

**Современная наука и образование:
новые подходы и актуальные исследования**

Чанцев Валерий Юрьевич,

кандидат географических наук, доцент,

ФГБОУ ВО «РГГМУ»,

г. Санкт-Петербург

**ВЛИЯНИЕ ТЕЧЕНИЙ И ВЕТРА
НА ДРЕЙФ АВАРИЙНОГО РАЗЛИВА НЕФТИ**

Аннотация. Рассматривается возможность использования нового подхода в численном моделировании аварийного разлива нефти, как единого пятна на поверхности моря. Данный подход позволяет рассчитывать не только пространственно-временную эволюцию разлива, но и меняющуюся форму его пятна.

Ключевые слова: Разлив нефти, нефтяное пятно, численное моделирование разлива, дрейф нефтяного пятна, форма нефтяного пятна.

Изучение данных об аварийных разливах нефти [8] свидетельствует, что в период разлива (до 1–2 суток) форма пятна нефти зависит как от динамики морской поверхности и приводного пограничного слоя атмосферы, так и от интенсивности источника загрязнения. Для упрощения расчета процесса растекания некоторые исследователи используют аппроксимации, описывающие последовательное влияние отдельных сил (например, [5, 7]) и позволяющие получить достаточно приближительную оценку площади разлива.

В свою очередь, дальнейшая трансформация нефтяного разлива и характер его распространения теснейшим образом связан с формой и площадью пятна, образовавшегося в процессе действия источника нефти.

Существующие методы расчета растекания нефти, учитывающие известные физические механизмы (например, [5–7]), пока не позволяют рассматривать процесс растекания от непрерывно действующего источника, как процесс одновременного воздействия вынуждающих сил.

Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования

Представленная работа описывает модель, включающую новый подход, заключающийся в рассмотрении одновременного влияния действующих сил, поверхностных течений и ветра на процесс распространения нефти от действующего источника и изменение формы ее пятна.

Как и в большинстве работ на эту тему, полагаем, что растекание нефти от источника происходит под взаимным действием основных сил: инерционной, гравитационной, трения и поверхностного натяжения. При этом фазы растекания, определенные в [1], можно выделять только условно.

Характер растекания нефти от источника при одновременном воздействии всех вынуждающих сил достаточно подробно описан в работе [4]. Для того чтобы правильно описывать дальнейшую эволюцию нефтяного пятна рассмотрим учет воздействия ветра и течений на его перемещение и изменение формы.

Дрейф большого объема нефти от источника после разлива можно описать уравнениями экмановского переноса.

$$\begin{aligned} -v_d f &= -\frac{\tau_x^{h_o} - \tau_x^0}{\rho_o h_o} \\ u_d f &= -\frac{\tau_y^{h_o} - \tau_y^0}{\rho_o h_o} \end{aligned} \quad (1)$$

где u_d, v_d – горизонтальные компоненты скорости дрейфа нефтяного пятна, f – параметр Кориолиса, τ_x^0, τ_y^0 – компоненты касательного напряжения ветра на верхней поверхности нефтяного пятна, $\tau_x^{h_o}, \tau_y^{h_o}$ – компоненты касательного напряжения течений на нижней поверхности нефтяного пятна, ρ_o – плотность нефти, h_o – толщина нефтяного пятна.

Если представить, что скорость дрейфа нефтяного пятна (u_d, v_d) состоит из двух компонент дрейфа: ветрового (u_{wd}, v_{wd}) и за счет течений (u_{cd}, v_{cd}), т.е. дрейф нефти представлен суммой этих компонент:

$$u_d = u_{wd} + u_{cd}, v_d = v_{wd} + v_{cd}$$

В этом случае систему уравнений (1) можно записать, как:

**Современная наука и образование:
новые подходы и актуальные исследования**

$$\begin{aligned} v_{wd} &= -\frac{\tau_x^0}{\rho_o h_o f} \\ u_{wd} &= \frac{\tau_y^0}{\rho_o h_o f} \end{aligned}, \quad (2)$$

и

$$\begin{aligned} v_{cd} &= \frac{\tau_x^{h_o}}{\rho_o h_o f} \\ u_{cd} &= -\frac{\tau_y^{h_o}}{\rho_o h_o f} \end{aligned}, \quad (3)$$

Для расчета компонент ветрового дрейфа нефтяного пятна (u_{wd} , v_{wd}) воспользуемся традиционным представлением τ_x^0 , τ_y^0 :

$$\begin{aligned} \tau_x^0 &= \rho_a C_d (W_x - u_d) |W_x - u_d| \\ \tau_y^0 &= \rho_a C_d (W_y - v_d) |W_y - v_d| \end{aligned}, \quad (4)$$

где ρ_a – плотность воздуха, W_x , W_y – компоненты скорости ветра, C_d – коэффициент сопротивления воздуха.

Расчет дрейфа нефтяного пятна за счет течений производился согласно расчетам, произведенным в [4]:

$$\begin{aligned} u_{cd} \left[1 + \left(\frac{2\gamma}{fh_o\beta_1} \right)^2 \right] &= \left[\left(\frac{2\gamma}{fh_o\beta_1} \right)^2 - \frac{\beta_2}{\beta_1} \right] u_w + \frac{2\gamma}{fh_o\beta_1} \left(\frac{\beta_2}{\beta_1} + 1 \right) v_w \\ v_{cd} \left[1 + \left(\frac{2\gamma}{fh_o\beta_1} \right)^2 \right] &= \left[\left(\frac{2\gamma}{fh_o\beta_1} \right)^2 - \frac{\beta_2}{\beta_1} \right] v_w - \frac{2\gamma}{fh_o\beta_1} \left(\frac{\beta_2}{\beta_1} + 1 \right) u_w \end{aligned}, \quad (5)$$

$$\beta_1 = 1 + \frac{\rho_o \nu_o \delta_w}{\rho_w \nu_w h_o + \rho_o \nu_o \delta_w}, \quad \beta_2 = 1 - \frac{\rho_o \nu_o \delta_w}{\rho_w \nu_w h_o + \rho_o \nu_o \delta_w}, \quad \gamma = \frac{\nu_o \rho_w \nu_w}{\rho_w \nu_w h_o + \rho_o \nu_o \delta_w}$$

где u_w , v_w – компоненты скорости течения, ρ_w – плотность воды, ν_o – коэффициент вязкости нефти, ν_w – кинематическая вязкость воды, δ_w – толщина вязкого подслоя в воде.

Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования

Принимая скорость течения постоянной на некотором интервале времени Δt , можно сказать, что толщина вязкого подслоя (δ_w) будет определяться, как и в работах [2] и [3], из условия размерности:

$$\delta_w = 1.72 \cdot (v_w \cdot \Delta t)^{0.5}$$

В вычислительном эксперименте источник задавался большой мощности (10^3 т) для того, чтобы была возможность сравнивать результаты расчетов растекания нефти с аварийным разливом нефти от терминала «Escopetrol» в 1999 году в заливе Тумако (республика Колумбия).

Для моделирования распространения аварийного разлива нефти была разработана гидродинамическая модель, основанная на решении уравнений мелкой воды. В качестве основного источника движения воды в заливе Тумако задавались приливные колебания уровня моря, характерные для моделируемого района. Ветровые условия задавались средними на весь период численного эксперимента, при которых направление ветра принималось северо-западным, а скорость ветра равнялась 7 м/с.

В результате проведенного численного эксперимента, была получена эволюция распространения нефтяного пятна от источника в первые сутки после разлива (рис. 1).

Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования

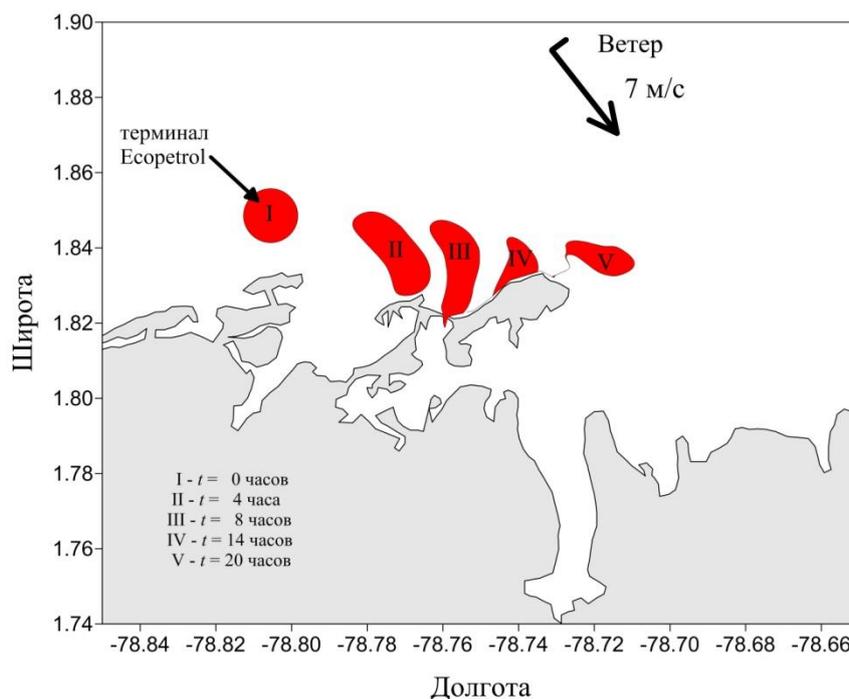


Рис. 1 – Распространение аварийного разлива нефти от источника в заливе Тумако (республика Колумбия) летом 1999 г. в течение суток

В начальный период времени предполагалось, что аварийный разлив произошёл без воздействия ветра и течений, что позволило принять правильный круглый вид нефтяного пятна ($t = 0$ часов). В дальнейшем на перемещение нефтяного пятна воздействовали как ветер, так и течения.

Из рис. 1 хорошо видно, что неравномерность распределения поля течений приводит не только к перемещению пятна нефти, но и к деформации его правильной круговой формы. Приближаясь к береговой черте, форма пятна начинает отражать его изгибы и частично, из-за резкого снижения скорости течения, оставаться в береговой зоне.

Также можно отметить, что после смены фазы прилива, ветер начинает препятствовать обратному движению нефтяного разлива, что косвенно подтверждается немногочисленными натурными наблюдениями в период инцидента.

К сожалению, отсутствие возможностей точного определения всех параметров разлива нефти, кроме примерного объема выброса, не дают возможно-

Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования

сти более точно оценивать возможности разработанной модели. При этом нужно отметить, что данный подход, по сравнению с имеющимися, является уникальным, позволяющим точно описывать положение границ нефтяного разлива в результате его распространения как в открытом море, так и в прибрежных зонах, оценивая время достижения пятном того или иного района, и более точную оценку площадей загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Журбас В.М. Основные механизмы распространения нефти в море // *Итоги науки и техники. Механика жидкости и газа.* – 1978. – Т. 12. – С. 144–159.
2. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Гидродинамика. Теоретическая физика, Т. 4.* – М.: Наука, 1988. – 736 с.
3. Монин А.С., Яглом А.М. *Статистическая гидромеханика. Теория турбулентности. Т. 1.* – СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. – 696 с.
4. Чанцев В.Ю. Влияние течений на растекание нефтяного пятна в море // *Ученые записки РГГМУ.* – 2006. – № 2. – С. 170–176.
5. Fay J.A. *Physical processes in the spread of oil on a water surface.* – *Proc. 1971 Oil Spill Conference, American Petroleum Inst. Washington.* – 1971. – P. 463–467.
6. *HAZMAT modeling products for spill response and planning.* – *NOAA Ocean Service OR&R.* – 2002. – 43 pp.
7. MacKay D., Bouist I., Mascarenhas R., et al. *Oil spill processes and models.* – *Publication EE-88, Report for Fisheries and Environmental Canada, Ottawa, Ontario.* – 1979. – 120 pp.
8. *Oil Spill 1967–1991. Case histories. Summaries of significant U.S. and international spills.* – *HMRAD Report No. 92-11, NOAA HMRAD.* – 1992. – 224 pp.