

Н.П. Ярема, О.М. Лопушанський, Т.Р. Павлів
Національний університет “Львівська політехніка”

ОСНОВНІ ЕТАПИ ПІДГОТОВКИ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПОБУДОВИ ТОПОГРАФІЧНОЇ ПОВЕРХНІ МОРЯ

© Ярема Н.П., Лопушанський О.М., Павлів Т.Р., 2011

В работе выполнено исследование высот поверхности Черного моря с использованием данных спутниковой альтиметрии. Построена модель высот Черного моря. Полученные результаты были сравнены с высотами европейского квазигеоида.

Research of heights of surface of the Black sea with the use of information of satellite altimetri was done. The model of heights of the Black sea is built. Got results it was by comparison to the heights of European kvazigeoid.

Вступ. 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 [7]. За попереднього опрацювання даних SSH за рахунок введення поправок за вплив середовища та різноманітних геофізичних факторів до вихідної інформації, які залежать від часу, в результаті обчислюються скореговані висоти рівня океану CorSSH. За останні 19 років дані супутникової альтиметрії стали ефективним засобом побудови геоїда на акваторіях та знаходження середніх рівнів морів і нульових точок відліку висот. Крім того, вивчення Світового океану за супутниковими альтиметричними місіями дало змогу обчислювати достатньо надійну оцінку середнього значення потенціалу сили ваги W_0 на його поверхні. Ця характеристика має важливе значення для встановлення світової вертикальної системи висот, пов'язаної з гравітаційним полем Землі.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науковими завданнями. Середні висоти поверхні моря є важливим продуктом супутникової альтиметрії [1,2,3,5]. Вони відповідають висотам геоїда та середній динамічній топографічній поверхні, осередненій за відповідний період і належать до поверхні геоїда [7, 8]. Дані супутникової альтиметрії можна використовувати для моделювання фігури Землі – геоїда. Геоїд слугує референчною поверхнею відліку висот. Сьогодні перед Україною постала важлива проблема оновлення системи висот. Згідно з проектами сучасна висотна мережа України належатиме до Амстердамської системи висот, що дасть змогу поєднати нашу національну висотну систему з єдиною європейською системою висот EUVN (European Vertical Network). До того ж не останнє значення матиме вивчення топографічної поверхні Чорного моря, оскільки ця поверхня буде ключовою під час побудови національного геоїда (квазігеоїда).

Постановка завдання та його розв'язок. Отже, нашим завданням є дослідження висот поверхні Чорного моря 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 904 355 сучасних даних супутникової альтиметрії [6], що дозволило побудувати модель висот Чорного моря. Одержані результати було порівняно з висотами європейського квазігеоїда [4], відфільтровано та побудовано модель топографічної поверхні Чорного моря.

Вихідні дані. Вихідною інформацією для побудови поля висот SSH (CorSSH) на регіон

Чорного моря, були альтиметричні виміри з семи супутникових місій, таких, як ERS-1, ERS-2, Envisat, Jason-1, Jason-2, GFO, Torex/Poseidon за період в 19 років. У табл. 1 наведені статистики вихідних даних.

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

Розподіл точок підсупутникових трас наведено на рис.1.

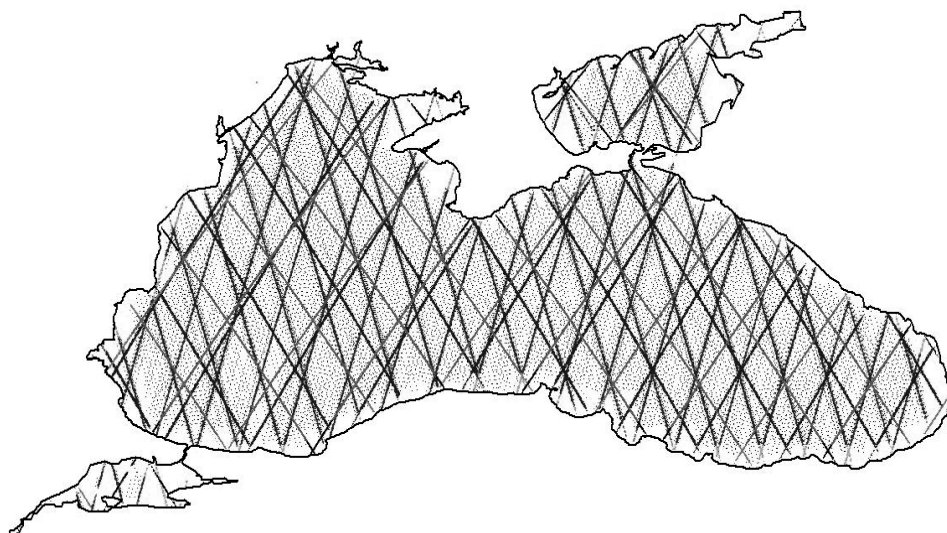


Рис. 1. Розподіл альтиметричних вимірів по відповідних місіях на регіон Чорного моря:
(-) ERS-1; (-) Envisat; (-) ERS-2; (-) GFO; (-) Jason-1; (-) Jason-2; (-) TOPEX/POSEIDON

Виклад основного матеріалу досліджень. На першому етапі весь масив альтиметричних даних був приведений в єдину систему відліку, оскільки центр AVISO обробляє вихідну інформацію відносно еліпсоїда AVISO: $a_{\text{AVISO}} = 6378136.3 \text{ м}$; $f_{\text{AVISO}} = 1/298.257$, прийнятого для системи TOPEX.

Для виконання поставленого завдання необхідно привести всі дані до системи еліпсоїда WGS84 ($a_{\text{WGS84}} = 6378137 \text{ м}$; $f_{\text{WGS84}} = 1/298.257223563$), в якій задано висоти квазігеоїда.

У цьому випадку трансформацію достатньо виконати за формулами:

$$\text{CorSSH}_{\text{WGS84}} = (r_{\text{AVISO}} - r_{\text{WGS84}}) + \text{CorSSH}_{\text{AVISO}}, \quad (1)$$

$$r_{\text{AVISO}} = a_{\text{AVISO}} (1 - f_{\text{AVISO}} \sin^2 B), \quad r_{\text{WGS84}} = a_{\text{WGS84}} (1 - f_{\text{WGS84}} \sin^2 B), \quad (2)$$

де $\text{CorSSH}_{\text{WGS84}}$, $\text{CorSSH}_{\text{AVISO}}$ – висоти поверхні океану відносно еліпсоїда WGS84 та AVISO відповідно; B – широта, a_{WGS84} , f_{WGS84} , a_{AVISO} , f_{AVISO} – параметри відповідних еліпсоїдів (велика піввісь і стиснення); r_{WGS84} , r_{AVISO} – значення геоцентричних радіусів цих еліпсоїдів.

Після приведення CorSSH та висот квазігеоїда до єдиної системи (статистики наведені в табл. 2) та їхнє осереднення на вибрану рівномірну сітку, можливою стає побудова поля (рис. 2).

Таблиця 2

Статистичні характеристики трансформованих даних CorSSH в систему WGS84

Статистики	Чорне море CorSSH , м
Мінімальне значення	10,859
Максимальне значення	40,808
Середнє значення	23,080
Стандартне відхилення	6,293

Потім одержані значення були приведені до припливної системи ZFTS(zero frequency time system). Для цього застосували формулу (3).

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

Приведемо таблицю статистичних характеристик, трансформованих даних WGS84 в систему ZFTS.

Таблиця 3

Статистичні характеристики трансформованих даних WGS84 в систему ZFTS

Статистики	Чорне море ZFTS, м
Мінімальне значення	11.385
Максимальне значення	40.834
Середнє значення	23.122
Стандартне відхилення	6.294

Виконання цього завдання з використанням безпосередніх даних альтиметрії є доволі складне, оскільки вони розташовані в основному вздовж супутникових трас (нерегулярно). Користуватись даними з такою складною геометрією розташування є незручно. Вони були переінтерпольовані на вузли регулярної сітки з кроком ($2' \times 2'$). Для цього ми використовували програмний пакет GMT, а для побудови сітки скористались методом мінімальної кривини. Цей метод має істотні переваги порівняно з іншими методами ґридування. Основною і найістотнішою перевагою цього методу є його швидкість порівняно з усіма вищенаведеними 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 одержати якісні оцінки. Варто зауважити, що точні інтерполяційні методи потребують розв'язання великих систем лінійних рівнянь, що у разі значної кількості вихідної інформації може займати багато часу (дні, тижні).

Значення SSH вузлів сітки, які потрапляли на суходіл, були вилучені. У сітці залишились тільки дані на територію Чорного моря.

Під час наступного етапу ми порівняли отриману сітку SSH з даними європейського квазі-геоїда EGG08, щоб перевірити чи збігається вона з середнім рівнем моря. EGG08 є найсучаснішою гравіметричною моделлю європейського квазігеоїда, яка була побудована за незалежними даними морської гравіметрії. Крім того, під час побудови EGG08 не залучалось жодних даних супутникової

альтиметрії. Для побудови моделі топографії Чорного моря необхідно від висот SSH відняти висоти квазігеоїда. Модель топографії моря обчислена за різницею між SSH-EGM08.

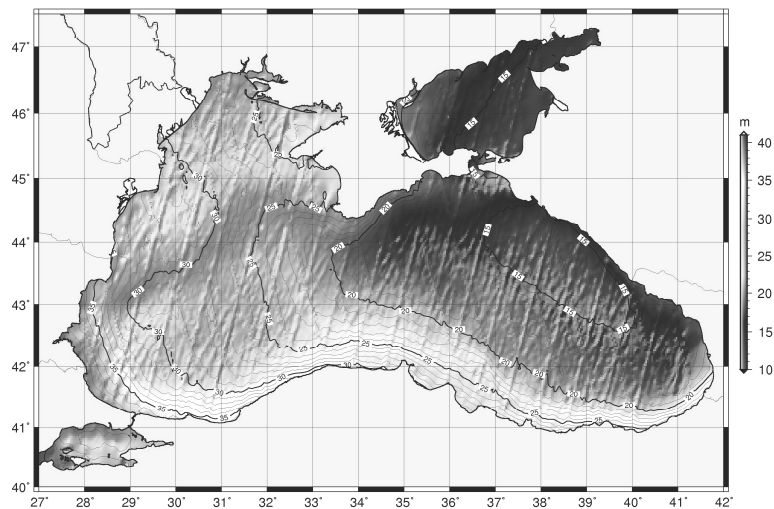


Рис. 2. Поле висот SSH для регіону Чорного моря

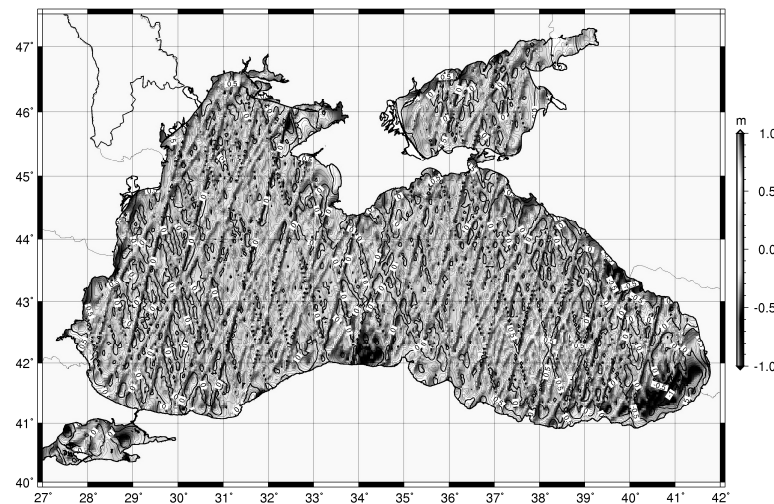


Рис. 3. Модель топографії моря, обчислена за різницею між SSH-EGM08

Висновки. У результаті виконання роботи було зібрано та проаналізовано дані супутникової альтиметрії (ERS-1, ERS-2, TOPEX/POSEIDON, GFO, ENVISAT, JASON-1, JASON-1) на район Чорного моря. Загальна кількість використаної альтиметричної інформації становила 904 355 виміри. Нерегулярні дані SSH було проінтерпольовано на вузли регулярної сітки 2'x2' з використанням методу мінімальної кривини. Для побудови моделі топографічної поверхні моря було залучено модель Європейського квазігеоїда. Висоти моделі топографії моря SST обчислювали як різниці висот SSH та висот європейського квазігеоїда EGM08. Наступним етапом нашої роботи буде згладження моделі топографії моря за допомогою фільтра Гаусса.

1. Третьяк Н.П. Моделирование гравитационного поля и топографии океану в регионе Антарктики / Дис. ... канд. техн. наук. Нац. ун-т "Львівська політехніка". – Львів, 2008. – С. 14. 2. Марченко О.М., Третьяк Н.П. Моделирование топографии региона Антарктики // Вісник геодезії та картографії. – 2008. – №4. – С.7–10. 3. Andersen O.B., Knudsen P. The DNSC08MDT Mean Dynamic Topography, (DTU-SPACE), Danish National Space Center 2008. 4. Andersen, O.B., P. Knudsen, R. Trimmer. Improved high resolution altimetric gravity field mapping (KMS2002 Global Marine Gravity Field). IAG Symposia 128:326–331, Springer Verlag 2005. 5. Rio M.-H., P. Schaeffer, 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. 6. Rio M-H, P. Schaeffer, G. Moreaux, J-M Lemoine, E. Bronner. *A new Mean Dynamic Topography computed over the global ocean from GRACE data, altimetry and in-situ measurements//. Paper presented at OceanObs09 symposium, 21–25 September 2009, Venice.* 7. Seeber G. *Satellite Geodesy 2nd completely revised and extended edition.* Walter de Gruyter, Berlin New York, 2003 – 589 p. 8. Torge, W. *Geodesy, 2nd edition.* Walter de Gruyter, Berlin, New York, 1991.

Надійшла 11.04.2011 р.