

# **Нелинейные внутренние волны над склоном**

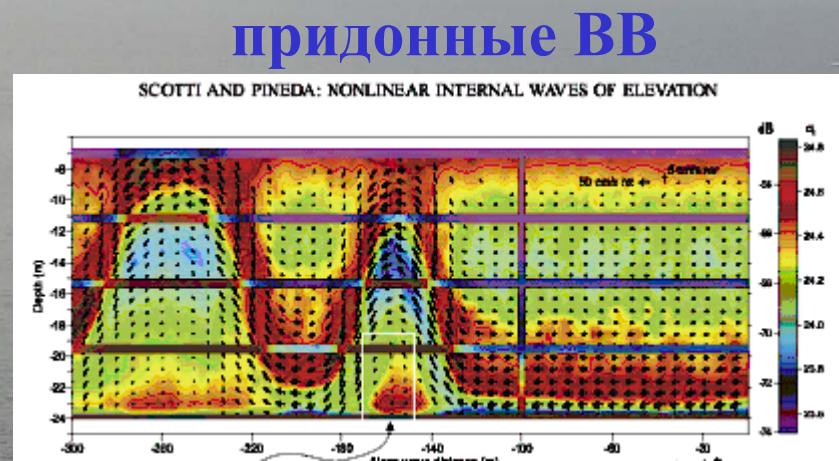
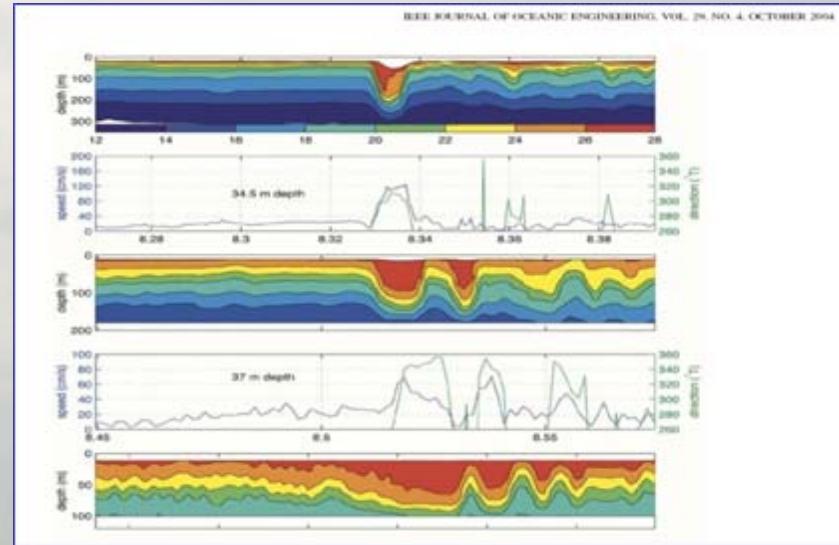
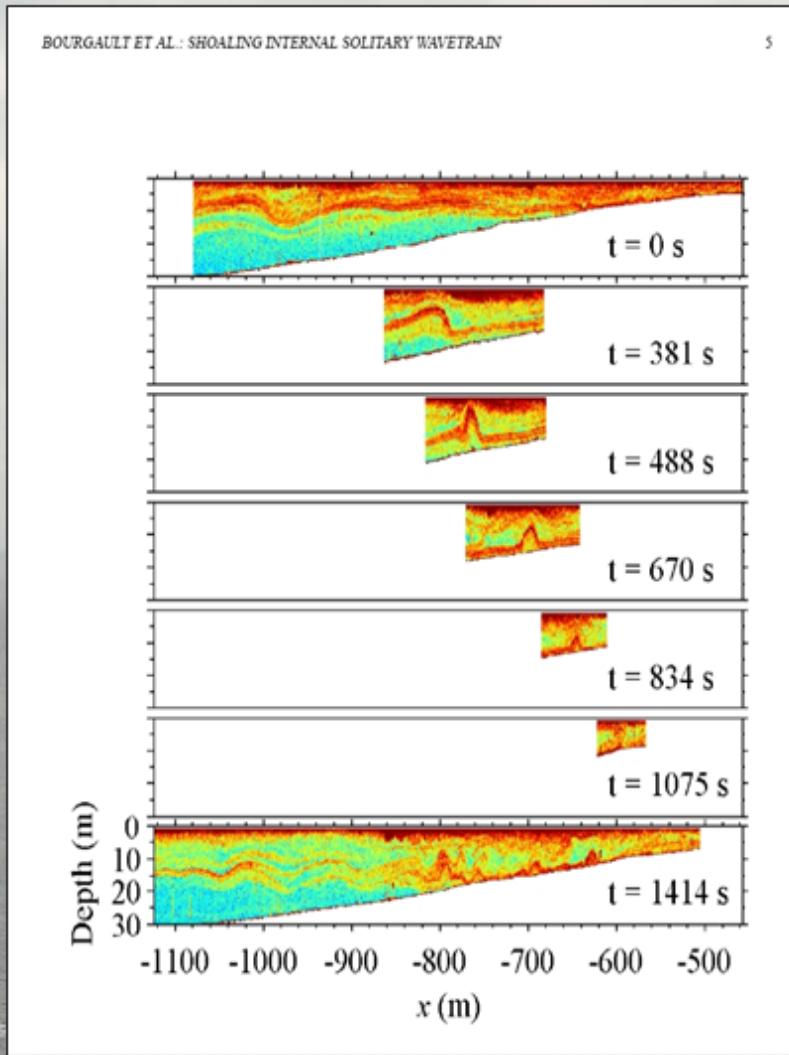
*Н.В. Гаврилов, В.Ю. Ляпидевский (ИГиЛ СО РАН),  
В.Ф. Кукарин (ИНХ СО РАН), Ф.Ф. Храпченков (ТОИ ДВО РАН)*

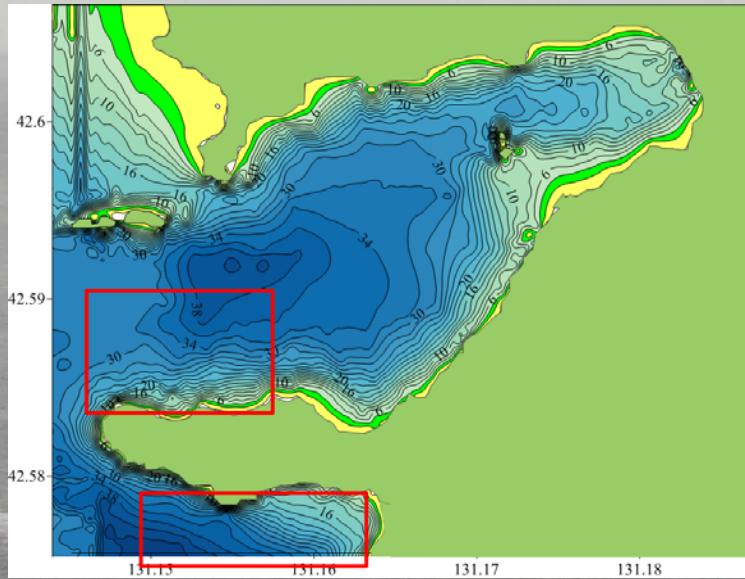
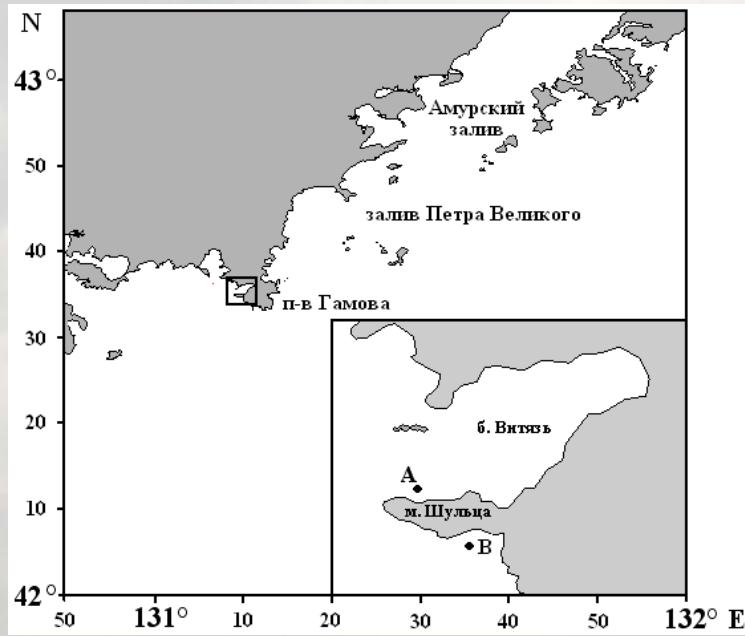
19 марта 2013 г.

# Эволюция внутренних волн большой амплитуды в шельфовой зоне

## смена полярности ВВ

## приповерхностные ВВ





CTD- RBR XRX-620

Argonaut SonTek

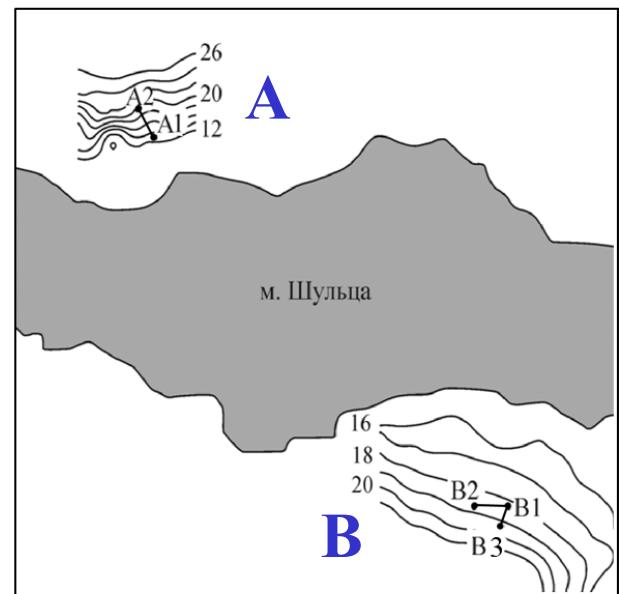
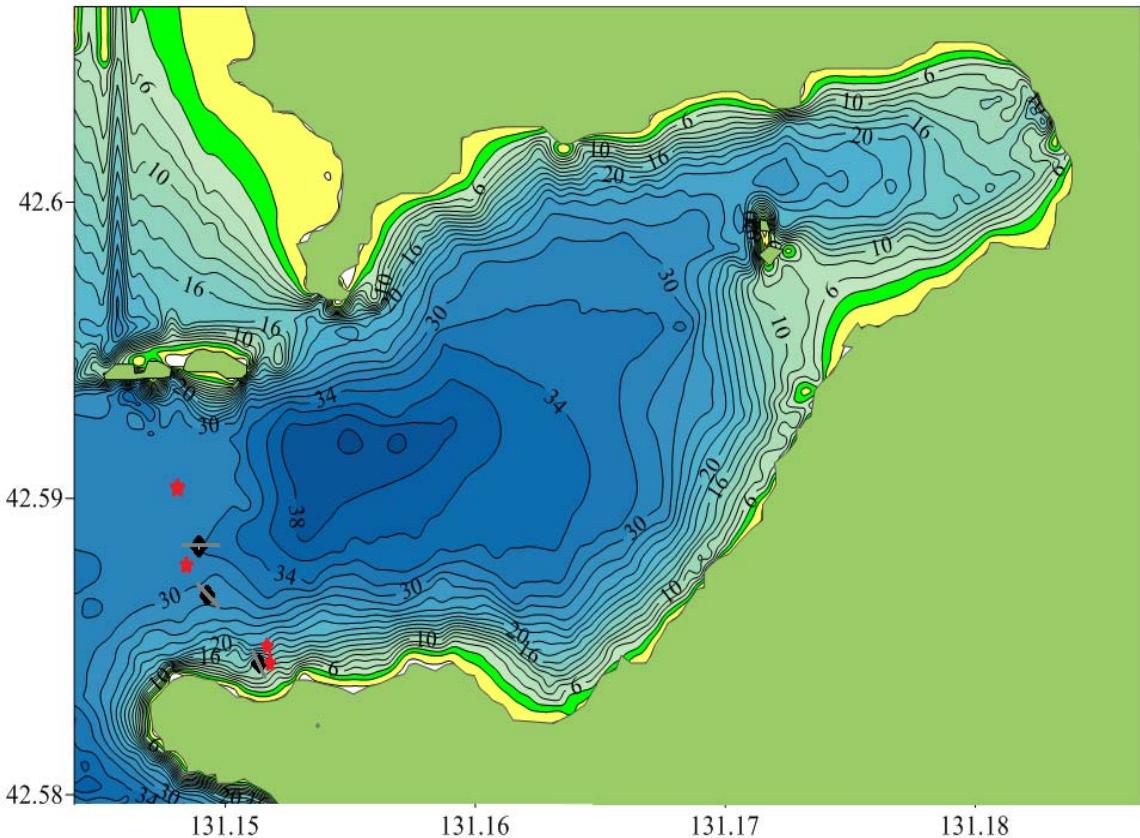
# **Японское море 2011 - 2012**

**ИГиЛ СО РАН, ИНХ СО РАН, ТОИ ДВО РАН**

## **Основные задачи:**

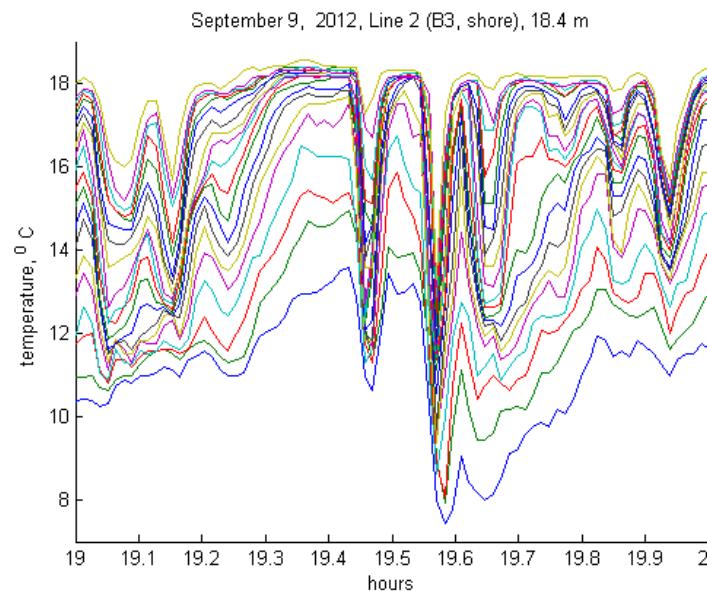
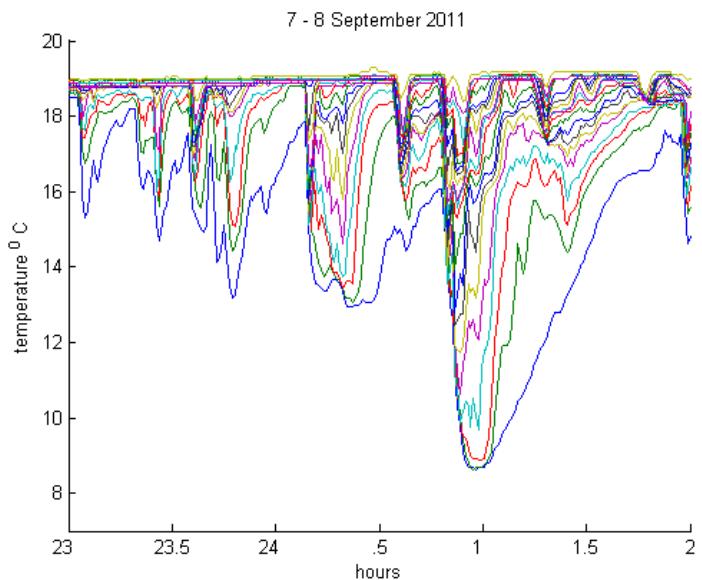
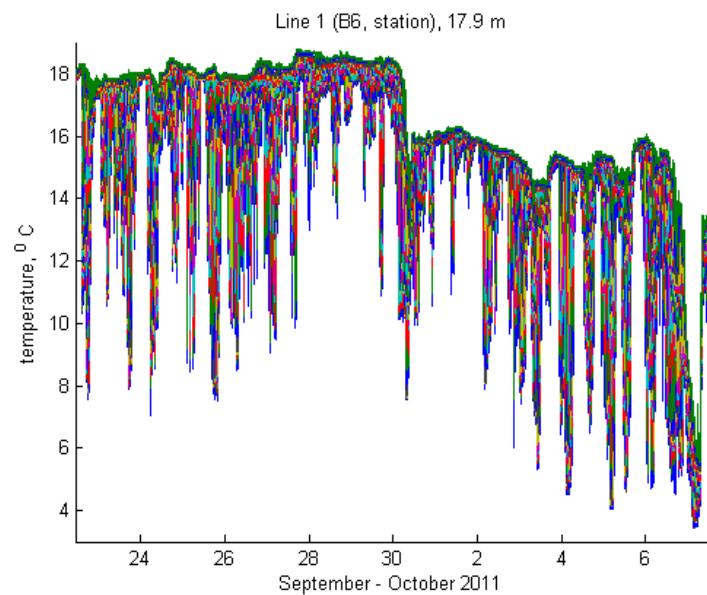
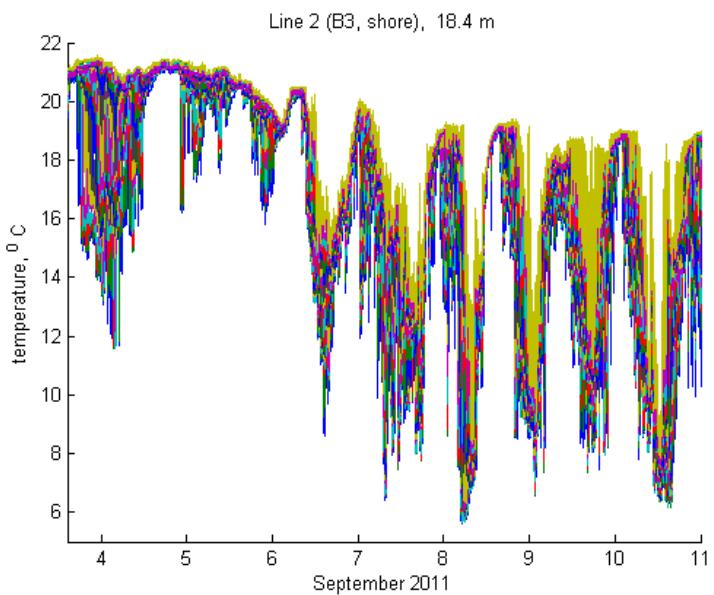
- Постановка гирлянд термисторов, уровнемеров, измерителей течений для наблюдений фоновых гидрофизических характеристик, а также внутренних волн и тонкой структуры в шельфовой зоне Японского моря;
- Проведение измерений в б. Витязь и в открытой части моря в режиме “on-line” для изучения эволюции и разрушения внутренних волн и термоклина в зоне «заплеска», т.е. выше границы контакта основного термоклина со дном;
- Обработка и статистический анализ измерений гидрофизических и гидрометеорологических характеристик на полигоне.

# Полигоны на МЭБ Шульц 2011-12 гг.

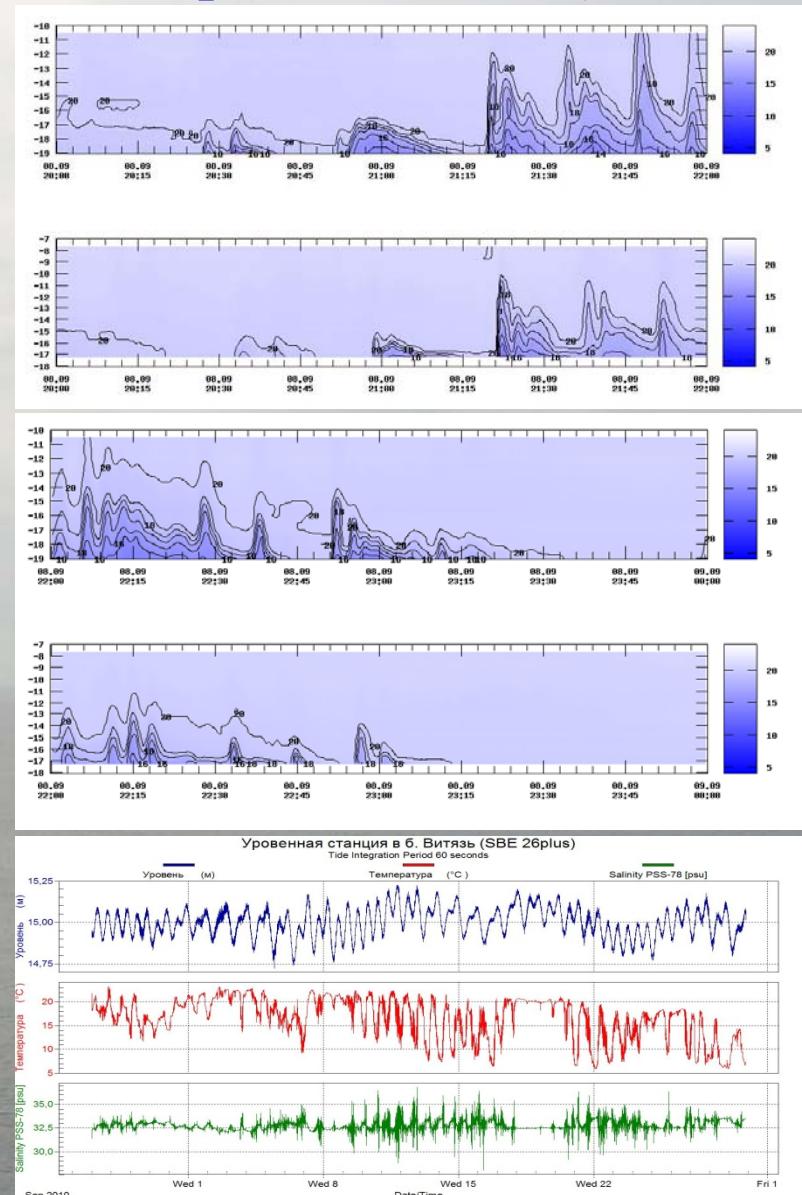
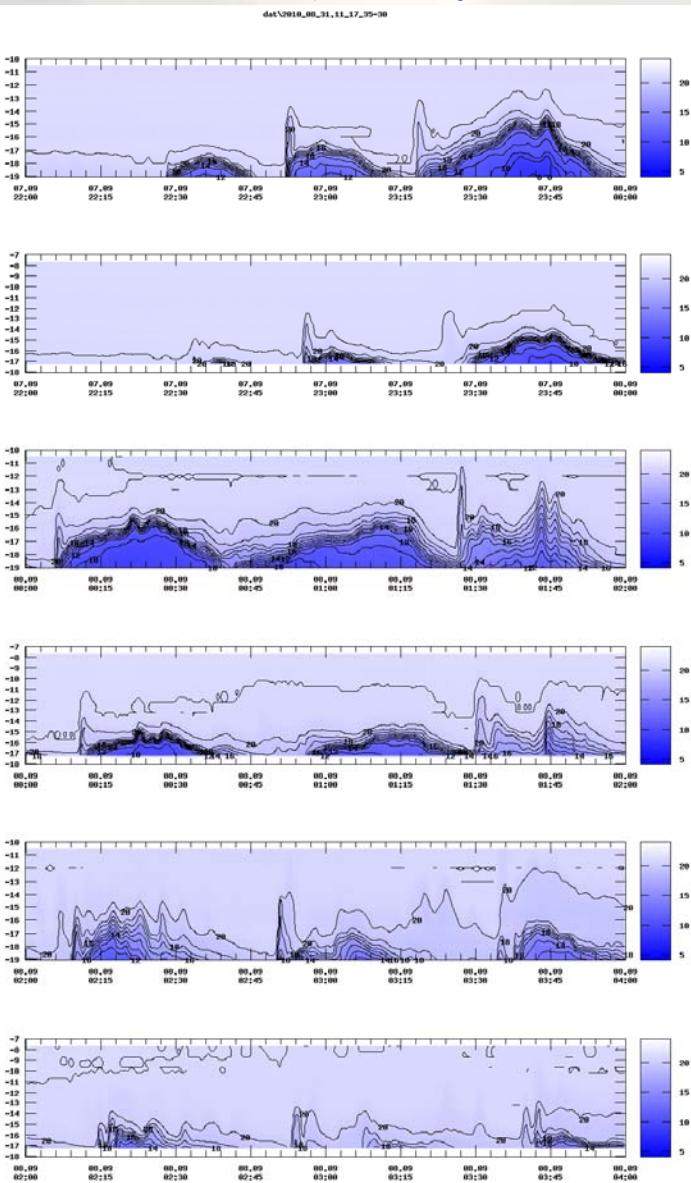


а) карта района проводимых работ: черными ромбами показаны места постановок донных станций с термогирляндами, красными звездами показаны места постановок измерителей течений и уровня, 2012 г; б) станции 2011 г.

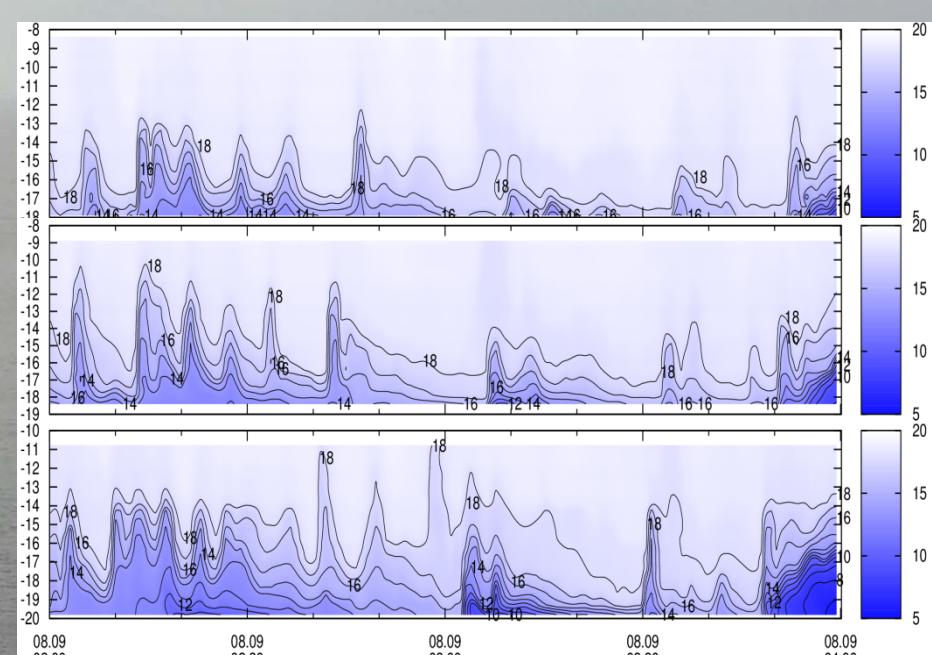
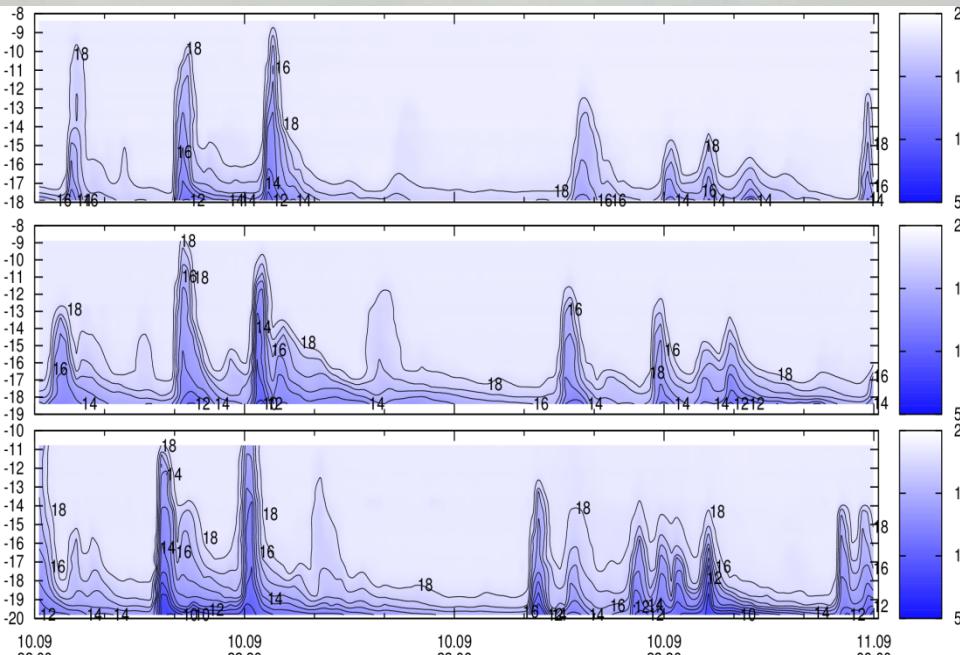
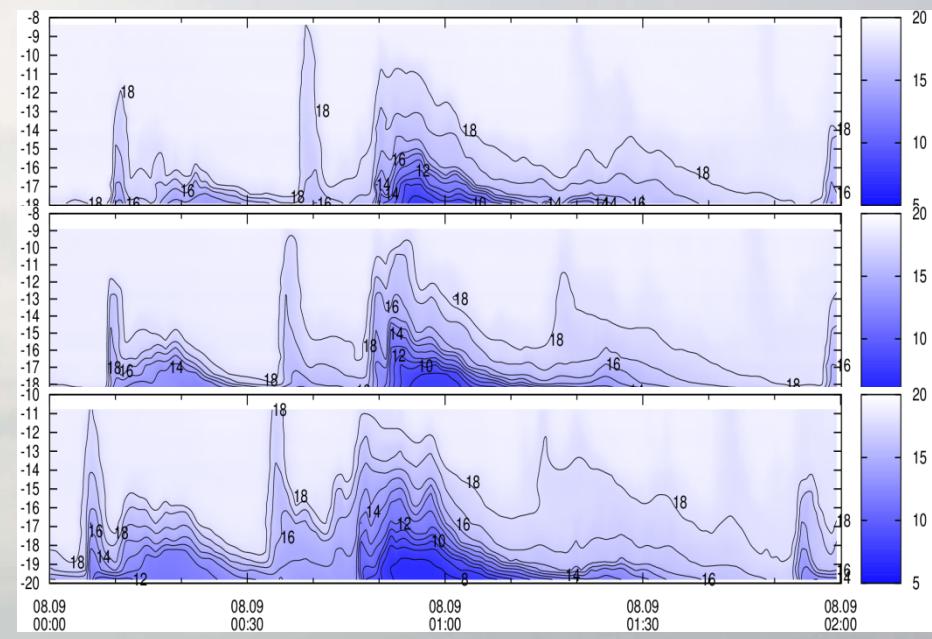
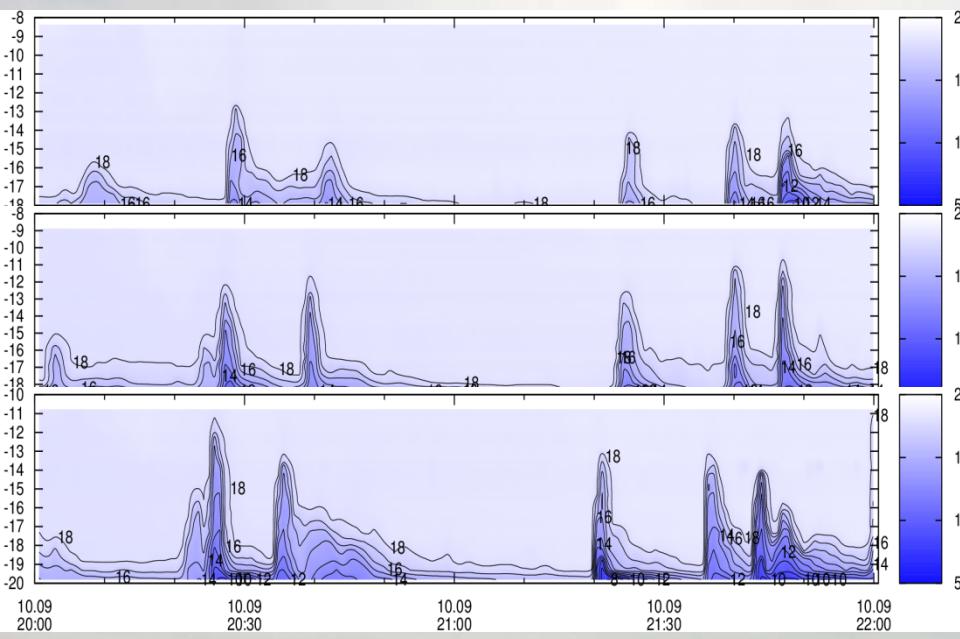
# Вариация температуры в придонном слое (ст. В)



# Внутренние волны повышения в придонном слое (м. Шульца, Японское море, станция В)



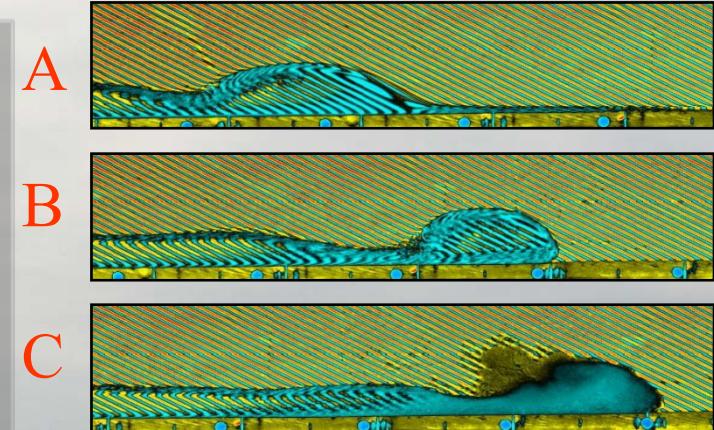
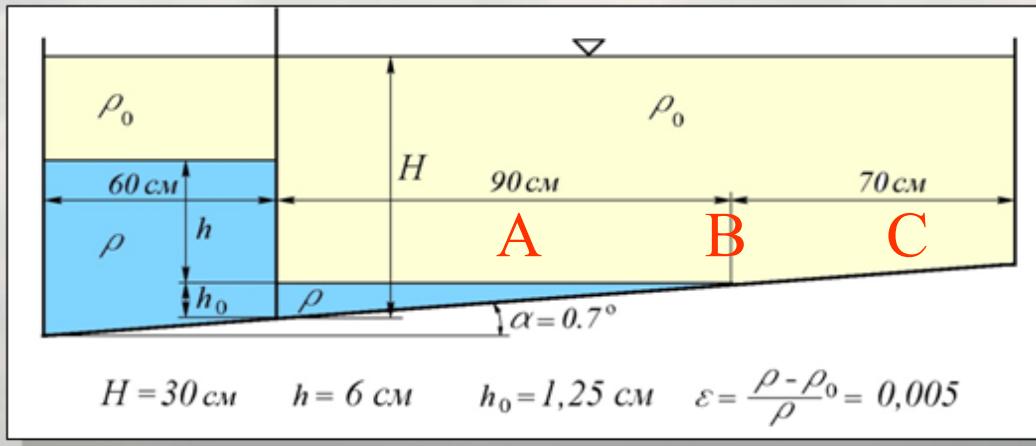
# Уединенные ВВ на станции В



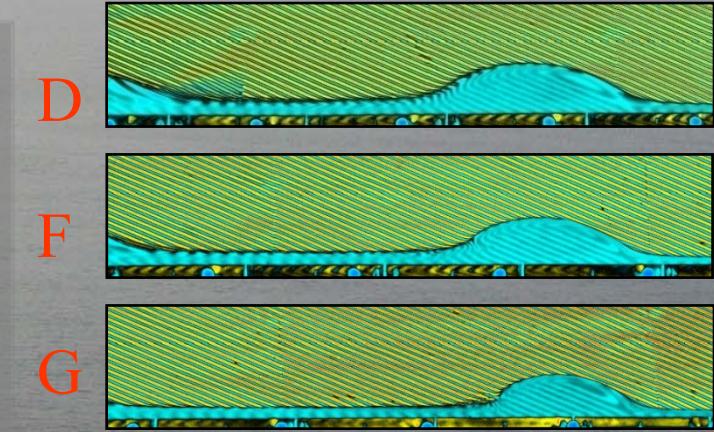
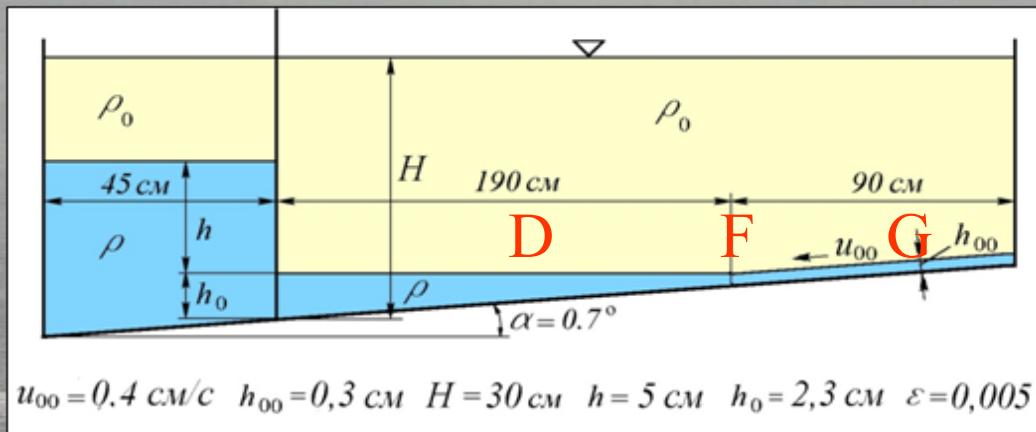
# Выход на берег придонных уединенных волн

(эксперимент ИГиЛ СО РАН )

Заплеск волн на «сухом» склоне



Заплеск волн на «смоченный» склон



## Математическая модель ( $\sigma = 0$ )

$$h_t + (hu)_x = 0, \quad \zeta_t + (\zeta w)_x = 0, \quad \eta_t + (\eta v)_x = 0,$$

$$u_t + \left( \frac{1}{2} u^2 + \frac{\beta}{3} h \frac{d_-^2 h}{dt^2} + \frac{\beta}{6} \left( \frac{d_- h}{dt} \right)^2 + p + bh + \bar{b}\eta + bz + \right.$$

$$\left. + \frac{\beta}{2} h \frac{d_-^2 z}{dt^2} + \frac{\beta}{2} \frac{d_- h}{dt} \frac{d_- z}{dt} + \frac{\beta}{2} \left( \frac{d_- z}{dt} \right)^2 \right)_x = 0,$$

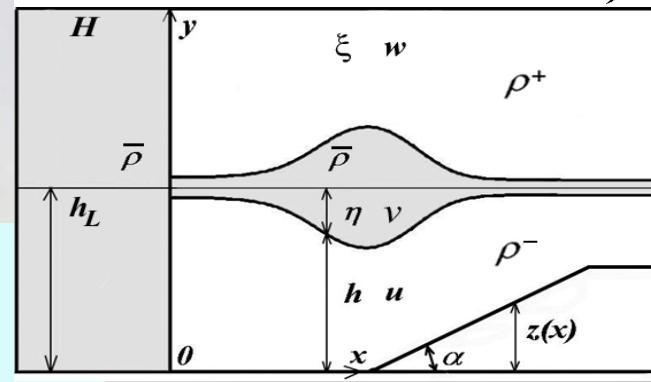
$$w_t + \left( \frac{1}{2} w^2 + \frac{\beta}{3} \zeta \frac{d_+^2 \zeta}{dt^2} + \frac{\beta}{6} \left( \frac{d_+ \zeta}{dt} \right)^2 + p \right)_x = 0,$$

$$v_t + \left( \frac{1}{2} v^2 + \bar{b}(h + \eta + z) + p \right)_x = 0,$$

$$\frac{d_-}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x}, \quad \frac{d_+}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + w \frac{\partial}{\partial x},$$

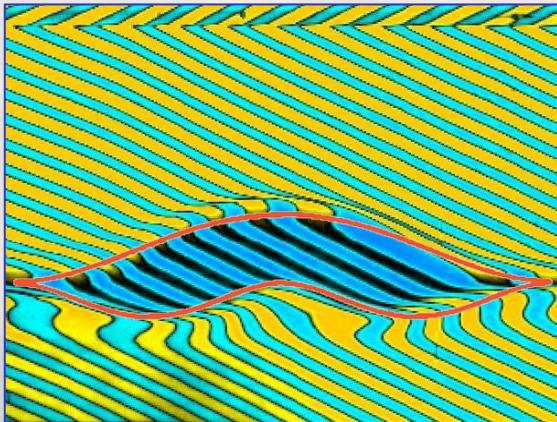
$$b = (\rho^- - \rho^+)g/\rho^+, \quad \bar{b} = (\rho^- - \rho^+)g/\rho^+.$$

$$h + \eta + \zeta + z = H \equiv const, \quad Q = hu + \eta v + \zeta w = 0.$$

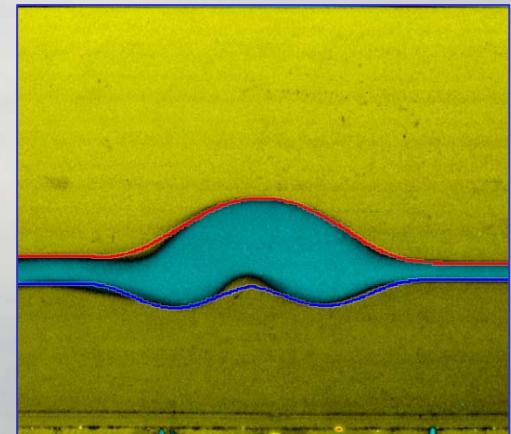


# Несимметричные уединенные волны

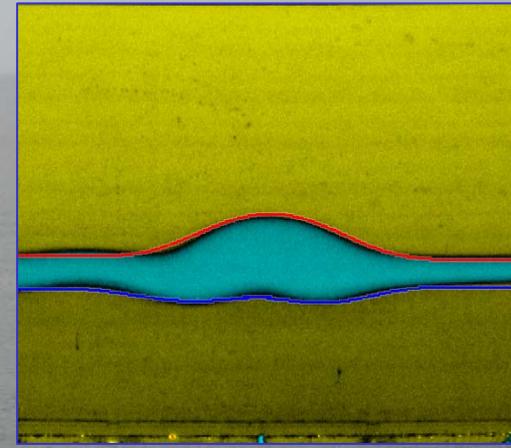
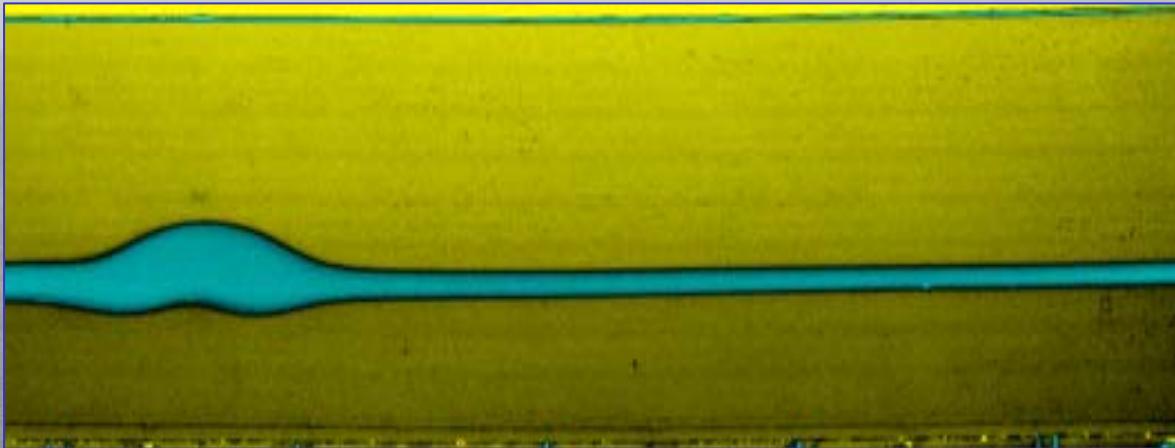
(эксперимент – Н.В. Гаврилов, ИГиЛ СО РАН)



Точное решение (красная линия)  $\eta_0 = 0$ ;

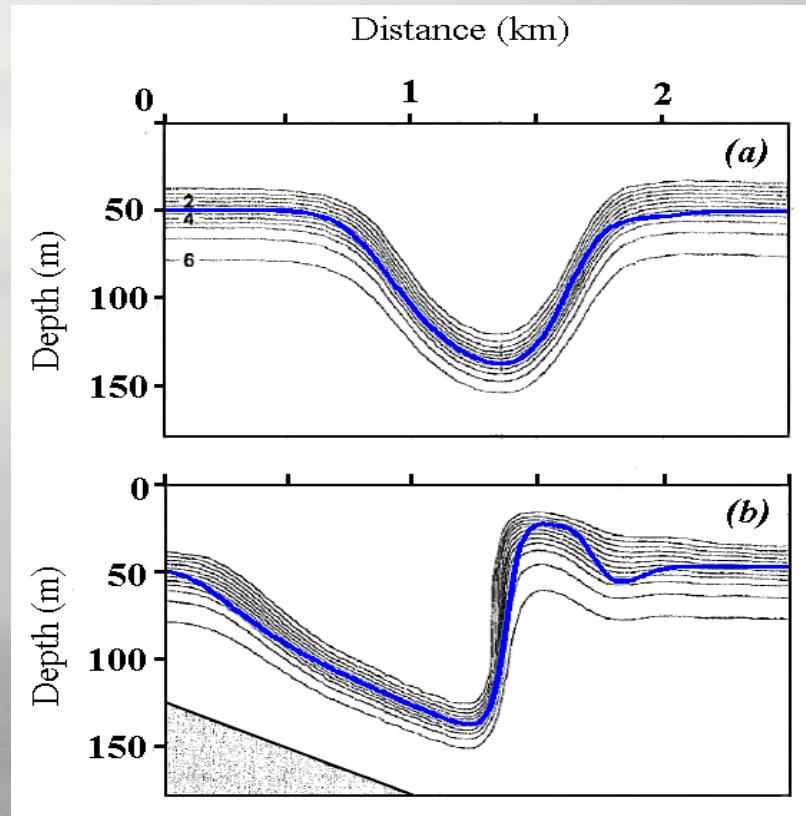
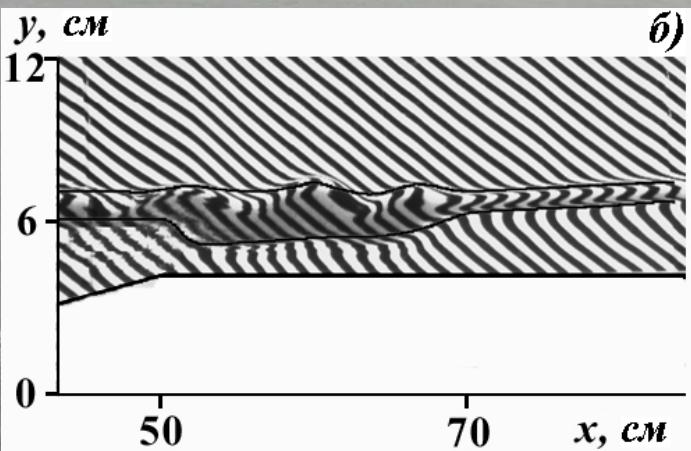
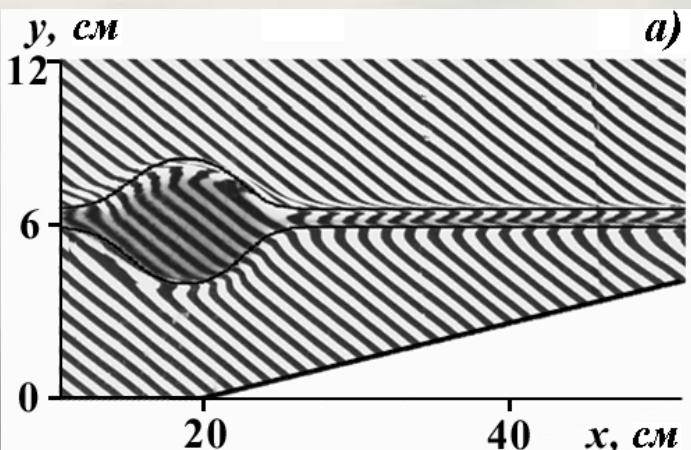
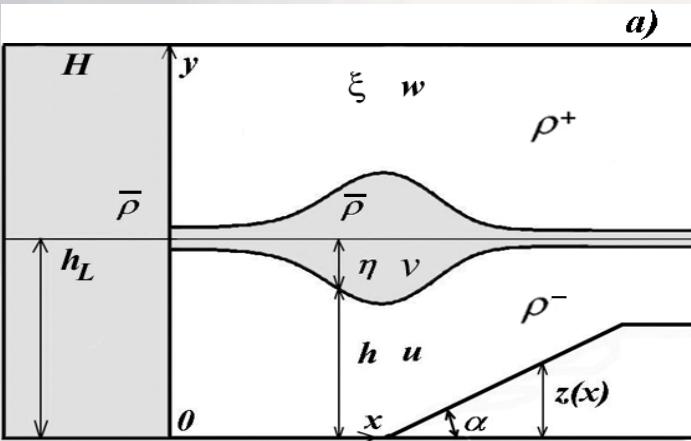


Бегущая волна  $\eta_0 > 0$



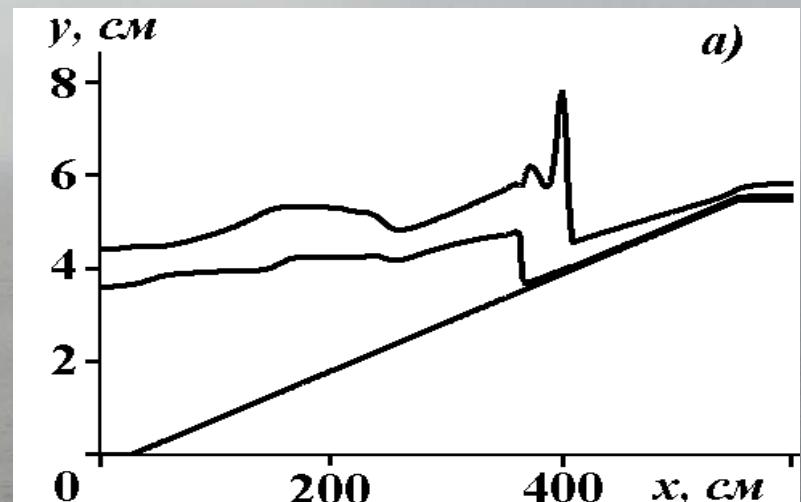
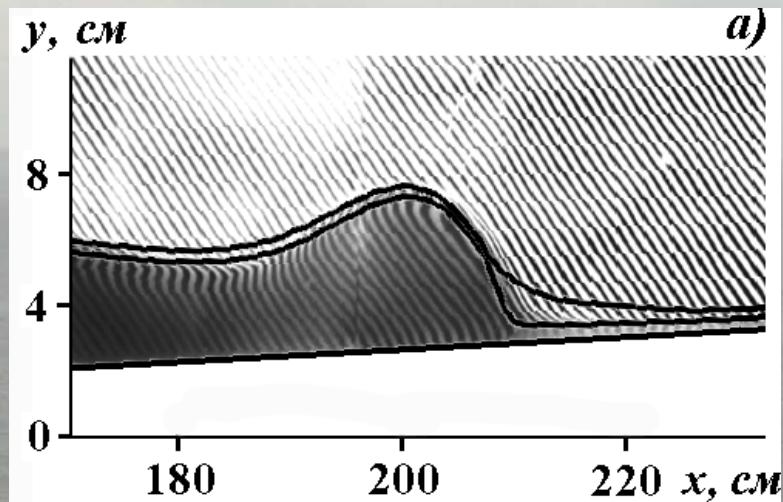
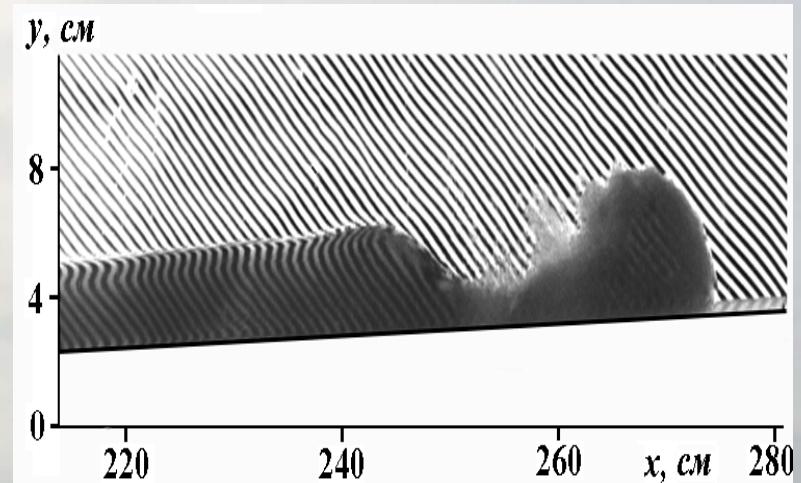
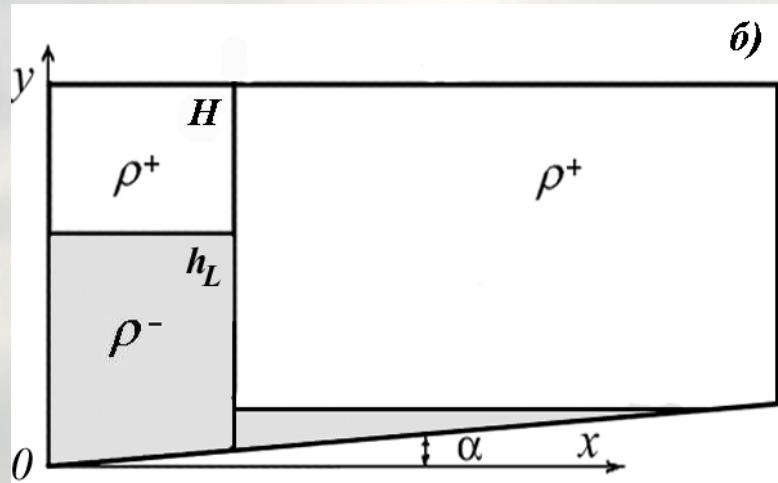
Нестационарный расчет

# Уединенные волны над склоном



Набегающая на склон ВВ ( $\tan = 0.05$ ). Волна движется налево. Сравнение численных результатов (Vlasenko, Hutter, 2002) (тонкие линии) с нестационарным решением (2L модель).

# Разрушение уединенной ВВ



Распространение внутренней волны (подкрашенная жидкость) вверх по склону  
(эксперимент – Н.В. Гаврилов, ИГиЛ СО РАН)

# 3L модель (дисперсия + перемешивание)

$$h_t + (hu)_x = -\sigma q, \quad \zeta_t + u\zeta_x = -\sigma q,$$

$$\eta_t + (\eta v)_x = 2\sigma q,$$

$$w_t + \left( \frac{1}{2}w^2 + \frac{1}{3}\zeta \frac{d_+^2\zeta}{dt^2} + \frac{1}{6}\left(\frac{d_+\zeta}{dt}\right)^2 + p \right)_x = 0,$$

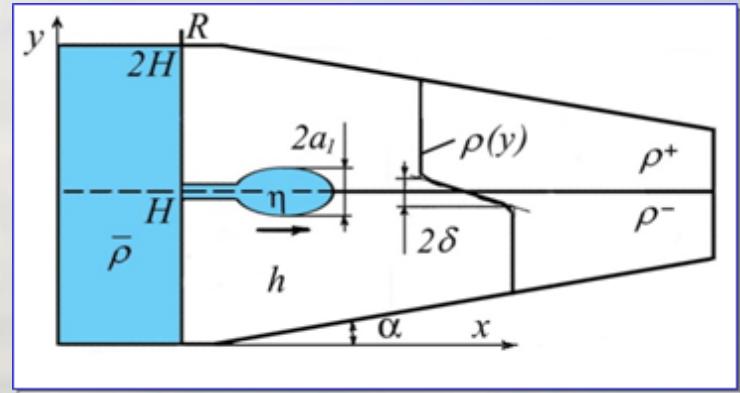
$$u_t + \left( \frac{1}{2}u^2 + \frac{1}{3}h \frac{d^2h}{dt^2} + \frac{1}{6}\left(\frac{dh}{dt}\right)^2 + p + bh + \bar{b}\eta + bz + \frac{1}{2}h \frac{d^2z}{dt^2} + \frac{1}{2} \frac{dh}{dt} \frac{dz}{dt} + \frac{1}{2}\left(\frac{dz}{dt}\right)^2 \right)_x = 0,$$

$$v_t + vv_x + \bar{b}(h + \eta + z)_x + p_x = \frac{\sigma q}{\eta} (u + w - 2v),$$

$$q_t + vq_x = \frac{\sigma}{2\eta} ((u - v)^2 + (w - v)^2 - 2q^2 - b\eta),$$

$$\frac{d_+}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + w \frac{\partial}{\partial x}, \quad \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x}.$$

Гидростатическое распределение давления в прослойке!!



Следствия:

$$(\eta q)_t + (\eta v q)_x = \frac{\sigma}{2} ((u - v)^2 + (w - v)^2 - 2q^2 - b\eta) + 2\sigma q^2$$

$$K = u - \frac{1}{3}(h^2 u_x)_x + \frac{1}{2}(h u z_x)_x, \quad (A)$$

$$R = w - \frac{1}{3}(\zeta^2 w_x)_x, \quad (B)$$

$$K_t + (Ku - \frac{1}{2}u^2 - \frac{1}{6}h^2 u_x^2 + \frac{1}{2}u^2 z_x^2 + bh + \bar{b}\eta + bz + p)_x = 0,$$

$$R_t + (Rw - \frac{1}{2}w^2 - \frac{1}{6}\zeta^2 w_x^2 + p)_x = 0.$$

$$h, \zeta, K - v, R - v,$$

$$v = \frac{Q - hu - \zeta w}{\eta}, \quad \eta = H_0 - z - h - \zeta.$$

Величины  $u, u_x, w, w_x$  находятся из (A), (B)

# Приложения модели: атмосферные явления

Плотностные  
течения:  
**Новороссийская бора**  
**Сарма (Байкал)**  
**Мистраль (Франция)**



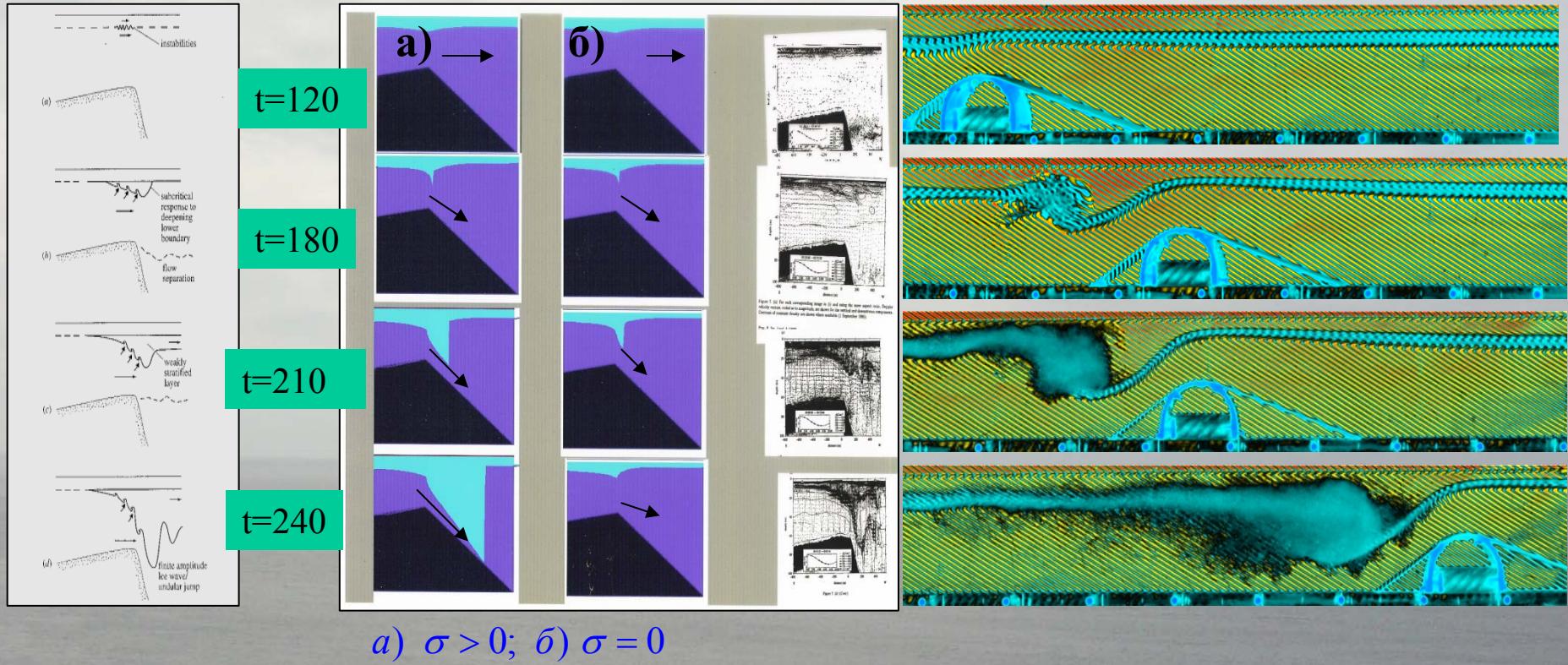
Инtrузии:  
**Morning Glory**  
**(Australia)**



# Приложения модели: транскритическое обтекание препятствия двухслойной жидкостью

*D. Farmer & L. Armi (1999)*

*Н. Гаврилов, ИГиЛ СО РАН (2011)*



Процесс развития неустойчивости двухслойного течения в окрестности подводного хребта (Knight Inlet, Canada) аналогичен орографическим процессам в атмосфере (Новороссийская бора): наличие тонкого слоя промежуточной плотности может приводить к резкому изменению режима обтекания препятствия с формированием интенсивного струйного течения.

## **Совместные работы по теме доклада**

- **Влияние дисперсии на распространение внутренних волн в шельфовой зоне**  
Н. В. Гаврилов, В. Ю. Ляпидевский, З. А. Ляпидевская  
ИГиЛ СО РАН, ИВММГ СО РАН  
Специальный номер журнала «Фундаментальная и прикладная гидрофизика» ,  
С.-П., 2013

**Эволюция внутренних волн большой амплитуды в шельфовой зоне**  
В. Ф. Кукарин, В. Ю. Ляпидевский, В. В. Навроцкий, Ф. Ф. Храпченков  
ИНХ СО РАН, ИГиЛ СО РАН, ТОИ ДВО РАН

Специальный номер журнала «Фундаментальная и прикладная гидрофизика» ,  
С.-П., 2013

**Mass and momentum transfer by solitary internal waves in a shelf zone**  
N. Gavrilov, V. Liapidevskii, and K. Gavrilova Nonlin. Processes Geophys., 19, 265–  
272, 2012

*Спасибо за внимание!*

