

# 應用 SCHISM 及 GNOME 情境模擬 高雄外海油污染擴散

邱啓敏<sup>1</sup> 莊士賢<sup>2</sup> 黃清哲<sup>3</sup> 黃瓊珠<sup>4</sup> 楊家敦<sup>5</sup> 王紹培<sup>6</sup> 張凱傑<sup>7</sup>

<sup>1</sup>國立成功大學近海水文中心計畫專員

<sup>2</sup>國立成功大學海洋科技事務研究所副教授

<sup>3</sup>國立成功大學水利及海洋工程學系教授暨近海水文中心主任

<sup>4</sup>國立成功大學海洋科技事務研究所海洋資訊分析與管理研究室主任

<sup>5</sup>中油總公司儲運處處長

<sup>6</sup>中油總公司儲運處航管組組長

<sup>7</sup>中油總公司儲運處工程師

## 摘要

由於臺灣自產能源有限，大部份的化石能源必須仰賴進口，臺灣中油股份有限公司為利於進口石油的裝卸，於桃園沙崙及高雄大林蒲外海設有卸泊大型油輪的浮筒。海上油料裝卸時若稍有不慎，容易引起油污外洩，油污洩漏後產生的各種風化過程會對海洋環境造成重大的衝擊。有鑒於此，本研究應用美國 VIMS 發展的 SCHISM 模式預測海流，結合美國 NOAA 油污擴散模式 GNOME，以高雄外海大林蒲卸油浮筒為例，情境模擬在不同季節發生溢洩油後油污飄移及擴散的情況，並將模擬結果結合 GIS 地理資訊系統製作風險地圖，結果顯示夏季可能會對高雄港附近的海岸有影響，而冬季則有可能會對高雄港以南的海岸有影響。此外，本研究也針對高雄外海大林蒲卸油浮筒發生溢洩油事件後，可能造成附近環境敏感區之污染風險提出緊急應變配置建議，並歸納成 0 至 2 的三種風險等級，可提供未來油污緊急應變之參考。

關鍵詞：SCHISM、GNOME、情境模擬、地理資訊系統、風險等級

## Scenario simulations of oil spill in Kaohsiung-Offshore using SCHISM and GNOME

Chi-Min Chiu Laurence Z.H. Chuang\* Ching-Jer Huang Chiung-Chu Huang

Chia-Tun Yang Shao-Pei Wang Kai-Chieh Chang

\* Associate Professor, Institute of Ocean Technology and Marine Affairs, National Cheng Kung University

## ABSTRACT

Taiwan must rely on oil imports to satisfy the majority of its energy demand due to having very limited domestic energy resources. CPC Corporation (Taiwan) has offshore mooring buoys for the unloading of imported crude at Taoyuan and Kaohsiung. An oil spill event may be caused by careless operation of offshore oil unloading. After oil is spilled, oil weathering can have a significant impact on the marine environment. Therefore, this study applied the GNOME, with input of SCHISM-predicted ocean currents, to simulate hypothetical oil-spill scenarios in Kaohsiung's waters in all seasons. The oil spill trajectory and diffusion of scenarios were illustrated on a risk map, which is displayed on Google Earth. We also conduct oil spill risk assessment and provide suggestions for emergency response according to scenario simulations by the GNOME.

Keywords: SCHISM, GNOME, oil spill simulation, GIS, risk map

## 一、前言

由於臺灣自產能源有限，大部份的化石能源必須仰賴進口，為確保油源供應穩定，台灣中油股份有限公司（以下簡稱中油公司）除透過長期合約方式購油之外，更積極分散原油來源，以 2018 年為例，進口原油總量達 13,805 萬桶，其中中東原油約占 49.94%，美國約占 31.06%，其餘來自東南亞 3.34%、非洲 4.39% 及其他地區 11.27%（亞塞拜然、巴西）。近年來，為配合國內日趨嚴格的環保標準，低硫原油進口量仍占一定比例（2019 中油業務簡介-中文版，2019）。海上油料裝卸時若稍有不慎，容易引起油污外洩，油污洩漏後，會產生各種風化過程（Reed et al., 1999; Spaulding 1988），除了隨水流、潮流、和風向造成水平擴散之外，部份會蒸發，與垃圾漂浮物混合，或是與沉澱物結合而成垂直擴散，或是滲入沙灘；還會被海中生物分解後，再被魚蝦等生物攝食，最終經過食物鏈的循環，人類會攝食到魚蝦等生物，可能會影響到身體的健康。

依據我國海洋污染防治法第 11 條：「各類港口管理機關應依本法及其他相關規定採取措施，以防止、排除或減輕所轄港區之污染。據此，各類港口管理機關仍應對其所轄區域內之油污染，建立必要的監控與處理能力，以避免污染擴散至轄區範圍以外區域。中油公司為強化海洋油污染緊急應變處置能量，自民國 105 年起中油公司與高雄市政府海洋局，已經多次辦理海洋污染防治與防恐演練，熟悉緊急應變油污染通報與各作業程序，積極管制降低油污染範圍，同時也強化中油公司海洋油污染緊急應變處置能量。海洋污染的演練雖可以增進海洋油污染緊急應變處置的能力，但無法進一步掌握海面上油污染擴散影響的範圍。近十年來油污染擴散數值模式發展已非常成熟，同時結合三維高解析度的海洋流體動力數值模式預測之海流，透過情境模擬可得知在不同季節油污染在海面上擴散的影響範圍，依據此結果亦能建立更佳海洋油污染緊急應變處置的能力，以及將油污染應變能量做最佳的配置。有鑑於此，本研究採用美國 VIMS 發展的 SCHISM 三維跨尺度海洋數值模式與 NOAA 發展的 GNOME 油污染擴散模式，情境模擬高雄外海中油大林蒲卸油浮筒若發生溢洩油的情況，進行油污染

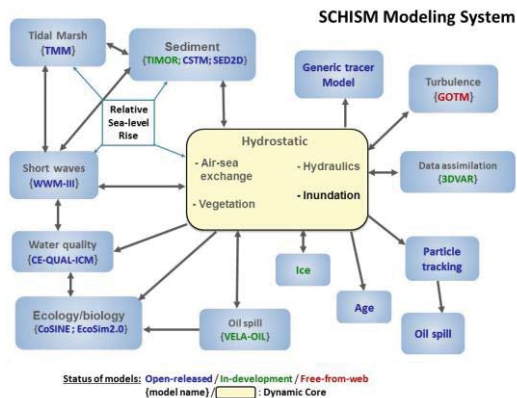
擴散的情境模擬，據此可研擬高雄外海大林蒲卸油浮筒溢洩油緊急應變的作業方針，在海洋油污染事件發生時，能將油污染災害降至最小。

## 二、研究方法

本研究在海洋流體動力數值模式採用美國 VIMS 發展的 SCHISM 三維跨尺度海洋數值模式(如圖 1)，理論與控制方程式請參考 SCHISM v5.6 Manual (2018)。SCHISM 模式水平網格座標系統可結合非矩型與矩形網格，因應不同計算需求能選用卡式或球面座標系統；垂直網格可採用 SZ 及 LSC<sup>2</sup> 的座標系統，其中陡變地形是許多海洋數值模式一項重要的挑戰，地形陡變會造成壓力梯度變化劇烈，在海洋數值模式計算中會產生偽流 (spurious flow) 的問題 (Zhang et al., 2015)，而 LSC<sup>2</sup> 座標系統即針對水域中地形陡變變化而發展一個新的數值方法，可有效避免因地形陡變產生偽流的計算誤差。SCHISM 為一套三維跨尺度的海洋數值模式，已成功應用在全世界超過 40 個以上水深地形變化複雜的海岸、潮間帶、河川、以及湖泊等地方，可快速及精確的求解海洋流體動力與物理現象之變化。

另外，油污染擴散數值模式則採用美國 NOAA 的油污染擴散模式 GNOME (General NOAA Operational Modeling Environment)，GNOME 是一套 Eulerian/Lagrangian 的溢油軌跡模式 (Beegle-Krause, 2001)，是 NOAA 架構下有害物質緊急應變組 (Hazardous Materials Response Division, HAZMAT) 所發展的油污染擴散模式。若美國於海上發生油污事件時，美國 NOAA 則應用 GNOME 模擬海面上油污漂移軌跡及擴散影響範圍，提供美國政府在油污事件緊急應變處理之重要參考依據，最著名的案例即 2010 年墨西哥灣漏油事故 (深水地平線漏油事件)。

有鑑於此，本研究結合 SCHISM 與 GNOME 模式，先應用 SCHISM 模式預測在近岸地區高解析度海流流場，輸入至 GNOME 模式，並假設若高雄外海大林蒲卸油浮筒發生溢洩油事件，進行情境模擬高雄外海油污染擴散影響的範圍，做為建置海上油污緊急應變能量規劃與配置之重要參考依據。



(摘自: <http://ccrm.vims.edu/schismweb/>)

圖 1 SCHISM 三維跨尺度海洋數值模式系統

### 三、情境模擬溢洩油事件

中油公司在高雄外海有四座卸油浮筒，海上油料裝卸時若稍有不慎，容易引起油污外洩，為降低油污染擴散對海洋環境之影響，本研究利用 GNOME 模式分別情境模擬春、夏、秋、冬四個季節，若發生溢油事件，進行 24 小時溢油漂移軌跡及擴散範圍的模擬，並將模擬結果套繪於環境敏感地圖上，以製作高雄外海大林蒲卸油浮筒發生洩溢油事件的海岸環境風險地圖，可提供給中油公司以及相關應變單位作為緊急應變處置及能量配置之重要參考依據。

影響海表面油污漂移方向的驅動力分別為風與海流，尤其在季節風盛行時，風可能是主導油污漂移方向主要的驅動力，因此在各季節發生溢油事件時，溢油擴散影響範圍會有所差異。依據 2014 年至 2017 年小琉球海上資料浮標風速與風向統計資料顯示(如圖 2)，歷年春季風速分佈以小於 3.3 m/sec 為最多，盛行風向為西北向。歷年夏季風速分佈以小於 3.3 m/sec 為最多，盛行風向為東南向、南南東向及西北西向。歷年秋季風速分佈以小於 3.3 m/sec 為最多，盛行風向為西北向。歷年冬季風速分佈以小於 3.3 m/sec 為最多，盛行風向為北北西向。由上述結果得知小琉球附近海域夏季受西南季風影響較顯著，若在北邊二號卸油浮筒發生溢洩油，油污有可能對高雄海岸的影響較大；而受冬季受東北季風吹拂，若南邊三號卸油浮筒發生溢洩油，油污有可能對小琉球及屏東海岸的影響較大。春季及秋季風向則呈現較多變化，油污飄移方向也較多變。

高雄外海大林蒲卸油浮筒情境模擬參數設定如表 1，依據小琉球海上資料浮標風速與風向統計資料，春、夏、秋三個季節可能對高雄海岸影響較顯著，故選擇北邊的 2 號卸油浮筒進行溢洩油模擬，其位置為北緯 22° 29' 40.0" 及東經 121° 17' 9.0"，初始溢洩時間分別為春季：2016 年 4 月 6 日 00:00、夏季：2016 年 8 月 2 日 00:00、秋季：2016 年 9 月 21 日 00:00。另外冬季可能對高雄港以南的海岸影響較顯著，故選擇南邊的 3 號卸油浮筒進行溢洩油模擬，其位置為北緯 22° 28' 51.0" 及東經 120° 18' 36.0"，初始溢洩時間為 2017 年 1 月 6 日 00:00。四個季節總溢油量皆設為 60 公秉，油品以原油 (crude oil) 為主，溢油溢洩方式為瞬間溢出，模擬時間為 24 小時。風場依據中央氣象局小琉球浮標測站量測的逐時的風資料，流場為利用 SCHISM 模式所預測之高雄海域海流為主要來源。

將歸納出較有可能發生溢油的位置，利用 GNOME 模式，輸入之風速與風向採用小琉球海上資料浮標觀測資料，海流以 SCHISM 模式所模擬之海流為主要來源，分別模擬各季節、各地點發生溢油事件的動態模擬結果，提出在不同季節發生溢油事件可能的風險衝擊評估，以提供未來各種應用參考。

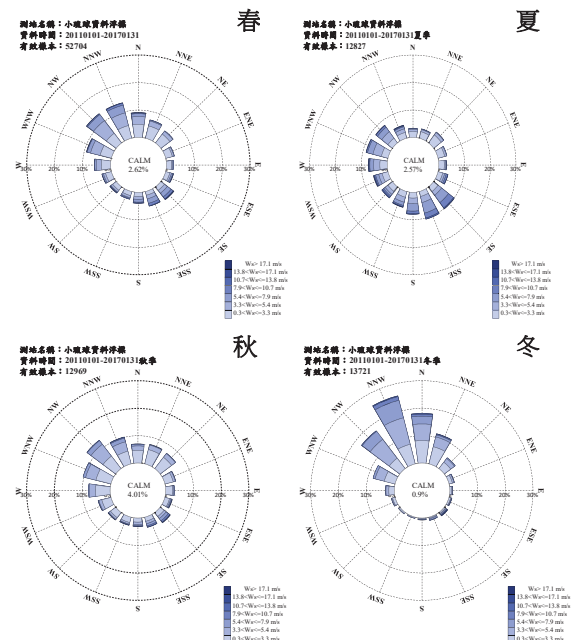


圖 2 小琉球資料浮標 2012 至 2017 年四季風速及風向統計圖

表 1 情境模擬中油大林蒲卸油浮筒溢油事件之參數設定

名稱	參數設定
溢洩位置 (2 號浮筒)	Latitude: 22° 29' 40.0" N Longitude: 120° 17' 9.0" E
初始溢洩時間	2016_Spr: 20160406-00:00 2016_Sum: 20160802-00:00 2016_Fall: 20160921-00:00
溢洩位置 (3 號浮筒)	Latitude: 22° 28' 51.0" N Longitude: 120° 18' 36.0" E
初始溢洩時間	2016_Win: 20170106-00:00
溢洩油品	原油
總溢油量	60 公秉
風場	小琉球浮標測站
流場	SCHISM
模擬時間	24 小時

#### 四、情境模擬溢洩油結果

為得到高解析度及精確的預測海流流場，本研究以非結構性三角形網格建置 SCHISM 模式高解析度的高雄海域計算網格系統(如圖 3)，提供 GNOME 模式海流流場之輸入條件。由圖 3 顯示有限元素非結構性三角形網格系統可精確的描述複雜彎曲的海岸線，亦有助於描述海岸地區海流的變化趨勢。

在 SCHISM 模式預測海流部份，本研究收集高雄永安潮位站於 2016 年至 2017 年的水位紀錄資料，與 SCHISM 預測水位進行 2016 年四季的比對及驗證。一般來說，台灣的季節區分依序為春季 3 月至 5 月，夏季 6 月至 8 月，秋季 9 月至 11 月、冬季 12 月至隔年 2 月。本研究於每個季節中選取約一個月長的 SCHISM 預測水位資料與高雄永安潮位站實測水位資料做比對與驗證。以春季為例，圖 4 為顯示高雄永安潮位站 2016 年春季實測水位與 SCHISM 預測水位之比對，圖中紅色點線為顯示高雄永安潮位站實測水位資料，藍色實線為 SCHISM 模式預測水位資料，由比對結果可知，實測水位與預測水位的變化趨勢非常一致。經由高雄永安潮位站實測與預測水位的比對結果，可驗證 SCHISM 預測水位的精度，此結果也表示 SCHISM 預測海流的可信度。圖 5 為顯示 SCHISM 預測 2016 年春季高雄海域海流流場變化的趨勢，圖中顯示高雄海域海流約平行海岸線的方向流動，但在高雄港一港口及二港口附近受到地形的影響產生環流的效應，此結果亦表示 SCHISM 模式建置的高解析度網格系統可描述海流

受到地形影響的變化趨勢，有助於提昇油污模式預測油污擴散範圍及漂移軌跡的精度。

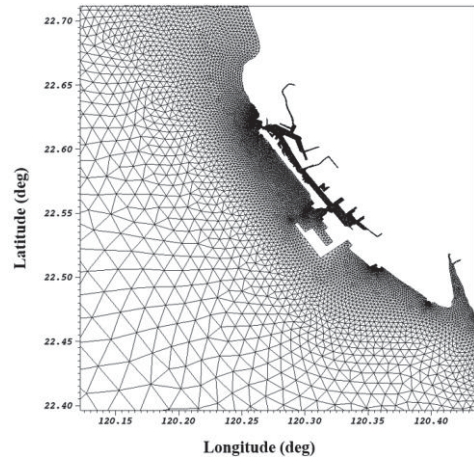


圖 3 SCHISM 模式高雄海域計算網格系統

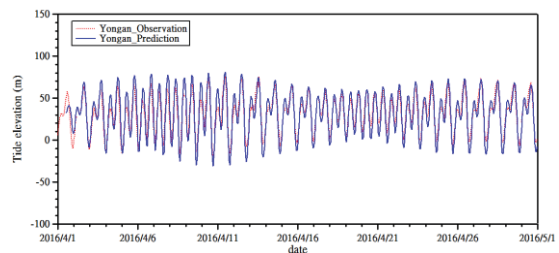


圖 4 高雄永安潮位站 2016 年 4 月(春季)實測與預測水位之比對

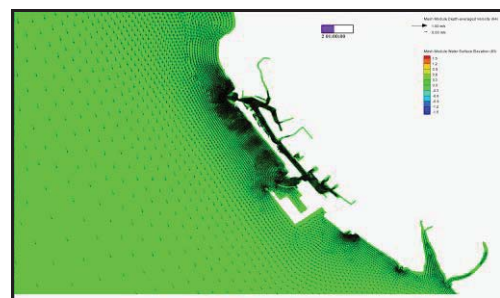


圖 5 SCHISM 預測 2016 年春季高雄海域海流流場變化的趨勢

在 GNOME 模式預測油污漂移軌跡與擴散範圍部份，情境模擬 2016 年四季大林蒲卸油浮筒發生溢洩油 24 小時後油污對高雄海岸的影響。圖 6 為情境模擬大林蒲 2 號卸油浮筒於 2016 年春季在瞬間溢洩原油 60.0 公秉，經過 24 小時後的模擬結果，圖中紅色圓點表示發生溢洩油後 4 小時油污擴散範圍與漂移軌跡，綠色圓點則表示發生溢洩油後 24 小時油污

擴散範圍與漂移軌跡，依據模擬溢洩油 24 小時後結果顯示，油污對高雄海岸的影響範圍，往高雄外海北方漂移約 14.5 公里，但油污並未影響到高雄海岸。圖 7 為情境模擬大林蒲 2 號卸油浮筒於 2016 年夏季在瞬間溢洩原油 60.0 公秉，經過 24 小時後的模擬結果，依據模擬溢洩油 24 小時後結果顯示，油污對高雄海岸的影響範圍，往高雄外海北方漂移約 14.5 公里，且受到夏季西南季風影響，油污會黏附在高雄二港口至一港口間的海岸。圖 8 為情境模擬大林蒲 2 號卸油浮筒於 2016 年秋季在瞬間溢洩原油 60.0 公秉，經過 24 小時後的模擬結果，依據模擬溢洩油 24 小時後結果顯示，油污對高雄海岸的影響範圍，往高雄外海北方漂移約 14.5 公里，但油污並未影響到高雄海岸，但若繼續受到東北季風的影響，有可能會對高雄港以南的海岸造成影響。

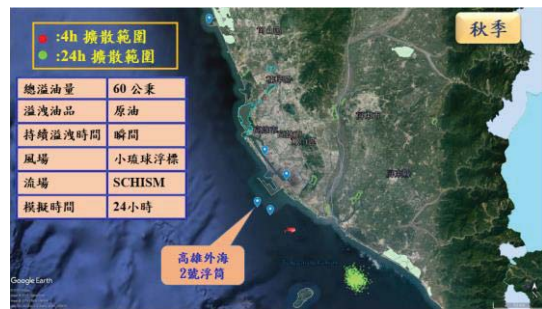


圖 8 2016 年秋季 2 號浮筒發生原油溢洩 24 小時後情境模擬結果

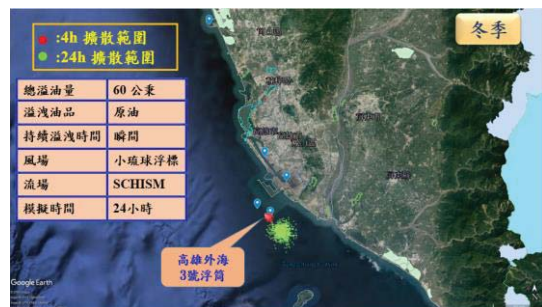


圖 9 2016 年冬季 3 號浮筒發生原油溢洩 24 小時後情境模擬結果

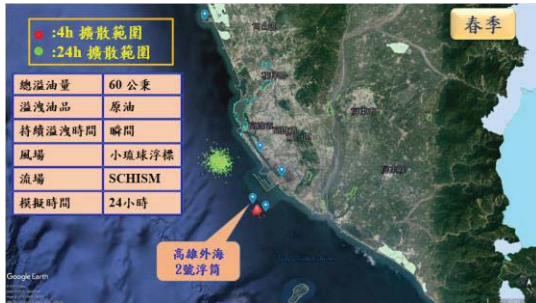


圖 6 2016 年春季 2 號浮筒發生原油溢洩 24 小時後情境模擬結果

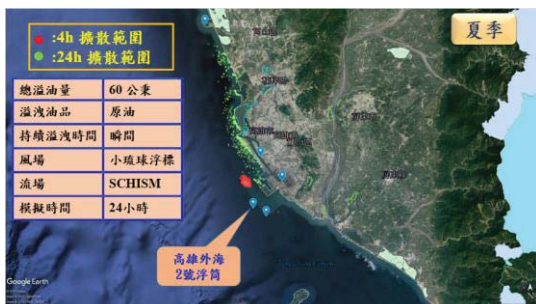


圖 7 2016 年夏季 2 號浮筒發生原油溢洩 24 小時後情境模擬結果

## 五、討論與建議

本研究針對高雄外海大林蒲卸油浮筒，結合 SCHISM 與 GNOME 模式情境模擬在春、夏、秋、冬不同季節，若發生溢洩油事件，預測油污在高雄海域擴散的情形，以及發生溢洩油事件可能造成附近環境敏感區之污染風險提出緊急應變配置建議。依據圖 6 至圖 9 情境模擬油污於 24 小時後高雄海岸擴散的結果，並依照環境敏感區之特性，將此二個地區的生態敏感區及資源利用敏感區的保護等級分別列為「緊急」及「中級」，其他具特殊性質區域之保護等級為「一般」，因此將可能造成油污風險的環境敏感區的保護優先等級劃分。如表 2 所示若溢洩油事件發生 24 小時後，如在夏季其油污風險可能會對高雄市壽山國家自然公園衝擊的風險較大，而在其他的季節對高雄海岸的衝擊較小。

本研究模擬結果亦能輸出為 KML 資料檔案格式提供給各級應變單位，方便使用者利用電腦或行動裝置上的 Google Earth 來繪製與展示出應變海域的風險地圖，可即時提供專業諮詢服務予相關的機關與單位做緊急應變處置之參考。

表 2 大林蒲外海卸油浮筒發生溢洩油事件，油污擴散至鄰近海域環境敏感區之風險等級

影響區域	環境敏感區	春季	夏季	秋季	冬季
		24hr	24hr	24hr	24hr
臺南市	台江國家公園	0	0	0	0
	曾文溪口重要濕地	0	0	0	0
	四草野生動物重要棲息環境	0	0	0	0
	鹽水溪口重要濕地	0	0	0	0
高雄市	養殖漁業生產區：新港區	0	0	0	0
	養殖漁業生產區：彌陀區	0	2	0	0
	壽山國家自然公園	1	2	0	0
屏東縣	養殖漁業生產區：塹豐區	0	0	2	0
	養殖漁業生產區：下埔頭區	0	0	1	0
	養殖漁業生產區：大庄區	0	0	1	0
	養殖漁業生產區：東海區	0	0	1	0
	養殖漁業生產區：番仔崙區	0	0	1	0

風險代碼：0-不會發生；1-海氣象條件改變下有可能發生；2-會有衝擊

## 謝誌

本研究係中油公司研究計畫「中油公司高雄港及外海浮筒附近海域油污擴散風險評估建置計畫」(2018)之部份研究成果，承蒙中油公司經費補助使本研究成果更臻完善。

## 參考文獻

1. 台灣中油股份有限公司(2019)2019 中油業務簡介-中文版，台灣中油股份有限公司。
2. Beegle-Krause, C. J. (2001) General NOAA oil modelling environment (GNOME): A new spill trajectory model, in Proceedings of the 2001 International Oil Spill Conference, 2, 865–871.

3. Cheng, Y., Li, X., Xu, Q., Garcia-Pineda, O., Andersen, O. B., & Pichel, W. G. (2011) SAR observation and model tracking of an oil spill event in coastal waters. *Marine pollution bulletin*, 62(2), 350-363.
4. Mariano, A. J., Kourafalou, V. H., Srinivasan, A., Kang, H., Halliwell, G. R., Ryan, E. H., & Roffer, M. (2011) On the modeling of the 2010 Gulf of Mexico oil spill. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 52(1), 322-340.
5. Reed, M., Johansen, Ø., Brandvik, P. J., Daling, P., Lewis, A., Fiocco, R., & Prentki, R. (1999) Oil spill modeling towards the close of the 20th century: overview of the state of the art. *Spill Science & Technology Bulletin*, 5(1), 3-16.
6. SCHISM development teams (2018) SCHISM v5.6 Manual. Virginia Institute of Marine Science, 14-17.
7. Spaulding, M. L. (1988) A state-of-the-art review of oil spill trajectory and fate modeling. *Oil and Chemical Pollution*, 4(1), 39-55.
8. Zelenke, B., O'Connor, C., Barker, C., Beegle-Krause, C. J., & Eclipse, L. (2012) General NOAA Operational Modeling Environment (GNOME) Technical Documentation. US Dept. of Commerce. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R, 40, 105.
9. Zhang, Y., Ateljevich, E., Yu, H.C., Wu, C.H., and Yu, J.C.S. (2015). A new vertical coordinate system for a 3D unstructured-grid model. *Ocean Modelling*, 85, 16–31.