

## ПОВЕРХНЕВА ТА ГЛИБИННА ДИНАМІКА ЗЕМЛІ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ОПРАЦЮВАННЯ GNSS-ВИМІРІВ І ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИХ ДАНИХ (МЕТОДОЛОГІЧНИЙ АСПЕКТ)

Запропоновано метод порівняльної GPS-тектоніки для вивчення і моделювання поверхневої та глибинної динаміки Землі за допомогою порівняння сучасної тектонічної активності за результатами GPS-вимірів з палеотектонічними реконструкціями за геолого-геофізичними даними. Побудована модель геодинаміки Антарктичної літосферної плити з прив'язкою деформацій до полюса обертання Ейлера.

**Ключові слова:** GNSS-виміри; геодинаміка; метод порівняльної GPS-тектоніки.

### *Вступ*

Закономірні зміщення тектонічних плит, блоків та терейнів, зафіксовані на земній поверхні GNSS-вимірами, відображають процеси, які відбуваються у геосферах Землі, розташованих нижче. Моделювання поверхневої та глибинної динаміки Землі засобами актуалізму з появою космічної геодезії, яка оперує прямими вимірами, стало можливим і потребує створення нових методологічних підходів.

### *Постановка завдання*

У цій публікації на прикладах геодинамічних побудов (Антарктида, південь Європи), які автор виконав у складі лабораторії ГНДЛ-18 Інституту геодезії Національного університету “Львівська політехніка” за результатами опрацювання GNSS-вимірів, комплексних геолого-геофізичних даних та аналізу моделей руху тектонічних плит APKIM-2000 і NNR NUVEL-1A, обґрунтовано необхідність запровадження нового методологічного підходу для моделювання поверхневої та глибинної динаміки Землі.

### *Стан проблеми*

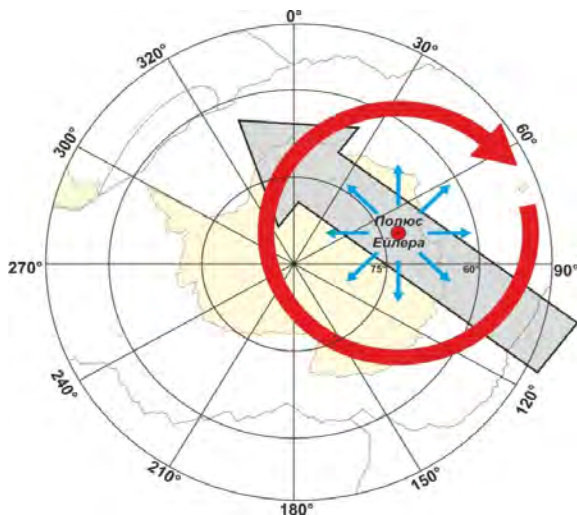
Для одночасного дослідження сучасних рухів земної кори у різних частинах земної кулі найефективнішим є метод GNSS (глобальної навігаційної супутникової системи), який у комплексі з іншими методами сприяє вирішенню геонічних завдань [Белоусов, 1975; Кульчицький, 2011a]. Кінцевою метою геоніки є створення всеохоплюючої теорії Землі та пояснення процесів, які відбуваються в її глибинах і на поверхні. Стосовно частини геонічних знань, пов'язаних з вивченням глибинної та поверхневої динаміки Землі, найконструктивнішим є використання засобів актуалізму – “сучасне є ключем для пізнання минулого” [Ляйєль, 1866; Страхов, 1948], а метод дослідження пропонуємо назвати порівняльною GPS-тектонікою, що базуватиметься на порівнянні сучасної тектонічної активності за результатами космічних геодезичних вимірів з реконструкціями тектонічних рухів давніх епох за геологічними даними. У геологічній літературі метод порівняльної тектоніки використовується для проведення досліджень, у яких порівнюється геологічна будова різних регіонів земної кулі.

### *Виклад матеріалу*

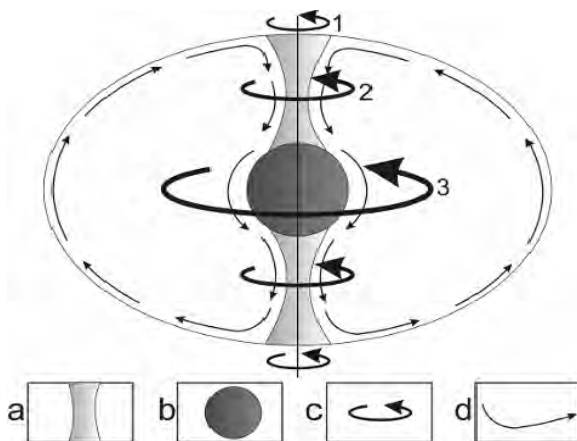
Метод порівняльної GPS-тектоніки послугуватиметься різними науковими напрямками: серед геодезичних – це космічна геодезія, яка на першому місці за інформативністю, оскільки GNSS-виміри є прямими; серед геологічних назвемо тектоніку, геофізику, геоморфологію, геохімію та інші, які потрібні для розуміння та моделювання процесів, що відбувалися раніше і відбуваються нині на поверхні та в надрах Землі. Використання такої методики дає можливість не тільки пізнати минуле, але й прогнозувати розвиток тектонічних процесів, як показано нижче. “Актуалістичні” порівняльні підходи застосовували у XIX столітті під час формування науки літології, вони сприяли становленню цієї дисципліни. Зауважимо, що Н.М. Страхов [Страхов, 1948], який інтенсивно розвивав метод актуалізму в літології, вважав, що для вивчення давніх та сучасних рухів земної кори метод актуалізму непридатний, що нижче спробуємо спростувати.

Переходячи до конкретних прикладів застосування порівняльної GPS-тектоніки для моделювання поверхневої та глибинної динаміки Землі, звернемося до процесу багаторазового утворення та руйнування континентів типу Пангея, висвітлених у [Катерфельд, 1962; Келдер, 1975; Коваленко та ін., 2010; Кульчицький, 2011б], та результатів геодинамічних досліджень у Антарктиді [Дослідження..., 2012; Третьак та ін., 2006, 2007].

Геодинамічна схема Антарктичної тектонічної літосферної плити (рис. 1) за результатами опрацювання GNSS-вимірів та комплексу опублікованих раніше геолого-геофізичних даних [Дослідження..., 2012; Третьак та ін., 2006, 2007], побудована з “прив'язкою” до полюса обертання Ейлера, що дало змогу достовірніше пов'язати зафіксовані на її поверхні деформації з глибинною динамікою. У межах Антарктичного континенту виділено три типи деформацій (рис. 1): 1 – ротаційні (оберткові) – викликані внутрішніми силами (стрілка червоного кольору); 2 – відцентрові – спричинені внутрішніми силами (сині стрілки, спрямовані радіально від полюса Ейлера); 3 – прямолінійні (північно-західні) – вплив зовнішніх сил (стрілка сірого кольору північно-західного спрямування).

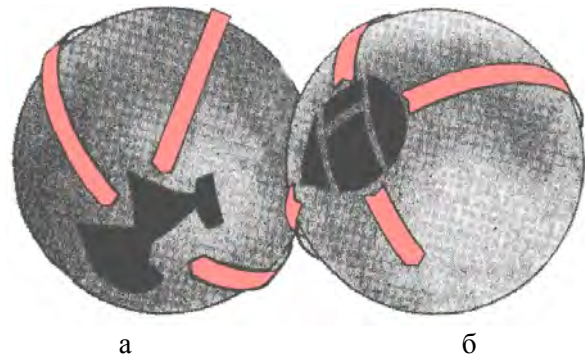


**Рис. 1.** Геодинаміка Антарктичної літосферної плити відносно полюса Ейлера (пояснення в тексті). Використані для побудови результати опрацювання GPS-вимірів та оцінки їх точності наведено в [Дослідження..., 2012; Третяк та ін., 2006, 2007]



**Рис. 2.** Схема глибинної динаміки Землі [Дослідження..., 2012; Третяк та ін., 2006, 2007]: а – зона руху конвекційних течій вздовж осі обертання Землі; б – внутрішнє ядро Землі; с – напрямки обертання Землі та внутрішнього субстрату (товщини стрілок пропорційні до швидкості обертання); d – напрямком конвекційних течій

Причини виникнення цих деформацій пов'язані з глибинними процесами в тілі Землі, які, окрім інших причин, значною мірою зумовлені планетарно-відцентровим механізмом її обертання [Дослідження..., 2012; Третяк та ін., 2006, 2007]. За результатами геодинамічних реконструкцій побудовано схему глибинної динаміки Землі (рис. 2), де показано конвекцію на двох рівнях – у зовнішньому ядрі й у верхній частині мантії – астеносфері. Якщо конвекція нижнього рівня фактично не має прямого підтвердження, то конвекцію верхнього підтверджує



**Рис. 3.** Схема дії деформуючих сил під час руйнування та утворення пізніше нового суперконтиненту типу Пангея (за Келдером з нашими доповненнями):

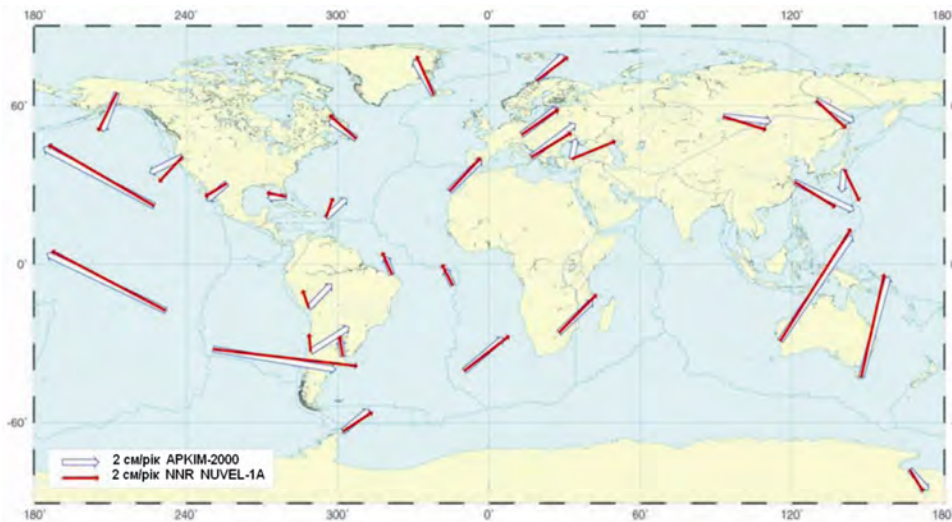
- а – дія сил доцентрового спрямування;
- б – дія сил відцентрового спрямування

геодинамічна схема, зображена на рис. 1, і прогнозна (на 100 млн. р.) геодинамічна схема (рис. 5, 6), що детально розглянуто в [Дослідження..., 2012; Третяк та ін., 2006, 2007].

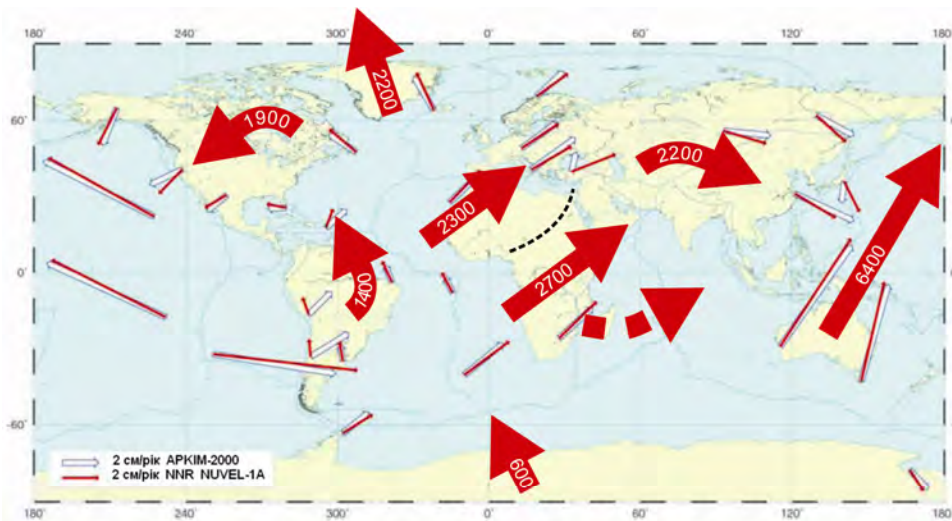
За результатами геологічних досліджень схема формування суперконтиненту типу Пангея (рис. 3), наведена у монографії Келдера [Келдер, 1975], теж збігається з наведеними вище нашими побудовами (рис. 2), що в результаті дало змогу зробити довготривалий (на 100 млн. р.) прогноз розвитку Землі, детально розглянутий у [Кульчицький, 2011а].

Для реалізації такого завдання використано моделі руху тектонічних плит АРКІМ-2000 і NNR NUVEL-1A (рис. 4), результати опрацювання GPS-вимірів у Антарктиді [Дослідження..., 2012; Третяк та ін., 2006, 2007] та півдня Європи [Третяк та ін., 2011; Кульчицький, 2011б], в результаті чого побудовано схему геодинамічного розвитку земної кори на 100 млн. років (рис. 5, 6) та обґрунтовано триразове утворення Пангеї [Кульчицький, 2011б]. Інформацію про сучасне формування “Північної Пангеї” знаходимо у [Коваленко та ін., 2010], де автори розглядають цей процес без участі Антарктиди. Натомість, за нашими даними, процес формування нової Пангеї, очевидно, завершиться через кілька сотень мільйонів років у результаті приєднання до північної групи континентів Антарктиди (рис. 4–6).

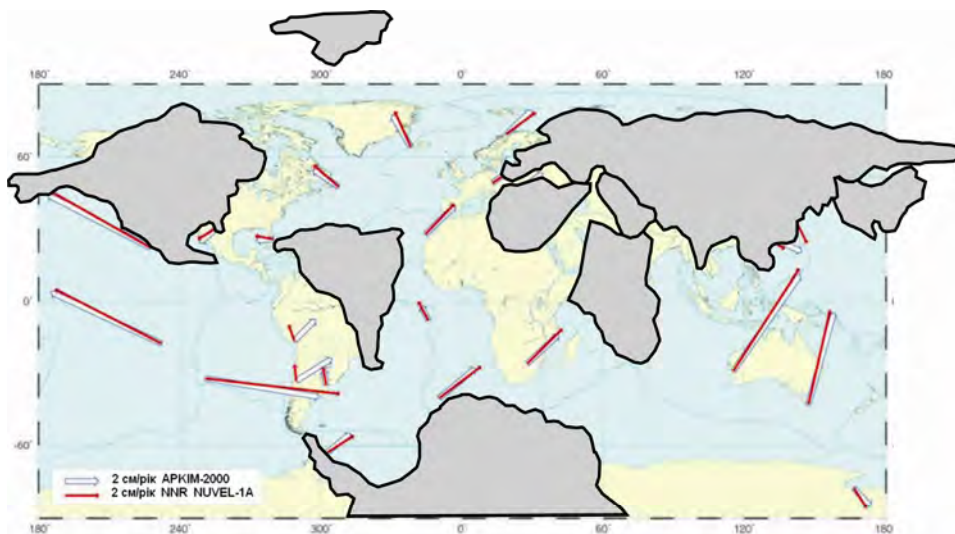
Отже, якщо трансформувати сучасні рухи земної кори, отримані під час опрацювання GNSS-вимірів, на минулі геологічні епохи, то виникає можливість, по-перше, внести поправки і доповнення у геологічні реконструкції палеотектонічних обстановок і, по-друге, побудувати прогнозні моделі тектонічної активності земної кори на коротші та довші інтервали часу. При цьому треба враховувати, що довготривалий геологічний розвиток Землі наклав свій відбиток на прояви тектонічних рухів, що тепер доволі важко або взагалі неможливо врахувати при їх трансформуванні з давніх геологічних періодів у наш час і навпаки.



**Рис. 4.** Схема геодинамічного розвитку земної кори за даними моделей руху тектонічних плит APKIM-2000 і NNR NUVEL-1A



**Рис. 5.** Геодинамічна схема довготривалого (на 100 млн років) розвитку земної кори за даними моделей руху тектонічних плит APKIM-2000 і NNR NUVEL-1A та результатами опрацювання GPS-вимірів у Антарктиді (стрілки червоного кольору з цифрами вказують напрям та швидкості (км/100 млн. років) руху континентальних літосферних плит [Кульчицький, 2011б])



**Рис. 6.** Прогнозне місцезнаходження континентів через 100 млн. років [Кульчицький 2011б]

Продемонстровані тут приклади вказують на необхідність упровадження методу порівняльної GPS-тектоніки для вивчення та моделювання поверхневої та глибинної динаміки Землі.

На завершення висловлюю щирю подяку професору К.Р. Третяку за поради і консультації щодо опрацювання GPS-вимірів та обговорення результатів геодинамічних побудов, а також доценту Ю.І. Голубінці за допомогу в опрацюванні GPS-вимірів та оформленні графічних матеріалів.

### Висновки

1. Запропоновано метод порівняльної GPS-тектоніки для вивчення та моделювання поверхневої та глибинної динаміки Землі із зіставленням сучасної тектонічної активності за результатами космічної геодезії з тектонічними процесами минулих епох за геолого-геофізичними даними.

2. Побудовано геодинамічну модель Антарктичної літосферної плити з прив'язкою до полюса обертання Ейлера.

### Література

Белоусов В.В. Основы геотектоники. – М.: Недра, 1975. – 264 с.  
 Дослідження гравітаційного поля, топографії океану та рухів земної кори в регіоні Антарктики / Марченко О.М., Третяк К.Р., Кульчицький А.Я. та ін. – Львів: Вид-во Львівської політехніки, 2012. – 308 с.  
 Каттерфельд Г.Н. Лик Земли и его происхождение. – М.: Госгеографиздат, 1962. – 152 с.  
 Келдер Н. Беспокойная Земля. – М.: Мир, 1975. – 213 с.  
 Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Богатиков О.А. Современный суперконтинент Северная Пангея и геодинамические причины его образования // Геотектоника. – 2010. – № 6. – С. 8–23.  
 Кульчицький А. Сучасні тектонічні рухи земної кори у світлі новітніх досягнень космічної геодезії (спроба класифікації) // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2008. – Вип. II. – С. 112–116.  
 Кульчицький А.Я. Геодинаміка та сейсмічність Карпато-Динарид на основі опрацювань GPS-вимірів

та палеомагнітних даних // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – Вип. 74. – С. 91–96.

Кульчицький А.Я. До питання про використання GPS спостережень для вивчення тектонічної активності земної кори // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – Вип. 75. – С. 65–69.

Ляйель Ч. Основные начала геологии. Т.1. – М. 1966. – 288 с.

Страхов Н.М. Основы исторической геологии. Ч. I, II. – М.: Госгеолиздат, 1948. – 255 с., 396 с.

Третяк К., Кульчицький А., Дульцев А., Серант О., Голубінка Ю., Кузнєцова В. Сучасні рухи земної кори у Карпато-Балканському регіоні за результатами опрацювання GPS-вимірів і геолого-геофізичних даних // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS-технології: зб. наук. доп. XVI Міжн. наук.-техн. симпоз. (Алушта, 12–17 вересня 2011 р.). – Львів, 2011. – С. 123–132.

Третяк К., Кульчицький А., Голубінка Ю. Результати геодезичного моніторингу Антарктичної літосферної плити та їх геологічна інтерпретація // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2007. – Вип. II. – С. 57–67.

Третяк К., Кульчицький А., Голубінка Ю. Геодинамічні дослідження тектонічного розлому протоки Пенола (Антарктичний півострів, архіпелаг Аргентинські острови) // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2006. – II (12). – С. 134–140.

Третяк К., Кульчицький А., Голубінка Ю. GPS-моніторинг кінематики Антарктичної літосферної плити та спроби його геологічної інтерпретації // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища – GPS і GIS-технології: зб. наук. доп. XII Міжн. наук.-техн. симпоз. (Алушта, 10–15 вересня 2007 р.). Львів, 2007. – С. 233–236.

Третяк К., Кульчицький А., Голубінка Ю. Геологічна інтерпретація сучасної динаміки Антарктичної тектонічної плити // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2006. – Вип. 67. – С. 24–30.

## ПОВЕРХНОСТНАЯ И ГЛУБИННАЯ ДИНАМИКА ЗЕМЛИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ GNSS-ИЗМЕРЕНИЙ И ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ (МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ)

А.Я. Кульчицкий

Предложен метод сравнительной GPS-тектоники для изучения и моделирования поверхностной и глубинной динамики Земли путем сопоставления современной тектонической активности по результатам GPS-измерений с палеотектоническими реконструкциями по геолого-геофизическим данным. Построена модель геодинамики Антарктической литосферной плиты с привязкой деформаций к полюсу вращения Эйлера.

**Ключевые слова:** GNSS-измерения; геодинамика; метод сравнительной GPS-тектоники.

## SURFACE AND DEEP EARTH DYNAMICS BY RESULTS OF PROCESSING OF GNSS-MEASUREMENT AND GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL DATA (METHODOLOGICAL ASPECT)

A.Ya. Kulcynsky

A method of comparative GPS-tectonics for study and modeling of surface and deep Earth dynamics by comparing of revealed on the results of GPS-measurements the recent tectonic activity with revealed on geological and geophysical data the paleotectonic reconstructions was proposed. A model of geodynamics of Antarctic lithospheric plate with linkage of deformations to Euler rotation pole was build.

**Key words:** GNSS-measures; geodynamics; comparative GPS-tectonics method.