

Деформация плёночных сликков на поверхности воды в условиях ветрового волнения

Даниличева О. А., Ермаков С.А., Капустин И. А.

Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 18-17-00224)

Актуальность

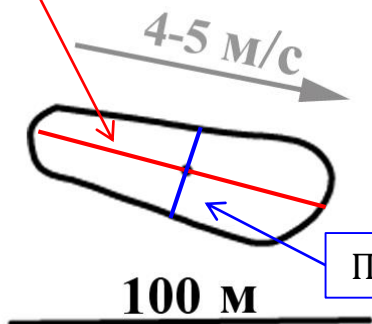
Исследование влияния ветровых волн на эволюцию плёночных slickов на поверхности воды играет важную роль в задачах дистанционного детектирования загрязнений и прогнозирования их распространения в водоёмах. Существующие модели эволюции плёночных разливов не учитывают влияния ветрового волнения на форму slickов, и поэтому понимание процессов, определяющих деформацию плёночных разливов в поле ветрового волнения недостаточно.

В данной работе предложен механизм растекания slickов в присутствии ветрового волнения, с учётом его нелинейности.

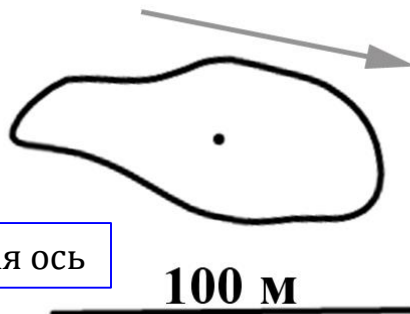


Эксперимент

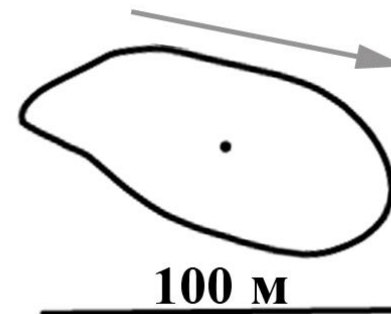
Продольная ось



(a) 22 мин



(б) 37 мин



(в) 60 мин

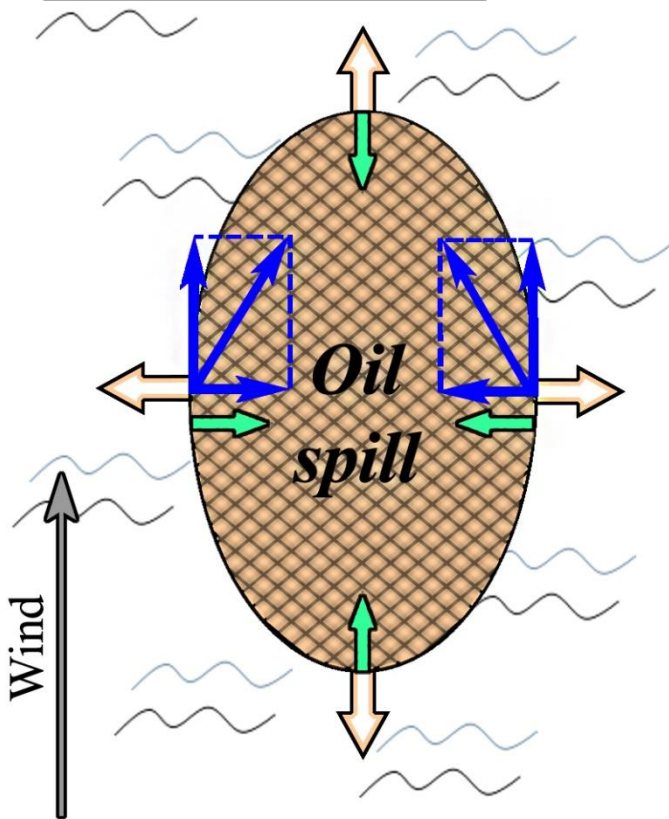
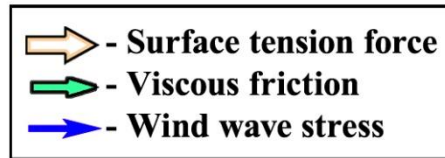


Эксперименты проводились в южной части Горьковского водохранилища. На поверхность воды “мгновенно” выливалось фиксированное количество поверхностно-активного вещества (олеиновой кислоты). Форма полученных пятен регистрировалось при помощи GPS приемника, установленного на моторную лодку, который записывал трек во время оконтуривания пятна. Скорость и направление ветра фиксировалось с помощью акустического анемометра WindSonic, находящегося на плавучей лаборатории ИПФРАН «Геофизик».

Пример эволюции экспериментального плёночного разлива со временем показан на слайде.

Механизм растекания slicka

Движение пленки пренебрежимо малой массы определяется балансом сил поверхностного натяжения, вязких напряжений и напряжений, индуцированных поверхностными волнами:



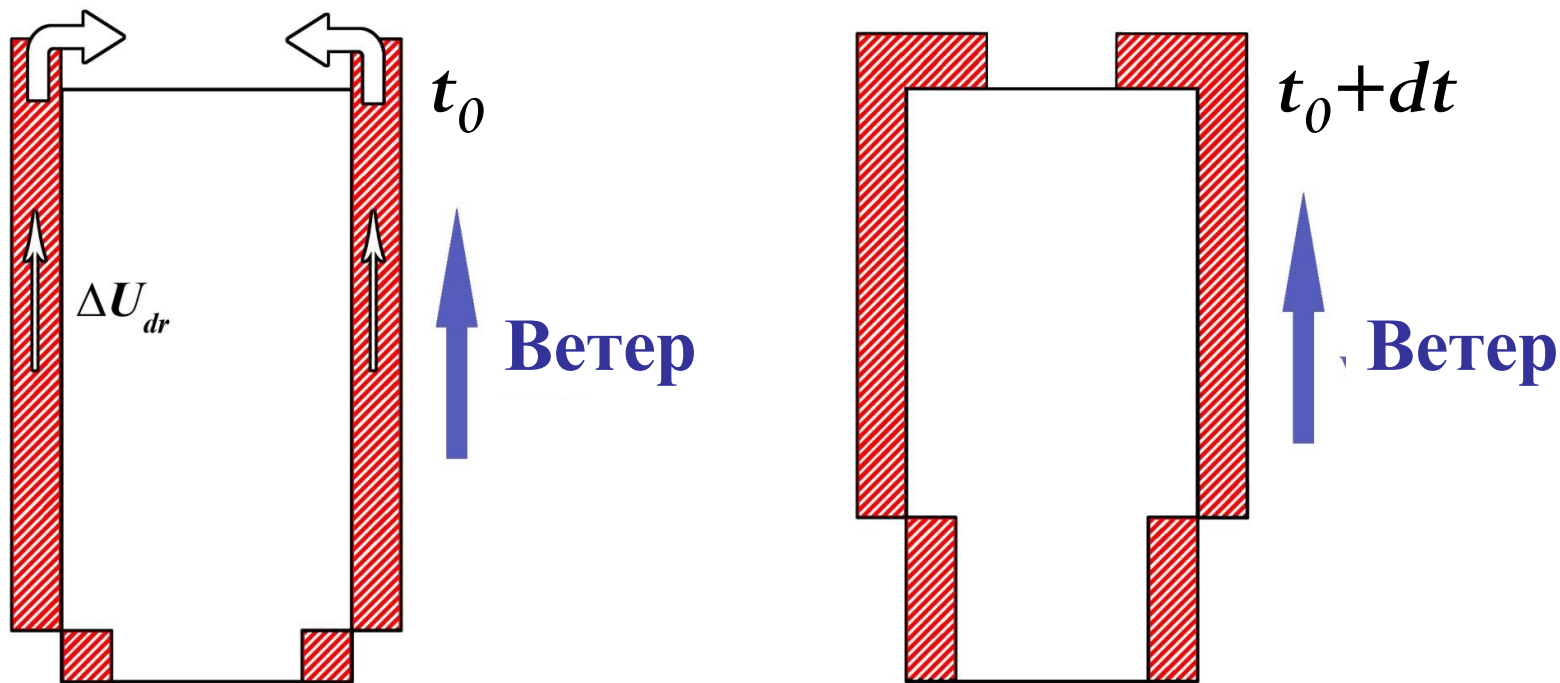
$$\Delta\sigma - A \frac{\mu}{t\sqrt{\nu t}} \left(\frac{L}{2} \right)^2 - B \overline{F}_{ind} \approx 0$$

где
$$\overline{F}_{ind} = \int_0^{L/2} F'_{ind} dx - \int_{L/2}^L F'_{ind} dx$$

$$F'_{ind} = \iint \frac{T_0 k \sin \varphi \Psi_0(k, \varphi)}{K(1 - e^{-(\beta-2\kappa)x/\sin \varphi}) + e^{-(\beta-2\kappa)x/\sin \varphi}} d\varphi dk$$

$\Delta\sigma$ - разность коэффициентов поверхностного натяжения на чистой воде и в области пленки, μ и ν - соответственно динамическая и кинематическая вязкости воды; A и B - некоторые эмпирические коэффициенты; F'_{ind} - сила, индуцированная поверхностными волнами, затухающими в области пленки, β - инкремент роста ветровых волн; x - приращение осей, K - контраст, L - длина оси

Механизм увеличения скорости роста продольной оси или эффект «перетекания»



$$\beta(F_{ind}^{\parallel})_{sb} L_{\parallel}^0 \approx 0.664\alpha \sqrt{\nu\rho} \cdot \Delta U_{dr}^3 \cdot L_{\parallel}^0 \frac{1}{\kappa_{ef}}$$

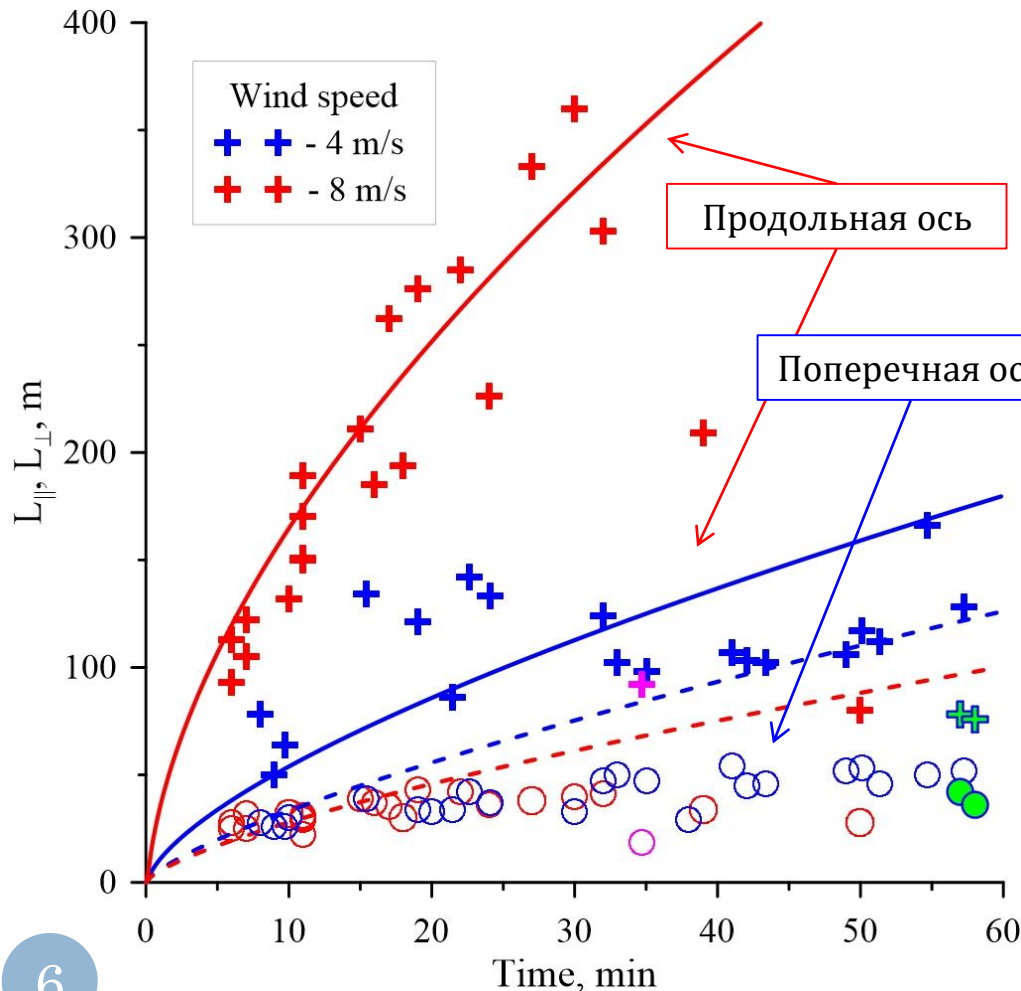
$$\Delta U_{dr}^{down} \cdot L_{\perp} \approx 2\Delta U_{dr} \cdot \frac{1}{\kappa_{ef}} - \text{эффект «перетекания»}$$

$L_{\parallel}^0, L_{\perp}$ - продольная ось без учёта эффекта «перетекания» и поперечная ось, соответственно.

Результаты

$$L_{\parallel}(t) \propto X_d - X_{up}, \text{ где } X_d = X_0(t) + \int \Delta U_{dr}^{down} dt$$

d – подветренная граница,
 up – наветренная граница,
 0 – растекание без
индуцированной силы.



Экспериментальные и теоретические зависимости продольной и поперечной осей слика от времени для разных скоростей ветра. Экспериментальные зависимости продольной (кресты) и поперечной (круги) осей сликов от времени растекания для разных скоростей ветра. Сплошные и пунктирные линии - теоретические зависимости для продольной и поперечной осей, соответственно.

Фиолетовый символы - аэросъемка слика при скорости ветра 4 м/с. Зелёные символы - анализ спутникового оптического изображения (Sentinel-2) искусственных сликов при скорости ветра 4 м/с.

Выводы

- Выполнен ряд натуральных экспериментов с искусственными сликами, которые создавались при “мгновенном” выливании фиксированного количества олеиновой кислоты на поверхность воды с моторной лодки.
 - Получено, что ось пятна, ориентированная поперек ветра, растёт достаточно медленно со временем и слабо зависит от скорости ветра. Продольный размер разлива увеличивается со скоростью ветра и растёт быстрее со временем, по сравнению с ростом при умеренном ветре. Модель, описывающая эволюцию сликов в реальных условиях, основана на воздействии дополнительных напряжений, индуцированных ветровыми волнами, затухающими в области плёнки.
- Объяснена зависимость роста продольной оси пятна от скорости ветра за счёт эффекта “перетекания” вещества с боковых сторон слика к его подветренной границе под действием индуцированных напряжений, направленных по направлению ветра.
 - Учтены рост амплитуды мелкомасштабных волн из-за ветрового воздействия и зависимость углового распределения ветровых волн от волнового числа как в спектре, так и в инкременте роста волн.