

УДК 521.95 525.35

Яцків Я. С.

ВИВЧЕННЯ ОБЕРТАННЯ ЗЕМЛІ — КОМПЛЕКСНА НАУКОВА ПРОБЛЕМА АСТРОНОМІЇ ТА ГЕОФІЗИКИ

У статті представлена коротка історія, основні означення, проблематика та інформаційний цикл вивчення обертання Землі.

Вступ до проблеми

1. У шістдесяті роки XX ст. у зв'язку з накопиченням нової інформації про будову, властивості і процеси в земних надрах, появою нових методів і засобів вимірювання зміщень земної кори виник новий напрям науки про Землю, який має на меті створення єдиної картини динамічних процесів, які відбуваються на нашій планеті. Цей напрям отримав назву "геодинаміка". Слід зазначити, що до цього часу немає задовільного визначення науки — геодинаміки, тобто динаміки планети Земля. Починаючи з кінця ХГХ ст., термін "геодинаміка" застосовується в найрізноманітніших значеннях. У 1889 р. знаменитий італійський астроном Скіапареллі у своїй доповіді, присвяченій 50-річчю Пулковської обсерваторії, під цим терміном розумів дослідження впливу різних геологічних процесів на обертання Землі і зв'язок цього обертання з внутрішньою будовою планети. На початку XX ст. Ляв та інші включають припливи і власні коливання Землі до предмета досліджень геодинаміки. В середині XX ст. у зв'язку з відродженням на новому рівні концепції "тектоніки плит" під геодинамікою все частіше почали розуміти динаміку внутрішньоземних процесів як теоретичну базу для пояснення тих спостережених даних, на яких базується ця концепція.

Таким чином, залежно від можливостей тих чи інших методів і засобів вивчення динаміки Землі (астрономічні, геодезичні, геофізичні, палеомагнітні тощо) зміщувався акцент у визначенні предмета досліджень геодинаміки. У 1989 р., тобто через сто років після доповіді Скіапареллі (нагадаємо, що в часи Скіапареллі ще не було визначено параметрів руху полюсів і нерівномірностей обертання Землі,

горизонтальних і вертикальних зміщень її поверхні, варіацій геопотенціалу тощо) на міжнародному симпозіумі, присвяченому 150-літтю Пулковської обсерваторії, загальноновизнаним став комплексний підхід до вивчення динаміки Землі, що включає різні аспекти наук про Землю і космічний простір, який оточує її.

Нині завдяки здійсненню низки міжнародних проектів підтверджена в загальних рисах правильність концепції тектоніки плит, встановлені просторово-часові масштаби різних рухів на поверхні і в надрах Землі, а також запропоновані різні механізми для пояснення природи тих сил, які (спричиняють рух) рухають кору і мантію.

2. Отже, геодинаміка, в широкому розумінні цього слова — наука, що вивчає динамічну реакцію Землі на дію різних внутрішніх і зовнішніх сил. Вивчення природи цих сил і механізмів рухів різних оболонок Землі, власне, і є основним завданням геодинаміки у фізичному сенсі цього слова. Водночас на певному етапі досліджень важливо визначити масштаби рухів земної кори, побудувати їхні кінематичні моделі, встановити межі тектонічних плит і визначити швидкості їх переміщення та ін. Ці задачі є предметом досліджень геокінематики — розділу геодинаміки, присвяченого визначенню геометричних і кінематичних характеристик нашої планети.

Схематичне подання основних задач геодинаміки наведено на рис. 1. Тут Fin — вхідний процес, що характеризує природу сил механізмів, що спричиняють розглядуване геодинамічне явище.

Е — реакція динамічної системи Земля на даний вхідний процес.

P^0 — вихідний процес, параметри якого піддаються вимірюванню.

N — випадковий процес, що характеризує помилки моделі вимірювань.

H — оператор оберненого перетворення, який слугує для отримання оцінок $\hat{F}_{in}$ із спостережень $(P^0 + 'N)$.

Можна виділити такі задачі:

а) пряма задача — за даними про вхідний процес, знайденими теоретичним чи експериментальним шляхом, і, знаючи реакцію системи E , оцінити параметри вихідного процесу P^0 .

б) обернена задача — за даними про вихідний процес P^0 , отриманими із вимірів, і, знаючи реакцію системи E , оцінити F_{in} і зробити висновки про природу сил і механізмів динаміки Землі.

в) визначення реакції динамічної системи "Земля" за наявними даними про вхідний і вихідний процеси. Оскільки наші знання про F_{in} у багатьох випадках недостатні, то доводиться обмежуватися розв'язанням цієї задачі в межах певних гіпотез і моделей розглядуваних явищ.

3. Одна з основних задач геодинаміки, яка становить інтерес для астрономії і геодезії,— визначення і фізична інтерпретація змін у часі положень точок земної поверхні та елементів земного гравітаційного поля. Ці зміни мають порядок 10^{-8} — 10^{-9} , якщо при лінійних вимірах за одиницю взяти радіус Землі, при кутових вимірах — радіан, а при вимірах сили тяжіння — її середнє значення на поверхні Землі. Отже йдеться про абсолютні величини порядку сантиметрів, тисячних часток кутової секунди і мікрогал відповідно.

Просторово-часовий спектр зазначених вище змін досить широкий. Тому їх прийнято поділяти за просторовою ознакою на:

а) глобальні чи планетарні, які стосуються всієї Землі в цілому і більшої її частини (континенти, океани тощо);

б) регіональні, що стосуються областей завдовжки 10^2 — 10^3 км, окремих регіонів, блоків тощо;

в) локальні, стосовно областей завдовжки менше 10^2 км.

і за часовою ознакою на:

а) столітні, включаючи довгоперіодичні з періодами близько 10^2 років;

б) міжрічні, періоди змін яких лежать в інтервалі від кількох років до 10^2 років;

в) сезонні з періодами від кількох років до кратних частин року;

г) добові з періодами від кількох діб до частин діб;

д) нерегулярні, випадкові.

Для отримання високоточних оцінок кінематичних характеристик Землі застосовуються різні методи і засоби вимірів залежно від поставленої задачі (абсолютні або відносні характеристики) і довжин досліджуваної території, довжин базисів і ходів (див. табл. 1). Теоретичною основою фізичної інтерпретації зазначених вище змін положень точок поверхні Землі слугує концепція тектоніки плит, теорія пружних деформацій, теорія обертання і припливів Землі та інші сучасні теорії. Для їх якісного застосування необхідні ґрунтовні знання про нашу планету і навколишній космічний простір, накопичені багатьма суміжними науками: метеорологією, океанологією, космічною фізикою та ін. У цьому зв'язку особливої актуальності набуває моніторинг атмосфери й океану, гравітаційного та інших фізичних полів Землі.

Таблиця 1. Методи і засоби вимірів параметрів тектоніки плит і регіональних деформацій земної кори залежно від довжин базисів.

Довжина базису в км	Методи і засоби
від 10^{-2} до 10^0	методи геофізики і сейсмології, екстензометри, нахиломіри тощо
від 10^0 до $3 \cdot 10^1$	методи і засоби наземної геодезії
від $3 \cdot 10^1$ до $1 \cdot 10^2$	спільне використання методів наземної і космічної (GPS) геодезії
від $1 \cdot 10^2$ до $1 \cdot 10^3$	методи космічної геодезії (GPS, лазерна локація IC3 і Місяця, РСДБ та ін.)
від $1 \cdot 10^3$ і більше	методи космічної геодезії (крім GPS)

До перспективних методів і засобів такого моніторингу відносять супутникову метеорологію, альтиметрію, градієнтометрію та ін.

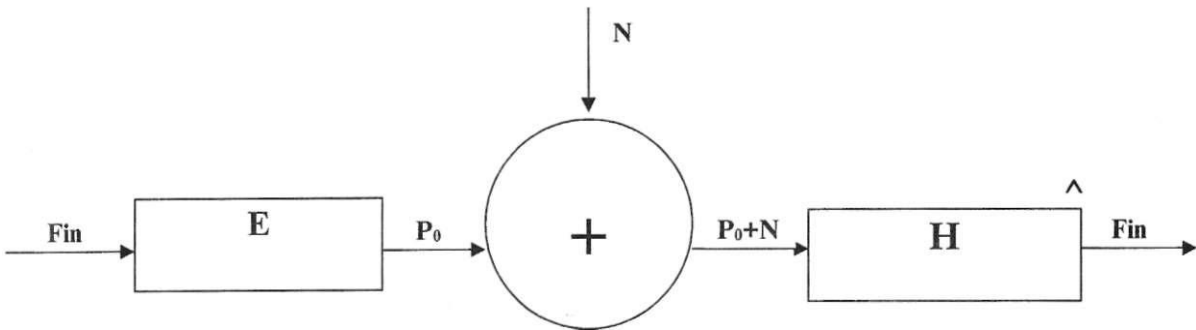


Рис. 1. Схема основних задач геодинаміки.

4. Для опису положення і переміщення Землі в цілому, окремих її тектонічних плит і точок земної поверхні застосовують різні системи відліку, у тому числі дві основні — глобальну земну та інерціальну. З накопиченням нових знань про нашу планету і появою підвишених вимог до точності визначення орієнтації Землі в просторі і переміщень окремих її оболонок виникає необхідність досконалішого завдання і практичної реалізації основних систем відліку.

У вітчизняній літературі з геодинаміки немає однозначних визначень понять "система відліку", "система координат", "система відносності" тощо (в англійській термінології також немає чіткого розмежування понять "reference frame", "reference system", "coordinate system" та ін.). Ми розуміємо під системою відліку систему координат, однозначно пов'язану з реальним тілом відліку (або їх сукупністю) і відповідній цьому тілові шкалою часу. Найпоширенішою є прямокутна система координат у тривимірному евклідовому просторі, для задання якої необхідно вказати її початок, масштаб, орієнтування осей.

Така система координат нічим не закріплена ні в космічному просторі, ні на земній поверхні. Для її реалізації слід виконувати спеціальні спостереження (виміри) і пов'язати їх з допомогою вибраних фізичних моделей з оцінюваними параметрами, в тому числі координатами опорних об'єктів: точки земної поверхні, зорі, квазари та ін. У результаті обробки таких спостережень отримують набір оцінюваних параметрів або, інакше кажучи, практичну реалізацію розглядуваної системи координат.

Цей процес має циклічний характер (див. рис. 2), оскільки він приводить до нового етапу удосконалення методів і засобів вимірювань геодинамічних характеристик, а також побудови досконаліших теоретичних моделей досліджуваних явищ. Із порівняння результатів спостережень з теорією (моделями) отримують нові відомості про досліджуване явище, які на певний строк можуть задовольнити потреби науки і практики. З часом інформаційний цикл знову повторюється. Наприклад, у проблемі вивчення обертання Землі (нутація, рух полюсів і нерівномірність обертання) за останні півстоліття цей цикл повторився двічі.

Сучасний етап досліджень характеризується істотним випередженням розвитку методів і засобів спостережень (і досяжної з їхньою допомогою точності визначення параметрів обертання Землі) порівняно з рівнем теоретичних досліджень. Останнє зумовлено передусім браком необхідної інформації про глобальні характеристики Землі (циркуляція океану, зміни рівня ґрунтових вод, топографія і фізичні умови на межі ядро—оболонка тощо).

5. Ситуація в розглядуваній нами галузі науки швидко змінюється, що свідчить про її актуальність і перспективність. Тому ми вважаємо корисною підготовку цього огляду, який, з одного боку, має на меті дати характеристику сучасного стану досліджень проблем геодинаміки, а, з другого,— окреслити, наскільки це можливо, ті передові рубежі, до яких слід прагнути в майбутньому.

Більш детальну інформацію з цієї проблеми та список посилань можна знайти в книзі Я. С. Яцків "Вибрані твори", Київ, 2000. 496 с.

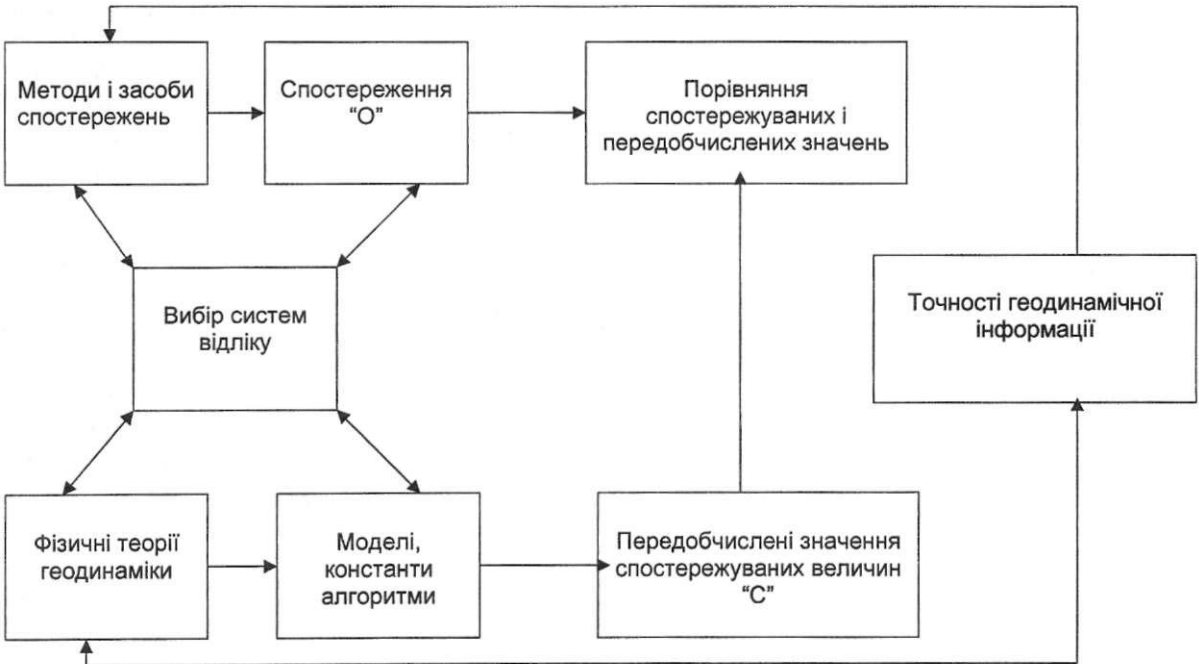


Рис. 2. Схема інформаційного циклу геодинамічних досліджень.

Y. Yatskiv.

**STUDY OF THE EARTH'S ROTATION IS A COMPLEX
SCIENTIFIC PROBLEM OF ASTRONOMY AND GEOPHYSICS**

The paper presents the short history, basic definitions problems and information flow of the Earth's rotation.