

# Об интерпретации результатов мониторинга загрязнений поверхности моря с учетом особенностей поведения тонких нефтяных пленок

Зацепа С.Н., Журавель В.И., Ивченко А.А., Солбаков В.В.

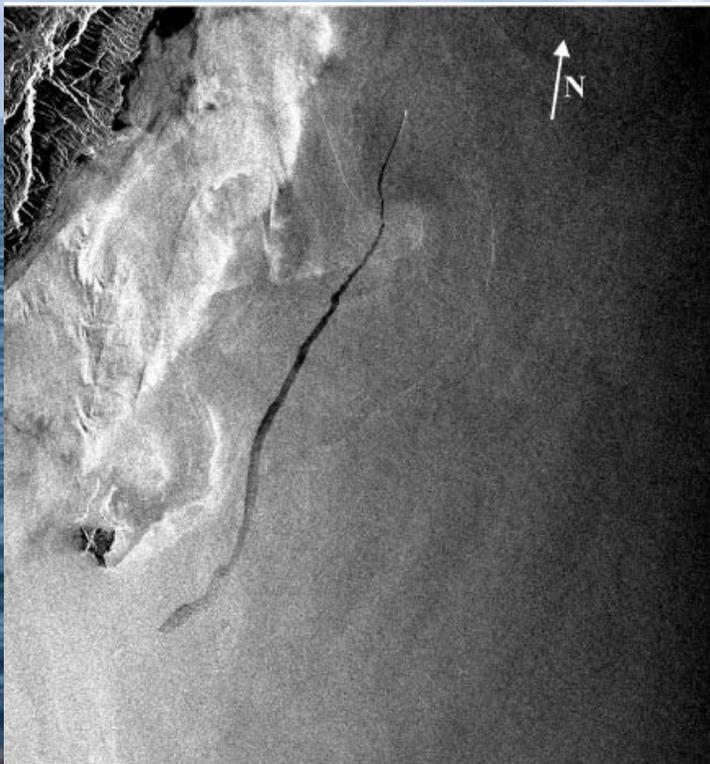
18-я Всероссийская Открытая конференция  
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА»  
16 - 20 ноября 2020 г. в Москве, Институт космических исследований РАН



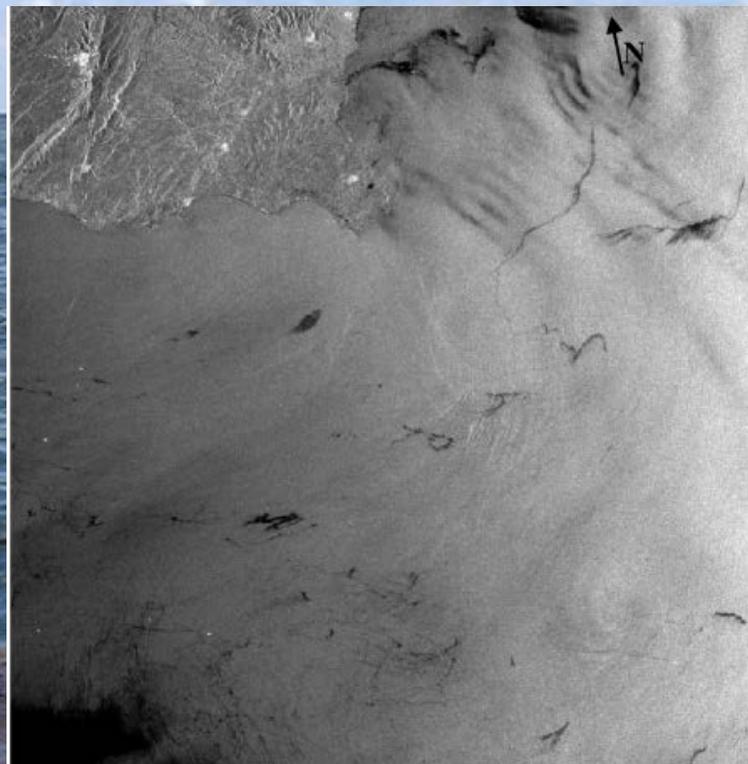
Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет  
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»  
Научно-методический центр «Информатика риска»



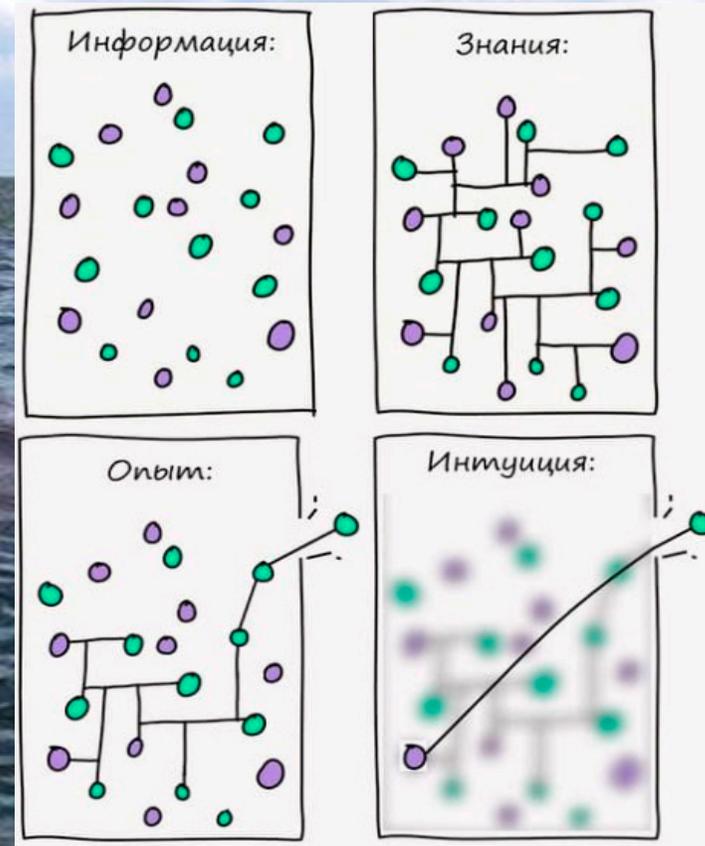
# Нефть в море и проблема идентификации



Судовой след 80 км, о. Тайвань

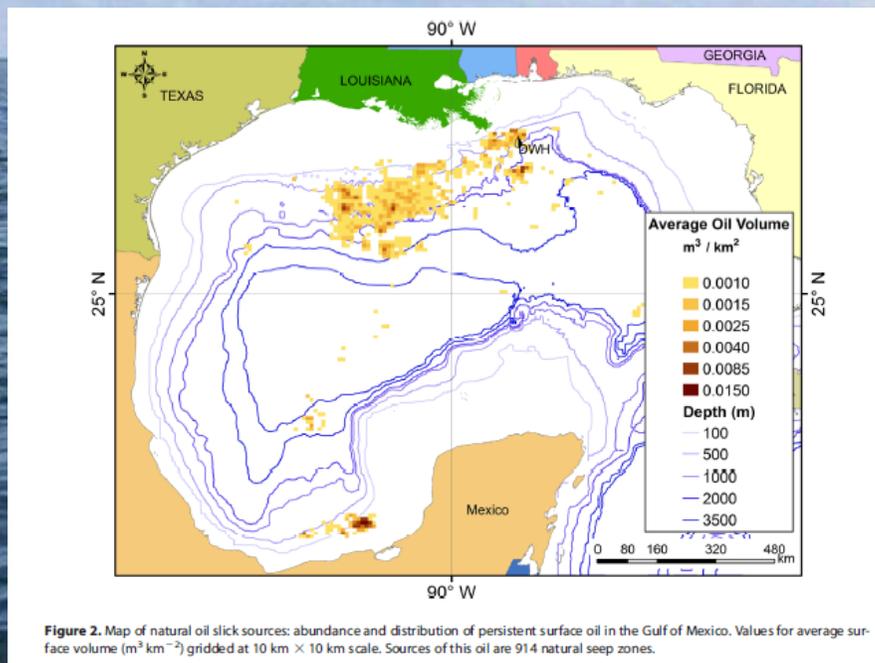


Средиземное море, Сицилия.  
Что на изображении?



# Поступление нефти в море через просачивания

Места выхода подводных источников нефти  
В Мексиканском заливе



Ежегодное поступление нефти от подводных источников в Мексиканский залив сопоставимо с выбросом нефти во время аварии на платформе DWH в 2010 году

Статистика поступления нефти в  
Мировой океан



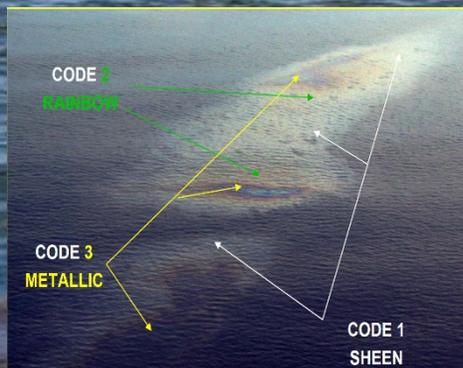
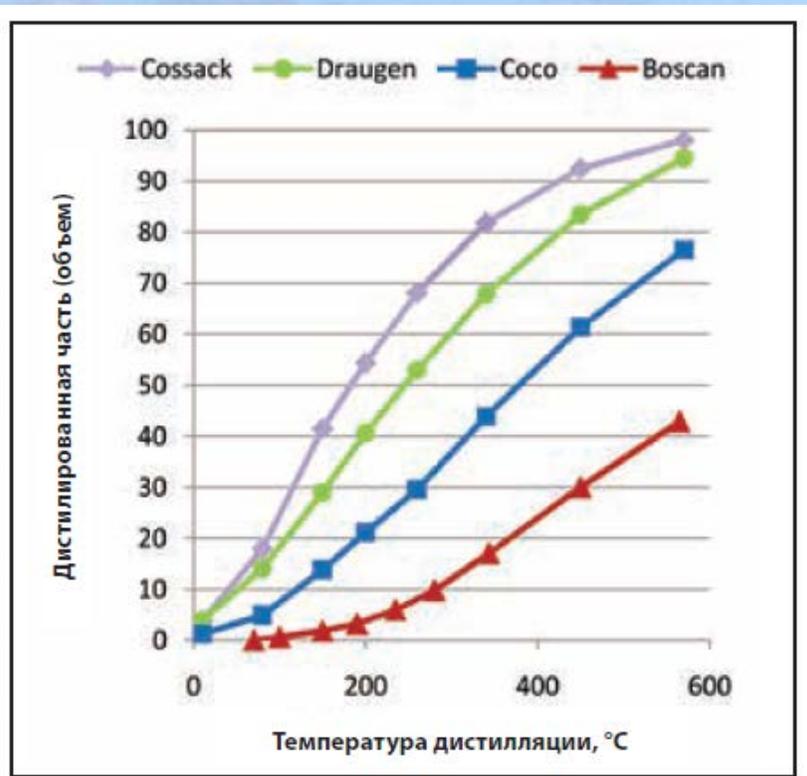
По данным: National Research Council et al. Oil in the sea III: inputs, fates, and effects. – National Academies Press (US), 2003.

Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет  
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»

Научно-методический центр «Информатика риска»



# Свойства нефти – от газоконденсата до мазута



№ кода	Описание	Интервал толщины пленки, МКМ
1	Сияние / sheen	0.05 – 0.3
2	<b>Радужное сияние / rainbow</b>	<b>0.3 – 5.0</b>
3	Металлический блеск / Metallic	5 – 50
4	Прерывистый истинный цвет / Discontinuous True Oil Colour	50 – 200
5	Непрерывный истинный цвет / Continuous True Oil Colour	>200

Нефть – природная маслянистая горючая жидкость от почти бесцветного и светло-коричневого до тёмно-бурого и практически чёрного цвета. Средняя молекулярная масса 220 – 400 г/моль. Плотность нефти составляет 0.65 г/см<sup>3</sup> – 1.05 г/см<sup>3</sup>, но чаще 0.82 – 0.95 г/см<sup>3</sup>. Нефть, плотность которой ниже 0.84 г/см<sup>3</sup>, называется лёгкой, от 0.84 г/см<sup>3</sup> до 0.88 г/см<sup>3</sup> – средней, от 0.88 г/см<sup>3</sup> до 0.92 г/см<sup>3</sup> – тяжелой и выше 0.92 г/см<sup>3</sup> – очень тяжёлой [Патин, 2008].



Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет  
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»

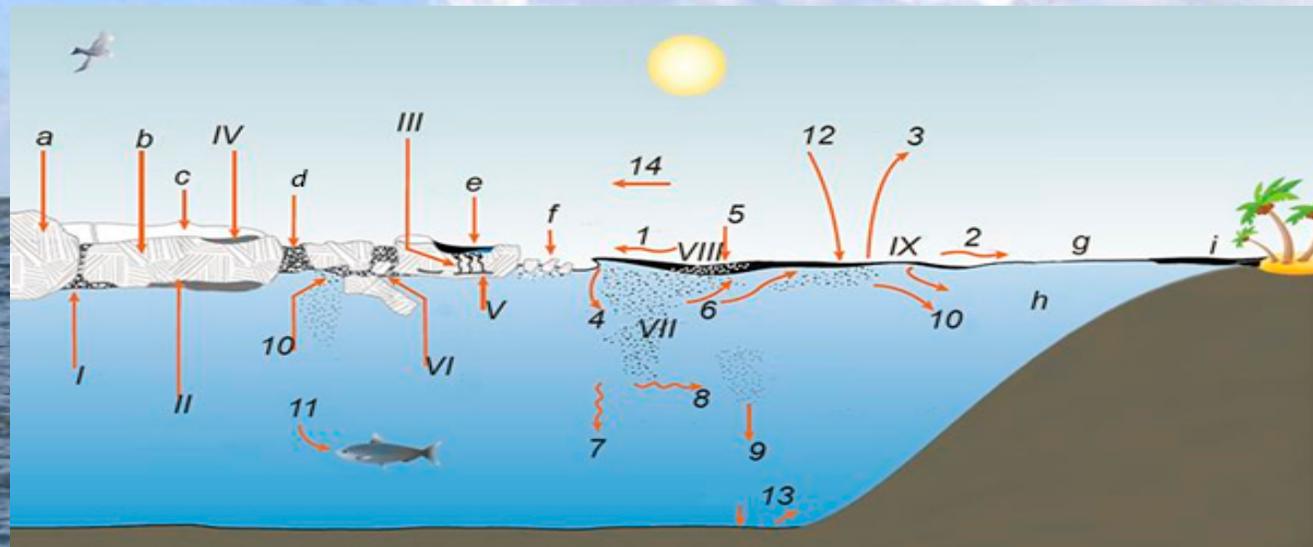
Научно-методический центр «Информатика риска»



# Процессы трансформации нефти в море

Физические процессы:

1. Перенос/адвекция;
2. Растекание
3. Испарение
4. Диспергирование
5. Эмульсификация
6. Всплытие крупных капель
7. Вертикальная турбулентная диффузия
8. Горизонтальная диффузия и перенос течениями
9. Поглощение взвешенных минеральных частиц.
10. Растворение
11. Биодegradация.
12. Фотоокисление
13. Седиментация
14. Атмосферный перенос



Нефть в море находится в разных состояниях:

- I. захваченная льдами нефть
- II. нефть в виде линз подо льдом
- III. нефть в солевых каналах
- IV. нефть в виде линз внутри снежного покрова
- V. капли нефти, инкапсулированные в лед
- VI. нефть, скопившаяся в ледяной каше
- VII. нефть, диспергированная в водной толще
- VIII. нефтяная эмульсия
- IX. нефть в пленочной форме на поверхности моря.

Трансформация происходит в различных средах:

a) многолетних льдов; b) однолетних льдов; c) в снегу; d) в разводьях между льдин; e) в проталинах при весеннем таянии; f) в дрейфующем льду; g) поверхности моря; h) в водной толще; i) в береговой зоне.

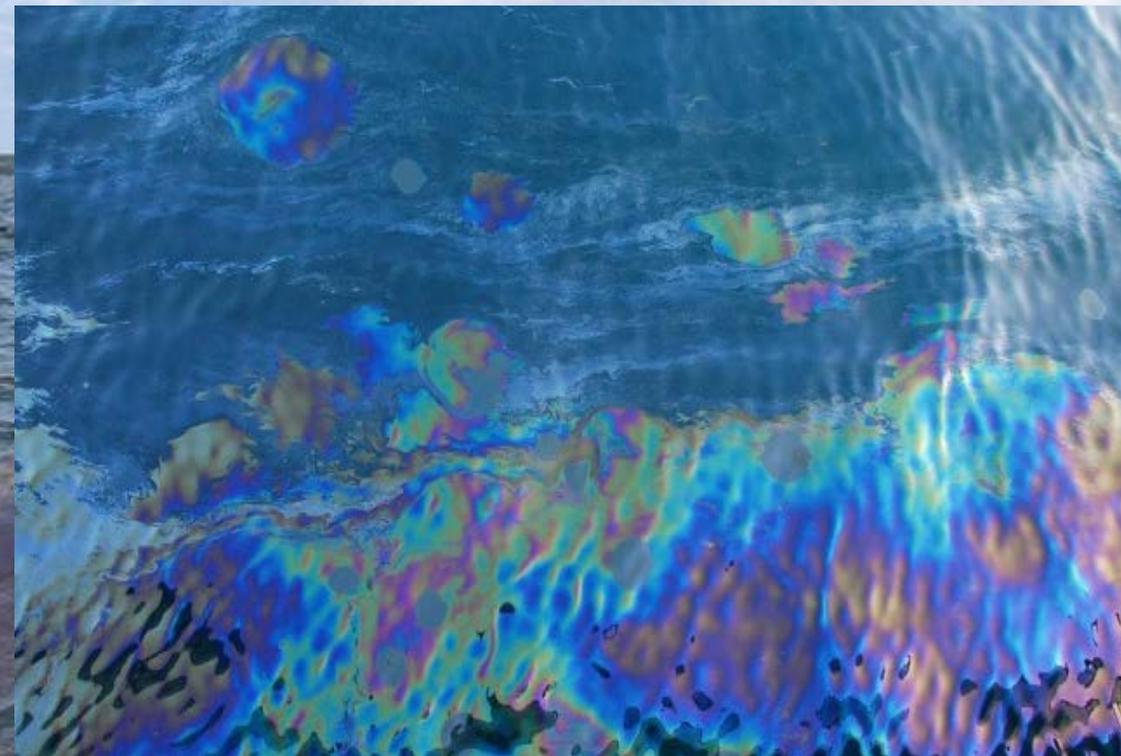
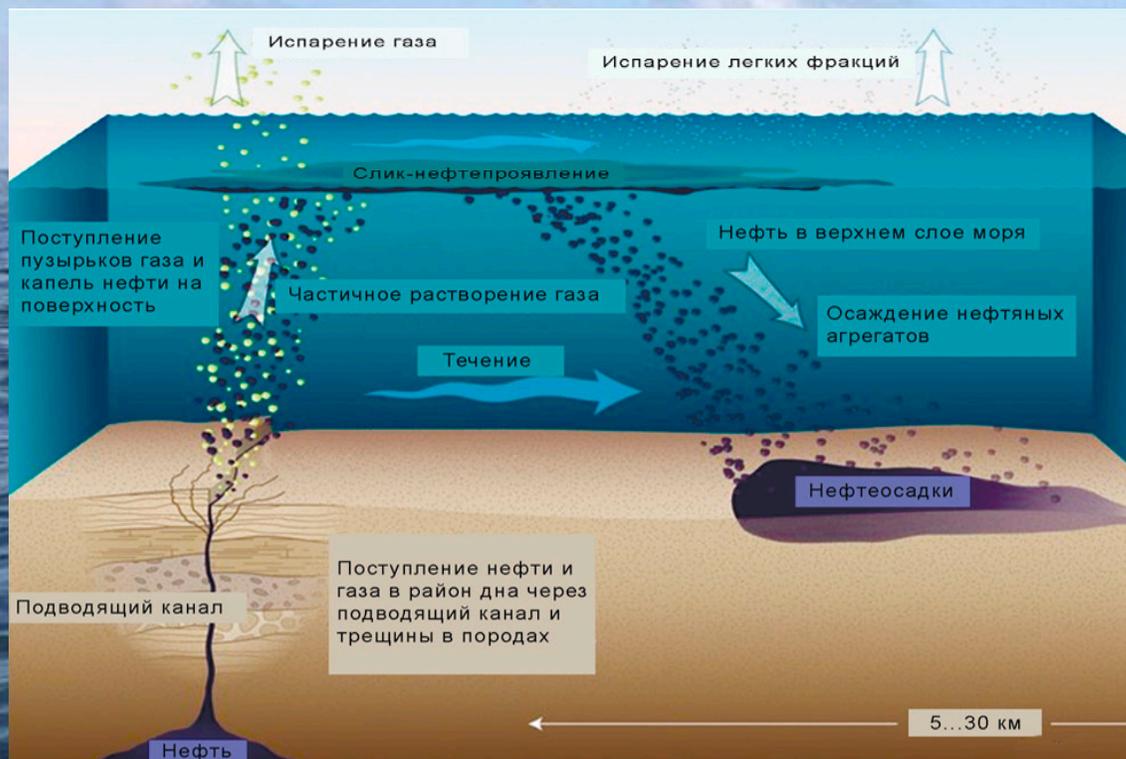
Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет

Научно-методический центр «Информатика риска»

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»



# Механизм формирования нефтепроявлений

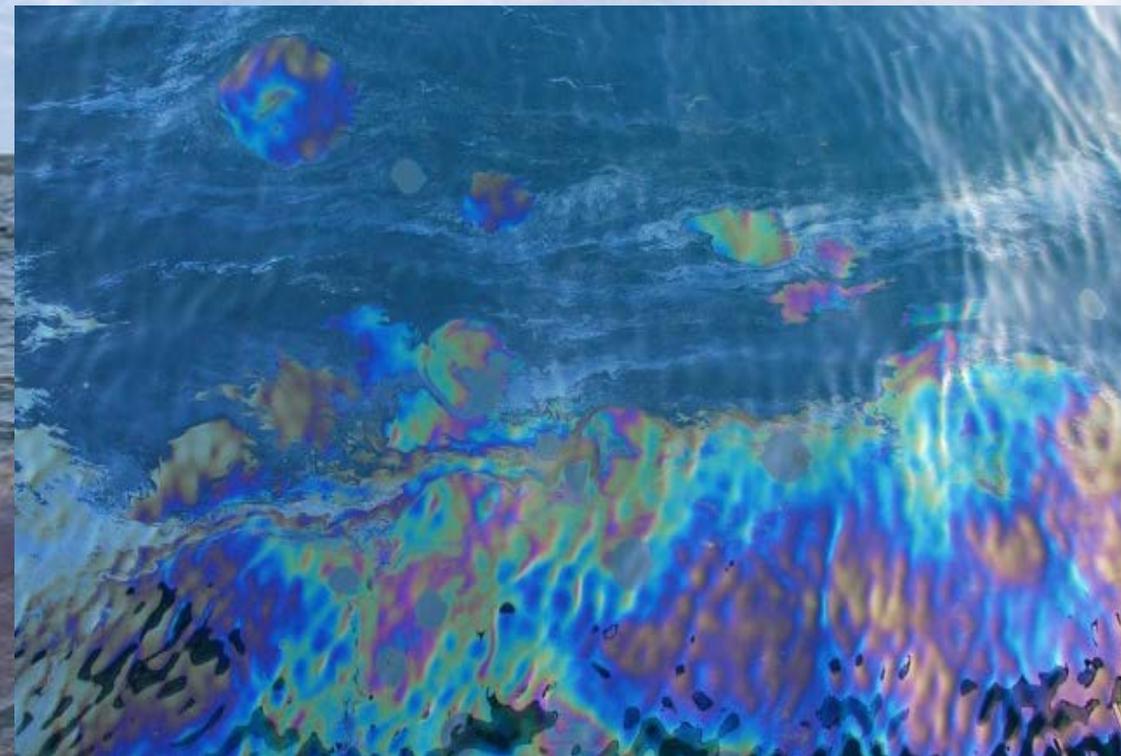
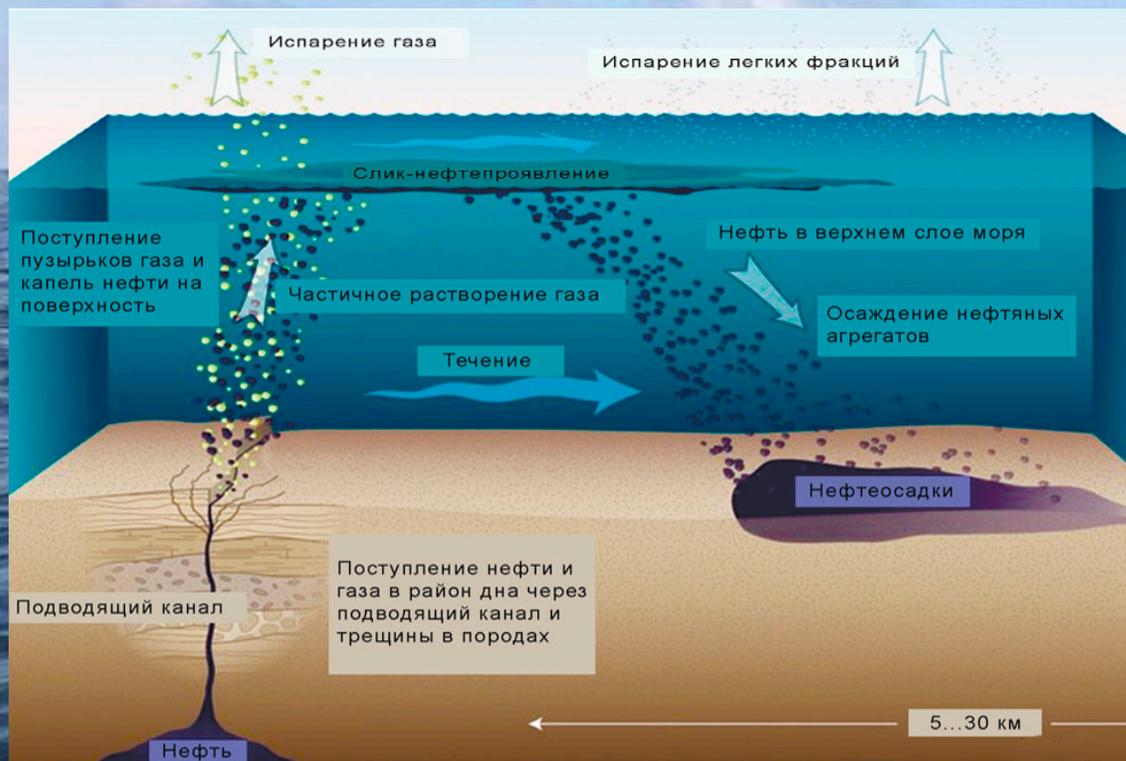


<https://www.whoi.edu/know-your-ocean/ocean-topics/seafloor-below/natural-oil-seeps/>

Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет  
 Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»  
 Научно-методический центр «Информатика риска»

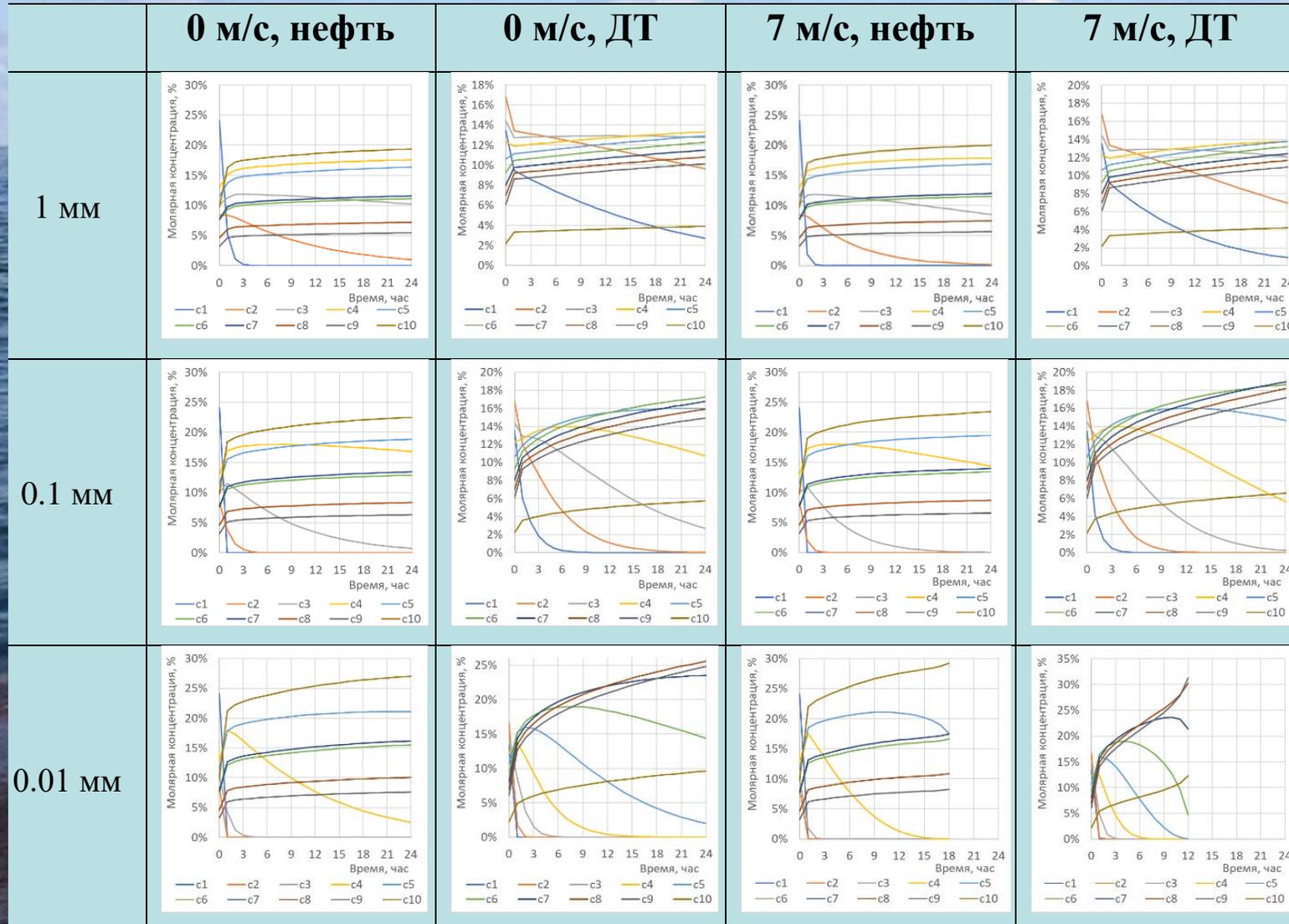


# Механизм формирования нефтепроявлений

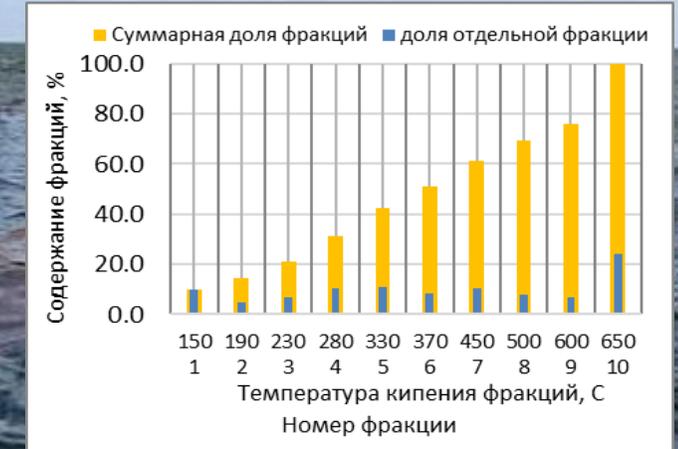


Задача математического эксперимента определить различия в трансформации пленок нефти различной толщины, не исследуя при этом причин, за счет которых пятно нефти на поверхности сформировалось.

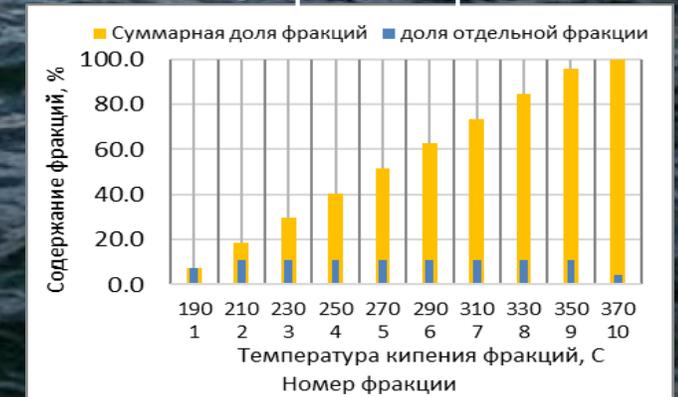
# Изменение фракционного состава нефти и дизельного топлива



## Примеры фракционного состава



### Сырая нефть



### Дизельное топливо

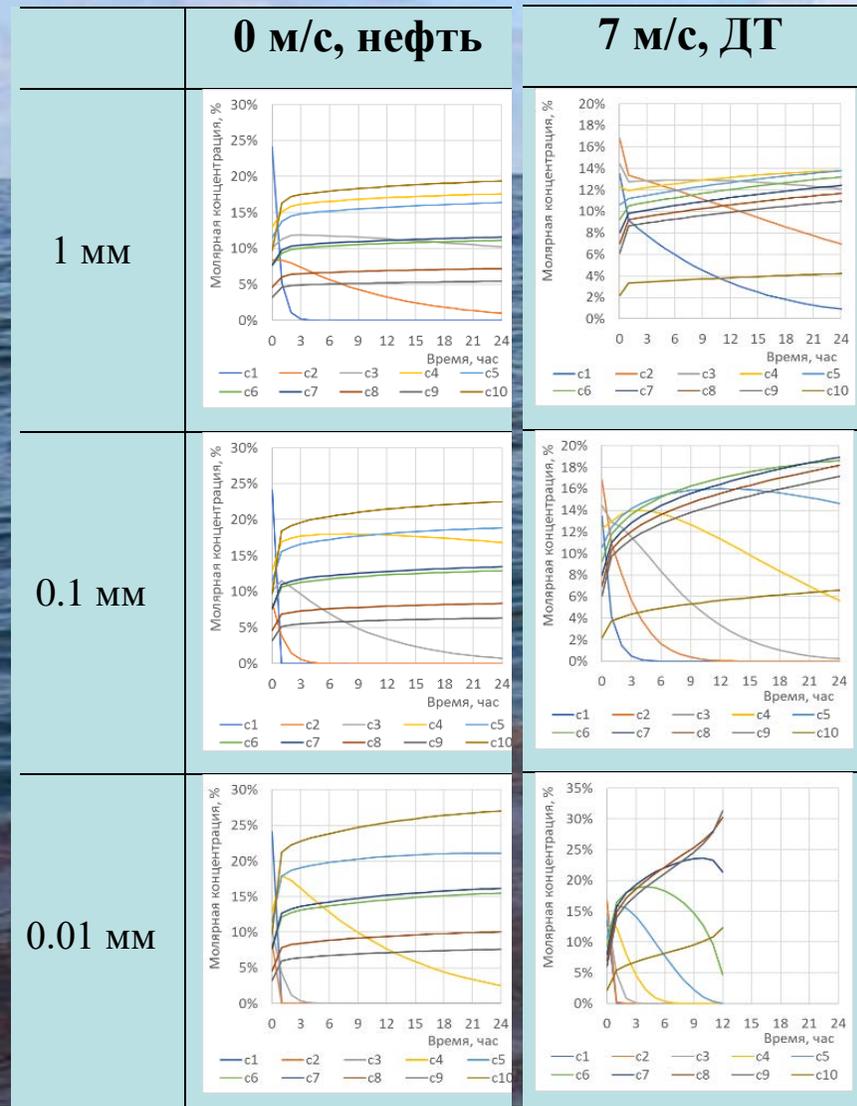
Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»

Научно-методический центр «Информатика риска»



# Процессы выветривания, влияющие на изменения свойств нефти <sup>9</sup>



## Испарение

$$Q_e = \sum_i Q_{ei} = k_m \sum_i (M_i P_i X_i) / (RT_{wK}) \quad (1)$$

## Диспергирование

$$Q_{disp} = \rho_{oil} \cdot h_{oil} \cdot TOR \cdot F_{up}(d_{50}) \cdot F_m(d_{max}, v_d) \quad (2)$$

$$TOR = K_{TOR} u_*^3 g c_T^{-4}$$

## Дробление капель

$$d_{50}^N = A \frac{h_{oil}^{0.4} \sigma_{ow}^{0.6}}{\rho_{oil}^{0.6}} \frac{1 + 0.02 (\mu_{oil} W_{10} / \sigma_{ow})^{0.6}}{0.57 \cdot W_{10}^{1.2}} \quad (3)$$

## Всплытие капель

$$w_d = g \frac{\Delta \rho}{\rho_w} \frac{d^2}{18 \nu_w} \quad (4)$$

Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет

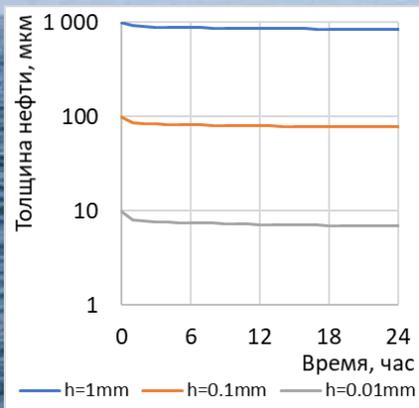
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»

Научно-методический центр «Информатика риска»

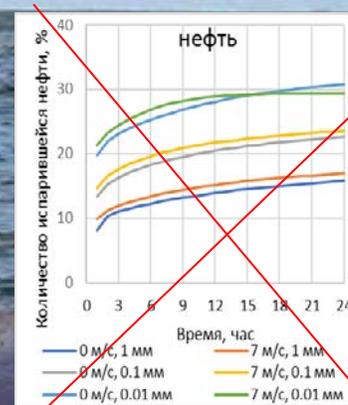
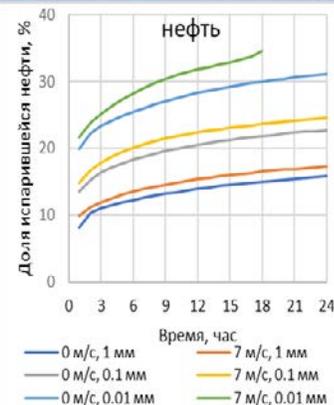
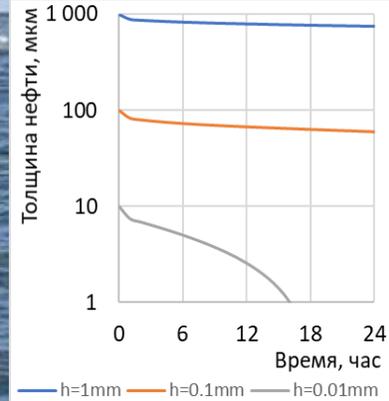


# Результаты моделирования. Изменение толщины и доли испарившейся нефти

Штиль

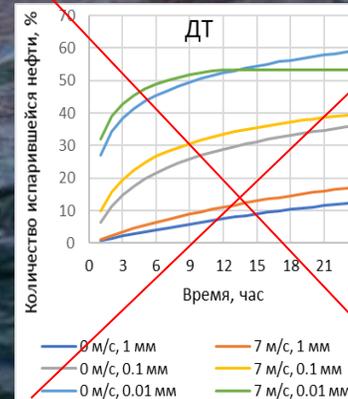
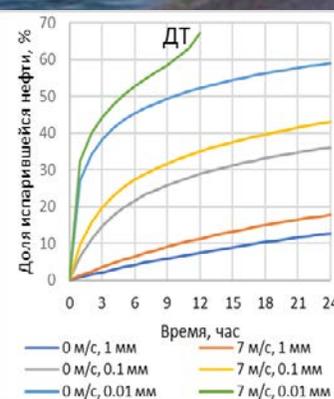
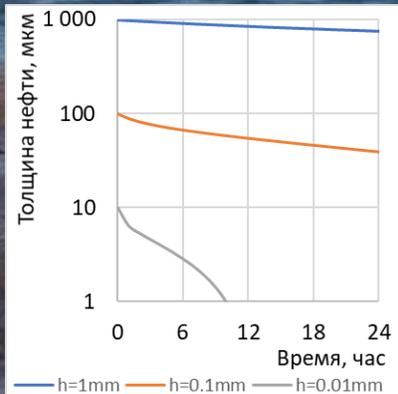
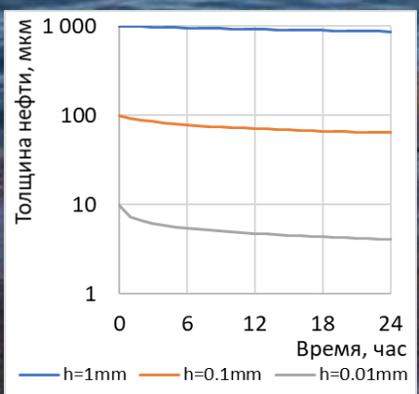


7 м/с



$$\mu_{oil} = \mu_{oil}^{(0)} \exp(a_{ev} F_{ev}) \quad (5)$$

$$F_e(t) = 100\% \cdot \frac{M_e(t)}{M(0)} \quad (6)$$



$$F_e(t) = 100\% \cdot \left(1 - \sum_{i=1}^{nf-1} C_i(t) \frac{C_{nf}(t)}{C_{nf}(0)}\right) \quad (7)$$

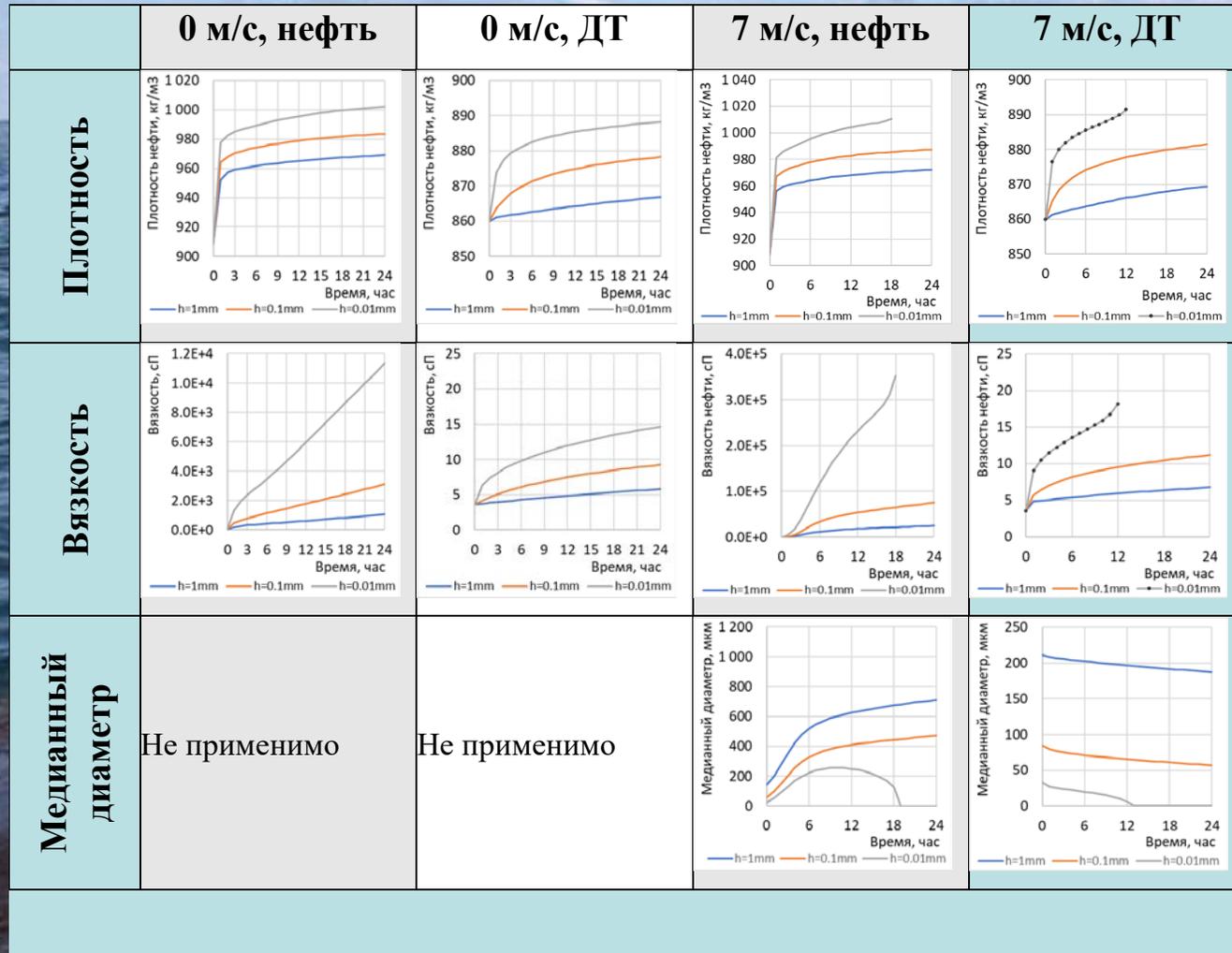
Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет  
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»

Научно-методический центр «Информатика риска»



# Результаты моделирования.

## Изменение плотности, вязкости и медианного диаметра капель



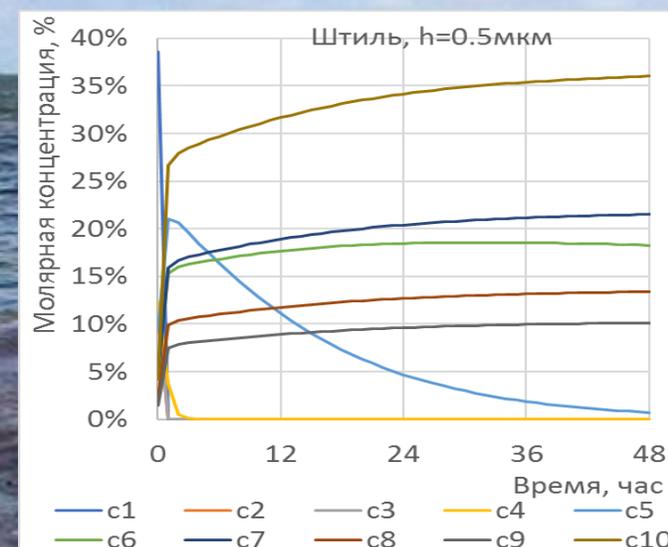
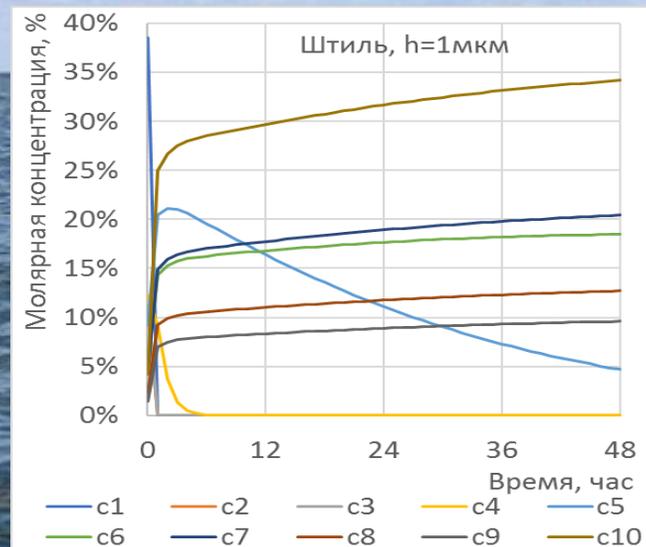
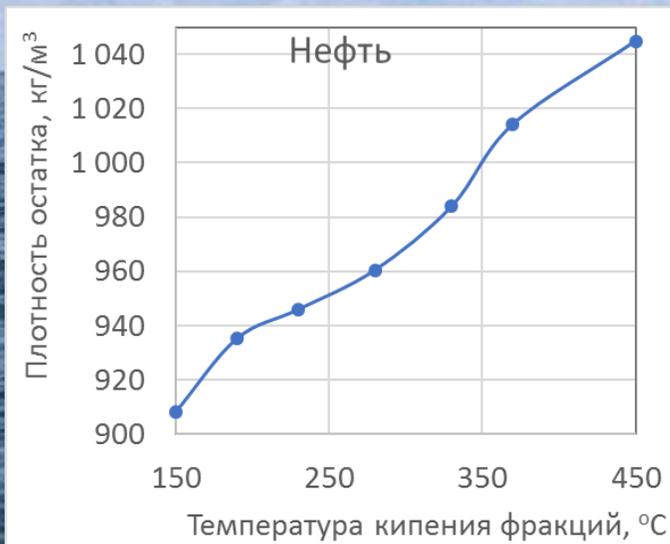
$$\rho_{oil}(t) = m_{oil}(t) / V_{oil}(t) \quad (8)$$

$$m_{oil}(t) = \sum_{i=1}^{N_f} m_i(t) \quad V_{oil}(t) = \sum_{i=1}^{N_f} V_i(t) \quad V_i(t) = m_i(t) / \rho_i$$

$$\mu_{oil} = \mu_{oil}^{(0)} \exp(a_{ev} F_{ev}) \quad (9)$$

$$d_{50}^N = A \frac{h_{oil}^{0.4} \sigma_{ow}^{0.6}}{\rho_{oil}^{0.6}} \frac{1 + 0.02 (\mu_{oil} W_{10} / \sigma_{ow})^{0.6}}{0.57 \cdot W_{10}^{1.2}} \quad (10)$$

# Изменение фракционного состава субмикронных пленок нефти



Номер фракции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура кипения, С	150	190	230	280	330	370	450	500	600	650
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	716	772	801	828	851	868	894	933	1015	1187

Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет  
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»

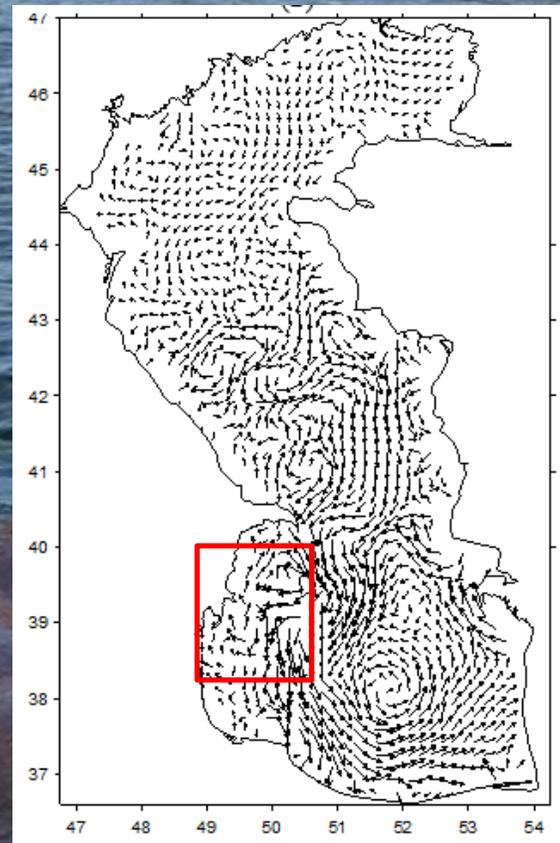
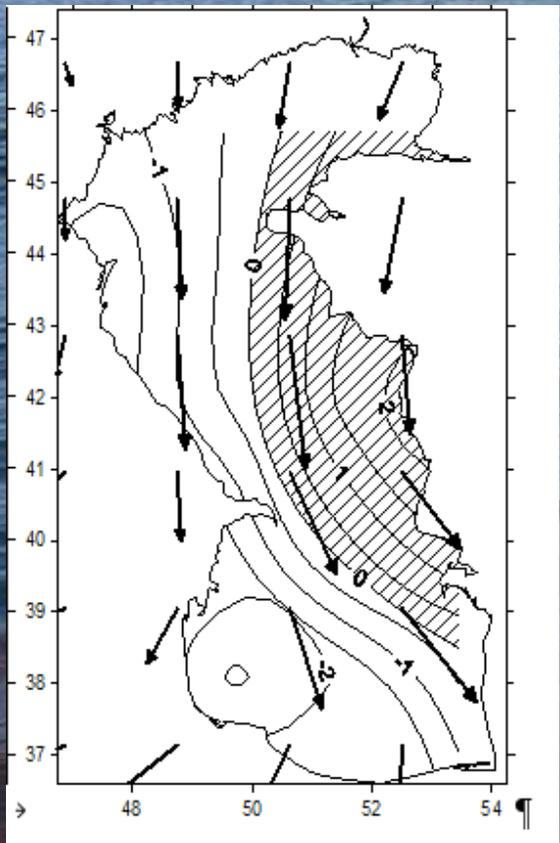
Научно-методический центр «Информатика риска»



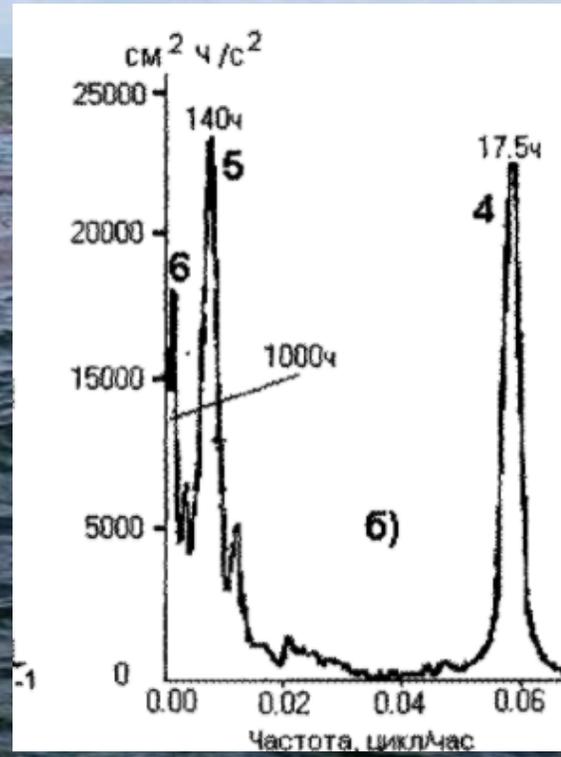


# Общие сведения о гидрометеорологических условия на Каспии

Характерные поля ветра и течений, лето  
(по Тужилкину В.С.)



В динамике вод Каспийского моря роль инерционных колебаний велика и их энергия в этом регионе может достигать 60% энергии переменных течений [Бондаренко, 1993], характерная скорость инерционных движений порядка 20-25 см/с.

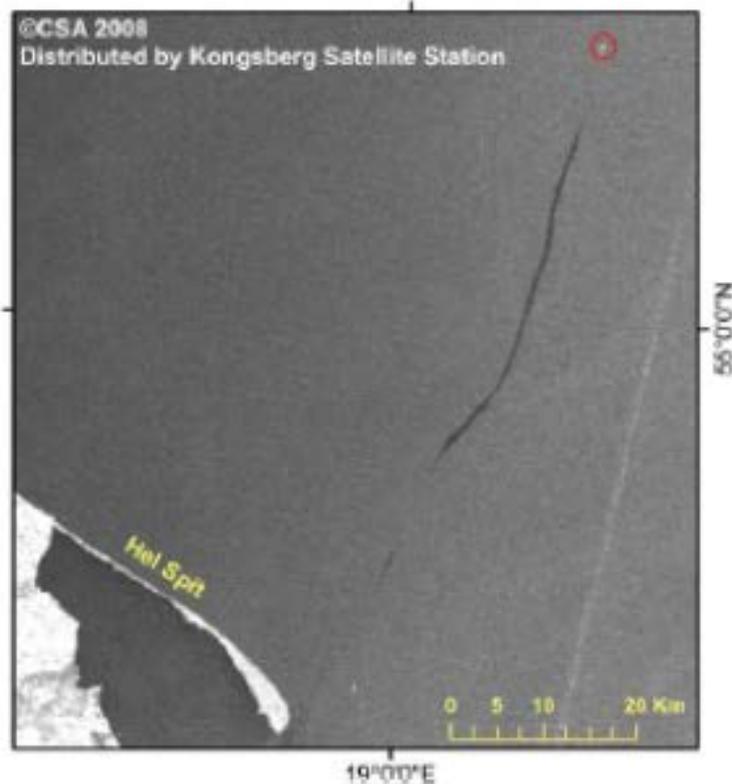


Функции спектральной плотности течений Среднего Каспия в пункте Нефтяные камни (А. Л. Бондаренко)

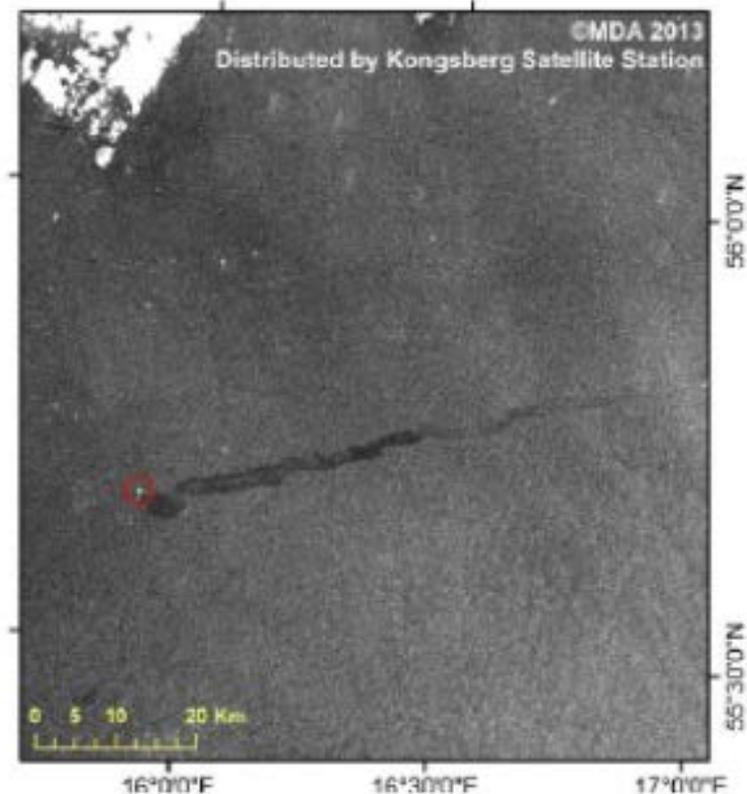




# Судовые следы – тонкие пленки нефтепродуктов



*Figure 5. SAR RADARSAT-1, 24.07.2008, 05:04 UTC.*  
Oil discharge from a moving ship (in red circle). Total length - 46 km,  
total area – 23.3 km<sup>2</sup>



*Figure 6. RADARSAT-2, 20.09.2013, 05:05 UTC.*  
Fresh oil spill from a moving vessel (in red circle).  
Length – 60 km. Total area 92 km<sup>2</sup>

## Выводы

Результаты моделирования поведения тонких пленок нефтепродуктов на поверхности моря дополняют феноменологию нефтепроявлений от естественных источников на поверхности моря.

Испарение многокомпонентной смеси углеводородов быстро меняет компонентный состав субстанции на поверхности моря.

Скорость изменения фракционного состава и связанное с этим процессом увеличение плотности и вязкости нефтепродукта тем выше, чем тоньше пленка нефтепродукта.

Даже в штилевых условиях увеличение плотности нефтяного остатка на поверхности моря до значений плотности, сравнимой с плотностью окружающей воды, происходит за промежуток времени порядка суток и менее.

Спиралевидные конфигурации нефтепроявлений в юго-западной части Каспийского моря объясняются распространением нефти от места выхода на поверхность под действием фоновых течений с наложенными инерционными колебаниями, характерными для Каспийского моря. В основном циклоническая форма спиралей, по-видимому, обусловлена наличием квазипостоянного течения в южной части Каспийского моря, направленного к югу. Протяженность спиралевидных конфигураций зависит от свойств нефти, выходящей на поверхность моря и скорости ветра в период действия источника. Состояние моря, в значительной степени зависящее от скорости ветра, и физико-химические свойства субстанции на поверхности моря будут определять ее время жизни на поверхности. В случае тонких пленок нефти или нефтепродуктов это время может измеряться часам при умеренных ветрах, при слабых ветрах в пределах суток.

Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, Росгидромет

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление»

Научно-методический центр «Информатика риска»



# Спасибо за внимание!

Зацева Сергей  
zatsepa@gmail.com

