

**ВІДГУК****офіційного опонента**

провідного наукового співробітника відділу геомагнетизму Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, доктора фізико-математичних наук, старшого наукового співробітника

**Сумарука Юрія Петровича**

на дисертаційну роботу **Сосонки Ірини Іванівни**

**«АНАЛІЗ ТА ОЦІНКА ЯКОСТІ ЧАСОВИХ СЕРІЙ КООРДИНАТ РЕФЕРЕНЦНИХ GNSS-СТАНЦІЙ УКРАЇНИ»**

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 «Науки про Землю» (галузь знань 10 «Природничі науки»)

**Актуальність теми дисертації.** Довготривалі часові серії координат GNSS-станцій набули широкого застосування для моніторингу рухів Землі (наприклад, тектоніка плит, зміна рівня моря, дослідження руху полюсів та ін.). У часовому ряді координат ми можемо виявити лінійну чи нелінійну тенденцію, річні та піврічні сигнали, розриви та шум вимірювань. Більшість методів аналізу фокусуються на визначенні щорічних сигналів, дослідженні розривів у часових рядах і, нарешті, оцінці надійних швидкостей зміни координат опорних станцій, оскільки вони повинні бути стабільними протягом декількох десятиліть, що вимагає надійних методів спостереження та опрацювання даних, а також розуміння основних динамічних процесів. Залежно від характеру сигналу та інших факторів, що спричиняють зміни часового ряду, необхідні специфічні методи для розрізнення сигналів, що походять від тектонічного переміщення, та інших нетектонічних сигналів, таких, наприклад, як сезонні зміни. Ці методи можуть бути використані як для візуальної інтерпретації та попереднього опрацювання часових рядів, так і статистичного аналізу на предмет їх точності та необхідності врахування ряду джерел систематичних похибок.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Науково-дослідна робота виконувалась на кафедрі вищої геодезії та астрономії Національного університету «Львівська політехніка» і відповідає тематиці

наукової діяльності кафедри «Моніторинг фізичної поверхні Землі та її атмосфери на основі аналізу результатів сучасних наземних і супутникових вимірювань».

**Обґрунтованість наукових положень висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.**

Дисертаційна робота Сосонки І.І. «Аналіз та оцінка якості часових серій координат референційних GNSS-станцій України» складається з анотації, вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 173 сторінки, у тому числі 97 сторінок основної частини, включаючи 22 рисунки, 27 таблиць та 146 позицій списку літератури.

**У вступі** дано загальну характеристику роботи, обґрунтовано доцільність обраного напрямку та актуальність дисертації, сформульовано мету, основні методи і задачі досліджень, визначено наукову новизну отриманих результатів, сформульовані основні наукові досягнення дисертанта, наведена інформація щодо апробації отриманих результатів, публікацій, структури та обсягу роботи.

**У першому розділі** розглянуто методи досліджень часових серій координат. Виходячи з огляду літературних джерел, можна стверджувати, що класичні методи досліджень часових серій координат дозволяють виключати відомі джерела похибок з достатньо високою точністю, не залежно від використаних методів опрацювання. Проте, при великій вибірці спостережень, детальніший аналіз часових серій координат вказує на неспроможність класичних методів виявляти залишкові похибки, тому є доцільним використання неklasичних методів для аналізу довготривалих спостережень. Методи НТПВ використовують в астрометрії, космічних дослідженнях, геодезичних задачах і геофізичних експериментах.

**У другому розділі** розглянуто процедуру аналізу часових серій координат. Фільтрування часових серій від лінійного тренду, річних сигналів, випадкових значень та зсувів дозволило вилучити систематичні похибки та випадкові значення та згладити часові серії координат. Порівняння отриманих значень середньо-квадратичних похибок до та після проведення процедури фільтрації вказує на те, що застосування класичних методів аналізу часових

серій дозволяє зменшити вплив різного роду похибок в середньому на 40-50% для всіх складових координат. Результати виконаної фільтрації та аналізу, що було проведено 4 для мережі станцій України, дозволяє виконувати уточнення координат окремих станцій.

**У третьому розділі** розглянуто класичні методи та неklasичний метод аналізу часових серій координат. Виявлено, що кореляція між окремими станціями мереж може досягати значних величин, через що часові серії містять похибки загального режиму (Common Mode Errors, CME), які можуть бути вилучені широким спектром класичних методів. Використання просторово-часової фільтрації, методу найменших квадратів, оцінки максимальної правдоподібності дозволяють зменшити вплив цих похибок в середньому на 40%. Проте подальший аналіз отриманих часових серій, наприклад при порівнянні різних періодів спостережень, у деяких випадках показав, що результати значно відрізняються в залежності від обраного методу опрацювання, щовказує на наявність залишкових похибок, виявити які класичними методами неможливо. Застосування неklasичної теорії похибок вимірів передбачається при математичному опрацюванні великих обсягів спостережень, оскільки вони не підкоряються нормальному закону розподілу. Апробація НТПВ для перманентних станцій мереж IGS та EPN, розташованих на території України показала, що ймовірність  $P$  того, що виміри є вибірковими із нормальної генеральної сукупності відповідно змінюються в межах від 0.001 до 0.92. А це означає, що реальні розподіли похибок вимірів не підпорядковуються нормальному закону, але узгоджуються в рамках застарілих класичних уявлень про закон розподілу похибок великого обсягу.

**У четвертому розділі** було розроблено та реалізовано методикау якісної оцінки точності визначення координат та оцінки придатності GNSS-станцій для задач геодинаміки. Апробація методики проведена для перманентних станцій Європи, що відносяться до різних класів точності. Перевірка на нормальність вимірів цих часових рядів для станцій, що входять в категорію 5 C0 показала хороші результати ймовірності  $p(\chi^2)$  того, що виміри на станціях є вибірковими з нормальної генеральної сукупності склали від 0,14 до 0,98 в середньому для всіх складових координат. Для станцій C6 ця перевірка показала, що

$0,001 < p(\chi^2) < 0,16$ , що підтверджує дію слабких, не вилучених систематичних похибок. Практичне застосування методики проведено для аналізу 72 референцних станцій України, та за отриманими значеннями асиметрії, ексцесу, емпіричних розподілів та значень ймовірностей розроблена класифікація станцій, яка дозволила виділити станції, що є придатними для геодинамічних досліджень.

**У Висновках** перераховано основні результати роботи.

Достовірність наукових і практичних результатів підтверджується використанням сучасних наукових методів та програмного забезпечення, збіжністю теоретичних результатів з даними експерименту, апробацією результатів в практичних умовах, критичним обговоренням результатів роботи на науково-технічних конференціях.

**Наукова новизна** одержаних результатів дисертації Сосонки І.І. «Аналіз та оцінка якості часових серій координат референцних GNSS-станцій України» полягає в наступному:

1. Розроблено методику оцінювання точності координат станцій GNSS-спостережень неklasичною теорією похибок вимірів;
2. Підтверджено дію не вилучених із вимірювань чи опрацювання джерел похибок у часових серіях координат;
3. Розроблено та реалізовано методику виявлення придатності результатів спостережень окремих GNSS-станцій для задач геодинаміки.

**Практична цінність** результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що отримані числові значення емпіричних розподілів координат станцій із застосуванням розробленої методики дозволяють розробити класифікацію референцних станцій України для їх подальшого використання при розв'язуванні задач геодинаміки.

**Повнота викладу наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.**

Основні положення дисертації опубліковано у 13 наукових працях. Серед них: 1 публікація у науковому періодичному виданні України, яке внесено до міжнародних наукометричних баз даних, 1 публікація у науковому виданні, яка додатково відображає наукову цінність дисертації, 1 публікація у науковому

фаховому виданні України, 1 публікація у науковому періодичному виданні іншої держави, яке внесено до міжнародних наукометричних баз даних, 9 публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації та які додатково відображають наукові результати дисертації.

Результати наукових досліджень, що включені до дисертації, доповідались і обговорювались на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях.

### **Дискусійні положення, зауваження та пропозиції.**

Позитивно оцінюючи роботу, вважаю за необхідне зробити зауваження та звернути увагу на наступні дискусійні положення:

1. В дисертації не вказано чи розроблена методика оцінювання точності координат станцій GNSS-спостережень і методика виявлення придатності результатів спостережень окремих GNSS-станцій застосовувались іншими науковцями для задач геодинаміки.

2. Згідно НТПВ величина ймовірності  $p(\chi^2)$  реальних розподілів залишкових компонент часових рядів повинна бути більшою 0.3. В дисертації приведено що для станцій категорії C0 для координати N ця величина склала 0.19-0.31, для координати E 0.15-0.98, для координати U 0.14-0.42. Однак не дано пояснення причини такого великого розкиду для певних координат.

3. З дисертації не зовсім чітко ясно, чи при оцінюванні точності координат станцій GNSS-спостережень враховувались дані про землетруси. Закарпатська область, де знаходиться багато GNSS-станцій, знаходиться поблизу зони Вранча і тут досить часто відбуваються землетруси.

4. В роботі зустрічаються помилки неточності.

Наприклад:

- На стр.36 рівняння 1.1 записано не зовсім правильно, величини  $\Delta t^R$  - корекція годинника приймача та  $\Delta t^S$  - корекція годинника супутника вказані як безрозмірні одиниці хоча повинні бути в секундах. В цьому ж рівнянні не вказано що таке  $\delta\rho_{x,i}$ .
- В рівнянні 1.2 на сторінці 37 не вказано що таке  $\lambda$ .
- На стр. 126 в таблиці 4.10 вказано, що для класу точності K3 використовувалось 22 станції, а в назвах станцій присутні тільки 21. Чи в

тій же таблиці для класу точності К5 використовували 30 станцій, а в назвах -29.

- Рисунок 1.6 містить неправильний підпис. На даному рисунку зображена не карта розташування GNSS станцій ZAKPOS, а трансформована мережа UA-EUPOS/ZAKPOS.
- В таблиці 3.4  $\sigma_{сз}$  приведено в мм/рік хоча повинно бути в мм.
- Стр. 99 написано «На відміну від КТПВ, яка розроблена на основі двох постулатів, в КТПВ введено третій фундаментальний принцип.» аповинно бути «На відміну від КТПВ, яка розроблена на основі двох постулатів, в НТПВ введено третій фундаментальний принцип».

5. В переліку умовних позначень доречно б було спочатку приводити тлумачення позначень англійською а пізніше українською, якщо аббревіатура подана англійською.

Зроблені зауваження більше носять рекомендаційний характер і не стосуються актуальності проведених досліджень, наукової новизни, достовірності та практичної цінності отриманих результатів і тому не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи в цілому. Відзначені недоліки не впливають на загальне позитивне враження про дисертацію. Авторка виконала великий обсяг експериментальних та теоретичних досліджень, має досвід з аналізу та статистичної обробки великого масиву даних, отримала низку нових результатів, які мають наукове і практичне значення.

**Відповідність змісту анотації основним положенням дисертаційної роботи.** Зміст анотації повністю відображає основні положення дисертаційної роботи та відповідає змісту розділів дисертації, містить основні результати виконаних досліджень і дає змогу достатньо повно оцінити наукову новизну і практичну цінність. Стыль викладення матеріалу у дисертації та анотації відповідає загальноприйнятим вимогам. Анотація оформлена згідно вимог ДАК МОН України.

**Висновок про дисертацію в цілому та її відповідність чинним вимогам.**

Дисертація Сосонки І.І. «Аналіз та оцінка якості часових серій координат референцних GNSS-станцій України» є завершеною науковою роботою в якій проведені теоретичні та практичні дослідження часових серій координат референцних GNSS-станцій України з метою встановлення їх придатності для геодинамічних досліджень.

Дисертації відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами внесеними від 31.05.2019р.), «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 6 березня 2019 р. № 167), а її авторка Сосонка Ірина Іванівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 103 « Науки про Землю».

**Офіційний опонент:**

провідний науковий співробітник

відділу геомагнетизму

Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України,

доктор фізико-математичних наук,

старший науковий співробітник



Ю.П.Сумарук

