

ПРО ПОБУДОВУ МОДЕЛІ ТОПОГРАФІЇ НА АКВАТОРІЇ ЧОРНОГО ТА СЕРЕДЗЕМНОГО МОРІВ

У роботі виконано дослідження висот поверхні Чорного та Середземного морів з використанням даних супутникової альтиметрії. Побудована модель висот (SST) Чорного та Середземного морів. Отримані результати порівняно з висотами Європейського квазігеоїда.

Ключові слова: супутникова альтиметрія; топографія поверхні моря (SST); Європейський квазігеоїд.

Вступ

Оскільки основним завданням геодезії є вивчення фігури та розмірів Землі та зміна цих характеристик з часом, то для розв'язання цієї задачі необхідно мати якомога більшу кількість якісних геодезичних вимірів, рівномірно розподілених по усій поверхні Землі – не тільки на суходолі, а й на океанах [Torge, 1991]. З появою супутникових технологій поверхня Світового океану картографується з рівнем точності в 1–5 см за допомогою простого методу, який ґрунтується на альтиметричних вимірах різних супутникових місій. Виміри відстані від бортового супутникового альтиметра до океанічної поверхні та визначення його положення в просторі на основі SLR-, GNSS- або DORIS-технологій відкривають можливість обчислення висот SSH (Sea Surface Heights) поверхні океану над прийнятим референц-еліпсоїдом [Seeber, 2003]. За останні 19 років дані супутникової альтиметрії стали ефективним засобом побудови геоїда на акваторіях та знаходження середніх рівнів морів і нульових точок відліку висот [Andersen, Knudsen, 2005].

Постановка проблеми

Дані супутникової альтиметрії можна застосувати для моделювання фігури Землі – геоїда [Rio et al., 2005, 2009]. Геоїд слугує референційною поверхнею відліку висот. Сьогодні перед Україною постала важлива проблема оновлення системи висот. Відповідно до проектів сучасна висотна мережа України буде належати до Амстердамської системи висот, що дасть змогу поєднати нашу національну висотну систему з Єдиною європейською системою висот EUVN (European Vertical Network). При цьому не останню роль відіграватиме вивчення топографічної

поверхні Чорного та Середземного морів, оскільки ця поверхня буде ключовою під час побудови національного геоїда (квазігеоїда).

Постановка завдання

Завданням цієї роботи є дослідження висот поверхні Чорного та Середземного морів з використанням даних супутникової альтиметрії, а саме: побудова моделі топографічної поверхні моря із залученням моделі Європейського квазігеоїда EGM08.

Під час виконання роботи було зібрано і опрацьовано 6760326 сучасних даних супутникової альтиметрії, що дало змогу побудувати модель висот Чорного та Середземного моря. Отримані результати були порівняні з висотами європейського квазігеоїда.

Вихідні дані

Вихідною інформацією для побудови поля висот SSH (CorSSH) на регіон Чорного та Середземного моря були альтиметричні виміри з семи супутникових місій, таких як ERS-1, ERS-2, Envisat, Jason-1, Jason-2, GFO, Topex/Poseidon за період 19 років. У табл. 1 і 2 наведені статистики вихідних даних.

Виклад основного матеріалу досліджень

На першому етапі увесь масив альтиметричних даних був приведений до єдиної системи відліку, оскільки центр AVISO виконує обробку вихідної інформації стосовно еліпсоїда AVISO: великої півосі $a_{AVISO}=6378136$ м та стиснення $f_{AVISO}=1/298,257$, прийнятого для системи TOPEX.

Таблиця 1

Вихідні дані на регіон Чорного моря

Супутник	Кількість вимірів	Мінімальне значення, м	Максимальне значення, м	Середнє значення, м	Стандартне відхилення, м
ERS-1	36 390	12,049	40,203	22,964	5,908
ERS-2	160 923	12,287	41,120	23,581	6,441
Envisat	153 683	12,772	41,887	24,244	6,572
Jason-1	158 610	11,567	41,515	23,973	6,401
Jason-2	46 679	12,139	41,171	24,009	6,359
GFO	120 583	12,429	39,812	24,007	6,355
T/P	228 799	12,125	37,746	23,463	5,893
Всього	904 355	11,567	41,515	23,787	6,293

Таблиця 2

Вихідні дані на регіон Середземного моря

Супутник	Кількість вимірів	Мінімальне значення, м	Максимальне значення, м	Середнє значення, м	Стандартне відхилення, м
ERS-1	337 084	0,639	53,754	31,936	13,559
ERS-2	100 869 0	0,956	55,470	33,056	12,991
Envisat	916797	1,310	55,535	33,653	12,860
Jason-1	106 977 5	0,712	54,676	34,339	12,924
Jason-2	297 221	0,8278	54,807	33,598	12,960
GFO	809 520	0,391	55,089	32,752	13,249
T/P	141 688 4	0,644	52,768	32,319	13,291
Всього	585 597 1	0,391	55,535	33,127	13,122

Таблиця 3

Статистичні характеристики, трансформованих даних WGS84 в систему ZFTS.

Статистики	Чорне море (ZFTS), м	Середземне море (ZFTS), м
Мінімальне значення	11.385	-0.313
Максимальне значення	40.834	54.829
Середнє значення	23.122	32.422
Стандартне відхилення	6.294	13.121

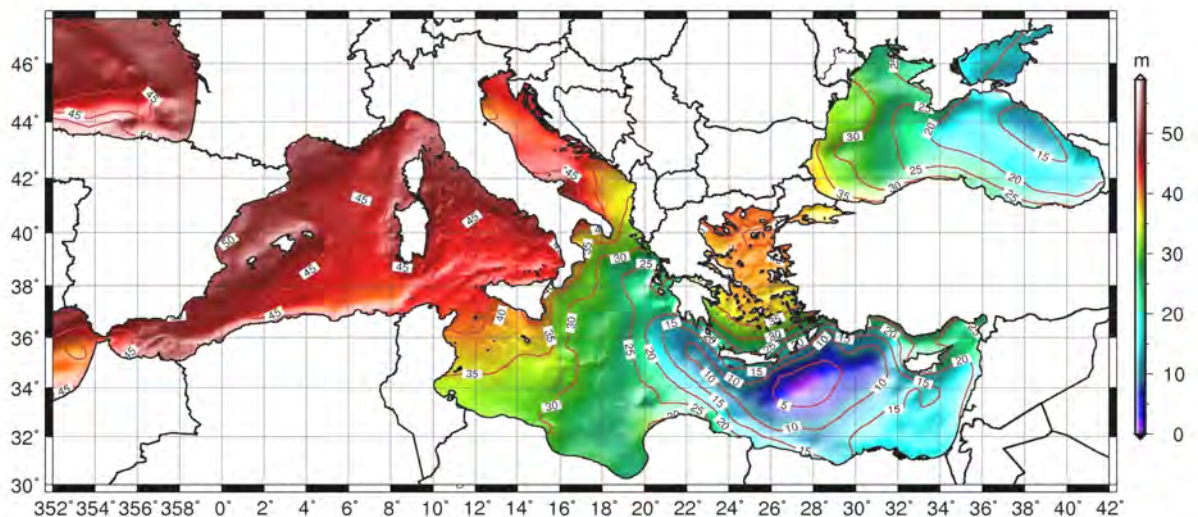


Рис. 1. Поле висот SSH для регіону Чорного та Середземного морів

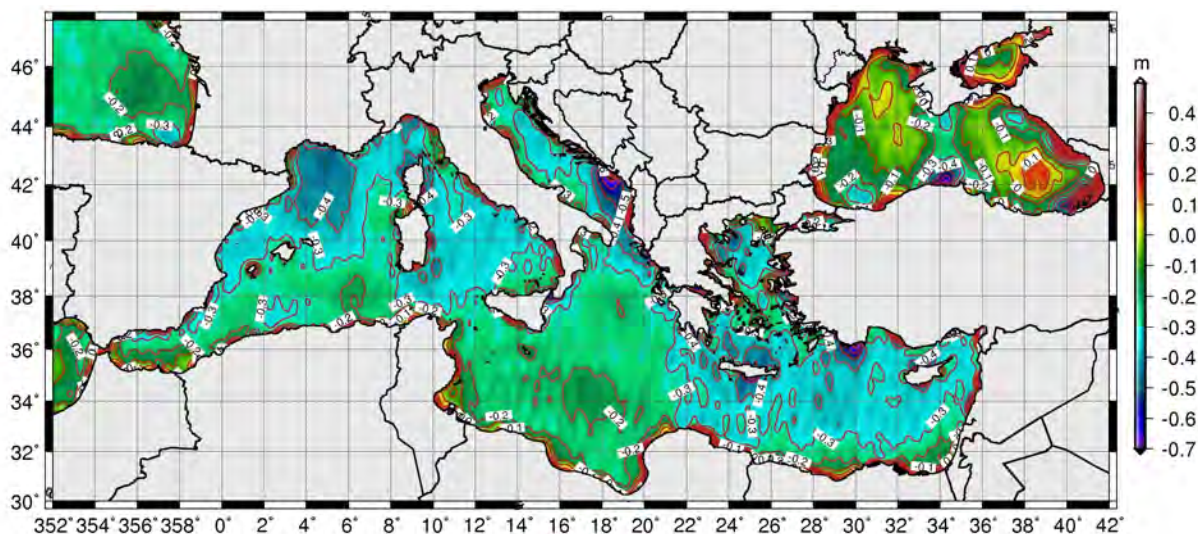


Рис. 2. Модель топографії моря, обчислена за різницею між SSH і EGM08 після фільтрації методом Гауса з радіусом фільтрації 110 км

Для розв'язання поставленої задачі необхідно привести всі дані до системи еліпсоїда WGS84 ($a_{WGS84} = 6378137$ м; $f_{WGS84} = 1/298,257223563$), в якій задано висоти квазігеоїда.

Після приведення CorSSH та висот квазігеоїда до єдиної системи та їх усереднення на вибрану рівномірну сітку можливою стає побудова поля висот SSH (рис. 1).

Далі отримані значення були приведені до припливної системи ZFTS (zero frequency time system). Для цього ми скористались формулою (1):

$$N_{MTS} = N_{ZFTS} - 0,198 \left(\frac{3}{2} \sin^2 B - \frac{1}{2} \right). \quad (1)$$

У табл. 3 подано статистичні характеристики даних, трансформованих з WGS84 в систему ZFTS. Після приведення CorSSH та висот квазігеоїда до єдиної системи та їх усереднення на вибрану рівномірну сітку стає можливою побудова поля.

Розв'язання цієї задачі з використанням безпосередніх даних альтиметрії є складним завданням, оскільки дані наявні переважно вздовж супутникових трас (нерегулярно). Користуватись даними з такою складною геометрією мережі точок вимірів незручно, тому ми їх переінтерполювали на вузли регулярної сітки з кроком ($2' \times 2'$), користуючись загальноприйнятим світовим досвідом. Для цього використано програмний пакет GMT, а для побудови сітки – метод мінімальної кривини. Цей метод має багато істотних переваг порівняно з іншими методами ґрідуння, такими як: метод середньої квадратичної колокації [Третяк, 2008], метод радіальних базисних функцій, метод найближчого сусіда тощо. Основною і найістотношою перевагою цього методу є його швидкість, порівняно з усіма переліченими методами. Хоч цей метод і не належить до методів точної інтерполяції, а є ітеративним, задаючи певну точність остаточних результатів інтерполяції (яка звісно визначається точністю вихідної інформації), можна доволі швидко отримати якісні оцінки. Слід зауважити, що точні інтерполяційні методи потребують розв'язання великих систем лінійних рівнянь, що за значної кількості вихідної інформації може займати багато часу (дні, тижні). Значення SSH вузлів сітки, які потрапляли на суходіл, були вилучені. При цьому в сітці залишились тільки дані на територію Чорного та Середземного морів.

Наступним етапом є порівняння отриманої сітки SSH з даними європейського квазігеоїда EGG08 для перевірки, чи збігається вона з середнім рівнем моря. EGG08 є найсучаснішою гравіметричною моделлю європейського квазігеоїда, яка була побудована за незалежними даними мор-

ської гравіметрії [Марченко та ін., 2010]. Під час побудови EGG08 не залучались жодні дані супутникової альтиметрії. Для побудови моделі топографії Чорного моря необхідно від висот SSH відняти висоти квазігеоїда. В результаті ми отримали модель топографії моря, обчислену за різницею між SSH і EGM08.

Висновки:

1. В результаті виконання роботи були зібрані та проаналізовані дані супутникової альтиметрії (ERS-1, ERS-2, TOPEX/POSEIDON, GFO, ENVISAT, JASON-1, JASON-1) на район Чорного та Середземного морів. Загальна кількість використаної альтиметричної інформації становила 6760326 виміри.

2. Нерегулярні дані SSH були проінтерпольовані на вузли регулярної сітки $2' \times 2'$ з використанням методу мінімальної кривини.

3. Для побудови моделі топографічної поверхні морів була залучена модель європейського квазігеоїда. Висоти моделі топографії моря SST обчислювались як різниці висот SSH та висот європейського квазігеоїда EGM08.

Література

- Marchenko A.N., Tretyak K.R., Lopushanskij A.N., Pavliv T.R. Recent dynamic ocean topography models and their comparison // Infrastructure and ecology of rural areas. – 2010. – № 11. – P. 151–157.
- Третяк Н.П. Моделювання гравітаційного поля і топографії океану в регіоні Антарктики. Автореф. дис.... канд. техн. наук. – Львів: Нац. ун-т “Львівська політехніка”. – 2008. – 14 с.
- Andersen O.B., Knudsen P. The DNSC08MDT Mean Dynamic Topography // (DTU-SPACE), Danish National Space Center, 2005.
- Rio M.-H., Schaeffer P. et al. The estimation of the ocean Mean Dynamic Topography through the combination of altimetric data, in-situ measurements and GRACE geoid: From global to regional studies. Proceedings of the GOCINA international workshop. – Luxembourg, 2005.
- Rio M.-H., Schaeffer P., Moreaux G., Lemoine J.-M., Bronner E. A new Mean Dynamic Topography computed over the global ocean from GRACE data, altimetry and in-situ measurements // Paper presented at Ocean Obs09 symposium, 21–25 September 2009, Venice.
- Seeber G. Satellite Geodesy 2nd completely revised and extended edition. – Walter de Gruyter, Berlin New York, 2003. – 589 p.
- Torge, W. Geodesy, 2nd edition. – Walter de Gruyter, Berlin, 1991. – New York.

**О ПОСТРОЕНИИ МОДЕЛИ ТОПОГРАФИИ НА АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО
И СРЕДИЗЕМНОГО МОРЕЙ**

А.Н. Марченко, Н.П. Ярема, Т.Р. Павлив

В работе выполнено исследование высот поверхности Черного и Средиземного морей с использованием данных спутниковой альтиметрии. Построена модель высот (SST) Черного и Средиземного морей. Полученные результаты сравнены с высотами европейского квазигеоида.

Ключевые слова: спутниковая альтиметрия; топография поверхности моря (SST); Европейский квазигеоид.

**ON THE CONSTRUCTION OF A TOPOGRAPHY MODEL ON THE BLACK SEA
AND THE MEDITERRANEAN SEA AREAS**

A.N. Marchenko, N.P. Yarema, T.R. Pavliv

The study of Black Sea and Mediterranean Sea surface altitudes was carried out based on satellite altimetry data. The model of the Black Sea and Mediterranean Sea surface topography (SST) was build. The comparison of received results with the European quasigeoid was done.

Key words: satellite altimetry; sea surface topography (SST); European quasigeoid.