

Геоинформатика. 2023. № 2. С. 32–35.  
*Geoinformatika*. 2023;(2):32–35.

### Моделирование геообъектов и геопроцессов

Научная статья  
 УДК 004.94

<https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-2-32-35>

## Расчет распространения примеси с применением программного комплекса Cardinal

© 2023 г. — Е.П. Истомин<sup>а)</sup>, Я.А. Петров<sup>б)</sup>, И.А. Мартын<sup>в)</sup>

ФГБОУ ВО Российский Государственный Гидрометеорологический Университет; Россия, Санкт-Петербург

<sup>а)</sup>biom@bk.ru, <sup>б)</sup>yaroslav.petrov025@gmail.com, <sup>в)</sup>irma\_martyn@mail.ru

**Аннотация:** В статье предложен вариант математического моделирования процессов, которые происходят с нефтью, попавшей в море. Приведены уравнения, описывающие адвективно-диффузионное распространение нефтяного пятна, а также модели учитывающие испарение, растворение и биодegradацию нефти. Все модели интегрированы в используемые программные комплексы Cardinal и ADIOS2. В исследовании используется пример разлива нефти в Саудовской Аравии при задании мгновенного разлива объемом 10 тонн. С заданием гидрометеорологических параметров производится прогноз распространения нефтяного пятна на сутки в акватории Красного моря.

**Ключевые слова:** *распространение примеси, нефтяные разливы, ADIOS2, Cardinal*

Для цитирования: Истомин Е.П., Петров Я.А., Мартын И.А. Расчет распространения примеси с применением программного комплекса Cardinal // *Геоинформатика*. — 2023. — № 2. — С. 32–35. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-2-32-35>.

### Modeling of geological objects and geoprocesses

Original article

## Calculation of impurity distribution using the Cardinal software package

© 2023 — E.P. Istomin<sup>a)</sup>, Ya.A. Petrov<sup>b)</sup>, I.A. Martyn<sup>c)</sup>

Russian State Hydrometeorological University; Saint-Petersburg, Russia

<sup>a)</sup>biom@bk.ru, <sup>b)</sup>yaroslav.petrov025@gmail.com, <sup>c)</sup>irma\_martyn@mail.ru

**Abstract:** The article proposes a variant of mathematical modeling of processes that occur with oil that has fallen into the sea. Equations are given that describe the advective-diffusion propagation of an oil slick, as well as models that take into account evaporation, dissolution and biodegradation of oil. All models are integrated into the Cardinal and ADIOS2 software systems used in the research. The study uses the example of an oil spill in Saudi Arabia, given an instantaneous spill of 10 tons. With the assignment of hydrometeorological parameters, a one-day forecast is made for the spread of an oil slick in the Red Sea.

**Key words:** *impurity propagation, oil spills, ADIOS2, Cardinal*

For citation: Istomin E.P., Petrov Ya.A., Martyn I.A. Calculation of impurity distribution using the Cardinal software package. *Geoinformatika*. 2023;(2):32–35. <https://doi.org/10.47148/1609-364X-2023-2-32-35>. In Russ.

Проблема загрязнения морских объектов приобрела к настоящему времени глобальный характер как по своим масштабам, так и по степени экологической опасности для всего человечества. Среди многочисленных загрязняющих веществ особое место занимают нефтяные углеводороды. Расчет распространения примеси является в настоящее время актуальным вопросом и решением проблемы нефтяных разливов, в том числе в связи с увеличением числа буровых установок на морском шельфе [2, 6].

Адвекция пятна нефти по поверхности моря происходит под влиянием ветра, течений и диффузионных процессов.

Существующие расчеты процессов растекания нефтяных пятен считаются удовлетворительными, если источник загрязнения является мгновенным [7]. При этом расчет площади нефтяного пятна

производится отдельно для каждой фазы процесса после достижения критической величины толщины пленки, что является сильным приближением [4].

Полагаем, что растекание нефтяного пятна от непрерывно действующего источника происходит под взаимным влиянием основных сил: инерционных, гравитационных, трения и поверхностного натяжения. Можно считать, что скорость растекания нефти  $U_0$  постоянна на некотором интервале времени  $\Delta t$  [3, 5]. Тогда процесс растекания описывается стационарным уравнением движения растекающейся нефти, записанным для границы нефтяного пятна:

$$\rho_0 U_0 \frac{\partial U_0}{\partial r} = \frac{\partial P}{\partial r} - \frac{\partial \tau_r}{\partial z} + \frac{\partial f_N}{\partial r},$$

где  $\rho_0$  — плотность нефти,  $U_0$  — скорость растекания нефтяного пятна,  $r$  — нормаль к границе пятна,  $\tau_r$  —

касательное напряжение между двумя средами,  $f_N$  — поверхностное натяжение, отнесенное к толщине нефтяной пленки.

Скорость изменения площади нефтяного разлива ( $S_0$ ) неразрывно связана с интенсивностью источника ( $v_0$ ):

$$\frac{dS_0}{dt} = \frac{v_0}{h_0} - \frac{V_0}{h_0^2} \frac{dh_0}{dt},$$

где  $V_0$  — объем вылившейся нефти.

Толщина пленки здесь определяется из уравнения неразрывности, проинтегрированного по контуру нефтяного пятна:

$$h_0 = \frac{v_0}{U_0 L} + \frac{V_0}{\delta r L}.$$

Дрейф больших объемов нефти, взаимодействующих только с водой, можно описать уравнениями экмановского переноса [1, 8]:

$$-\partial_d f = -\frac{\tau_x^h}{\rho_0 h_0},$$

$$u_d f = -\frac{\tau_x^h}{\rho_0 h_0}.$$

Для расчета испарившейся и диспергированной нефти используем программу ADIOS2 с заданием параметров разлива нефти в Саудовской Аравии. Был задан мгновенный разлив нефти объемом 10 тонн [8]. В ADIOS2 представлены изображения

временного хода количества испарившейся и диспергированной нефти (рис. 1).

Включив режим расчета примеси в разделе «Примесь+Источник» в программном комплексе Cardinal, двойным нажатием устанавливаем место разлива нефти (рис. 2).

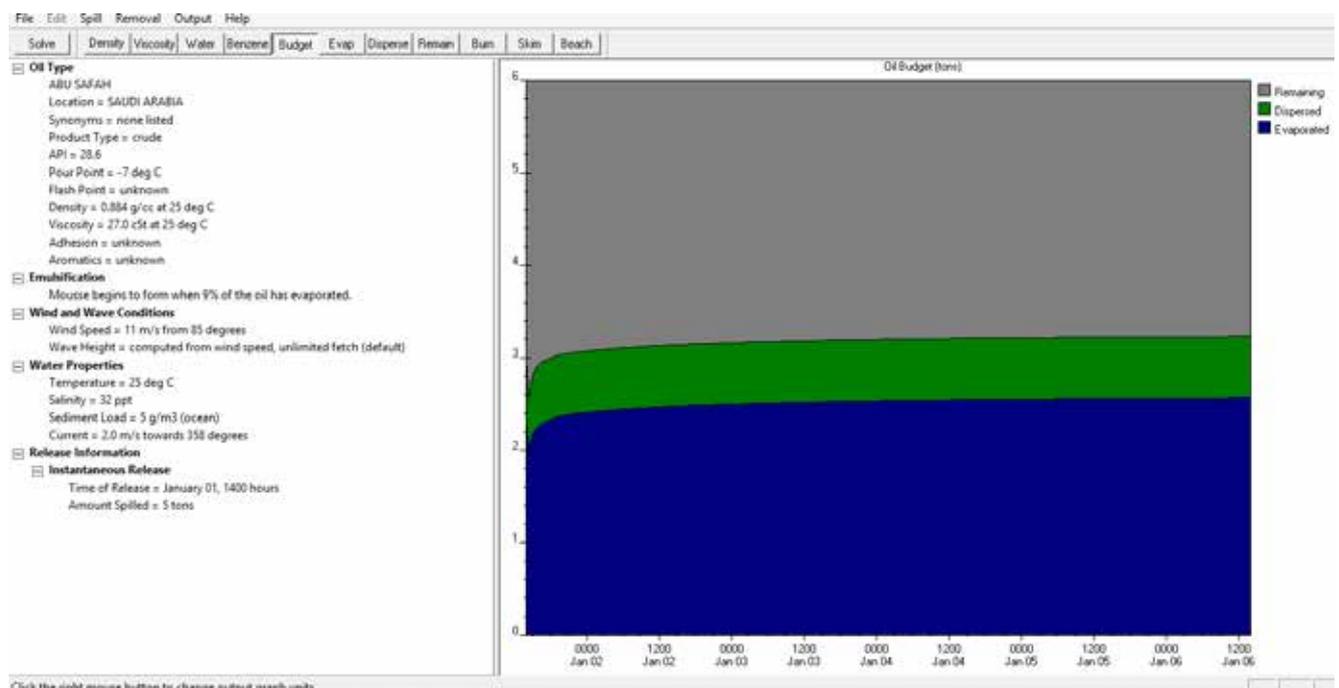
В разделе «Источник» задаем параметры расхода воды, концентрации, начала и конца работ. Выполняем расчет разлива нефтяного пятна с изображением изолиний концентрации нефти и вектора скорости распространения нефтяного пятна через 7, 12, 20 и 24 часа (рис. 3–6).

При разливе нефти в 10 тонн и при заданных характеристиках ветра (южный ветер скоростью 5 м/с) распространение разлива нефти происходит во всех направлениях от источника, при этом в начальное время ближе к источнику отмечаются большие скорости, а со временем максимальные скорости переноса перемещаются к окраине моря, наибольшая скорость распространения отмечается в северной части моря и составляет 20–40 см/с, минимальные скорости — у источника разлива и составляют 0–4 см/с.

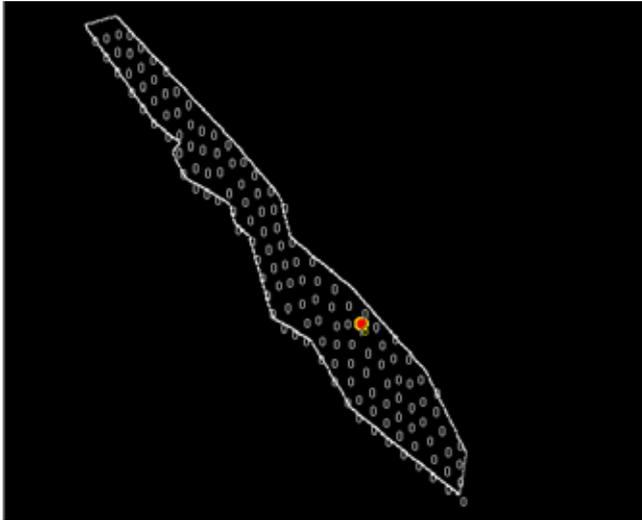
В итоге проделанной работы отметим, что при использовании указанных моделей и программных комплексов можно отследить посредством двухмерной анимации процесс перемещения нефтяного пятна и графически отобразить изменение во времени пространственных характеристик слика и количественных характеристик нефти.

Рис. 1. Объем испарившейся и диспергированной нефти

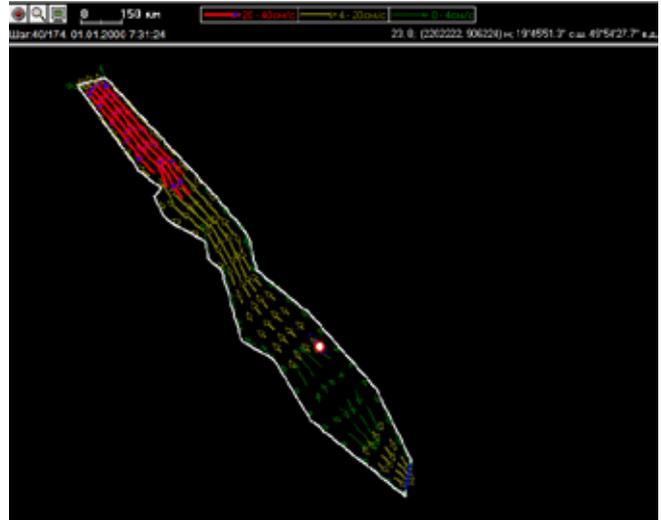
Fig. 1. Volume of evaporated and dispersed oil



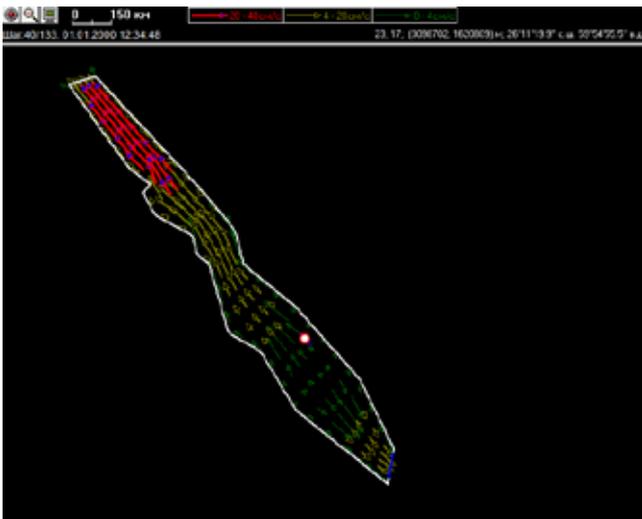
**Рис. 2.** Место разлива нефти  
*Fig. 2. Location of the oil spill*



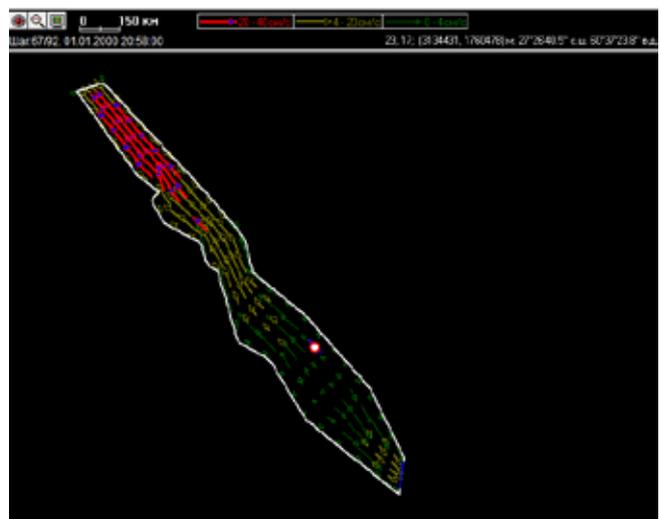
**Рис. 3.** Разлив нефти через 7 часов  
*Fig. 3. Oil spill after 7 hours*



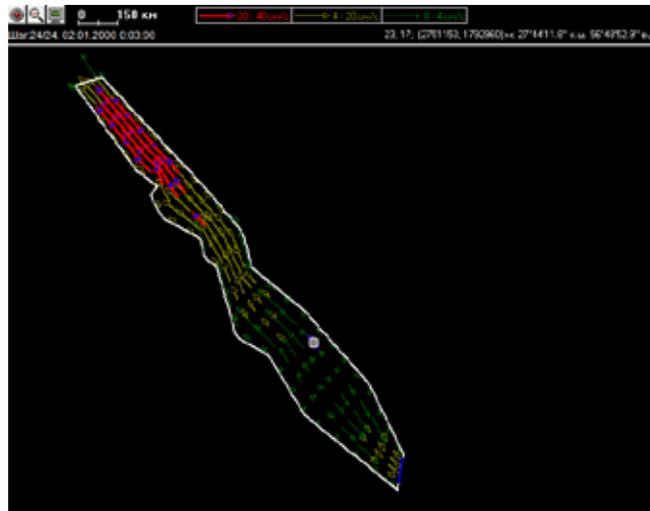
**Рис. 4.** Разлив нефти через 12 часов  
*Fig. 4. Oil spill 12 hours later*



**Рис. 5.** Разлив нефти через 20 часов  
*Fig. 5. Oil spill after 20 hours*



**Рис. 6.** Разлив нефти через 24 часа  
*Fig. 6. Oil spill after 24 hours*



## Список источников

1. Белоусов В.В. Распространение примеси в прибрежной зоне моря // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – 2006. – № 14. – С. 240–244.
2. Гилл А. Динамика атмосферы и океана / Пер. с англ. В.Н. Рябиной, А.Н. Филатова. – Т.1. – М.: Мир, 1986. – 396 с.
3. Истомин Е.П., Мартын И.А., Михеев В.Л. Применение модели ветрового волнения для снижения георисков при эксплуатации морского порта // Моря России: год науки и технологий в РФ – десятилетие наук об океане ООН: тезисы докладов Всероссийской научной конференции (Севастополь, 20–24 октября 2021 г.). – Севастополь: ФГБУН ФИЦ МГИ, 2021. – С. 405–407.
4. Истомин Е.П., Михеев В.Л., Петров Я.А., Мартын И.А. Геомоделирование предельного усиления цуга волн при выходе на шельф // Информатика и космос. – 2021. – № 3. – С. 78–85.
5. Мартын И.А., Диденко А.Ю., Яготинцева Н.В. Прогноз ветрового волнения в Балтийском море с использованием модели SWAN // Информационные технологии и системы: управление, экономика, транспорт, право. – 2022. – № 3(43). – С. 47–50.
6. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика: в 2-х т. / Пер. с англ. Г.М. Резника, Т.Б. Цыбаневой. – Т. 1. – М.: Мир, 1984. – 398 с.
7. Педлоски Дж. Геофизическая гидродинамика: в 2-х т. / Пер. с англ. Г.М. Резника, Т.Б. Цыбаневой. – Т. 2. – М.: Мир, 1984. – 416 с.
8. Яхина Э.Н., Идрисова К.Р. Особенности локализации нефтяных разливов при авариях на морских нефтяных платформах // Миллионщиков-2022: материалы V Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов молодых ученых с международным участием (Грозный, 19–20 мая 2022 г.). – Грозный: ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова, 2022. – С. 141–144. DOI: 10.34708/GSTOU.CONF.2022.10.64.031.

## References

1. Belousov V.V. Rasprostraneniye primesi v pribrezhnoy zone morya [The spread of impurities in the coastal zone of the sea]. *Ecological safety of coastal and shelf zones and comprehensive use of shelf resources*. 2006;(14):240–244.
2. Gill A. *Atmosphere-Ocean Dynamics*. New York: Academic Press; 1982. 680 p.
3. Istomin E.P., Martyn I.A., Mikheev V.L. Primeneniye modeli vetrovogo volneniya dlya snizheniya georiskov pri ehkspluatatsii morskogo porta [Application of the wind wave model to reduce georisks during the operation of the seaport]. In: *The Seas of Russia: Year of Science and Technology in the RF – United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development*. Sevastopol': FGBUN FITS MGI; 2021. pp. 405–407.
4. Istomin E.P., Mikheev V.L., Petrov Ya.A., Martyn I.A. Geomodeling of the limiting amplification of the wave train at the exit to the shelf. *Information and Space*. 2021;(3):78–85.
5. Martyn I.A., Didenko A.Y., Yagotintseva N.V. Forecast of wind waves in the Baltic Sea using the SWAN model. *Informatsionnye tekhnologii i sistemy: upravleniye, ehkonomika, transport, pravo*. 2022;(3):47–50.
6. Pedlosky J. *Geophysical Fluid Dynamics*. New York; Springer-Verlag; 1982. 626 p.
7. Pedlosky J. *Geophysical Fluid Dynamics*. New York; Springer-Verlag; 1982. 626 p.
8. Yakhina E.N., Idrisova K.R. Features of containment of accidental oil spills in accidents on offshore oil platforms. In: *Millionshchikov-2022: materialy V Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov molodykh uchenykh s mezhdunarodnym uchastiem* (Grozny, 19–20 May 2022). – Grozny: GGNTU im. akad. M.D. Millionshchikova; 2022. pp. 141–144. DOI: 10.34708/GSTOU.CONF.2022.10.64.031.

Статья поступила в редакцию 19.12.2022, одобрена после рецензирования 25.03.2023, принята к публикации 01.04.2023.  
The article was submitted 19.12.2022; approved after reviewing 25.03.2023; accepted for publication 01.04.2023.

## Информация об авторах

### Истомин Евгений Петрович

Доктор технических наук, профессор, директор института Информационных систем и геотехнологий  
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»  
192007 Санкт-Петербург, Воронежская улица, д. 79  
ORCID ID: 0000-0001-6247-4373  
e-mail: biom@bk.ru

### Петров Ярослав Андреевич

Кандидат технических наук, доцент кафедры Прикладной информатики  
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»  
192007 Санкт-Петербург, Воронежская улица, д. 79  
ORCID ID: 0000-0002-9185-441X  
e-mail: yaroslav.petrov025@gmail.com

### Мартын Ирма Андреевна

Старший преподаватель кафедры Прикладной информатики  
ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»  
192007 Санкт-Петербург, Воронежская улица, д. 79  
ORCID ID: 0000-0002-4332-7308  
e-mail: irma\_martyn@mail.ru

## Information about authors

### Eugene P. Istomin

Doctor of technical science, Professor, Director of the Institute of Information Systems and Geotechnologies  
Russian State Hydrometeorological University  
79 Voronezhskaya St., Saint Petersburg, 192007, Russia  
ORCID ID: 0000-0001-6247-4373  
e-mail: biom@bk.ru

### Yaroslav A. Petrov

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Department of Applied Informatics  
Russian State Hydrometeorological University  
79 Voronezhskaya St., Saint Petersburg, 192007, Russia  
ORCID ID: 0000-0002-9185-441X  
e-mail: yaroslav.petrov025@gmail.com

### Irma A. Martyn

Senior lecturer of the Department of Applied informatics  
Russian State Hydrometeorological University  
79 Voronezhskaya St., Saint Petersburg, 192007, Russia  
ORCID ID: 0000-0002-4332-7308  
e-mail: irma\_martyn@mail.ru