

**КОНВЕКТИВНОЕ ТЕЧЕНИЕ В
ПОВЕРХНОСТНОМ СЛОЕ ВОДЫ ПРИ
НАЛИЧИИ ВЕТРА**

**СУХАРЕВ ДМИТРИЙ АНДРЕЕВИЧ
СТУДЕНТ 204М ГР.
ФИЗИЧЕСКОГО ФАКУЛЬТЕТА
МГУ ИМ. ЛОМОНОСОВА**

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ
АССИСТЕНТ, К.Ф.-М.Н.
ПЛАКСИНА ЮЛИЯ ЮРЬЕВНА**

Циркуляция Лэнгмюра

Поверхность водоёма с ветровыми волнами



Полосы водорослей на поверхности при циркуляции Лэнгмюра

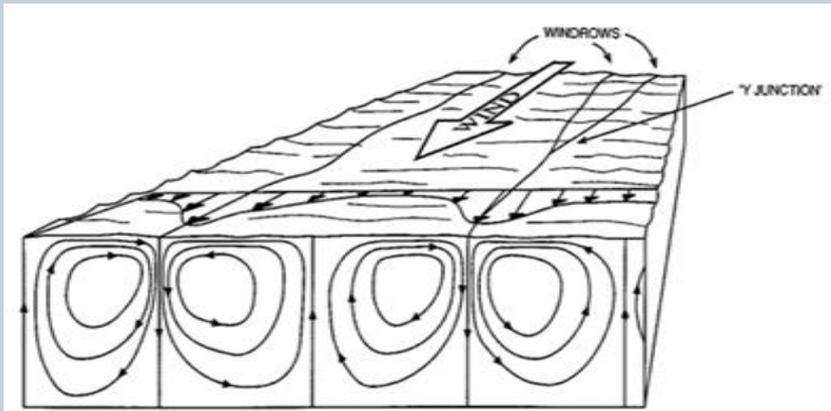


Схема циркуляции Лэнгмюра

Уравнения Крейка-Лейбовича

(описывают циркуляцию, но не описывают её возникновение)



$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} = -\nabla \pi + \mathbf{u}_s \times \nabla \times \mathbf{u} + \beta g \theta + \gamma_T \nabla^2 \mathbf{u}$$

$$\mathbf{f} = \mathbf{u}_s \times \boldsymbol{\omega}$$

f - "вихревая сила"

$$La = \left(\frac{\gamma_T^3 k^2}{\sigma a^2 u_*^2} \right)^{1/2}$$

La - число Лэнгмюра выражает баланс между скоростью диффузии и скоростью увеличения продольной завихренности от растяжения вихря вызванного дрейфом Стокса

θ – температурное возмущение, β – коэффициент тепловое расширение, \mathbf{u} – вектор средней скорости в потоке, π - коэффициент изменения давления, $\beta g \theta$ - плавучесть, последнее слагаемое отвечает за напряжение.

u_s – средняя завихренность.

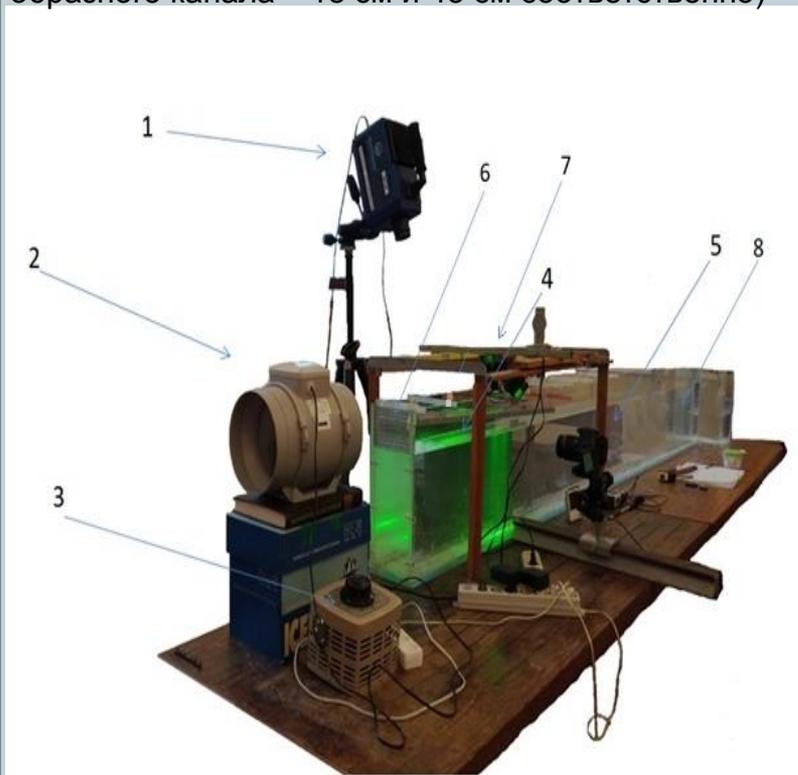
Цель работы



- ✦ Экспериментальное исследование конвективных течений, создаваемых при обдуве, в Т-образном канале с применением двух современных методов визуализации, а именно, ИК-термографии высокого разрешения и метода цифровой трассерной визуализации.

Экспериментальные установки

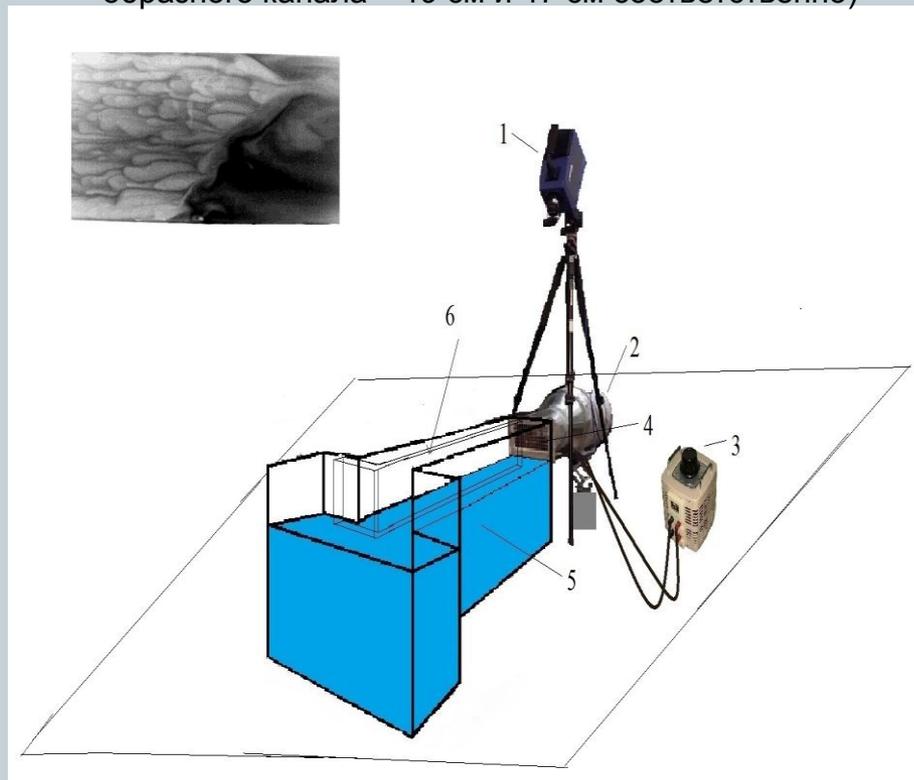
(Длина канала – 317 см, ширина – 15 см, глубина – 31 см, ширина и длина прямоугольной части в конце Т-образного канала – 18 см и 45 см соответственно)



1 - тепловизор, 2 - вентилятор, 3 - трансформатор, 4 - лазерный лист, 5 - фотокамера, 6 – рассекатель, 7 – лазеры, 8 – т-образный бассейн с водой.

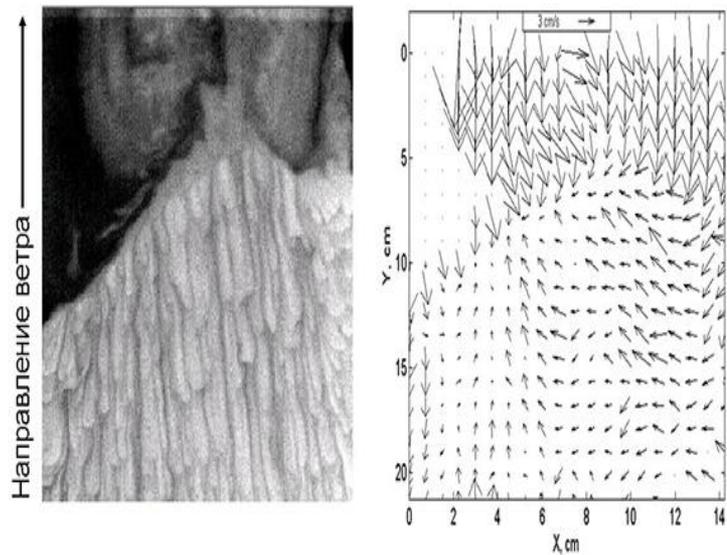


(Длина канала – 114 см, ширина – 20 см, глубина – 29 см, ширина и длина прямоугольной части в конце Т-образного канала – 19 см и 47 см соответственно)

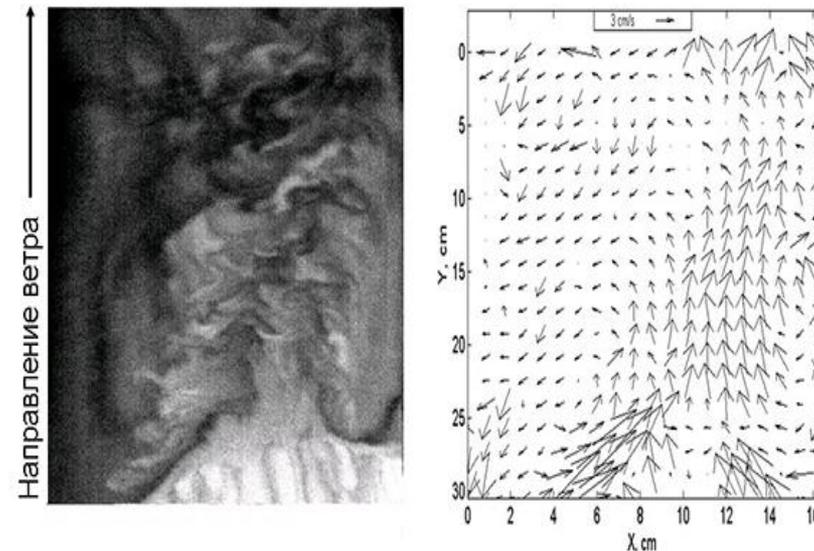


1 - тепловизор, 2 - вентилятор, 3 - трансформатор, 4 - рассекатель, 5 - т-образный бассейн с водой, 6 – перегородка из оргстекла.

Определение условий перехода свободная поверхность-плёнка с помощью тепловизора.



Термическая структура поверхности воды при обдуве со скоростью 4,8 м/с (слева) и соответствующее ему поле скорости, полученное с помощью ИК-цифровой трассерной визуализации (справа), скорость над границей раздела свободная поверхность – плёнка 4 м/с, ширина канала 20 см.

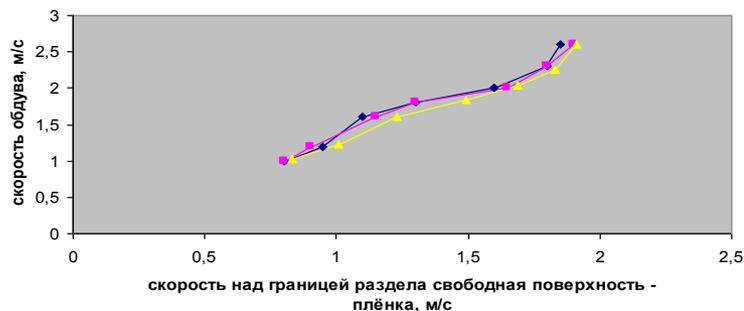


Термическая структура поверхности воды при обдуве со скоростью 4,8 м/с (слева) и соответствующее ему поле скорости, полученное с помощью ИК-цифровой трассерной визуализации (справа), скорость над границей раздела свободная поверхность – плёнка 4 м/с, ширина канала 20 см, область съёмки на 16 см выше по течению чем на рисунке

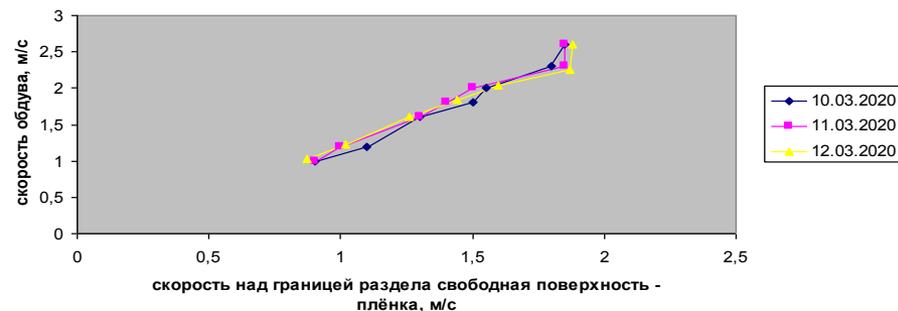
Взаимосвязь скорости ветра над границей со скоростью ветра в начале канала



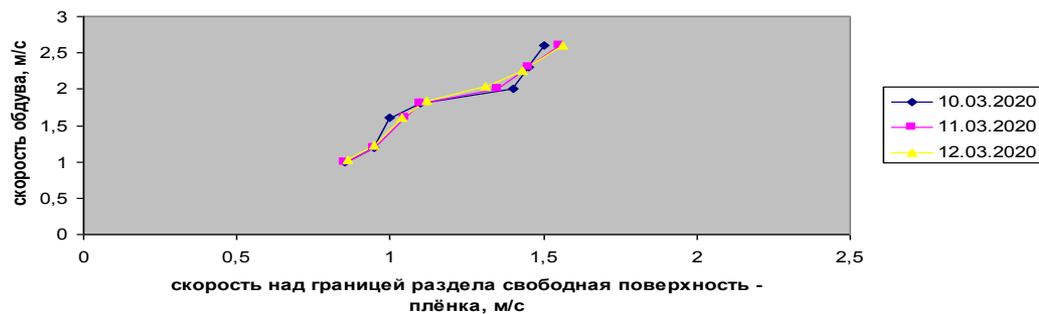
Ширина канала 20 см



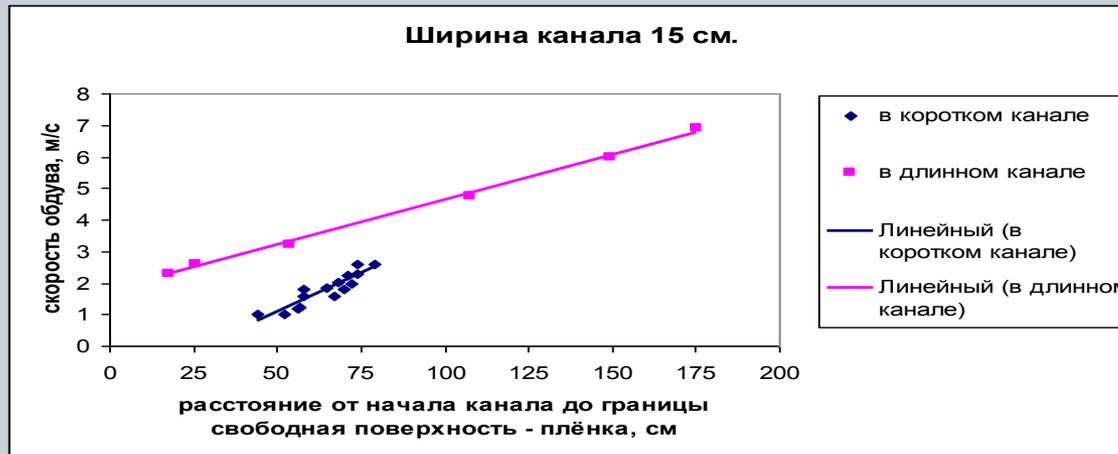
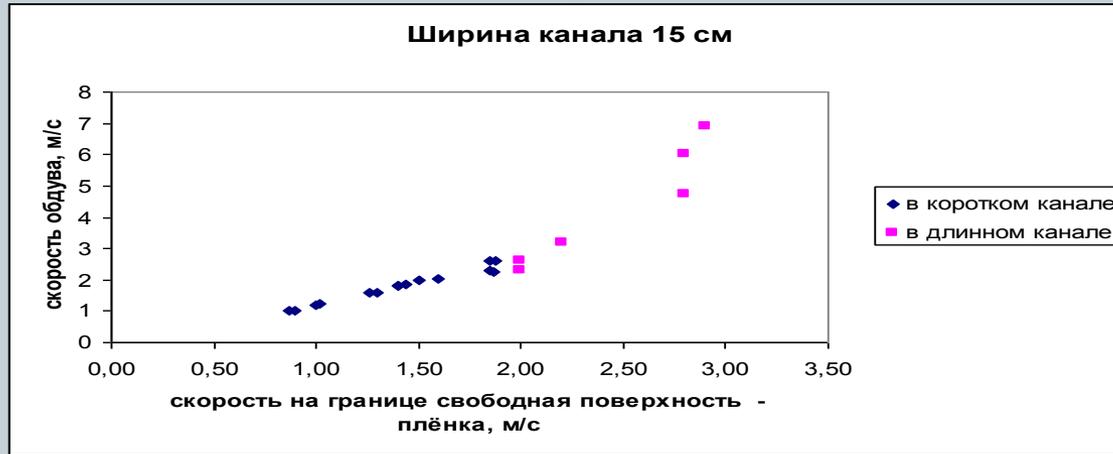
Ширина канала 15 см



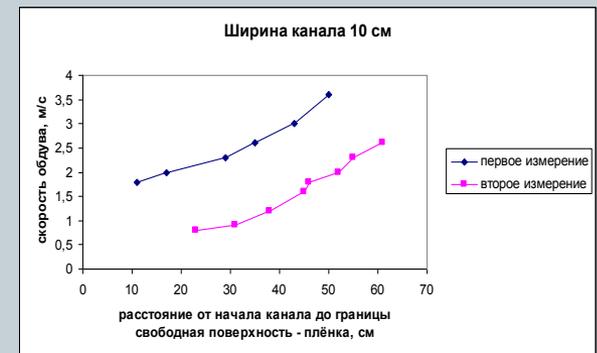
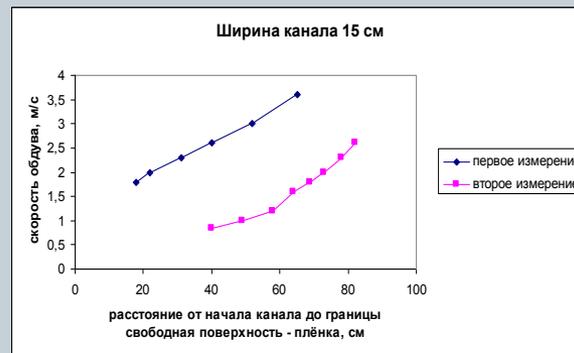
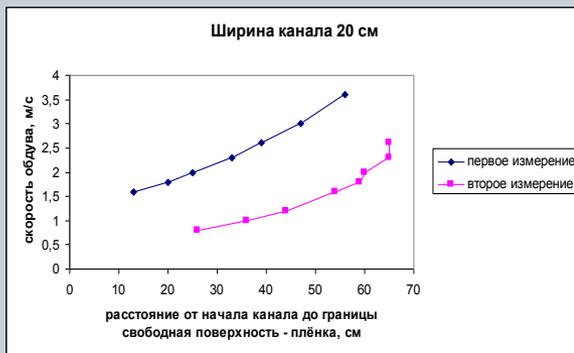
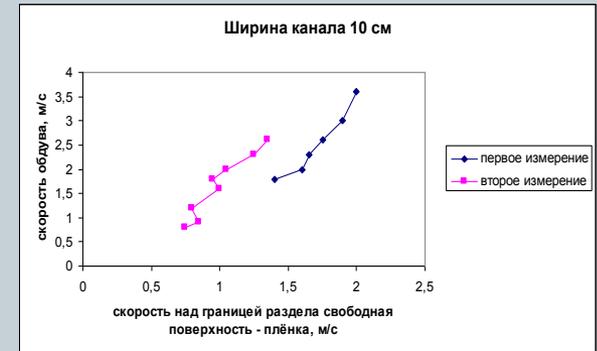
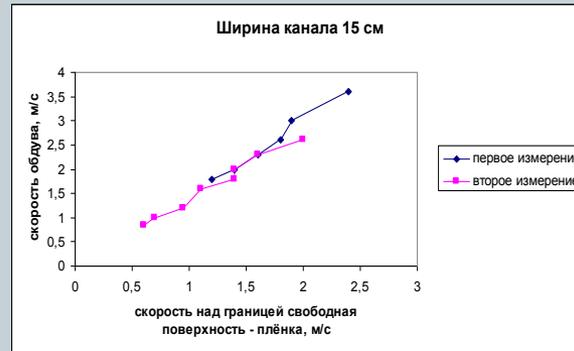
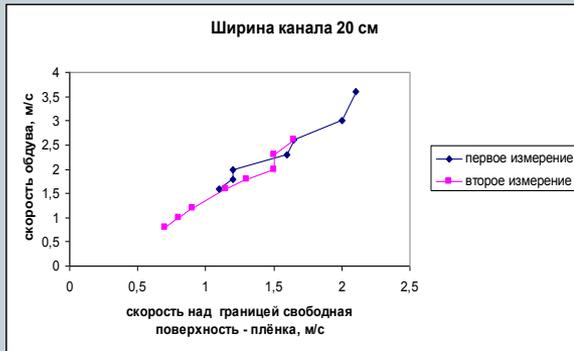
Ширина 10 см



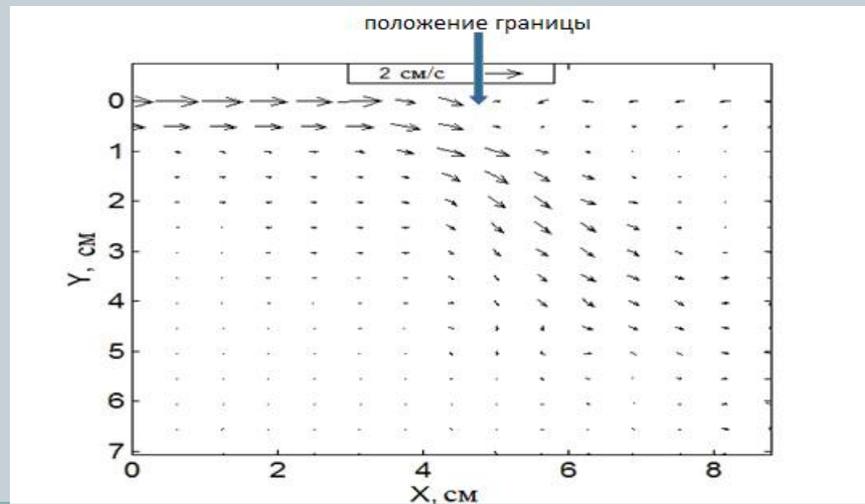
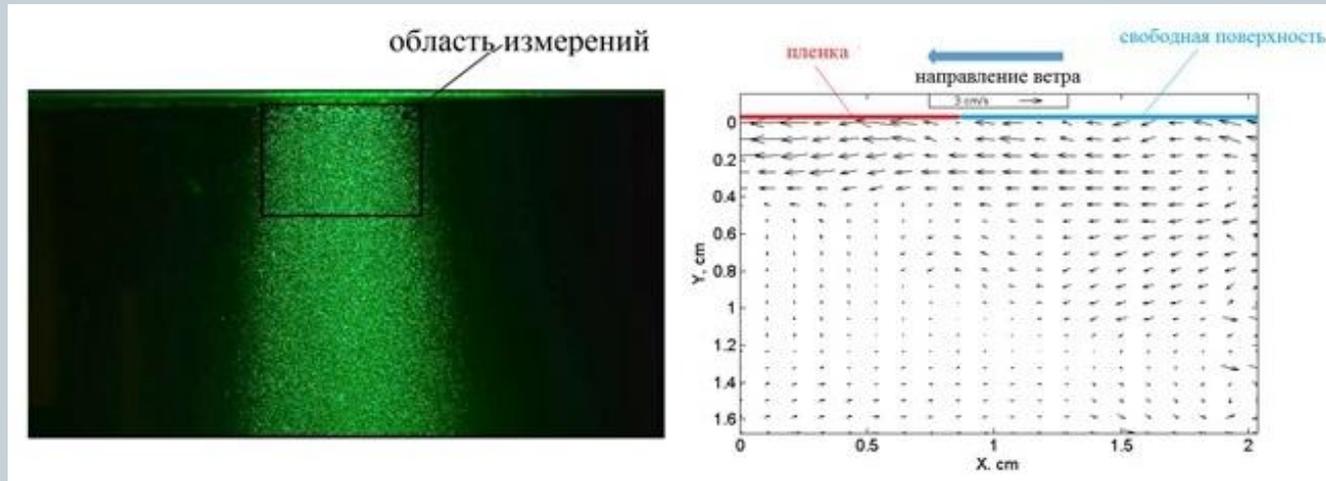
Сравнение измерений в коротком и длинном канале одной ширины



Повторные измерения после длительного обдува



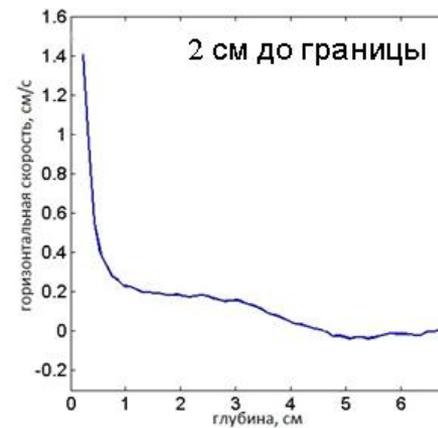
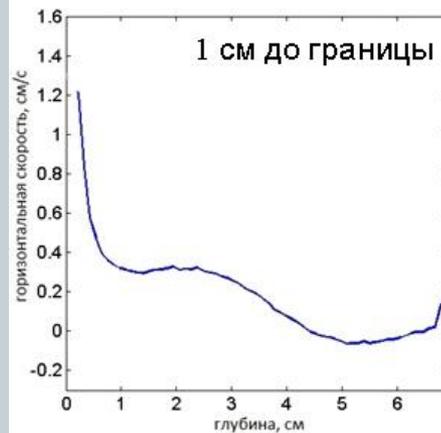
Поле скорости в объеме воды вблизи поверхности



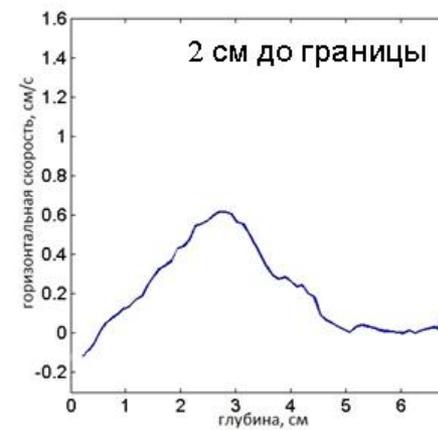
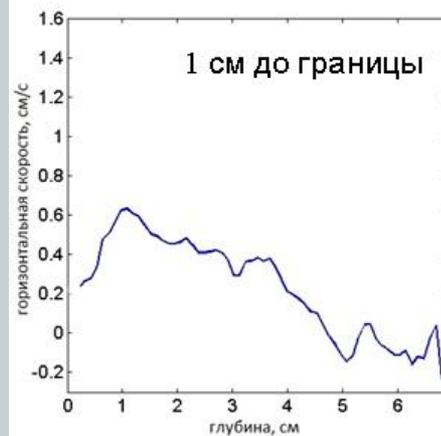
Вертикальные профили горизонтальной составляющей скорости конвективного течения



Область свободной поверхности



Область плёнки



ВЫВОДЫ



- При увеличении скорости ветра, увеличивается площадь поверхности, свободной от плёнки и, таким образом, становится возможным массообмен между поверхностью и объёмом воды. В натуральных условиях это может приводить к скапливанию поверхностных загрязнений и позволяет визуализировать циркуляцию Лэнгмюра. В теплофизических приложениях также необходимо учитывать наличие двух областей охлаждения при обдуве – с пленкой и без нее, что приводит к неоднородности охлаждения.
- Измерения с помощью ИК- термографии и цифровой трассерной визуализации подтверждают гипотезу о том, что плёнка движется только в горизонтальной плоскости при наличии ветра, что приводит к сложной структуре приповерхностного течения, несмотря на то, что направление ветра задано.
- Конвективные течения имеют различный характер при наличии свободной плёнки и без неё. При столкновении с плёнкой со стороны свободной поверхности наблюдается подныривание верхнего слоя под плёнку. На участке со свободной поверхностью характерен линейный профиль горизонтальной составляющей скорости вблизи поверхности.
- Проведенные измерения показали наличие определенной «памяти» приповерхностного слоя. Постепенная очистка или загрязнение не только поверхности, но и приповерхностного слоя при наличии ветра приводит к достаточно долгому сохранению неоднородности приповерхностных слоев. Такой результат позволяет сделать вывод о зависимости возникновения циркуляции Лэнгмюра не только от свойств воды в водоеме и силы ветра в момент возникновения циркуляций, но и от более ранних ветровых воздействий.