

УДК 528.24:550.36

А.Я. Кульчицький

Національний університет "Львівська політехніка"

ГЕОДИНАМІКА ТА СЕЙСМІЧНІСТЬ КАРПАТО-ДИНАРІД НА ОСНОВІ ОПРАЦЮВАНЬ GPS-ВИМІРІВ ТА ПАЛЕОМАГНІТНИХ ДАНИХ

© Кульчицький А.Я., 2011

На основі опрацювань GPS-вимірів та палеомагнітних даних створена попередня робоча модель тектонічної активності та виникнення сейсмічних напружень у Карпато-Динарському регіоні у зв'язку з ротаційними процесами. Запропоновано напрямки геодинамічних досліджень для прогнозування сейсмічної небезпеки.

Based on processing GPS-measurements and paleomagnetic data create previous working model of tectonic activity and seismic stresses in the Carpathian- Dinarides region due to the rotary process. Offered trends of geodynamic research to predict seismic hazards.

Постановка проблеми. Надійне визначення деформацій земної кори шляхом дослідження зміни координат геодезичних пунктів має надзвичайно важливе наукове, практичне і соціальне значення, оскільки інформація про наростання їх інтенсивності є важливим провісником сейсмічних явищ. Сьогодні найпродуктивнішим для цього є метод GPS (глобальної позиційної системи), який разом з геологічними, геофізичними та іншими методами дослідження земних надр утворює комплексний геонамічний напрям, або дисципліну, кінцевою метою якої є прогноз тектонічної та сейсмічної активності земної кори.

Постановка завдання. Прогноз геодинаміки та сейсмічності Карпато-Динарід на основі зіставлення результатів моделювання швидкостей деформацій земної кори за даними GPS-вимірів з особливостями тектонічного розвитку регіону на основі палеомагнітних даних.

Викладення матеріалу. Геодинамічний розвиток Карпато-Динарід – частини Середземноморського геосинклінального поясу – слід розглядати у причинно-наслідковому зв'язку з глобальними зміщеннями Середньоазійської та Африканської літосферних плит, про що знаходимо інформацію у багатьох авторів і, зокрема, у [12]. У результаті нерівномірного розширення Атлантичного рифту відбулось швидше проковзування Євро-Азійської плити у східному напрямку відносно Африканської, що призвело до зминання Середземноморського геосинклінального поясу, скорочення його загальної довжини та утворення крупних горизонтальних мегаскладчастих структур (рис. 1). У ролі упору (буферної зони) виступала Аравійська плита. Скорочення довжини західної частини Середземноморського геосинклінального поясу становить близько 1875 км. Під час розрахунку [9] порівнювались довжини (рис. 1) північної (пунктирна лінія) та південної (пунктирна лінія з крапками) смуг зі сучасною довжиною західної частини Середземноморського геосинклінального поясу (пряма лінія між крайніми точками замірів). Скорочення довжини Середземноморського геосинклінального поясу відповідає амплітудам розширення та зміщенням за трансформними розломами у північній частині Атлантичного рифту [2,9], що підтверджує різну швидкість руху крупних літосферних плит.



Рис. 1. Схема західної частини Середземноморського геосинклінального поясу за Кобером [1] з нашими доповненнями (пояснення у тексті), Z – міжгірські западини

Карпато-Динариди утворились у результаті розкриття міжгірського тектонічного вікна, куди «увійшли» крупні блоки-терейни ALKAPA і TISZA-DACIA, які складають Панонський масив. За даними досліджень Бала [3, 4], ці два блоки вигнули Карпатську дугу у північно-східному напрямку і надали їй сучасного вигляду. Не вдаючись до аналізу утворення Панонського масиву, необхідно підкреслити його визначальну роль у подальшому формуванні кільцевої структури Карпат. У цьому контексті вважаємо за доцільне навести висловлювання С.С. Круглова: «Кто найдет ключ к механизму создания почти кольцевой системы Балканы–Карпаты–Альпы–Динариды, тот объяснит и геодинамику всей нашей планеты» [11]. Карпатське кільце з двома достатньо жорсткими терейнами в середині, у результаті більш швидкого проковзування Євро-Азійської плити у східному напрямку за останні 18 мільйонів років повернулося (прокотилося) за годинниковою стрілкою на кут приблизно 120° (рис. 2), на що вказують палеомагнітні дані [3,4]. Вирішальним було обертання TISZA-DACIA терейну, яке збіглося зі загальною ротацією Панонського масиву, а протилежне обертання тектонічного терейну ALKAPA було похідним і відбувалося з невеликими його частинами у результаті „сателітного” зчеплення.

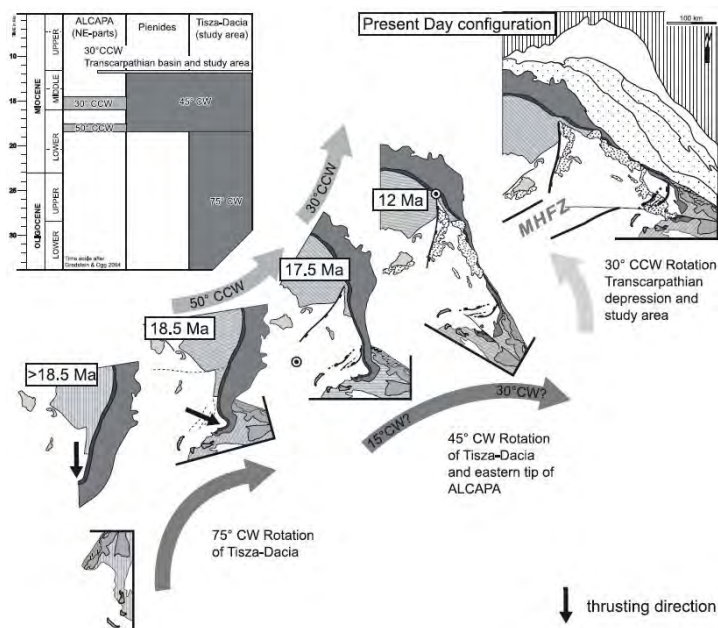


Рис. 2. Схема обертання блоків ALKAPA і TISZA-DACIA на основі палеомагнітних спостережень за даними угорських геологів [4]

Необхідно зазначити, що на кінцевому етапі формування кільцевої структури Карпат відбулася зміна глобального тектонічного режиму – збільшився тиск з боку Африканської плити та зменшилась швидкість просування Євро-Азійської плити у східному напрямку. Це призвело до незначної деформації кільцевої структури, яка проявилась у розвороті Східних Карпат проти годинникової стрілки (рис. 2) на кут близько 30° і зміщенням блоків ALKAPA і TISZA-DACIA по середньоугорській зоні розломів. Однак, тенденція обертання за годинниковою стрілкою, незважаючи на наведений факт, зберігається і у реальному часі, що детальніше розглянемо нижче.

Аналіз сучасних горизонтальних рухів, отриманих за допомогою GPS спостережень та інших геодезичних методів, підтверджує наведену вище ротаційну модель формування Карпато-Динарид. На жаль, невелика кількість станцій, використаних у дослідженнях, не дає можливості дати оцінку по простяганню всієї карпатської дуги та по всій території Панонського масиву.

Дані про спрямованість максимальних стисків та розтягів на основі опрацювання GPS-вимірів [6] на рис. 3 вказують, що уздовж Карпатської дуги розтяг відбувається у напрямку ротації, а стиски у напрямку «прокочування», що підтверджує запропоновану модель утворення кільцевої структури Карпат.

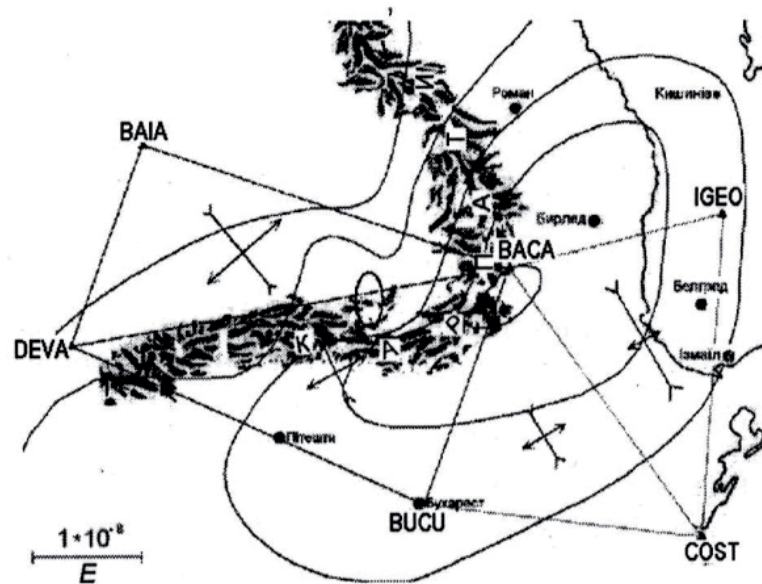


Рис. 3. Розподіл максимальних стисків та розтягів (стрілки) у зоні Вранча за даними О.В. Серант [6]. Суцільні лінії – ізосейсти землетрусів

Результати досліджень [9] стосовно моделювання тензору швидкостей деформацій земної кори за даними GPS-вимірів дають можливість зробити наведені нижче висновки, які підтверджують зв'язок між ротацією окремих блоків та деформаціями земної кори і сейсмічністю у межах досліджуваного регіону. Найінформативніші результати обчислень наведено у вигляді ізоліній векторних полів на відповідних картосхемах (рис. 4–10) досліджуваного регіону (широта 18 – 32, довгота 42 – 52).

За вихідні дані обчислень було прийнято компоненти лінійних швидкостей 25 GPS-станцій (рис. 4), визначених за зміною координат на основі розв'язку, який рекомендується для геодезичних та геодинамічних задач високої точності [4].

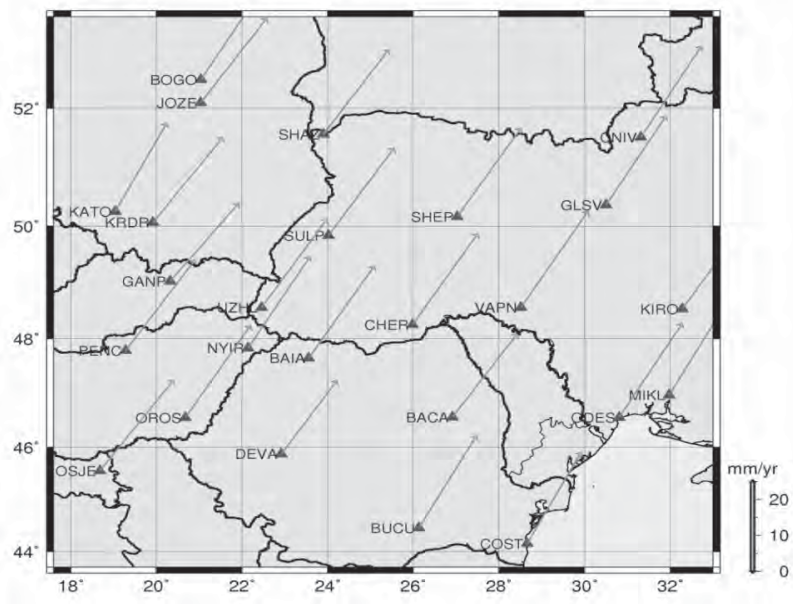


Рис. 4. Виміряні лінійні швидкості [мм/рік] згідно з даними 25 GPS-станцій [9]

Точність обчислених значень зміни координат станцій в системі ITRF2005 становить 0.0009 м, а граничне відхилення ± 0.0023 м. Рис. 4 ілюструє вибрані виміряні компоненти лінійних швидкостей. При видаленні головного систематичного внеску компонент, що відповідають кожній плиті і описують її рух як твердого блоку, лише наближено в рамках моделі Ейлера (рис. 1.3), виникає можливість використання сучасного підходу прогнозування методом колокації на основі так званої техніки “видалення – відновлення”, яка детально описана у [9].



Рис. 5. Залишкові лінійні швидкості [мм/рік] згідно з даними 25 GPS-станцій [9]

Для подальшої обробки даних методом середньої квадратичної колокації як вихідну інформацію було використано саме залишкове поле складових лінійної швидкості. Рис. 4 ілюструє залишкові вектори швидкості на окремих GPS-станціях після видалення з виміряних даних східної та північної компонент лінійних швидкостей згідно з моделлю NUVEL-1A [9].

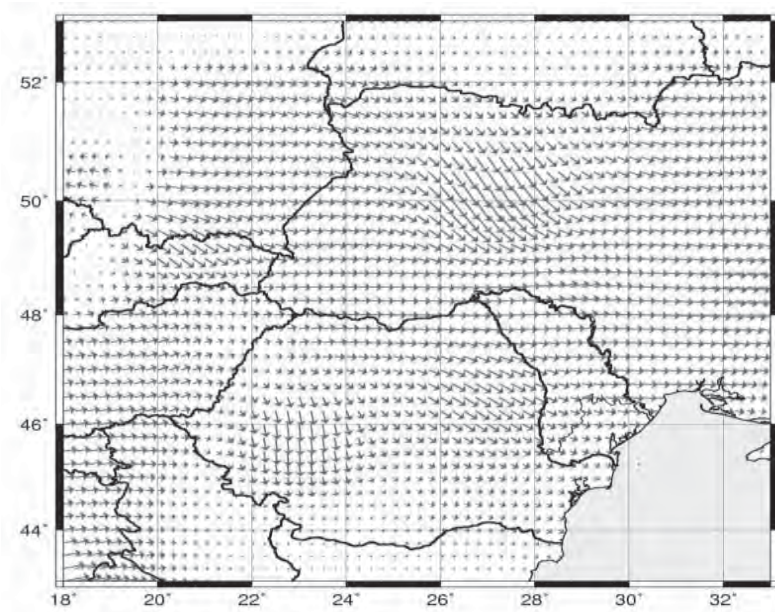


Рис. 6. Залишкові лінійні швидкості [мм/рік] на сітці 15'×15', обчислені методом колокації [9]

На рис. 4 і 5, де відображено залишкові компоненти лінійних швидкостей, спрямовані вздовж карпатської дуги вектори зміщень на станціях CHER і BACA підтверджують ротаційні процеси у реальному часі.

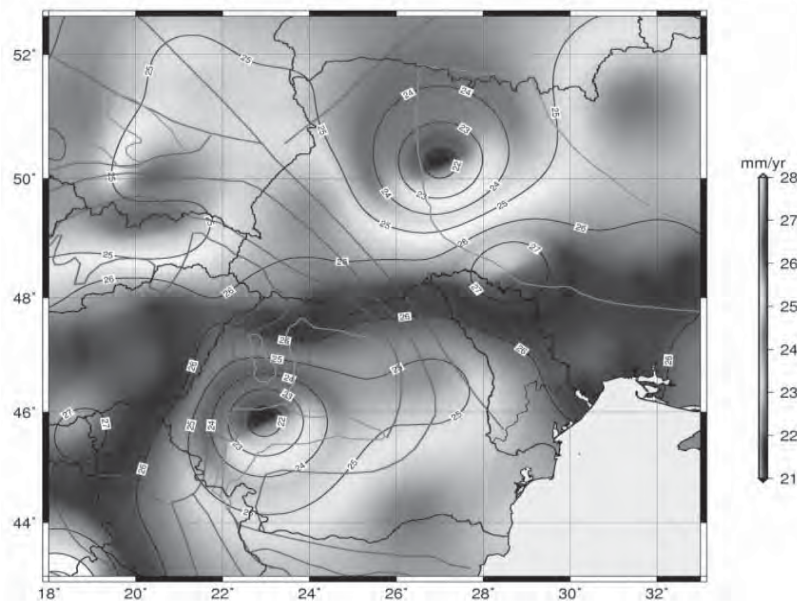


Рис. 7. Модуль вектора поля лінійних швидкостей [мм/рік] обчислений на основі лінійних компонент [9]

Для більшої наочності змін лінійних швидкостей окремих GPS-станцій у досліджуваному регіоні на основі лінійних компонент було розраховано розподіл модуля вектора поля лінійної швидкості та його східної і північної компонент як вихідної інформації для визначення тензору швидкостей деформацій.

Модуль вектора лінійних швидкостей на рис. 6 яскраво демонструє ротацію блоку TISZA-DACIA – це синє поле, у центральній частині якого ізогіпси мають значення 22, а у крайових частинах, де лінійна швидкість обертання є більшою, сягають позначки – 25.

Ідентичну картину спостерігаємо на рис. 7 – східної компоненти лінійних швидкостей, де блок TISZA-DACIA знаходиться теж у межах синього поля, але, окрім цього, спостерігаємо зелене поле у районі Вранча, що вказує на зв'язок між виникненням цих деформацій. Два червоні поля на цьому самому рисунку північніше та південніше від Панонського масиву, які у широтному напрямку протягуються на схід, відповідають широтному простягання Південно- та Центрально-українській геодинамічним зонам, позначеним на тектонічних схемах Атласу України [7].

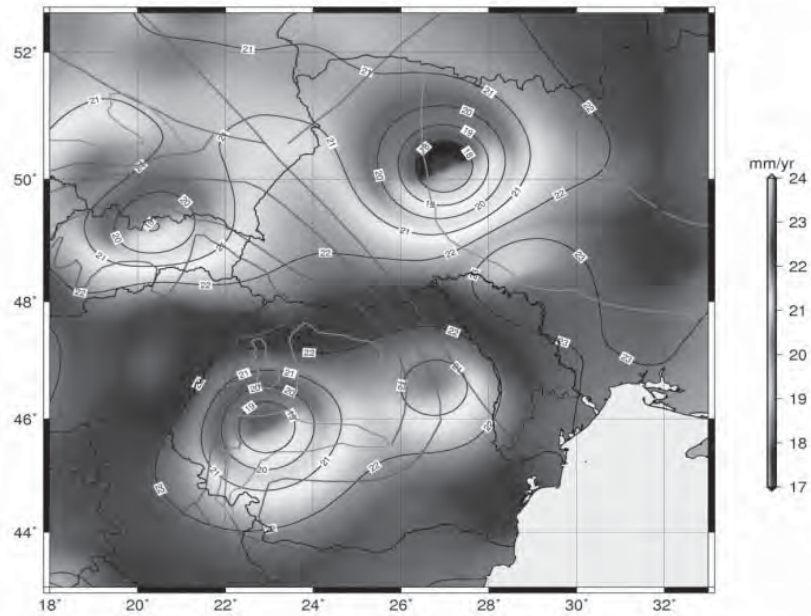


Рис. 8. Східна компонента [9] поля лінійних швидкостей [мм/рік]

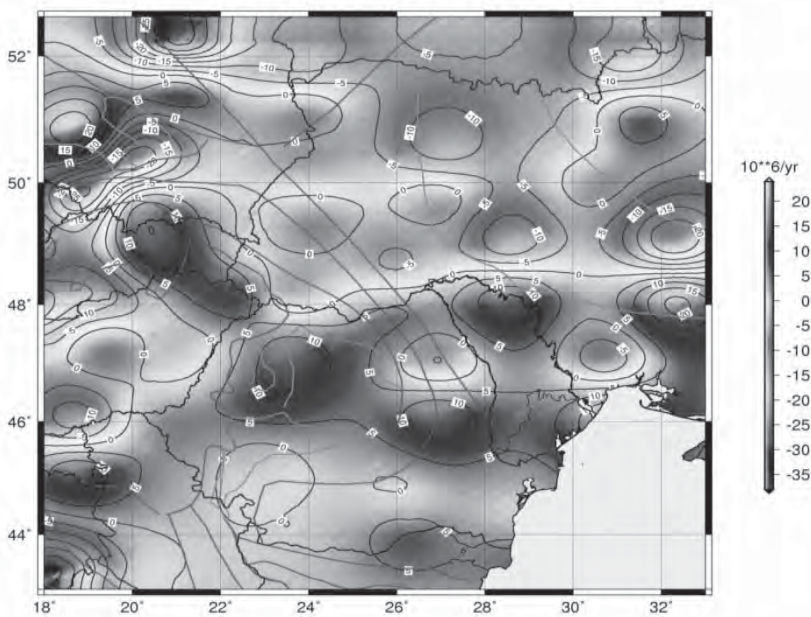


Рис. 9. Компонента $\dot{\epsilon}_{\varphi\varphi}$ [10^6 /рік] тензору швидкості деформацій [9]

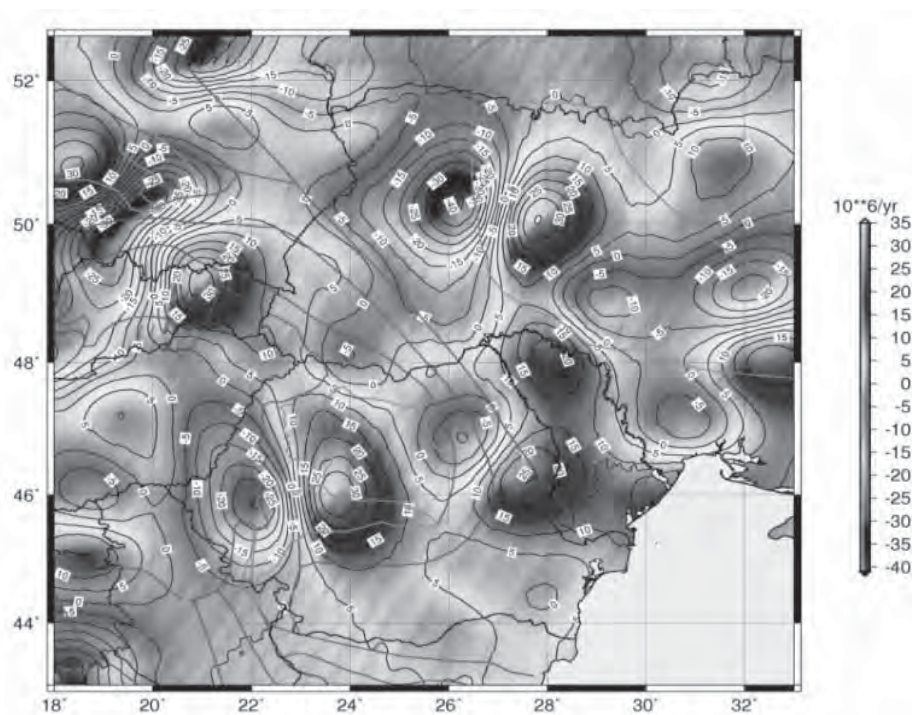


Рис. 10. Швидкість дилатації [$10^6/\text{рік}$] в регіоні Східної Європи [9]

Швидкість дилатації та компоненти тензору швидкостей обертання (рис. 9) теж вказують на зв'язок ротації блоку TISZA-DACIA з напруженнями у зоні Вранча [9].

Інформація [8] щодо напрямку міграції гіпоцентрів землетрусів уздовж карпатської дуги у сейсмонебезпечній зоні Вранча, який збігається з напрямком ротаційних процесів, теж вказує на генетичний зв'язок між ними. Однак слід зауважити, що кутова швидкість міграції є значно більшою від швидкості обертання Панонського масиву.

Отже, отримані результати дають можливість створити попередню робочу модель формування сейсмічної активності і землетрусів у Карпато-Динарському регіоні, яка полягає у тому, що внаслідок різної швидкості руху Євро-Азійської та Африканської літосферних плит на схід відбувається ротація Карпатської дуги з Панонським масивом в середині за годинниковою стрілкою. У місці максимального кута згинання Карпатської дуги – зоні Вранча – накопичується найбільша напруга, розрядка якої відбувається при переломах потовщеної літосфери під Карпатами поперечними тріщинами. Потовщення літосфери під Карпатами підтверджують гравіметричні дослідження, за даними яких товщина літосфери у районі Вранча становить 180 – 200 км [5]. “Переломи” цієї ділянки літосфери відбуваються у доволі значному вертикальному інтервалі – від 60 до 150 км [6].

Для визначення довготривалих провісників при прогнозуванні сейсмічної небезпеки у досліджуваному регіоні та прилеглих територіях пропонуємо проведення порівняльного аналізу сейсмічності та сучасних рухів земної поверхні у таких напрямках:

1 Дослідження впливу взаємних зміщень Євразійської та Африканської плит на ротацію Панонського масиву.

2 Дослідження «реакції» буферної зони (Аравійська плита) на взаємні зміщення між крупними плитами.

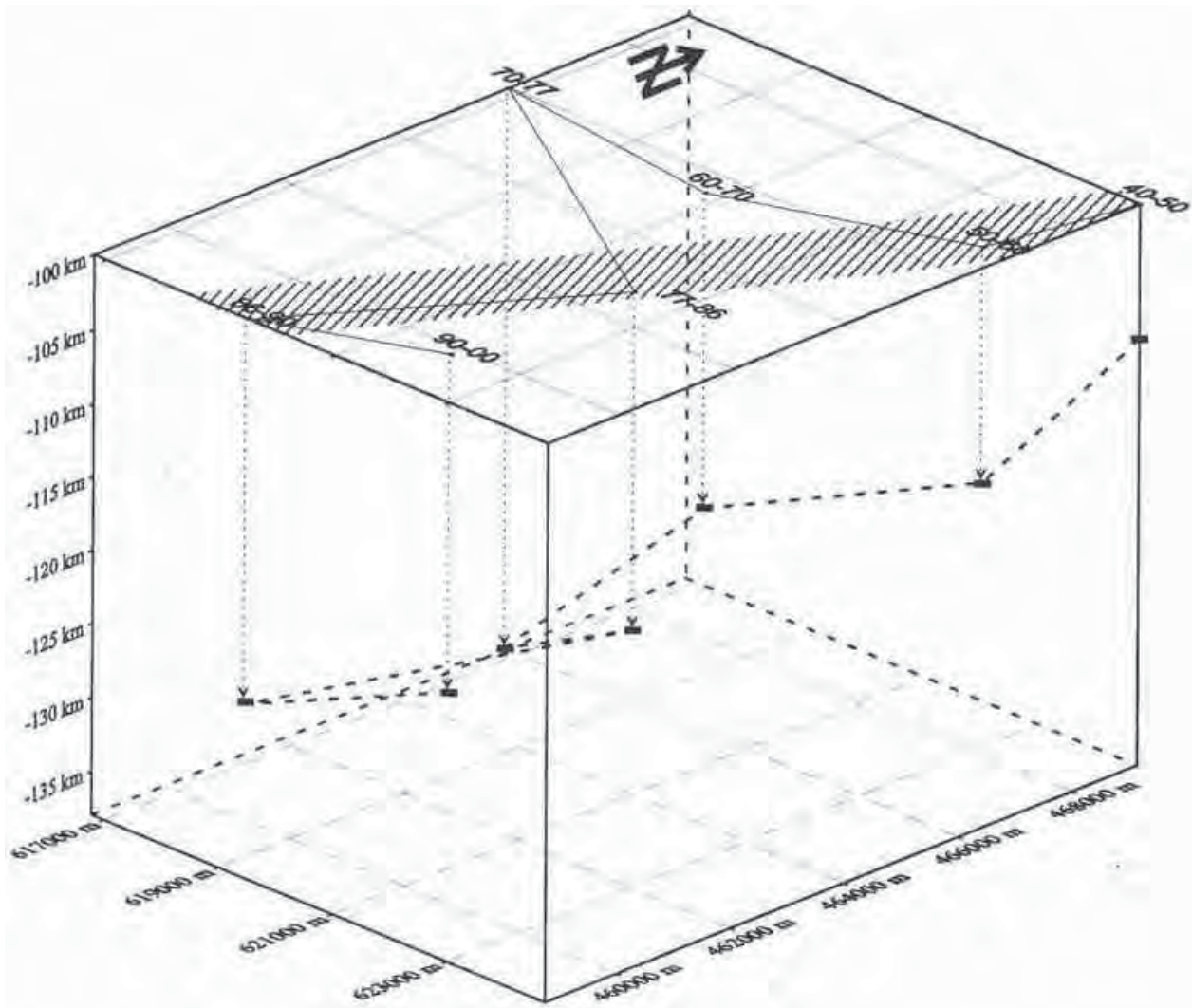


Рис. 11. Міграція центрів сейсмічної активності зони Вранча з 1940 по 2000 роки за даними румунських сейсмологів [8]

Інформація про наростання швидкостей зміщень крупних літосферних плит дасть можливість прогнозувати збільшення сейсмічних напружень у локальних регіонах, таких як зона Вранча і регіональних, таких як Карпато-Динариди. У зоні розлому Сан-Андреас помічено, що при наближенні землетрусу збільшується швидкість руху сусідніх блоків, які він розділяє. Подібну ситуацію слід очікувати і при зміщеннях між літосферними плитами. Час настання сейсмічної розрядки можна визначити шляхом дослідження короткотривалих провісників, виникнення яких корелюватиметься впливом довготривалих. Землетрус, безперечно, відбудеться у момент відносних зміщень крупних плит, але при цьому вирішальний вплив матиме так званий «ефект метелика», – коли при мінімальних деформаціях між крупними плитами виникає катастрофічна сейсмічна розрядка напруги на локальному рівні, тобто у районі Вранча або прилеглих територіях.

Оскільки, як вище було обґрунтовано, сейсмічні напруження у Карпато-Динарському регіоні накопичуються у зв'язку з ротаційними процесами, тому дослідження їх інтенсивності вважаємо найбільш інформативним для прогнозу землетрусів.

Висновки

1. Дано геологічну інтерпретацію поля лінійних швидкостей та інваріантних характеристик деформацій в регіоні Карпато-Динарид.
2. Сформульовано попередню робочу модель виникнення Карпатських землетрусів. Запропоновано напрямки наступних геодинамічних досліджень для прогнозування сейсмічної небезпеки.
3. Метод скінченних елементів для математичного опрацювання геодезичних вимірів рекомендуємо як найінформативніший для порівняльного вивчення деформацій земної поверхні досліджуваного регіону.

1. Kober L. *Bau und Entstehung der Alpen*. Wien, 1923. 283 pp. 2. Короновский Н.В. Магнитное поле геологического прошлого Земли // Соросовский обзорный журнал. – 1996. – № 6. – С. 65–73. 3. Balla Z. 1984: *The Carpathian loop and the Pannonian basin: a kinematic analysis*. *Geophysical Transactions* 30, 313–353. 4. Balla Z. 1987: *Cenozoic paleomagnetic data for the Carpatho-Pannonian region in the light of Miocene rotation kinematics*. *Tectonophysics* 139, 67–98. 5. Emő Márton, Matthias Tishler, Laszlo Csontos, Bernhard Fugenschuh, & Stefan M. Schmid *The contact zone between the ALCAPA and Tisza-Dacia megatectonic units of Northern Romania in the light of new paleomagnetic data*. *Swiss j. geosci.* 100 (2007) 109–124. 6. Серант О.В. Дослідження взаємозалежності між сейсмічною активністю і горизонтальними деформаціями земної поверхні зони Вранча на основі вимірів перманентних GPS-станцій. *Вісник геодезії та картографії* № 2, 2009. С. 21 – 27. 7. Геологія і корисні копалини України: атлас / За ред. Л.С. Галецького. – Київ: Національна Академія наук України, 2001. С. 168. 8. Lucian Besutiu, *Luminitia Zlagnian Geodynamic consideration on the space-time migration of the vrancea intermediate-depth seismicity Integrated research on the intermediate-depth earthquake genesis within vrancea zone* P.140 – 152. 9. Звіт про науково-дослідну роботу: «Оцінка і прогнозування стану сейсмічної активності Карпато-Балканського регіону за даними GPS-вимірів («МАСИВ») (проміжний) / К. Третяк, О. Марченко, І. Сідоров, О. Серант, Ю. Голубінка, А. Кульчицький, А. Дульцев. – Нац. ун-т «Львівська політехніка». – 2010. – 38 с. 10. М. Демедюк, Ф. Заблоцький, В. Колгунов, А. Островський, І. Сідоров, К. Третяк *Результати дослідження горизонтальних деформацій земної кори на Карпатському геодинамічному полігоні* // *Геодинаміка*. – Львів: Львівське астрономо-геодезичне товариство, Нац. ун-т «Львівська політехніка». – 1998. – № 1. – С. 3–13. 11. Круглов С.С. Удалась ли конструкция пра-Карпат? [В связи с выходом монографии А.П. Медведева и А.С. Варычева «Пра-Карпаты (конструкция и деструкция)»] *Геодинаміка* // Львівське астрономо-геодезичне товариство, Нац. ун-т «Львівська політехніка». – 2000. – № 1(3). – С. 143–149. 12. Ступка О.С. *Источник осадков карпатского флиша – геодинамический аспект* // *Геодинаміка: Львівське астрономо-геодезичне товариство, Нац. ун-т «Львівська політехніка»*. – 2008. – № 1(7). – С. 39–46.