ДОПОВІДІ
НАЦІОНАЛЬНОЇ
АКАДЕМІЇ НАУК
УКРАЇНИ

НАУКИ ПРО ЗЕМЛЮ

https://doi.org/10.15407/dopovidi2019.08.059
УДК 551.244/242+528.2:629.78

М.І. Орлюк, М.В. Іщенко

[1] Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ
[2] Головна астрономічна обсерваторія НАН України, Київ
E-mail: orliuk@ukr.net, marina@mao.kiev.ua

Аналіз деформації земної поверхні за даними глобальних навігаційних супутникових систем з її новітніми рухами на території України

Представлено академіком НАН України В.І. Старостенком

Розглянуто сучасну деформацію поверхні Землі за результатами Центру аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України у зіставленні з новітніми лінеаментними зонами і розломами та пізньопліоцен-четвертинними вертикальними рухами земної кори. Виділено області переважаючих величин стиснення—розтягування і ліво/правостороннього обертання земної поверхні, межі між якими можуть бути проведені за новітніми лінеаментними зонами і розломами. Областям переважаючого розтягування земної поверхні відповідають зони новітніх тектонічних підняттів та максимальні амплітуди пліоцен-четвертинних рухів, а переважаючого стиснення — зони тектонічних опускань і мінімальні амплітуди пліоцен-четвертинних рухів. Виділено чотири великих сучасних геоблоки: Північно-Західний і Північно-Східний, які обертаються за годинниковою стрілкою, і Південно-Західний та Південно-Східний, що обертаються проти годинникової стрілки. Запропоновано якісний механізм взаємозв'язку сучасних і новітніх рухів земної кори.

Ключові слова: *ГНСС-дані, сучасні та новітні рухи земної кори, лінеаменти, геоблоки, Україна.*

Використання глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) для дослідження та моніторингу деформації поверхні Землі в останні роки набуває все ширшого використання, що обумовлено достатнім рівнем надійності спостережень, високою точністю отриманих координатних розв'язків та оцінювання векторів швидкостей постійно діючих ГНСС-станцій. Іншою перевагою є те, що станом на 2017 р. на території України Центром аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України отримано відповідні розв'язки більш ніж 180 ГНСС-станцій, що розташовані досить рівномірно. Ця мережа дала змогу розрахувати деформації земної поверхні стосовно двох головних компонент: еліпсів викривлення (тобто напрямків їх максимального та мінімального розтягування або стиснення) та обертання.

Сучасні рухи і деформації земної поверхні повинні успадковувати і бути своєрідним продовженням та відображенням мантійних процесів, у результаті яких сформувався сучасний рельєф. Характер сучасної деформації земної поверхні за рахунок внутрішніх (гео-

© М.І. Орлюк, М.В. Іщенко, 2019

динамічні процеси у верхній мантії) і зовнішніх (нерівномірність обертання Землі) причин залежить не тільки від густинної неоднорідності літосфери Землі, але й від наявності сучасних субвертикальних і субгоризонтальних розломів та розломних зон (зон зі зниженими властивостями міцності), по яких можливі зміщення й обертання її окремих геоблоків. У зв'язку з цим у роботі виконано зіставлення параметрів деформації поверхні Землі, отриманих з обробки ГНСС-спостережень з пізньопліоцен-четвертинними вертикальними рухами (ПЧВР) і лінеаментними зонами та розломами, які відображають новітні платформні геоструктури України та динаміку їх розвитку.

Вхідні дані. Вхідними даними служили високоточні тимчасові координатні ряди і оцінки швидкостей зсуву перманентних ГНСС-станцій. Для цього були використані узгоджені координатні ряди, позбавлені ефектів, привнесених змінами в моделях даних і алгоритмах розрахунків, отриманих в Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України [1]. Для отримання координатних рішень і оцінки швидкостей ГНСС-станцій використовувався програмний комплекс "Bernese GNSS Software ver. 5.2" [2]. Усі рішення отримані в системі координат IGb08 (координатна реалізація Міжнародної земної системи координат 2014 р.), оцінки швидкостей наведені на епоху 2005.0. Точність координатних рішень є: 1,69 мм — для північної компоненти, 1,4 мм — для східної компоненти, 3,63 мм — для висотної компоненти.

На рис. 1 зображена горизонтальна компонента вектора зміщення для 109 ГНСС-станцій (епоха 2005.0). Значення вектора зміщення такі: мінімальне — 2,18 см на рік, максимальне — 2,9 см в рік, середнє — 2,58 см на рік. Цифрові значення північної та східної компонент векторів зміщень для ГНСС-станцій, отриманих у Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України, наведено в роботі [3].

Як можна бачити на рис. 1, перманентні станції розташовані досить рівномірно: відстані між ними приблизно дорівнюють 50—70 км, що дає змогу провести дослідження з визначення параметрів деформації земної поверхні. Для зіставлення та аналізу цих параметрів з новітніми рухами земної кори використані лінійні і кільцеві платформні геоструктури України, а також амплітуди ПЧВР земної кори, які були отримані за результатами морфоструктурного аналізу топокарт, структурно-геологічного дешифрування різномасштабних фото- і космоматеріалів [4]. Новітні рухи земної кори максимально наближені в часовому інтервалі і передують сучасним рухам її поверхні. Для коректного зіставлення сучасних і новітніх рухів земної поверхні нами була створена цифрова версія схеми новітніх платформних структур території України [5].

Методика досліджень. Для розрахунків параметрів деформації земної поверхні використовувалося програмне забезпечення "GeoStrain" [6], вхідними даними служили координати ГНСС-станцій і величини їх векторів зміщень. У результаті були розраховані два основних параметри – еліпси викривлення й обертання, а також два додаткові параметри, як похідні від еліпсів викривлень: максимальне відносне зміщення і площа деформації. Еліпси викривлень характеризуються максимальним/мінімальним розтягуванням і стисненням по їх осях (на рисунках синім кольором позначено розтягування, червоним — стиснення земної поверхні). Параметр обертання характеризує поступально-обертальні рухи геоболоків (на рисунку синім кольором позначені сектори, що характеризують обертання проти годинникової стрілки, червоним — за годинниковою (або ліво-, правостороннього)). У подальшому на якісному рівні виконувалося зіставлення просторових особливостей поширення

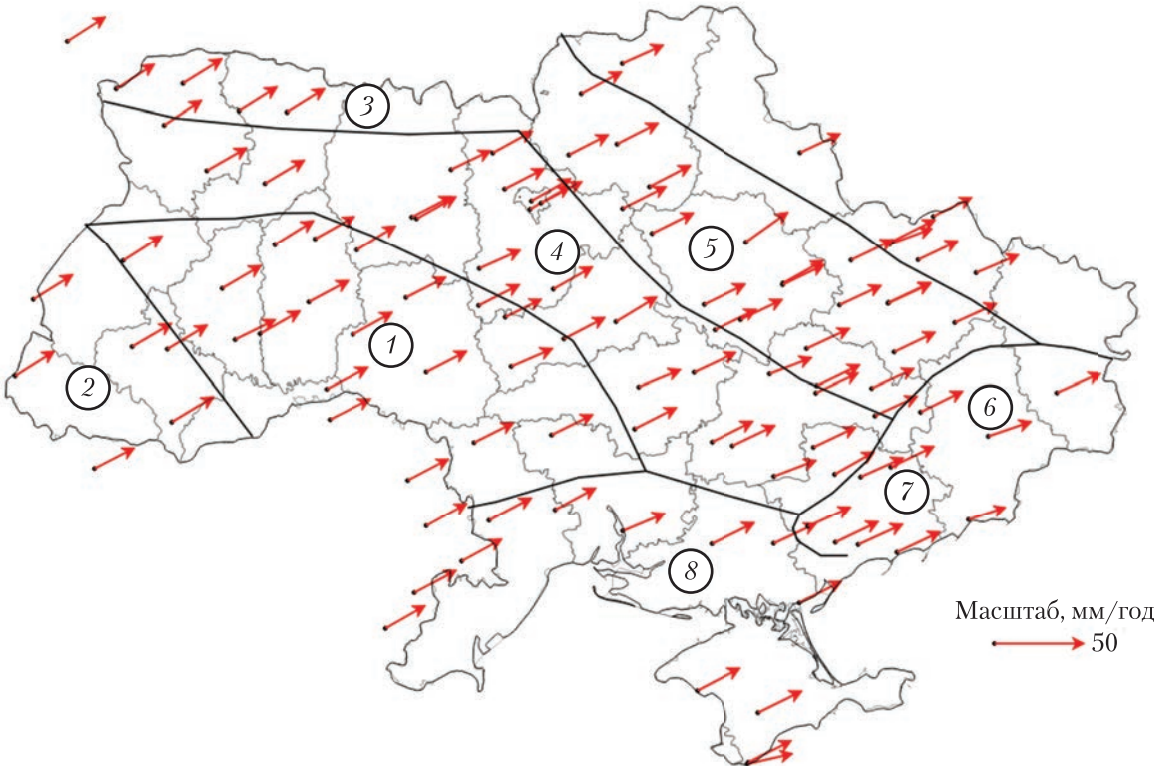

Рис. 1. Планова компонента векторів зміщень ГНСС-станцій на схемі географічного районування території України: *1* — Волинсько-Подільська височина; *2* — Карпати; *3* — Поліська низовина; *4* — Придніпровська височина; *5* — Придніпровська низовина; *6* — Донецький кряж; *7* — Приазовська височина; *8* — Причорноморська низовина)

параметрів розтягування—стиснення та обертання за годинниковою стрілкою чи проти годинникової стрілки з лінійними платформними геоструктурами України й амплітудами ПЧВР земної кори.

Зіставлення параметрів деформації земної поверхні з новітніми зонами розломів та амплітудами пізньопліоцен-четвертинних вертикальних рухів земної кори. За результатами аналізу показано, що розтягування земної поверхні за обома осями еліпсів превалює на територіях насамперед Волинсько-Подільської височини (1), району Карпат (2) і східної частини Придніпровської височини (4), з чітким поділом по р. Дніпро, а також частково Причорноморської низовини (8) (див. рис. 1, 2). Змішаний тип деформації земної поверхні з більш активними процесами стиснення по одній з осей виявляється насамперед на територіях Поліської (3) і Придніпровської (5) низовин, а також на північно-західної частини Придніпровської височини (4), Донецького кряжу (6) та Приазовської височини (7).

У зв'язку з недостатньою дискретністю як ГННС-станцій, так і виділених зон лінеаментів можливим є проведення кількох варіантів границь між областями переважаючих величин стиснення—розтягування і ліво-/правостороннього обертання. Зокрема, область переважаючого стиснення земної поверхні може бути відділена від області її переважаючого розтягування такими зонами лінеаментів (із заходу на схід): (49) Сокальсько-Одеської північно-західного простягання, по південному краю широтної (19) Яворівсько-Вовчанської, а в

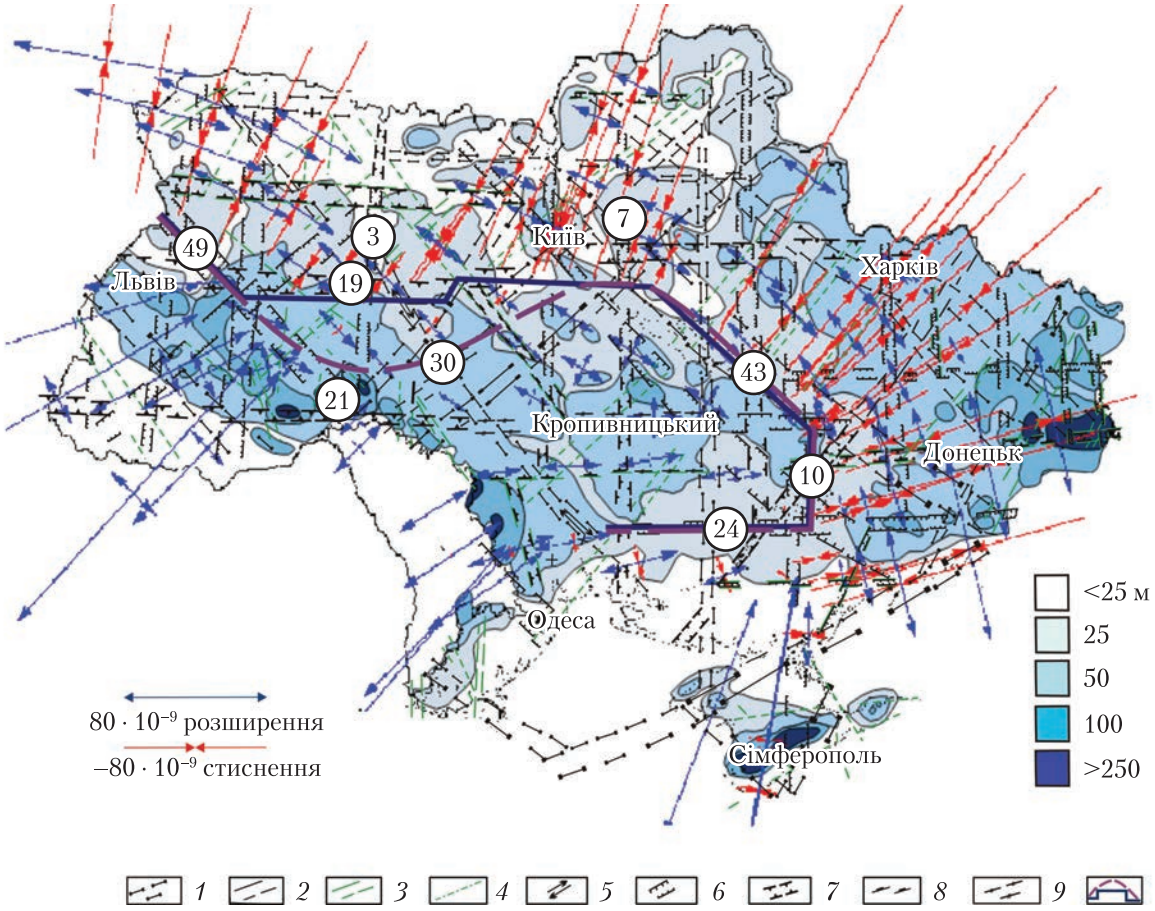

Рис. 2. Схема зіставлення аномалій деформацій поверхні Землі (еліпсів викривлення) з новітніми рухами земної кори (складена з використанням даних [4], для території Закарпаття дані відсутні). *Умовні позначення*: каркасні елементи лінеаментних зон: *1* — трансрегіональних, *2* — регіональних 1-го порядку, *3* — те ж 2-го порядку, *4* — поодинокі лінеаменти; морфотипи лінеаментів: *5* — зсуви, *6* — скиди, *7* — підкиди, *8* — насуви, *9* — розсуви, *10* — варіанти границі між областями переважного розтягування та стиснення земної поверхні. Цифри в кружках — номери лінеаментних зон (збережена авторська нумерація [4]): 49 — Сокальсько-Одеська, 19 — Яворівсько-Вовчанська, 7 — Щорсівсько-Миколаївська, 43 — Чорнобильсько-Маріупольська, 21 — Мукачівсько-Дніпропетровська, 10 — Котелевсько-Нижньосірогозька, 24 — Каховсько-Бердянська, 3 — Олевсько-Мурованська, 30 — Могилів-Подільсько-Шосткинська

районі субмеридіональної (7) Щорсівсько-Миколаївської зони вона повертає на південний схід уздовж південно-західного краю (43) Чорнобильсько-Маріупольської зони, далі в районі перетину (21) Мукачівсько-Дніпропетровської зони повертає на південь вздовж (10) Котелевсько-Нижньосірогозької і, нарешті, вона може бути проведена в західному напрямку по субширотній (24) Каховсько-Бердянській зоні (див. рис. 2). З урахуванням наявності в межах півночі Волинсько-Подільської височини незначної області дуже слабких величин переважаючого стиснення земної поверхні межа може бути проведена по (49) Сокальсько-Одеській зоні до перетину з (3) Олевсько-Мурованською субмеридіональною зоною, а далі по (30) Могилів-Подільсько-Шосткинській зоні північно-східного простягання до субширотної (19) Яворівсько-Вовчанської лінеаментної зони. Зауважимо, що в даному

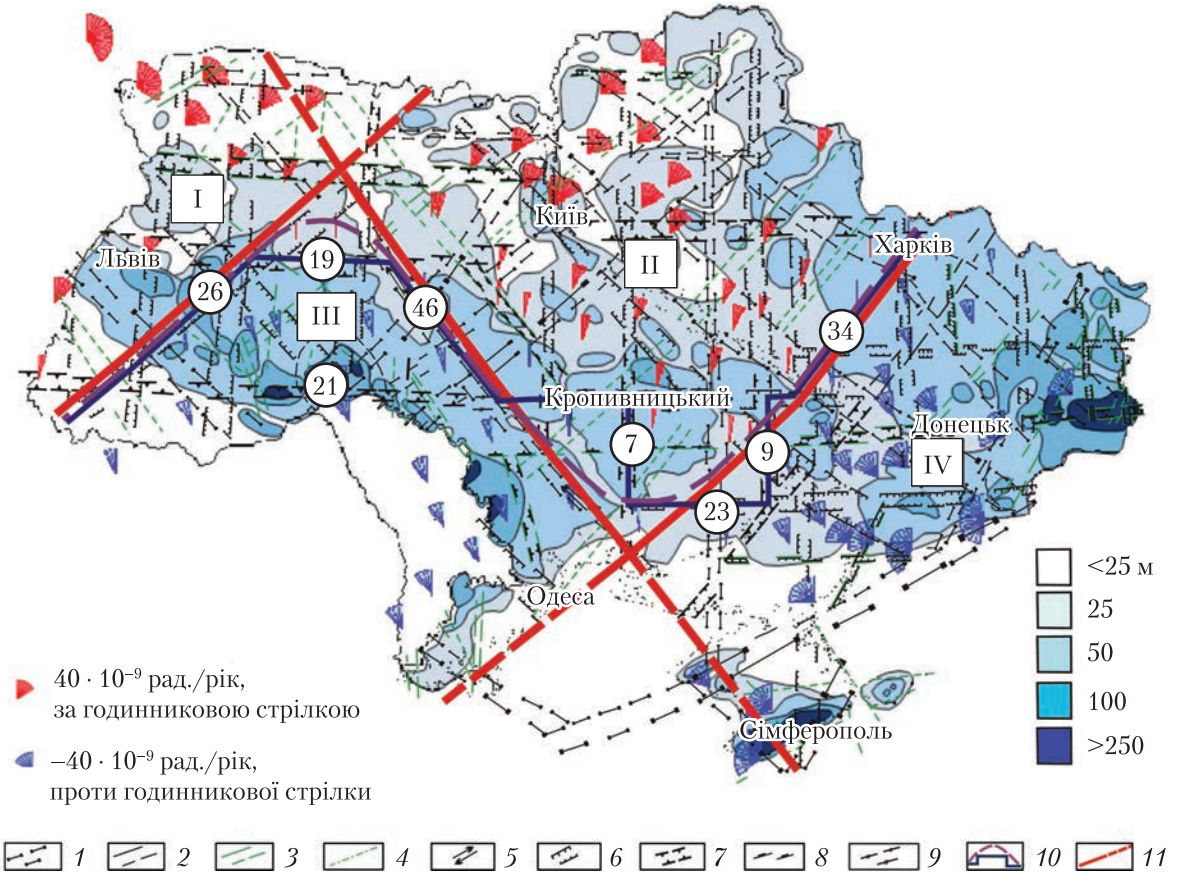

Рис. 3. Зіставлення аномалій деформацій поверхні Землі з новітніми рухами земної кори на прикладі обертання її поверхні. Цифри в кружках — номери лінеаментних зон (збережена авторська нумерація [4]): 26 — Хустсько-Корецька, 19 — Яворівсько-Вовчанська, 46 — Камінь-Каширсько-Ялтинська, 21 — Мукачівсько-Дніпропетровська, 7 — Щорсівсько-Миколаївська, 23 — Баштансько-Тельманівська, 9 — Друж *11* — границі сучасних геоблоків

випадку лінія поділу може бути апроксимована синусоїдою, утвореною лініями північно-західного і північно-східного простягання. Також відзначимо, що напрямок осей максимального стиснення в першому наближенні є перпендикулярним межі розділу цих областей: від північних напрямків на північному заході України до субширотних і широтних – на сході території (див. рис. 2).

Для областей ліво-/правостороннього обертання земної поверхні може бути запропонована інша конфігурація області їх зчленування (рис. 3). Лінію зчленування можна провести по: (26) Хустсько-Корецькому лінеаменту північно-східного простягання, субширотній (19) Яворівсько-Вовчанської зоні, (46) Камінь-Каширсько-Ялтинській зоні північно-західного простягання, субширотній (21) Мукачівсько-Дніпропетровській, субмеридіональній (7) Щорсівсько-Миколаївській, субширотній (23) Баштансько-Тельманівській, субмеридіональній (9) Дружбинсько-Орджонікідзевській та (34) Магдалинівсько-Мерефській північно-східного простягання зонах. Як і в попередньому випадку, зона зчленування може бути апроксимована синусоїдою, градієнтні зони якої мають північно-західне і пів-

нічно-східне простягання (див. рис. 3). Отже, області з різними величинами як зміщення, так і обертання поділяються новітніми лінеаментними зонами, в основному північно-західного і північно-східного простягання.

У першому наближенні в межах території України можуть бути виділені чотири великих сучасних морфоструктури (геоблоки): Північно-Західна (I) і Північно-Східна (II), що обертаються за годинниковою стрілкою і Південно-Західна (III) та Південно-Східна (IV) — проти годинникової стрілки. Ці геоблоки виокремлюються Хустсько-Корецькою та Магдалинівсько-Мерефською лінеаментними зонами північно-східного простягання і Камінь-Каширсько-Ялтинською зоною північно-західного простягання. Слід зазначити також той факт, що зони зчленування областей переважного стиснення—розтягування і ліво-/правостороннього обертання знаходяться як би в протифазі одна до одної (див. рис. 2, 3).

ПЧВР земної кори (менш 3,5 млн років) є останнім етапом формування сучасної її поверхні. ПЧВР мають різко диференційований по площі характер прояву і вельми значну інтенсивність: від –80 м в районі кіс північного узбережжя Азовського моря і до +700 м в гірському Криму [4]. У межах платформної України амплітуди варіюють від –80 м в її центральній частині до +150—200 м — в передгір'ї Криму і Карпат, а також на Донбасі. Для Карпатського регіону, у зв'язку з наявністю складних новітніх процесів їх розвитку, а також території Молдавії дані відсутні. На рис. 2 і 3 амплітуди ПЧВР зображені інтенсивністю кольору (чим інтенсивніший колір, тим амплітуда вища). На порівняльної карті (див. рис. 2) ПЧВР і еліпсів викривлення можна бачити, що в першому наближенні мінімальними величинами амплітуд вертикальних рухів характеризується північна частина Волино-Поділля і північно-західна частина Дніпровсько-Донецької западини, яким відповідає область переважаючого стиснення земної поверхні, а Волинсько-Подільській і частково Придніпровській височинам з амплітудами 25—75 м відповідає область її переважаючого розтягування. Зона їх поділу проходить приблизно по Яворівсько-Вовчанському лінеаменту. Слід відзначити зниження амплітуд ПЧВР у зоні зчленування областей переважного стиснення і розширення земної поверхні на північному сході і сході. Областям переважаючого стиснення земної поверхні північно-східного і субширотного напрямку відповідають території Приазовської височини, Донецького кряжу і південно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини з підвищеними амплітудами ПЧВР.

Більшою закономірністю відзначається співвідношення амплітуд ПЧВР з параметром обертання земної поверхні (див. рис. 3). Виділені нами морфоструктури III і IV, для яких характерно обертання проти годинникової стрілки, спостерігаються в зонах, де амплітуда рухів досягає значень 50 м і вище. Насамперед це території Волинсько-Подільської височини, Донецького кряжу і Приазовської височини.

Отже, області з максимальними і мінімальними величинами стиснення і розтягування, а також ліво-, правосторонніх поступально-обертальних рухів окремих морфоструктур знаходяться в гарному взаємозв'язку з тими або іншими аспектами новітніх пізньопліоцен-четвертинних рухів земної кори. Слід зазначити, що виділені геоблоки знаходять деяке відображення і в аномаліях геомагнітного поля [7, 8], а саме блокам I та II відповідають переважно його негативні значення, а III і IV — позитивні. Також є їх взаємозв'язок зі швидкостями поздовжніх сейсмічних хвиль на глибині 50 км [9], а саме для III і IV блоків, що обертаються проти годинникової стрілки, характерні знижені швидкості сейсмічних

хвиль (7,91—8,01 км/с), а для I і II блоків — підвищенні їх значення (7,92—8,11 км/с). Принципово така картина розподілу швидкостей зберігається і у верхній мантії до глибин 200 км [10]. Цікавим є той факт, що як за швидкісною характеристикою, так і напрямком обертання земної поверхні Українські Карпати поділяються на північно-західну і південно-східну частини або ж можна говорити, що вони "не відчуваються" в цих параметрах. Місцезнаходження областей переважного розтягування і стиснення земної поверхні і конфігурація зони їх зчленування, а також напрямки осей їх максимальних і мінімальних величин свідчать про як мінімум три фактори, що їх зумовлюють. Першим фактором є наявність новітніх зон тектонічних підняттів (Волинсько-Подільська височина, Приазовська височина і Донецький кряж) і опускань (Поліська і Придніпровська низовини). У першому наближенні області підняттів відповідають максимальним амплітудам пліоцен-четвертинних рухів і характеризуються переважним розтягуванням земної поверхні. На цей тип рухів накладаються сучасні рухи, пов'язані з тектонічним рухом Євразійської плити в північно-східному напрямку, а також можливі рухи широтного напрямку, обумовлені нерівномірним обертанням Землі. Останні два чинники є глобально-регіональними відносно першого. Мабуть, взаємодією цих трьох складових можна пояснити амплітуди і напрямок переміщень земної поверхні, напрямків осей розтягування—стиснення як у межах самих структур, так і в області їх зчленування. Ці три сучасних сили задовільно пояснюють і ліво-/правосторонні обертання виділених чотирьох геоблоків: Північно-Західного (I) і Північно-Східного (II), що обертаються за годинниковою стрілкою, і Південно-Західного (III) і Південно-Східного (IV), які обертаються проти годинникової стрілки. Таке їх обертання добре пояснюється з позицій вихрової гідродинаміки [11], відповідно до рівнянь якої наявність вертикального градієнта густини в гравітаційному полі Землі спричиняє обертання речовини середовища в горизонтальній площині. Причому у разі підйому речовини земної кори формується його лінза з обертанням проти годинникової стрілки, а у випадку занурення — за годинниковою стрілкою. Все це підтверджується в нашому випадку наявністю густинної неоднорідності земної кори, що виявляється більшою чи меншою мірою аномаліями гравітаційного поля і геоїда [12—14], а також амплітудами ПЧВР земної кори.

У Центрі аналізу ГНСС-даних ГАО НАН України на основі високоточних координат і векторів зсуву мережі перманентних ГНСС-станцій для всієї території України були отримані значущі параметри деформації земної поверхні, представлені еліпсами викривлення (стиснення—розширення) і обертання (за годинниковою стрілкою і проти годинникової стрілки). На основі аналізу параметрів деформації земної поверхні з новітніми лінеаментними зонами і розломами та пізньопліоцен-четвертинними рухами можна зробити такі висновки.

1. Виділено області переважаючих величин стиснення—розтягування і ліво-/правостороннього обертання земної поверхні, межі між якими можуть бути проведені за лінеаментними зонами і розломами пліоцен-четвертинного етапу розвитку. При цьому встановлено "синусоїдальну" конфігурацію зон зчленування різних типів деформації земної поверхні, які знаходяться в протифазі одна до одної.

2. У першому наближенні областям переважаючого розтягування земної поверхні відповідають зони новітніх тектонічних підняттів (Волинсько-Подільська височина, Приазовська височина), максимальні амплітуди пліоцен-четвертинних рухів, а переважаючого стис-

нення — зони тектонічних опускань (Поліська і Придніпровська низовини) і мінімальні амплітуди пліоцен-четвертинних рухів земної кори.

3. У межах території України можуть бути виділені чотири великих сучасних морфоструктури (геоблоки): Північно-Західна (I) і Північно-Східна (II), що обертаються за годинниковою стрілкою, і Південно-Західна (III) та Південно-Східна (IV), що обертаються проти годинникової стрілки, які виокремлюються лінеаментними зонами північно-східного і північно-західного простягання.

4. На якісному рівні запропоновано механізм взаємозв'язку сучасних і новітніх рухів земної кори, а саме: наявність новітніх зон тектонічних підняттів і опускань з відповідними напругами і переміщеннями, на які накладаються сучасні напруги (і, відповідно, переміщення), пов'язані з тектонічним рухом Євразійської плити в північно-східному напрямку і нерівномірним обертанням Землі.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Хода О.О. Оцінка координат східноєвропейських перманентних ГНСС-станцій в системі координат IGb08 для GPS-тижнів 1709—1933. *Кинематика и физика небесных тел*. 2019. **35**, № 1. С. 70—80.
2. Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P. Bernese GNSS Software Version 5.2. Bern: Astronomical Institute, University of Bern, 2015. 826 p.
3. Ishchenko M. Investigation of deformation of the earth crust on the territory of Ukraine using a GNSS observation. *Artificial Satellites*. 2018. **53**, № 3. P. 117—126. https://doi.org/10.2478/arsa-2018-0009
4. Верховцев В.Г. Новітні платформні геоструктури України та динаміка їх розвитку: Дис. ... д-ра геол. наук. Інститут геологічних наук НАН України. Київ, 2008.
5. Іщенко М.В., Орлюк М.І. Деформація поверхні Землі за даними ГНСС-мережі у зв'язку з квазігеоїдом УКГ2012 та новітніми рухами. *Аерокосмічні спостереження в інтересах сталого розвитку та безпеки*: Матеріали доп. 6-ї Всеукр. конф. "GEO-UA 2018" (Київ, Україна,18—19 верес. 2018). Київ, 2018. С. 101—104.
6. Goudarzi M., Cocard M., Santerre R. GeoStrain: An open source for calculating crustal strain rates. *Comput. Geosci*. 2015. **82**. P. 1—12. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.05.007
7. Орлюк М. И., Марченко А. В., Роменец А. А. Пространственно-временные изменения геомагнитного поля и сейсмичность. *Геофиз. журн*. 2017. **39**, № 6. С. 84—105.
8. Кутас Р.И., Орлюк М.И., Пашкевич И.К., Бурахович Т.К., Макаренко И.Б., Бугаенко И.В. Глубинное строение территории Украины по современным геофизическим данным. Общие сведения. *Очерки геодинамики Украины*: Старостенко В.И., Гинтова О.Б. (ред.). Киев: Предприятие "ВІ ЕН ЕЙ", 2018. С. 17—24.
9. Гейко В.С., Цветкова Т.А., Санникова Н.Г., Ливанова Л.П., Гейко К.В. Региональная 3-D Р-скоростная структура мантии северо-западной Евразии. *Геофиз. журн*. 1998. **2**, № 3. С.67—91.
10. Цветкова Т.А., Бугаенко И.В., Заец Л.Н. Скоростная делимость мантии под Украинским щитом. *Геофиз. журн*. 2016. **38**, № 4. С. 75—87.
11. Гунин В.И. Вихревая гидродинамика: новый подход к моделированию геосистем. *Вестн. Пермского ун-та. Математика. Механика. Информатика*. 2018. Вып. 1. С. 5—18.
12. Ентин В.А., Гуськов С.И., Орлюк М.И., Гинтов О.Б., Осьмак Р.В. Карта абсолютных значений поля силы тяжести Украины и некоторые аспекты ее возможной интерпретации. *Геофиз. журн*. 2015. **37**, № 1. С. 53—61.
13. Старостенко В.И., Куприенко П.Я., Макаренко И.Б., Легостаева О.В., Савченко А.С. Плотностная неоднородность земной коры вдоль широтных зон разломов Украинского щита и Днепровско-Донецкой впадины. *Геофиз. журн*. 2012. **34**, № 6. С. 113—132.
14. Марченко О.М., Кучер О.В., Марченко Д.О. Результати уточнення квазігеоїда УКГ2012 для території України. *Вісн. геодезії та картографії*. 2013. № 3. С. 3—10.

Надійшло до редакції 31.05.2019

REFERENCES

1. Khoda, O. O. (2019). Estimation of coordinates of the Eastern European permanent GNSS stations in the IGb08 Reference Frame for GPS weeks 1709—1933. Kinemat. Phys. Celest. Bodies, 35, No. 1, pp. 46-53. https://doi.org/10.3103/S0884591319010045
2. Dach, R., Lutz, S., Walser, P. & Fridez, P. (2015). Bernese GNSS Software Version 5.2, Astronomical Institute, University of Berne.
3. Ishchenko, M. (2018). Investigation of deformation of the earth crust on the territory of Ukraine using a GNSS observation. Artificial Satellites, 53, No. 3, pp. 117-126. https://doi.org/10.2478/arsa-2018-0009
4. Verkhovtsev, V. H. (2008). The recent platform geostructures of Ukraine and dynamics of their development. (Unpublished Doctoral thesis). Institute of Geological Sciences of the NAS of Ukraine, Kyiv (in Ukrainian).
5. Ishchenko, M. V. & Orlyuk, M. I. (2018). The Earth's surface deformation according to the GNSS network in connection with the quasigoid UKG2012 and the latest movements. Proceedings of the 6th All-Ukrainian conference "GEO-UA 2018". Aerospace observations for sustainable development and security (pp. 101—104). Kyiv (in Ukrainian).
6. Goudarzi, M., Cocard, M. & Santerre, R. (2015). GeoStrain: An open source for calculating crustal strain rates. Comput. Geosci., 82, pp. 1-12. https://doi.org/10.1016/j.cageo.2015.05.007
7. Orlyuk, M. I., Marchenko, A. V. & Romenets, A. A. (2017). Geomagnetic field and seismicity spatial-temporal changes. Geophys. J., 39, No. 6, pp. 84-105 (in Russian).
8. Kutas, R. I., Orlyuk, M. I., Pashkevich, I. K., Burakhovich, T. K., Makarenko, I. B. & Buhaenko, I. V. (2018). Deep structure of the Ukraine territory according to modern geophysical data. General information. In Starostenko, V. I. & Gintov, O. B. (Eds.). Essays on Geodynamics of Ukraine (pp. 17-24). Kyiv: V N A Enterprise LLC (in Russian).
9. Geiko, V. S., Tsvetkova, T. A., Sannikova, N. G., Livanova, L. P. & Geiko, K.V. (1998). Regional 3-D P-velocity structure of the northwestern Eurasia mantle. Geophys. J., 2., No. 3, pp. 67-91 (in Russian).
10. Tsvetkova, T. A., Bugaenko, I. V. & Zaets, L. N. (2016). The mantle speed divisibility under Ukrainian shield. Geophys. J., 38, No. 4, pp. 75-87 (in Russian).
11. Gunin, V. I. (2018). Vortex hydrodynamics: a new approach to modeling geosystems. Vestnik Permskogo Universiteta. Mathematika. Mechanika. Informatika, Iss. 1, pp. 5-18 (in Russian).
12. Yentin, V. A., Guskov, S. I., Orlyuk, M. I., Gintov, O. B. & Os'mak, R. V. (2015). The absolute gravity field values map of Ukraine and some aspects of its possible interpretation. Geophys. J., 37, No. 1, pp. 53-61 (in Russian).
13. Starostenko, V. I., Kuprienko, P. Ya., Makarenko, I. B., Legostaeva, O. V., Savchenko, A. S. (2012). Density inhomogeneity of the earth's crust along the latitudinal fault zones of the Ukrainian shield and the Dnieper-Donetsk cavity. Geophys. J., 34, No. 6, pp. 113-132 (in Russian).
14. Marchenko, O. M., Kucher, O. V. & Marchenko, D. O. (2013). Clarification of quasiogeoid UGG2012 results for the territory of Ukraine. Visnyk heodezii ta kartografii, No. 3, pp. 3-10 (in Ukrainian).

Received 31.05.2019

М.И. Орлюк [1], *М.В. Ищенко* [2]

[1] Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев
[2] Главная астрономическая обсерватория НАН Украины, Киев
E-mail: orliuk@ukr.net, marina@mao.kiev.ua

АНАЛИЗ ДЕФОРМАЦИИ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
ПО ДАННЫМ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ
С ЕЕ НОВЕЙШИМИ ДВИЖЕНИЯМИ НА ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ

Рассмотрена современная деформация поверхности Земли по результатам Центра анализа ГНСС-данных ГАО НАН Украины в сравнении с новейшими линеаментными зонами и разломами и позднеплиоцен-четвертичными вертикальными движениями земной коры. Выделены области преобладающих величин сжатия—растяжения и лево-/правостороннего вращения земной поверхности, границы между которыми могут быть проведены по новейшим линеаментным зонам и разломам. Областям преобладающего растяжения земной поверхности соответствуют зоны новейших тектонических поднятий и максимальные амп-

литуды плиоцен-четвертичных движений, а преобладающего сжатия — зоны тектонических опусканий и минимальные амплитуды плиоцен-четвертичных движений. Выделены четыре крупных современных геоблока: Северо-Западный и Северо-Восточный, которые вращаются по часовой стрелке, и Юго-Западный и Юго-Восточный, которые вращаются против часовой стрелки. Предложен качественный механизм взаимосвязи современных и новейших движений земной коры.

Ключевые слова: *ГНСС-данные, современные и новейшие движения земной коры, линеаменты, геоблок, Украина.*

M.I. Orlyuk [1], *M.V. Ishchenko* [2]

[1] S.I. Subbotin Institute of Geophysics of the NAS of Ukraine, Kyiv
[2] Main Astronomical Observatory NAS of Ukraine, Kyiv
E-mail: orliuk@ukr.net, marina@mao.kiev.ua

ANALYSIS OF EARTH'S SURFACE DEFORMATION ACCORDING TO THE GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS DATA INCLUDING THE NEWEST MOVEMENTS OF THE TERRITORY OF UKRAINE

The article considers the modern deformation of Earth's surface according to the results of the GNSS data analysis center of the MAO NAS of Ukraine in comparison with the latest lineament zones and faults, as well as, the Late Pliocene-Quaternary vertical movements of Earth's crust. The areas of prevailing values of the compression-tension and the left-right rotation of Earth's surface, the boundaries between which can be drawn in accordance with the latest lineament zones and faults, are identified. The areas of the prevailing stretching of Earth's surface correspond to the zones of newest tectonic uplifts and the maximum amplitudes of the Pliocene-Quaternary movements and to the areas of the prevailing compression to the tectonic descents and minimum amplitudes. Four large modern geoblocks have been identified: the North-West and the North-East, which rotate clockwise, and the South-West and the South-East — counterclockwise. A qualitative mechanism for interconnecting the modern and newest movements of Earth's crust is proposed.

Keywords: *GNSS data, modern and newest movements of Earth's crust, lineaments, geoblocks, Ukraine.*