

Экспериментальное исследование процесса выноса поверхностно-активных веществ всплывающими в жидкости пузырьками газа в приложении к проблеме обнаружения утечек из подводных газопроводов



М.В. Смирнова^{1,a} И.А. Капустин^{2,b} Т.Н. Лазарева²

¹ ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта», Россия, 603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5

² Институт прикладной физики Российской академии наук, 603950, г. Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46.

E-mail: ^aigoninam@yandex.ru, ^bkapustin-i@yandex.ru

Актуальность работы связана с необходимостью решения задач:

- Разработка методов обнаружения подводных пузырьковых течений, возникающих вследствие аварий на подводных трубопроводах или при несанкционированном заглубленном сбросе сточных вод;
- подготовка общей научной основы для разработки численных моделей технических систем и природных процессов;
- изучение процесса формирования сликов - областей концентрирования пленок органических веществ, которые приводят к выглаживанию ветровой ряби и, тем самым, визуализации процессов на оптических и радиолокационных, в том числе, спутниковых, изображениях поверхности океана и внутренних водоемов.

Целью настоящей работы является

исследование процесса выноса поверхностно-активных веществ всплывающими в жидкости пузырьками газа

Задачами работы являются:

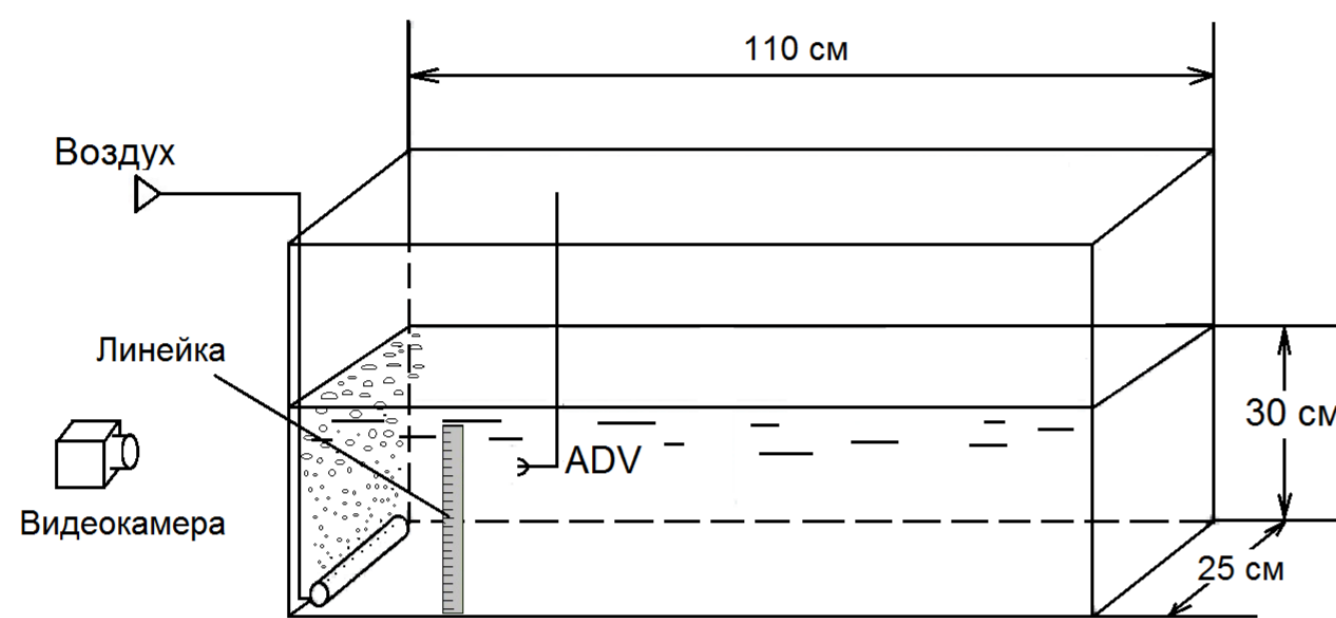
- Разработка экспериментальной установки и методики экспериментов;
- Исследование особенностей структуры течений вблизи пузырьковой области;
- Исследование характеристик пленки, образуемой на поверхности воды вблизи пузырькового потока.

1. Схема экспериментальной установки

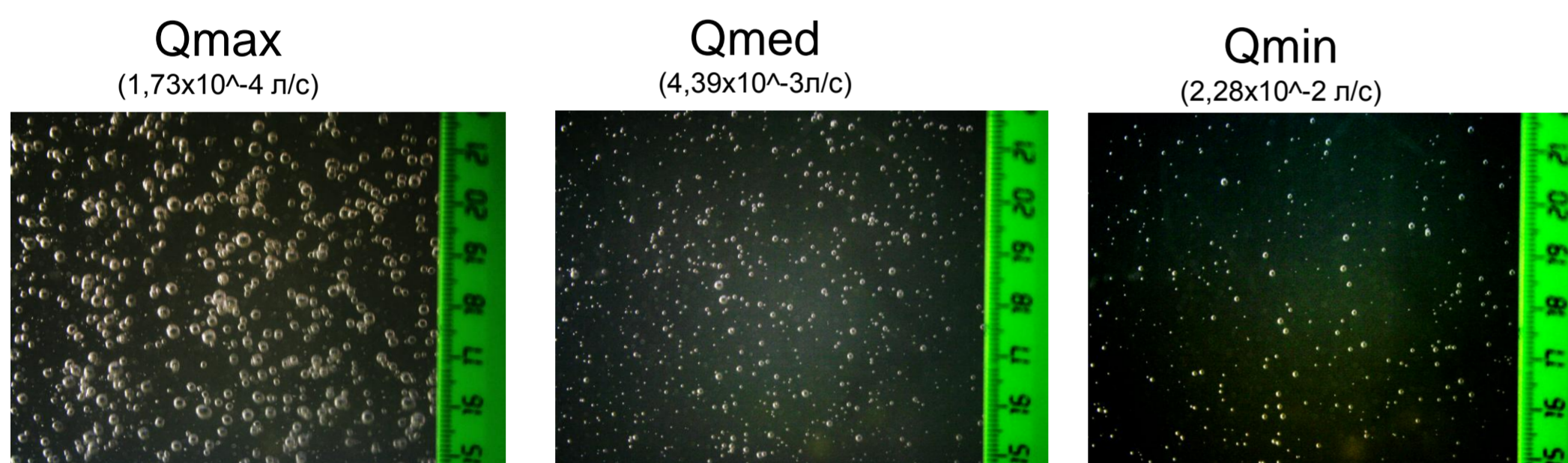
Формирование плоского пузырькового потока: компрессор + эжектор + трубка с щелевидной прорезью шириной 0,5 мм.

Измерение средних скоростей течений: акустический доплеровский велосиметр (ADV(16-MHz)) + частицы нейтральной плавучести со средним диаметром 10 мкм.

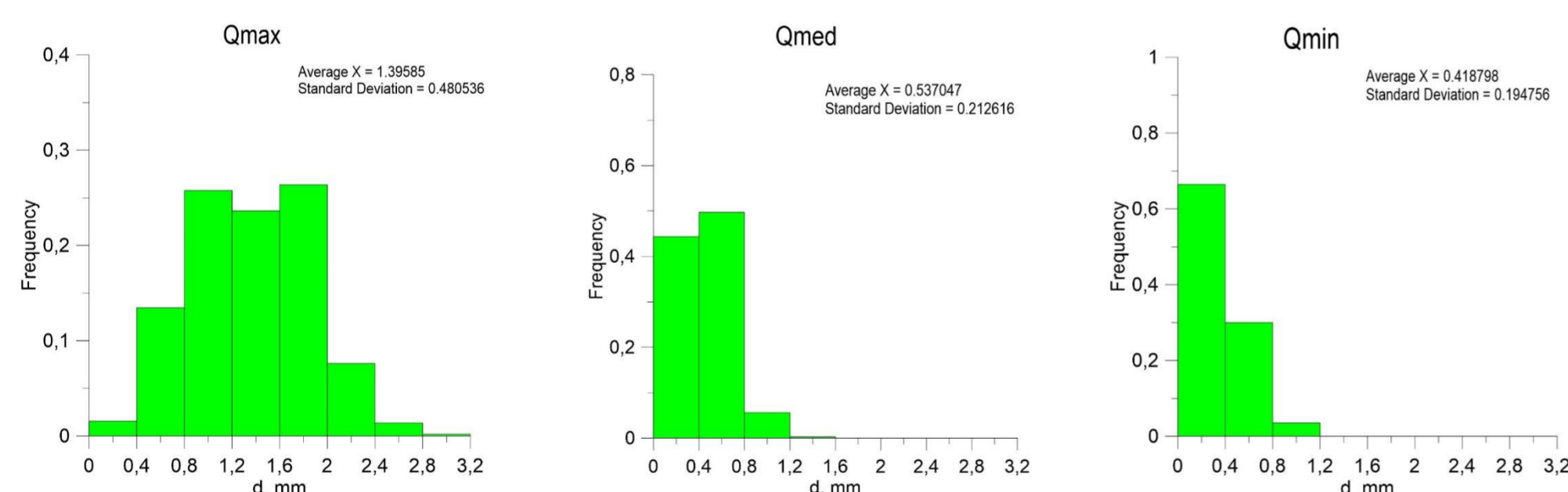
Оценка характеристик пузырьков: фото/видеорегистрация с высоким пространственным разрешением



2. Распределение пузырьков по размеру



Газосодержание в потоке 0,052 Газосодержание в потоке 0,0088 Газосодержание в потоке 0,005



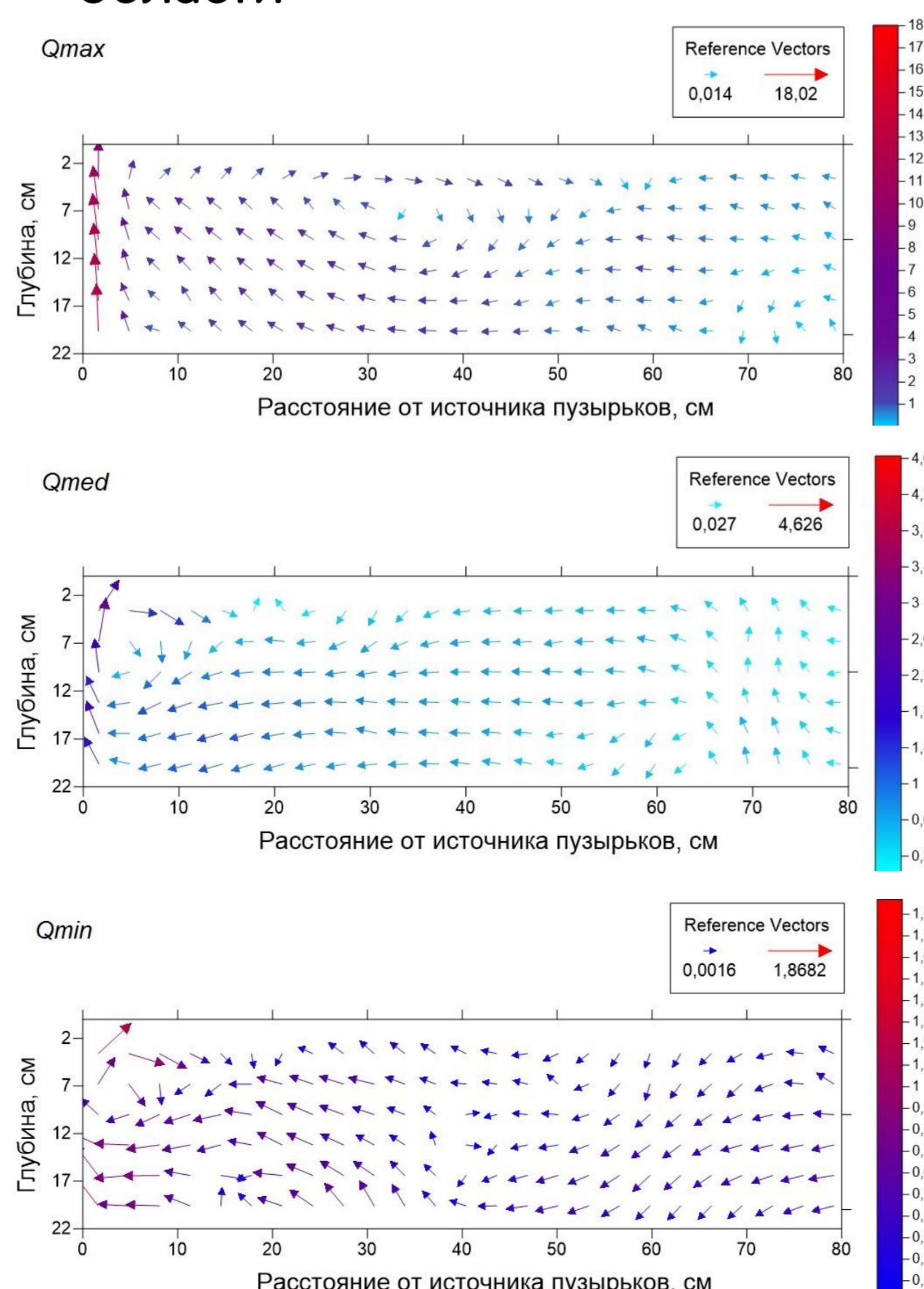
3. Особенности структуры течений вблизи пузырьковой области

Максимальные скорости наблюдались на оси потока.

Зоны конвергенции – зоны концентрирования пленки ПАВ:

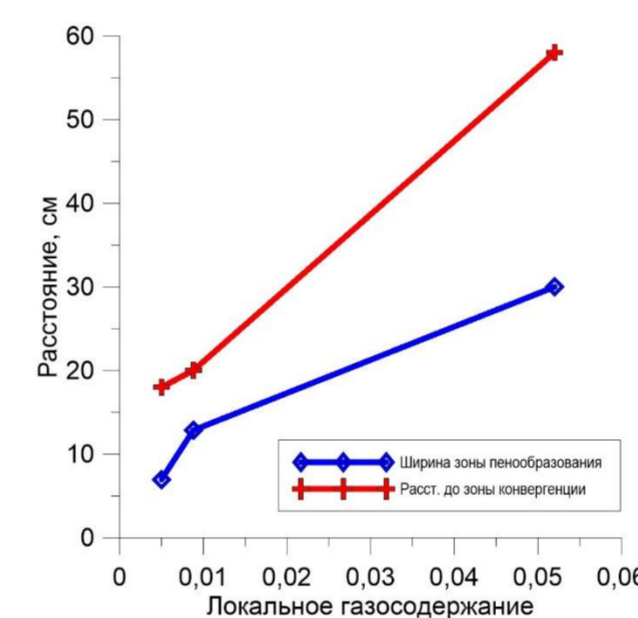
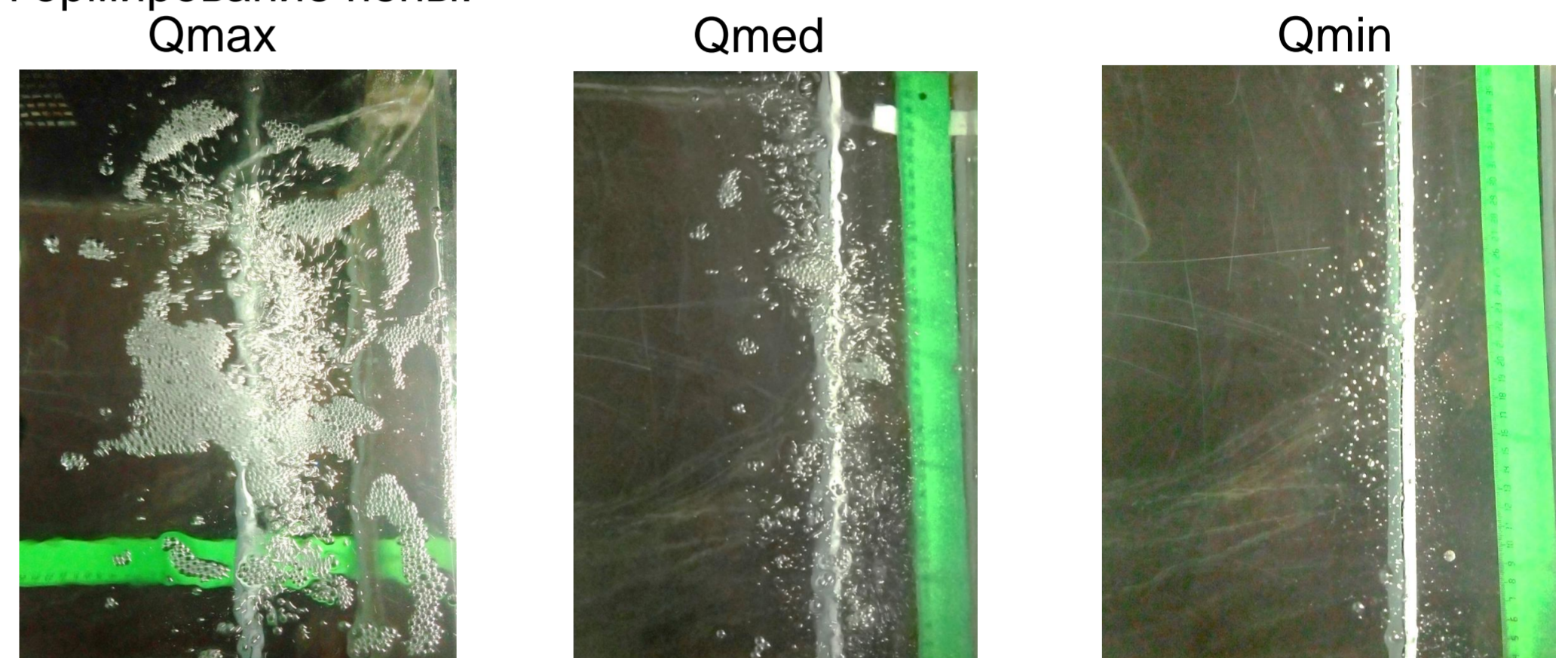
- при Qmax – на расстоянии 55-60 см от оси потока;
- при Qmed – на расстоянии 20 см от оси потока;
- при Qmin – на расстоянии 15-20 см от оси потока.

Вероятно, в реальных условиях формирование слика будет происходить на определенном расстоянии от зоны утечки из газопровода, зависящем от интенсивности утечки газа.



4. Характеристики пленки ПАВ на поверхности воды

Формирование пены:



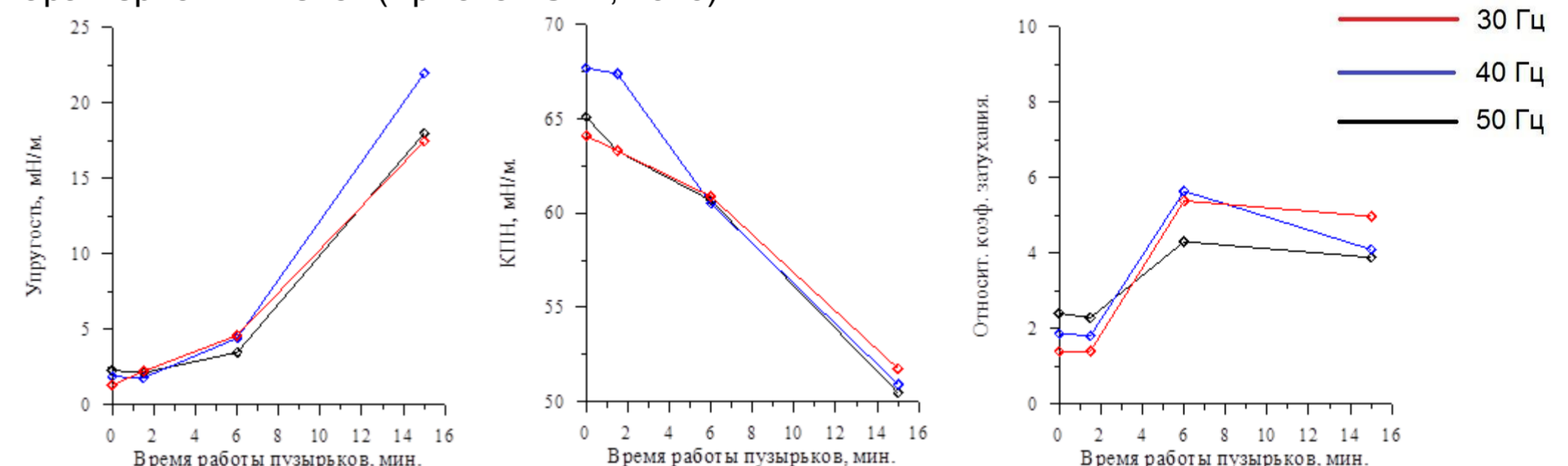
Ширина сликовой полосы зависит от интенсивности выхода газа и может дать представление о чувствительности метода дистанционного обнаружения утечки.

Динамика накопления пленки ПАВ на поверхности воды вблизи пузырькового потока

Моделирование концентрации природных и антропогенных ПАВ с применением раствора АПАВ (додецилсульфат натрия) с концентрацией 0,5 мг/л (соответствующей ПДКрыб.хоз.).

Отбор проб пленки с поверхности воды - сеточная методика отбора проб (Ермаков С.А., 2010).

Оценка характеристик пленки - метод параметрических волн для восстановления характеристик пленок (Ермаков С.А., 2010).



При непродолжительной аэрации раствора происходит вынос ПАВ пузырьками, это сказывается на относительном коэффициенте затухания мелкомасштабных волн, который возрастает при увеличении времени работы "пузырькового насоса". Восстановленные методом (Ермаков, 2010) КПН и упругости пленки также указывают на вынос ПАВ и накопление вещества на поверхности воды. Образование слика вблизи области выноса указывает на возможность его дистанционного обнаружения в природных условиях, а по его морфологии, местоположению и характеристикам гашения волн в нем (контрасту), впоследствии можно будет, например, судить о характеристиках газового выброса.

Основные результаты

1. Разработана методика лабораторного моделирования процесса выноса ПАВ пузырьками с использованием модельного раствора АПАВ заданной концентрации;
2. В лабораторном эксперименте получены зависимости динамики характеристик пленки (относит. коэф. затухания, упругости и коэф. поверхн. натяжения), выносимой пузырьковым потоком от времени работы «пузырькового насоса». Определены характерные временные и пространственные масштабы процесса выноса и концентрирования ПАВ
3. Исследована структура течений, создаваемых пузырьковым потоком, в зависимости от расхода газа. Получены оценки пространственного положения зон конвергенции течения, определяющих области концентрирования ПАВ.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №18-38-00861).

Литература

1. Смирнова М.В., Капустин И.А. Развитие новых подходов к исследованию процесса выноса поверхностно-активных веществ всплывающими в жидкости пузырьками газа в природных и технических системах // Труды школы-семинара «Волны-2018». Гидродинамические волны и течения. С. 27-29.
2. Ермаков С.А. Влияние пленок на динамику гравитационно-капиллярных волн. ИПФ РАН. - Н. Новгород. 2010. - 163 с.
3. С.А. Ермаков, И.А. Капустин, Т.Н. Лазарева, Р.Р. Калимулин. Экспериментальное исследование трансформации гравитационно-капиллярных волн на течении, индуцированном пузырьковой пленкой. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 4. С. 298–307