

УДК 534.2, 681.883

**Alexey I. Shundel**, PhD, researcher of the Department of Panoramic Acoustic Systems of the State Institution «Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine»

ORCID ID: 0000-0002-3076-9553 *e-mail*: lixyta666@gmail.com

**Sergey G. Fedoseenkov**, PhD, head of the Department of Panoramic Acoustic Systems of the State Institution «Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine»

*e-mail*: 22lex22s@ukr.net

State Institution «Scientific Hydrophysical Centre of the National Academy of Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine

## CREATION OF A SYSTEM OF COMPREHENSIVE MONITORING OF THE AQUATIC ENVIRONMENT STATE OF THE BLACK SEA BY ITS MATHEMATICAL MODELING

***Abstract.** Modeling and forecasting of hydrodynamic processes in the Black Sea with high resolution are important for coastal and shelf zones, because of the biggest anthropogenic pressures. Here are the processes of distribution and transformation of pollutants that emerged in the sea in different ways, the transfer and sedimentation of solid river alluvium, lithodynamic and biochemical processes and more. The peculiarities of such processes are directly related to the dynamic processes that develop in coastal areas. Development of a regional operational system for forecasting the state of the Black Sea northwestern part has to be undoubtedly considered as a significant step forward for oceanography in this area. Creation of the integrated monitoring system of the Black Sea aquatic environment as well as its separate areas by means of mathematical modeling, in conjunction with further forecasting instruments meets the modern needs of society. It will help to prevent and respond in a timely manner to crises caused by natural and man-made risks. The created system will contribute to ensuring national security, improving the quality of life of people, the development of new knowledge-intensive industries.*

***Keywords:** monitoring; forecast; mathematical modeling; Black Sea; oceanographic parameters*

**О.І. Шундель, С.Г. Федосєєнков**

Державна установа «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України», м. Київ, Україна

## СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ СТАНУ ВОДНОГО СЕРЕДОВИЩА ЧОРНОГО МОРЯ ШЛЯХОМ ЙОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

***Анотація.** Моделювання та прогноз гідродинамічних процесів у Чорному морі з високою розрізняювальною здатністю є важливими для прибережних і шельфових зон, оскільки саме ці зони зазнають найбільшого антропогенного навантаження. Тут проходять процеси поширення та трансформації забруднюючих речовин, що потрапили в море різними шляхами, перенесення та седиментація твердих наносів річок, літодинамічні та біохімічні процеси*

*та інші. Особливості перебігу таких процесів безпосередньо пов'язані з динамічними процесами, що розвиваються у прибережних зонах. Значним кроком уперед для океанографії північно-західної частини Чорного моря, безумовно, можна вважати створення регіональної оперативної системи прогнозу стану цієї частини морського басейну. Створення системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря й окремих його частин шляхом математичного моделювання, разом з подальшим прогнозуванням, відповідає сучасним потребам суспільства. Це сприятиме запобіганню та своєчасному реагуванню на кризи, зумовлені природними та техногенними ризиками. Створена система вирішуватиме завдання забезпечення національної безпеки, підвищення якості життя людей, розвитку нових наукоємних галузей економіки.*

**Ключові слова:** моніторинг; прогноз; математичне моделювання; Чорне море; океанографічні параметри

**DOI:** <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2022.1.111-120>

## Вступ

Серед причорноморських держав найдовшу берегову лінію (1 628 км) має Україна, їй належить 57% загальної площі чорноморського шельфу, у тому числі 87% північно-західного шельфу (який є найбільш екологічно уразливою ділянкою Чорного моря). Антропогенні проблеми Чорного моря формуються і найбільш гостро проявляються в прибережній та шельфовій зоні морів, де сконцентрована господарська діяльність, зосереджені берегові та основні морські джерела забруднення (діяльність портів, днопоглиблення акваторій портів і підхідних каналів, дампінг ґрунтів, розвідка та видобування вуглеводневих ресурсів). Реалізація державної морської політики України в цій сфері потребує відповідного інформаційного забезпечення [1].

Основним завданням океанографії в забезпеченні морської діяльності є підготовка й своєчасне доведення до кінцевих споживачів діагностичної та прогностичної інформації про основні параметри стану океану та морів, включаючи загрози виникнення небезпечних явищ. Необхідна умова для вирішення цього завдання – наявність розвиненої спостережної мережі, створення наукоємних технологій діагнозу та прогнозу основних характеристик морського середовища, а також доведення цієї інформації до споживачів [2].

Отримання діагностичних і прогностичних оцінок стану океанів та морів в оперативному режимі необхідне для функціонування практично всіх галузей морської діяльності, серед яких морські перевезення, рибальський промисел, розвідка та видобуток вуглеводнів на шельфі, експлуатація гідротехнічних споруд, комплексів аквакультури і рекреації тощо.

Користувачі потребують, в першу чергу, параметрів стану приводного шару атмосфери (атмосферний тиск, швидкість вітру, температура і вологість повітря) та характеристик поверхні моря (температура води, елементи вітрового хвилювання, варіації середнього рівня моря тощо). Поряд з цим у багатьох випадках необхідна інформація про тривимірні поля основних гідрофізичних характеристик не тільки на поверхні, але й у товщі Чорного моря.

У статті розглянуто питання створення в Україні технологій, пов'язаних з відносно новим розділом фізичної океанології, а саме: отримання

діагностичних і прогностичних оцінок стану океанів та морів. Модельний комплекс для вирішення задач як прогнозу, так і діагнозу океанографічних параметрів стану морського середовища може базуватися на використанні двох програмних модулів інтегрованого модельного комплексу Delft3D (розробник – Науково-дослідний інститут прикладних досліджень Deltares, Нідерланди).

Метою роботи є перший етап створення вітчизняної системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря шляхом його математичного моделювання з подальшим прогнозуванням, що будуть забезпечувати регулярний випуск оперативної інформації: система засвоєння океанографічних даних, технологія прогнозування океанографічних параметрів у визначених акваторіях Чорного моря з деталізацією прогнозів в прибережній зоні на терміни до 3-10 діб.

### Основна частина

У таких державах-членах НАТО, як Сполучені Штати Америки, Велика Британія, Канада та ін., широко застосовують інформаційні системи детального оперативного (швидкого) прогнозу океанографічних параметрів стану вод морського шельфу (відгінно-нагінних явищ, течій, морського хвилювання та ін.), засновані на сучасних інтегрованих чисельних математичних моделях [3–5].

Розглянемо інтегрований модельний комплекс Delft3D, до складу якого входять два програмних модулі: FLOW та WAVE [6]. Розробник надає вільний доступ широкому колу споживачів до кодів програмних пакетів, а їх використання регулюється ліцензійною угодою GNU General Public License версії 3.0 [7].

Delft3D-FLOW – це базовий гідротермодинамічний модуль інтегрованого пакета програм Delft3D версії 4.04.01, який дає змогу моделювати просторово-часову мінливість таких океанографічних характеристик, як термогалінна структура та густинна стратифікація морських вод; їх циркуляція, зумовлена різними чинниками та їх сукупністю (густинні, градієнтні, вітрові, вітрохвильові та сумарні течії); коливання рівня моря (під дією вітру та атмосферного тиску); перенос (транспортування) як консервативних, так і неконсервативних домішок у морському середовищі.

Модель Delft3D-FLOW базується на чисельному вирішенні тривимірних рівнянь Нав'є – Стокса для нестисливої рідини на мілкій воді у наближенні Бусінеска. Система диференціальних прогностичних рівнянь моделі складається з рівнянь: руху, нерозривності, транспорту скалярних величин (тепла і солей) та двопараметричної  $k-\varepsilon$ -моделі турбулентності, яка замикає ці рівняння [8].

Delft3D-WAVE – програмний модуль, в якому використано спектральну модель третього покоління для розрахунку просторово-часової мінливості параметрів вітрового хвилювання SWAN (Simulating Waves Nearshore Model) [9], що базується на чисельному вирішенні рівняння балансу енергії хвиль у спектральній формі з урахуванням її джерел і стоків. У SWAN реалізовані процеси, які пов'язані з генерацією, поширенням у просторі та дисипацією вітрових хвиль: передача енергії від вітру до хвиль (генерація хвиль вітром); поширення хвиль у просторі; рефракція хвиль і трансформація їх параметрів через просторові варіації глибин і течій; взаємодія хвиль і течій; дисипація

хвильової енергії внаслідок донного тертя, обвалення гребенів (забурунювання) хвиль та обвалення хвиль на критичних глибинах (*wave breaking*) через їх зміну; нелінійна взаємодія між хвилями як у глибокому морі (4-хвильова), так і у мілкому морі (3-хвильова).

Обидва програмні модулі реалізуються в горизонтальній площині на криволінійній розрахунковій сітці, інтегровані за допомогою взаємного інтерфейсу та взаємодіють між собою, тобто враховується вплив течій на параметри вітрового хвилювання та їх поширення і, навпаки, внесок хвильових процесів у формування прибережних течій та інтенсивність турбулентного змішування вод. Об'єднаний прогноз вітрового хвилювання і циркуляції вод дає змогу підвищити точність розрахунків швидкості та напрямку морських течій, температури та солоності води у верхньому шарі моря. Поліпшення якості прогнозу досягається завдяки більш коректному обліку ефектів взаємодії морських хвиль і течій за умови використання комплексної прогностичної моделі цих явищ.

## Результати та дискусії

На першому етапі створення системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря проведено гідродинамічні розрахунки шляхом реалізації моделі D-Flow Flexible Mesh (D-Flow FM) – програми гідродинамічного моделювання, яка розроблена в Deltares. Вона є частиною унікального, повністю інтегрованого комп'ютерного програмного забезпечення Deltares для реалізації міждисциплінарного підходу та 1D-, 2D- та 3D-обчислень для прибережних, річкових та естуарійних районів, і називається Delft3D Flexible Mesh Suite або D-HYDRO Suite. Комплекс може проводити моделювання гідродинамічного потоку, хвиль, якості води та екологічних параметрів.

Delft3D Flexible Mesh Suite складається з декількох модулів, згрупованих навколо загального інтерфейсу і здатних взаємодіяти один з одним. D-Flow FM є одним із таких модулів, який становить багатовимірну (1D, 2D і 3D) програму гідродинамічного (і транспортного) моделювання, обчислює явища потоку і перенесення, що не встановилися та які виникають в результаті припливного та метеорологічного впливу на структурованих і неструктурованих граничних сітках. У 3D-моделюванні вертикальна сітка використовує підхід  $\sigma$ -координат. В якості альтернативи також можливий підхід із фіксованими  $z$ -шарами (в розробці). 2D функціональність у D-Flow FM реалізована повністю, в той час як функціональність для 3D та 1D знаходиться у розробці.

Було розраховано поля течій, рівня моря, зональних і меридіональних компонент швидкості вітру для обчислення параметрів трансформації хвиль. Початкові та закриті граничні умови використано з моделі BLKSEA\_ANALYSISFORECAST\_PHY\_007\_001 [10]. Батиметричні дані використано з сайту GEBCO [11].

Океанографічний прогноз побудовано на основі метеорологічного прогнозу на 10 діб з часовою дискретністю 6 годин за глобальною чисельною моделлю прогнозу погоди GFS (Global Forecast System), вебсервіс NOMADS якої (National Operational Model Archive and Distribution System) знаходиться в США [12]. Просторова деталізація прогностичних даних моделі GFS у горизонтальній площині становить  $0,25^\circ$  за широтою та довготою.

Національна метеорологічна служба США надає безкоштовний доступ до прогностичних даних моделі GFS. Оперативні поточні прогнози метеорологічних параметрів дозволено використати з веб-ресурсу NOMADS (Data Transfer: NCEP GFS Forecasts (0,25 degree grid) [14].

Окрім того, усі зроблені за останні декілька років у вказані строки прогнози зберігаються в історичному архіві GFS-прогнозів на відповідному веб-ресурсі (NCEP GFS 0,25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive) [15] Національного центру атмосферних досліджень США NCAR (National Center for Atmospheric Research) і можуть бути вільно використані. Прогностичну продукцію за моделлю GFS використовує, зокрема, в оперативній діяльності Український гідрометеорологічний центр. Метеорологічні дані завантажили з GFS за допомогою програми ХуGrib [12] у форматі \*.grib2.

Використовуючи програму wgrib2 [16], метеорологічні дані конвертовано у формат netcdf. Далі розроблено функцію у середовищі Matlab, яка зчитувала дані у форматі netcdf й окремо записувала у необхідному форматі просторово-часові дані зональних і меридіональних компонент швидкості вітру, температури повітря, вологості, атмосферного тиску та хмарності. При створенні системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря попередні розрахунки виконано на неструктурованій сітці з просторовим розрізненням  $\Delta_{xy} = 2,5\text{-}3$  км для Чорноморського басейну (рис. 1).

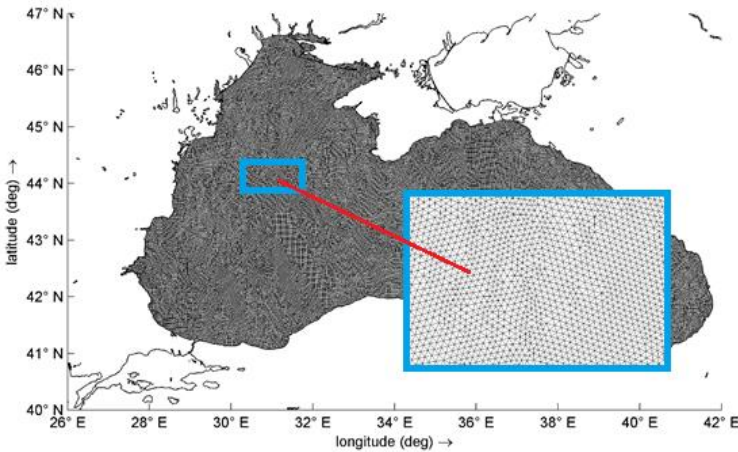


Рис. 1. Положення у просторі неструктурованої розрахункової сітки

З метою тестування функціоналів першого етапу створення системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря було проведено пілотний експеримент щодо функціонування оперативної системи аналізу та прогнозу стану Чорного моря в режимі часу, близькому до реального.

Складовою частиною цього експерименту був розрахунок прогнозу основних гідрофізичних полів (циркуляції, температури, солоності та параметрів вітру) на 4 доби (з високим розрізненням у північно-західній частині Чорного моря) за допомогою Delft3D Flexible Mesh Suite.

На рис. 2 наведено результати прогнозів поверхневої циркуляції акваторії Чорного моря на 4 доби, розраховані за моделлю Delft3D Flexible Mesh Suite.

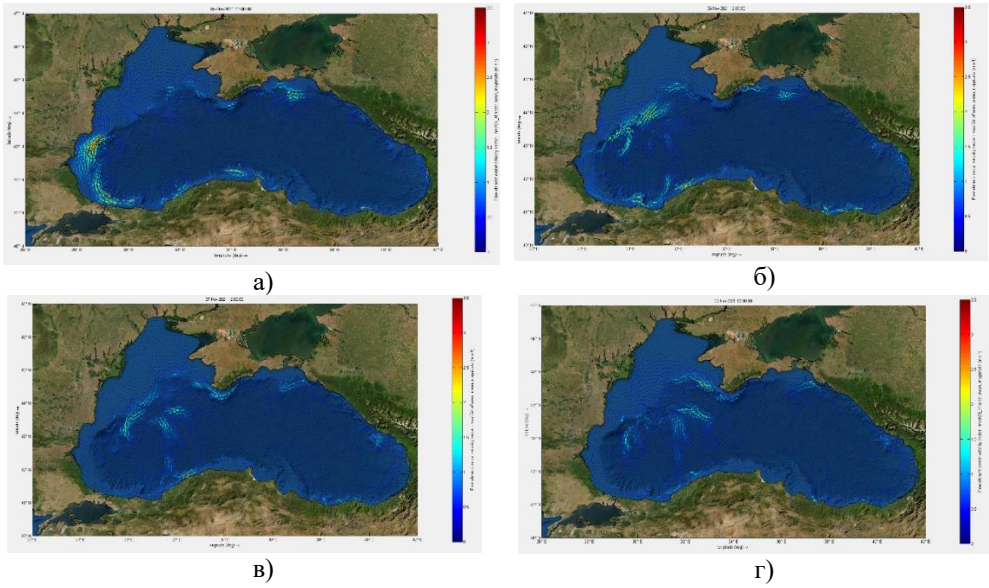


Рис. 2. Прогностичні поля поверхневих течій в акваторії Чорного моря, час 12:00: а) 5 листопада 2021 р.; б) 6 листопада 2021 р.; в) 7 листопада 2021 р.; г) 8 листопада 2021 р.

На рис. 3 показано результати прогнозування поля солоності, розраховані за моделлю Delft3D Flexible Mesh Suite, відповідно, а на рис. 4 – результати прогнозування параметрів вітру.

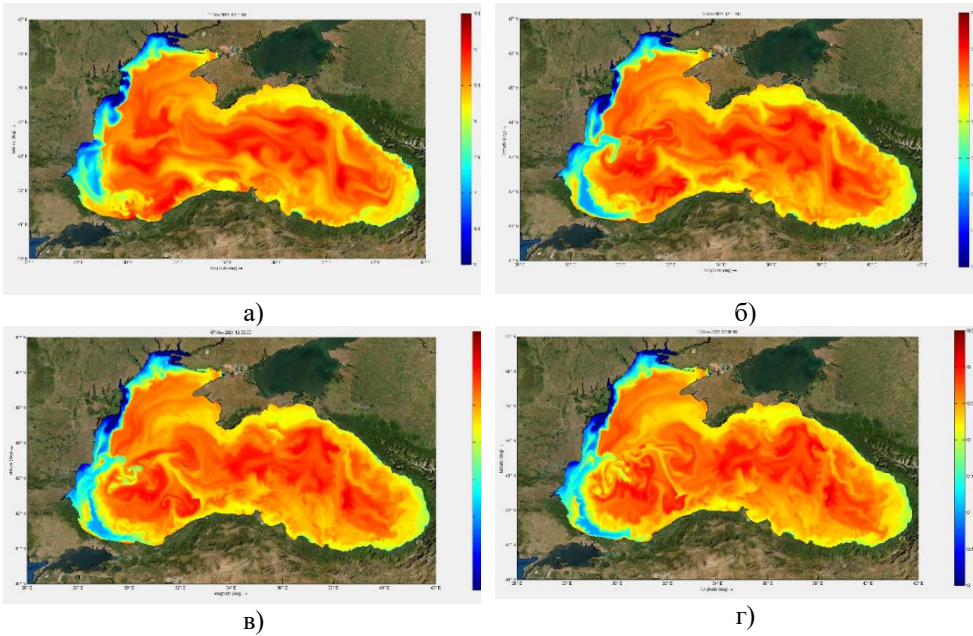


Рис. 3. Прогностичні поля розподілу поля солоності в акваторії Чорного моря, час 12:00: а) 5 листопада 2021 р.; б) 6 листопада 2021 р.; в) 7 листопада 2021 р.; г) 8 листопада 2021 р.



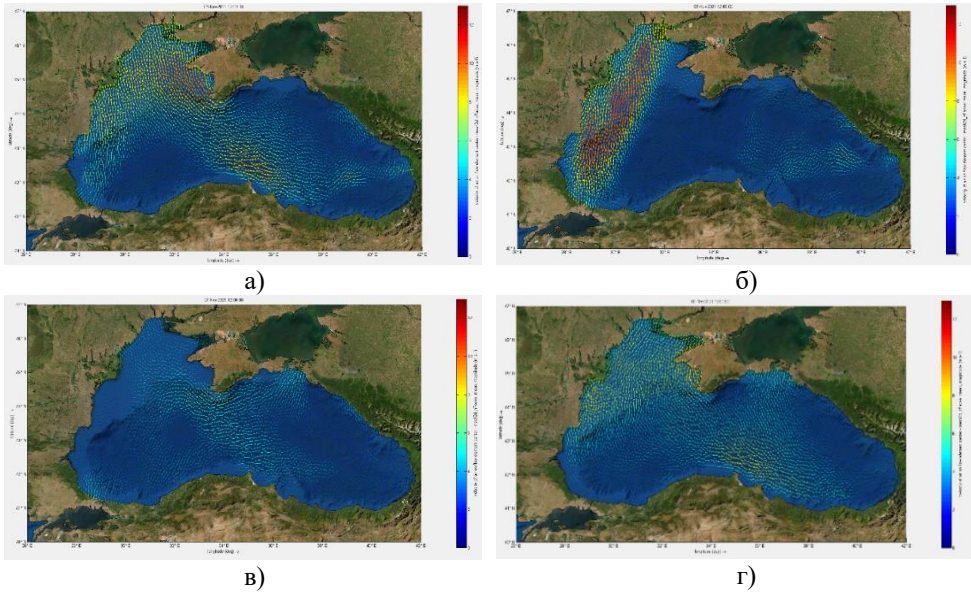


Рис. 4. Прогностичні поля параметрів вітру над акваторією Чорного моря, час 12:00: а) 5 листопада 2021 р.; б) 6 листопада 2021 р.; в) 7 листопада 2021 р.; г) 8 листопада 2021 р.

З рис. 3 видно, що поле солоності добре корелює з поверхневою циркуляцією акваторії Чорного моря в областях розвитку антициклонічного утворення, де, зазвичай, солоність вод нижча, ніж у зонах циклонічних вихорів, що пояснюється динамічними особливостями циркуляції.

У циклонічних утвореннях відбувається підйом більш солоних вод із глибинних шарів, а в антициклонічних вихорах розриваються низхідні потоки, які опускають менш солоні води з верхніх шарів униз.

Зіставлення результатів розрахованих прогнозів з натурними даними показало здатність моделі достовірно передбачати гідрофізичні поля Чорного моря. Порівняння розрахованих температур поверхні моря із супутниковими зображеннями поверхневої температури, отриманими з супутників NOAA, показало хороший якісний збіг прогностичних і реальних температурних полів.

На наступному етапі розробки системи комплексного моніторингу стану морського середовища Чорного моря слід врахувати, що підвищення роздільної здатності моделі в районах сприятиме кращій ідентифікації прибережних малих вихорів. Також розрахунки прогнозів показали, що північно-західна частина Чорного моря, яка включає Одеську затоку, є динамічно активною зоною. Тут розвиваються циркуляційні процеси, що характеризуються різко вираженою сезонною мінливістю.

## Висновки

Створення системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря з використанням супутникових даних з подальшим його прогнозом на базі сучасних об'єднаних моделей Delft3D циркуляції моря й атмосфери з контролем та засвоєнням океанографічних даних, отриманих в експедиційних дослідженнях і натурних вимірюваннях, є відображенням

сучасних потреб суспільства. Вона забезпечить інформацією для вжиття превентивних заходів і своєчасного реагування на кризи, які зумовлені природними та техногенними ризиками. Створена система буде вирішувати завдання забезпечення національної безпеки, підвищення якості життя людей, сталого розвитку нових наукоємних галузей економіки.

Окрім врахування даних початкового тривимірного розподілу температури і солоності в розрахунковій області, витрат річкового стоку (наприклад, витрати стоку річок Дунаю, Дніпра та Південного Бугу, Дністра за багаторічними або поточними даними спостережень), архітектура графічного інтерфейсу Delft3D дає змогу включити в розрахунки додаткові гідрофізичні процеси, пов'язані з просторово-часовою мінливістю температури та солоності води. Це дасть змогу отримувати оцінки мінливості вертикальної стратифікації вод, враховувати окремо густинні та сумарні (густинні + вітрові) течії, розраховувати акустичні характеристики на ділянках акваторії моря.

Подальша розробка системи комплексного моніторингу стану водного середовища Чорного моря має стати базою для розвитку комплексної системи моделювання. Така система дозволить передбачати не лише динамічні процеси моря, а й різні процеси, пов'язані, наприклад, з поширенням нафтопродуктів та інших забруднюючих речовин у морському басейні, а також вирішувати рятувально-пошукові задачі тощо.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Дорофеев В.Л., Сухих Л.И. Анализ изменчивости гидрофизических полей Черного моря в период 1993–2012 годов на основе результатов выполненного реанализа. *Морской гидрофизический журнал*. 2016. № 1. С. 33–48.
2. Коротаев Г.К., Лишаев П.Н., Кныш В.В. Методика анализа данных измерений температуры и солености Черного моря с использованием динамического альтиметрического уровня. *Морской гидрофизический журнал*. 2015. № 2. С. 26–42.
3. Co-creating Operational and Strategic Modelling Systems to Reduce Economic and Social Impacts on Coastal Hazards: Wave modelling. Project summary. *SWEEP*: веб-сайт. URL: <https://sweep.ac.uk/wp-content/uploads/IP-001-A4-ESummary.pdf> (дата звернення: 26.09.2021).
4. Apecechea M.I., Verlaan M., Zijl F., Le Coz C., Kernkamp H. Effects of self-attraction and loading at a regional scale: a test case for the Northwest European Shelf. *Ocean Dynamics*. 2017. № 67 (6). URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10236-017-1053-4> (дата звернення: 26.09.2021).
5. Veeramony J., Orzech M.D., Edwards K.L., Gilligan M., Choi J., Terrill E. and Tony De Paolo. Navy nearshore ocean prediction systems. *Oceanography*. 2014. Vol. 27, № 3. P. 80-91.
6. *Delft3D Open Source Community*: веб-сайт. URL: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/home> (дата звернення: 26.09.2021).
7. Terms of use Delft3D Community. *Delft*: веб-сайт. URL: <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/terms-of-use> (дата звернення 26.09.2021).
8. User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flow sand transport phenomena, including sediments. URL: <https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/> (дата звернення: 06.10.2021).
9. User Manual: Simulation of short-crested waves with SWAN. URL: [https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-WAVE\\_User\\_Manual.pdf](https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-WAVE_User_Manual.pdf) (дата звернення: 06.10.2021).



10. Black Sea Physics Analysis and Forecast. *E.U. Copernicus Marine Service Information*. URL: [https://resources.marine.copernicus.eu/productdetail/BLKSEA\\_ANALYSISFORECAST\\_PHY\\_007\\_001/](https://resources.marine.copernicus.eu/productdetail/BLKSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_007_001/) (дата звернення: 05.11.2021).
11. GEBCO aims to provide the most authoritative, publicly available bathymetry data sets for the world's oceans. URL: <https://www.gebco.net> (дата звернення: 05.11.2021).
12. OpenGribs' Mission Statement. URL: <https://opengribs.org/en> (дата звернення: 05.11.2021).
13. National Operational Model Archive and Distribution System (NOMADS). NOAA: веб-сайт. URL: <https://nomads.ncep.noaa.gov/> (дата звернення: 07.11.2021).
14. Data Transfer: NCEP GFS Forecasts (0.25 degree grid). URL: [http://nomads.ncep.noaa.gov/cgi-bin/filter\\_gfs\\_0p25.pl](http://nomads.ncep.noaa.gov/cgi-bin/filter_gfs_0p25.pl) (дата звернення: 25.10.2021).
15. NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive. *Research Data Archive at the Computational and Information Systems Laboratory*: веб-сайт. URL: <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/> (дата звернення: 05.11.2021).
16. NCEP Global Ocean Data Assimilation System (GODAS). URL: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib2/index.html> (дата звернення: 05.11.2021).

Стаття надійшла до редакції 21.10.2021 і прийнята до друку після рецензування 25.01.2022

## REFERENCES

1. Dorofeev, V.L., & Suhij, L.I. (2016). Analysis of the variability of Black Sea hydrophysical fields between 1993 and 2012 based on the results of the reanalysis. *Morskoj gidrofizičeskij žurnal*, 1, 33-48 [in Russian].
2. Korotaev, G.K., Lishaev, P.N., Knysh, V.V. (2015). Methodology for analysis of temperature and salinity measurements of the Black Sea using dynamic altimetry. *Morskoj gidrofizičeskij žurnal*, 2, 26-42 [in Russian].
3. Site «SWEEP» (2019). Co-creating Operational and Strategic Modelling Systems to Reduce Economic and Social Impacts on Coastal Hazards: Wave modelling. Project summary. *sweep.ac.uk*. Retrieved 26.09.2021 from <https://sweep.ac.uk/wp-content/uploads/IP-001-A4-ESummary.pdf>.
4. Apecechea, M.I., Verlaan, M., Zijl F., Le Coz, C. & Kernkamp, H. (2017). Effects of self-attraction and loading at a regional scale: a test case for the Northwest European Shelf. *Ocean Dynamics*. 67(6), 729-749. Retrieved 26.09.2021 from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10236-017-1053-4>.
5. Veeramony, J., Orzech, M.D., Edwards, K.L., Gilligan, M., Choi, J., Terrill, E. & Tony De Paolo (2014). Navy nearshore ocean prediction systems. *Oceanography*, 27(3), 80-91.
6. Site «Delft3D Open Source Community». *oss.deltares.nl*. Retrieved 26.09.2021 from <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/home>.
7. Deltares. Terms of use Delft3D Community. Retrieved 26.09.2021 from <https://oss.deltares.nl/web/delft3d/terms-of-use>.
8. Deltares. Delft3D-FLOW, User Manual: Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flow and transport phenomena, including sediments. Retrieved 06.10.2021 from [https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3DFLOW\\_User\\_Manual.pdf](https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3DFLOW_User_Manual.pdf).
9. Deltares. Delft3D-WAVE, User Manual: Simulation of short-crested waves with SWAN. Retrieved 06.10.2021 from [https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-WAVE\\_User\\_Manual.pdf](https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-WAVE_User_Manual.pdf).
10. Site «E.U. Copernicus Marine Service Information». Black Sea Physics Analysis and Forecast. *resources.marine.copernicus.eu* Retrieved 05.11.2021 from [https://resources.marine.copernicus.eu/productdetail/BLKSEA\\_ANALYSISFORECAST\\_PHY\\_007\\_001/](https://resources.marine.copernicus.eu/productdetail/BLKSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_007_001/).

11. GEBCO. *GEBCO aims to provide the most authoritative, publicly available bathymetry data sets for the world's oceans*. Retrieved from <https://www.gebco.net>.
12. OpenGribs'. *OpenGribs' Mission Statement*. Retrieved from <https://opengribs.org/en>.
13. Site «NOAA». National Operational Model Archive and Distribution System (NOMADS). *nomads.ncep.noaa.gov*. Retrieved from <https://nomads.ncep.noaa.gov/>.
14. NOMADS. *Data Transfer: NCEP GFS Forecasts (0.25 degree grid)*. Retrieved from [http://nomads.ncep.noaa.gov/cgi-bin/filter\\_gfs\\_0p25.pl](http://nomads.ncep.noaa.gov/cgi-bin/filter_gfs_0p25.pl).
15. Site «Research Data Archive at the Computational and Information Systems Laboratory». NCEP GFS 0.25 Degree Global Forecast Grids Historical Archive. *rda.ucar.edu* Retrieved from <https://rda.ucar.edu/datasets/ds084.1/>
16. NOAA. *NCEP Global Ocean Data Assimilation System (GODAS)*. Retrieved from <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/wesley/wgrib2/index.html>.

*The article was received 21.10.2021 and was accepted after revision 25.01.2022*

**Шундель Олексій Іванович**

кандидат фізико-математичних наук, науковий співробітник відділу панорамних акустичних систем Державної установи «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України»

**Адреса робоча:** Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42

ORCID ID: 0000-0002-3076-9553 **e-mail:** lixyta666@gmail.com

**Федосенков Сергій Геннадійович**

кандидат геологічних наук, завідувач відділу панорамних акустичних систем Державної установи «Науковий гідрофізичний центр Національної академії наук України»

**Адреса робоча:** Україна, 03187, м. Київ, просп. Академіка Глушкова, 42

**e-mail:** 22lex22s@ukr.net