

**МОДЕЛИРАНЕ НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕ НА ПЛАВАЩИ ЗАМЪРСИТЕЛИ ПО  
БЪЛГАРСКОТО ЧЕРНОМОРСКО КРАЙБРЕЖИЕ**

**Васко Гълъбов, Анна Корчева, Георги Корчев**

*Национален Институт по Метеорология и Хидрология- Българска Академия на Науките  
(НИМХ-БАН), бул. Цариградско шосе 66, София 1784, България  
e-mail: vasko.galabov@meteo.bg*

**MODELING OF THE FLOATING POLLUTANTS DRIFT ALONG THE BULGARIAN  
BLACK SEA COAST**

**Vasko Galabov, Anna Kortcheva, Georgi Kortchev**

*National Institute of Meteorology and Hydrology- Bulgarian Academy of Sciences (NIMH-BAS),  
bul. Tsarigradsko Shose 66, Sofia 1784, Bulgaria  
e-mail: vasko.galabov@meteo.bg*

**ABSTRACT**

Accidental leaks of floating pollutants on the sea surface (mainly oil products) are a major environmental threat for the coastal zones. Of key importance for the minimization of the consequences of such accidents is the reliable prediction of the spill behaviour during the days after the initial leak. When the leakage of the pollutant is nearby the coast, the requirements are higher- the forecast of the spill behaviour must be accurate not with daily, but with hourly temporal resolution and with higher spatial resolution. The article presents the state of the operational system for floating pollutants drift forecast of NIMH-BAS. The system is based on a modified version of the French numerical oil spill model MOTHY. The model is based on two components- two dimensional depth integrated hydrodynamic component that simulates the surface currents and a second component that simulates the spill drift based on Lagrangian approach. In this work after a short summary of the use of the system in the past, we present the modifications that we implemented in the system during the last 3 years in the frame of a few scientific projects. The implemented changes include one way coupling with an operational wave model, taking into account the influence of the waves on wind driven currents, which may potentially influence the results especially in bays like the Varna Bay and Bourgas Bay. These two bays are the most important maritime ports of Bulgaria and therefore the accuracy of the forecast for these locations in case of accident is particularly important. The simulations show that taking into account of the wave influence on currents leads to conclusions about a higher risk during stormy conditions of pollution of the port of Varna and southern part of the Varna Bay, which is not properly simulated otherwise.

*Key words: Oil spill, Black Sea, pollution drift model,*

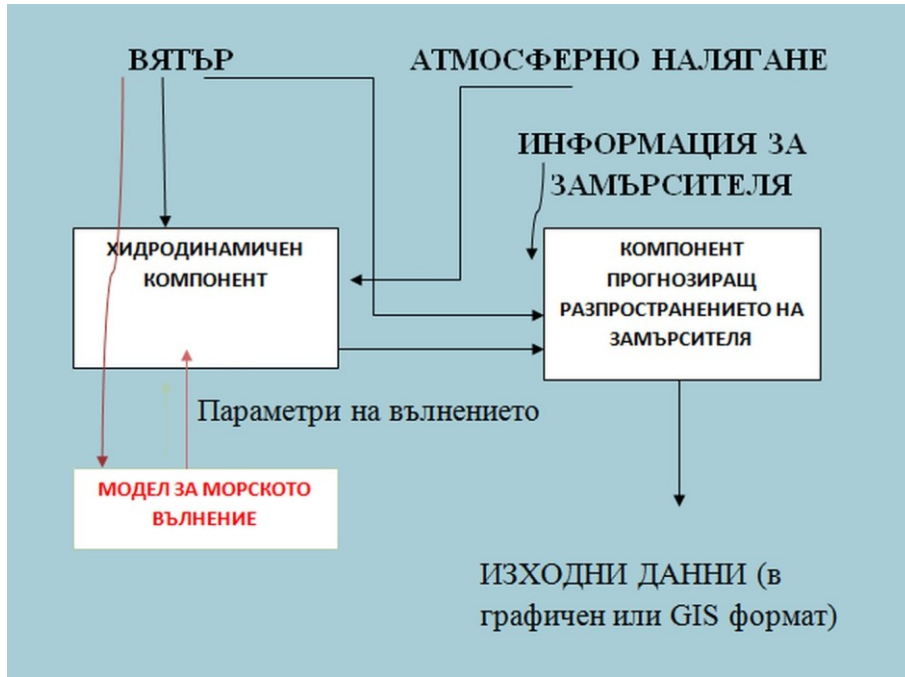
**Въведение**

Аварийните разливи на плаващи замърсители (най-често петролни продукти) при възникване на инциденти в морето са екологична заплаха за крайбрежните зони. От изключително значение за ограничаването на последствията от тях е надеждното прогнозиране на поведението на разлива за дните след изтичането на замърсителя. Когато разливите са възникнали в близост до брега изискванията към прогнозирането им се повишават- движението на разлива трябва да се прогнозира с висока точност не само по дни а и по часове и с висока надеждност по отношение на прогнозирането на участъците от брега, където се очаква да попаднат замърсителите. Основен метод за прогнозиране на поведението на разливи е численото моделиране на разпространение на разливите. Настоящата работа представя подхода към оперативно прогнозиране от страна на НИМХ-

БАН на разливи на замърсители при потенциални аварии в близост до българското крайбрежие.

**Методика.**

Системата, използвана в НИМХ-БАН за прогноза на разпространение на петролни разливи е базирана на модела MOTHY, разработка на METEO FRANCE (1). Този числен модел е адаптиран за условията на Черно Море в средата на деветдесетте години на XX век. Компонентите на модела са два. Схематично компонентите на модела, както и връзките между тях са представени на фиг.1.



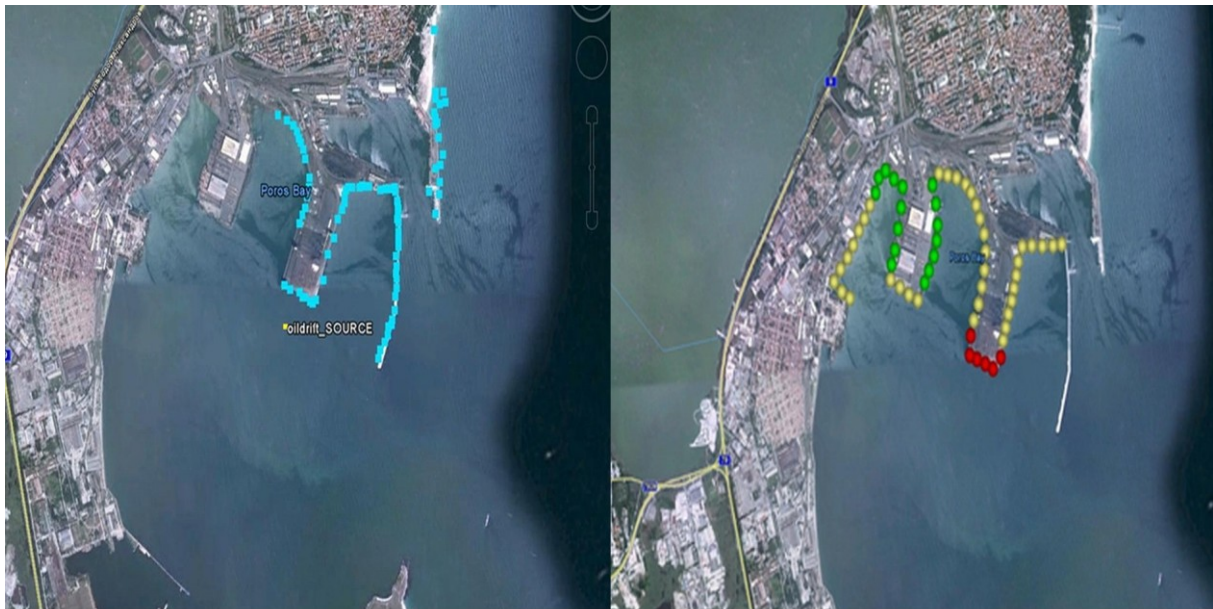
Фиг.1 Схема представяща потока на данните в системата за прогнозиране на разпространение на плаващи замърсители. Численият модел за разпространение на замърсители се състои от два компонента (черните правоъгълници на фигурата). С червено са отбелязани компонентите и връзките, които са нововъведения в моделната система.

Първият компонент е двумерен хидродинамичен модел интегриран по дълбочина до дълбочината на слоя на смесване на Черно Море, като се отчита сезонната изменчивост на тази дълбочина. Данните за промените на дълбочината на слоя на смесване са базирани на изследванията на Birol Kaга и съавтори (2). Входната информация за този компонент е полето на вятъра на височина 10м над морското ниво и полето на атмосферното налягане на морско ниво. Батиметрията на Черно Море е получена чрез дигитализация на карти, получени от хидрографска служба на ВМФ. Резултата от изчисленията на този компонент е полето на повърхностните течения, генерирани от взаимодействието на вятъра с морската повърхност. След това се сумират така получените вектори на ветровите течения с векторите на теченията, които са т.нар. термохалинна циркулация (породени от разликите в температурата и солеността във водния басейн). Термохалинната циркулация се предполага, че се изменя слабо в рамките на отделен месец. Данните за термохалинната циркулация са получени чрез симулации с числен модел, разработен от Трухчев (3) и предоставени от Институт по Океанология на БАН за Бургаски Залив, както и от работата на Пенева

(представена в Galabov и съавтори (5)) за Черно Море. Получената векторна сума е сумарното повърхностно течение.

Вторият компонент моделира разпространението на разливите. Попадналите в морето замърсители се представят като ансамбъл от независими частици, които се движат под въздействие на теченията, турбулентността и подемната сила. Турбулентната дифузия се моделира с тримерни случайни движения (Монте Карло метод). Информацията, която постъпва за замърсителя се състои от координати на източника на разлива, време на настъпване на разлива и продължителността му, както и тип на замърсителя. Системата съдържа база данни с емпирична информация за типовете плаващи замърсители и свойствата им, с цел да се отчетат физикохимични процеси като емулсификация, изпарение, деградация и т.н. Изходната информация е данни за местоположенията на индивидуалните частици замърсител в следващите часове и дни, както и за това дали индивидуалната частица е на морската повърхност, потънала или изхвърлена на брега (ако е потънала или на брега, тя повече не е част от изчисленията). Информацията на изхода е под формата на графични файлове, файлове за визуализация в Google Earth, както и във формат подходящ за GIS.

В този си вид системата не отчита по никакъв начин влиянието на морското вълнение върху морските течения и разпространението на разливите.



**a)**

**b)**

Фиг.2 а) симулация на зоните замърсени от източник в района на пристанище Бургас при хипотетичен разлив на входа на пристанищен терминал. б) анализ на уязвимостта на различни части от пристанището на база на множество симулации (зоната в червено е най-уязвима, а тази в зелено- най-слабо уязвима).

Този вариант на системата е успешно прилаган в рамките на проекти като Екопорт 8 (фиг.2) в рамките на който е изследвана уязвимостта на пристанище Бургас при петролен

разлив в Бургаския залив. Симулирано е разпространение от 20 различни източника в залива по време на четирите сезона и при вятър от 8 посоки т.е. на базата на стотици симулации.

### **Моделирание на влиянието на вълнението върху поведението на разливи**

Влиянието на параметрите на вълнението върху разпространението на разливи на плаващи замърсители се осъществява посредством влияние върху взаимодействието атмосфера- морска повърхност и съответно върху теченията породени от вятъра. Това влияние в настоящата работа отчитаме чрез включване на два механизма- като влияние върху динамичният коефициент на триене (Cd) (т.е. като зависимост на грапавостта на морската повърхност от вълнението). Вторият механизъм на влияние е чрез отчитане на допълнителното тангенциално напрежение върху морската повърхност, породено от вълнението (т.е. въздействие на допълнителна сила). Вторият механизъм е от съществено значение в непосредствена близост до брега, а първият е от съществено значение при силни ветрове (със скорост над 15 м/с). При вятър с по-ниска скорост Cd нараства почти линейно с вятъра, докато при много силен вятър (съответно големи вълни) грапавостта на морската повърхност зависи съществено от вълнението и съответно Cd престава да нараства над определена скорост на вятъра (този експериментален факт е установен за океанската повърхност (6). Отчитането на влиянието на вълнението върху Cd е възможно да се реализира по два начина- като зависимост от т.нар. възраст на вълните или като влияние на стръмността на вълните (отношение на значимата височина към средната дължина на вълните) върху Cd. Нашите изследвания на моделирането на щормово повишение на морското ниво в рамките на проекта IncREO EU-FP7 (7) показаха, че по-добри резултати за морското ниво за Черно Море се получават ако се използва зависимостта на влиянието на стръмността на вълните върху Cd. Тъй като хидродинамичният компонент на модела MOTHU е идентичен с този в модела за прогнозиране на щормово повишение на морското ниво, възприетият подход и тук е да се използва стръмността на вълните като основен параметър, който се обменя между избраният вълнов модел ( в случая това е модела SWAN (8)) и хидродинамичният компонент на MOTHU. Зависимостта на Cd от скоростта на вятъра и стръмността на вълните е от вида предложен в (9):

$$Cd=A+B.\delta.U_{10} \quad 1)$$

Във формула 1) А и В са константи, които се установяват експериментално или чрез числени експерименти,  $\delta$  е стръмността на вълните, а  $U_{10}$  е скоростта на вятъра на височина 10м над морската повърхност. Допълнителните тангенциални напрежения породени от вълнението са достъпни като директен изход от вълновия модел. За стойности на параметрите А и В са използвани установените от нас в (7).

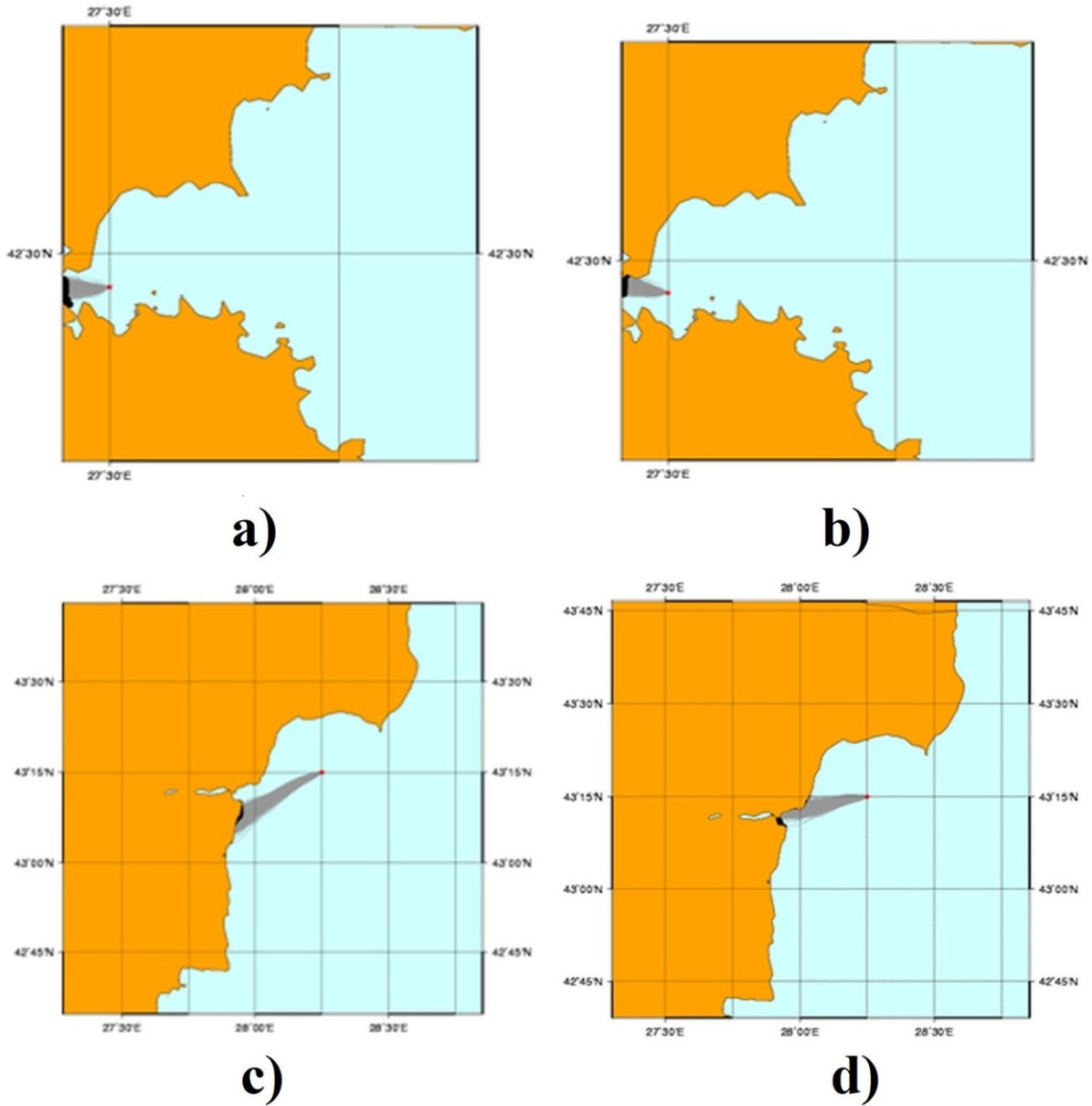
### **Използвани данни.**

Извършените числени експерименти са на базата на информацията за положението на кораб, потънал в началото на 2014г източно от нос Шабла. В кораба продължава да има корабно гориво. Беше възложено на НИМХ-БАН да анализира поведението на евентуален разлив от този кораб в зависимост от сезона и метеорологичната обстановка. Задачата беше решена посредством множество симулации при постоянен вятър. Извършени са и експерименти от хипотетични източници в заливите. Полетата на вятъра и атмосферното налягане са получени в рамките на проекта IncREO (7) чрез процедура на т.нар динамичен downscaling (увеличаване на пространствената разделителна способност и на времевата разделителна способност) на реанализа ERA Interim (наличен онлайн на уеб сайта на Европейски Център за Средиземноморски прогнози ECMWF). Изследвана е хипотетична

обстановка на силна морска буря (по-конкретно са ползвани данни за бурята на 7 и 8 февруари 2012г.

### Резултати

На фиг.3 са представени резултатите от симулации на петролни разливи с и без отчитане на влиянието на вълнението върху повърхностните морски течения.



Фиг.3 а) симулация на хипотетичен инцидент в Бургаския залив без отчитане на влиянието на вълнението, б) същото с отчитане на влиянието на вълнението, с) симулация за Варненския залив без отчитане на вълнението, д) аналогично на с) но с отчитане на влиянието на вълнението.

Както се вижда от фиг.3 а) и б) за Бургаския залив в условията на силна буря разликата между двете симулации не е голяма, но с отчитане на вълнението се симулира повишен риск

за част от Бургаското пристанище. За Варненския залив симулацията е за същият период (февруари 2012) но тук разликите са по-съществени: симулацията без отчитане на вълнението не показва риск за самият град, докато симулацията с отчитане на вълнението показва замърсяване на брега на квартал Аспарухово, пристанище Варна и плажовете. Да се установи експериментално доколко втората симулация е по-надеждна или не, е практически неосъществима задача в момента по липса на експерименти (примерно с багрило) в Черно Море. Все пак факта, че влиянието на вълнението върху теченията е известен и потвърден физически механизъм определя и предложеният подход като надежден.

### **Заклучение**

Внесени са изменения в съществуваща оперативна система за прогнозиране поведението на разливи на плаващи замърсители. Като се отчита влиянието на вълнението върху морските течения и съответно върху движението на разливите, са симулирани хипотетични разливи в Бургаския и Варненски залив. Оказва се, че отчитането на влиянието на вълнението води до повишен риск от замърсяване на съответните градове и пристанищните им съоръжения. Приложеният подход е внедрен като част от оперативната готовност на НИМХ-БАН при възникване на аварийен разлив.

*Настоящата работа е реализирана с подкрепата на проекта IncREO EU-FP7.*

### **Литература**

1. Daniel P., 1996. Operational forecasting of oil spill drift at Météo-France, Spill Sci Technol B, 3(1/2), 53–64
2. Birol Kara A., R.W. Helber, T.P. Boyer, J.B. Elsner, 2009. Journal of Marine Systems, 78 S169-S180.
3. Galabov V., A. Kortcheva, G. Kortchev, J. Marinski, 2013. Contamination of Bourgas port waters with oil, In: Ozhan E (editor) Proceeding of global congress on ICM, 30 Oct–03 Nov 2013, 1077–1086
4. Trukhcev D., D. Ivanov, D Ibrayev, T. Patzireva, A. Rabie, 2004. Hydrophysical Study of Bourgas Bay. Modelling the Synoptic Circulation Patterns. Comptes Rendus de l'Academie Bulgare des Sciences, vol.57,n3, 3-29.
5. Galabov V., A. Kortcheva, G. Kortchev, M. Dimitrova, J. Marinski, E. Peneva, 2015. Application of Hydrodynamic, Pollution Drift and Wave Models as Tools for Better Environmental Management of Ports, In book: Sustainable Development of Sea-Corridors and Coastal Waters, G. Stylios (editor), Springer, ISBN: 978-3-319-11384-5, ch. 8, 69-76
6. Powell M. D., P.J. Vickery, T.A. Reinhold, 2003. Reduced drag coefficient for high wind speeds in tropical cyclones, Nature, 422(6929), 279-283
7. Galabov V., A. Kortcheva, A. Bogatchev, B. Tsenova, 2015. Investigation of the hydro-meteorological hazards along the Bulgarian coast of the Black Sea by reconstructions of historical storms, Journal of Environmental Protection and Ecology, article in print.
8. Booij N., R. Ris, L. Holthuijsen, 1999. A third-generation wave model for coastal regions 1. Model description and validation, Journal of geophysical research 104(C4), 7649- 7666
9. Guan C., Xie L., 2004. On the linear parameterization of drag coefficient over sea surface. J Phys Oceanogr, 34, 2847–2851