

УДК 528.481

## ОЦІНКА ТА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ РУХІВ ЗЕМНОЇ КОРИ АНТАРКТИДИ

К.Р. Третяк, Ю.І. Голубінка

*Національний університет «Львівська політехніка», 79013, м. Львів, вул. Степана Бандери, 12; тел.: +38 032 258 2132, факс: +38 032 298 0748, [kornel@polynet.lviv.ua](mailto:kornel@polynet.lviv.ua)*

За результатами повторних GPS спостережень на території Антарктики виконано оцінку та диференціацію рухів земної поверхні на глобальному (Антарктична плита), регіональному (Антарктичний півострів) та локальному (архіпелаг Аргентинські острови) рівні.

**Estimation and differentiation movements of a terrestrial surface in Antarctic Region.** K. R Tretyak., Y. I.Golybinka  
By results of repeated supervision in Antarctic Region the estimation and differentiation movements of a terrestrial surface at global (Antarctic plate), regional (Antarctic peninsula) and local (Argentina islands) levels is executed

**Оценка и дифференциация движений земной коры Антарктиды.** К.Р. Третяк, Ю.И. Голубинка  
По результатам повторных GPS-наблюдений на территории Антарктики выполнены оценка и дифференциация движений земной поверхности на глобальном (Антарктическая плита), региональном (Антарктический полуостров) и локальном (архипелаг Антарктические острова) уровне.

### Вступ

За останнє двадцятиліття геолого-геофізичні дослідження земної поверхні на території Антарктиди суттєво доповнюються результатами повторних геодезичних спостережень. Поява та розвиток таких методів космічної геодезії, як глобальна радіонавігаційна супутникова система (GPS), лазерна локація штучних супутників Землі (SLR), радіоінтерферометрія з наддовгою базою (VLBI), доплерівські спостереження за штучними супутниками Землі (DORIS), дозволили достовірно визначати сучасні рухи тектонічних плит. За результатами GPS-спостережень на перманентних станціях [8], розташованих на тектонічних плитах, визначаються їх зсуви по координатних осях та ротаційні характеристики тектонічних плит (значення обертальної швидкості й координати полюсу Ейлера).

Крім спостережень на перманентних станціях з метою вивчення локальної геодинаміки, проводяться регулярні, як правило, щорічні GPS-кампанії на окремих геодезичних полігонах. Особливо активно піддається вивченню Антарктичний півострів, де зосереджено найбільшу на території Антарктики кількість перманентних GPS-станцій. Крім цього, з 1995 р. в межах Антарктичного півострова під егідою SCAR (Міжнародний науковий комітет з антарктичних досліджень) проводяться щорічні GPS-кампанії. Основну мету досліджень було спрямовано на майбутнє сумісне опрацювання результатів вимірів локальних та перманентних станцій і визначення швидкостей та напрямку руху тектонічних блоків Антарктичного півострова [6].

Особливий інтерес у плані дослідження рухів земної кори являє територія Аргентинських островів, яка охоплює у минулому тектонічно активну зону із сучасними вулканічними проявами. Відсутність на островах суцільного льодовикового покриву сприятлива для закріплення геодезичних мереж. Безпосередньо біля будівлі станції «Академік Вернадський» знаходиться геодезична марка, на якій проведено три цикли повторних GPS-спостережень у рамках кампаній SCAR (1998, 2003, 2005). Ця марка ідентифікується під назвою VER1.

Наукові дослідження на території Аргентинських островів розпочато бельгійськими дослідниками наприкінці XIX – на початку XX століття під керівництвом Андріана Герлаха. В результаті цих досліджень було складено першу геологічну карту цих територій. Подальші геолого-тектонічні дослідження проводились англійськими дослідниками. Найдосконаліше геологічне районування на картографічній основі відносно досліджуваних територій було виконане Британською Антарктичною службою (БАС). Детальний ретроспективний тектоно-геологічний огляд архіпелагу Аргентинські острови виконано в [7]. Для цього було використано результати геологічних та палеомагнітних досліджень, а також аналіз досліджень англійських геологів. Результати інструментальних тектономагнітних досліджень території Аргентинських островів висвітлені в роботах [1,2]. За результатами визначення часових варіацій магнітного поля [3] припускається наявність тектонічної активності в районі Аргентинських островів «Три маленьких поросятка» (рис. 3).

### Виклад матеріалу

Сьогодні на Антарктичному континенті діють 10 перманентних GPS-станцій, 4 станції належать до загальноземної геодезичної служби (IGS) і 6 – до Австралійської референційної геодезичної мережі (ARGN), 6 перманентних станцій працюють уже понад десять років. Результати роботи цих станцій інтерпретуються у вигляді векторів швидкостей їх загальних зміщень, що характеризують напрям та швидкість руху Антарктичної тектонічної плити. Але при цьому не враховуються власний рух тектонічної плити, викликаний її деформацією, та рух, обумовлений зовнішніми силами, спричиненими сусідніми тектонічними плитами. Метою досліджень стосовно геодинаміки Антарктичної тектонічної плити є визначення загальних векторів руху та його складових,

обумовлених її деформаціями і впливом сусідніх тектонічних плит, а також полюсів Ейлера і швидкості обертання Антарктичної тектонічної плити.

Для вирішення поставленого завдання нами було розроблено методику визначення складових вектора зміщення з опрацюванням просторових кінематичних GPS-мереж. Суть методики полягає у визначенні зміщень пунктів, викликаних деформаціями земної кори за допомогою кінематичних коефіцієнтів, які характеризують неоднорідності поля деформацій плити.

Вихідними даними слугують результати повторних вимірів GPS-векторів мережі. Зміна приростів координат вектора між циклами спостережень  $i$ -го і  $j$ -го пунктів представлена у вигляді наступних виразів:

$$\delta x_{i,j} = \Delta X_j - \Delta X_i, \delta y_{i,j} = \Delta Y_j - \Delta Y_i, \delta z_{i,j} = \Delta Z_j - \Delta Z_i \quad (1)$$

де  $\Delta X_i, \Delta Y_i, \Delta Z_i$  – зміна відповідних координат між двома циклами спостережень  $i$ -го.

Для зручності скористаємось поняттями нормованих коефіцієнтів кінематики пункту, вони обчислюються за наступною формулою:

$$K_r = \frac{\mathfrak{R}_r}{\sum_{t=1}^n \mathfrak{R}_t} \quad (2)$$

де  $\mathfrak{R}$  – ненормований коефіцієнт, і визначається за формулами:

$$\mathfrak{R}_{Xr} = \frac{\sum_{\substack{t=1 \\ t \neq r}}^n \nabla x_{rt}}{n}, \mathfrak{R}_{Yr} = \frac{\sum_{\substack{t=1 \\ t \neq r}}^n \nabla y_{rt}}{n}, \mathfrak{R}_{Zr} = \frac{\sum_{\substack{t=1 \\ t \neq r}}^n \nabla z_{rt}}{n} \quad (3)$$

У наведених формулах  $\nabla x_n, \nabla y_n, \nabla z_n$  – середні квадратичні відхилення проекцій вимірних векторів на відповідні осі X, Y, Z між пунктами  $r$  та  $t$  за певний період спостережень, вони обчислюються за наступними виразами:

$$\nabla x_{r,t}^k = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^k \left( \Delta x_{r,t}^l - \frac{\sum_{l=1}^k \Delta x_{r,t}^l}{k} \right)^2}{k}}, \nabla y_{r,t}^k = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^k \left( \Delta y_{r,t}^l - \frac{\sum_{l=1}^k \Delta y_{r,t}^l}{k} \right)^2}{k}}, \nabla z_{r,t}^k = \sqrt{\frac{\sum_{l=1}^k \left( \Delta z_{r,t}^l - \frac{\sum_{l=1}^k \Delta z_{r,t}^l}{k} \right)^2}{k}}, \quad (4)$$

де  $\Delta x_{r,t}^l, \Delta y_{r,t}^l, \Delta z_{r,t}^l$  – проекції вимірних векторів на відповідні координатні осі.

Далі для визначення зміщень пунктів, пов'язаних із деформацією мережі, знаходимо середньовагове зміщення кожної пари пунктів по осях X, Y, Z із врахуванням кінематичних коефіцієнтів:

$$Dx_{i,j} = \frac{K_{Xj} - K_{Xi} \delta x_{ij}}{2(K_{Xj} + K_{Xi})}, Dy_{i,j} = \frac{K_{Yj} - K_{Yi} \delta y_{ij}}{2(K_{Yj} + K_{Yi})}, Dz_{i,j} = \frac{K_{Zj} - K_{Zi} \delta z_{ij}}{2(K_{Zj} + K_{Zi})}, \quad (5)$$

де  $\delta x_{ij}, \delta y_{ij}, \delta z_{ij}$  – зміна проекції вимірних векторів на відповідні координатні осі між сусідніми циклами спостережень.

Середньовагове зміщення по відповідних осях, викликане деформацією земної поверхні, дорівнює:

$$\delta \delta_X = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n Dx_{i,j}}{n(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n}, \delta \delta_Y = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n Dy_{i,j}}{n(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i}{n}, \delta \delta_Z = \frac{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n Dz_{i,j}}{n(n-1)} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i}{n} \quad (6)$$

За результатами класичного урівноваження визначаємо зміщення пунктів по відповідних осях  $\Delta X^{yp}, \Delta Y^{yp}, \Delta Z^{yp}$  і проекції середнього зміщення на координатні осі

$$\Delta \Delta_X = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i^{yp}}{n}, \Delta \Delta_Y = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Y_i^{yp}}{n}, \Delta \Delta_Z = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Z_i^{yp}}{n} \quad (7)$$

Різниця між середнім зміщенням мережі, викликаним її деформацією і визначеним за результатами урівноваження:

$$\delta \Delta_X = \Delta \Delta_X - \delta \delta_X, \delta \Delta_Y = \Delta \Delta_Y - \delta \delta_Y, \delta \Delta_Z = \Delta \Delta_Z - \delta \delta_Z \quad (8)$$

Зміщення пунктів, викликані деформацією мережі, визначаються:

$$\delta X_i = \Delta X_i^{yp} - \delta \Delta_X, \delta Y_i = \Delta Y_i^{yp} - \delta \Delta_Y, \delta Z_i = \Delta Z_i^{yp} - \delta \Delta_Z \quad (9)$$

Середні квадратичні похибки визначення координат пунктів у кожному циклі спостережень отримуємо з файлу вихідних даних. Далі визначаємо середні квадратичні кінематичні похибки визначення координат  $i$ -го пункту в циклі  $l$ :

$$\overline{m_{X_i}^l} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\delta X_i - \Delta X_i^{ij})^2}{s}}, \overline{m_{Y_i}^l} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\delta Y_i - \Delta Y_i^{ij})^2}{s}}, \overline{m_{Z_i}^l} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (\delta Z_i - \Delta Z_i^{ij})^2}{s}}, j \neq i, j \in I \quad (10)$$

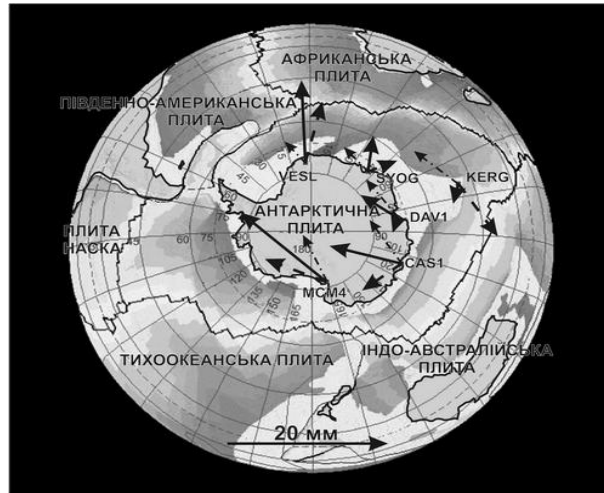
де  $I$ ,  $s$  – множина і кількість пунктів, до яких виконано виміри з пункту  $i$ .

Середні квадратичні похибки визначення координат пунктів у циклі  $l$  відносно першого циклу спостережень із врахуванням похибок вимірів та відхилень кінематичної моделі від істинної розраховують за наступними виразами:

$$\overline{\overline{m_{X_i}^{1,l}}} = \sqrt{(m_{X_i}^1)^2 + m_{X_i}^{l,2} + \sum_{k=2}^l \overline{(m_{X_i}^k)^2}}, \overline{\overline{m_{Y_i}^{1,l}}} = \sqrt{(m_{Y_i}^1)^2 + m_{Y_i}^{l,2} + \sum_{k=2}^l \overline{(m_{Y_i}^k)^2}}, \overline{\overline{m_{Z_i}^{1,l}}} = \sqrt{(m_{Z_i}^1)^2 + m_{Z_i}^{l,2} + \sum_{k=2}^l \overline{(m_{Z_i}^k)^2}} \quad (11)$$

Як вихідні дані для цього дослідження взято координати та їх середньоквадратичні похибки перманентних антарктичних станцій CAS1, DAV1, VESL, MCM4, KERG, SYOG у системі ITRF2000 на епохи від 2003,00 по 2005,18. Представлену методику та алгоритм обчислень реалізовано у програмному пакеті Mathcad11.

У результаті дослідження визначено складові: загальних векторів руху Антарктичної плити, викликані її деформацією та впливом сусідніх тектонічних плит. Складові вектора руху Антарктичної плити, зумовленого впливом сусідніх тектонічних плит, визначено за правилом паралелограма через компоненти векторів загального руху плити та руху, викликаного внутрішніми деформаціями (рис. 1). Як видно з рисунку, вектори загальних зміщень станцій мають дещо хаотичний напрямок, натомість вектори, викликані внутрішніми деформаціями Антарктичної плити, утворюють ротаційне поле з фіксованим центром обертання. Що стосується векторів, викликаних зовнішніми силами, то на всіх станціях вони орієнтовані у північно-західному напрямі. На нашу думку, це може бути викликано процесом спредингу на границі між Антарктичною та Індо-Австралійською тектонічними плитами.



- Загальний вектор зміщень перманентних станцій
- -→ Вектор зміщень перманентних станцій викликаних деформаціями Антарктичної плити
- · -→ Вектор зміщень перманентних станцій викликаних дією сусідніх тектонічних плит на Антарктичну плиту

Рис. 1. Вектори зміщень перманентних GPS-станцій Антарктичної тектонічної плити, отримані в результаті досліджень

Крім цього, нами розроблено методику для обчислення кутової швидкості обертання і координат полюсу обертання (Ейлера) з використанням лінійних швидкостей зміщень перманентних станцій:

Зв'язок швидкості зміщення перманентної GPS-станції з координатами полюсу обертання тектонічної плити та її кутовою швидкістю обертання в геодезичних координатах можна представити у наступному вигляді:

$$\Omega \cos \Psi \sin(\lambda_i - \Lambda) = v_{\varphi_i} \quad (12)$$

$$\Omega [\sin \Psi - \cos(\lambda_i - \Lambda) \operatorname{tg} \varphi_i \cos \Psi] = v_{\lambda_i} \quad (13)$$

де  $\Omega$  – кутова швидкість обертання плити;  $\Psi$ ,  $\Lambda$  – координати полюсу обертання (Ейлера);  $\varphi_i$ ,  $\lambda_i$  – координати перманентної станції з визначеними швидкостями зміщень у широтному та довготному напрямках  $v_{\varphi_i}$ ,  $v_{\lambda_i}$ .

Продиференціювавши вирази (16–17), отримаємо наступні рівняння:

$$\begin{aligned} & -\Delta_{\Omega} \cos(\Psi) \sin(\Lambda - \lambda_i) + \Delta_{\Psi} \Omega \sin(\Psi) \sin(\Lambda - \lambda_i) - \\ & -\Delta_{\Lambda} \Omega \cos(\Lambda) \cos(\Lambda - \lambda_i) + l_{\Psi_i} = V_{\Psi_i} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & -\Delta_{\Omega} [\sin(\Psi) - \cos(\Psi) \operatorname{tg}(\lambda_i) \cos(\Lambda - \lambda_i)] + \\ & + \Delta_{\Psi} [\cos(\Psi) + \sin(\Psi) \operatorname{tg}(\lambda_i) \cos(\Lambda - \lambda_i)] + \Delta_{\Lambda} \Omega \cos(\Psi) \operatorname{tg}(\lambda_i) \sin(\Lambda - \lambda_i) + l_{\Lambda_i} = V_{\Lambda_i} \end{aligned}$$

де  $\Delta\Omega$ ,  $\Delta\Psi$ ,  $\Delta\Lambda$  – невідомі поправки у кутову швидкість обертання плити і координати полюсу обертання (Ейлера);  $\Omega_0$   $\Psi_0$   $\Lambda_0$  – початкові значення кутової швидкості обертання плити і координат полюсу обертання (Ейлера);

Вільні члени  $l_\Psi, l_\Lambda$ , ваги  $P_i$  і остаточні значення координат полюсу Ейлера та швидкості обертання обчислюються:

$$\begin{aligned}
 l_{\Psi_i} &= \Omega_0 \cos(\Psi_0) \sin(\lambda_i - \Lambda_0) - v_{\varphi_i} \\
 l_{\Lambda_i} &= \Omega_0 \left[ \sin(\Psi_0) - \cos(\lambda_i - \Lambda_0) \operatorname{tg}(\varphi_i) \cos(\Psi_0) \right] - v_{\lambda_i} \\
 \Omega &= \Omega_0 + \Delta\Omega \\
 \Psi &= \Psi_0 + \Delta\Psi \\
 \Lambda_0 &= \Lambda_0 + \Delta\Lambda \\
 P_i &= \frac{[\min(m_v)]^2}{(m^2_v)_i}
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

де  $m_v$  – середньоквадратичні похибки визначення зміщень точок.

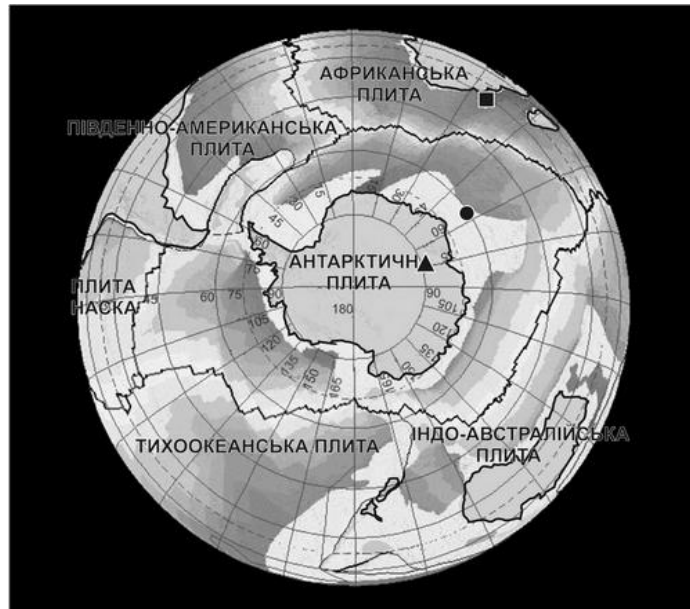
На основі представленої вище методики розроблено алгоритм у програмному пакеті Matcad і обчислено значення координат полюсу Ейлера та швидкості обертання за даними векторів загальних зміщень перманентних станцій, векторів зміщень, викликаних внутрішніми деформаціями Антарктичної плити, і векторів зміщень, зумовлених впливом зовнішніх сил (таблиця 1).

На рис. 2 представлено положення полюсу Ейлера для Антарктичної тектонічної плити. З рис. 2 та табл. 1 видно, що полюс обертання плити, визначений за векторами зміщень, зумовлених впливом зовнішніх сил, знаходиться поза межами Антарктичної плити, точність його визначення є надзвичайно низькою (в межах  $35^\circ$ ), а кутова швидкість обертання на два порядки менша за швидкість обертання, обумовлену впливом внутрішніх деформацій. Це свідчить про те, що вплив зовнішніх тектонічних плит призводить до чистого горизонтального прямолінійного зсуву Антарктичної плити. Натомість внутрішні сили призводять до ротаційного руху плити навколо полюса з координатами ( $\Psi = -74,07^\circ$ ,  $\Lambda = 67,76^\circ$ ) з відсутнім горизонтальним зміщенням. Сумарний вплив зовнішніх тектонічних плит та внутрішніх деформацій призводить до горизонтального та ротаційного зсувів і прояву деформацій земної поверхні.

Таблиця 1

**Координати полюсу Ейлера і кутова швидкість обертання для Антарктичної тектонічної плити**

Вихідні дані	Координати полюсу Ейлера і швидкість обертання		
	$\Psi(^{\circ})$	$\Lambda(^{\circ})$	$\Omega(^{\circ}/10^{-6})$
Загальні вектори зміщень перманентних GPS станцій	-59,91±0,31	53,97±1,00	-0,2268±0,0031
Вектори зміщень, викликані внутрішніми деформаціями Антарктичної плити	-74,07±2,31	67,76±7,17	-0,1742±0,0186
Вектори зміщень, зумовлені впливом зовнішніх сил	-20,79±35,15	31,75±25,34	-0,0043±0,0019



- - Поліус Ейлера визначений за швидкістю загальних зміщень перманентних GPS станцій
- ▲ - Поліус Ейлера визначений за швидкістю зміщень перманентних GPS станцій, викликаних внутрішніми деформаціями Антарктичної тектонічної плити
- - Поліус Ейлера визначений за швидкістю зміщень перманентних GPS станцій обумовлених впливом сусідніх тектонічних плит на Антарктичну тектонічну плиту

Рис. 2. Розміщення полюсів Ейлера.

Використовуючи результати спостережень GPS-кампаній 1995–1996 років, проведених під егідою SCAR[6] (рис. 3а-3б), та GPS-виміри, що виконувались на пункті VERN у районі Української антарктичної станції «Академік Вернадський», у 2002–2003 рр. нами було виконано обчислення параметрів, що характеризують деформаційний процес (відносний зсув  $\gamma_1, \gamma_2$  по осях координат  $X, Y$ ;  $\gamma$  – загальний зсув, що характеризує горизонтальну неоднорідність деформованої території; дилатацію  $\Delta$  – відносне розширення або стиснення площі території; відносне обертання  $\omega$  – воно характеризує розворот трикутного елемента як єдиного цілого по відношенню до системи координат першої епохи), за наступними формулами:

$$\gamma_1 = \frac{x_j v_k + y_j u_k - x_k v_j - y_k u_j}{-x_j y_k + x_k y_j}, \gamma_2 = \frac{x_j u_k - y_j v_k - x_k u_j - y_k v_j}{x_j y_k - x_k y_j} \quad (16)$$

$$\Delta = \frac{x_j v_k - y_j u_k - x_k v_j + y_k u_j}{x_j y_k - x_k y_j} \quad (17)$$

$$\omega = \frac{-x_j u_k - y_j v_k + x_k u_j + y_k v_j}{-2(x_j y_k - x_k y_j)} \quad (18)$$

$$\gamma = \sqrt{\gamma_1^2 + \gamma_2^2} \quad (19)$$

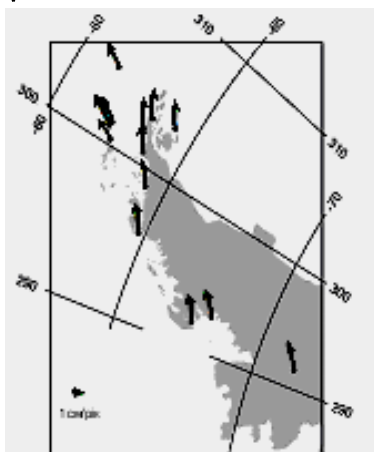


Рис. 3а. Вектори швидкостей абсолютних зміщень на території Антарктичного півострова [6]

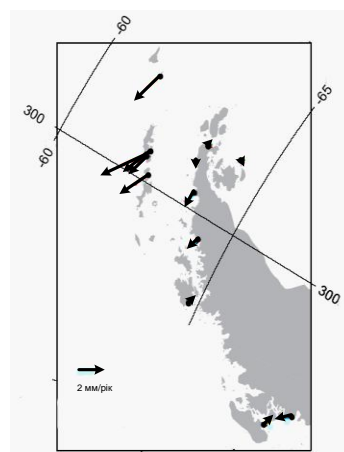


Рис. 3б. Вектори швидкостей відносних зміщень на території Антарктичного півострова

У результаті обчислень нами побудовано карт-схеми відносних зсувів і делатацію (відносний стиск або розтяг) (рис. 4-5).

Як видно з рис. 4, вектори відносних зсувів у північно-західній і південно-західній частинах (точки 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, ці точки знаходяться переважно на островах поблизу Антарктичного півострова) напрямлені хаотично, точки, що розміщені в південно-західній і південно-східній частинах (11, 12, 13, 14, 15, ці точки розташовані переважно на території півострова), мають північно-східний напрямок.

Аналізуючи рис. 5, ми можемо побачити, що відбувається стиск території в районі, де знаходяться перманентні станції VERN, ESP1, MAR1. На нашу думку, це зумовлено тим, що поблизу Української антарктичної станції Академік Вернадський, де знаходиться пункт VERN, проходить розлом між Антарктичною тектонічною плитою і Шотландською тектонічною плитою.

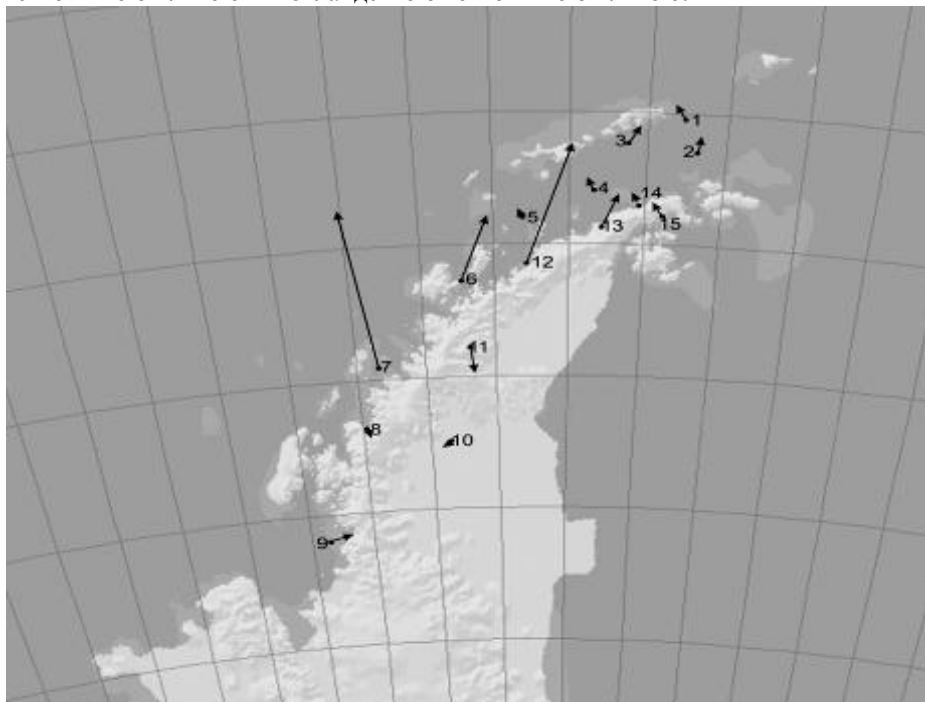


Рис. 4. Розподіл відносних зміщень GPS-пунктів на території Антарктичного півострова.

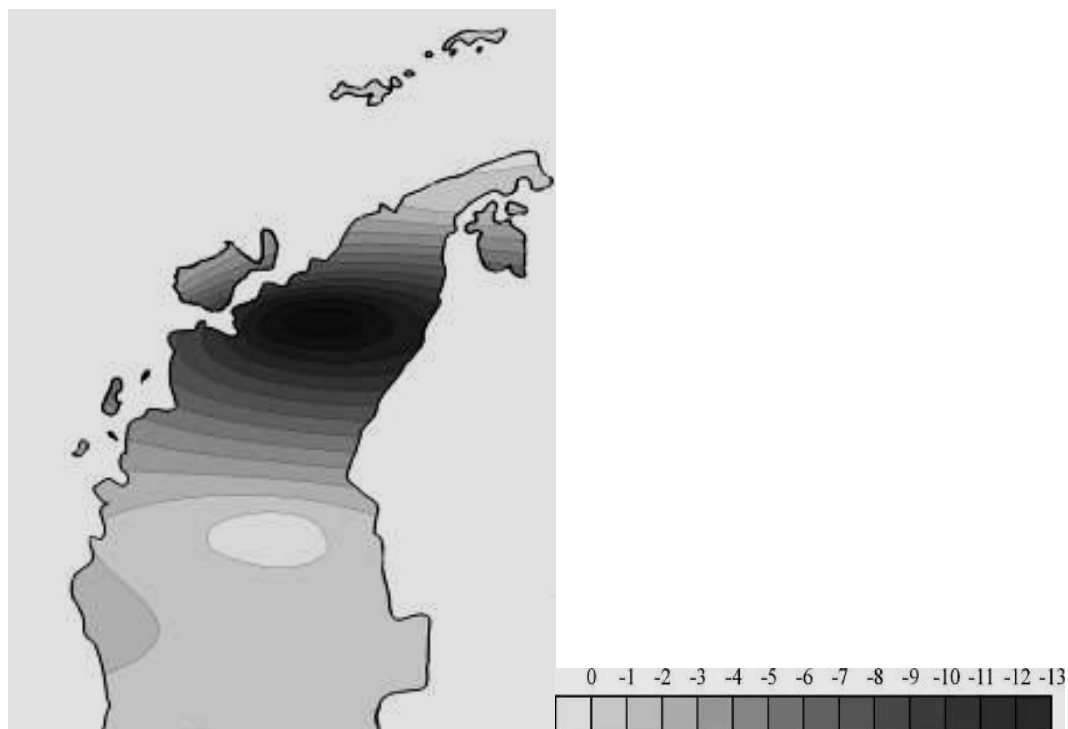


Рис. 5. Розподіл відносних розтягів та стисків земної поверхні на території Антарктичного півострова.

У зв'язку з розбіжностями між геолого-геоморфологічними та інструментальними тектоно-магнітометричними дослідженнями у просторовому трасуванні тектонічного розлому Аргентинських островів, прилеглих до станції «Академік Вернадський», виникла необхідність у створенні прецизійної геодезичної мережі геодинамічного призначення на даній території, проведенні повторних циклів спостережень та встановленні диференціації кінематичних характеристик Аргентинських островів, за їх результатами.

У рамках сезонної 8-ї Української Антарктичної Експедиції (лютий–березень 2003 р.) в районі антарктичної станції «Академік Вернадський» спільними зусиллями працівників Національного університету «Львівська політехніка» (К.Третяк, В. Глотов) та ЗАТ «ЕКОММ» (Ю. Ладановський, П. Бахмач) та завдяки підтримці Українського антарктичного центру створено прецизійну геодезичну мережу навколишніх островів [4]. Мережа розвивалась не тільки з метою вивчення деформацій і рухів земної кори на території Антарктичного півострова, але й створення опорної геодезичної основи для виконання топографо-геодезичних робіт на станції «Академік Вернадський».

Висока собівартість мережі вимагала розробки застосування особливих методичних та технічних засобів для отримання максимальної точності визначення координат пунктів.

Створена геодинамічна мережа охоплює північно-східні прилеглі до станції в радіусі 15 км острови й частину материка. Мережа спирається на 8 геодезичних пунктів включно з маркою VER1. Центри геодезичних пунктів закладені у виходи скель. Зовнішня частина центру являє собою металевий стрижень довжиною до 40 см з насічкою для примусового центрування GPS- антени. Видимість супутників практично на всіх пунктах забезпечена на висоті 10–15° і вище. Середня довжина вимірюваних векторів складає 7–8 км, максимальна – 17 км, мінімальна – 2,5 км. Висоти пунктів у системі WGS-84 коливаються в межах 20–30 м.

Повторні GPS-виміри проведено в березні та квітні 2005 року під час сезонних робіт 10-ї УАЕ.

Технічні характеристики повторних циклів спостережень подано у таблиці 2.

Таблиця 2.

**Технічні характеристики повторних циклів GPS-спостережень**

№ циклу	Тривалість циклу спостережень	Тривалість виміру векторів, години	Кількість повторних вимірів векторів	Кількість виміряних векторів	Апріорна та апостеріорна СКП одиниці ваги, мм	СКП, мм	
						сер.	макс.
1	12.02-28.02 2003 р.	2-12	1-6	37	3	3	3
						5	8
2	23.06-01.04 2005 р.	5-24	1-5	68	1.5	1.5	1.5
						2	2

В обох циклах спостережень з метою врахування ексцентриситетів фазових центрів GPS- антен на спеціальній жорсткій базі за методикою [5] було виконано тестування антен усіх використовуваних приймачів.

За результатами обох циклів спостережень визначено просторові вектори зміщень пунктів мережі (рис. 6). Максимальні планові та висотні зміщення векторів за два роки складають близько 17 мм. Встановлено чіткі диференціацію напрямків зміщень пунктів мережі.

Зміщення пунктів JALR, TUKS, BARS строго орієнтоване у південно-східному напрямку, а їхня швидкість знаходиться в межах 5–7 мм/рік. Ці пункти також зазнають опускання відносно решти пунктів мережі зі швидкістю 5–8 мм/рік. Пункти PITE і FANF зміщуються в південному напрямку зі швидкістю 4 мм/рік. Пункт PITE опускається зі швидкістю 8 мм/рік, а FANF, навпаки, піднімається зі швидкістю 3 мм/рік. Пункти VER1 і ROCK зміщуються в північно-східному та східному напрямках і практично нерухомі у висотному плані. Пункт BARN нерухомий у плановому положенні і піднімається зі швидкістю 6 мм/рік. У результаті аналізу кінематики пунктів мережі можна виділити два блоки, які мають відмінні кінематичні характеристики. Це східний і західний блоки, які розмежовується по умовній лінії, що проходить між станцією «Академік Вернадський» і островом Фанфарі і орієнтована з півночі на південь. Протилежний напрям руху пунктів VER1 і FANF може свідчити про наявність тектонічного розлому.

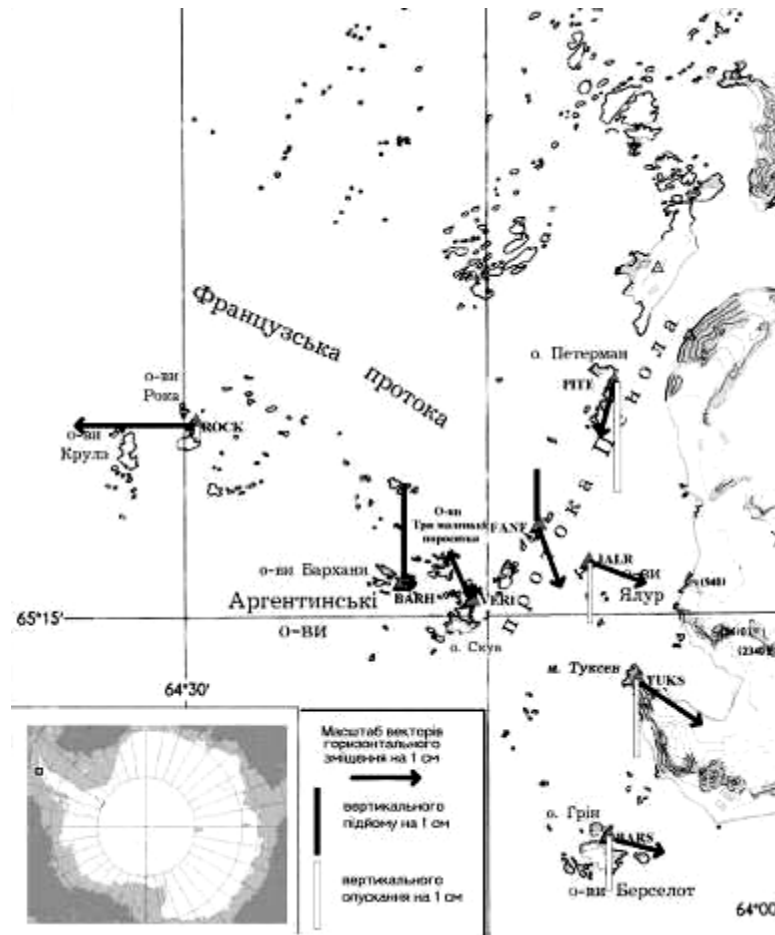


Рис. 6. Карт-схема векторів зміщень пунктів геодинамічного полігону району Аргентинських островів.

З геологічної точки зору досліджувана територія складається з двох частин – синклінарної зони Антарктичного півострова і синклінарної зони Аргентинських островів [2]. Між цими двома зонами англійськими дослідниками [7] проводиться розривне порушення, напрямком якого приблизно збігається з напрямком фарватерної частини протоки. У подальшому цю структуру іменуватимемо розломом Пенола. Аналіз векторних зміщень геодезичних пунктів геодинамічного полігону (рис. 6) вказує на похиле (у південно-західному напрямку) залягання поверхні розриву та складну ступінчасту її будову (рис. 7). Як видно з малюнка, ця структура має характер класичного скиду з нахиленою поверхнею розриву, що й спричиняє при відносному вертикальному зміщенні двох основних (1 і 4) блоків їх одночасне горизонтальне переміщення (в даному випадку віддалення один від одного).

Вектори зміщень зафіксовані у районах о. Петерман та о. Ванфарє й пов'язані, очевидно, з дещо відмінним напрямком руху ступінчастих блоків 2 і 3 (рис.7), замкнених у зоні розлому. Характер таких рухів можна пов'язувати з клиноподібною будовою цих мікроблоків у горизонтальному перерізі, що спричиняє «витискування» їх у південному напрямі. Крім цього можна допустити, що під блок 4 заходить менший блок 3, який успадковує його опускання, і навпаки, на блок 1 заходить значно менший блок 2, який успадковує від нього вертикальне піднімання.



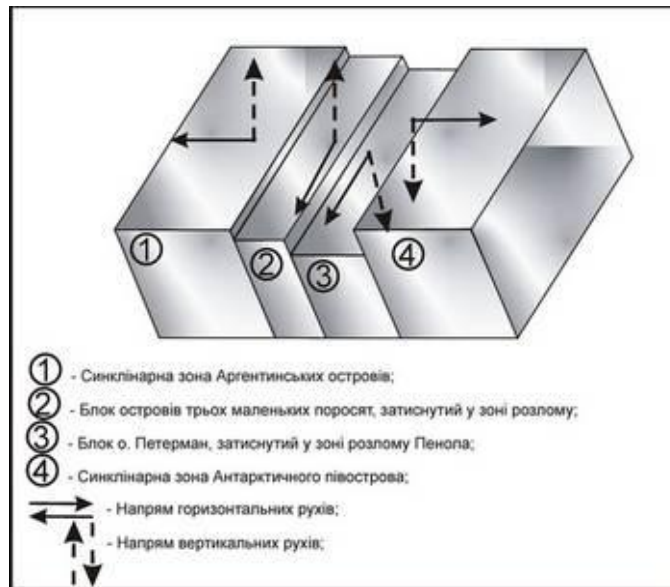


Рис. 7. Геологічна інтерпретація векторів зміщень пунктів геодинамічного полігону району Аргентинських островів

Необхідно зазначити, що наявна незначна кількість фактичного матеріалу, як геологічного, так і геодезичного, дозволила зробити лише попередній висновок про тектонічну будову невеликого фрагмента Антарктиди. Для уточнення місцезнаходження ймовірного тектонічного розлому та підтвердження виявлених кількісних кінематичних характеристик земної кори на території Аргентинських островів, прилеглих до станції «Академік Вернадський», необхідне проведення нових повторних циклів спостережень та згущення мережі і розширення охопленої території.

### Висновки

На основі проведених досліджень необхідно зазначити, що прояв тектонічних процесів на глобальному (Антарктична плита), регіональному (Антарктичний півострів) та локальному (архіпелаг Аргентинські острови) неоднорідний, величини швидкостей рухів та їх напрям не мають певних закономірностей, а їх диференціація є надзвичайно складною. Це свідчить про сумарний прояв різноманітних тектонічних процесів на полі кінематики та деформацій земної поверхні Антарктиди.

### Література

1. **Бахмутов В.Г.** Геологическое строение и палеомагнитные исследования в Западной Антарктике (район Аргентинских островов) и их значение для палеотектонических реконструкций Антарктического полуострова // Бюлетень УАЦ. – К. – 2002. – Вип. 4. – С. 11–24.
2. **Бахмутов В.Г.** Геологический обзор архипелага Аргентинские острова и прилегающих территорий Антарктического полуострова // Бюлетень Українського Антарктичного Центру. – К. – 1998. – Вип. 2. – С. 77–84.
3. **Maksymchuk V., Kuznetsova V., Chobotok I., Dotsenko I.** First results of tectonomagnetic investigations at Akademik Vernadsky station // Бюлетень Українського Антарктичного Центру. – Вип. 4. – К. – 2002. – С. 197–201.
4. **Бахмач П.Г.,** Глотов В.М., Ладановський Ю.В., Третяк К.Р. Геодинамічна мережа Аргентинських островів, прилеглих до української антарктичної станції «Академік Вернадський» // Український антарктичний журнал. – № 1. – 2003. – С. 149–150.
5. **Третяк К.Р.,** Романишин І.Б., Голубінка Ю.І. До питання визначення ексцентриситету фазового центра антени GPS-приймача // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів. – 2002. – Вип. 62. – С. 87–96.
6. **Deitrich R.,** Dach R. at all. ITRF coordinates and plate velocities from repeated GPS campaigns in Antarctica – an analysis based on different individual solutions // Journal of Geodesy. – 2001. Вип.. 74. – С. 756–766
7. **Geological** map of the Southern Graham Land. – 1:500000 / BAS (500G) Cambridge British Antarctic Survey. 1981.
8. **Scripps** Orbit and Permanent Array Center, [www.sopac.edu.com](http://www.sopac.edu.com)