

Описание выполненных в 2018 г. работ и полученных научных результатов

1. Исследованы зависимости коэффициента затухания гравитационно-капиллярных волн (ГКВ) от толщины пленок нефтяной эмульсии на поверхности воды. Эти пленки характеризуются существенной неоднородностью, наиболее сильно проявляющейся в области толщин порядка 1 мкм - 0.1 мм, масштабы неоднородностей меняются от единиц мм до единиц см. Коэффициент затухания ГКВ в данной области толщин, однако, оказывается практически независимым от характеристик неоднородностей. Теоретические расчеты коэффициента затухания ГКВ показали его слабую зависимость от толщины для тонких пленок, что может объяснять слабое влияние неоднородностей на затухание ГКВ. Для более толстых нефтяных пленок коэффициент затухания ГКВ растет с толщиной и при величинах последней порядка 1-2 мм достигает максимума. На основе сравнения численных расчетов и эксперимента получены оценки вязкоупругих характеристик нефтяных пленок.

Выполнено лабораторное моделирование влияния неоднородности толщины пленок на затухания ГКВ. В качестве модельных пленок использовался насыщенный монослой ПАВ - олеиновой кислоты, соседствующий с каплями (линзами) ПАВ макроскопической толщины и варьируемой площади. Показано, что затухание ГКВ возрастает с ростом относительной площади ‘линзовой фазы’, начиная с величин 0,4-0,5. Дано физическое объяснение эффекта, основанное на действии линз как эффективных стенок для ГКВ, уменьшающих относительную площадь монослоя и увеличивающих вклад стенок в общее затухание. Предложена эмпирическая зависимость эффективной упругости неоднородной пленки от относительной площади ‘линзовой фазы’.

2. В лабораторных экспериментах в овальном ветроволновом бассейне (ОВВБ) ИПФ РАН исследован процесс перемешивания пленок ПАВ в поле ветрового дрейфового течения. Измерены характеристики турбулентности дрейфового течения, получены зависимости характеристик пленок ПАВ (олеиновая кислота) от скорости ветра. Показан рост коэффициента поверхностного натяжения (КПН) и падение упругости пленки с ростом скорости ветра, что доказывает усиление процессов перемешивания ПАВ в поле ветрового дрейфового течения. В лабораторных экспериментах по изучению перемешивания пленок ПАВ обрушающимися волнами установлено, что начиная с момента обрушения волн и до времен порядка 15-20 мин. КПН заметно возрастает, а упругость падает, что указывает на разрушение пленки и перенос ПАВ вглубь воды. С ростом амплитуды обрушающихся волн усиливается процесс разрушения пленки, ее перемешивания и ‘очистения’ поверхности воды. На временах более 20-30 мин. после

прохождения обрушающихся волн начинается процесс восстановления пленки.

3. Выполнены натурные эксперименты по растеканию пленок при малых и умеренных скоростях ветра в отсутствие сильных обрушений ветровых волн. Получено, что скорости растекания пленок определяются, прежде всего, скоростью ветра и слабо меняются при изменениях КПН, упругости пленок, температуры воды в практически важных диапазонах изменения этих параметров. Установлено, что растекание пятна ПАВ и рост во времени его продольной и поперечной к ветру осей отвечает начальной стадии эволюции сликов, далее оси достигают некоторых постоянных величин, а последующая стадия характеризуется процессом сжатия слика - уменьшением площади и тенденцией к аксиальной симметрии формы пятна. Развита модифицированная физическая модель эволюции слика, учитывающая зависимость КПН и упругости пленки от концентрации ПАВ и изменения этих характеристик пленки в процессе растекания. Модель показала удовлетворительное количественное согласие с данными экспериментов. Определенные в натурных экспериментах скорости движения “центра тяжести” сликов в целом превысили традиционную оценку скорости ветрового дрейфа для чистой поверхности воды. Это позволяет полагать, что слики движутся быстрее окружающего поверхностного слоя воды.

4. Сделана подборка спутниковых данных о морских сликах различной природы и с различной структурой границы, в первую очередь с “гребенчатой структурой” (ГС). На основе анализа спутниковых изображений сликов, а также данных натурных экспериментов с искусственными сликами на Черном море установлено, что ГС формируются на наветренной границе сликов, параллельны ветру и характерны как для пленок нефтепродуктов, так и биогенных пленок. Характерные поперечные масштабы ГС близки к масштабам ветровых полос - ленгмюровских циркуляций (ЛЦ). Предложено физическое объяснение механизма формирования ГС, основанное на перераспределении вещества пленки в поле течений, связанных с ЛЦ.

На основе подбора и анализа последовательных спутниковых изображений одних и тех же сликов, оценены скорости дрейфа сликов. В частности, оценка скорости движения слика в поле ветрового дрейфа превысила известную из литературы оценку дрейфа поверхностного слоя воды. Это, возможно, связано с тем, что слики движутся под действием ветра быстрее окружающей воды.

5. В ходе контролируемых лабораторных экспериментов по радиолокационному (РЛ) зондированию ГКВ см-диапазона в присутствии пленок ПАВ установлено, что в доплеровском спектре РЛ сигнала в области частот 50-120 Гц могут наблюдаться пики,

величина которых сильно зависит от упругости пленки. Эти пики достаточно хорошо выражены для пленок с малой упругостью (менее 3-4 мН/м), при этом, как показали измерения, вблизи гребней и на переднем склоне ГКВ достаточно отчетливо выражены и нелинейные структуры волнового профиля (НСВП) - паразитная рябь и toe/bulge структуры. С ростом упругости пленок увеличивается затухание волн и уменьшаются наклоны НСВП, при этом же уменьшается и уровень пиков в доплеровском спектре. Показано, что на воде, покрытой пленкой с малой упругостью, интенсивности сигнала на вертикальной (ВВ) поляризации сравнимы с интенсивностью сигнала на горизонтальной (ГГ) поляризации, соответственно, поляризационное отношение имеет величину, близкую к 1, при этом на профиле ГКВ, как правило, наблюдаются toe/bulge структуры с большими величинами наклонов. Это позволяет заключить, что такие структуры и дают основной вклад в рассеяние, которое оказывается почти неполяризованным. Для пленок с большей упругостью (более 5-10 мН/м), toe/bulge структуры, как показали эксперименты, сильно сглаживаются, поляризационное отношение увеличивается, соответственно, вклад неполяризованной компоненты в рассеяние микроволн уменьшается и возрастает относительный вклад брэгговского рассеяния.

6. Получены новые данные натуральных экспериментов по РЛ зондированию искусственных пленочных сликов. Получено, что контрасты для брэгговской и неполяризованной компонент РЛ сигналов Х-, С-, S-диапазонов сравнимы по порядку величины и демонстрируют схожую зависимость от волнового числа, а именно монотонный рост для случаев «по ветру» и «навстречу ветру» и слабое спадание для случая «поперек ветра». Подавление брэгговской компоненты рассеяния обусловлено вязким затуханием резонансной брэгговской ряби, уменьшение неполяризованной компоненты связывается с воздействием пленки на нелинейные ГКВ см-дм-диапазонов, в том числе на паразитную рябь и «bulge» и «toe» структуры на профиле ГКВ. С ростом скорости ветра контрасты сликов как для брэгговской, так и для неполяризованной компонент, уменьшаются. Показано, что интенсивности брэгговской и неполяризованной компонент рассеяния варьируются вдоль профиля длинных ветровых волн. Брэгговская компонента слабо модулируется длиной волной и доминирует вблизи впадин длинных волн. Неполяризованная компонента характеризуется появлением сильных пиков (spikes) вблизи гребней длинных волн, очевидно благодаря усилению микрообрушения ветровых ГКВ см-дм диапазона.