DOI: https://doi.org/10.15407/conf_UHMI_HCC_2025.009

РЕЗУЛЬТАТИ ВИПРОБУВАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ ВІТРОВОГО ХВИЛЮВАННЯ І ВІДГІННО-НАГІННИХ КОЛИВАНЬ РІВНЯ МОРЯ

Олександр Матигін[1], Юрій Тучковенко[2,3], Євген Газєтов[1,3], Валентина Чепурна[1]
[1] Гідрометцентр Чорного та Азовського морів, Одеса, Україна, gazetov@gmail.com
[2] Інститут морської біології НАН України, Одеса, Україна
[3] Одеський національний університет імені І.І. Мечникова, Одеса, Україна

Оперативне прогнозування океанографічних параметрів стану морського середовища української частини акваторії Азово-Чорноморського басейну необхідне для забезпечення потреб морегосподарського комплексу, безпеки мореплавання, портово-промислових і рекреаційних комплексів, розташованих на морському узбережжі, успішного виконання пошуково-рятувальних операцій на морі ДСНС України.

До 2014 року ця задача вирішувалась в Експериментальному центрі морських прогнозів для Чорного моря, створеному за фінансової та технічної підтримки ЄС на базі Морського гідрофізичного інституту (МГІ) НАН України (м. Севастополь) [1]. Після окупації Криму цей Центр, разом з МГІ, вийшов з під юрисдикції України і припинив свою діяльність в її інтересах. У зв'язку з цим, виникла нагальна потреба створення нового автоматизованого модельного комплексу для оперативного прогнозу короткочасної мінливості океанографічних характеристик в акваторіях Чорного і Азовського морів, в межах відновлення функціонування національної системи морських прогнозів України. Такий комплекс був створений в Одеському державному екологічному університеті при виконанні науково-дослідної роботи «Розробка складових національної системи морських прогнозів в Україні» ДР № 0117U002425, яка фінансувалась Міністерством освіти і науки України протягом 2016-2019 рр. [2-4], і переданий для випробувального використання в Гідрометцентр Чорного та Азовського морів (ГМЦ ЧАМ, Одеса).

Основу комплексу складають сучасні європейські чисельні прогностичні моделі (розробник - науково-дослідний інститут прикладних досліджень «Делтарес» (Нідерланди) та Delft University of Technology), які інтегровані між собою: гідродинамічна модель Delft3D-FLOW та спектральна модель для прогнозу просторово-часової мінливості параметрів вітрового хвилювання SWAN - Simulating Waves Nearshore Model. Модельний комплекс був адаптований і верифікований для використання в умовах Азово-Чорноморського басейну із засвоєнням вхідних метеорологічних даних (полів компонент швидкості вітру та атмосферного тиску) з архіву прогнозів погоди глобальної чисельної моделі GFS (Global Forecast System) із 0,25-градусною просторовою деталізацію за широтою та довготою [4].

При проведенні прогностичних розрахунків в акваторії Чорного та Азовського морів використовувалась базова криволінійна сітка розрахункова сітка з перемінними у горизонтальній площині розмірами осередків Δxy=2,5-5 км. У середині цієї базової сітки були генеровані вкладені розрахункові сітки з більшою деталізацією: Δxy = 0,8-1,5 км – для північно-західної частини Чорного моря (ПнЗЧМ) і Δxy = 90-250 м – для акваторії Одеського району ПнЗЧМ, де розташовані морські порти Чорноморськ, Одеса, Південний [4].

Мета роботи полягає в оприлюдненні результатів випробувального використання автоматизованого модельного комплексу у складі інтегрованих між собою чисельних математичних моделей Delft3D-FLOW + SWAN для оперативного прогнозування параметрів морського хвилювання і відгінно-нагінних рівня моря в акваторії Одеської затоки ПнЗЧМ в період жовтень 2024 р. - березень 2025 р.

Методика досліджень. Верифікація роботи прогностичного комплексу виконувалась шляхом порівняння результатів прогностичних розрахунків з даними спостережень за висотою хвиль та рівнем моря на морських гідрометеорологічних станціях (МГС) ГМЦ ЧАМ в портах: Чорноморськ (ГМБ «Чорноморськ»), Одеса (МГС «Одеса-порт») та Південний (МГС «порт Південний»). Спостереження на МГС виконуються: за висотою хвиль - візуально; за рівнем моря - на МГС «Одеса-порт» - із використанням мареографу, на ГМБ «Чорноморськ» і МГС «порт Південний» - із використанням рівневих рейок. Для верифікації прогнозованих коливань рівня моря брались осереднені для дев’яти вузлів розрахункової сітки, розташованих поблизу точки спостереження, розраховані значення, а для верифікації за висотою вітрових хвиль - осередні для чотирьох вузлів розрахункової сітки значення. Результати прогнозу висот вітрових хвиль зіставлялися безпосередньо з даними спостережень на МГС. Оскільки викликані вітром коливання рівня моря розраховуються в модельному комплексі як відхилення від незбуреного стану, то для визначення останніх за даними спостережень на МГС спочатку виконувалось їхнє ковзне осереднення за передуючі прогнозу 14 діб спостережень, а після розраховувались відхилення поточних спостережених значень від осереднених за вказаний період.

Додатково, для відкритої частини Одеської затоки верифікація прогнозу висоти хвиль із використанням модельного комплексу здійснювалась шляхом порівняння прогнозованих висот значних хвиль (SWH) з даними набору Global Ocean L3 Significant Wave Height From Nrt Satellite Measurements [5] на порталі COPERNICUS, які були виміряні альтиметрами супутників: Sentinel-6A, Jason-3, Sentinel-3A, Sentinel-3B, Cryosat-2, SARAL/AltiKa, CFOSAT, Hai Yang-2B. Усього для вказаного вище періоду використано 155 вимірів SWH в акваторії Одеській затоки.

Отримані результати та висновки. Порівняння результатів прогнозування відгінно-нагінних коливань рівня моря і висот вітрових хвиль в акваторії Одеської затоки ПнЗЧМ і на підходах до трьох вищевказаних портів в період жовтень 2024 р. - березень 2025 р., отриманих із використанням модельного комплексу Delft3D-FLOW+SWAN, з результатами спостережень на відповідних ГМС та вимірюваннями альтиметрами супутників приведено на рис. 1. Звернемо увагу на те, що на рис. 1а порівнюються результати прогнозування висот вітрових хвиль з даними візуальних спостережень на ГМС виконаних в світлу пору доби, які самі по собі вже є приблизними. На рис. 1б результати прогнозування порівнюються з даними діагнозу висот вітрових хвиль виконаного на підставі супутникових вимірювань. Прогнозовані денівеляції рівня моря порівнювались зі спостереженими на ГМС (рис. 1в). У деяких випадках відзначались похибки в прогнозованих значеннях денівеляцій рівня моря, що пояснюється складністю конфігурації берегової лінії і рельєфу дна поблизу портів, похибками в прогнозуванні вітрових умов (як за швидкістю вітрів, так і за їх напрямком), певною неточністю визначення незбуреної вітром позначки рівня моря.

Отримані результати свідчать, що прогноз викликаних вітром денівеляцій рівня моря і висот вітрових хвиль добре узгоджується з даними спостережень на ГМС та супутниковими вимірюваннями. Ряди, що порівнюються, мають достатньо тісний взаємозв’язок для розрахунків із завчасністю прогнозування від 1 до 3 діб. Також встановлено, що модель добре відтворює часову динаміку змін рівня моря та висот вітрових хвиль як в період штормових вітрів, так і в умовах домінування помірних вітрів.

Отже, автоматизований прогностичний комплекс у складі інтегрованих між собою чисельних математичних моделей Delft3D-FLOW+SWAN, в варіанті із засвоєнням прогностичної метеорологічної інформації за глобальною атмосферною моделлю GFS, має добрі перспективи використання в оперативній прогностичній практиці Гідрометцентру Чорного та Азовського морів для надання оперативного прогнозу короткочасної (1-3 доби) мінливості викликаних вітром коливань рівня моря і висот вітрових хвиль на підходах до морських портів Одеської агломерації. Це важливий крок у напряму створення системи попередження суб’єктів морегосподарської діяльності щодо розвитку небезпечних для їх функціонування характеристик вітрового хвилювання та коливань рівня моря. У подальшому планується продовжити роботу з верифікації комплексу із використанням даних спостережень для українського сектора Чорного моря в цілому.

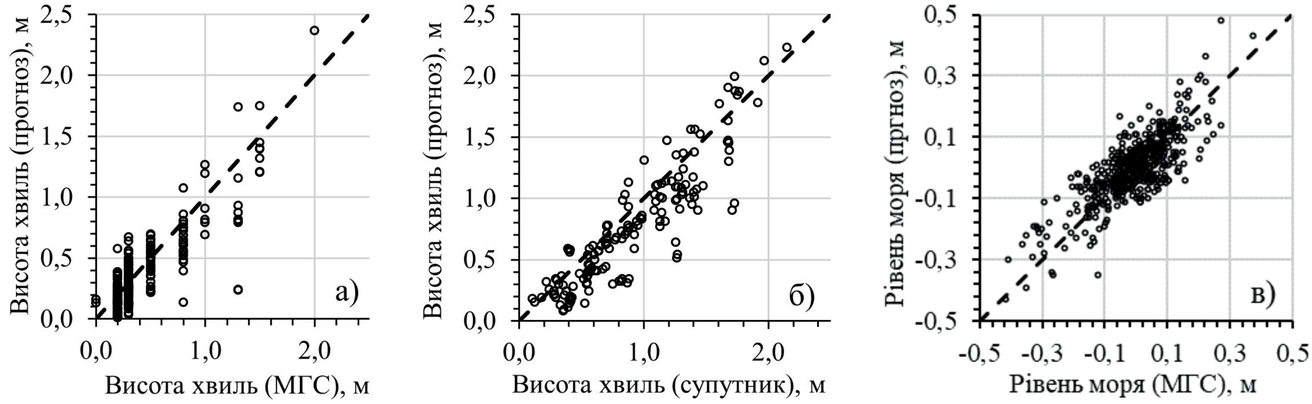

Рисунок 1. Діаграми відповідності: прогнозованих і спостережених висот хвиль на МГС «порт Південний» (а) та у відкритій частині Одеського затоки за супутниковими даними (б); прогнозованих вітрових денівеляцій рівня моря і спостережених на МГС «Одеса-порт» (в)

Список використаних джерел

1. Коротаев Г.К., Демышев С.Г., Дорофеев В.Л. и др. Архитектура и результаты работы международного Черноморского центра морских прогнозов, созданного на базе МГИ НАН Украины в рамках проекта Европейского Союза «Мой Океан». *Екол. безпека прибер. та шельф. зон та компл. викор. ресурсів шельфу.* 2013. Вип. 27. С. 128-133.
2. Кушнір Д.В., Тучковенко Ю.С., Попов Ю.І. (2019) Результати адаптації та верифікації комплексу інтегрованих чисельних моделей для прогнозування мінливості океанографічних характеристик в північно-східній частині Чорного моря. *Український гідрометеорологічний журнал*, 23, 95–108. https://doi.org/10.31481/uhmj.23.2019.09.
3. Tuchkovenko Y., Kushnir D. Using the Modern Modelling Complex for Operational Forecasting Of Oceanographic Conditions In The Ukrainian Part Of The Sea Of Azov – The Black Sea Basin. *International Scientific and Practical Conference «Intellectual Systems and Information Technologies»:* Conference Proceedings, 13-19 September, Odessa State Environmental University. Odesa, 2021. Pp. 192-199.
4. Тучковенко Ю.С., Гаврилюк Р.В., Кушнір Д.В. (2021) Прогнозування океанографічних характеристик в української частині Азово-Чорноморського басейну: монографія / Одеський державний екологічний університет. Одеса. 122 с.
5. Global Ocean L3 Significant Wave Height From Nrt Satellite. URL: https://data.marine.copernicus.eu/product/WAVE_GLO_PHY_SWH_L3_NRT_014_001 (дата звернення 25.09.2025).

Ключові слова: Чорне море, Одеський район, вітрове хвилювання, рівень моря, моделювання, оперативний прогноз