

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу **Савчина Ігоря Романовича**  
**«ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ КІНЕМАТИКИ ТЕКТОНІЧНИХ СТРУКТУР ЗА**  
**ДАНИМИ ГНСС- ВИМІРЮВАНЬ»,**

що подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук  
за спеціальністю 05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія,  
05 – Технічні науки

Дисертаційна робота Савчина І.Р. загальним обсягом 250 сторінок, у тому числі 64 рисунків і 17 таблиць, складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаної літератури в кількості 280 найменувань публікацій та додатків. Дисертаційна робота виконана в НУ «Львівська Політехніка» Міністерства освіти і науки України.

**Актуальність теми.** Тектоніка літосферних плит, яка залишається і в теперішній час домінуючою геологічною концепцією, передбачає поділ літосфери Землі на тектонічні плити, які перебувають у неперервному русі по астеносфері, взаємодіють між собою і є основним чинником сучасних геодинамічних процесів.

Стрімкий розвиток технологій глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), щільна світова мережа перманентних ГНСС-станцій, що охоплює всі материки та велику кількість островів, накопичені довготривалі ряди спостережень дозволили значно розширити можливості геодезії для дослідження сучасних рухів земної кори.

При цьому актуальними стають питання розроблення нових та удосконалення існуючих методів опрацювання та аналізу великих обсягів даних спостережень ГНСС-станцій, побудови моделей деформацій та сучасних рухів земної кори, використання цих даних для оперативного моніторингу геодинамічних процесів.

На передній план виходять задачі розроблення методики визначення сучасних динамічних, ротаційних, деформаційних параметрів тектонічних структур різних масштабів — від тектонічних плит (масштабів континентів) до



регіональних і локальних розломів та структур. Розв'язання цих проблем важливе як для вивчення фундаментальних питань сучасних рухів тектонічних плит і їх взаємодії, так і для дослідження сучасних геодинамічних процесів в районах розташування крупних гідротехнічних споруд для забезпечення їх надійної експлуатації.

**Наукове значення отриманих результатів, їх новизна.** У роботі розроблено нові та удосконалено існуючі методи і алгоритми, які відкривають можливості визначити ротаційні та динамічні параметри тектонічних структур різних масштабів – від глобальних літосферних плит до локальних розломів на ділянках земної кори та під крупними промисловими об'єктами. З використанням цих методик побудовано моделі сучасних рухів тектонічних плит за даними ГНСС-спостережень, встановлено просторово-часові зв'язки між ротаційними і динамічними параметрами основних тектонічних плит та нерівномірністю обертання Землі.

У роботі уточнено параметри сучасних геодинамічних процесів в межах Антарктичної та Африканських тектонічних плит. Розроблена модель сучасних регіональних процесів в межах тектонічного розлому протоки Пенола – каналу Лемер (Антарктида) на основі періодичних (сезонних) ГНСС-кампаній на геодинамічному полігоні, а також в межах території Дністровської ГАЕС (Україна).

Підсумовуючи вищевикладене, можна стверджувати, що отримані у роботі результати відкривають нові перспективи досліджень сучасної геодинаміки літосфери не лише в геодезії, але і в інших напрямках наук про Землю.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропоновані у роботі методики опрацювання ГНСС-вимірів рекомендується використати для дослідження сучасних рухів земної кори в сейсмоактивних зонах України, на ділянках розташування атомних електростанцій, гідротехнічних споруд та інших техногенно-навантажених територій. Результати вивчення деформаційних процесів на створеному техногенному геодинамічному полігоні на території



Дністровської ГАЕС заклали основу для подальшого моніторингу тут еконебезпечних геологічних процесів.

Результати дисертаційної роботи були впровадженні під час виконання науково-дослідних робіт в рамках Державної цільової науково-технічної Програми проведення досліджень в Антарктиці на 2011-2020 рр., а саме: «Дослідження сучасної геодинаміки земної кори на геофізичному та геодезичному полігонах в районі антарктичної станції «Академік Вернадський» (0118U007210с, №Н/06-2018 від 19.11.2018 р.), «Дослідження сучасних рухів земної кори в районі прилеглому до антарктичної станції «Академік Вернадський», активності тектонічного розлому в районі протоки Пенола» (0119U103218, №Н/06-2019, від 01.10.2019 р.), «Просторово-часовий аналіз взаємозв'язків між розподілом динамічних параметрів Антарктичної тектонічної плити і моментом імпульсу Землі, атмосфери та океану» (0120U104495, №Н/18-2020 від 21.09.2020 р.), «Дослідження на глобальному, регіональному та локальному рівні сучасних просторових рухів земної кори Антарктиди та встановлення їх взаємозв'язку з динамікою гідросфери» (0121U12434 №Н/22-2021 від 16.07.2021 р.)

Результати досліджень впроваджено у навчальних процес для студентів магістерського рівня вищої освіти за спеціальністю 193 „Геодезія та землеустрій” та за спеціальністю 103 „Науки про Землю” в межах курсу „Космічна геодезія та геодинаміка”, використано у процесі підготовки магістерських робіт студентів за ОПП „Космічна геодезія” спеціальності 193 „Геодезія і землеустрій”.

**Повнота викладення матеріалів дисертації у публікаціях.** Основні положення дисертації опубліковано у 29 друкованих працях, з них 11 статей у наукових періодичних виданнях, які внесені до міжнародних наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 3 статті у наукових фахових виданнях України, 5 статей у збірниках матеріалів конференцій, що входять до наукометричних баз даних Scopus та Web of Science, 10 публікацій у збірниках матеріалів конференцій.



**Відповідність паспорту спеціальності.** Дисертаційна робота Сапчина І.Р. є завершеною науковою працею, відповідає паспорту спеціальності 05.24.01 „Геодезія, фотометрія та кавтографія” та присвячена вирішенню важливої науково-прикладної проблеми вивчення просторових рухів тектонічних структур на основі даних вимірювань глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС).

**Метою досліджень** є розроблення нових та удосконалення наявних методів диференціації кінематики тектонічних структур за даними проведених автором та вільно доступних ГНСС-вимірювань.

У *Вступі* обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання досліджень, зазначено зв'язок роботи з науковими планами, програмами та темами, розкрито наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, подані відомості щодо апробації та публікації результатів досліджень.

У *першому розділі* «**Стан досліджень диференціації просторових рухів тектонічних структур на основі даних ГНСС-вимірювань**» здійснено критичний аналіз існуючих методів опрацювання ГНСС-вимірювань, у т.ч. програмного забезпечення, розглянуто теоретичні основи побудови моделей сучасних рухів земної кори, проаналізовано результати використання ГНСС-даних для моніторингу геодинамічних процесів у різних регіонах земної кулі.

У *другому розділі* «**Удосконалення методики визначення сучасних ротаційних параметрів тектонічних плит на основі даних ГНСС-вимірювань**» розглянуті питання методики визначення сучасних ротаційних параметрів тектонічних плит на основі опрацювання часових рядів на мережі ГНСС-станцій. В якості ротаційних параметрів тектонічних плит розглядають кутову швидкість обертання тектонічної плити, а також геодезичні координати двох протилежних точок на поверхні Землі, які перетинає умовна вісь обертання плити. Для підвищення точності та достовірності визначення цих параметрів дисертант запропонував удосконалити методику, яка дозволяє визначити ротаційні параметри тектонічної плити, компоненти лінійних швидкостей



зміщень перманентних ГНСС-станцій, а також середньоквадратичну похибку їх визначення.

За цією методикою були визначені складові векторів швидкостей горизонтальних зміщень перманентних ГНСС-станцій з 2002 по 2021 рр. на 7 великих, 7 середніх та 3-х малих плитах та побудовано карти-схеми їх розподілу.

Отримані результати визначення ротаційних параметрів було порівняно з даними інших моделей: NMR-MORVEL-56, ITRF-2000, ITRF-2014, що продемонструвало для більшості тектонічних плит значно вищі показники точності.

Аналіз побудованих картосхем дозволив здобувачу виявити певні особливості у напрямках та величинах горизонтальних швидкостей для розглянутих тектонічних плит. Встановлено, що ГНСС-станції на великих плитах (Тихоокеанській та Філіппінській) характеризуються північно-західним напрямком руху, на Північноамериканській плиті — західним напрямком, Південноамериканська — північним напрямком, Антарктична плита — східним напрямком, Європейська, Африканська, Індійська — північно-східним. При цьому, швидкості зміщень ГНСС станцій як в межах плит так і між плитами коливаються від одиниць до декількох десятків мм/рік.

Максимальні значення швидкостей встановлені для ГНСС-станцій на Австралійській, Тихоокеанській та Янцзиській плитах, мінімальні - на Антарктичній, Південноамериканській, Карибській та Анатолійській плитах. В цьому розділі визначено також ротаційні параметри для 7 великих, 7 середніх та 3 мікроплит. Швидкість обертання плит коливається в діапазоні від  $0,122^\circ/\text{м.р.}$  (Південноамериканська плита) до  $1,3^\circ/\text{м.р.}$  (мікроплита Океанава). Виконано порівняння отриманих значень сучасних ротаційних параметрів із відомими моделями рухів тектонічних плит і отримано високий ступінь узгодженості результатів.

**Третій розділ «Розроблення методики визначення сучасних динамічних параметрів тектонічних плит на основі даних ГНСС-вимірювань»** присвячений дослідженню динамічних параметрів тектонічних плит: моменту



енергії, моменту імпульсу та кінетичної енергії за даними ГНСС спостережень. Здобувачем обґрунтовано алгоритм визначення динамічних параметрів тектонічних плит з використанням щоденних часових рядів ГНСС-вимірювань. В якості моделі земної кори використано глобальну модель CRUST 1.0. За розробленим алгоритмом розраховано динамічні параметри семи великих, семи середніх та трьох дрібних тектонічних плит для часового інтервалу 2002–2021рр. Встановлено, що Тихоокеанська, Австралійська, Євразійська та Африканська плити володіють великим моментом імпульсу. Натомість, Північноамериканська та Південноамериканська плити, хоч і володіють великим масами та об'ємами, демонструють менші кількості руху.

Враховуючи диференціацію плит за динамічними параметрами, в роботі зроблено важливий для фізики Землі висновок, що Тихоокеанська та Австралійська плити мають вирішальний вплив на сучасні рухи основних тектонічних плит. Цей результат узгоджується з даними про сейсмічність Землі у Тихоокеанському сейсмічному поясі, який оконтурює Тихоокеанську плиту, де сконцентровано до 80% всіх землетрусів, що відбуваються на Землі.

*У четвертому розділі «Просторово-часовий аналіз взаємозв'язків між розподілом параметрів основних тектонічних плит та нерівномірністю обертання Землі»* проведено дослідження взаємозв'язків варіацій ротаційних та динамічних параметрів тектонічних плит зі швидкістю обертання Землі. Цей аналіз проведений для семи великих тектонічних плит. Виявлено, що зміни цих параметрів є доволі різними. На основі аналізу виявлених змін ротаційних та динамічних параметрів всі досліджені плити поділено на групи: плити, які характеризуються активними змінами досліджуваних параметрів (Південноамериканська, Північноамериканська, Євразійська та Антарктична) та плити, які зазнають значно менших змін досліджуваних параметрів (Африканська, Тихоокеанська та Австралійська). При цьому тісної кореляції ротаційних та динамічних параметрів тектонічних плит зі швидкістю обертання Землі не встановлено. Лише для Тихоокеанської та Антарктичної плит виявлені певні зв'язки між їх кутовою швидкістю та швидкістю обертання Землі. З цього



здобувач зробив висновок, що збільшення кутової швидкості обертання Землі сповільнює рух Антарктичної плити, яка рухається в протилежному напрямку до напрямку обертання Землі та прискорює рух Тихоокеанської тектонічної плити, яка рухається в напрямку обертання Землі.

**У п'ятому розділі «Удосконалення методики визначення деформаційних параметрів на основі ГНСС-вимірювань»** розглянуто питання визначення деформаційних параметрів за даними ГНСС-станцій. Здобувачем розроблено методику визначення деформаційних параметрів, на основі якої з використанням даних ГНСС-спостережень досліджено деформаційні процеси на прикладі Антарктичної та Африканської тектонічних плит.

В результаті проведених досліджень для Антарктичної плити визначено швидкості горизонтальних зміщень, швидкості дилатації та осей деформацій, швидкості загального зсуву та швидкості обертання тектонічних плит. Виявлено також диференціацію деформаційних параметрів в межах Антарктичної плити. Показано, що тут має місце поступове зменшення деформаційних параметрів із заходу на схід у напрямі західна Антарктида — Трансантарктичний гірський масив — Східна Антарктида.

За аналогічною методологією визначено деформаційні параметри за даними ГНСС спостережень для Африканської плити. Отримані при цьому результати підтверджують наявність конвергентних та дивергентних процесів у межах Східноафриканської рифтової системи. Показано, що межа Африканської та Аравійської плит розширюється, що призводить до подальшого розширення Червономорського рифту. Південна частина контакту Африканської та Сомалійської плит характеризується конвергентними процесами.

**Шостий розділ «Моніторинг регіональних природних та локальних техногенних диференційних процесів на основі даних ГНСС-вимірювань»** присвячений дослідженням регіональних та локальних деформаційних процесів з використанням сезонних періодичних ГНСС-спостережень на спеціально створених полігонах. Об'єктами досліджень слугували тектонічний розлом



протоки Пенола - каналу Лемера (Антарктичний півострів) та територія Дністровської ГАЕС (Україна, Східноєвропейська платформа).

Для моніторингу сучасних геодинамічних процесів розлому Пенола поблизу Української антарктичної стації «Академік Вернадський» була закладена у 2003 р. мережа із закріплених на місцевості реперів, на яких з 2003 р. по 2019 р. було виконано 5 циклів ГНСС-вимірювань. За результатами опрацювання цих спостережень здобувачем були визначені швидкості горизонтальних зміщень земної поверхні, швидкості дилатації, та швидкості загального зсуву, та побудовані відповідні картосхеми їх просторового розподілу у районі протоки Пенола – каналу Лемера. В результаті аналізу просторового розподілу цих параметрів вивчено детальну структуру поля напруження, виявлено зони стиску та зони розтягу, побудовано кінематичну модель розлому Пенола, зроблено висновок про високу тектонічну активність окремих тектонічних структур у районі УАС «Академік Вернадський».

Важливою складовою дисертаційної роботи є використання розробленого здобувачем метода для дослідження локальних тектонічних процесів території Дністровської ГАЕС, що можна розглядати під кутом зору практичного впровадження. Мережа ГНСС-спостережень в околі Дністровської ГАЕС була створена у 2009 р. з метою здійснення моніторингу за деформаціями схилів водосховища у районі розташування основних гідротехнічних споруд ГАЕС. На мережі з 2004 – 2017 рр. виконано 18 циклів ГНСС-спостережень, за даними яких визначено значення швидкостей горизонтальних зміщень, досліджено розподіл швидкостей дилатації денної поверхні у районі Дністровської ГАЕС до і після заповнення Дністровського верхнього водосховища. Це дозволило дослідити зв'язок між екстремальним значенням середніх швидкостей зміщень пунктів і техногенним навантаженням, яке виникло за рахунок будівництва першої черги Дністровської ГАЕС. Особливий інтерес викликає виявлена певна узгодженість між кількістю землетрусів у районі Дністровського водосховища з техногенним навантаженням пов'язаним з процесом будівництва та введенням в експлуатацію



Дністровського верхнього водосховища, що інтерпретується здобувачем як явище наведеної сейсмічності

### **Недоліки та зауваження до змісту дисертації.**

1. З тексту дисертації не зрозуміло яким чином при розрахунках ротаційних та динамічних параметрів літосферних плит за даними ГНСС-вимірювань враховувався вплив екзогенних чинників, перш за все припливних ефектів Сонця і Місяця.
2. В роботі не показано чи враховувався вплив щільності мережі перманентних станцій на просторовий розподіл швидкостей дилатації та осей деформації досліджуваних тектонічних плит.
3. Висновок про зростання кількості землетрусів у зв'язку із заповненням верхнього Дністровського водосховища недостатньо підкріплений експериментальними даними, оскільки інформація про кількість місцевих землетрусів отримана лише однією сейсмічною станцією «Новодністровська», що розташована в 6 км від м.Новодністровськ, що, в свою чергу, не дозволяє визначати координати місцевих землетрусів та їх епіцентральної відстані. В роботі також не приведені дані про обсяги та режим заповнення водосховища, що не дозволяє визначати кореляційні залежності між режимом заповнення водосховища та сейсмічною активністю.

Вказані зауваження не зменшують наукову та практичну цінність результатів дисертаційного дослідження

**Висновок про відповідність дисертаційним вимогам Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук.**

З огляду на актуальність, новизну, важливість одержаних автором результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а також практичну цінність сформульованих положень і висновків вважаю, що дисертаційна робота Савчина Ігоря Романовича «Диференціація кінематики тектонічних структур за даними ГНСС-вимірювань» є самостійним, завершеним науковим дослідженням у якому вирішена важлива науково-прикладна проблема вивчення просторових



рухів тектонічних структур на основі даних вимірювань глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС).

Викладене дає підстави зробити загальний висновок, що здобувач Савчин Ігор Романович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – *Геодезія, фотограмметрія та картографія*, 05 – *технічні науки*.

**Офіційний опонент**

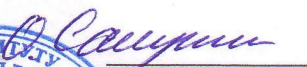
Доктор фізико-математичних наук, професор,  
член-кореспондент НАН України,  
радник при дирекції Карпатського  
відділення Інституту геофізики  
ім.С.І.Субботіна НАН України

 Валентин МАКСИМЧУК

**Підпис д.ф.-м.н., проф. Максимчука В.Ю. засвідчую**  
Директор Карпатського відділення  
Інституту геофізики  
ім.С.І.Субботіна НАН України,  
к.ф.-м.н., старший дослідник

03.10.2024



 Олег САПУЖАК