

МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЯ АНОМАЛІЙ СИЛИ ВАГИ, ВИСОТ ГЕОЇДА ТА СКЛАДОВИХ ВІДХИЛЕНЬ ПРЯМОВИСНОЇ ЛІНІЇ НА РЕГІОН АНТАРКТИКИ

© Третяк Н., 2007

В статье представлены результаты аппроксимации региональных полей аномалий силы тяжести, высот геоида и составляющих отклонений линий отвеса на основе системы базисных функций потенциалов радиальных мультиполей. Даны результаты построений региональной модели на регион Антарктики.

The construction of the regional gravity model based on non-regular gravity anomalies is described. The results of the implemented method using sequential multipole analysis and the well-known remove-restore technique are shown. The fields of geoid heights, gravity anomalies and plumb-line deflections were constructed for the Antarctic area.

Постановка проблеми та її зв'язок з науковими завданнями.

В наші дні триває Міжнародний Полярний Рік 2007-2008 або широка програма науково-дослідних робіт, що здійснюється в регіонах Арктики і Антарктики кожні п'ятдесят років. Достатньо вивчена за останні роки, ця частина планети надає унікальну інформацію, як про минуле, так і про майбутнє – для відповіді на таке важливе питання: настільки сильним є взаємозв'язок льодової шапки планети зі всіма кліматичними зонами та материками. Запуск спеціальних активних ШСЗ типу CHAMP і GRACE на низьких орбітах відкрив додаткові можливості вивчення гравітаційного поля та його варіацій в часі з точки зору вивчення глобальних змін клімату Землі. Враховуючи рекомендації Міжнародного Геодезичного і Геофізичного Союзу про детальне вивчення квазігеоїда та інших трансформант збурюючого потенціалу в регіоні Антарктики, актуальність задачі моделювання поля аномалій сили ваги, висот геоїда та складових відхилень прямовисної лінії не викликає сумніву.

Постановка завдання та його розв'язок

Міжнародна Асоціація Геодезії (2003 р. м. Саппоро, Японія) дала рекомендації про необхідність проведення сучасних регіональних досліджень з включенням додаткової до морських гравіметричних спостережень інформації про аномалії сили ваги Δg , що отримуються на основі інверсії даних супутникової альтиметрії. Такі нові дані про Δg отримано і на регіон Антарктики в 1999 і 2001 р.р. методом швидкого перетворення Фур'є на рівномірній сітці ($2' \times 2'$) в Датському інституті Kort&Matrikelstyrelsen. Однак використання цього набору даних Δg потребує його ретельної перевірки шляхом залучення додаткової точкової гравіметричної інформації. Наступним етапом може бути побудова гравіметричного квазігеоїда у вигляді аналітичної моделі і порівняння останнього з даними супутникової альтиметрії, відомих в акваторії Антарктики (Рис.1). Таким чином, в розвиток локальних досліджень [2,4] робота, що обговорюється присвячена апроксимації вихідного поля ($6' \times 9'$) аномалій сили ваги Δg (у вигляді аналітичної моделі для Δg , ζ та складових відхилень прямовисної лінії ξ і η) та порівнянню побудованого гравіметричного рішення для висот квазігеоїда ζ на регіон Антарктики з осередненими вимірами супутникової альтиметрії прийнятими в цій роботі згідно 6-ти супутникових місій (океанографічна служба AVISO). Слід зауважити, що в роботі не ставилась задача побудови

комбінованого роз'язку, враховуючи необхідність одержання в першу чергу якісних характеристик на великому масиві даних.

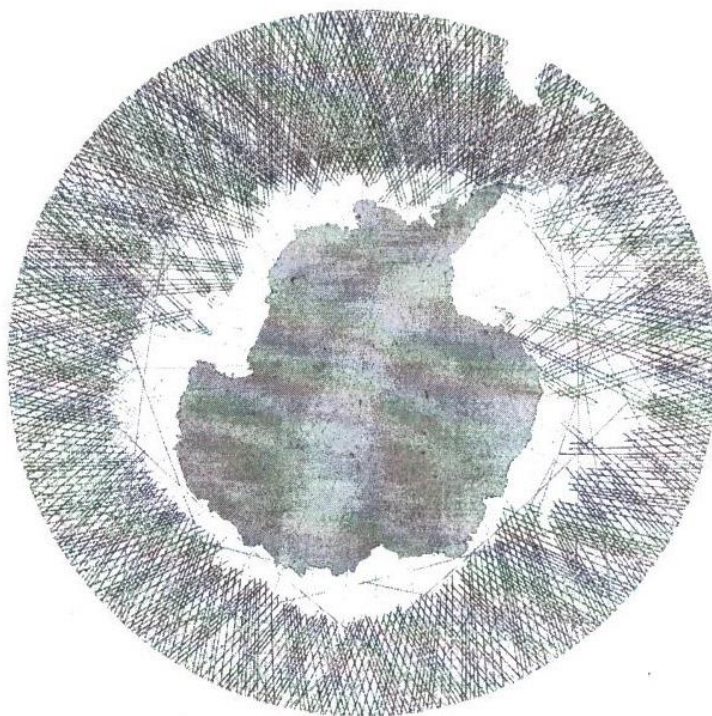


Рис. 1. Розподіл вихідної альтиметричної інформації на регіон Антарктики



Рис. 2. Розподіл вихідних аномалій сили ваги на ґріді (6'×9') на регіон Антарктики

Вихідні дані

Для апроксимації поля аномалій сили ваги в регіоні Антарктики використовувались наступні, гравіметричні дані, що були осереднені на ґрид (6'×9'):

- 303486 точкових даних аномалій сили ваги BGI;
- ~20000000 даних аномалій сили ваги KMS99 і KMS2001 (Данія) отриманих методом швидкого перетворення Фур'є на ґриді (2'×2').

Для перевірки отриманого гравіметричного роз'язку висот квазігеоїда було використано виправлені і очищені від різного роду впливів похибок і флуктуацій, наступні альтиметричні дані (Рис. 1):

1. 4373300 значень SSH (Sea Surface Heights - висоти поверхні моря), одержаних супутниковою альтиметричною місією ERS-1 за період із червня 1992 до липня 1996;
2. 19323610 значень SSH, одержаних за період з квітня 1995 до червня 2003 супутниковою альтиметричною місією ERS-2;
3. 43160870 значень SSH, одержаних за період з вересня 1992 по жовтень 2005 супутниковою альтиметричною місією TOPEX/POSEIDON;
4. 18429307 значень SSH, одержаних за період з січня 2000 по лютий 2007, супутниковою альтиметричною місією GFO;
5. 19391749 значень SSH, одержаних за період з січня 2002 по лютий 2007, супутниковою альтиметричною місією Jason1;
6. 6749593 значень SSH, одержаних за період з листопада 2002 по вересень 2007, супутниковою альтиметричною місією Envisat.

Результати побудови регіональної моделі збурюючого потенціалу в околі Антарктики
Зазначимо, що гравіметрична інформація BGI (Міжнародне Гравіметричне Бюро) була використана для покращення розподілу даних, особливо у високих широтах. Всі вихідні дані пройшли етап попередньої обробки і були осереднені шляхом використання рекурсивного методу найменших квадратів на рівномірну сітку з роздільною здатністю (6'×9'). Приклад вихідного ґриду Δg наведено на Рис. 2. На відміну від метода середньої квадратичної колокації [3], який призводить до обертання матриць по кількості вимірів, для вирішення поставленої задачі по апроксимації збурюючого потенціалу T за даними Δg було використано метод послідовного мультипольного аналізу (SMA – Sequential Multipole Analysis) [1] в межах процедури видалення-відновлення:

- на точки даних Δg обчислюються модельні значення аномалій сили ваги $\Delta g_{\text{EIGE-CG01C}}$ на основі прийнятої моделі гравітаційного поля EIGEN-CG01C, до 360-го порядку/степені;
- отримуються залишкові значення аномалій сили ваги $\delta \Delta g = \Delta g - \Delta g_{\text{EIGE-CG01C}}$;
- будується відповідна регіональна модель залишкових значень δT на основі залишкових аномалій сили ваги $\delta \Delta g$ методом послідовного мультипольного аналізу [1];
- прогноуються значення залишкових висот квазігеоїда $\delta \zeta$, аномалій сили ваги $\delta \Delta g$ і компонент $\delta \xi$ і $\delta \eta$ відхилення прямої висотної лінії;

$$\delta \zeta(P) = \frac{1}{\gamma_P} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{m_i^n}{r^{n+1}} \cdot v_n^i(P), \quad \delta \Delta g(P) = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{m_i^n}{r^{n+2}} \cdot g_n^i(P), \quad (1)$$

$$v_n'(P) = \left(\frac{r}{r_i}\right)^{n+1} P_n(\cos \varphi_i), \quad \cos \varphi_i = \frac{r \cos \psi_i - d_i}{r_i}, \quad r_i = \sqrt{r^2 + d_i^2 - 2rd_i \cos \psi_i}, \quad (2)$$

де $\{m_i^n\}$ – коефіцієнти розкладу в ряд за потенціалами радіальних мультиполів v_n' ; r – геоцентрична відстань від початку координат O до біжучої точки P ; d_i – геоцентрична відстань до мультиполя, що знаходиться у точці i ; $P_n(\cos \varphi_i)$ – поліном Лежандру степені n , на основі властивостей якого достатньо просто виводяться рекурсивні формули для обчислень $\delta\zeta$, $\delta\Delta g$ і $\delta\xi$ та $\delta\eta$;

- відновлюються аномалії сили ваги, висот квазігеоїда і відхилення прямовисної лінії на основі прийнятої тут моделі глобального гравітаційного поля EIGEN-CG01C.

В результаті апроксимації 724330 осереднених на гріді ($6' \times 9'$) значень Δg була побудована модель A20249 регіонального гравітаційного поля з 20249 радіальних мультиполів в регіоні Антарктики, яка наближає вихідні дані аномалій сили ваги з точністю ± 5 мГал.

На основі цієї аналітичної моделі A20249 гравітаційного поля були отримані аномалії сили ваги, висоти квазігеоїда та значення складових відхилень прямовисної лінії (Рис. 3, 4, 5) на досліджуваній регіон з наступними статистиками (Табл. 1).

Таблиця 1.

Статистичні характеристики відновлених ζ , Δg , θ (див. Рис. 3, 4, 5)

Статистики	ζ [м]	Δg [мГал]	$\theta = \sqrt{\xi^2 + \eta^2}$ ["]
Мінімальне відхилення	-66,31	-290,65	0,011
Максимальне відхилення	52,05	349,25	74,95
Середнє відхилення	-8,86	-2,70	5,515
Стандартне відхилення	20,08	29,65	3,976

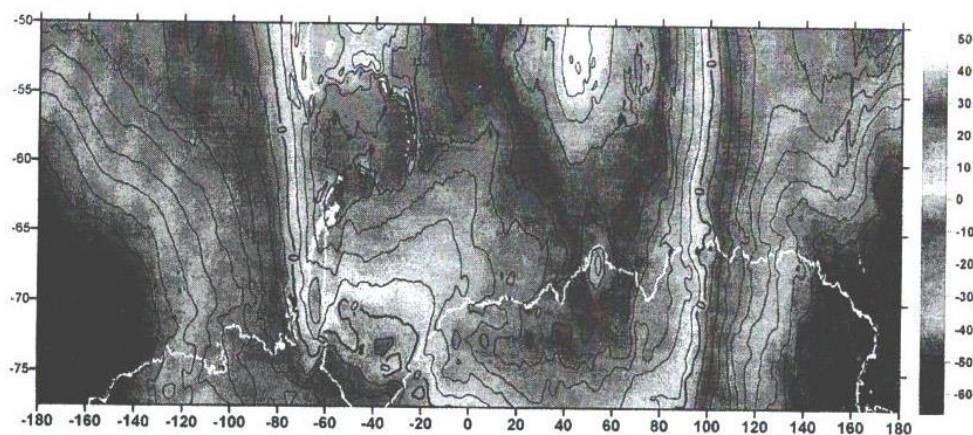


Рис. 3. Побудоване поле висот геоїда ζ на регіон Антарктики

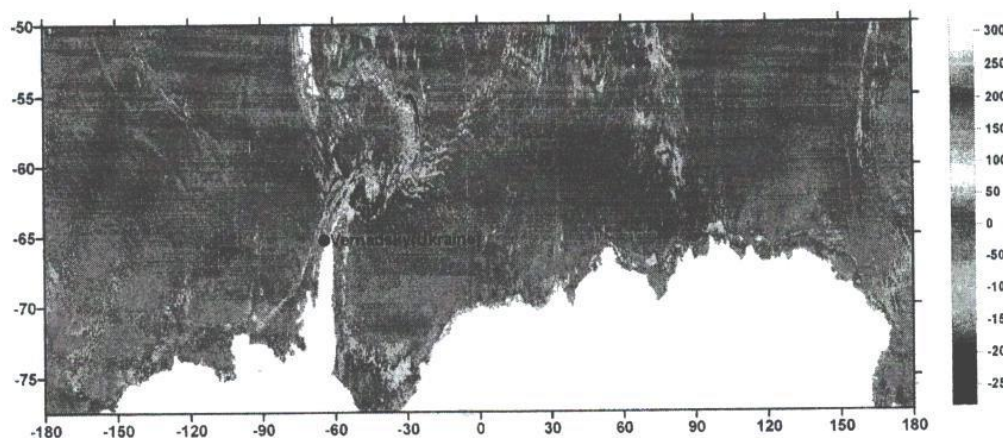


Рис. 4. Побудоване поле аномалій сили ваги Δg на регіон Антарктики

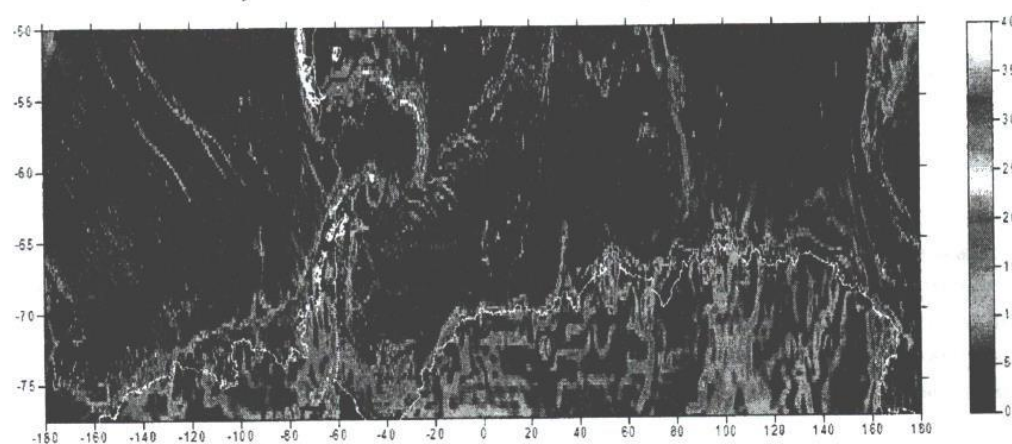


Рис. 5. Побудоване поле складових відхилень прямовисної лінії θ на регіон Антарктики

Висновки

Виконано розв'язок задачі побудови геоїда, поля аномалій сили ваги та поля складових відхилень прямовисної лінії на регіон Антарктики. За вихідні дані була прийнята гравіметрична інформація (морська та наземна). В зв'язку з тим, що використовувалась велика кількість різномірної інформації доцільним було застосування методу мультипольного аналізу. Апроксимація 724330 осереднених на гріді ($6' \times 9'$) значень Δg призвела до побудови моделі A20249 регіонального гравітаційного поля з 20249 радіальних мультиполів в регіоні Антарктики, яка наближає вихідні дані аномалій сили ваги з точністю ± 5 Гал. Отримана модель була порівняна з 469202 осереднених на гріді ($6' \times 9'$) даних супутникової альтиметрії і отримано стандартне відхилення ± 0.56 м, що є характерним для регіону, що вивчається. Несподіване значення середнього відхилення в ± 1.58 м свідчить скоріше всього про наявність систематичної складової у вихідних даних аномалій сили ваги KMS99 і KMS01, оскільки для даних супутникової альтиметрії завжди чітко фіксується система відліку.

Слід зауважити, що така робота по побудові квазігеоїда, поля аномалій сили ваги та поля складових відхилень прямовисної лінії на цю територію була проведена вперше (наскільки це відомо автору). Отримані результати дозволяють зробити висновки, що побудований квазігеоїд (незважаючи на наявність систематичної складової, яка просто вилучається за допомогою перетворення Гельмерта) може бути використаним в подальших роботах і застосовуватися в практичних та наукових цілях. Отримані характеристики це тільки підкреслюють, особливо якщо врахувати розміри досліджуваного регіону. Вподальшому планується уточнення обговорюваної моделі і відповідних характеристик з більшою роздільною здатністю, а також більш детальне вивчення окремих регіонів, що є складовими даного.

1. Marchenko A.N. *Parameterization of the Earth's gravity field. Point and line singularities*, Lviv: Lviv Astronomical and Geodetic Society, 1998.-210p.
2. Марченко О.М., Третяк Н.П. Аналіз поверхні рівня моря в околі антарктичної станції «Академік Вернадський»//XI Міжнародний науково-технічний симпозиум «Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища GPS і GIS - технології», 7-12 вересня 2006р. Алушта (Крим) 2006. С. 163-166.
3. Мориц Г. Современная физическая геодезия.- М.- Недра-1983.-392с.
4. Третяк Н.П. Аналіз динаміки океанічної поверхні в околі Антарктики // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землепорядкування. Зб. наук. праць. Чернігів – 2007. - №3. – с. 53-58.