

Исследование динамики разливов поверхностно-активных веществ в условиях ветрового волнения

Даниличева О.А.(1), Ермаков С.А.(1,2), Капустин И.А.(1), Мольков А.А.(1), Дмитриева М.С.(1), Лещев Г.В.(1)

(1) Институт прикладной физики РАН, Нижний Новгород, Россия

(2) Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Актуальность

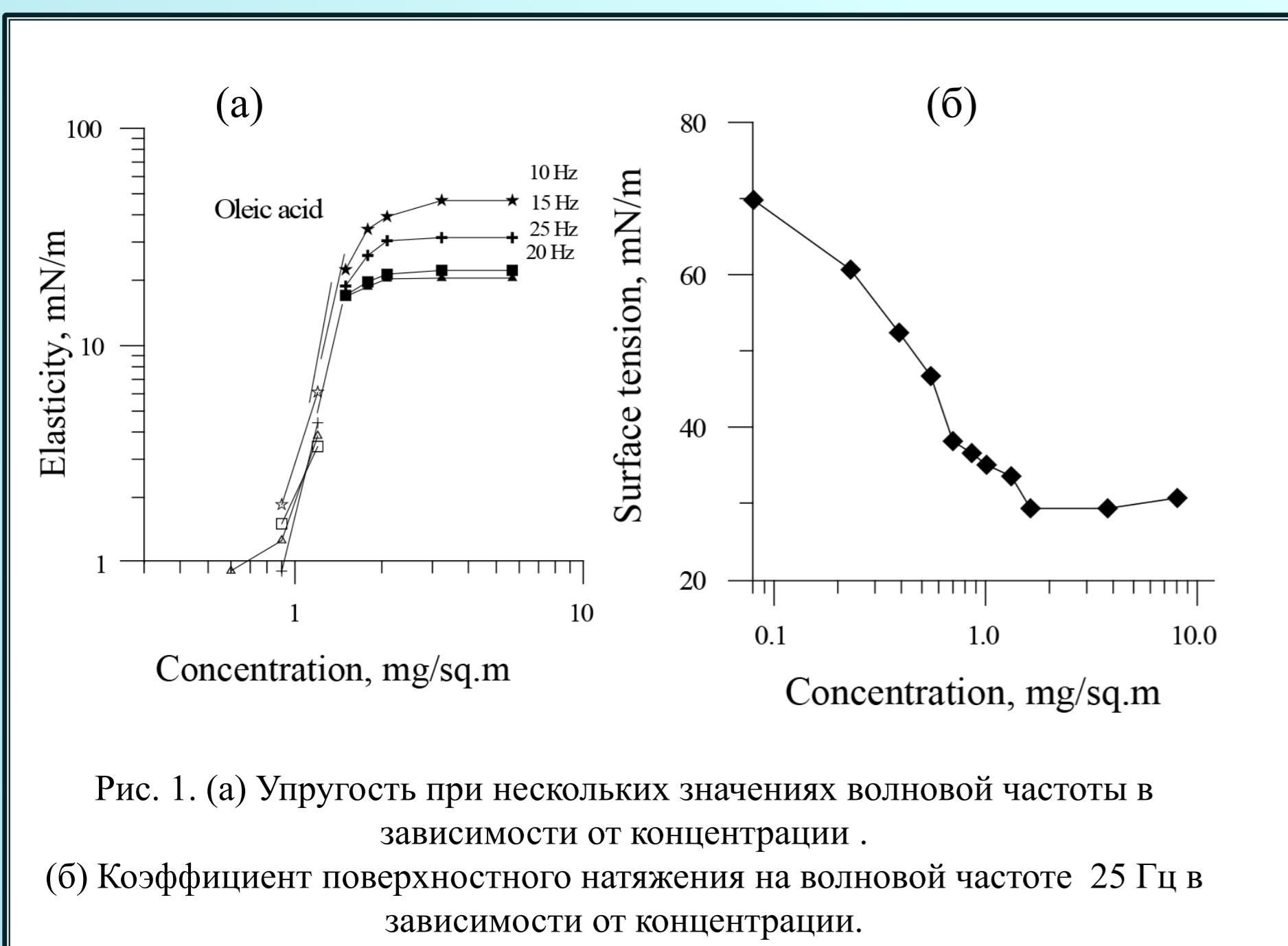
Прогнозирование эволюции разливов пленок поверхностно-активных веществ (ПАВ) и нефтепродуктов является важной частью проблемы диагностики загрязнений океана. Однако, в настоящее время наше понимание процессов, контролирующих динамику плёнок на поверхности воды недостаточно, поскольку систематические эксперименты по эволюции плёнок очень редки.

Цель работы

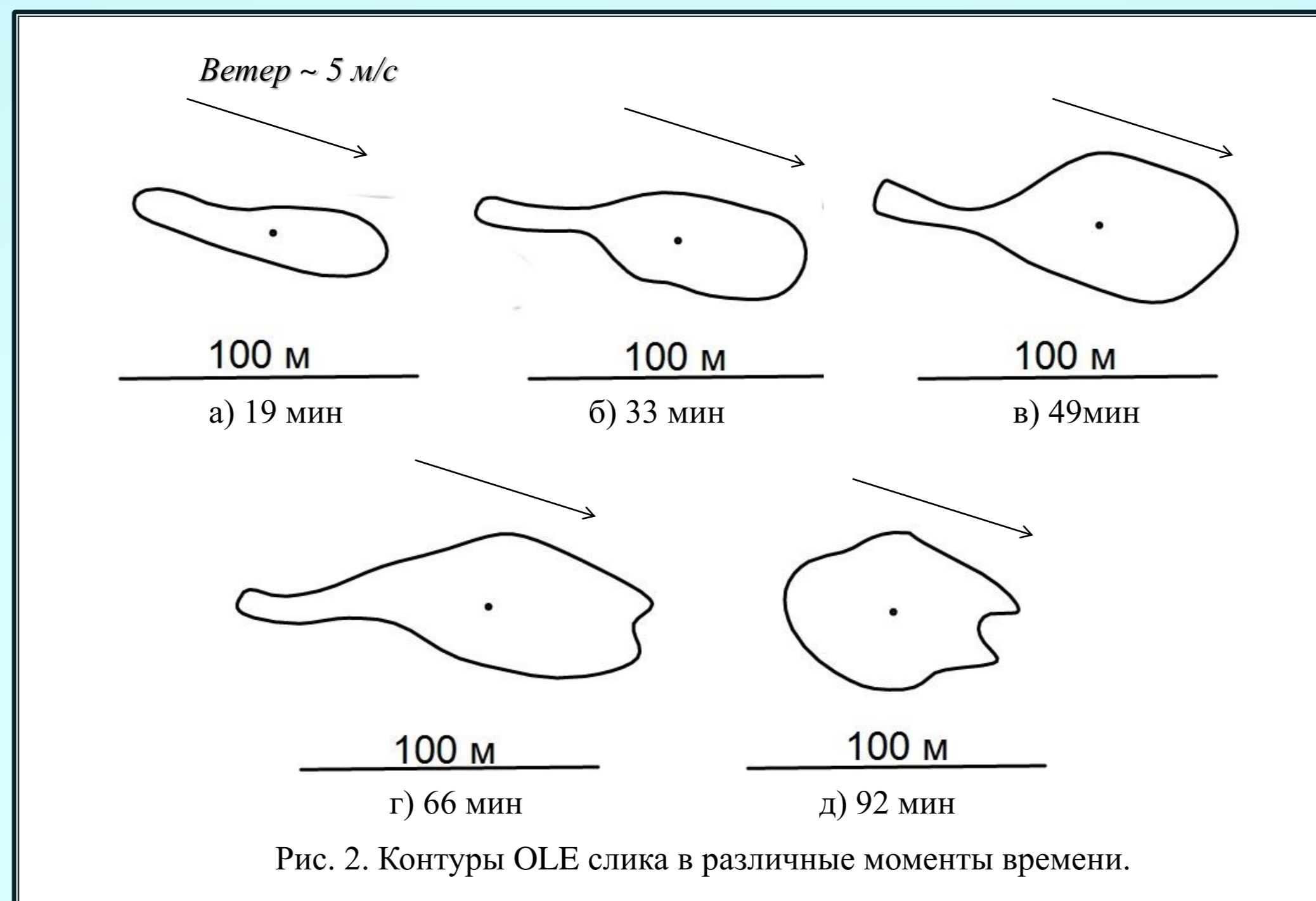
Исследование динамики плёночных разливов в условиях ветрового волнения.

Эксперимент

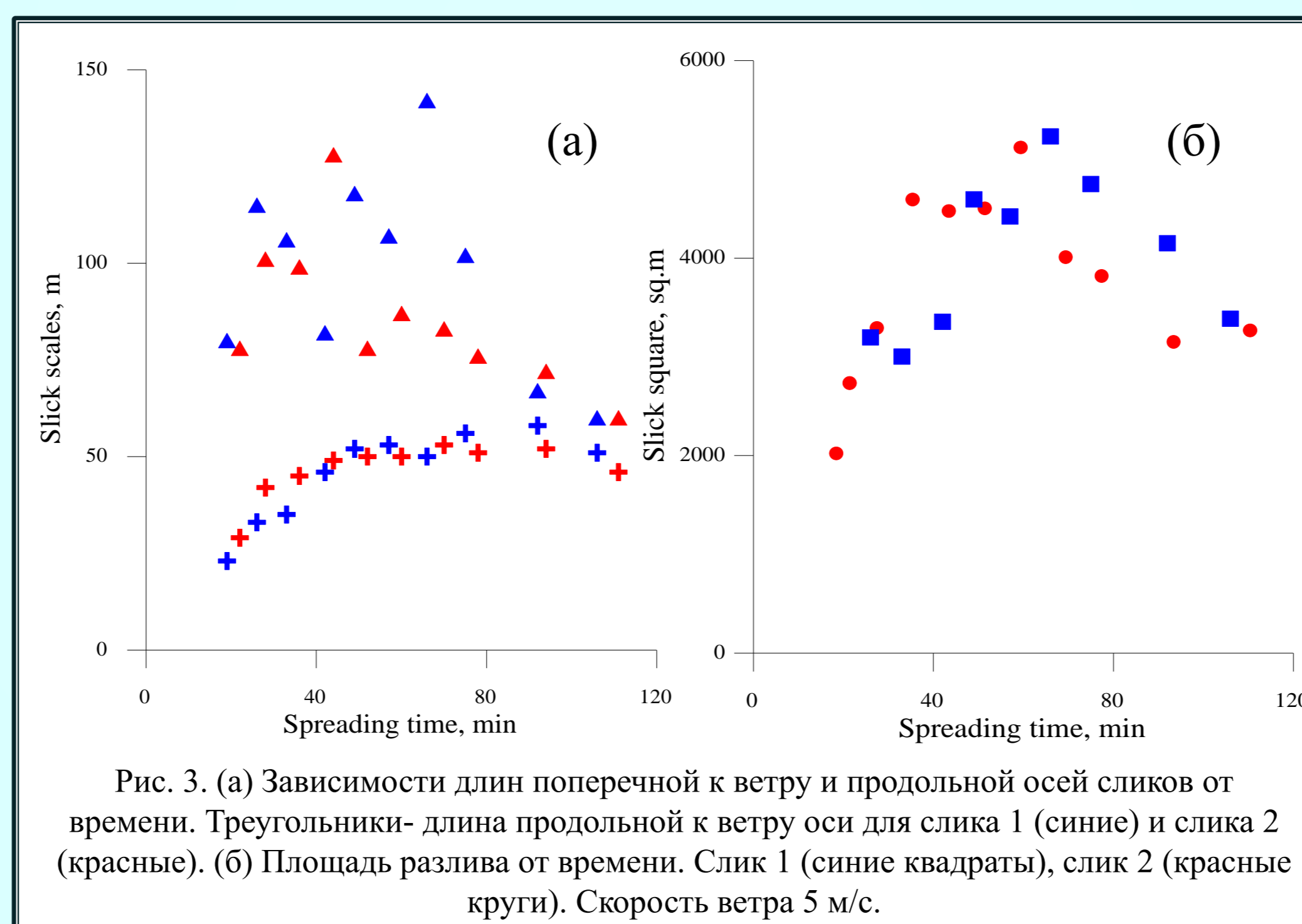
Был проведен ряд натурных экспериментов на Горьковском водохранилище. Стики создавались при “мгновенном” выливании фиксированного количества олеиновой кислоты (OLE) на поверхность воды. А их пространственно-временная эволюция регистрировалась с помощью GPS, который, находясь на лодке, записывал трек во время оконтуривания пятна. Физические характеристики OLE плёнок, такие как упругость и поверхностное натяжение, были исследованы до проведения экспериментов в лабораторных условиях. На рис.1 изображены упругость и коэффициент поверхностного натяжения OLE плёнки в зависимости от концентрации поверхностно-активного вещества.



Результаты



Из рис. 2 видно, что растекание слика асимметрично, то есть разлив вытянут по ветру и его площадь увеличивается в пределах часа. Далее разлив становится более симметричным и его радиус и площадь начинают уменьшаться.



Из рис. 3(а) можно заметить, что ось, поперечная направлению ветра изначально растёт, а далее принимает постоянное значение на довольно больших временах растекания. Продольная ось сначала растёт со временем, потом достигает некоторого максимального значения, и далее убывает. В результате площадь слика демонстрирует немонотонную зависимость от времени, то есть площадь растёт, а далее уменьшается с увеличением времени (рис.3(б)).

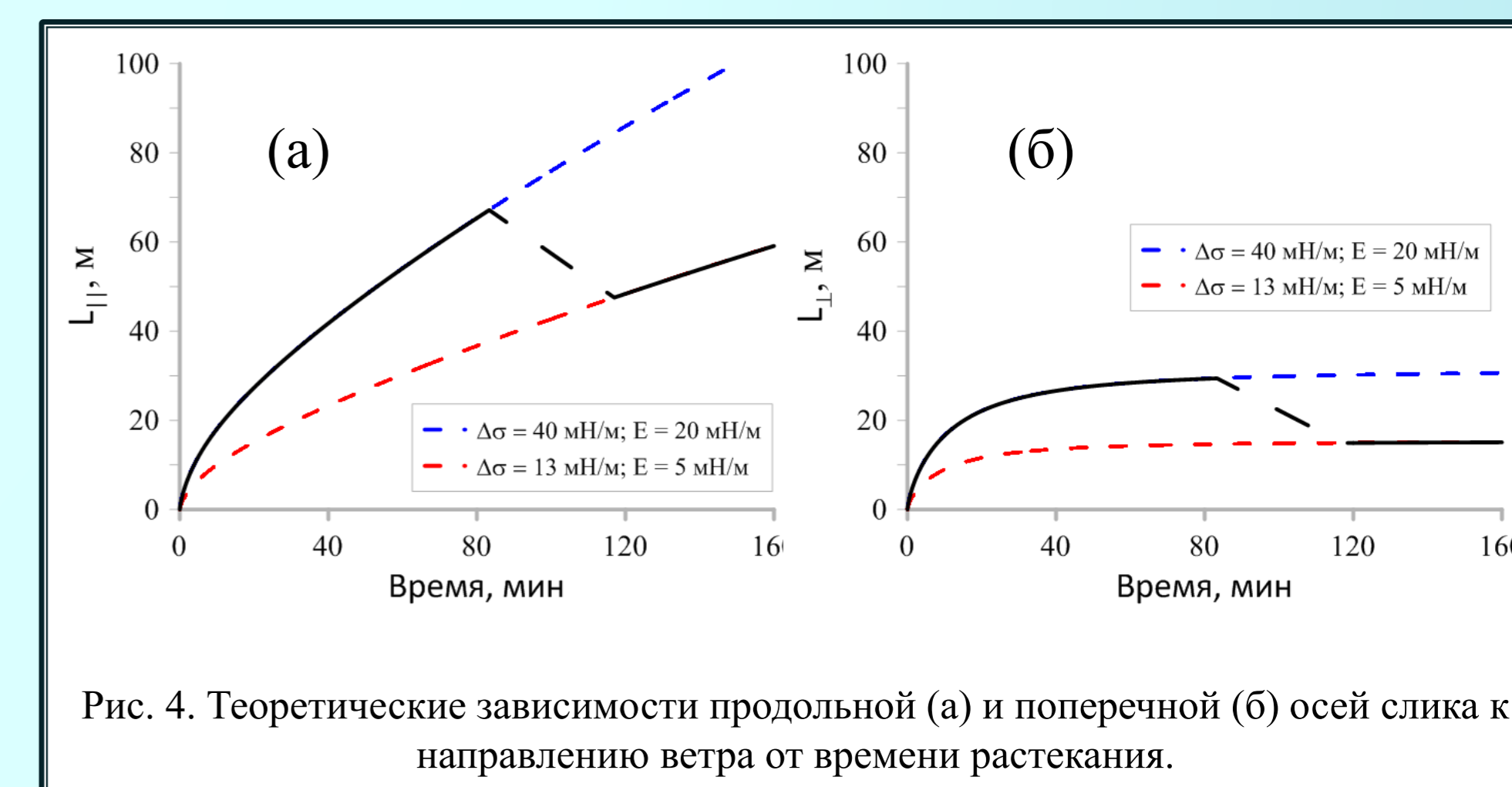
Теоретический анализ

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

$$\Delta\sigma - \alpha \frac{\mu\Delta l_i}{t\sqrt{vt}} \Delta l_i - \bar{F}_{ind} \approx 0,$$

Где $\Delta\sigma$ - разность коэффициентов поверхностного натяжения на чистой воде и в области пленки, μ и ν - соответственно динамическая и кинематическая вязкости воды, α - некоторый эмпирический коэффициент, Δl_i - приращение продольной ($i=\parallel$) к направлению ветра и поперечной ($i=\perp$) осей. Сила F_{ind} связана с воздействием напряжений, индуцированных ветровыми волнами, величина которых определяется интенсивностью волн и характеристиками плёнки.

Чтобы объяснить эффект уменьшения площади пятна, мы учли зависимость упругости пленки и коэффициента поверхностного натяжения от концентрации ПАВ (рис. 1), поскольку последняя уменьшается из-за увеличения площади пятна в процессе растекания. Мы рассмотрели простейший случай, когда упругость и поверхностное натяжение довольно быстро уменьшаются с увеличением площади разлива на некоторой стадии распространения пленки (рис. 4).



Когда концентрация поверхностно-активного вещества снижается во время процесса растекания пленки, оси слика могут переключаться с верхних кривых на нижние (рис. 4). Это качественно соответствует переходу от стадии расширения к стадии сжатия (по крайней мере, стабилизации).

Выводы

По полученным результатам могут быть сделаны следующие выводы:

- На начальном этапе разлив поверхностно-активного вещества принимает асимметричную форму, вытягиваясь по направлению ветра. Продольная ось слика со временем растёт быстрее, чем поперечная.
- На более позднем этапе эволюция пятна ПАВ характеризуется процессом сжатия.
- Модель эволюции разлива с учетом волновых напряжений, индуцируемых ветровыми волнами, и учётом изменения упругости пленки и поверхностного натяжения при растекании слика, качественно согласуется с наблюдениями.