



**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 Ленгмюра

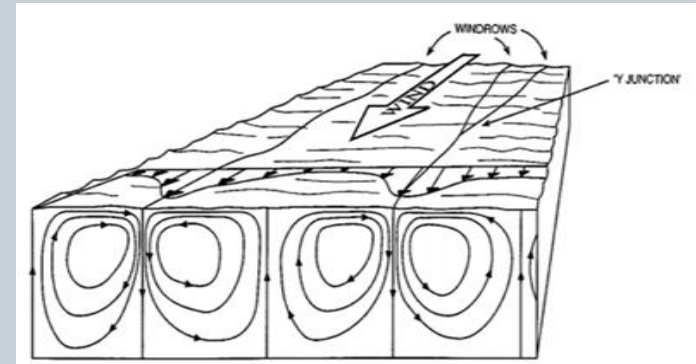


Поверхность водоёма с ветровыми волнами



Полосы водорослей на поверхности при циркуляции Ленгмюра

Схема циркуляции Ленгмюра



Уравнения Крейка-Лейбовича

(описывают циркуляцию, но не описывают её возникновение)

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

где  $\theta$  – изменение температуры,  $\pi$  - давление,

$\beta$  – коэффициент теплового расширения,  $\mathbf{u}$  – вектор средней скорости в потоке,

$\beta g \theta$  - архимедова сила в приближении Буссинеска  $\mathbf{u}_s$  – скорость потока в направлении ветра

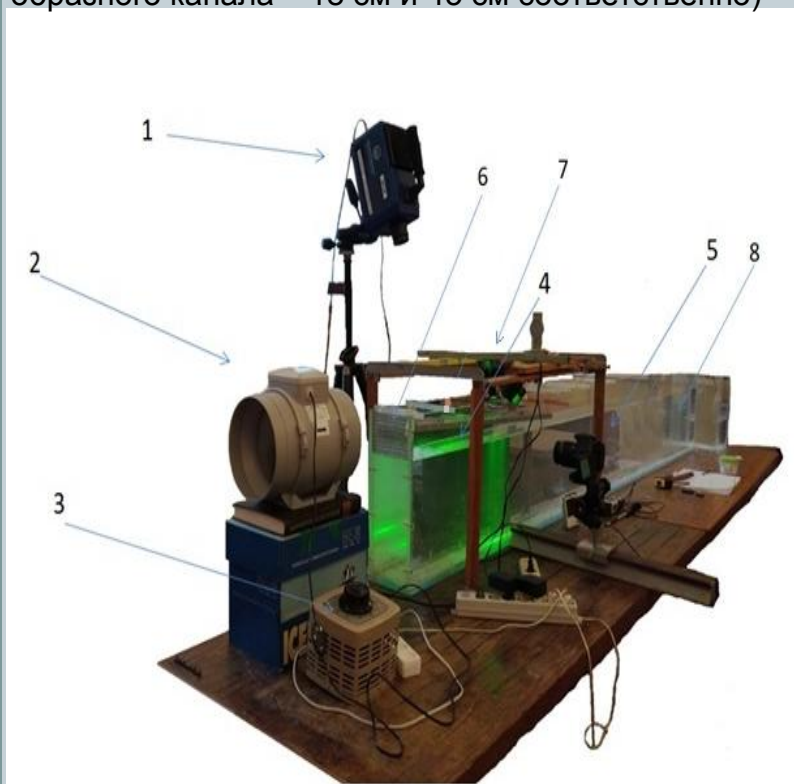
# Цель работы



- ✦ 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

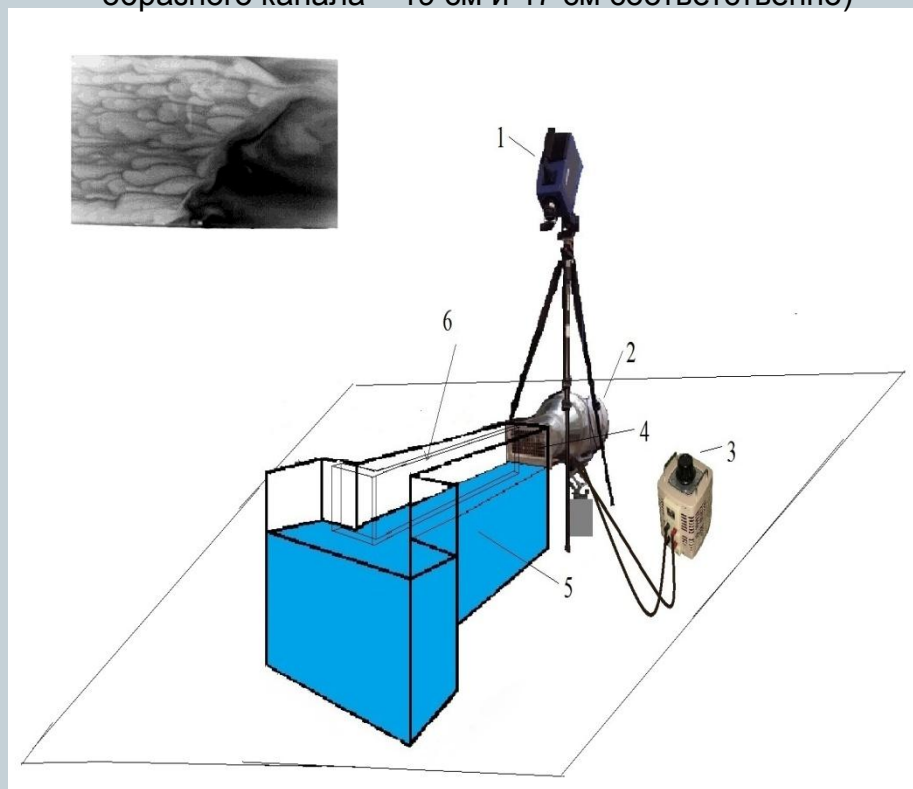
(Длина канала – 317 см, ширина – 15 см, глубина – 31 см, ширина и длина прямоугольной части в конце Т-образного канала – 18 см и 45 см соответственно)



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

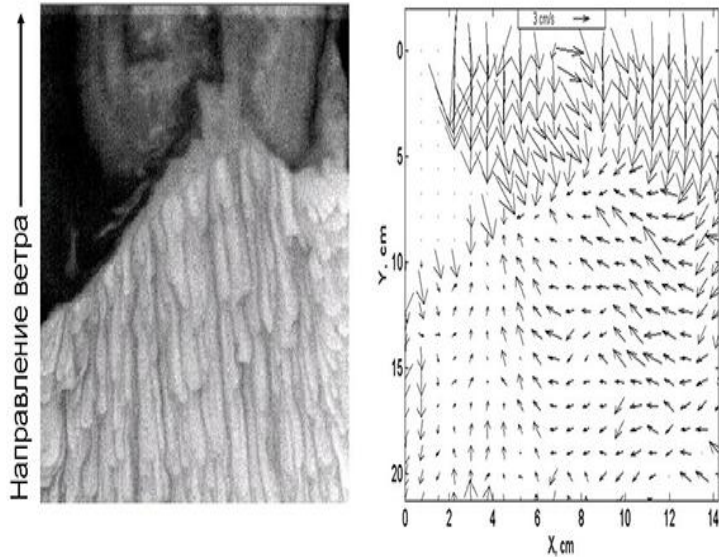


(Длина канала – 114 см, ширина – 20 см, глубина – 29 см, ширина и длина прямоугольной части в конце Т-образного канала – 19 см и 47 см соответственно)

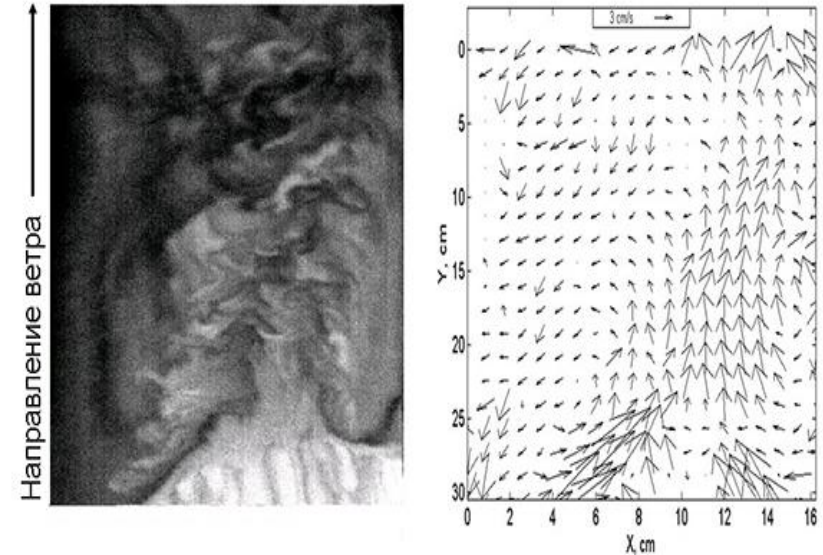


1 - тепловизор, 2 - вентилятор, 3 - трансформатор, 4 - рассекатель, 5 - т-образный бассейн с водой, 6 – перегородка из оргстекла.

# 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.

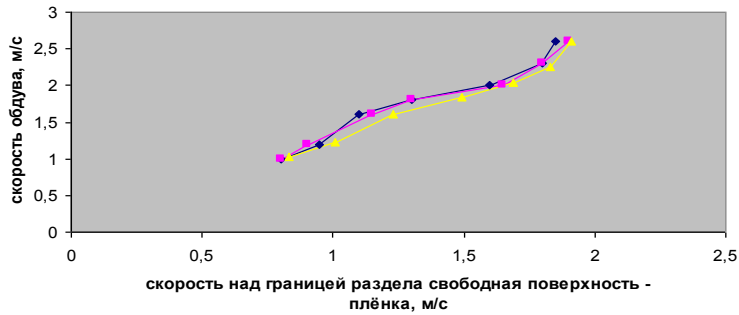


Термическая структура поверхности воды при обдуве со скоростью 4,8 м/с (слева) и соответствующее ему поле скорости, полученное с помощью ИК-цифровой трассерной визуализации (справа), скорость над границей раздела свободная поверхность – плёнка 4 м/с, ширина канала 20 см, область съёмки на 16 см выше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

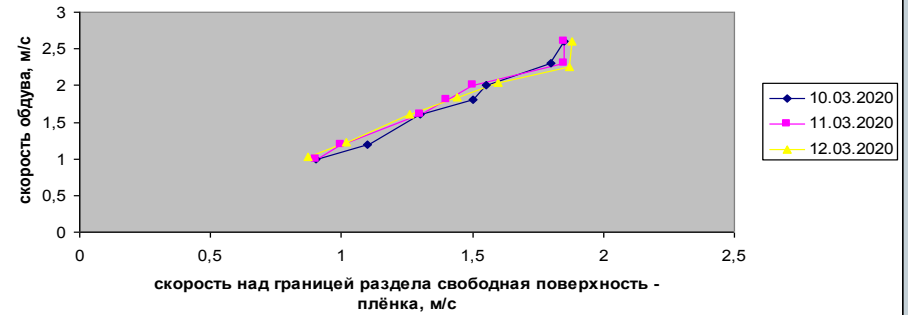
# Взаимосвязь скорости ветра над границей со скоростью ветра в начале канала



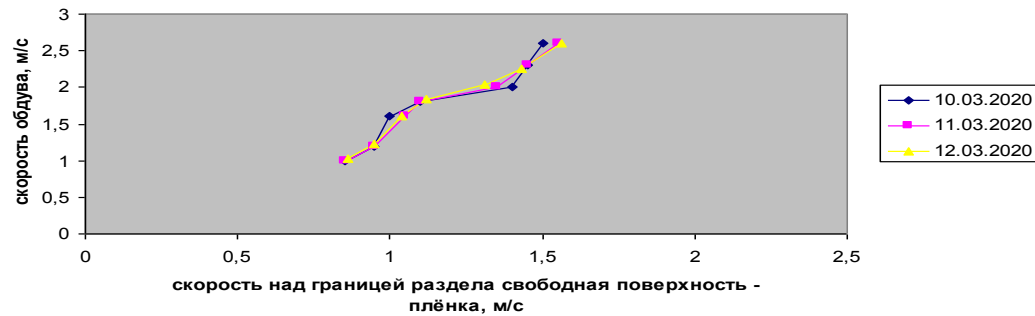
Ширина канала 20 см



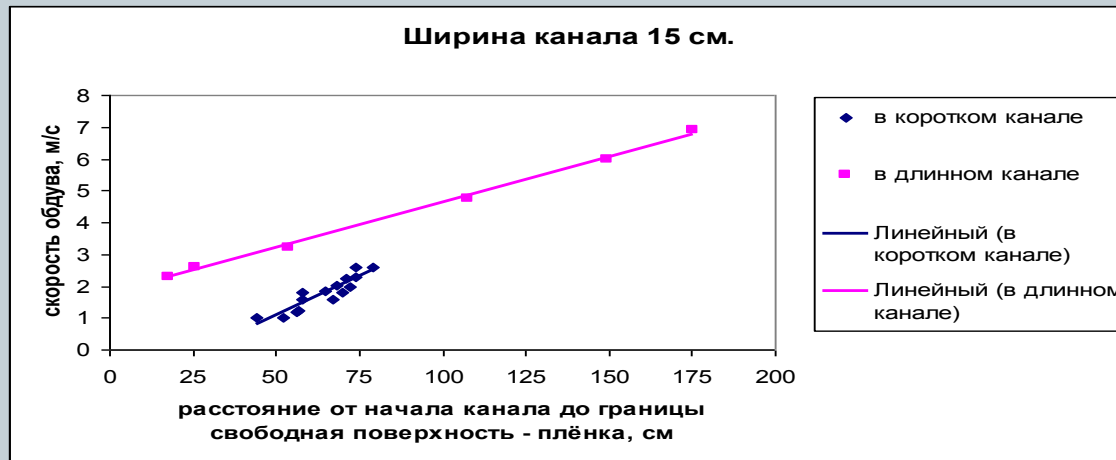
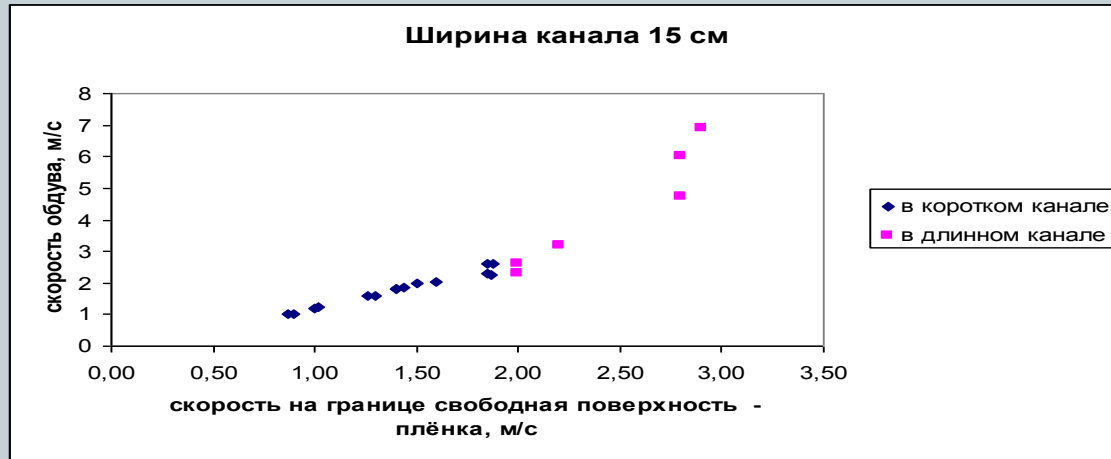
Ширина канала 15 см



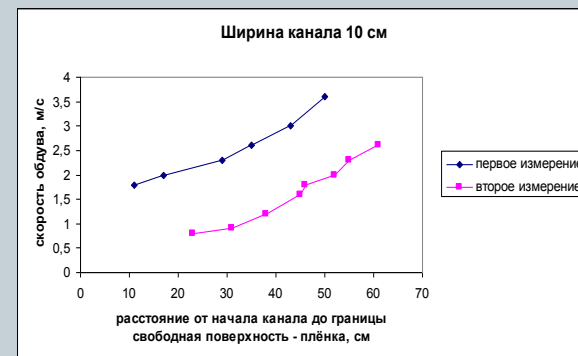
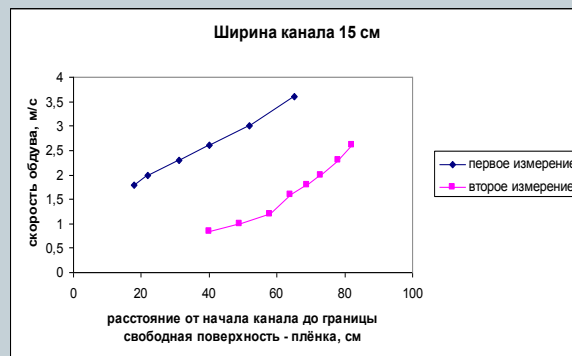
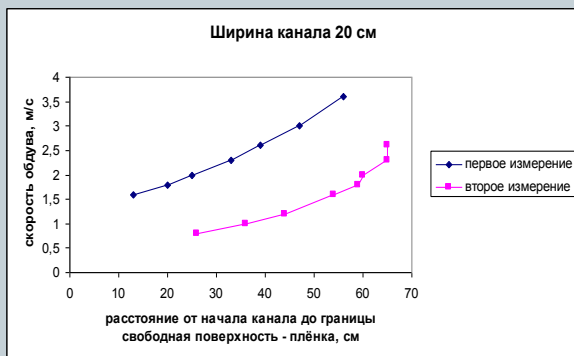
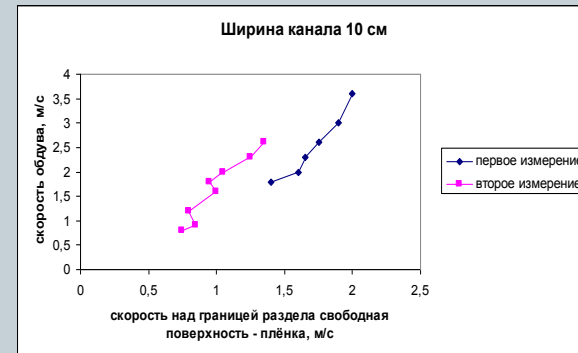
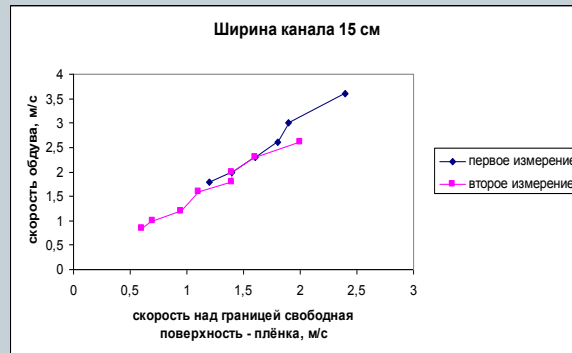
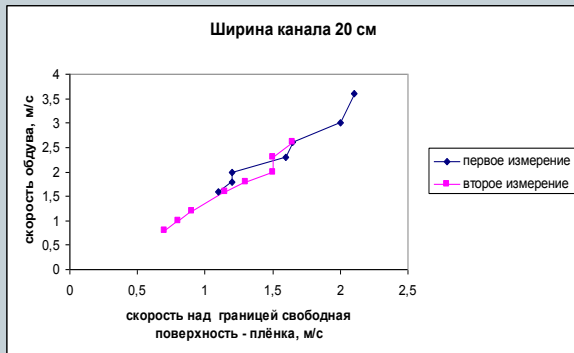
Ширина 10 см



# Сравнение измерений в коротком и длинном канале одной ширины

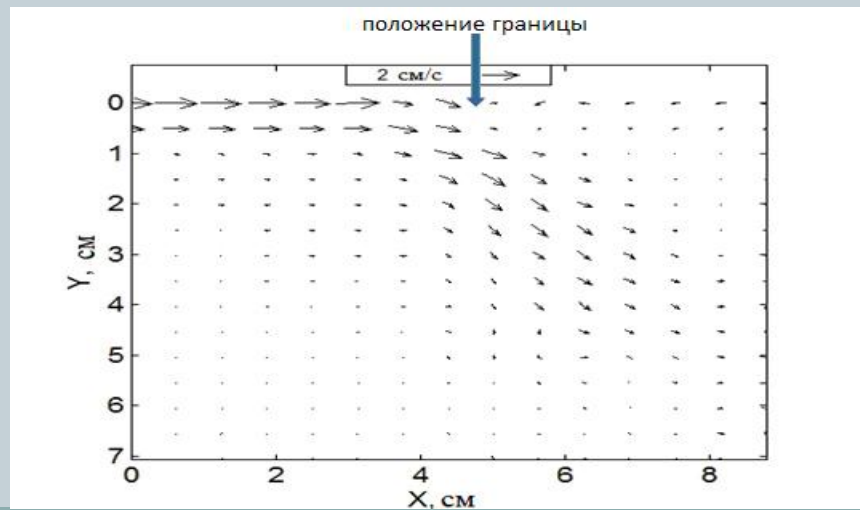
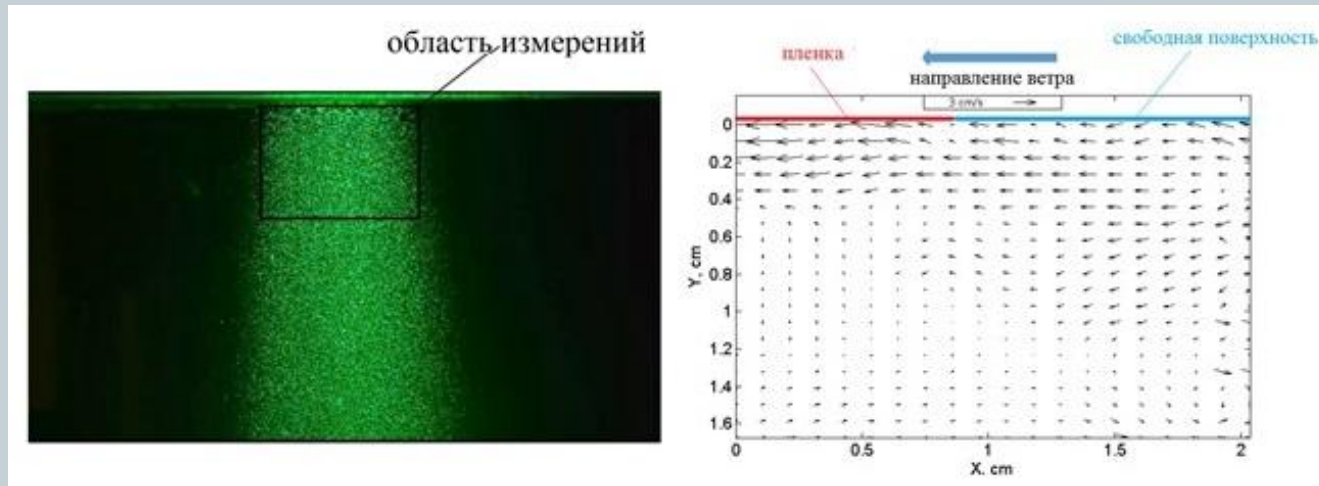


# Повторные измерения после длительного обдува





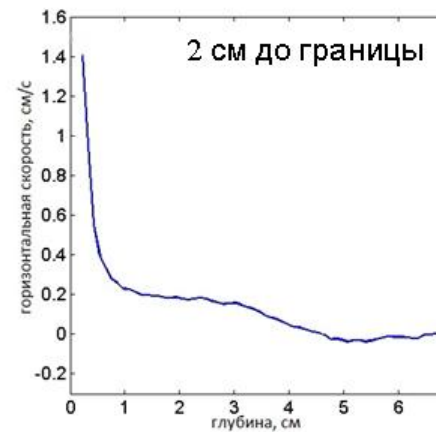
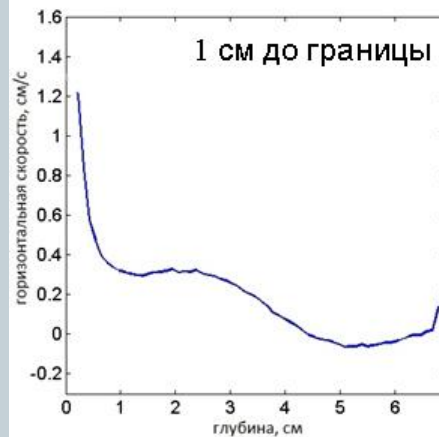
# Поле скорости в объеме воды вблизи поверхности



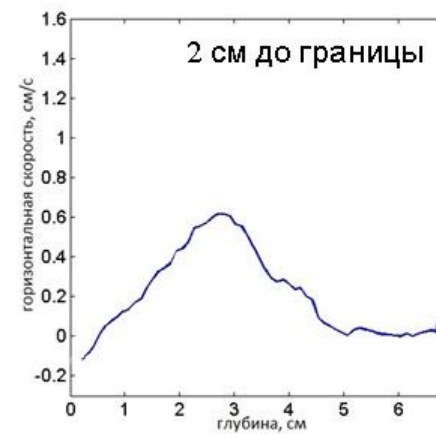
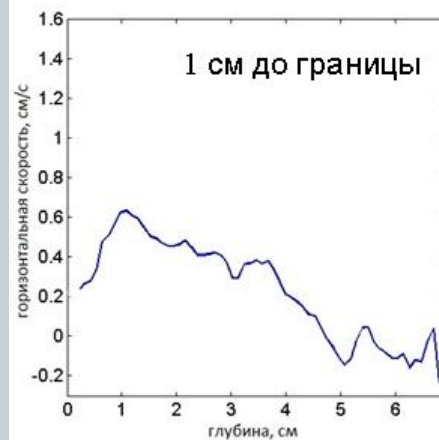
# Вертикальные профили горизонтальной составляющей скорости конвективного течения



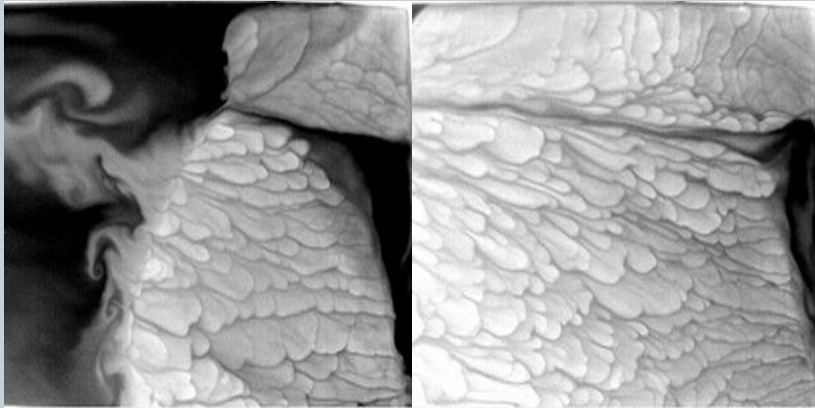
## Область свободной поверхности



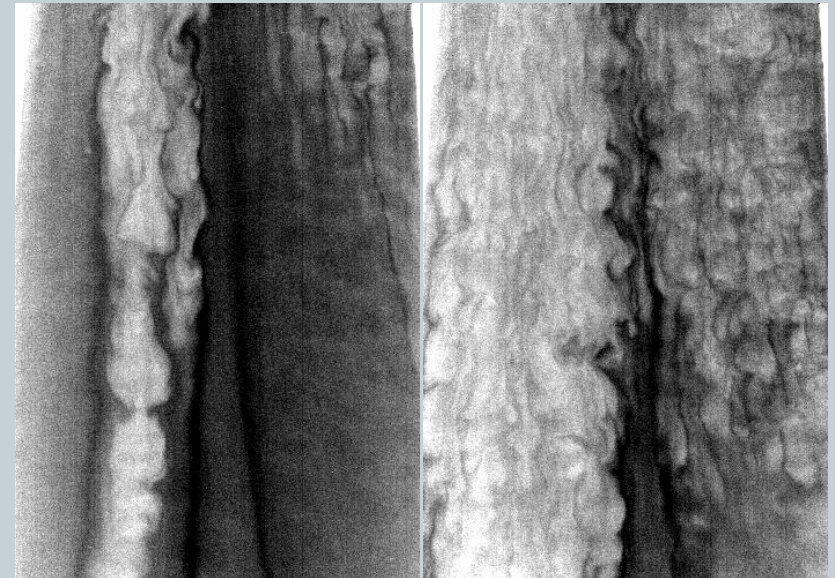
## Область плёнки



# Визуальное наблюдение полос при механизмах конвекции, схожих с циркуляцией Ленгмюра



Пример образования линии из поверхностной плёнки при увеличении скорости ветра в длинном канале до 5,5 м/с. Направление ветра справа налево.



Пример образования линии из поверхностной плёнки с добавлением SDS при увеличении скорости ветра в коротком канале до 5,9 м/с. Направление ветра снизу вверх.

# ВЫВОДЫ



- При увеличении скорости ветра возникает разрыв поверхностной пленки и два типа поверхности – с пленкой и без нее. В натуральных условиях это может приводить к скапливанию поверхностных загрязнений на границах раздела и позволяет визуализировать циркуляцию Ленгмюра.
- 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 в случае, если пленка на поверхности сохраняется, 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.

# ВЫВОДЫ



- 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.
- В лабораторных условиях полосы, аналогичные возникающим при циркуляции Ленгмюра, можно наблюдать при скорости ветра выше 5,5 м/с в обычной водопроводной воде, и выше 5,9 м/с при добавлении SDS в концентрации 0,01 ККМ. Такие скорости полностью соответствуют экспериментально наблюдаемым в натуральных измерениях, несмотря на разницу в граничных условиях.