовні? Це і є зворотне завдання, приклади яких будуть наведені нижче.

Геологам добре відома внутрішня будова Землі, оскільки їм на допомогу прийшов метод, який, як рентген в медицині, дозволяє заглянути в недоступні місця планети.

Це - *сейсмічні хвилі* (“сейсма” – *струс в перекладі з грецької*), що виникають в надрах Землі від землетрусів, ядерних і великих штучних вибухів, які пронизують всю Землю, заломлюючись та відбиваючись на межі

зміни стану речовини. За образним виразом відомого геофізика кожен сильний землетрус змушує Землю довго гудіти, як дзвін. Сейсмологічний метод є одним з багатьох геофізичних методів, але для мети пізнання глибин Землі він один з найважливіших.

**Хвиля** - це поширення деякої деформації в пружному середовищі, тобто зміна об'єму або форми речовини. При деформації в речовині виникає напруження, яке прагне повернути її до первинної форми або об'єму.

Відомо, що величина напруження ( $\epsilon$ ) помножена на величину деформації ( $\tau$ ) називається **модулем пружності** ( $\mu$ ).

$$\mu = \tau \epsilon . \quad (3.1)$$

Виділяють два типи сейсмічних хвиль: *об'ємні* і *поверхневі*, назви яких говорять про область їх поширення (рис.3.2).

**Об'ємні хвилі** бувають *поздовжніми* і *поперечними*. Вони були відкриті в 1828 р. Пуассоном, а ідентифіковані англійським сейсмологом Олдгеймом в 1901 р.

**Поздовжні хвилі** - це хвилі стиснення, хвилі, що поширюються у напрямі руху. Вони позначаються латинською буквою **P** - *хвиля* („prima” - перша (лат.)), оскільки у них швидкість поширення вища від інших хвиль і вони першими приходять на сеймоприймачі.

Швидкість поздовжніх хвиль:

$$V_p = (\kappa \mu / \rho)^{1/2}, \quad (3.2)$$

де **K** - об'ємний модуль пружності або модуль всебічного стиснення;

**$\mu$**  - модуль зсуву, що визначається величиною напруги, необхідної для зміни форми тіла.

Таким чином, **P** - *хвиля* змінює форму тіла.

**Поперечна хвиля**, що позначається буквою **S** - *хвиля* (secondary - вторинний, англ.), це хвиля зсуву, при якій деформації в речовині відбуваються перпендикулярно до напрямку руху хвилі.

Швидкість поперечних хвиль:

$$V_s = (\mu / \rho)^{1/2} . \quad (3.3)$$

**S** - хвиля змінює лише форму тіла і вона, як менш швидкісна, надходить на сеймоприймач пізніше за **P** - *хвилю*, тому і називається "*вторинною*".

Таким чином  $V_p$  завжди більша за  $V_s$

**Поверхневі хвилі** поширюються в поверхневому прошарку земної кори. При зустрічі з будь-яким прошарком, що відрізняється за багатьма ознаками

від вище розміщеного прошарку, хвиля відбивається і досягає сейсмографа на станції.

Теж ж саме відбувається і при морських сейсмічних дослідженнях. У інших випадках хвиля може заломлюватися на межі прошарку, збільшуючи або зменшуючи свою швидкість залежно від його щільності.

Коли відбувається сильний землетрус, сейсмічні хвилі поширюються на всі боки, пронизуючи земну кулю у всіх напрямках. Розставлені по всьому світу сейсмічні станції приймають сигнали від хвиль різного типу.

Проходячи крізь прошарки порід різного складу і щільності, вони змінюють свою швидкість, реєструючи ці зміни усередині земної кулі, можна виділити головні межі або поверхні розділу (рис.3.3).

Поперечні хвилі не проходять крізь рідке зовнішнє ядро, а в поздовжніх є "зона тіні" в  $35^\circ$ , оскільки в рідкому ядрі хвилі заломлюються. Сейсмограми фіксують час пробігу всередині Землі сейсмічних хвиль. Сейсмічні методи безперервно удосконалюються і за сучасними даними внутрішня структура Землі виглядає таким чином.

Земна кора обмежена знизу дуже чіткою *поверхнею* стрибка швидкостей *P* - і *S*-хвиль, яка вперше була встановлена югославським геофізиком А. Мохоровичичем в 1909 р. і отримала його ім'я: *поверхня Мохоровичича*, або *Мохо* (або, зовсім коротко, *поверхня М*).

Друга сейсмічна межа поділу знаходиться на глибині 2900 км, вона була виділена в 1913 р. німецьким геофізиком **Б. Гуттенбергом** і також отримала його ім'я.

Ця поверхня відділяє *мантію* Землі від ядра. Зазначимо, що нижче за цю межу *P*-хвилі різко сповільнюються, втрачаючи 40% своєї швидкості, а *S*-хвилі зникають, не проходять нижче.

Оскільки для поперечної хвилі швидкість визначається як модуль зсуву, який в рідині дорівнює нулю, то й речовина, що складає зовнішню частину ядра, повинна мати властивості рідини.

На глибині 5120 км. знову відбувається стрибкоподібне збільшення швидкості *P*-хвиль; за допомогою використання особливого методу показано, що там з'являються і *S*-хвилі, тобто ця частина ядра - тверда.

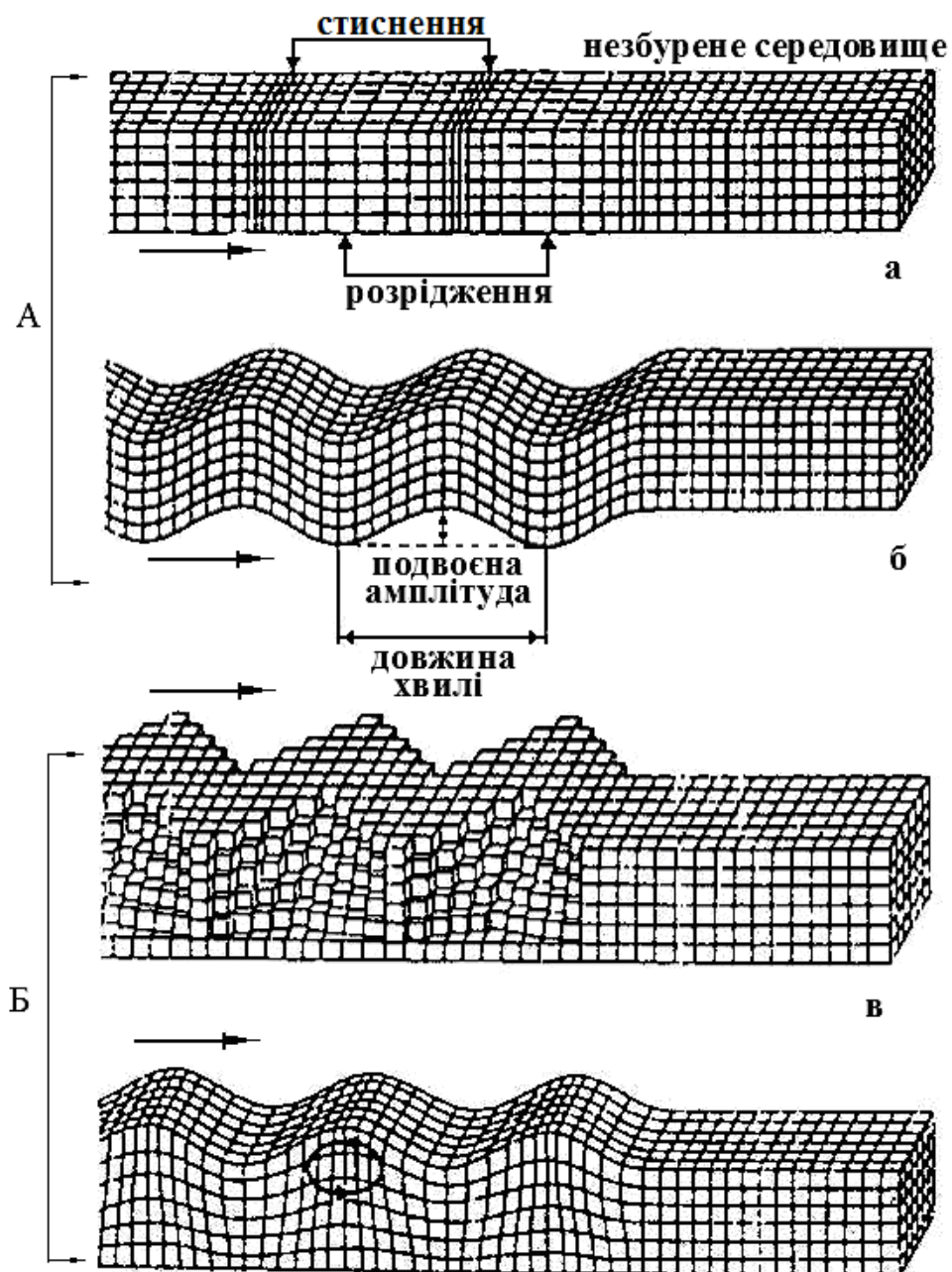


Рис. 3.2- Типи сейсмічних хвиль.

А – об'ємні хвилі: а – поздовжні, б – поперечні.

Б – поверхневі хвилі.

Стрілками показаний напрям руху хвилі.

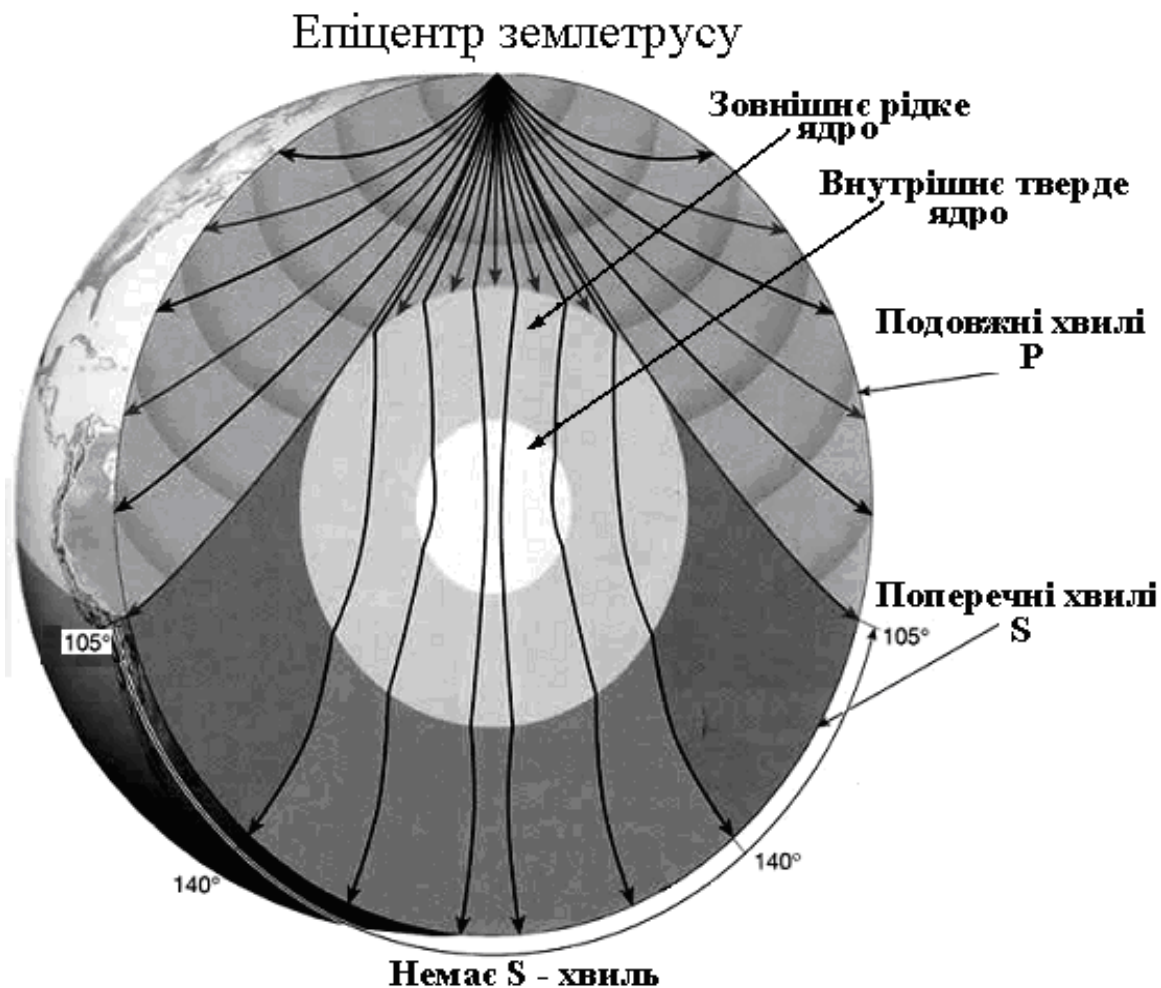


Рис.3.3. - Проходження поздовжніх ( $P$ ) і поперечних ( $S$ ) хвиль крізь Землю.

Таким чином, усередині Землі встановлюється **три** глобальні сейсмічні межі, що поділяють земну кору і мантію (*межа  $M$* ), мантію і зовнішнє ядро (*межа Гуттенберга*), зовнішнє і внутрішнє ядро.

Проте, насправді меж, на яких відбувається стрибкоподібна зміна швидкості хвиль  $P$  і  $S$  більше і самі межі характеризуються деякою перехідною областю.

Вже давно сейсмолог Д. Буллен, розділивши внутрішню частину Землі на ряд оболонок, дав їм буквені позначення (рис.3.4).

В останній час була встановлена ще одна глобальна сейсмічна межа на глибині 670 км. Вона відділяє верхню мантію від нижньої і є дуже важливою для розуміння процесів, що відбуваються у верхніх оболонках Землі.

За різними геофізичними характеристиками, зокрема, за швидкістю проходження сейсмічних хвиль, твердий об'єм нашої планети в наш час



досить чітко поділяється на чотири сфери (оболонки): земну кору, мантію, зовнішнє і внутрішнє ядро (рис.3.3).

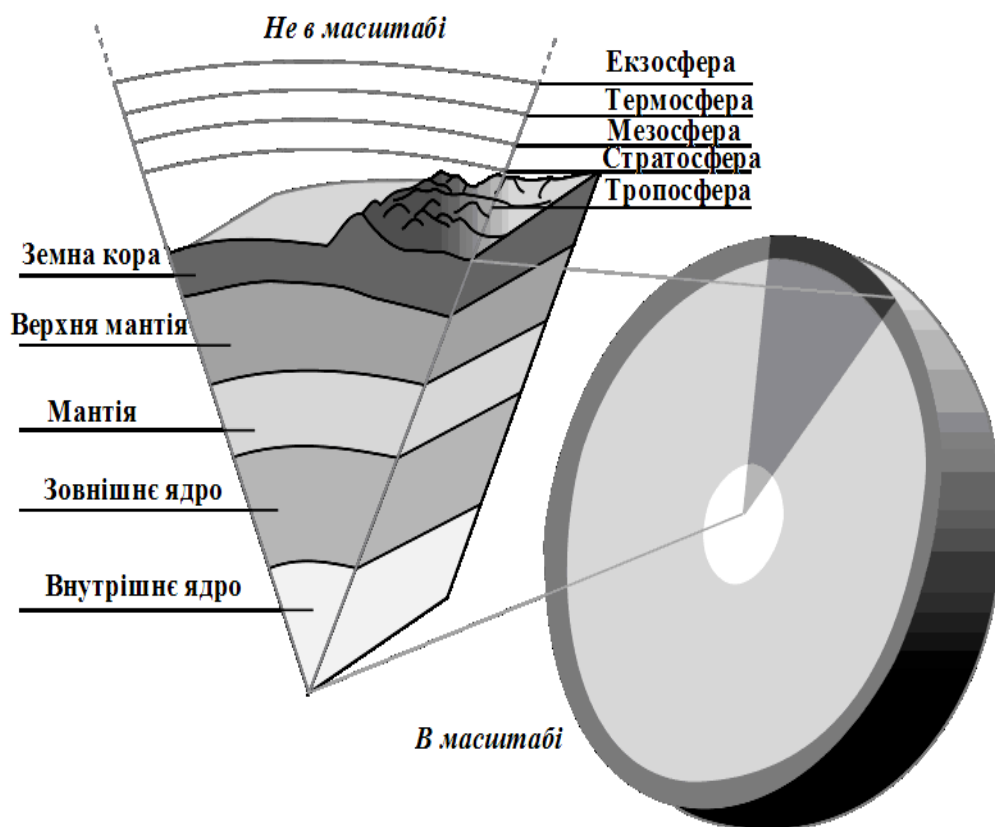


Рис.3.4 - Загальна структура планети Земля

### ***Земна кора.***

У первинному класичному варіанті поняття земної кори ототожнювалося з поняттям літосфери, тобто найвищої кам'яної оболонки Землі (літос - камінь, *грец.*) Її зовнішня межа проводиться по поверхні суші і дну морів та океанів, а нижня по поверхні **Мохо**, цей шар називають ще „**сіаль**” (від слів *silicium* - кремній і *aluminum* - алюміній), що відображає його склад, на відміну від шарів, що залягають нижче, під назвою „**сіма**”, у якій переважає вже магній (*magnium*). В цілому ця класифікаційна схема підтверджується і сьогодні, хоча в деталях (багато в чому принципового порядку) вона істотно ускладнилася.

Експлуатуючи термін „сіаль”, ми тим самим свідомо не помічаємо внутрішніх відмінностей в будові цього прошарку, підкреслюючи лише найбільш загальні його риси - класифікаційні ознаки найвищого порядку.

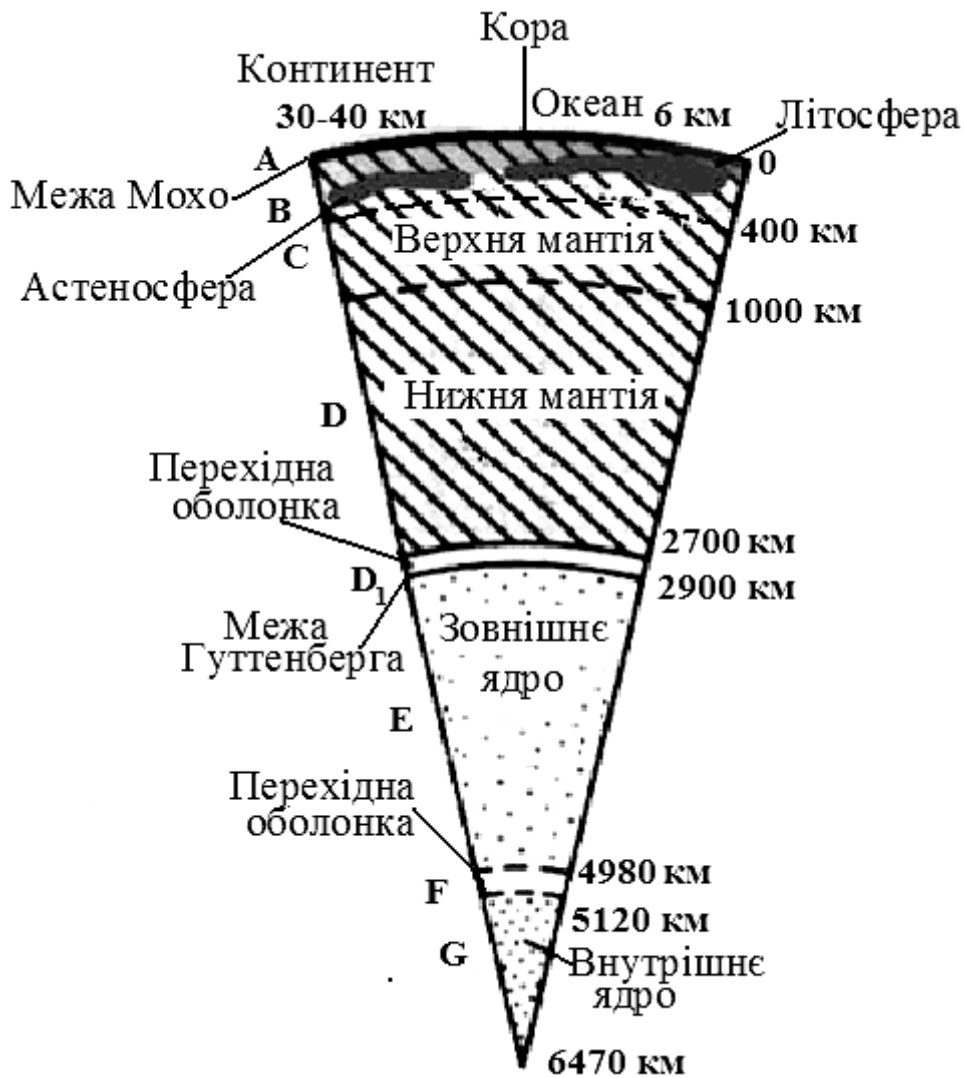


Рис. 3.5 - Внутрішня будова Землі.

Земна кора поділяється на два типи:

- *континентальну* і
- *океанічну*.

Перша складалася з трьох прошарків - *осадового, гранітного і базальтового*. Вони відрізняються за щільністю, складом та потужністю. Їх сумарна потужність становила близько 30-40 км., досягаючи максимальних значень в горах (50-70 км), де кора утворює так зване коріння гір.

Океанічна кора *двошарова (без гранітного шару)* і має істотно меншу потужність, що зазвичай не перевищує 10 км. Базальтовий шар трактується як деяка єдина сфера, по якій гранітний прошарок континентів може навіть переміщатися (відома гіпотеза А.Л. Вегенера про дрейф материків, 1915- 1929 рр.).

**Материкова кора.** Її потужність становить від 20 до 80 км.

*Самий верхній, осадовий, шар* має переривисте поширення, при середній потужності 3 км, місцями зовсім відсутній, а інколи досягає 20 км.

*Другий шар - гранітний,* частіше називають *гранітогнейсовим*. Судячи по виходах цього шару на поверхню Землі (Балтійський, Канадський, Анабарський та інші регіони), він приблизно на 50 % складається з гранітів, на 40% - з гнейсів і інших середньотемпературних метаморфічних порід. Потужність другого шару коливається від 8 до 25 км, хоча в деяких районах його навіть не виявлено.

*Третій - базальтовий шар* часто називають *грануліто-базитовим* або *просто нижньою корою*, оскільки він складений в основному метаморфічними і магматичними породами зон високих температур і тисків (їх загальна назва - *грануліти* і *базити*).

Межа між *гранітогнейсовим* і *грануліто-базитовим* прошарками носить назву **розділу Конрада**. Характерно те, що за речовинним складом зразків порід з Кольської свердловини межа Конрада не фіксується. *За даними сейсміки вона є, а за даними петрології її немає.*

Цей факт виявляється принципово важливим. Він свідчить про те, що *наші речові інтерпретації геофізичних даних, основані на вивченні фізичних властивостей різних гірських порід, що витягують на поверхню Землі, можуть бути недостатньо надійними.*

*Петрологія* - наука, що вивчає магматичні і метаморфічні гірські породи з точки зору їх речовинного складу, геологічних особливостей і генезису.

**Океанічна кора.** Верхній, осадовий, шар цієї кори істотно тонший, ніж на материках і зазвичай досягає всього декількох сотень метрів. Аномальними виглядають лише так звані океанічні жолоби, потужність осадів в яких може бути як вища середньої і досягати 6,5 км (південний захід Японських островів) або більше 3 км (північні береги Колумбії), так і набагато нижча - практична відсутність осадів в жолобі, витягнутому уздовж підводного хребта в центральній частині Індійського океану.

Взагалі ж океанічне дно ми знаємо ще значно гірше ніж континенти, і тому в майбутньому наші уявлення про розподіл осадових порід в океані можуть сильно змінитися.

*Граніто-гнейсовий прошарок* в корі океанічного типу не виявлено, другим для океану є *базальтовий шар*, який ймовірно складається з різних основних і ультра основних магматичних порід.

У наш час дно Світового океану активно досліджується в широкому геолого-геофізичному аспекті, тому говорити про якусь досить сталу модель будови океанічної кори ще рано. Сьогодні тут більше запитань, чим

відповідей. Ясно, мабуть, лише одне: океанічний тип кори мало чим схожий на континентальний. Він складний і своєрідний, його другий і третій шари за петрологічними характеристиками не мають аналогів на континентах. *Материкова кора повністю обривається на континентальному схилі і заміщується абсолютно іншою корою.*

Поділ земної кори на два типи, як і всяка класифікаційна схема, є деякою умовністю. Тому не випадково деякі автори стали виділяти ще і проміжні типи кори: *субокеанічний і субконтинентальний.*

За речовинним складом, структурою, фізичними властивостями, фазовим станом земна кора дуже розчленована розломами на блоки, які зміщені, часто повернені. Тому всяке класифікаційне ускладнення має бути мотивоване певною метою або завданням, Деяке уявлення про будову верхньої частини земної кори може дати рисунок 3.6.

Сучасний фактичний матеріал щодо речовинної і фізичної структури земної кори на континентах і океанах показує їх істотну відмінність, причини якої багато в чому ще не з'ясовані.



Рис. 3.6 - Схематичний розріз західної частини Середземного моря

Тепер звернемо увагу на один відомий, але чомусь практично не висвітлений в навчальній літературі, факт. *Поверхня Мохо* - це лише сейсмічна межа. Її речовинна природа проблематична, тим більше що і сейсмічними методами вона встановлена не скрізь.

Дослідження показують, що межа Мохо, залишаючись найважливішою сейсмічною поверхнею, з позицій тектоніки і гравітаційного поля Землі не є унікальною. Межу верхнього, твердого шару Землі, тобто власне літосфери, слід проводити не по поверхні Мохо, а нижче - у верхній мантії.

При такому підході до розуміння літосфери, нижня межа зміщується

істотно нижче за межу Мохо, і поняття літосфери і земної кори перестають бути тотожними. Земна кора стає верхньою частиною літосфери (рис. 3.5).

*Верхня її частина до глибини 250-400 км називається **астеносферою**.*

В геології існує ще одне поняття земної кори, яке інколи використовується в геохімії і мінералогії. Тут під земною корою розуміють *найвищу оболонку Землі, яка доступна безпосередньому спостереженню*. До неї відносять не лише тверду частину Землі до поверхні Мохо, але й вищерозміщені прошарки:

- *гідросферу в географічному розумінні цього терміна (океани, моря, річки і так далі),*
- *прилеглі частини атмосфери.*

Ці уявлення про земну кору і літосферу відрізняються один від одного принципово. Але вони існують в літературі і використовуються як в теоретичних викладках, так і на практиці. Тому слід знати це і розуміти, аби грамотно використовувати ці поняття.

**Мантія.** У верхній частині мантії знаходиться **астеносфера** (рис. 3.5). Це шар, який не витримує дотичної напруги, і його стан реології (реологія - наука про текучість речовини) відповідає умовам часткового плавлення гірських порід. Астеносфера має в'язко-пластичні властивості. Теоретично в ній можуть виникати конвективні течії. Глибші шари мантії ми знаємо лише за геофізичними даними. Сьогодні вони дають змогу стверджувати, що:

1. Структура мантії, особливо верхньої, досить складна і помітно змінюється як за напрямом радіуса Землі, так і вздовж самої сфери.

2. Один із способів оцінки речовинного складу мантії полягає у вимірі швидкостей сейсмічних хвиль в різних гірських породах. Експерименти такого роду дозволили передбачити, що мантія представлена переважно породами ультраосновного складу ( дуніти, олівіни, перидотити).

3. За класичною схемою в мантії виділяють три зони:

- **В** - верхню мантію, астеносферу (33 - 400 км);
- **С** - перехідну зону (400 - 1000 км);
- **Д** - нижню мантію (1000 - 2900 км).

**Ядро.** Буллен на підставі швидкісного розрізу розділив ядро на три зони:

- шар **Е** (2900 - 4980 км) - зовнішнє ядро;
- шар **Ф** (4980 - 5120 км) - перехідна зона;
- шар **Г** (5120 - 6370 км) - внутрішнє ядро.

Зона **Ф** не має чітких меж, оскільки сама є граничною областю між шарами **Е** і **Г**, проте вона виділяється багатьма фахівцями. Зовнішнє ядро,

мабуть, є рідким, а внутрішнє - твердим.

Склад ядра розглядається як залізо - нікелевий сплав з домішками сірки і кремнію. Вважається, що всі три його зони за складом близькі, хоча повного збігу теоретично чекати не можна.

### 3.6 Сучасні уявлення про походження геосфер

Існування геосфер в наш час розглядається як факт самоочевидний, що не потребує якихось спеціальних доказів. Проблема полягає лише в тому, аби пояснити, як геосфери виникли. Широко розвинені уявлення про утворення геосфер в результаті диференціації первинної земної речовини. Академік О.П. Виноградов пов'язував утворення геосфер з процесом зонної плавки мантійної речовини. Під впливом енергії гравітаційного стискання Землі і радіоактивного розпаду в першу чергу таких елементів, як уран, торій і калій-40, відбувалося розігрівання планети, що привело до диференціації її речовини.

Суть зонної плавки полягає в конвективному перемішуванні розплаву:

- *нижні більш нагріті маси, переміщуючись вгору, розплавляють кривлю розплавленої зони*
- *верхні, менш нагріті, переміщуючись вниз, кристалізуються.*

Переміщення розплавленої зони вгору енергетично забезпечується виділенням тепла при кристалізації на нижній межі зони. Ця схема основана на гіпотезі О.Ю. Шмідта і інших дослідників "холодного" утворення Землі і планет Сонячної системи.

Зонна плавка - один з можливих варіантів механізму диференціації речовини Землі, здатної привести до утворення геосфер. Оскільки саме завдання є ретроспективним, то вже один цей факт передбачає множинність пояснень.

Прикладом іншої схеми диференціації служать розробки Б.Г. Лутца, що зводяться до глибинного магматичного кислотного вилуговування. Визначальним в його схемі є режим газофлюїдної фази в процесі магмоутворення.

#### **Запитання для самоконтролю**

1. Дайте загальну характеристику складу та структури атмосфери.
2. Що таке гідросфера. Які її основні властивості?
3. Що таке земна кора?
4. Порівняйте материковий та океанічний типи земної кори.
5. Охарактеризуйте літосферу в розумінні тектоніки плит.

6. Що Ви знаєте про мантію та ядро Землі?
7. Чим відрізняється будова континентальної земної кори і де вона розташована?
8. Яка будова океанічної земної кори?
9. До яких зон приурочена океанічна земна кора і яка її будова?
10. Що таке літосфера і астеносфера Землі? На якій глибині розташована астеносфера під континентами і океанами?
11. Що таке тектоносфера і за якими даними вона виділяється?
12. Яке залягання і склад речовини в шарах С і D мантії Землі?
13. Який стан і склад речовини зовнішнього і внутрішнього ядра Землі?
14. Яким межам відповідають розділи Мохоровичича і Гуттенберга?

#### **4 Характеристика поверхні Землі. Закономірності розміщення материків і океанів**

Формування поверхні Землі в її сучасному вигляді відбувалося з кінця палеозойської – початку мезозойської ери. В ті часи праматерик Пангея, що включав всі нині існуючі материки Землі і займав приблизно однакові площі в північній і південній півкулях, тобто знаходився що південніше і східніше від основної маси сучасної суші (К.Марков), почав розділятися затокою (рифтом), яка врізалась в нього зі сходу вже існуючого тоді древнього океану (рис. 4.1).

До кінця тріасового періоду цей океан, що розвивався зі сходу на захід, одержав назву Тетіс, поділив Пангею на дві частини: північну - Лавразію, і південну - Гондвану.

Лавразія зберігала цілісність до середини мезозою, а Гондвана розпадалася на окремі літосферні плити, уподовж новоутворених рифтів. Один з них відокремив материки Африку і Південну Америку, що тимчасово зберігали єдність, від Австралії і Антарктиди. Африка і Південна Америка змістилися на північний захід, а на їх місці почалося формування нового океанічного дна Індійського океану.

У кайнозої материки зайняли положення, близьке до сучасного. Індійський океан, як Тихий і Атлантичний, набув сучасних контурів берегів та рельєфу дна.

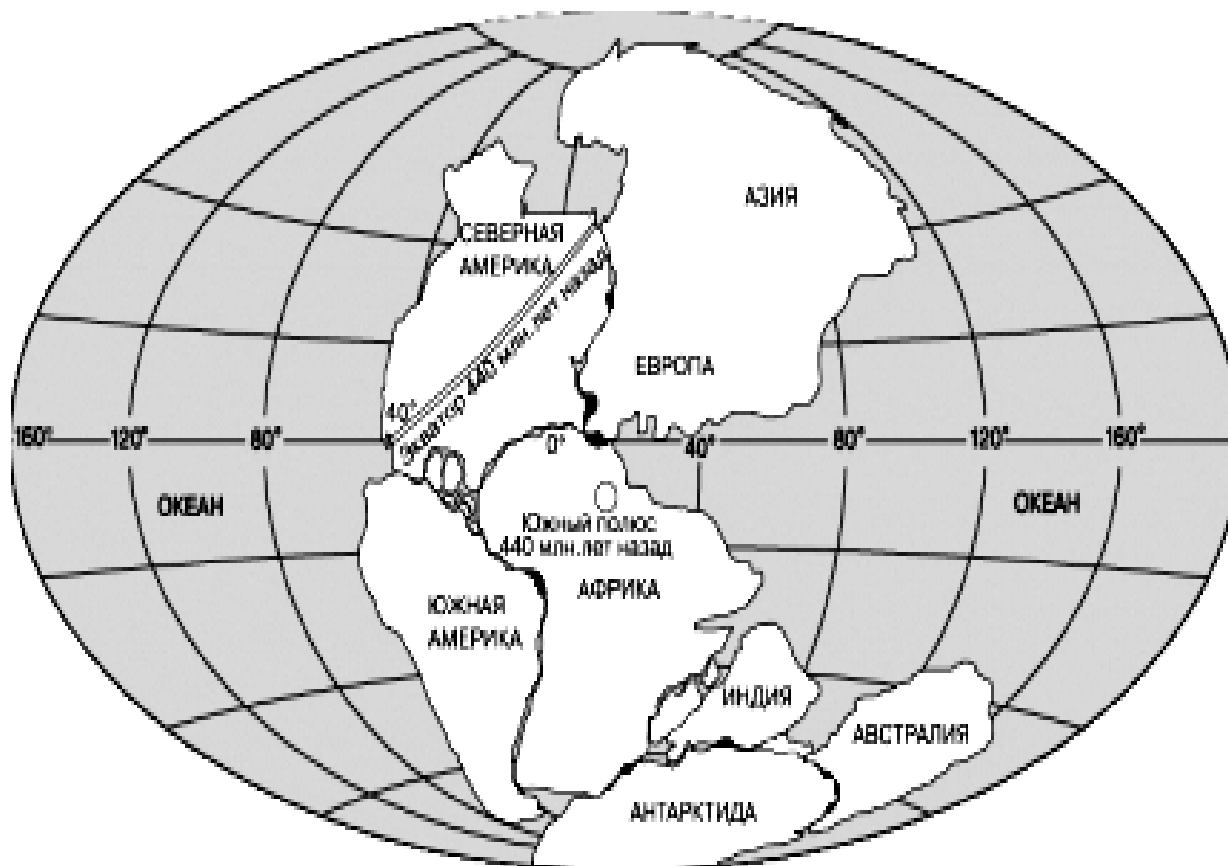


Рис. 4.1 - ПАНГЕЯ - існувала на Землі близько 240 млн. років назад (єдиний праматерик, з якого утворилися сучасні материки).

Комп'ютерна модель мережі розломів наводить на думку, що їх будова пов'язана зі змінами форми земної кулі у минулому, що, у свою чергу, зумовлене коливаннями швидкості обертання Землі та зміною положення її полюсів. Ці зміни були зумовлені рядом процесів, серед яких найбільш істотний вплив мали давні зледеніння і бомбардування Землі метеоритами.

Льодовикові періоди повторювалися приблизно кожні 250 млн. років і супроводжувалися накопиченням значних мас льодовикового льоду біля полюсів. Таке скупчення льоду викликало збільшення швидкості обертання Землі, що привело до сплюснення її форми. При цьому екваторіальний пояс Землі розширювався в діаметрі, стискався біля полюсів (тобто Земля ставала все менше схожою на кулю). Унаслідок крихкості земної кори сформувалася мережа взаємоперетинних розломів. Швидкість обертання Землі змінювалася десятки разів впродовж одного льодовикового періоду.



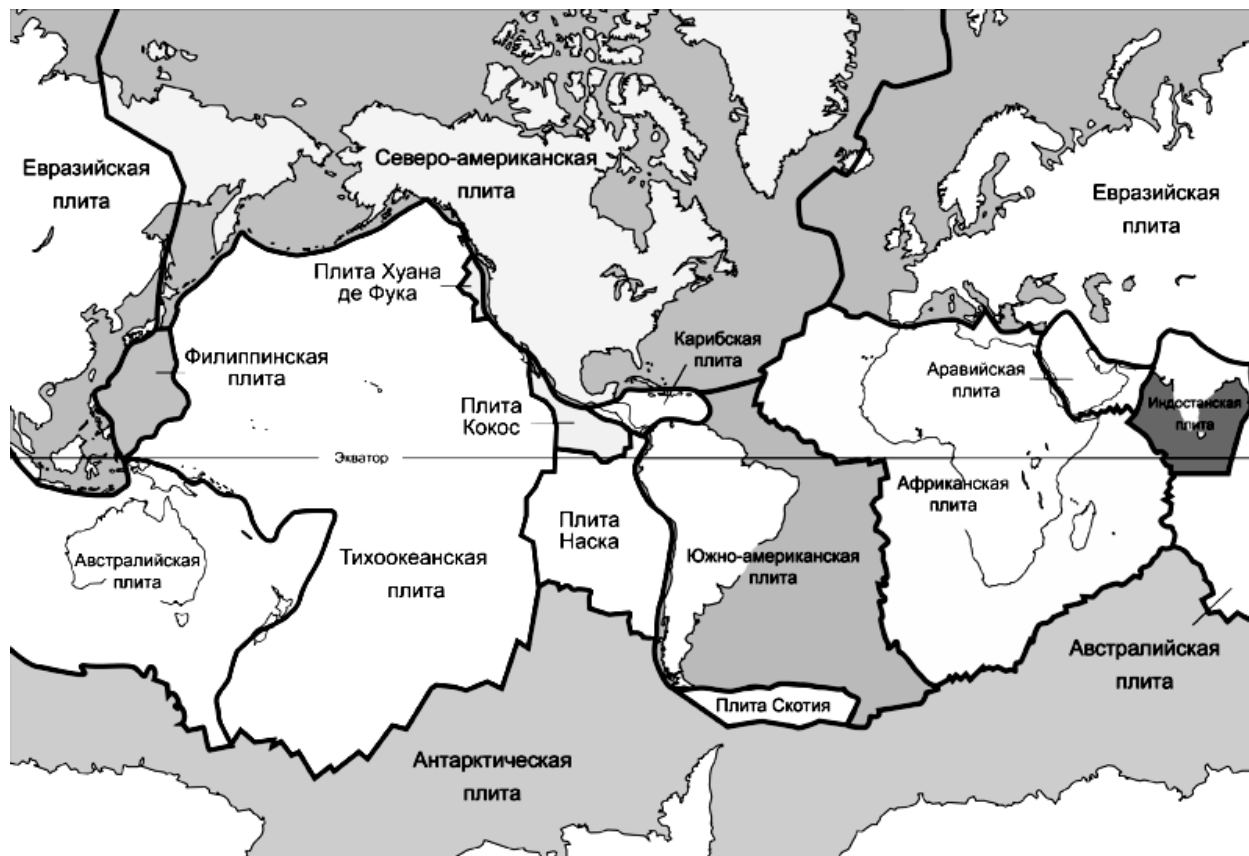


Рис. 4.2 - Плити літосфери Землі.

В результаті тривалих процесів дрейфу материків та їх зіткнень сформувалася материкова кора у вигляді "клаптикової ковдри", що складається з фрагментів різного віку. Таким чином, формування сучасного вигляду Землі - це єдиний процес, в який залучені як материки, так і океани. Але результати його на дні океанів і на материках різні: у одному випадку - однорідна горизонтальна поверхня водних мас і прихована під ними земна кора, в іншому - складно побудована і розчленована поверхня суші з великими контрастами висот і форм рельєфу.

Вплив зовнішніх чинників диференціації природи, пов'язаних з надходженням сонячної енергії і нерівномірністю її розподілу по земній поверхні, проявляється по-різному на материках і океанах.

Води океанів, що вільно поєднуються між собою, характеризуються спільним сольовим складом до глибини 100-150 м. Розподіл по однорідній водній поверхні температур, хімічних елементів, живих організмів залежить від надходження сонячної енергії та нерівномірності її розподілу від полюсів до екватора, а також від процесів динамічної взаємодії між водною поверхнею і атмосферою. І лише в перехідних зонах між океанами і

материками він ускладнюється під дією великих масивів суші.

На однорідній поверхні океанів зональна структура біосфери виражена з більшою чіткістю, ніж на суші. У товщі води, особливо до глибини 500 м, існує вертикальна зональність, що проявляється в температурі, хімічному складі вод і характері донних відкладів. Але вертикальна зональність вод океанів є явищем іншого характеру, чим вертикальна зональність (висотна поясна) суші. Зонально-кліматична диференціація в межах материків залежить не лише від загальних закономірностей природи, але і від розмірів і контурів самих материків, складності будови їх поверхні, впливу океанів, тобто від їх індивідуальних особливостей.

Морфологічні особливості будови поверхні Землі відповідають загальним закономірностям, в основі яких лежить принцип дисиметрії, введений в науку ще П. Кюрі та розвинутий для Землі в цілому В.І. Вернадським.

Поверхня Землі підлягає *антиподальності* суша-вода, яка виявляється через розподіл суші та моря на різних широтах, - *північна півкуля є переважно континентальна, а південна - океанічна.*

*Дрейф материків* існує до цього часу. Це відбувається в результаті горизонтального переміщення літосферних плит, розширення океанічної земної кори та розростання океанських западин у зв'язку з рифтовим вулканізмом і припливом мантійної речовини в серединно-океанічних хребтах, а також поглинанням її в глибоководних жолобах перехідних зон або при зіткненні континентальних і океанічних плит літосфери.

Якщо до зон субдукції разом з океанічною літосферою з двох сторін насуваються материкові плити, може статися замикання океану. *Зона субдукції - це місце, де океанічна кора занурюється в мантію.* До зон субдукції приурочена більшість землетрусів і безліч вулканів.

Геоморфологічним проявом зон субдукції є глибоководні жолоби. Осадові товщі, що накопичилися в них, зминаються в складки і здіймаються у вигляді зони, що приводить до розростання суші та формування нових континентів. *У зонах субдукції відбуваються найбільш сильні землетруси і цунамі.*

В той же час, вже існуючі материки в процесі переміщення розколюються, розходяться в різні сторони; формуються внутрішньоконтинентальні рифтові зони, на місці яких відбувається розростання нових океанів (рис. 4.3).

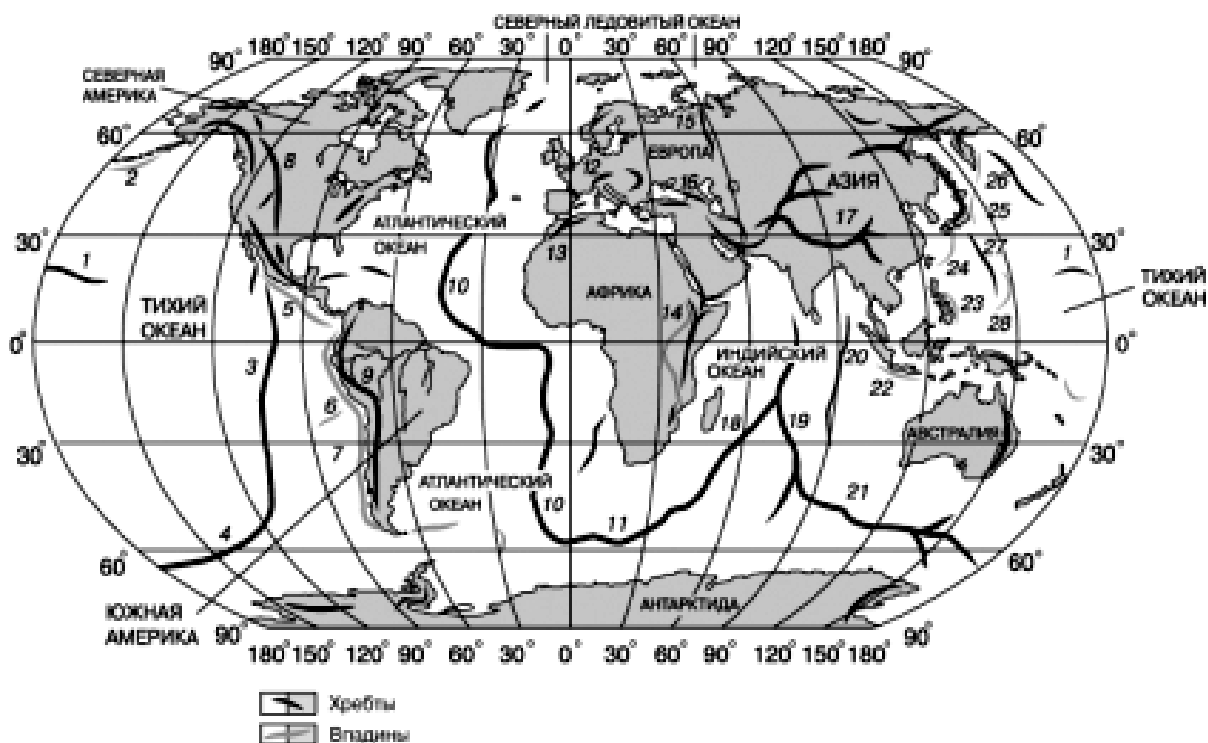


Рис. 4.3 - Материк і океани, підводні хребти і глибоководні жолоби.

**МАТЕРИК** – це крупний масив суші, який високо піднімається над водою, має в центрі ядро у вигляді давньої платформи. Виділяють шість материків: Євразію, Африку, Північну Америку, Південну Америку, Австралію і Антарктиду та шість частин світу (Європу, Азію, Африку, Америку, Австралію і Антарктиду).

Деякі крупні острови за розмірами близькі до материків і інколи називаються "материковими островами". Серед них найбільш відомі Гренландія, Нова Гвінея, Калімантан і Мадагаскар. Материк оточені мілководними зонами океанів - шельфами, з глибинами, що зазвичай не перевищують 150 м.

### ***Запитання для самоконтролю***

1. Як називався єдиний праматерик, з якого утворилися сучасні материк?
2. Що мало істотний вплив на давні зледеніння?
3. Чому материк Пангея, був поділений на дві частини?
4. Що собою являв океан Тетіс?
5. Що включали в себе на кінці тріасового періоду Лавразія і Гондвана.

## 5 Геофізичні поля Землі

Навколо земної кулі окрім гідросфери і атмосфери сконцентровані ще фізичні поля.

Геофізичні поля є особливою формою матерії, що забезпечує зв'язок в Землі мікрооб'ємів масивів гірських порід в єдині системи геологічних тіл, здійснює передачу дії одних геологічних тіл на інші, підтримує процеси енергоперенесення, необхідні для існування життя на Землі.

Згідно з визначенням, що є в "Геологічному словнику", **геофізичним** (або *фізичним*) полем Землі називається безліч значень фізичних величин (параметрів), які кількісно характеризують природне або створене в Землі штучне фізичне поле в межах певної області або території Землі.

Зручний розподіл фізичних полів Землі на два класи - **природного та штучного** походження.

До **природних фізичних полів Землі** відносяться: **гравітаційне (поле сили тяжіння), геомагнітне, температурне, електромагнітне, сейсмічне (поле пружних механічних коливань) і радіаційне (поле іонізуючих випромінювань).**

*Через фізичні поля здійснюється взаємодія Землі як планети з Сонцем і рештою простору макрокосмосу.*

В межах Землі та її найближчого околу **природні фізичні поля** заведено називати **геофізичними**, що підкреслює їх безпосередній зв'язок, генетичний і структурний, з нашою планетою. Особливо слід підкреслити прямий зв'язок полів, які ми називаємо геофізичними, саме з літосферою, з іншими глибинними "сферами" земної кулі і лише опосередкований зв'язок з процесами, що відбуваються в ближньому і далекому космосі.

Це означає, що всі дані геофізичні поля зумовлені особливостями будови літосфери і Землі в цілому (наприклад, гравітаційне і геомагнітне поля) або характером геодинамічних, фізичних і хімічних процесів (наприклад, сейсмічне, радіоактивне, температурне, електромагнітне поля).

**Штучні некеровані поля** (техногенні фізичні поля) зумовлені роботою механізмів і машин, енергетичних установок, транспортних засобів, засобів зв'язку й інших джерел антропогенної діяльності.

*Всі названі природні (природні) і штучні (техногенні) геофізичні поля є не керовані, тобто вони існують проти волі дослідників, які використовують їх для вирішення тих або інших завдань з вивчення оболонок Землі, у тому числі і з екологічною метою.*

Спеціально для геофізичних досліджень Землі, пошуків і розвідки корисних копалини, вирішення інженерних, технічних і екологічних завдань широко використовуються керовані поля, які утворюються штучно за допомогою різних джерел: збудників пружних хвиль (вибухових або

невибухових), батарей і генераторів постійного або змінного струму, джерел гамма-випромінювання і нейтронів та ін.

Життя на Землі виникло і розвивалося в умовах переважного впливу гравітаційного, геомагнітного, радіаційного і температурного полів.

### **5.1 Гравітаційне поле**

*Гравітаційне поле*, якщо і змінювалося впродовж історії існування біосфери, то, певно, плавно, еволюційно. Це дозволяє передбачати, що в кожен чималий геологічний відрізок часу біосфера існувала при відносно стабільному гравітаційному полі.

*Геомагнітне поле* піддавалося радикальнішим стрибкоподібним змінам. Про це свідчить дрейф геомагнітних полюсів і зміна магнітної полярності (інверсії геомагнітного поля) з тимчасовим інтервалом від 0,5 до 10 млн. років, що підтверджують дані палеомагнітних досліджень.

Загальна гравітаційна, магнітна і температурна обстановка на Землі в процесі еволюції біосфери забезпечила можливість стійкого існування, точніше, пристосування живих організмів аж до переживаних нами історичного і геологічного відрізків часу.

В той же час, неухильно зростаюча техногенна енергетична дія на всі живі організми на Землі, зумовлена рівнем електромагнітного забруднення середовища, що збільшується, в дуже широкому частотному діапазоні, і особливо в області радіочастот, може мати непередбачуваний вплив на біосферу.

*Також слід мати на увазі, що природні геофізичні і техногенні фізичні поля не існують окремо, а накладаються один на одного.*

**Гравітаційне поле Землі** підлягає закону Всесвітнього тяжіння, який був встановлений І.Ньютоном в 1747 році і виражає загальну властивість матерії, яка полягає в тому, що сила взаємного притягання двох матеріальних точок пропорційна добутку мас цих точок та обернено пропорційна квадрату відстані між ними. Коефіцієнт пропорційності називається гравітаційною сталою. Математично ця сила виражається формулою

$$f = G \cdot M \cdot m / r^2 , \quad (5.1)$$

де  $f$  - сила тяжіння,  $G$  - гравітаційна стала,

$G \sim 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2} \text{ кг}^{-1}$ ,

$M, m$  - маси точок, що притягуються,

$r$  - відстань між точками.

Для випадку гравітаційного поля якого-небудь великого небесного тіла

(наприклад, Землі) формулу, що виражає закон Всесвітнього тяжіння, зручно записувати у вигляді

$$F = G \cdot M \cdot m / r^2, \quad (5.2)$$

де  $G$  - стала притягання даного небесного тіла  $G = fM$ .

Якщо розглядається точка, розташована на поверхні небесного тіла (наприклад, Землі), то останню формулу записують у вигляді

$$F = m g, \quad (5.3)$$

де  $g$  - прискорення вільно падаючої матеріальної точки,

$$g = G \cdot M / r^2. \quad (5.4)$$

Якщо обчислити величину  $g$ , виходячи з середнього значення радіусу Землі  $r = 6371$  км, то визначимо, що  $g = 9,8$  м с<sup>-2</sup>.

Це добре відома фізична стала, на жаль, дуже часто називається невірно: прискорення вільного падіння, прискорення сили тяжіння. Але немає поняття "прискорення руху" (наприклад, падіння), як немає і поняття "прискорення сили" (наприклад, сили тяжіння).

Істотно, що прискорення вільно падаючої (тобто падаючої у вакуумі) матеріальної точки залежить від місця його визначення на поверхні Землі. У кожному конкретному випадку цю величину можна визначити лише експериментально. Якщо ж необхідно її обчислити, то можна користуватися наближеною формулою

$$g = 9,7805 \cdot (1 - h/r)^2 \cdot (1 + 0,0053 \sin \varphi), \quad (5.5)$$

де  $h$  - висота знаходження точки над поверхнею Землі, м,

$r$  - відстань між центром Землі і точкою, км,

$\varphi$  - широта місця, градуси.

Для точки, що знаходиться на поверхні Землі, ( $h=0$ ) з останньої формули отримаємо  $g = 9,819$  м с<sup>-2</sup>.

Однією з найдивніших властивостей гравітаційного поля є його **всепроникність**: відгородитися від його дії неможливо; воно діє на будь-який матеріальний об'єкт і проникає крізь будь-який екран. Іншою властивістю гравітаційного поля є те, що його дія, безперервно зменшуючись, простягається практично на необмежені відстані.

Наявність в Землі гравітаційного поля є однією з необхідних умов

існування життя на ній:

- воно утримує атмосферу і Світовий океан від їх розсіювання в космосі;
- воно притягує до поверхні Землі людей, тварин і всі інші матеріальні об'єкти;
- воно направляє перебіг річок і створює на поверхні водойм виштовхуючі (Архімедові) сили, що утримують на ній судна, і тому подібне.

**Нормальне значення сили тяжіння, редуції та аномалії сили тяжіння.** Сила тяжіння, яка діє на будь-яку матеріальну точку, що знаходиться поблизу земної поверхні, це сила  $P$ , визначається як геометрична сума сили притягання Землі  $F$  і відцентрової (переносної) сили інерції  $Q$  Землі (рис. 5.1).

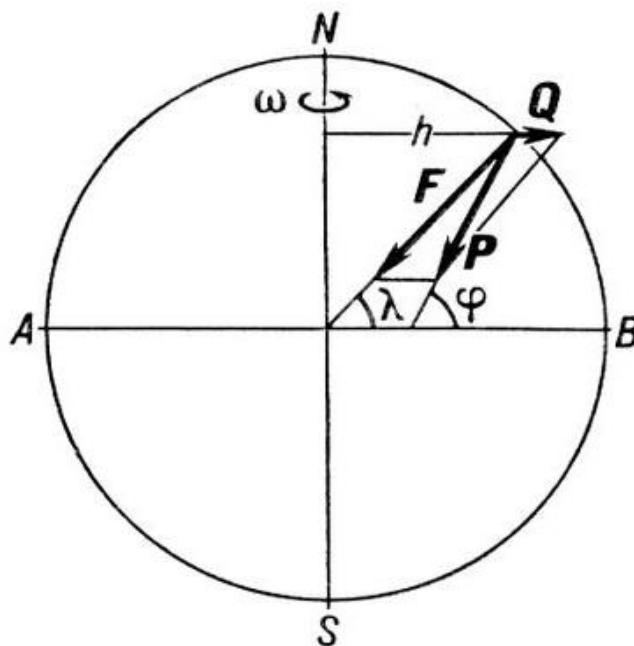


Рис. 5.1 - Сила тяжіння

Напрямок сили тяжіння є напрямом вертикалі в даній точці земної поверхні, а перпендикулярна до неї площина - горизонтальною площиною. Кути  $\lambda$  і  $\varphi$  визначають відповідно геоцентричну і астрономічну широти.

Величина  $Q = mhw^2$  (де  $m$  маса точки,  $h$  її відстань від земної осі,  $w$  - кутова швидкість обертання Землі) зважаючи на  $w^2$ , що дуже мала в порівнянні з  $F$ ; тому сила тяжіння мало відрізняється від сили притягання.

При переміщенні вздовж поверхні Землі від полюса до екватора значення сили тяжіння що збуває внаслідок зростання  $Q$  і не сферичності

Землі: *на екваторі сила тяжіння приблизно на 0,5% менша, ніж на полюсі.*

Під дією сили тяжіння точка, що набуває прискорення  $g = P/m$ , називається **прискоренням сили тяжіння**, яке змінюється з широтою так само, як сила тяжіння.

Дія сили тяжіння істотно впливає майже на всі явища і процеси, що відбуваються на Землі як в природі (включаючи живу), так і в техніці.

### **Нормальне значення сили тяжіння.**

Величина  $g$  визначається в основному прискоренням вільного падіння тіл за рахунок ньютонівського тяжіння і меншою мірою прискоренням відцентрової сили обертання Землі.

Цими двома чинниками визначається так зване "**нормальне поле сили тяжіння**".

Унаслідок *нерівномірності розподілу щільності гірських порід*, які складають земну кору, і речовини верхньої мантії з'являється **аномальне** поле сили тяжіння.

*Таким чином, повне значення сили тяжіння складається з нормального і аномального полів.*

**Нормальним значенням сили тяжіння ( $\gamma_0$ )** називається сила тяжіння, зумовлена добовим обертанням і тяжінням Землі, в припущенні, що вона складається з однорідних за щільністю концентричних шарів.

Приймаючи Землю за сфероїд, **Клеро** отримав таку формулу для її розрахунку:

$$\gamma_0 = q_e(1 + \beta \sin^2 \varphi), \quad (5.6)$$

де  $q_e$  - сила тяжіння на екваторі;  $\varphi$  - географічна широта пункту спостереження;  $\beta$  - коефіцієнт, залежний від кутової швидкості обертання і стиснення сфероїда.

Проте Земля - геоїд, і нормальне значення сили тяжіння для його поверхні розраховується за формулою:

$$\gamma_0 = q_e(1 + \beta_1 \sin^2 \varphi - \beta_2 \sin^2 2\varphi + \beta_3 \cos^2 \varphi \cos 2\lambda), \quad (5.7)$$

де  $\varphi$  - географічна широта точки спостереження;  
 $\lambda$  - географічна довгота точки спостереження.

Коефіцієнти  $\beta$  залежать від форми Землі, її кутової швидкості обертання, розподілу мас. За численними вимірами можна визначити ці невідомі коефіцієнти.



В наш час використовується формула, в якій коефіцієнти дорівнюють:  $\beta = 0,0053024$ ,  $\beta_1 = 0,0000059$ ,  $\beta_2 = 0$  и  $q_e = 978,013$  гал.

Складені спеціальні таблиці, за якими легко визначити величину нормального значення ( $\gamma_0$ ) для будь-якої точки земної поверхні.

Вимірявши  $g_e$  в будь-якій точці і віднявши  $\gamma_0$ , отримаємо аномалію сили тяжіння.

Таким чином, геоїд є відносною поверхнею, для якої розраховують аномалії.

Нормальні значення прискорення сили тяжіння змінюються в межах від  $9,78 \text{ м/с}^2$  на екваторі до  $9,83 \text{ м/с}^2$  на полюсах.

У гравіметрії за одиницю виміру сили тяжіння береться мілігал (мГал):  
 $1 \text{ мГал} = 10^{-3} \text{ Гал} = 10^{-5} \text{ м/с}^2$ .

$$1 \text{ м/с}^2 = 100 \text{ Гал}$$

Гравітаційні аномалії, що мають геологічну природу, досягають  $(3 - 30) \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$ .

Тимчасові варіації, зумовлені приливною дією космічних тіл, і в першу чергу Місяця та Сонця, яка приводить до періодичних змін висоти земної поверхні, а також до повільного перерозподілу гравітаційних мас усередині земної кулі, можуть становити  $3,4 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$ , а можлива величина вікових змін сили тяжіння протягом року - менша ніж  $1,0 \cdot 10^{-4} \text{ м/с}^2$ .

Зміни сили тяжіння на поверхні літосфери зумовлені інженерною діяльністю людини: витягання з надр Землі значної кількості викопної сировини, штучне зниження або підвищення рівня підземних вод, створення водосховищ, будівництво крупної міської агломерації, порівнянні з варіаціями.

Сила тяжіння може змінюватися при протіканні екологічно значущих геологічних процесів, таких, наприклад, як:

- а) сейсмотектонічні переміщення;
- б) обвальні явища;
- в) зсуви і карстоутворення;
- г) процеси, пов'язані з просіданням земної поверхні;
- д) переробкою берегів крупних водосховищ і тому подібне.

У практиці частіше вимірюються не абсолютні ( $g$ ), а відносні значення (або прирощення) прискорення сили тяжіння по відношенню до якого-небудь опорного пункту ( $\Delta g$ ).

Точність вимірів різними типами гравіметрів на суші становить  $0,01 - 0,5 \text{ мГал}$ , на морі і в повітрі -  $1 \text{ мГал}$ , а при вимірі варіометрами і градієнтометрами - близько  $1 \text{ Е}$  (етвеш),  $1 \text{ Е} = 1 \text{ мГал/км}$ .

### Редукція сили тяжіння.

У значення сили тяжіння вводяться *поправки (редукції)*. Введення поправок необхідно тому, що нормальні значення відносяться до поверхні геоїда, яка збігається з рівнем океану, а вимірні значення відносяться до дійсної (реальної) земної поверхні. Для того, щоб всі спостереження сили тяжіння можна було порівняти, їх приводять до однієї поверхні - рівня геоїда, тобто немовби опускають точку спостереження на цей рівень. Це здійснюється шляхом введення поправок *на висоту, на тяжіння проміжного прошарку та на довколишній рельєф*. Поправки називаються *редукціями*.

Основними з них є:

- а) *поправка на висоту,*
- б) *на тяжіння проміжного прошарку,*
- в) *на рельєф.*

Для приведення виміряного значення  $g_v$  до рівня океану вводять *поправку на висоту ( $\Delta g$ )*. Цю поправку називають поправкою на "вільне падіння" або *поправкою Фая*.

Формула для розрахунку *поправки на висоту* має вигляд:

$$\Delta g_n = 0,3086H, \quad (5.8)$$

де  $\Delta g_n$  (мілігал),  
 $H$  (висота над рівнем моря), м.

Ця поправка повинна додаватися до вимірної сили тяжіння, якщо точка спостережень знаходиться вище за рівень геоїда, і відніматися, якщо нижче.

При введенні поправки на *тяжіння проміжного шару ( $\Delta g_p$ )* обчислюється тяжіння мас прошарком між рівнем океану і даною точкою.

Для розрахунку цієї поправки використовують формулу тяжіння плоско паралельної пластини, яка має вигляд:

$$\Delta g_p = - 0,0419\rho H \text{ мГал}, \quad (5.9)$$

де  $H$  - абсолютна висота точки спостереження, м,  
 $\rho$  - середня щільність порід в цьому прошарку, в г/см<sup>3</sup>.

Поправка має знак, протилежний до знаку поправки на вільне падіння.

Для врахування *бічного тяжіння рельєфу місцевості*, що оточує пункт спостереження, при зйомці в гірських районах, вводяться топографічні

поправки ( $\Delta g_3$ ). Є декілька способів урахування таких поправок, які завжди додатні.

При регіональних дослідженнях суші і океанів інколи використовують ізостатичні редуції, що розраховуються спеціально і характеризують відхилення від гідростатичної рівноваги, яка існує в цілому для Землі.

Вважається, що у верхній оболонці - літосфері потужністю 100-200 км, така рівновага досягається в основному за допомогою пружного вигину. Глибше, в так званій астеносфері з нижчою в'язкістю, рівновага досягається горизонтальними течіями. Від цих чинників залежить гідростатична рівновага. У ряді районів з інтенсивними ізостатичними аномаліями вона порушена.

Аномалії сили тяжіння розраховуються за різними формулами.

**Під аномалією сили тяжіння** розуміють різницю між спостережуваним  $g_\phi$  і нормальним  $\gamma_0$  значенням сили тяжіння з врахуванням поправки  $\Phi_{aj}$ , вона розраховується за формулою:

$$g_\phi = g_\epsilon - \gamma_0 + \Delta g_n \quad (5.10)$$

і називається **аномалією Фая**.

Основною аномалією є **аномалія Буге**:

$$\Delta g_B = g_\epsilon - \gamma_0 + (\Delta g_n + \Delta g_\rho + \Delta g_3) = g_\epsilon - g_{теор}, \quad (5.11)$$

у яку вводяться всі поправки.

Під  $g_{теор}$  розуміють сумарну поправку в спостережені значення, яка може визначатись до проведення робіт, оскільки в ній є лише топографічні координати точок спостереження ( $\phi, H$ ).

Аномальне гравітаційне поле Землі відображає сумарну дію гравітуючих мас, розташованих на різних глибинах в земній корі і верхній мантії. Тому для однозначного вирішення питання про природу аномалій необхідно розділяти гравітаційні поля на регіональні, створювані глибокозалегаючими масами, і локальні, зумовлені місцевими геологічними неоднорідностями розрізу.

## 5.2 Геомагнітне поле

Вивчення магнітного поля Землі дає якісно нову інформацію про глибинний стан речовини її надр, яку не можна визначити традиційними методами сейсмології і вивчення динаміки планет.

**Земний магнетизм**, геомагнетизм, магнітне поле Землі і

навколоземного космічного простору; розділ геофізики, що вивчає розподіл в просторі і зміни в часі геомагнітного поля, а також пов'язані з ним геофізичні процеси в Землі і верхній атмосфері.

У кожній точці простору геомагнітне поле характеризується вектором напруженості  $T$ , величина і напрям якого визначаються трьома складовими  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  (північною, східною і вертикальною) у прямокутній системі координат (рис.3.7) або трьома елементами земного магнетизму: горизонтальною складовою напруженості  $H$ , магнітним схиленням  $D$  (кут між  $H$  і площиною географічного меридіана) і магнітним нахиленням  $I$  (кут між  $T$  і площиною горизонту). Вектор  $T$  прийнято називати **повним вектором земного магнітного поля**.

Значення вектора  $T$  інваріантне, тобто не залежить від вибору системи координат. Користуючись рис. 5.2, легко отримати вираз для всіх елементів земного магнетизму:

$$\begin{aligned}x &= H \cos D; & y &= H \sin D; & z &= H \tan I, \\T &= (H^2 + z^2)^{1/2}; & H &= (x^2 + y^2)^{1/2}, & & (5.12) \\I &= \arctg z/H; & D &= \arctg y/x.\end{aligned}$$

Горизонтальні і вертикальні компоненти повного вектора магнітного поля  $T$  можна визначити також через кут  $I$ :

$$H = T \cos I; \quad z = T \sin I. \quad (5.13)$$

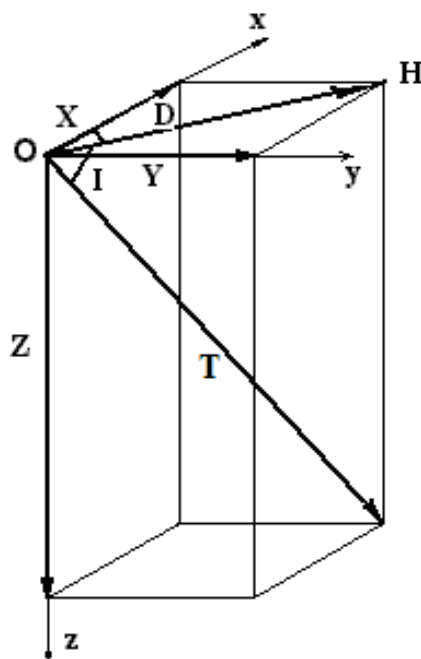


Рис. 5.2 - Елементи земного магнетизму

Точки на земній поверхні, де магнітне нахилення  $I = 90^\circ$ , називаються **північним і південним магнітними полюсами**.

Лінія на земній поверхні, де магнітне нахилення  $I = 0^\circ$ , називається **магнітним екватором**.

На північ від магнітного екватора вертикальна складова  $z$  вважається позитивною, на південь - негативною. Підставляючи значення  $I$  на екваторі і на полюсі у вираз (5.13), визначимо, що на магнітних полюсах горизонтальна складова  $H$  дорівнює нулю ( $H_{\text{п}} = 0$ ), а вертикальна дорівнює повному вектору  $T$  ( $z_{\text{п}} = T$ ).

На екваторі, навпаки, горизонтальна складова  $H_e$  дорівнює повному вектору  $T$  ( $H_e = T$ ), а вертикальна  $z_e$  дорівнює нулю ( $z_e = 0$ ).

**Земний магнетизм** зумовлений дією постійних джерел, розташованих усередині Землі, які зазнають лише повільних вікових змін (варіації), і зовнішніх (змінних) джерел, розташованих в магнітосфері Землі і іоносфері. Відповідно розрізняють основне (головне  $\sim 99\%$ ) і змінне ( $\sim 1\%$ ) геомагнітні поля.

#### **Основне (постійне) геомагнітне поле.**

Для вивчення просторового розподілу основного геомагнітного поля, виміряні в різних місцях значення  $H$ ,  $D$ ,  $I$  наносять на карти (магнітні карти) і сполучають лініями точки рівних значень елементів. Такі лінії називають відповідно **ізодинамами, ізогонами, ізоклінами**.

Лінія (ізокліна)  $I = 0$ , тобто магнітний екватор, не збігається з географічним екватором. Із збільшенням широти значення  $I$  зростає до  $90^\circ$  у магнітних полюсах. Повна напруженість  $T$  від екватора до полюса зростає з 33,4 до 55,7 а/м.

Координати *північного магнітного полюса* на 2010р.:

довгота  $132^\circ 36'$  зах. д., широта  $85^\circ 00'$  півн. ш.;

*південного магнітного полюса*:

довгота  $137^\circ 18'$  сх. д., широта  $64^\circ 24'$  півд. ш.

Складну картину розподілу геомагнітного поля в першому наближенні можна представити полем магнітного диполя (із зміщенням від центра Землі приблизно на 436 км) або однорідно намагніченої кулі, вісь якої направлена під кутом  $11,5^\circ$  до осі обертання Землі.

Полюси геомагнітні (полюси однорідно намагніченою кулею) і полюси магнітні задають відповідно систему геомагнітних координат (широта геомагнітна, меридіан геомагнітний, екватор геомагнітний) і магнітних координат (широта магнітна, меридіан магнітний).

Відхилення дійсного розподілу геомагнітного поля від дипольного (нормального), називають *магнітними аномаліями*.

Залежно від інтенсивності і величини займаної площі розрізняють світові *аномалії глибинного походження*, наприклад Східносибірську, Бразильську і ін., а також *аномалії регіональні* і *локальні*. Останні можуть спричинятись, наприклад, нерівномірним розподілом в земній корі феромагнітних мінералів.

Вплив світових аномалій позначається до висот  $\sim 0,5R_z$  над поверхнею Землі ( $R_z$  - радіус Землі). Основне геомагнітне поле має дипольний характер до висот  $\sim 3R_z$ .

Воно зазнає *вікових варіацій*, неоднакових на всій земній кулі. У місцях найбільш інтенсивного вікового ходу варіації досягають 150g на рік ( $1g = 10^{-5}e$ ).

Спостерігається також систематичний *дрейф магнітних аномалій до заходу* зі швидкістю близько  $0,2^\circ$  на рік і зміну величини і напрямку магнітного осі Землі зі швидкістю  $\sim 20g$  на рік.

Через вікові варіації і недостатню вивченість геомагнітного поля на великих просторах (океанах і полярних областях) виникає необхідність заново складати магнітні карти.

З цією метою проводяться світові магнітні зйомки на суші, в океанах (на немагнітних судах), в повітряному просторі (аеромагнітна зйомка) і в космічному просторі (за допомогою штучних супутників Землі). Для вимірів застосовують: магнітний компас, магнітний теодоліт, магнітні ваги, інклінометр, магнітометр, аеромагнітометр та інші прилади. Вивчення земного

магнетизму і складання карт всіх його елементів відіграє важливу роль для морської і повітряної навігації, в геодезії, маркшейдерській справі.

### ***Походження основного геомагнітного поля***

Для пояснення походження основного геомагнітного поля висувалося багато різних гіпотез, у тому числі навіть гіпотези про існування фундаментального закону природи, згідно якому всяке тіло, що обертається, має магнітний момент.

Робилися спроби пояснити основне геомагнітне поле присутністю феромагнітних матеріалів в корі Землі або в її ядрі; рухом електричних зарядів, які, беручи участь в добовому обертанні Землі, створюють електричний струм; наявністю в ядрі Землі струмів, що спричиняються термоелектрорушійною силою на межі ядра і мантії, і так далі, і, нарешті, дією так званого гідромагнітного динамо в рідкому металевому ядрі Землі.

Сучасні дані про вікові варіації і багатократні зміни полярності геомагнітного поля задовільно пояснюються лише гіпотезою про гідромагнітне динамо (ГД). Згідно цій гіпотезі, *в електропровідному рідкому ядрі Землі можуть відбуватися досить складні і інтенсивні рухи, що приводять до самозбурення магнітного поля, аналогічно тому, як відбувається генерація струму і магнітного поля в динамо-машині із самозбуренням.*

Дія ГД ґрунтується на електромагнітній індукції в рухомому середовищі, яке в своєму русі перетинає силові лінії магнітного поля. Загальна теорія ГД, яка досліджує і генерацію поля, і "двигун" земного ГД, тобто походження рухів, знаходиться ще в початковій стадії розвитку і в ній ще багато гіпотетичного.

*Як причини, що викликають рухи, висувуються Архімедові сили, зумовлені незначними неоднорідностями щільності в ядрі та сили інерції.*

Перші можуть бути пов'язані або з виділенням тепла в ядрі і тепловим розширенням рідини (термічна конвекція), або з неоднорідністю складу ядра унаслідок виділення домішок на його межах. Другі можуть спричинятися прискоренням, зумовленим прецесією земної осі.

Близькість геомагнітного поля до поля диполя з віссю, майже паралельною осі обертання Землі, ***вказує на тісний зв'язок між обертанням Землі і походженням*** Земного магнетизму. Обертання створює силу Коріоліса, яка відіграє істотну роль в механізмі ГД Землі.

Залежність величини геомагнітного поля від інтенсивності руху речовини в земному ядрі складна і вивчена ще недостатньо. Згідно з палеомагнітним дослідженням, величина геомагнітного поля зазнає коливання, але в середньому, за порядком величини, вона зберігається

незмінною протягом довгого часу - близько сотні млн років.

*Функціонування ГД Землі пов'язано з багатьма процесами в ядрі і в мантії Землі, тому вивчення основного геомагнітного поля і земного ГД є істотною частиною всього комплексу геофізичних досліджень внутрішньої будови і розвитку Землі.*

**Змінне геомагнітне поле.** Виміри, виконані на супутниках і ракетах, показали, що взаємодія плазми *сонячного вітру* з геомагнітним полем веде до порушення дипольної структури поля з відстані  $\sim 3 R_3$  від центра Землі.

Сонячний вітер локалізує геомагнітне поле в обмеженому об'ємі навколоземного простору - магнітосфері Землі, при цьому на межі магнітосфери динамічний тиск сонячного вітру врівноважується тиском магнітного поля Землі.

**Сонячний вітер** стискує земне магнітне поле з денного боку і відносить геомагнітні силові лінії полярних областей на нічну сторону, утворюючи поблизу площини екліптики магнітний хвіст Землі протяжністю не менше ніж 5 млн. км. (рис.5.3).

Приблизно дипольна область поля із замкнутими силовими лініями (внутрішня магнітосфера) є магнітною пасткою заряджених частинок навколоземної плазми.

Обтікання магнітосфери плазмою сонячного вітру із змінною щільністю і швидкістю заряджених частинок, а також прорив частинок в магнітосферу спричиняють зміни інтенсивності систем електричних струмів в магнітосфері та іоносфері Землі.

Перехідна область примикає безпосередньо до магнітосфери Землі, межа якої – **магнітопауза** - проходить там, де динамічний тиск сонячного вітру врівноважується тиском магнітного поля Землі. Вона розташована з боку Сонця на відстані 12 земних радіусів (70-80 тис. км) від центра Землі, її товщина - 100 км. Напруженість магнітного поля Землі в магнітопаузі становить  $\sim 8 \cdot 10^{-2}$  А/м ( $10^{-3}$  е), тобто значно вища за напруженість поля сонячної плазми на рівні орбіти Землі.

Приблизно до відстані трьох земних радіусів ( $\sim 20$  тис. км) від центра Землі магнітне поле ще досить близьке до поля магнітного диполя (напруженість поля убуває з висотою  $\sim 1/R_3$ ). Регулярність поля тут порушують лише магнітні аномалії (вплив аномалій позначається до висот  $\sim 0,5 R$  над поверхнею Землі).

На відстанях, що перевищують  $\sim 20$  тис. км, магнітне поле слабшає повільніше, ніж поле диполя, а його силові лінії з сонячного боку дещо притиснуті до Землі. Лінії геомагнітного поля Землі, які виходять з полярних областей, відхиляються сонячним вітром на нічну сторону Землі. Там вони



утворюють хвіст, або шлейф магнітосфери протяжністю більше ніж 5 млн. км.

*Магнітні збурення, що охоплюють всю Землю і продовжуються від одного до декількох днів, називаються **світовими магнітними бурями**, під час яких амплітуда окремих складових може перевершити 1000g.*

**Магнітна буря** - один з проявів сильних збурень магнітосфери, параметрів сонячного вітру, що виникають при зміні, особливо, швидкості його частинок, і нормальної складової міжпланетного магнітного поля відносно площини екліптики. Сильні збурення магнітосфери супроводжуються появою у верхній атмосфері Землі **полярних сяйв**, іоносферних збурень, рентгенівського і низькочастотного випромінювань.

#### ***Практичні використання явищ Земного магнетизму.***

Під дією геомагнітного поля магнітна стрілка розташовується в площині магнітного меридіана. Це явище з прадавніх часів використовується для орієнтування на місцевості, прокладення курсу суден у відкритому морі, в геодезичній і маркшейдерській практиці, у військовій справі і так далі. Дослідження локальних магнітних аномалій дозволяє виявити корисні копалини, в першу чергу залізняка, а в комплексі з іншими геофізичними методами розвідки - визначити місце їх залягання і запаси. Значного поширення набув магнітотелуричний спосіб зондування надр Землі, в якому за полем магнітної бурі обчислюють електропровідність внутрішніх шарів Землі і оцінюють існуючі там тиск і температуру.

Одним з джерел відомостей про верхні шари атмосфери служать геомагнітні *варіації*. Магнітні збурення, пов'язані, наприклад, з магнітною бурєю, настають на декілька годин раніше, ніж під її дією відбуваються зміни в іоносфері, що порушують радіозв'язок. Це дозволяє робити магнітні прогнози, необхідні для забезпечення безперебійного радіозв'язку. Геомагнітні дані служать також для прогнозу радіаційної обстановки в навколосезонному просторі при космічних польотах.

***Постійність геомагнітного поля до висот в декілька радіусів Землі використовується для орієнтації і маневру космічних апаратів.***

Геомагнітне поле впливає на живі організми, рослинний світ і людину. Наприклад, в періоди магнітних бур збільшується кількість серцево-судинних захворювань, погіршується стан хворих, які страждають на серцево-судинні захворювання.

*Сонячний вітер* - це постійне радіальне виділення плазми сонячної корони в міжпланетний простір. Утворення сонячного вітру пов'язане з потоком енергії, яка надходить в корону з глибших шарів Сонця.

Постійний нагрів корони, яка має температуру 1,5-2 млн. градусів, не врівноважується втратою енергії за рахунок випромінювання, оскільки

щільність корони мала. Надлишкову енергію відносять частинки сонячного вітру. По суті сонячний вітер - це сонячна корона, що безперервно розширюється. Тиск нагрітого газу спричиняє її стаціонарне гідродинамічне виділення з поступово наростаючою швидкістю. Магнітне поле, яке відноситься сонячним вітром, частково "вимітає" галактичні космічні промені з навколосонячного простору, що приводить до зміни їх інтенсивності на Землі. Вивчення варіацій космічних променів дозволяє досліджувати сонячний вітер на великих відстанях від Землі і, що особливо важливо, поза площиною екліптики. Зміни інтенсивності **Сонячного вітру є основною причиною збурень геомагнітного поля**: магнітних бур, полярних сяйв, нагріву верхньої атмосфери Землі, а також ряду біофізичних і біохімічних явищ.

**Радіаційні пояси Землі** - це внутрішні області земної магнітосфери, в яких магнітне поле Землі утримує заряджені частинки (протони, електрони, альфа-частинки), які мають кінетичну енергію.

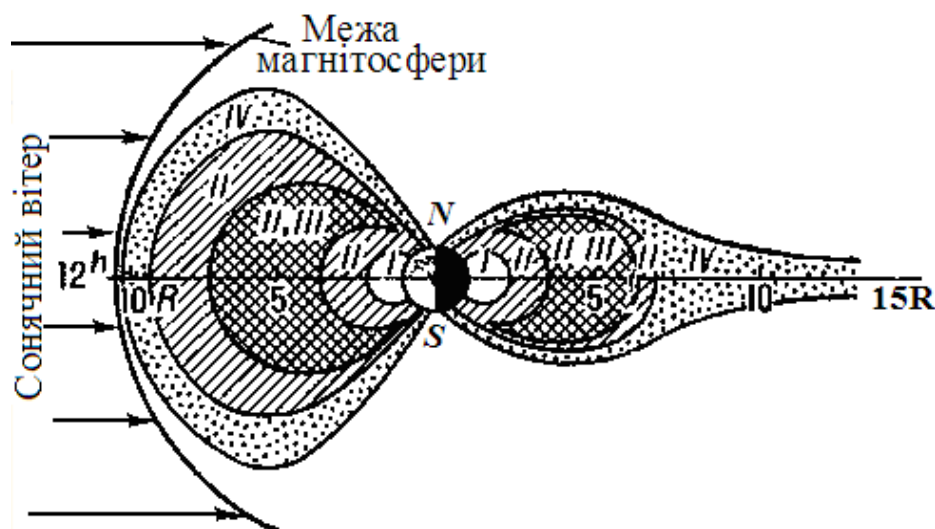


Рис. 5.3 - Структура радіаційних поясів Землі (перетин відповідає полуденному меридіану):

I - внутрішній пояс; II - пояс протонів малих енергій;  
III - зовнішній пояс; IV - зона захвату.

Виходу заряджених частинок з радіаційних поясів Землі заважає особлива конфігурація силових ліній геомагнітного поля, яка створює для заряджених частинок магнітну пастку. При русі зарядженої частинки в магнітному полі Землі її миттєвий центр обертання знаходиться на одній і тій же поверхні, що отримала назву *магнітної оболонки* (рис.5.4).

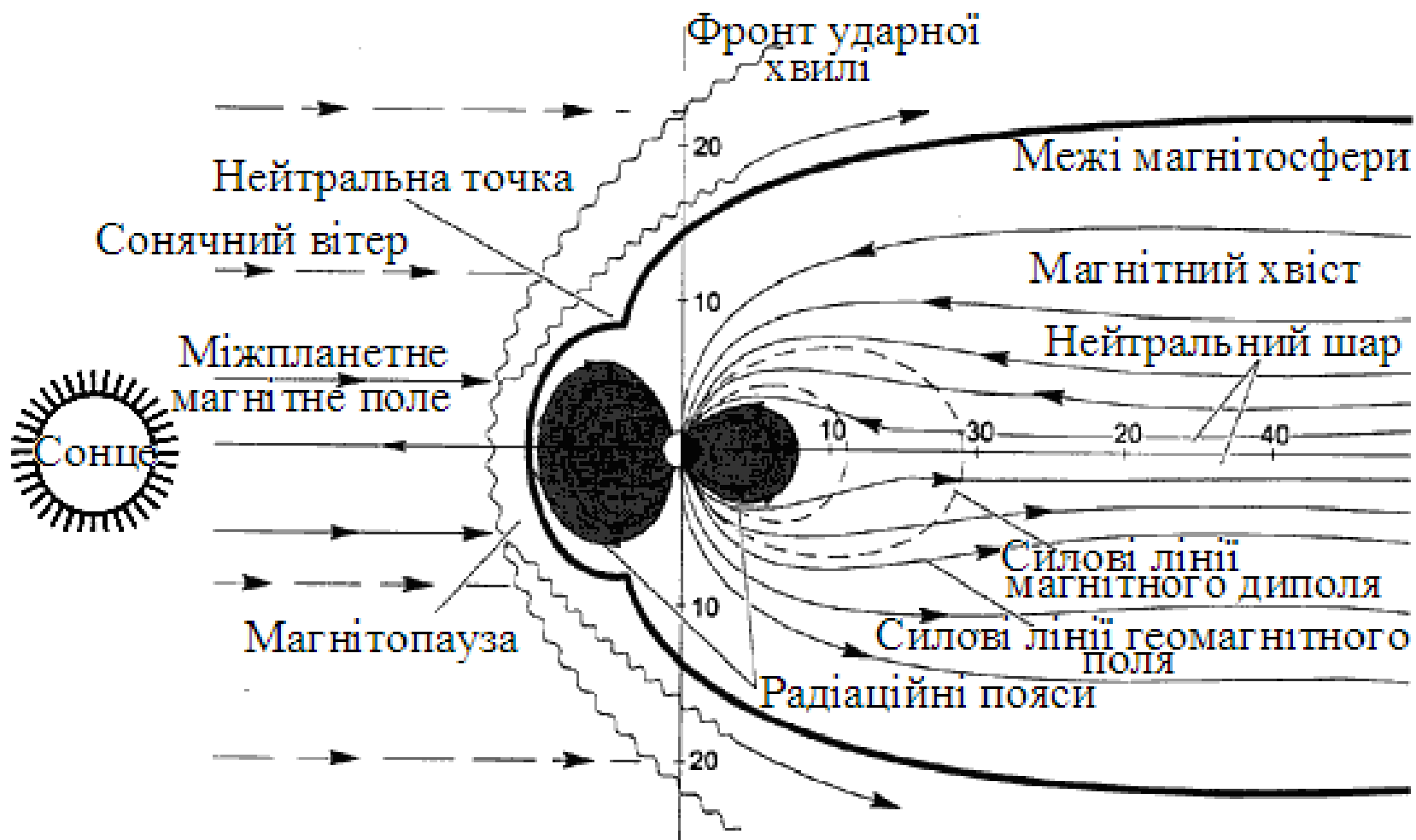


Рис. 5.4 - Магнітосфера Землі в меридіональному розрізі

Походження захоплених частинок з енергією, що значно перевищує середню енергію теплового руху атомів і молекул атмосфери, пов'язують з дією декількох фізичних механізмів:

- розпадом нейтронів, створених космічними променями в атмосфері Землі (протони, які утворюються при цьому, поповнюють внутрішні радіаційні пояси Землі);

- "накачкою" частинок в пояси під час геомагнітних збурень (магнітних бур), яка в першу чергу зумовлює існування електронів внутрішнього поясу;

- прискоренням і повільним перенесенням частинок сонячного походження із зовнішнього поясу у внутрішні області магнітосфери (так поповнюються електрони зовнішнього поясу і пояс протонів малих енергій).

Проникнення частинок сонячного вітру в радіаційні пояси Землі можливо через особливі точки магнітосфери, а також через т. з. нейтральний шар в хвості магнітосфери (з її нічного боку).

В області денних точок і в нейтральному шарі хвоста геомагнітне поле різко ослаблене і не є істотною перешкодою для заряджених частинок міжпланетної плазми.

**Радіаційні пояси мають різні тимчасові варіації:** розташований ближче до Землі і стабільніший внутрішній пояс - незначні, зовнішній пояс - найбільш часті і сильні.

Для внутрішнього радіаційного поясу Землі характерні невеликі варіації протягом 11-річного циклу сонячної активності. Зовнішній пояс помітно змінює свої межі і структуру навіть при незначних збуреннях магнітосфери. Полярні саява тривають весь час, поки йдуть ці процеси, інколи добу і більше.

Радіаційні пояси Землі можуть також створюватися штучно:

- при вибуху ядерного пристрою на великих висотах;
- при інжекції штучно прискорених частинок, наприклад, за допомогою прискорювача на борту супутника;
- при розпилюванні в навколосемному просторі радіоактивних речовин, продуктів розпаду, які були захоплені магнітним полем.

Створення штучних поясів при вибуху ядерних пристроїв було здійснене в 1958 і в 1962 роках. Так, після американського ядерного вибуху (9 липня 1962) у внутрішній пояс було інжектровано близько 1025 електронів з енергією  $\sim 1$  МеВ, що на два-три порядки перевищило інтенсивність потоку електронів природного походження. Залишки цих електронів спостерігалися в поясах протягом майже 10-річного періоду.

Радіаційні пояси Землі є серйозною небезпекою при тривалих польотах в навколосемному просторі. Потоки протонів малих енергій можуть вивести з ладу сонячні батареї і спричинити помутніння тонких оптичних покриттів.

Тривале перебування у внутрішньому поясі може призвести до променевого ураження живих організмів усередині космічного корабля під впливом протонів високих енергій.

**Магнітні бурі** - це сильні збурення магнітного поля Землі, що різко порушують плавний добовий хід елементів земного магнетизму. Вони тривають від декількох годин до декількох діб і спостерігаються одночасно на всій Землі. З найбільшою інтенсивністю (до  $\sim 5 \cdot 10^{-2}$  e) вони проявляються у високих широтах, в середніх широтах зміни напруженості геомагнітного поля під час магнітних бур коливаються в межах від  $\sim 0,1$  до  $\sim 1$  а/м ( $\sim 1 \cdot 10^{-3}$  -  $1 \cdot 10^{-2}$  e).

Магнітні бурі спричиняються потоками сонячної плазми з активних областей Сонця, що накладаються на спокійний сонячний вітер, тому вони частіше спостерігаються поблизу максимумів 11-річного циклу сонячної активності. Досягаючи Землі, потоки сонячної плазми збільшують стискання магнітосфери, викликаючи початкову фазу магнітних бур, і частково проникають всередину магнітосфери Землі.

*Магнітні бурі супроводжуються виникненням у верхній атмосфері Землі полярних сьйв, іоносферних збурень, рентгенівського і низькочастотного випромінювань.*

Під час магнітних бур істотно змінюються параметри шарів іоносфери, які відбивають і поглинають радіохвилі (висота їх розташування, концентрація електронів та інші). В результаті виникають значні перешкоди в короткохвильовому радіозв'язку. Під час магнітних збурень відбувається також розігрівання верхньої атмосфери і передача теплоти вниз, в тропосферу, що сприяє розвитку в ній циркуляційних рухів і виникненню циклонів.

**Полярні сьйва** - це свічення верхніх розріджених шарів атмосфери, спричинене взаємодією атомів і молекул на висотах 90 - 1000 км із зарядженими частинками великих енергій (електронами і протонами), що вторгаються в земну атмосферу з космосу.

Спектр полярних сьйв змінюється з широтою.

Вторгнення в атмосферу частинок, які викликають *полярні сьйва*, є результатом складної взаємодії сонячного вітру з геомагнітним полем. Під дією сонячного вітру магнітосфера стає асиметричною, витягуючись в протилежному від Сонця напрямі. Вивчення полярних сьйв має два різні аспекти.

*По-перше*, оптичне випромінювання, будучи одним з кінцевих результатів процесів в просторі між Землею і Сонцем, може служити джерелом інформації про процеси в навколоземному космічному просторі, зокрема для діагностики магнітосфери.

*По-друге*, за даними оптичного випромінювання можна судити про дію первинного потоку частинок на іоносферу. Такі дослідження необхідні у зв'язку з проблемою поширення радіохвиль і іншими явищами в радіодіапазоні.

Зовнішнє магнітне поле Землі - *магнітосфера*, поширюється в космічному просторі більш ніж на 20 земних діаметрів і надійно захищає нашу планету від потужного потоку космічних частинок.

Найбільш же яскравим проявом магнітосфери є **магнітні бурі** - швидкі хаотичні коливання всіх компонентів геомагнітного поля. Часто магнітні бурі охоплюють всю земну кулю: вони реєструються всіма магнітними обсерваторіями світу - від Антарктиди до Шпіцбергену, причому вигляд магнітограм, отриманих в найвіддаленіших точках Землі, дивно схожий. Тому не випадково такі магнітні бурі називають *глобальними*.

Амплітуда коливань магнітного поля під час бурі в сотні, а то і в тисячі разів перевищує рівень коливань в "спокійні" дні, проте по відношенню до головного (внутрішнього) магнітного поля Землі вони зазвичай збільшуються не більше ніж на 1-3%.

Зовнішнє магнітне поле - це поле струменів в іоносфері - зовнішній оболонці атмосфери Землі, розташованій приблизно на відстані від 100 до 600 км від її поверхні. Ця оболонка насичена частково іонізованим газом - плазмою, яка пронизується геомагнітним полем. Обертання Землі неминуче приводить до обертання її газових зовнішніх оболонок, які, окрім земного тяжіння, зазнають тиску сонячного вітру.

Земний щит від космічних бур - це тонкий шар зовнішньої іоносфери, розташований на висоті між 300 і 1000 км, який містить електрично заряджені атоми, цей екран поглинає енергію космічних збурень. Останні спостереження, проведені з орбітального космічного апарату, показали, що зовнішній шар земної атмосфери діє подібно до теплового екрану, поглинаючи енергію космічних штормів і знижуючи їх здатність нагрівати нижні шари атмосфери.

Платою за роботу цього щита є створення довкола нашої планети *хмари іонізованого газу*, нагрітого до мільярда градусів. Це відкриття підтверджує факт, що магнітосфера Землі активно бере участь в космічних збуреннях.

*У природі електричне поле і магнітне відомі як дві складові електромагнітного поля.*

Обидві ці складові існують в природі, як в природному стані, так і є результатом діяльності людини. Різниця між ними полягає в тому, що в більшості природні поля постійні, тобто вони не змінюють полярність. На відміну від цього - поля штучного походження змінні, оскільки вони генеруються змінним струмом.

У міжнародній практиці напруженість електричного поля позначається символом  $E$  і вимірюється у вольтах на метр (В/м). Напруженість магнітного поля  $H$  вимірюється в амперах на метр (А/м) або у величинах магнітної індукції  $B$  у теслах (Тл) або гаусах (гс).

**Збурення магнітного поля Землі.** Магнітне поле Землі зазнає вікових змін, які пов'язані з причинами, що лежать в надрах Землі. Проте існують зміни магнітного поля, які мають періодичний характер. Ці зміни зумовлені зовнішніми причинами і пов'язані з діяльністю Сонця. Всі геомагнітні коливання умовно підрозділяють на два класи: *регулярні і нерегулярні*.

У навколосемному космічному просторі і на поверхні Землі коливання геомагнітного поля відбуваються в широкому діапазоні частот ( $10^{-5}$  -  $10^2$  Гц) і амплітуд ( $10^{-3}$  -  $10^{-7}$  е). У спокійний час в низьких і середніх широтах спостерігаються періодичні *сонячні добові і місячно-добові магнітні варіації* з амплітудами 30-70 гамм і 1-5 гамм відповідно.

Магнітні збурення, що охоплюють всю Землю і продовжуються від одного до декількох днів, *називаються світовими магнітними бурями*, під час яких амплітуда окремих складових може перевершити 1000 гамм.

**Магнітні бурі**, як правило, протікають в три фази. У першу фазу, яка продовжується декілька годин, відбувається зростання горизонтальної складової поля  $H$  до декількох десятків і навіть сотень гамм. Приблизно після години починається убування величини горизонтальної складової до напруженості на 100 гамм нижчу від нормальної. Це друга фаза, яка продовжується приблизно 12 год.

Наступна, завершальна фаза, під час якої напруженість досягає норми, продовжується декілька днів. Це, перш за все, відноситься до магнітних бурь, що спостерігаються поблизу полярних сьйв.

За інтенсивністю магнітні бурі умовно поділяють на дуже великі (більше 200-500 гамм), великі (100-200 гамм) і малі (50 гамм).

Слабкі магнітні бурі мають 27-денну періодичність. Це дає підставу вважати, що на Сонці існують магнітоактивні області ( $M$  області), період появи їх дорівнює часу оберту Сонця довкола своєї осі (27 земних діб).

Геомагнітне поле є важливим чинником, який впливає на такі фундаментальні властивості еволюційного розвитку всіх без винятку живих організмів, як спадковість і мінливість, відповідальні за рівень і хід мутагенезу в природі. Отже, ГМП - визначальний чинник в прояві найосновніших властивостей живих організмів, і істотну роль в цьому відіграють молекули води.

**Штучні магнітні і електричні поля і їх вплив на природу і людину.**

Магнітні і електромагнітні поля, тобто електромагнітне випромінювання

присутні скрізь. Проте напруженість їх всіяка і залежить від джерела випромінення. Постійні магнітні поля створюються за допомогою постійних магнітів і електромагнітів, що живляться від джерел постійного струму.

Змінні магнітні поля створюються спеціальними генераторами і іншими електротехнічними і радіоелектронними пристроями. Наприклад, поля низької частоти 50-60 Гц генеруються мережами і споживачами змінного струму. У деяких країнах джерелами електромагнітного випромінювання низької частоти є силові мережі залізниць з частотою 16 і 2/3 Гц.

Окрім змінних полів, що створюються мережами живлення, електричні пристрої генерують інші частоти залежно від їх функцій.

Джерелами електромагнітних випромінювань є зв'язок і радіомовлення (телебачення, мобільні радіосистеми, телекомунікації, радіомережі, системи зв'язку пожежних служб, військові системи зв'язку, радіолюбительські передавачі, супутникові системи зв'язку, радары ППО і тому подібне).

*Джерелами сильного магнітного поля є промислове і наукове устаткування, використовуване, наприклад, при вторинній плавці алюмінію, електрохімічній і електроерозійній обробці металів; мікрохвильові і плавильні печі, електричні системи, прискорювачі частинок, зварювальні агрегати і ін. Джерелами сильного магнітного поля в медицині є устаткування, використовуване при плазмовому нагріві, томографії, діатермії, в електрохірургії і тому подібне.*

### **Вплив магнітного поля на живі організми.**

Магнітні поля мають всебічний вплив на живі організми. Механізм цього впливу вельми всіякий і залежить від багатьох чинників, він може використовуватися в різних практичних цілях.

Магнітні поля є різновидом фізичної матерії, що здійснює зв'язок і взаємодію між електрично зарядженими частинками.

Відомо, що тканини організму діамагнітні, тобто під впливом магнітного поля не намагнічуються, проте багато складових елементів тканин (наприклад, вода, кров) можуть в магнітному полі набирати магнітних властивостей.

*Фізична суть дії магнітного поля на організм людини полягає в тому, що воно впливає на рухомі заряджені частинки, впливаючи, таким чином, на фізико-хімічні і біохімічні процеси. Основою біологічної дії МП вважають наведення ЕДС в потоці крові та лімфи.*

Останніми роками став відомий термін "електромагнітний тероризм", який виник через те, що в світі з'явилися "фахівці", які створюють і використовують пристрої, які генерують електромагнітне випромінювання в широкому діапазоні частот і потужностей. Таке організоване електромагнітне випромінювання справляє сильну "паразитичну" дію на навігаційну



апаратуру аеропортів; засоби спеціального зв'язку міліції, швидкої допомоги, обчислювальні комплекси важливого призначення і так далі.

У зв'язку з цим виникає необхідність створення і впровадження спеціальної високочутливої апаратури для виявлення джерел магнітного і електромагнітного випромінювання з метою локалізації їх діяльності. На відміну від смогу, який ми бачимо і відчуваємо, людина не може безпосередньо відчувати електромагнітні поля. Тому необхідно озброїти населення відповідною апаратурою і портативними приладами, у тому числі й індивідуального користування.

### 5.3 Теплове поле Землі

Теплове поле Землі визначається випромінюванням Сонця і теплом, що виділяється внутрішньоземними джерелами.

Найбільшу кількість енергії Земля отримує від Сонця, але значна частина її відбивається знову в світовий простір.

Кількість отриманого і відбитого Землею сонячного тепла неоднакова для різних широт. Середньорічна температура окремих пунктів в кожній півкулі зменшується від екватора до полюсів. Нижче за поверхню Землі вплив сонячного тепла різко знижується, внаслідок чого на невеликій глибині розташовується **пояс постійної температури**, яка дорівнює середньорічній температурі певної місцевості. Глибина розташування поясу постійних температур в різних районах коливається від перших метрів до 20-30 м.

Нижче за пояс постійних температур важливого значення набуває **внутрішня теплова енергія Землі**.

Давно встановлено, що в шахтах, копальнях, бурових свердловинах відбувається **постійне збільшення температури з глибиною**, пов'язане з тепловим потоком з внутрішніх частин Землі.

Тепловий потік вимірюється в калоріях на квадратний сантиметр за секунду - мккал/(см<sup>2</sup>с). За чисельними даними середня величина теплового потоку приймається рівною 1,4-1,5 мккал/(см<sup>2</sup>с). Проте дослідження, проведені як на континентах, так і в океанах, показали значну мінливість теплового потоку в різних структурних зонах.

За даними О.А. Любимової, найменші значення теплового потоку відмічені в районі древніх кристалічних щитів (Балтійському, Українському, Канадському), вони дорівнюють в середньому 0,85 мккал/(см<sup>2</sup>с) (при коливаннях від 0,6 до 1,1).

У рівнинних областях Землі тепловий потік знаходиться в інтервалі 1,0-1,2 мккал/см<sup>2</sup>с і лише місцями на окремих височинах збільшується до 1,3-1,4 мккал/см<sup>2</sup>с. У палеозойських орогенічних областях, таких, як Урал,

Аппалачі, інтенсивність потоку піднімається до 1,5 мккал/(см<sup>2</sup>с).

**Які ж джерела тепла є всередині Землі?** Як відомо, відповідно до сучасного уявлення, Земля сформувалася в результаті акреції газопопилових частинок протопланетної хмари у вигляді холодного тіла. Отже, всередині Землі мають бути джерела тепла, які створюють сучасний тепловий потік і високу температуру в надрах Землі. Одним з джерел внутрішньої теплової енергії є **радіогенне тепло**, пов'язане з розпадом радіоактивних елементів <sup>238</sup>U, <sup>235</sup>U, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K, <sup>87</sup>Rb.

Періоди напіврозпаду цих ізотопів відповідні віку Землі, тому до цих пір вони залишаються важливим джерелом теплової енергії. На початкових етапах розвитку Землі могли бути постачальниками тепла і короткоіснуючі радіоактивні ізотопи, які живуть недовго, такі, як <sup>26</sup>Al, <sup>38</sup>Cl та ін.

Другим джерелом теплової енергії **вважається гравітаційна диференціація речовини**, що зароджується після деякого розігрівання на рівні ядра і, можливо, в шарі **В** верхньої мантії.

Але значна частина тепла, пов'язана з гравітаційною диференціацією, мабуть, розсіювалася в просторі, особливо на початку формування планети. Додатковим джерелом внутрішнього тепла може бути припливне тертя, яке виникає при уповільненні обертання Землі через приливну взаємодію з Місяцем і меншою мірою з Сонцем.

Визначення температури в оболонках Землі ґрунтується на різних, часто непрямих даних. Найбільш достовірні температурні дані відносяться до найвищої частини земної кори, що розкривається шахтами і буровими свердловинами до максимальних глибин - 12 км. (Кольська свердловина).

*Зростання температури в градусах Цельсія на одиницю глибини називають геотермічним градієнтом, а глибину в метрах, впродовж якої температура збільшується на 1°С - геотермічним ступенем.*

Геотермічний градієнт і відповідно геотермічний ступінь змінюються залежно від геологічних умов, ендегенної активності в різних районах, а також неоднорідної теплопровідності гірських порід. При цьому, за даними Б. Гуттенберга, межі коливань відрізняються більш ніж в 25 разів.

Найбільші коливання градієнта, що часто зустрічаються, в межах 20-50°, а геотермічний ступінь - 15-45 м. Середній геотермічний градієнт приймався за 30°С на 1 км. За даними С. М. Жаркова, геотермічний градієнт біля поверхні Землі оцінюється в 20° С на 1 км.

Якщо виходити з цих двох значень геотермічного градієнта і його незмінності в надрах Землі, то на глибині 100 км мала б бути температура 3000° або 2000°С, проте це розходиться з фактичними даними.

Саме на цих глибинах періодично зароджуються магматичні осередки, з яких виливається на поверхню лава, яка має максимальну температуру 1200-

1250°. Враховуючи цей своєрідний "термометр", ряд авторів вважає, що на глибині 100 км температура не може перевищувати 1300-1500°C. При вищих температурах породи мантиї були б повністю розплавлені, що не відповідає вільному проходженню поперечних сейсмічних хвиль.

Таким чином, середній геотермічний градієнт простежується лише до деякої певної глибини від поверхні (20-30 км.), а далі він повинен зменшуватися. Але навіть і в цьому випадку в одному і тому ж місці *зміна температури з глибиною відбувається нерівномірно*. Це можна бачити на прикладі зміни температури з глибиною у Кольській свердловині, розташованій в межах стійкого кристалічного щита платформи. При бурінні цієї свердловини розраховували на геотермічний градієнт 10° на 1 км. Отже, на проектній глибині (15 км.) чекали температуру порядку 150°C. Проте такий градієнт був лише до глибини 3 км, а далі він став збільшуватися в 1,5-2,0 рази. На глибині 7 км температура була 120° С, на 10 км -180°C, на 12 км - 220° С. Передбачається, що на проектній глибині температура буде близька до 280° С.

Другим прикладом є дані по свердловині, закладеній в Прикаспії, в районі активнішого ендегенного режиму. У ній на глибині 500 м температура виявилася рівною 42,2°C, на 1500м - 69,9°C, на 2000м - 80,4°C, на 3000 м - 108,3°C. Яка ж температура в глибших зонах мантиї і ядра Землі? Більш менш достовірні дані отримані про температуру прошарку **В** верхньої мантиї. Питання про розподіл температур в мантиї нижче від прошарку **В** і в ядрі Землі ще не вивчене і тому висловлюються різні гіпотези. Можна лише передбачити, що температура *з глибиною збільшується* при значному зменшенні геотермічного градієнта і збільшенні геотермічного ступеня. Передбачають, що температура в ядрі Землі знаходиться у межах 4000-5000° С.

### *Запитання для самоконтролю*

1. Що називається геофізичними полями Землі?
2. Нормальне значення сили тяжіння, редукція і аномалії сили тяжіння?
3. У чому відмінність сили тяжіння та прискорення сили тяжіння?
4. Дайте характеристику аномалій Фая і Буге.
5. Яка природа геомагнітного поля?
6. Чим відрізняється постійне магнітне поле від змінного?
7. Що таке магнітосфера і радіаційні пояси?
8. Яка природа магнітних бур і полярних сьйв?
9. Що таке теплове поле Землі?
10. Що таке геотермічний градієнт і геотермічний ступінь?

## 6 ВПЛИВ АНТРОПОГЕННОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА ПРИРОДНІ ФУНКЦІЇ СЕРЕДОВИЩА

Людина живе на суші, точніше вона мешкає на її поверхні, йдеться про нормальні, генетично нормативні умови її існування, умови погоджені з її біологічним статусом. Це - біологічна ніша людини.

Площа суші становить 149 млн. км<sup>2</sup> або 29 % від всієї поверхні земної кулі. Населення Землі складає майже 7 мільярдів чоловік, тобто в середньому на одному квадратному кілометрі суші живе близько 50 чоловік. Насправді середня густина населення значно більша, оскільки з 149 млн. км<sup>2</sup> слід виключити площу Антарктиди, острови морів Північного Льодовитого океану, багатьох територій з тундровим ландшафтом і тайгою, пустелі, солончакові степи і високогірні області.

Тобто середня густина складає близько 100 чоловік на 1 км<sup>2</sup>. А це означає, що на одного жителя Землі в середньому припадає десь близько 1 гектара нормальної, придатної для проживання, площі суші. Це зовсім небагато. Якщо ж врахувати, що реальний розподіл густоти народонаселення істотно відрізняється від середнього, для деяких крупних регіонів вже можна говорити про перенаселення.

Таким чином, сьогодні межу океан => суша => атмосфера вже не можна розглядати без людини. *Людина - частина цієї межі. Вона належить їй, формує її, живе в ній.*

Порівняно з дійсними розмірами Землі середня товщина прошарків води в Світовому океані (приблизно 3,7 км) або середня товщина тропосфери (близько 10 км), яка містить майже 90 % всієї повітряної маси атмосфери, здаються найтоншими плівками. Але ж нормована, біологічна ніша людини набагато тонша - приблизно 2 км.

Порівнюючи цю цифру з середнім радіусом Землі (6371 км.), ми починаємо відчувати космічний масштаб наших реалій - *прошарок нашого життя мізерно тонкий, він майже невидимий*. Він становить всього лише 0.03 % від радіуса Землі.

Проте цей шар є відкритою, а не ізольованою системою: *він взаємодіє як із Землею, так і з небом*, саме це наділяє його ще однією властивістю: дозволяє взаємодіяти, немовби спілкуватися через себе, тим геосферам, які він розділяє.

Загальною екологічною канвою індустріального розвитку людства є:

- 1) людина забруднює атмосферу, підвищуючи її агресивність не лише до всього живого, але й по відношенню до гірських порід і води, впливаючи тим самим на хід такого глобального процесу, як вивітрювання;
- 2) людина будує міста, видобуває корисні копалини, створює

крупні водосховища, складає відходи гірничодобувних, переробних, збагачувальних та іншого роду підприємств. При цьому вона формує гігантські звалища побутових відходів поблизу великих промислових центрів, відвали теплових електростанцій і т.п.

Людина руйнує природну поверхню Землі, урбанізує цілі ландшафти не лише на окремих ділянках, але і в крупних регіонах, а через них, так або інакше, і на планеті в цілому. Наслідки тут виникають найрізноманітніші. Це не просто зміна рельєфу, а через нього - характер розподілу поверхневого і підземного водного стоку, але і зміна випромінюючої та поглинаючої здатності Землі по відношенню до теплового потоку Сонця. Це і формування нових геохімічних ландшафтів, найчастіше небезпечних для всього живого, та забруднення поверхневих і підземних вод, ґрунтів, рослин. У відвалах підприємств на території лише СНГ накопичено більше 52 млрд. т шлаків, коксівних, вуглевмісних та інших твердих відходів.

Людина не живе в океані, але широко використовує його. Якщо знову орієнтуватися не на аварії і екстремуми такі, як катастрофи з танкерами або запуски ракет з підводних човнів, а на звичайну людську діяльність, то можна сказати, що людина поступово забруднює океан. І, можливо, наймасштабніша біда, яка нас при цьому чекає, полягає в руйнуванні холодної плівки океану. Встановлено, що забруднення згубне для неї. А це означає, що змінюється водний баланс Землі, зміниться клімат, океан почне зникати в атмосфері і далі, розсіюватиметься в космосі, оскільки внутрішньоатмосферну межу людина ламає.

Людина живе в прошарку між небом і землею. Її життя пов'язане з формуванням нової для Землі оболонки - *техносфери*. *Техносфера і прошарок життя збігаються в просторі*.

Створюючи міста, дороги, ріллю та ін., людина немовби повзає вздовж прошарку і тому особливо не змінює його принципово. Але коли вона почала добувати нафту, природний газ, вугілля, ядерне паливо, тобто стала переміщатися упоперек прошарку, піднявши з надр те, що належало іншій системі, іншому прошарку – надрам, вона знову взяла не своє і продовжує брати все більше і більше. Те, що вона бере, спалює, змінюючи тепловий і газовий баланс свого прошарку, тим самим змінює *межу прошарку життя*, порушує його баланс, виводячи його із стійкого стану, змінює його характеристики.

Саме порушення меж живого прошарку створюють для людства принципові проблеми. Чи зможе воно їх вирішити? Для цього людина повинна зрозуміти їх фундаментально і правильно поставити завдання. Як треба ставитися до природи? Як ми повинні жити на Землі? Нам ніхто нічого пояснювати не буде і не повинен.

Розглянуті вище загальні закономірності впливу діяльності людини на компоненти природного середовища дозволяють вважати техногенез важливим та глобальним фактором геологічного розвитку планети. Це підтверджується результатами техногенного впливу на атмосферу, гідросферу, біосферу, склад і будову земної кори, змінами в рельєфі. При цьому зміни самих природних об'єктів і процесів настільки значні, що порушення окремих елементів природної рівноваги можуть бути катастрофічними. Наслідки подібних порушень важко передбачити, проте погіршення стану довкілля вже сьогодні є очевидним, про що свідчать численні результати екологічних досліджень.

Вивчення та аналіз процесів, які виникають і розвиваються в складній системі людина - геологічне середовище, а також впливу науково-технічного процесу на природу дають можливість науково обґрунтовувати умови взаємодії суспільства з навколишнім середовищем, і на цій основі, розробити систему заходів, направлених на охорону довкілля. Інтенсифікація діяльності людини, пов'язана з видобутком твердих корисних копалин, нафти, газу, води та перетворенням рельєфу земної поверхні, як це вже неодноразово зазначалось, веде до порушення тісних взаємовідношень у геологічному середовищі, які утримують у певній природній рівновазі всю природну систему під назвою Земля. Проте, порушення цих тісних зв'язків між певними складовими нашої планети, а також зміни всередині них, здебільшого носять незворотний характер і можуть розвиватися в явно негативних для людства напрямках. Так, наприклад, утворення під землею порожнин (шахт, штолень, порожнин вилуговування тощо) у зв'язку з відпрацюванням корисних копалин, призводить, з однієї сторони, до перехоплення підземних вод, що спричиняє пониження їх рівня і навіть зникнення ґрунтових вод, а це в свою чергу призводить до висушування ґрунтів; з другої сторони - до розвитку гравітаційних процесів: провалів, обвалів, зсувів тощо, тобто до такої зміни поверхні, внаслідок якої вона стає непридатною як для будівництва, так і для сільськогосподарського використання. В результаті на поверхні Землі виникає *ландшафт антропогенного бедленду* - "дурних" земель, непридатних для культивування людиною. Антропогенний бедленд на сьогодні вже займає 3% поверхні суходолу.

Безсистемне складування на поверхні Землі відходів гірничодобувної промисловості, насичення атмосфери тонкоуламковими та газоподібними відходами - пилом, газами - веде до забруднення довкілля, зміни клімату, наносить шкоду рослинному та тваринному світу і людині.

Основним завданням є прогнозування змін в навколишньому середовищі при техногенезі, найбільш раціональне, з мінімальними порушенням цього середовища, планування та проведення

геологорозвідувальних робіт і робіт, що пов'язані з видобутком корисних копалин, інженерно-технологічною та сільськогосподарською діяльністю людини.

Інше завдання полягає в розробці заходів, спрямованих на ліквідацію наслідків згаданих вище робіт. До таких заходів відносяться: рекультивація територій гірничих виробок та інженерно-технічних споруд міського ландшафту з метою приведення його до придатного стану для подальшого використання людиною; відновлення (часткове або повне) природних взаємовідношень між геологічним середовищем, біосферою, гідросферою, атмосферою. Не менш важливим напрямком охорони середовища є боротьба зі шкідливими наслідками природних процесів, захист природного середовища від стихійних явищ - ураганів, тайфунів, селів, повеней, зсувів, обвалів, вулканічних вивержень, землетрусів тощо.

Із зазначеного очевидно, що охороною навколишнього середовища повинні займатися насамперед екологи, гідроекологи, геохіміки, геофізики і метеорологи та гідрологи. Охорона геологічного середовища є обов'язковим елементом загального комплексу охорони довкілля, тому що геологічне середовище є суттєвою складовою частиною Землі як природної системи планетарного рівня.

## ЛІТЕРАТУРА

### *Основна*

1. Адаменко О., Рудько Г. Екологічна геологія. К.: Манускрипт, 1997. 349с.
2. Багров М.В., Боков В.О., Черваньов І.Г. Землезнаство. К: Либідь, 2000. 464с.
3. Бизов В.Ф., Паранько І.С. Основи динамічної та прикладної геології. Динамічна геологія. Кривий Ріг: Мінерал, 2010. 205с.
5. Жуков М.М., Славин В.И., Дунаева Н.Н. Основы геологи. М.: Недра, 1970. 527с.
6. Рудько Г.І., Гамеляк І.П., Основи загальної, інженерної та екологічної геології. Ч.: Букрек, 2003. 390с.
7. Рудько Г.І., Адаменко О.М., Чепіжко О.В., Крочак М.Д. Геологія з основами геоморфології. Чернівці: Букрек, 2010. 398
7. Паранько І., Сіворонов А., Мамедов О. Геологія з основами геоморфології. Навчальний посібник. Кривий Ріг: Мінерал, 2008. 373с.
8. Тихоненко Д.Г., Дегтярьов В.В., Шуковський М.А. та ін.. Геологія з основами мінералогії. К.: Вища освіта, 2003. 396с.
9. Чечкин С.А. Основы геофизики. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 288с.

### *Додаткова*

1. Войткевич Г.В. Основы теории происхождения Земли. М., 1988.
2. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М., 1978.
3. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли: Учебник. Под ред. академика РАН В.А. Садовниченко. М.: Изд-во МГУ, 2002. 560 с
4. Трухин В. И., Показеев К. В., Куницын В. Е. Общая и экологическая геофизика. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 576 с.
5. Рычагов Г.И. Общая геоморфология : учебник. - 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во Моск. ун-та : Наука, 2006. 416 с,
6. Павлов А.К. Геофизика. Том 3,4. Физические модели Земли. Геофизические поля. Конспект лекций: изд МТМУ, 2004. 69с.
7. Н.В.Короновский, А.Ф.Якушова. Основы геологии. М: Изд-во ВЫСШАЯ ШКОЛА. 1991.
8. Орлёнок В.В. Основы геофизики. Калининград, 2000. 446 с.
9. Якушова А.Ф., Хаин В.Е., Славин В.И.. Общая геология. М.: МГУ, 1988. 448с.



Навчальне електронне видання

БАЛАН ГАННА КОСТЯНТИНІВНА  
ГЕОФІЗИКА З ОСНОВАМИ АСТРОНОМІЇ  
(БЛОК «ГЕОФІЗИКА»)

Конспект лекцій

**Видавець і виготовлювач**

Одеський державний екологічний університет

вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

E-mail: [info@odeku.edu.ua](mailto:info@odeku.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5242 від 08.11.2016