

УДК 504.4

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗМІН РІВНЯ ЧОРНОГО І АЗОВСЬКОГО МОРІВ В РАМКАХ СЦЕНАРІЇВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН У XXI СТОРІЧЧІ

В.С. Мадерич, І. В. Ковалець, К.В. Терлецька, І.О. Бровченко

Інститут проблем математичних машин і систем НАН України

e-mail: kterletska@gmail.com

Кліматичні зміни стану Чорного моря залежать від балансу прісної води в басейні моря (опади, випаровування, річковий стік), температури повітря та вітрового режиму над Чорним морем, а також від змін рівня у північній частині Егейського моря, температури та солоності вод, які втікають до Дарданелл з Егейського моря. Метою роботи є розробка ланцюга, відносно простих, взаємопов'язаних моделей для аналізу сезонної і міжрічної мінливості морів та проток, їх верифікація на доступних даних 1970-2009 рр. та оцінки майбутнього стану у 2010-2100 роках на основі сценаріїв IPCC змін клімату. Розроблена система включає в себе багаторівневу модель розмірності «один із половиною» для Чорного моря, модель Азовського моря і Керченської протоки, доповнені двошаровими гідравлічними моделями проток Босфор і Дарданелли та багаторівневою моделлю Мармурового моря розмірності «один із половиною». Для опису обмінних потоків через протоки Босфор і Дарданелли використовується квазістаціонарна гідравлічна двошарова модель довгих проток із донним і міжшаровим тертям [1,2], яка заснована на так званому «гідравлічному контролі». Порівняння розрахунків з даними спостережень у 1970-2009 показує досить добре узгодження з наявними даними.

Вхідними даними для моделювання кліматичних змін в період 2010-2100 років згідно сценаріям IPCC RCP 4.5 та RCP 8.5 є результати розрахунків регіональними кліматичними моделями.

Річковий стік у Чорне та Азовське моря розраховувався за допомогою моделі нейронних мереж (MATLAB 6.5), у якій використовувались дані різниці опадів-випаровування та середньої температури у водозбірному басейні в якості предикторів.

Результати моделювання показали, що осереднена по акваторії Чорного моря температура повітря розрахована за даними моделювання CNRM-ALADIN (MED-11) для сценарію RCP4.5 збільшиться на 2.7, а для сценарію RCP8.5 на 4.2 (рис.1). А річний приток прісних вод у Чорне море з 2010 до 2100 року, розрахований за допомогою моделі нейронних мереж, зменшиться на 85 км³ для сценарію RCP4.5 та на 99 км³ для сценарію RCP8.5 (рис.2).

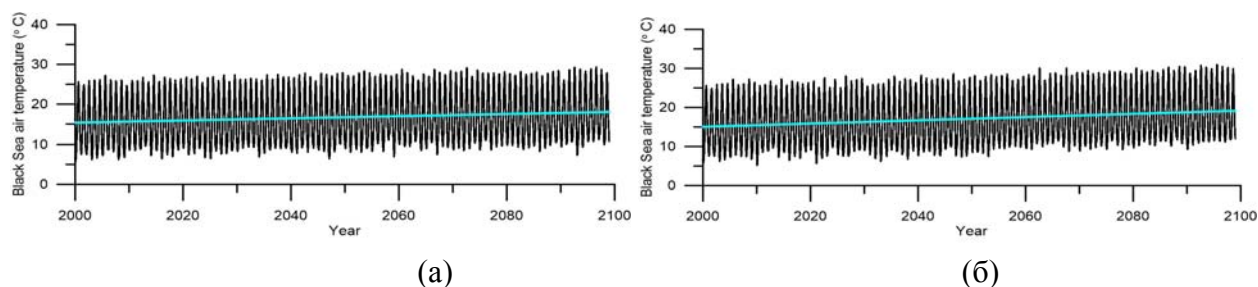


Рис. 1. Осереднена по акваторії Чорного моря температура повітря розрахована за даними моделювання CNRM-ALADIN (MED-11) для сценарію RCP4.5 (а) для сценарію RCP8.5 (б)

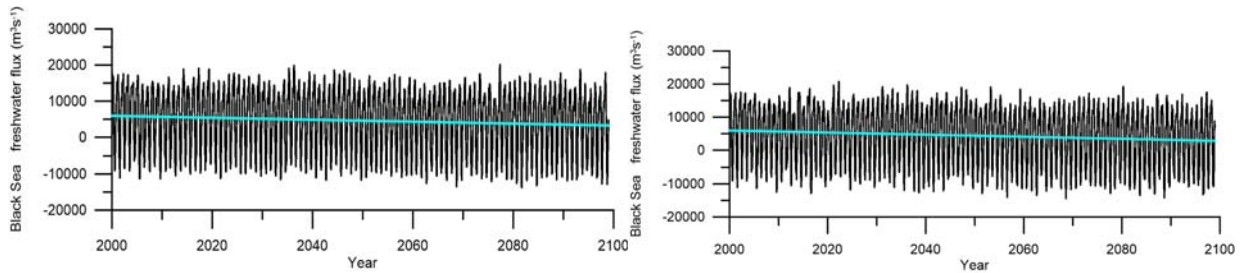


Рис. 2. Річний приток прісних вод у Чорне море з 2010 до 2100 року для сценарію RCP8.5

Основним фактором зменшення притоку прісних вод у Чорне море є збільшення випаровування з поверхні Чорного моря за рахунок підвищення температури повітря та змін циркуляції в регіоні.

Розраховані зміни рівня Чорного моря з урахуванням стеричного ефекту для сценарію RCP8.5 показано на рис. 3.

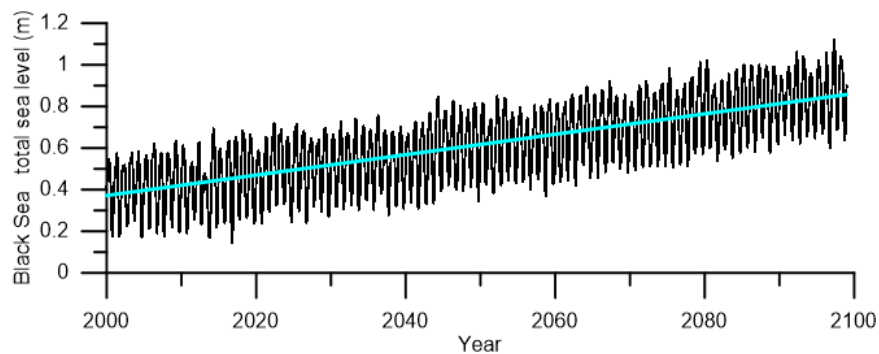


Рис. 3. Зміни рівня Чорного моря з урахуванням стеричного ефекту для сценарію RCP8.5

Висновки.

Зміни фізичних характеристик Чорного та Азовського морів, що отримані з розрахунків, можуть суттєво вплинути на стан екосистем цих басейнів, берега та на прибережну інфраструктуру. Підйом рівня на 0.36 та 0.46 м згідно сценаріям RCP4.5 та RCP8.5 призведе до підтоплення берегів (наприклад Арабатської стрілки в Криму) та до інтенсифікації ерозії берегів. Підвищення температури повітря (на 3 та 4.8 °C) та верхнього шару Чорного моря (на 2.7 та 4.1 °C) погіршить умови існування екосистем моря, збільшить ймовірність цвітіння морів та погіршить якість води у прибережній зоні. В той же час ефект зменшення річкового стоку та збільшення випаровування компенсується підвищенням температури води, що не призведе до виникнення глибокої конвекції в Чорному морі та появу сірководню у верхніх шарах моря. Результати розрахунків можуть бути використані державними органами для розробки довгострокових сценаріїв сталого економічного та соціального розвитку українського узбережжя Чорного та Азовського морів.

Список літератури

1. Maderich V., Konstantinov S. Seasonal dynamics of the system sea-strait: Black Sea-Bosphorus case study. // *Estuarine, Coastal and Shelf Sciences*.-2002.- 55.-P. 183-196.
2. Maderich V., Ilyin Yu., Lemeshko E. Seasonal and interannual variability of the water exchange in the Turkish Straits System estimated by modelling. // *Mediterranean Marine Science*.-2015.- 16 (2).-P. 444-459.