

Урум Н.С., Іваненко В.М., Федунів В.М.

ОПЕРАТИВНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ І ПРОГНОЗУВАННЯ ОКЕАНУ – АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ

На даний час морська діяльність держави, що має або не має берегову лінію, вимагає моніторингу та прогнозування фізичного, біогеохімічного та льодового стану океану на щоденній основі. Саме систематичні та довгострокові регулярні виміри характеристик морів, океанів та атмосфери, а також їх швидка інтерпретація та поширення (оперативна океанографія), що містить так звані оперативні системи моніторингу та прогнозування океану, які реалізують процеси збору даних за результатами спостережень за океаном, моделювання поточного стану океану, короткострокові прогнози, та спирається на досвід та надає відповідні дані про океан для регулярного моніторингу та подальшої оцінки відповідної інформації.

Важливою подією для розвитку оперативних систем моніторингу та прогнозування океану стало розвиток множини діючих океанографічних центрів по всьому світу.

За запитом Міжурядової океанографічної комісії ЮНЕСКО (Intergovernmental Oceanographic Commission of the UNESCO (IOC-UNESCO)) та Всесвітньої метеорологічної організації (World Meteorological Organization (WMO)), фахівці Глобальної системи спостережень за океаном (Global Ocean Observing System (GOOS)) та за оперативними системами прогнозування стану океану (Operational Ocean Forecasting Systems (ETOOLS)) розробляють керівництво з оперативних систем океанографії - систем моніторингу і прогнозування океану. У зв'язку з тим, що керівництво ще розробляється, пропонується дана стаття з попереднім коротким введень у галузь знань про оперативні системи моніторингу та прогнозування океану.

Безпосередньо метою статті є визначення необхідності, архітектури та основних тенденцій у розвитку оперативних систем моніторингу і прогнозування океану що в свою чергу необхідно для забезпечення потреб оперативної океанографії, є необхідним для створення систем безперервного та ефективного моніторингу як усього океану, так і його морів.

Ключові слова: *океан, оперативна система, океанографія, моніторинг, прогнозування, архітектура.*

Постановка проблеми. Для запобігання або зменшення збитків від несприятливих погодних умов у всьому світі розробляються системи раннього попередження небезпечних природних явищ, таких як цунамі, тропічні урагани, шторми тощо. Ключова роль у таких системах відводиться оперативному забезпеченню океанографічними даними і прогностичною інформацією. Розвиток оперативних океанографічних систем також спрямовано на забезпечення оперативною інформацією осіб, які приймають рішення,

зниження ризиків для життя та здоров'я людей внаслідок природних та техногенних катастроф, збереження морських екосистем та пом'якшення наслідків зміни клімату [1].

Оперативна океанографія – це систематичні та довгострокові регулярні виміри характеристик морів, океанів та атмосфери, а також їх швидка інтерпретація та поширення.

Оперативна океанографія містить так звані оперативні системи моніторингу та прогнозування океану, які реалізують процеси збору даних за результатами спостережень за океаном, моделювання поточного стану океану, короткострокові прогнози тощо.

Враховуючи важливість океану для людства, його моніторинг та прогнозування стали життєво важливими процесами у діяльності людини. Започаткований міжнародним співтовариством моніторинг і прогнозування океану містить збір даних спостережень на місцях і з супутників, чисельне моделювання та асиміляцію даних. Ефективність даного підходу полягає у спільній цінності інформації, яку отримують кінцеві користувачі різних морських додатків [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні існує достатньо публікацій, присвячених питанням дослідження оперативної океанографії [1, 6 – 10]. У той же час, на запит Міжурядової океанографічної комісії ЮНЕСКО (IOC-UNESCO) та Всесвітньої метеорологічної організації (WMO) фахівці Глобальної системи спостережень за океаном (GOOS) та групи експертів з оперативних систем прогнозування стану океану (ETOIFS) розробляють посібник з оперативних систем океанографії. Посібник з оперативних систем моніторингу та прогнозування океану планується до випуску наприкінці 2021 – на початку 2022 року спільно з Міжурядовою океанографічною комісією ЮНЕСКО (МОК-ЮНЕСКО) та світу. У зв'язку з цим визначення необхідності застосування оперативних систем моніторингу та прогнозування океану, їх архітектури та тенденцій розвитку є актуальним завданням у досліджуваній галузі.

Метою дослідження є визначення необхідності застосування, архітектури та основних тенденцій у розвитку оперативних систем моніторингу і прогнозування океану.

Основні результати дослідження. Прогнозування стану океану набуло своєї сучасної форми у 90-х роках, коли спостереження на місцях та супутникові спостереження, чисельне моделювання та асиміляція даних були об'єднані в єдиний комплексний підхід. Він був створений у рамках міжнародної співпраці, відомої як концепція експерименту зі засвоєння глобальних океанічних даних (GODAE). Він відіграв провідну роль у створенні глобальної системи спостережень, комунікацій, моделювання та асиміляції, яка надає регулярну, вичерпну інформацію про стан Світового океану для сприяння широкому використанню та доступності цього ресурсу з метою отримання максимальної користі для населення. Більшість сучасних розробок у галузі прогнозування стану океану було ініційовано у відповідь на цей міжнародний заклик.

Його основна ідея полягала у тому, щоб провести 10-річну міжнародну демонстрацію здійсненності та корисності прогнозування глобального океану у режимі реального часу. Основні цілі, викладені у Стратегічному плані GODAE, полягали у такому [3]:

1. Застосування сучасних моделей океану та методів асиміляції для короткострокових прогнозів відкритого океану для граничних умов з метою збільшення передбачуваності прибережних та регіональних підсистем, а також для початкових умов моделей прогнозу клімату.

2. Забезпечення аналізу глобального океану для розвитку його кращого розуміння, покращених оцінок передбачуваності океанських систем, а також покращення конструкції та ефективності глобальної системи спостережень за океаном.

Ці спільні цілі навмисно встановлюють баланс між практичними цілями (наприклад, прогнози та інформація для підсистем) та стратегічними цілями (наука та розвиток системи спостережень).

Реалізацією GODAE керувала Міжнародна керівна група GODAE (IGST), до якої увійшли обрані експерти з операційних та дослідницьких інститутів Австралії, Канади, Китаю, Франції, Норвегії, Японії, Великобританії та США. IGST був підтриманий групою покровителів, які представляють агентства, зацікавлені у результатах GODAE. Кінець GODAE ознаменувався заключним симпозиумом, проведеним у Ніцці, Франція, у листопаді 2008 року, на якому понад 300 учасників розглянули питання. критично проаналізували ключові досягнення останніх 10 років та обговорили майбутнє оперативного аналізу та прогнозування океану.

Необхідно відзначити, що більшість сучасних розробок у галузі прогнозування стану океану були ініційовані у відповідь на цей експеримент із засвоєння глобальних океанічних даних.

Також важливою подією для розвитку оперативних систем моніторингу та прогнозування океану стало створення глобальної системи стійких спостережень океану (GlobalOceanObservingSystem (GOOS)), що становлять океанографічний компонент Глобальної системи систем спостереження Землі (GlobalEarthObservingSystemofSystems (GEOSS)) [4].

Для реалізації регіонального компонента GOOS створено регіональні альянси GOOS з метою організації співробітництва країн, які мають спільні інтереси у певних прибережних морських районах, прилеглих до цих країн, для створення спільних мереж морських спостережень та оперативних океанографічних служб, необхідних для підтримки морської діяльності цих країн та збереження морського середовища та екології прилеглих морських акваторій, наприклад, European GOOS (EuroGOOS). діяльність EuroGOOS спрямована на сприяння плануванню діяльності GOOS, а також просуванню на національному, європейському та всесвітньому рівнях. Водночас найважливішим завданням EuroGOOS є просування європейської оперативної океанографії у GOOS; стимулювання розвитку європейських та регіональних служб оперативної океанографії з урахуванням модулів GOOS:

- 1) прибережна зона;
- 2) здоровий океан;
- 3) живі морські ресурси;
- 4) клімат;
- 5) морські служби;

а також створення єдиного процесу обробки даних, включаючи контроль якості й управління даними; стимулювання досліджень й розвиток технологій, які дозволять вирішувати проблеми оперативної океанографії (рис. 1).

Ще однією важливою подією для розвитку оперативних систем моніторингу та прогнозування океану стало розвиток множини діючих океанографічних центрів по всьому світу, наприклад, Національне управління океанічних та атмосферних досліджень (NationalOceanicandAtmosphericAdministration, NOAA) — федеральне відомство у структурі Міністерства торгівлі США; яке займається різними видами метеорологічних та геодезичних досліджень та прогнозів для США та їх володінь, вивченням світового океану та атмосфери [5].

Основне завдання системи моніторингу та прогнозування океану полягає в інтеграції багатства та різноманітності спостережень за океаном для створення сучасного цифрового опису навколишнього середовища океану, яке є багатоваріантним, послідовним у просторі та часі, надійним та негайним до виконання з боку експертних служб (рис. 2) [2].

Архітектура оперативної системи моніторингу та прогнозування океану складається з різних будівельних блоків, від збору спостережень до моделювання та прогнозування стану океану.

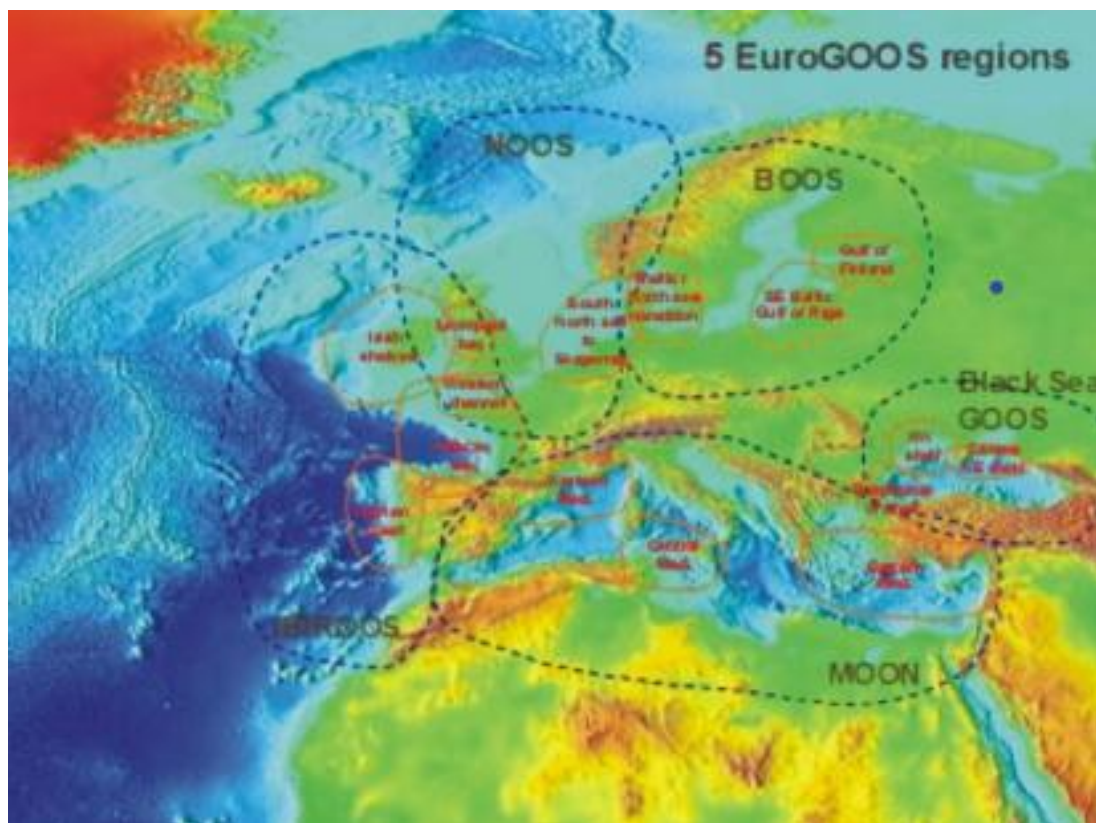


Рисунок 1 – Європейські регіональні (сині пунктирні лінії) та прибережні (червоні лінії) системи: BOOS – Балтійська оперативна океанографічна система, NOOS – оперативна океанографічна система спостережень за океаном Північно-Західного Шельфу; MOON – Середземноморська оперативна океанографічна мережа; IBIROOS – Ірландська, Біскайська, Іберійська регіональна оперативна океанографічна система; BlackSea GOOS – Чорноморська GOOS

Архітектура системи моніторингу та прогнозування океану забезпечує реалізацію таких фаз (рис. 3):

1. Фаза попередньої обробки, що реалізує такі основні операції:

– збір даних про стан океану. Зібрані на місці та супутникові дані описують стан океану, наприклад, температуру або солоність. Вони купуються завдяки різним системам спостереження: супутникам, буям, океанським дослідницьким суднам та підводним планерам;

– моделювання. У чисельних моделях океану застосовуються конкретні математичні формули, засновані на рівняннях гідродинаміки. Вони можуть описувати стан океану зараз і в минулому, а також прогнозувати стан океану в майбутньому. У такі

рівняння спочатку необхідно запровадити початкові та граничні умови стану океану, тобто початкову та навколишню інформацію про стан океану. Безперервні рівняння мають бути дискретизовані. Можуть використовуватися різні техніки, такі як, наприклад, ансамблеве моделювання, при якому три або більше пов'язаних моделей одночасно аналізують майже той самий процес. Потім їх трохи різні результати усереднюють, і їхня різниця використовується для оцінки помилки, або, наприклад, пов'язані моделі в ситуації, коли дві задачі моделі виконуються одночасно і можуть взаємодіяти одна з одною.

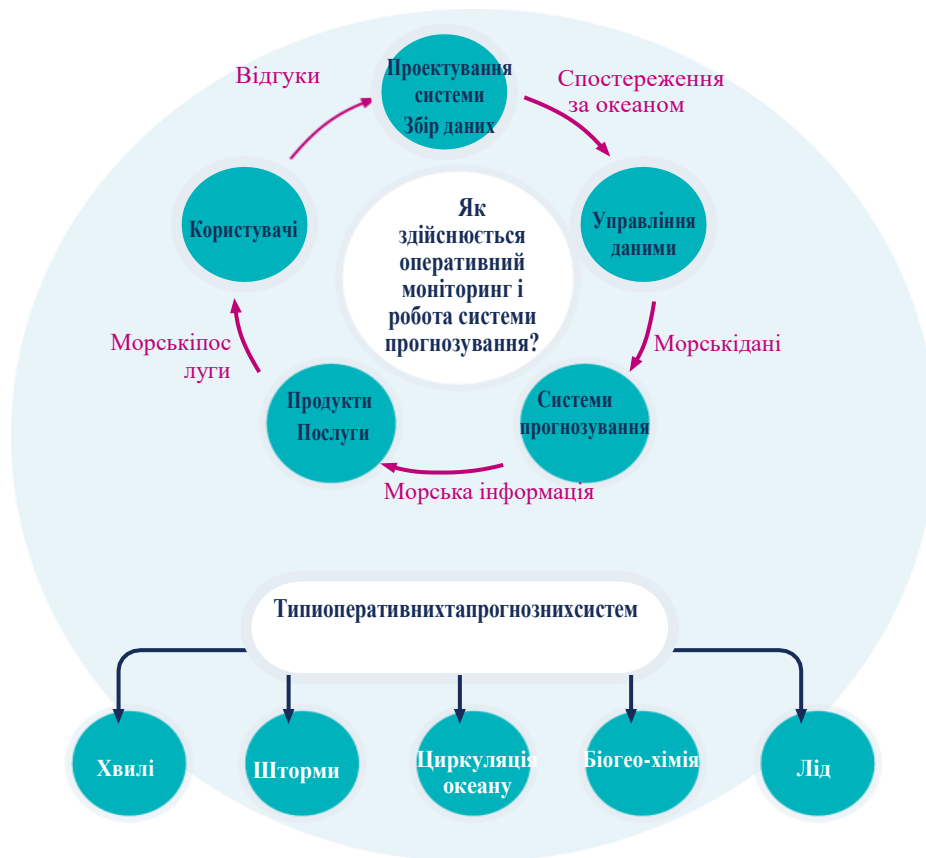


Рисунок 2 – Структура системи моніторингу та прогнозування океану

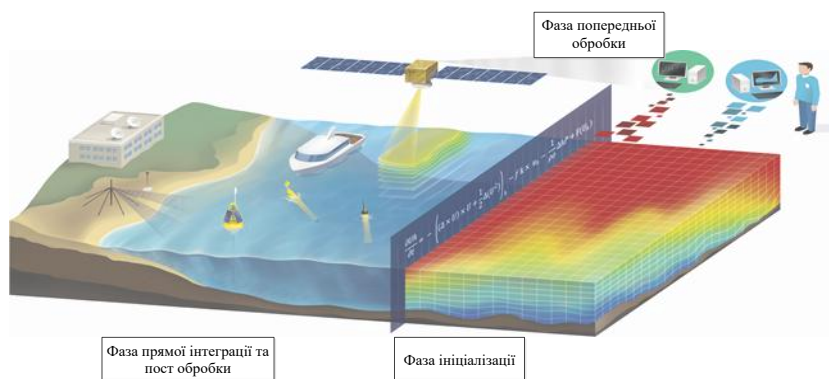


Рисунок 3 – Узагальнена модель функціонування оперативної системи моніторингу та прогнозування океану

2. Фаза ініціалізації, що реалізує такі основні операції:
– адаптація спостережень. Модель обмежена або керується спостереженнями, щоб залишатися якомога ближче до них. Тобто, адаптація результатів розрахунків якоїсь моделі до реальних спостережень за системою. Цей процес називається асиміляцією даних;

– перевірка. Результати моделювання порівнюються з даними спостережень за океаном, щоб перевірити надійність і якість моделі.

3. Фаза прямої інтеграції та постобробки, що реалізує такі основні операції:

– інтеграція. Модель може описувати стан океану як реального часу, як прогнозу чи реаналізу;

– вихід. Операційна система регулярно надає ці прогнози на регулярній основі та з достатньою затримкою для підтримки рішень користувача;

– управління користувачами та розширення. Для забезпечення якості обслуговування необхідно настроїти сучасне обслуговування та керування користувачами.

Поштовхом до ефективного застосування з практичного погляду систем моніторингу та прогнозування океану безумовно є розвиток обчислювальних потужностей, нових підходів до моделювання, поява нових супутникових мереж, зокрема:

– поява нових обчислювальних систем на базі потужних графічних процесорів з паралельною обробкою даних;

– використання та обробка надвеликих обсягів даних;

– прогнозування на основі машинного та глибокого навчання;

– підвищенерозрізнення та точність супутникових спостережень.

Висновки. Передача в оперативному режимі океанографічної інформації, створення прогностичної продукції та доведення її до споживача з використанням сучасних технологій дозволяє оптимізувати господарську діяльність на морі та прилеглих узбережжях. Інформаційною основою підготовки різних видів оперативної океанографічної продукції є моніторинг параметрів морського та повітряного середовища, на основі якого надалі становлять прогнози характеристик морського середовища океану. Для забезпечення потреб оперативної океанографії необхідним є створення систем безперервного та ефективного моніторингу як усього океану, і його морів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Абузьяров З.К., Думанская И.О., Нестеро Е.С. Оперативное океанографическое обслуживание. Москва; Обнинск: Изд. «ИГ-СОЦИН», 2009. 288 с.
2. Implementing Operational Ocean Monitoring and Forecasting Systems.
URL: <https://atlas.mercator-ocean.fr/s/3fgTFxLEAH4GiRk?path=%2FBooklet#pdfviewer>.
(дата звернення: 02.09.2021)
3. GODAE: The Global Ocean Data Assimilation Experiment.
URL: https://tos.org/oceanography/assets/docs/22-3_bell.pdf. (дата звернення: 02.09.2021)
4. Global Ocean Observing System. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Ocean_Observing_System. (дата звернення: 02.09.2021)
5. Национальное управление океанических и атмосферных исследований. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Национальное_управление_океанических_и_атмосферных_исследований (дата звернення: 02.09.2021)

6. Ерѣмина Т.Р., Софьина Е.В., Дайлидиене И. Оперативная океанография: учебное пособие. СПб.: изд. РГГМУ, 2014. 99 с.
7. Пустовойтенко В.В., Запєвалов А.С. Оперативная океанография: современное состояние, перспективы и проблемы спутниковой альтиметрии. Севастополь: Морской гидрофизический институт НАН Украины, 2012. 218 с.
8. Operational Oceanography in the 21st Century. / A. Schiller, G.B. Brassington et al. Springer, 2011. 450 pp
9. Building the European Capacity in Operational Oceanography: Proceedings of the third international Conference on EuroGOOS (Athens, Greece, 3 – 6 December 2002). Amsterdam: Elsevier B.V., 2003. 698 p. (Elsevier Oceanography Series, 69)
10. European Operational Oceanography: Present and Future: Proceedings of the Thouth international Conference on EuroGOOS (Brest, France, 6 – 9 June 2005) *Norrköping, Sweden: EuroGOOS Office SVHI*, 2006. 856 p.

REFERENCES

1. Abuziarov Z.K., Dumanskaia Y.O., Nesterov E.S. (2009). Operativnoe okeanograficheskoe obsluzhivaniye [Operational Oceanographic Service]. Moskva; Obninsk: Yzd. «YH-SOTsYN». [in Russian]
2. Implementing Operational Ocean Monitoring and Forecasting Systems. URL: <https://atlas.mercator-ocean.fr/s/3fgTFxLEAH4GiRk?path=%2FBooklet#pdfviewer>. (accessed: 02.09.2021)
3. GODAE: The Global Ocean Data Assimilation Experiment. URL: https://tos.org/oceanography/assets/docs/22-3_bell.pdf. (accessed: 02.09.2021)
4. Global Ocean Observing System. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Global_Ocean_Observing_System. (accessed: 02.09.2021)
5. Natsionalnoe upravleniye okeanycheskykh atmosferykh yssledovaniy [National Oceanic and Atmospheric Administration]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Natsionalnoe_upravleniye_okeanycheskykh_y_atmferykh_yssledovaniy [in Russian] (accessed: 02.09.2021)
6. Eremyna T.R., Sofyna E.V., Dailydyene Y. (2014). Operativnaia okeanografiya: uchebnoe posobie [Operational Oceanography]. SPb.: yzd. RHHMU. [in Russian] (accessed: 02.09.2021)
7. Pustovoytenko V.V., Zapevalov A.S. (2012). Operativnaia okeanografiya: sovremennoe sostoyaniye, perspektivy y problemy sputnykovoï altymetriy [Operational Oceanography: Current State, Prospects and Problems of Satellite Altimetry]. Sevastopol: Morskoi hydrofyzicheskyi ynstytut NAN Ukrayny. [in Russian]
8. Operational Oceanography in the 21st Century. / A. Schiller, G.B. Brassington et al. Springer, 2011. 450 pp
9. Building the European Capacity in Operational Oceanography: Proceedings of the third international Conference on EuroGOOS (Athens, Greece, 3 – 6 December 2002). Amsterdam: Elsevier B.V., 2003. 698 p. (Elsevier Oceanography Series, 69)
10. European Operational Oceanography: Present and Future: Proceedings of the Thouth international Conference on EuroGOOS (Brest, France, 6 – 9 June 2005) *Norrköping, Sweden: EuroGOOS Office SVHI*, 2006. 856 p.

Urum N.S., Ivanenko V.M., Fedunov V.M.

OPERATIONAL MONITORING AND FORECASTING SYSTEMS OF THE OCEAN – RELEVANCE AND DEVELOPMENT TRENDS

At present, the maritime activities of a state that has or does not have a coastline require monitoring and forecasting of the physical, biogeochemical and ice state of the ocean on a daily basis. It is systematic and long-term regular measurements of the characteristics of the seas, oceans and atmosphere, as well as their rapid interpretation and dissemination (operational oceanography), which contains the so-called operational systems of ocean monitoring and forecasting, which implement data collection ocean, short-term forecasts, and draws on experience and provides relevant ocean data for regular monitoring and further evaluation of relevant information.

An important development in the development of operational ocean monitoring and forecasting systems has been the development of many existing oceanographic centers around the world.

At the request of the Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO (IOC-UNESCO) and the World Meteorological Organization (WMO), experts from the Global Ocean Observing System (GOOS) and operational Operational Ocean Forecasting Systems (ETOOFS) develop guidelines for oceanographic operational systems - ocean monitoring and forecasting systems. Due to the fact that the guide is still being developed, this article is proposed with a preliminary brief introduction to the field of knowledge about operational ocean monitoring and forecasting systems.

The aim of the article is to determine the need, architecture and main trends in the development of operational systems for monitoring and forecasting the ocean, which in turn is necessary to meet the needs of operational oceanography, is necessary to create continuous and effective monitoring systems for the ocean

Key words: *ocean, operational system, oceanography, monitoring, forecasting, architecture.*