

Представлені результати дають цілісне уявлення про особливості мезо- і мікрокліматичної мінливості показників елементів клімату як компоненту ландшафтів на хоричному і топичному рівні. Треба відзначити, що за представленою блок-схемою цілком можливо оцінити можливості зміни ландшафтів у зв'язку із зміною клімату.

Список використаних джерел

1. Недільська Уляна. Курс лекцій з дисципліни «Ландшафтна екологія» для освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 101 «Екологія». Кам'янець-Подільський, 2024. 106 с.
2. Гродзинський М. Д. Ландшафтна екологія: підручник. К.: Знання, 2014. 550 с.
3. Mischenko Z.A. Agroclimatic Mapping of the Continents. Agricultural Meteorology CagM. Report, N 23. Geneva, WMO. 1984. 131 p.
4. Ляшенко Г.В. Агрокліматична оцінка формування продуктивності сільськогосподарських культур в Україні. Одеса: ННЦ ІВіВ ім. В.Є. Таїрова. 2011. 247 с.
5. Ляшенко Г. В., Данілова Н. В. Практикум з мікрокліматології: навчальний посібник. Одеса: Екологія. 2016. 220с.

УДК 528.5:551.461.2(26+477)

АНАЛІЗ МЕТОДІВ GNSS-РЕФЛЕКТОМЕТРІЇ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ РІВНЯ ЧОРНОГО МОРЯ

Оксана МАЛАЩУК, декан факультету геодезії, землеустрою та агроінженерії, доцент кафедри геодезії, землеустрою та земельного кадастру, osmalaschuk@gmail.com

Одеський державний аграрний університет
м. Одеса, Україна

Морські узбережжя Чорного моря є важливими об'єктами для упередження негативних наслідків відповідних кліматичних змін через їх чутливість до зміни температури та клімату. Вони володіють значними природними та матеріально-технічними ресурсами, а для держав Чорноморського басейну прибережна зона має колосальне економічне значення. Для запобігання негативних економічних і соціальних наслідків, що викликаються руйнуваннями господарських і природних об'єктів, розташованих в прибережній смузі, необхідно проводити моніторинг її стану та змін берегової лінії з використанням методів вимірювання, що дозволяють отримати з необхідною точністю й достовірністю інформацію про поточні зміни та скласти перспективний прогноз. Тому для розуміння процесів, що призводять до зміни рівня морів, а також з метою прогнозування та мінімізації наслідків, викликаних цими змінами, у всьому світі ведуться систематичні спостереження за морською топографічною поверхнею на розгалуженій мережі морських рівневих постів та станцій.

Сьогодні для визначення морської топографічної поверхні в основному використовуються два методи. Перший метод ґрунтується на застосуванні різних видів мареографів на постійних та тимчасових морських рівневих постах та станціях. На постійних пунктах спостережень встановлюють поплавкові самописці рівня моря, а в прибережній зоні – гідростатичні мареографи. На тимчасових пунктах спостережень використовують автономні гідростатичні мареографи. Другим методом визначення морської топографічної поверхні є метод супутникової альтиметрії, який полягає у вимірюванні висоти по нормалі радіовисотоміром, встановленим на низькоорбітальному супутнику над досліджуваною поверхнею.

Метод супутникової альтиметрії є найбільш універсальним методом визначення морської топографічної поверхні. Однак у прибережних районах продуктивність методу знижується через те, що відбитий сигнал, який приймає низькоорбітальний супутник, важко обробляти та коректно інтерпретувати, внаслідок близькості берегової лінії, підняття морського дна, зміни рівня моря, обумовленого припливами та впливом атмосфери, що в результаті призводить до різкого зменшення точності спостережень [1].

Новим перспективним методом визначення морської топографічної поверхні є метод GNSS-рефлектометрії, який можна інтерпретувати як метод супутникової відбиваючої альтиметрії.

Концепція використання відбиваючого GNSS-сигналу для вимірювання морської топографічної поверхні вперше була запропонована Мануелем Мартіном-Нейра в роботі «Система пасивної рефлектометрії та інтерферометрії (PARIS): Застосування до альтиметрії океану» [2]. Суть методу GNSS-рефлектометрії (GNSS-R) полягає в аналізі сигналів GNSS, відбитих від поверхні Землі, й на відміну від звичайної супутникової альтиметрії, GNSS-рефлектометр працює в так званій бістатичній конфігурації, де передавач, встановлений на супутнику і GNSS-приймач знаходяться на достатньо великій відстані один від іншого.

Метод GNSS-R може бути реалізований у трьох конфігураціях: космічному, повітряному та наземному. Нами детально досліджено в даній роботі наземний метод.

Наземна GNSS-рефлектометрія здійснюється з використанням або однієї антени за методом «відношення "сигнал-шум"», яка базується на теорії багатопроменевого поширення сигналу, або за допомогою двох антен, розташованих на заданих відстанях за методом «фазова затримка».

Зазвичай використовується *конфігурація з двома GNSS-антенами*. В цій конфігурації одна з GNSS-антен, яка має праву кругову поляризацію, направляєтсья в зеніт і є основою для прийому прямого трансльованого GNSS-сигналу. Друга GNSS-антена направляєтсья в надир і служить для прийому відбиваючого сигналу, який після відбивання набуває в основному ліву кругову поляризацію, тому така антена має ліву кругову поляризацію. Обидві антени знаходяться в одній вертикальній площині й знаходяться на певній відстані d . Кут нахилу відбиваючого сигналу дорівнює висоті прямого сигналу [3]. Схема GNSS-рефлектометрії з використанням двох антен зображена на рис. 1.

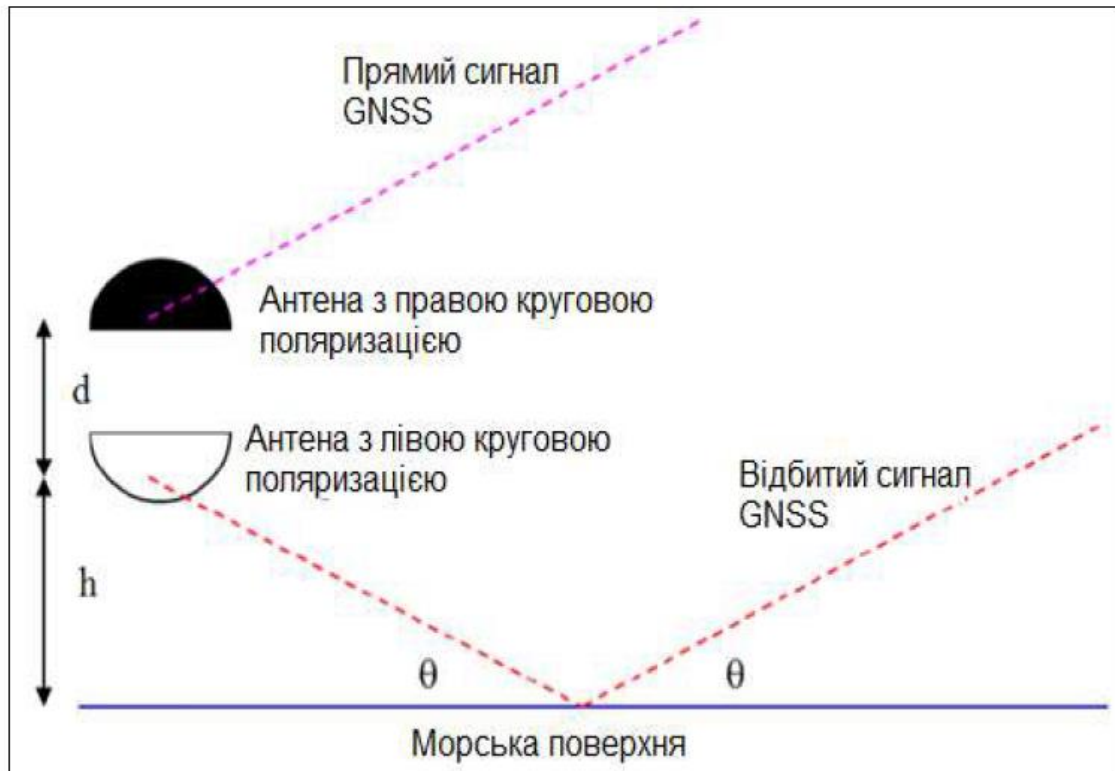


Рис.1. Схема GNSS-рефлектометрії з використанням двох антен [3]

Співвідношення енергії з правою круговою та лівою круговою поляризацією залежить від діелектричної проникності, провідності відбиваючої поверхні та кута піднесення супутника. Для морської води компонент лівої кругової поляризації домінує у відбитому сигналі для кута вище кута Брюстера, тобто більше 8° , тоді як компонент правої кругової поляризації швидко зменшується. При використанні двох супутникових антен можна оцінити морську топографічну поверхню шляхом порівняння прямих і відбитих сигналів. Припускаючи, що фазові центри двох антен зміщені на величину d , затримка шляху відбиваючого сигналу відносно прямого сигналу може бути визначена на основі простого геометричного співвідношення. Тоді висота h над поверхнею води визначиться за формулою:

$$h = \frac{1}{2} \cdot (\Delta v - d), \quad (1)$$

де Δv – обчислена різниця висот для базової лінії між двома антенами;

d – відстань між фазовими центрами двох антен [3].

Цей метод має також назву метод «фазової затримки».

Конфігурація із застосуванням однієї антени з правою круговою поляризацією вперше була запропонована в роботі [3], вона базується на теорії багатопроменевого поширення відбитого сигналу [4, 5]. Схема GNSS-рефлектометрії з використанням однієї GNSS-антени зображено на рис. 2.

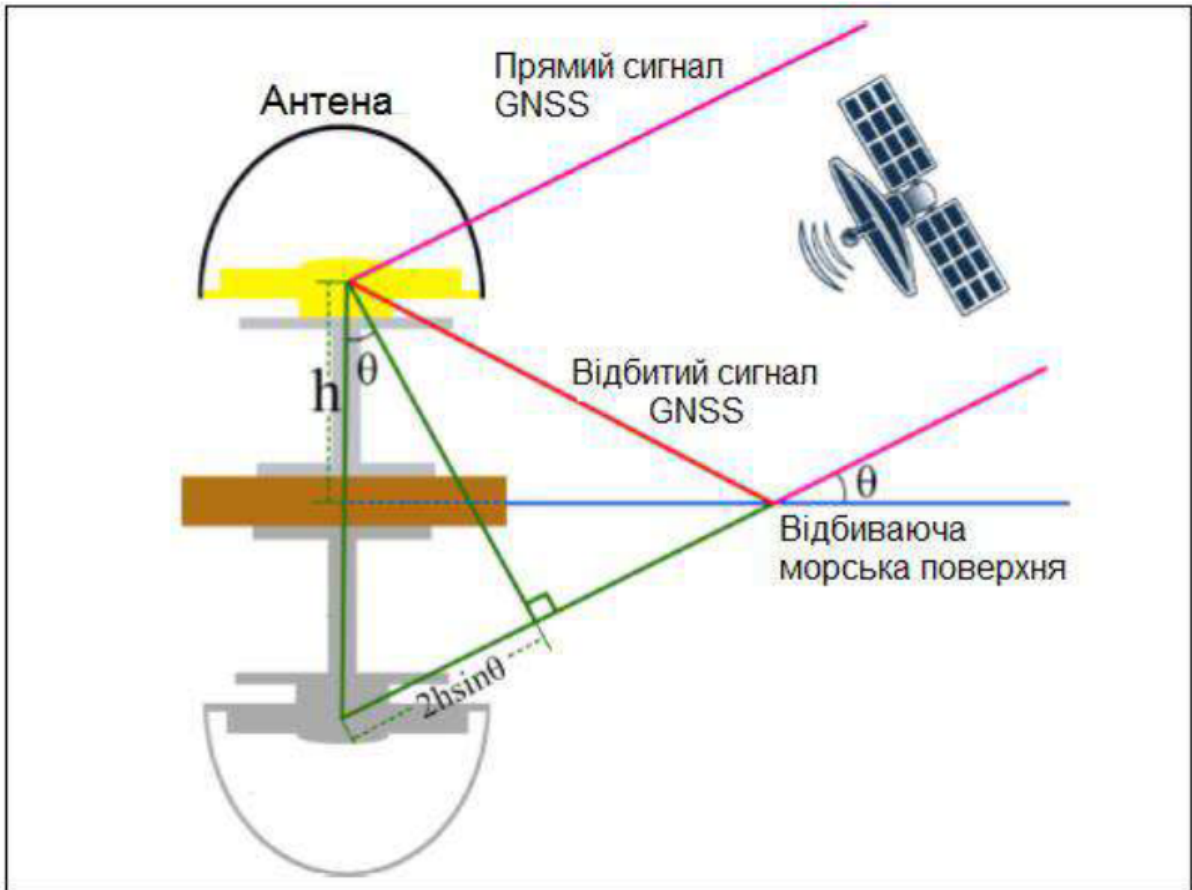


Рис. 2. Схема GNSS-рефлектометрії з використанням однієї антени[3]

Відповідно до концепції багатопробеневого поширення довжина додаткового шляху ($\Delta\rho$) може бути записана як функція, яка залежить від висоти відбивача (h) та кута падіння (θ):

$$\Delta\rho = \Delta t \cdot c = 2h \cdot \sin \theta, \quad (2)$$

де Δt – часова затримка; c – швидкість поширення світла.

Перемноживши обидві частини рівняння на величину $\frac{2\pi}{\lambda}$, отримаємо:

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi \cdot \Delta t \cdot c}{\lambda} = \frac{4\pi \cdot h \cdot \sin \theta}{\lambda}, \quad (3)$$

де $\Delta\varphi$ – фазова затримка.

Фазова затримка між прямим і відбитим сигналами зв'язана зі зміною кута падіння:

$$\frac{\Delta\varphi}{dt} = \frac{4\pi \cdot h \cdot \cos \theta \, d\theta}{\lambda dt}, \quad (4)$$

де $\frac{\Delta\theta}{dt}$ – це зміна швидкості кута падіння.

Замінивши в рівнянні (4) $x = \sin \theta$, отримаємо:

$$\frac{d\Delta\varphi}{dx} = \frac{d\Delta\varphi \cdot dt}{dx \cdot dt} = \frac{d\Delta\varphi \cdot dt}{\cos \theta \, d\theta \cdot dt} = \frac{4\pi \cdot h}{\lambda}, \quad (5)$$

Ця інтерференційна картина дає можливість отримати висоту h відбивача між антеною і відбиваючою поверхнею [4]:

$$h = \frac{\lambda \cdot f}{2}. \quad (6)$$

Даний метод також відомий як метод «відношення "сигнал-шум"», або когерентний, чи інтерферометричний. У ньому застосовуються інтерферометричні або

безкодові приймачі геодезичної якості. За вимірянні параметри приймають взаємну когеренцію або крос-кореляцію двохроздільних сигналів GNSS, створених когерентно одним передавачем і зібраним одним інструментом, тобто GNSS-R приймачем.

В ході попереднього теоретичного дослідження було виявлено, що найбільші помилки у визначенні висоти морської топографічної поверхні за методом «відношення "сигнал-шум"» вносить електромагнітне зміщення сигналу, відбитого, як правило, від ложбин морської хвилі, а не від її гребенів. В результаті відбувається суттєве неврахування висоти морської топографічної поверхні. Для виключення даної похибки з результатів визначення висоти морської топографічної поверхні використовуються теоретичні методи розрахунку електромагнітного зміщення сигналу з використанням лінійних і нелінійних моделей морської топографічної поверхні, а також емпіричні, з використанням реальних даних [4].

Застосування методу «відношення "сигнал-шум"» дозволяє визначити висоту морської топографічної поверхні з похибкою до 1,53 см, однак для цього потрібно враховувати електромагнітне зміщення сигналу. Метод «фазова затримка» дозволяє визначити висоту морської топографічної поверхні з точністю до 1–2 см.

Порівняння методів показало, що метод «фазова затримка» перевершує в точності метод «відношення "сигнал-шум"» в умовах малої шороховатості поверхні моря, а метод «відношення "сигнал-шум"» працює краще за умов значного хвилювання моря.

Список використаних джерел

1. Observations: oceanic climate change and sea level / Bindoff N. L., Willebrand J., Artale V. et al. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK : Cambridge University Press. P. 385-432.
2. Martin-Neira M. A passive reflectometry and interferometry system (PARIS): Application to ocean altimetry. *ESA journal*. 1993. Vol. 17, No 4. P. 331-355.
3. Larson K. M., Löfgren J. S., Haas R. Coastal sea level measurements using a single geodetic GPS receiver. *Advances in Space Research*. 2013. Vol. 51. Issue 8. P. 1301-1310.
4. Sun J. Ground-Based GNSS-Reflectometry Sea Level and Lake Ice Thickness Measurements. URL: <http://surl.li/mxesod>
5. The accidental tide gauge: a GPS reflection case study from Kachemak Bay, Alaska / K. M. Larson, R. D. Ray, F. G. Nievinski et al. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 2013. Vol. 10, No. 5. P. 1200-1204.

УДК 631.4:504.75:631.416.2(477)

ВПЛИВ ВОЄННИХ ДІЙ НА ҐРУНТОВИЙ ПОКРИВ ТА ПРОБЛЕМИ ЙОГО ОЦІНЮВАННЯ

Віктор МИХАЙЛЮК, проф. кафедри геодезії,
землеустрою та земельного кадастру, mykhailiukv@osau.edu.ua

Одеський державний аграрний університет
м. Одеса, Україна

Ґрунти, що виконують важливі біосферні та екологічні функції, зазнають серйозної деградації через військові дії. В Україні найбільша площа впливу бойових дій характерна для чорноземних ґрунтів: чорноземів звичайних (5,0 млн га), південних