

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.

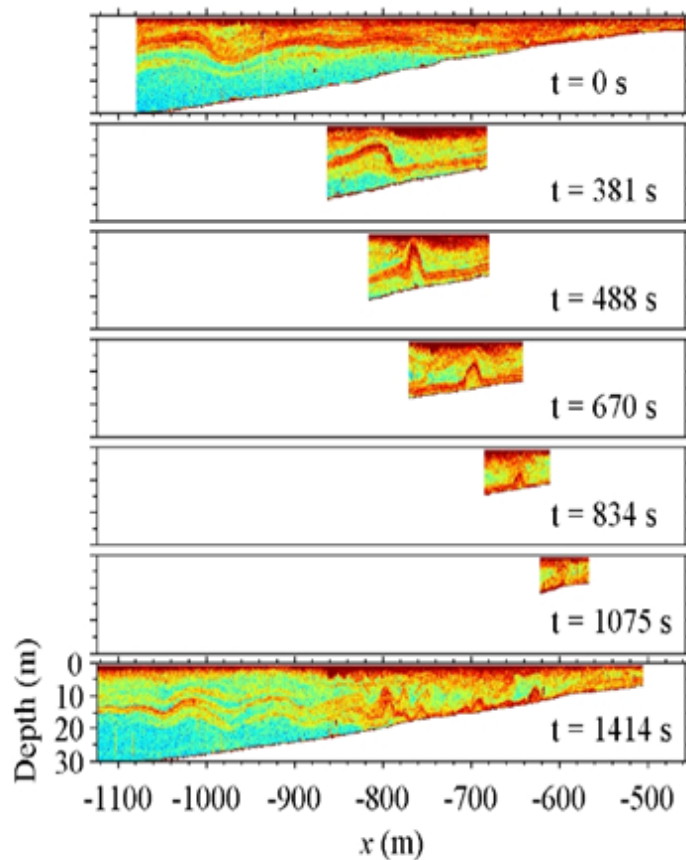
Эволюция внутренних волн большой амплитуды в шельфовой зоне

смена полярности ВВ

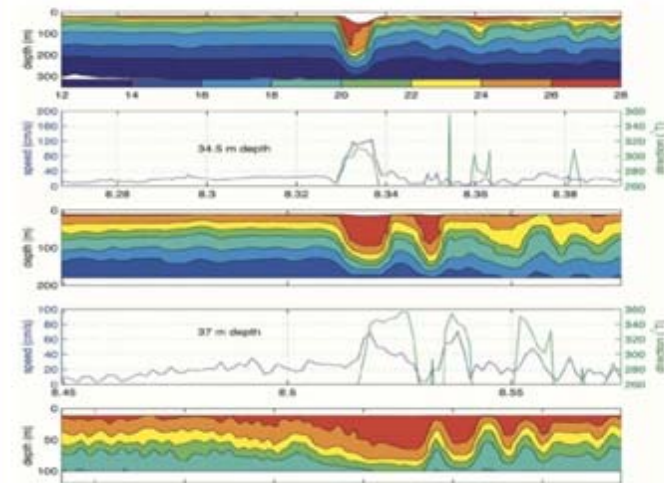
приповерхностные ВВ

BOURGAULT ET AL.: SHOALING INTERNAL SOLITARY WAVETRAIN

5

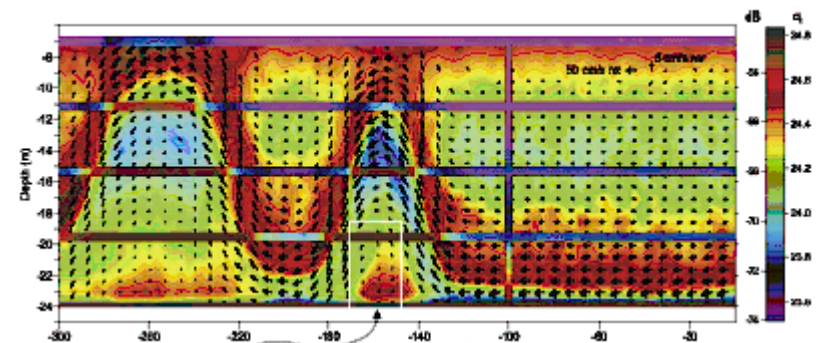


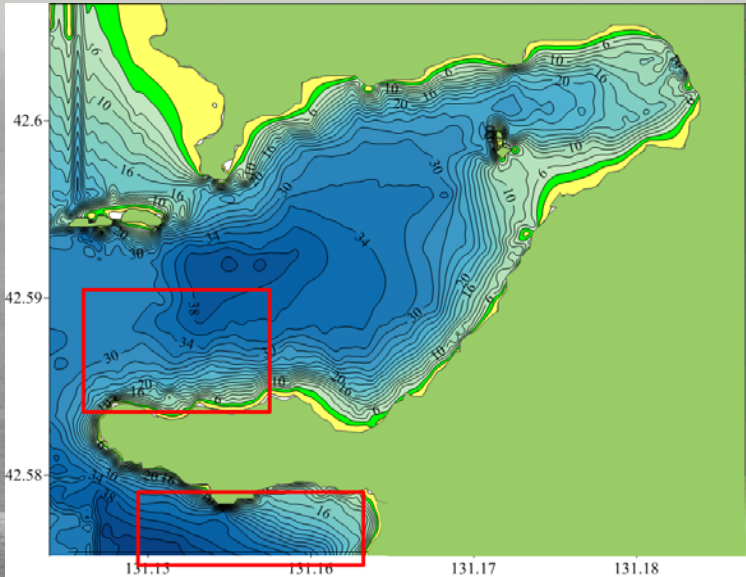
IEEE JOURNAL OF OCEANIC ENGINEERING, VOL. 29, NO. 4, OCTOBER 2004



придонные ВВ

SCOTTI AND PINEDA: NONLINEAR INTERNAL WAVES OF ELEVATION





Argonaut SonTek

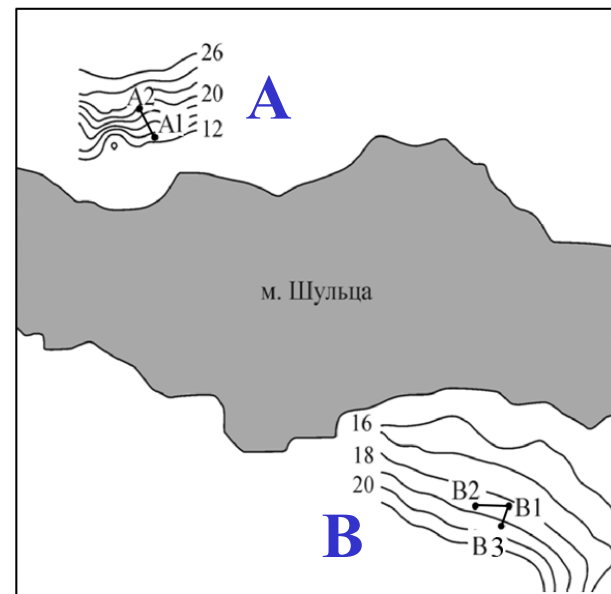
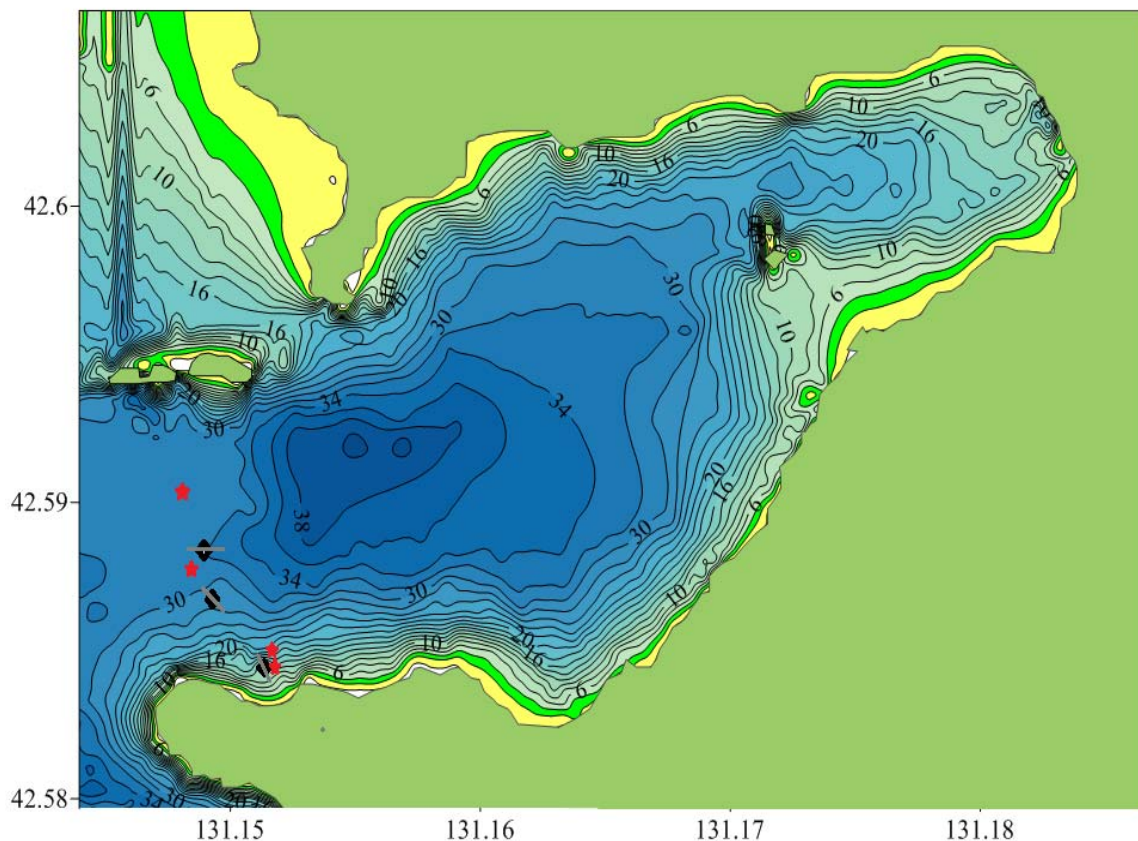
Японское море 2011 - 2012

ИГиЛ СО РАН, ИНХ СО РАН, ТОИ ДВО РАН

Основные задачи:

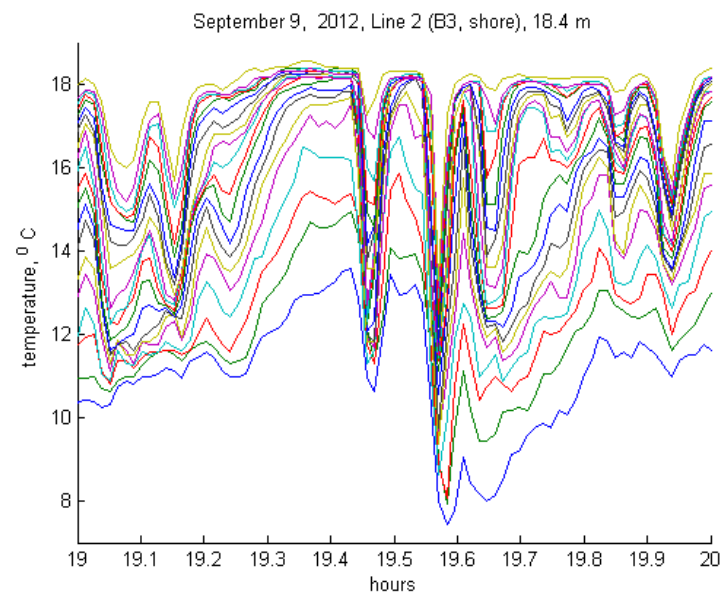
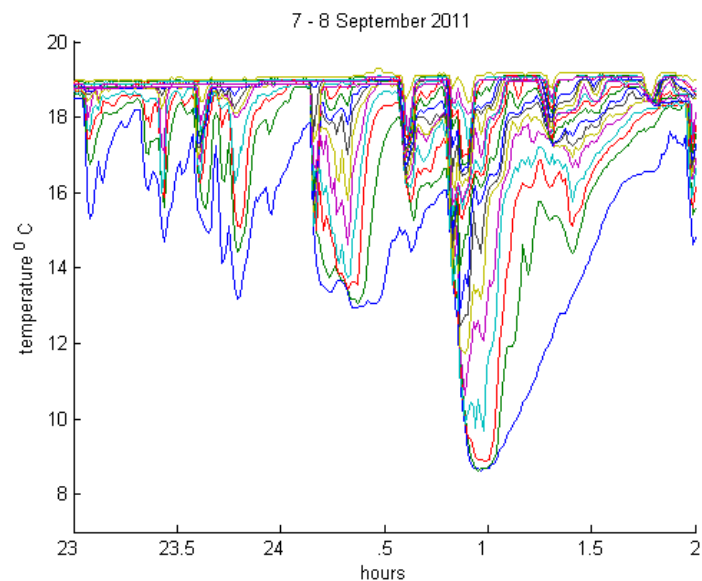
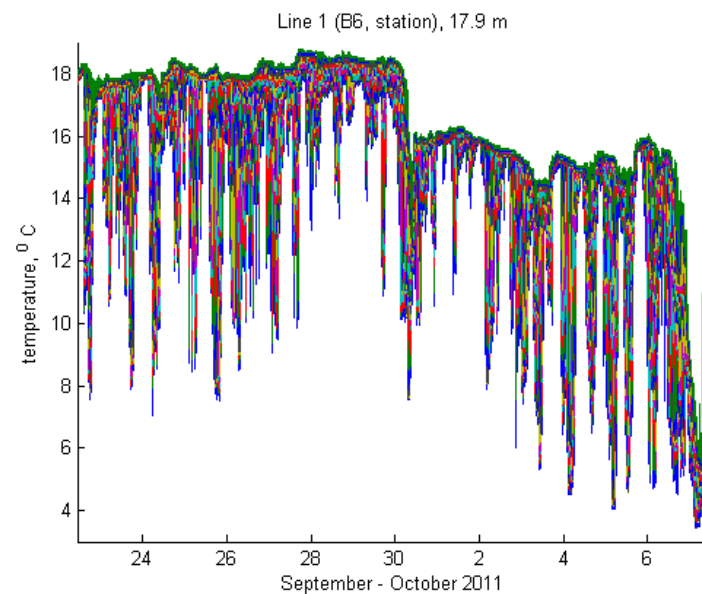
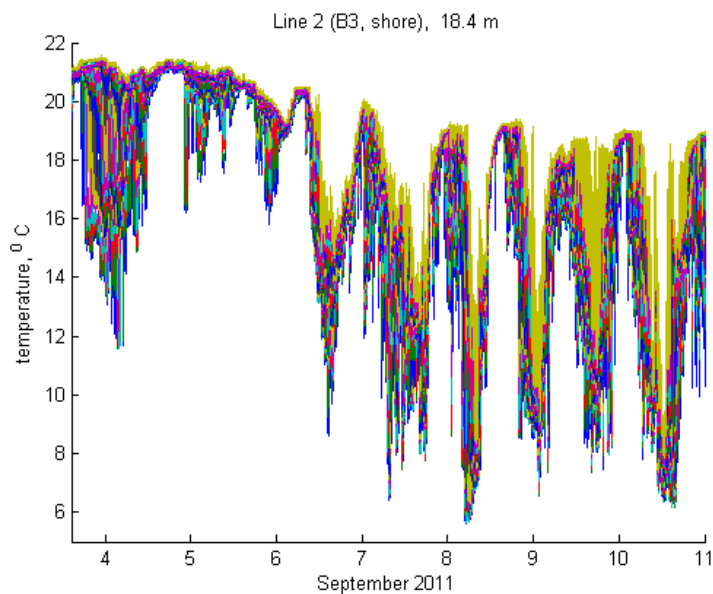
- Постановка гирлянд термисторов, уровнемеров, измерителей течений для наблюдений фоновых гидрофизических характеристик, а также внутренних волн и тонкой структуры в шельфовой зоне Японского моря;
- Проведение измерений в б. Витязь и в открытой части моря в режиме “on-line” для изучения эволюции и разрушения 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.

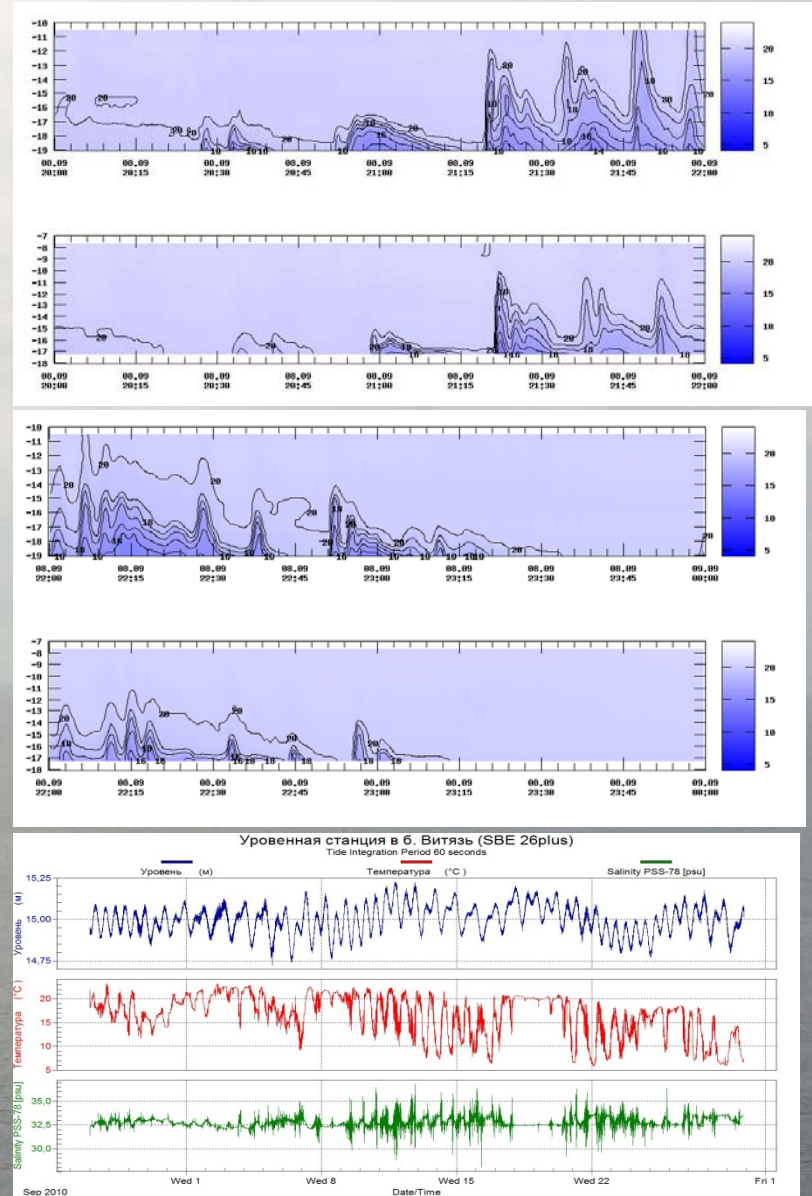
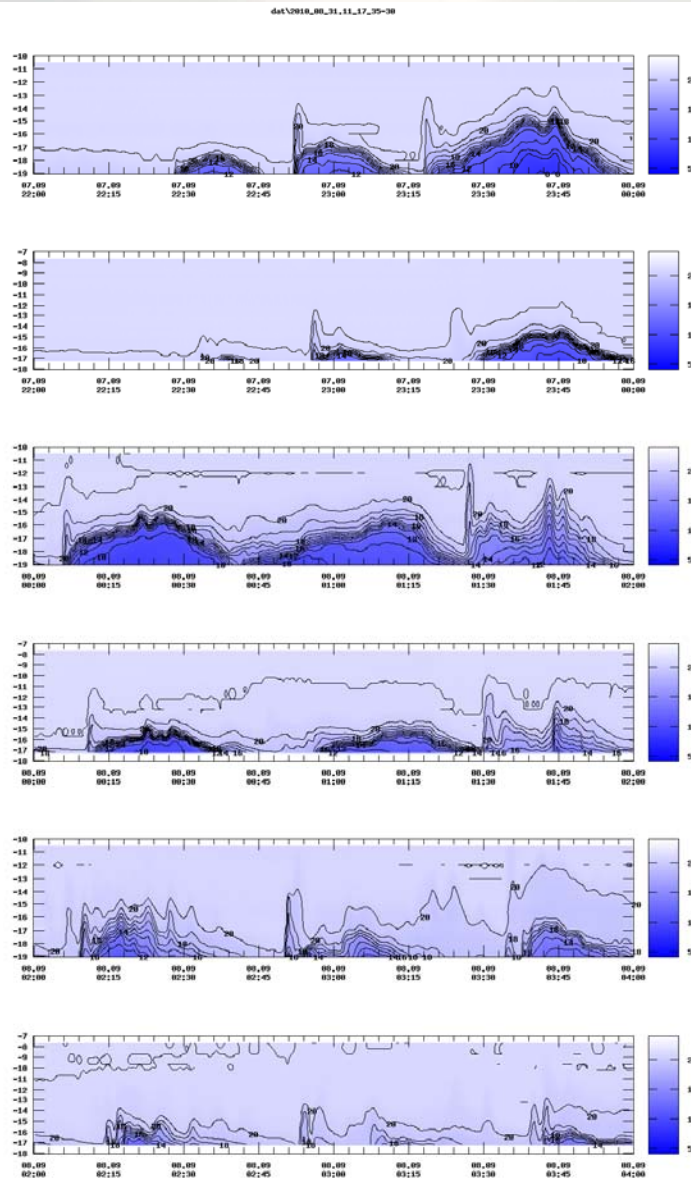


а) карта района проводимых работ: черными ромбами показаны места постановок донных станций с термогирляндами, красными звездами показаны места постановок измерителей течений и уровня, 2012 г; б) станции 2011 г.

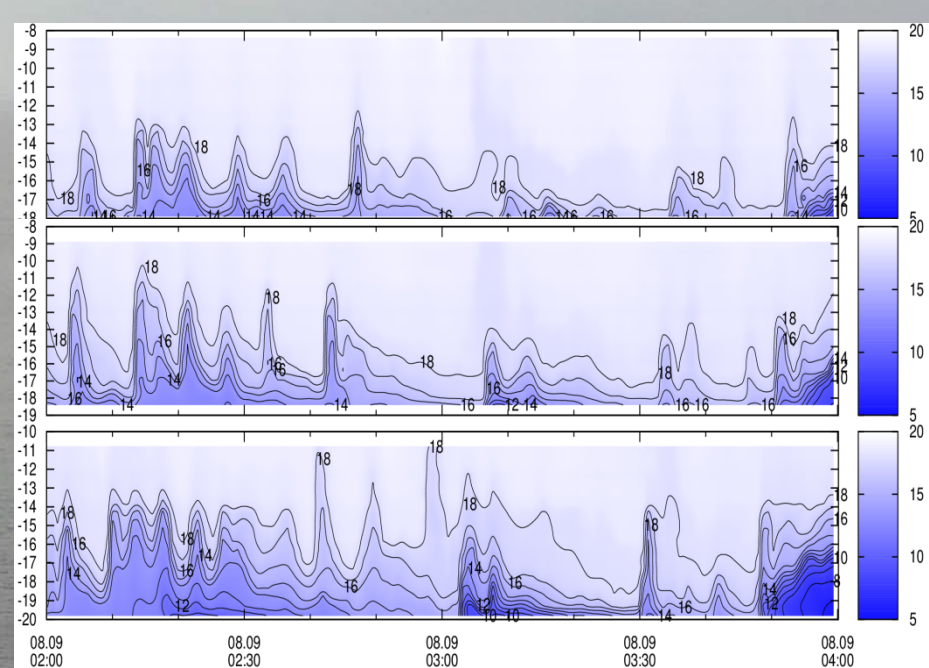
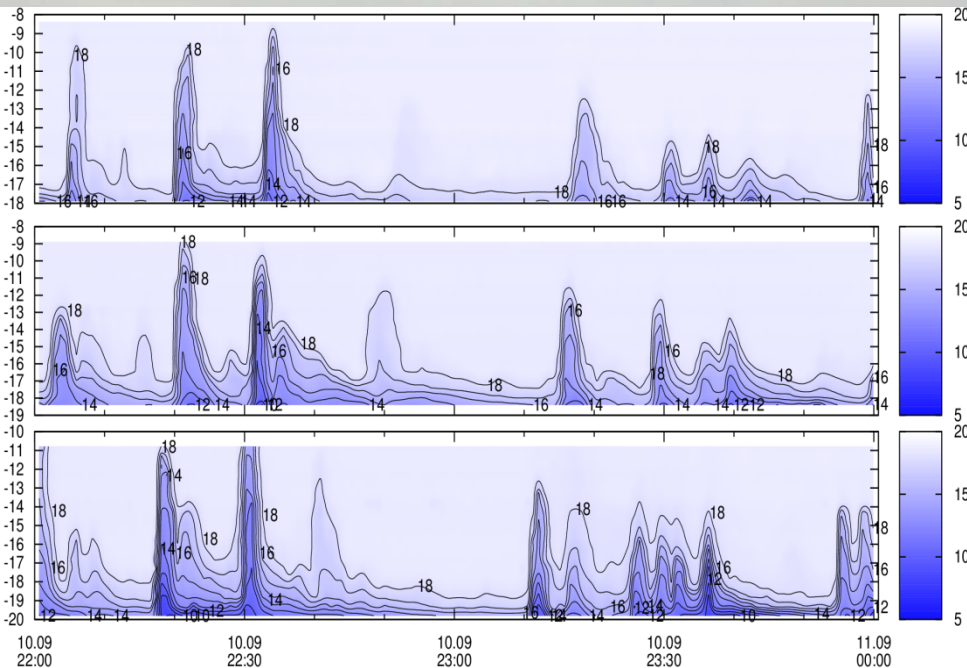
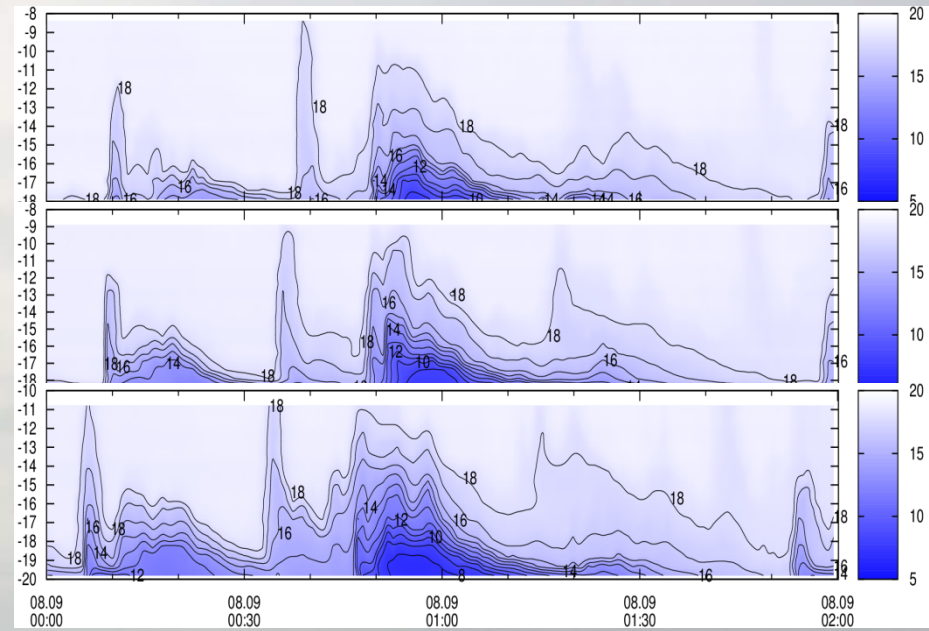
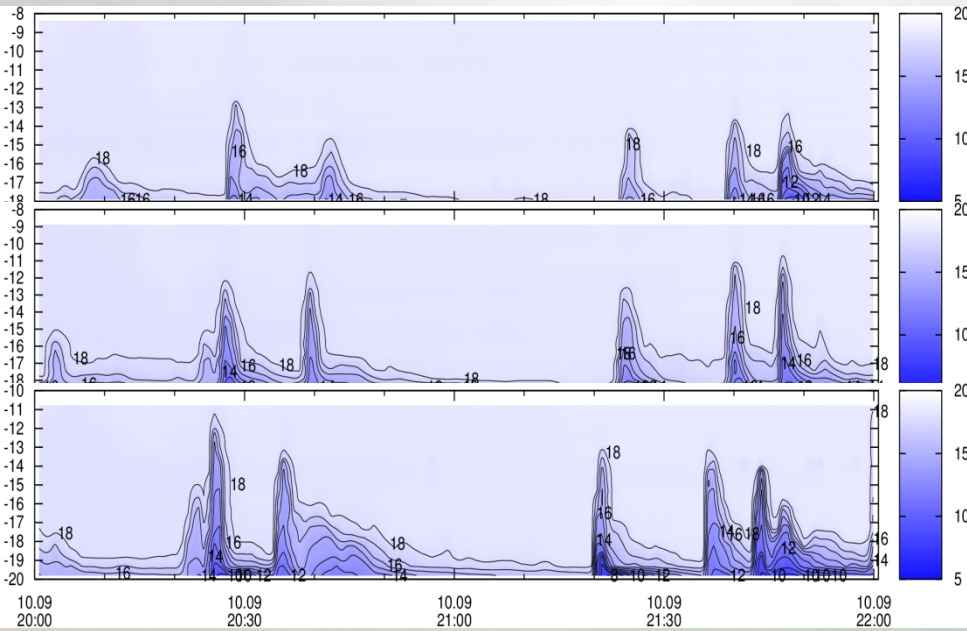
Вариация температуры в придонном слое (ст. В)



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



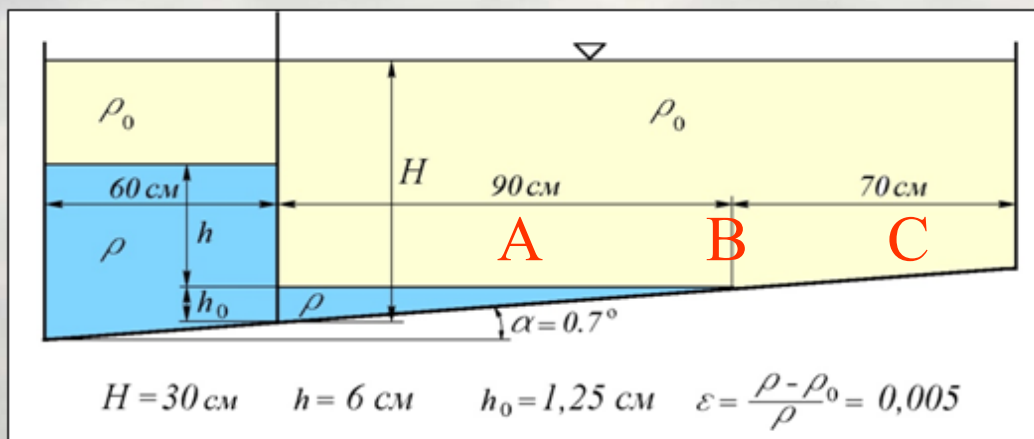
Уединенные ВВ на станции В



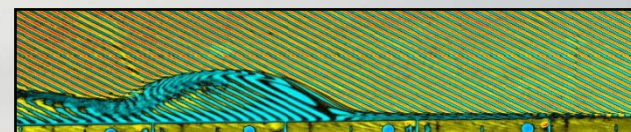
Выход на берег придонных уединенных волн

(эксперимент ИГиЛ СО РАН)

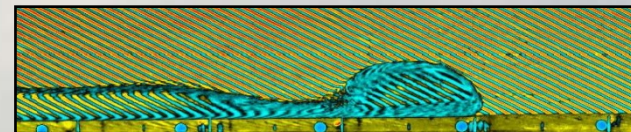
Заплеск волн на «сухом» склоне



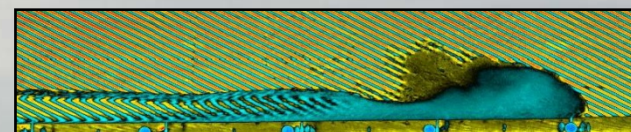
A



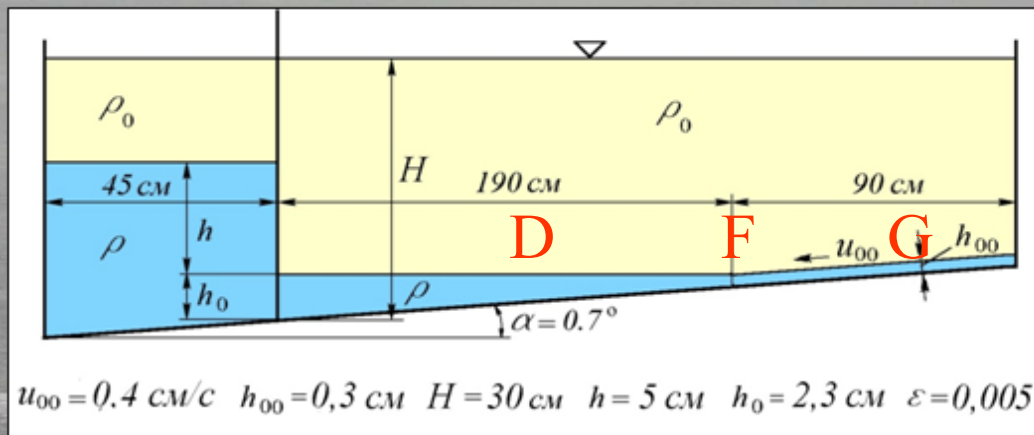
B



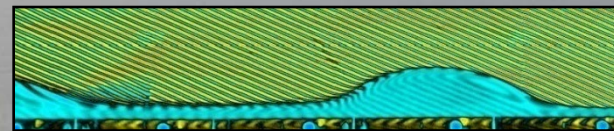
C



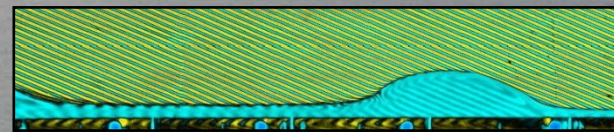
Заплеск волн на «смоченный» склон



D



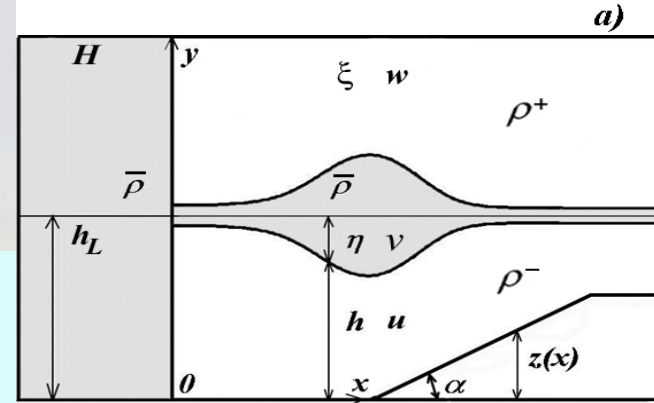
F



G



Математическая модель ($\sigma = 0$)



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

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

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

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

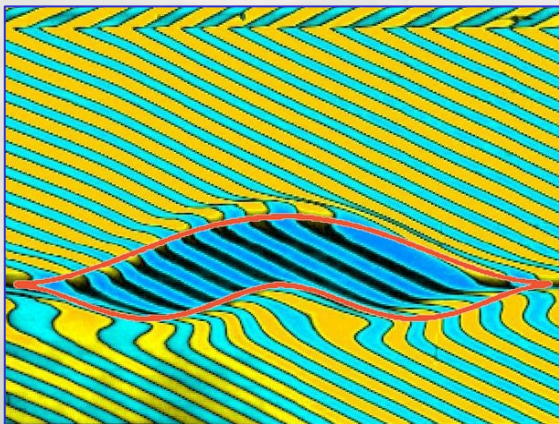
$$\frac{d_-}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x}, \quad \frac{d_+}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + w \frac{\partial}{\partial x},$$

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

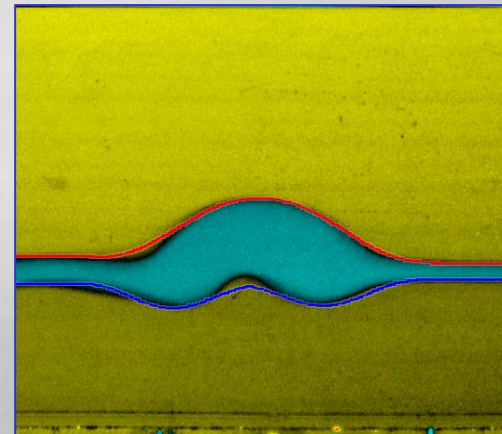
$$h + \eta + \zeta + z = H \equiv const, \quad Q = hu + \eta v + \zeta w = 0.$$

Несимметричные уединенные волны

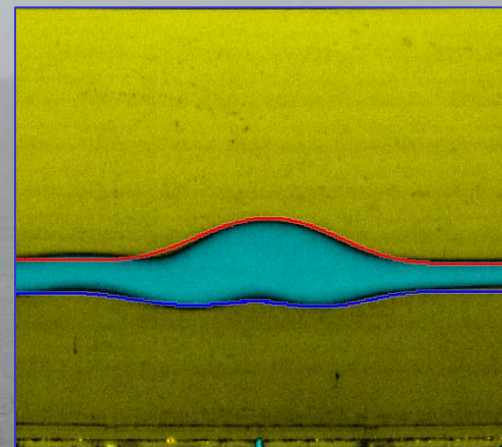
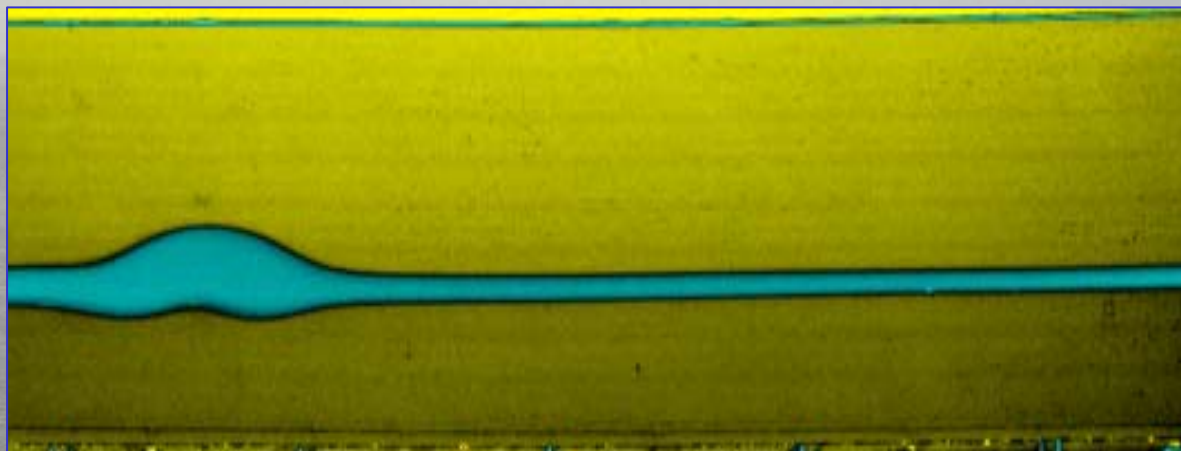
(эксперимент – Н.В. Гаврилов, ИГиЛ СО РАН)



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

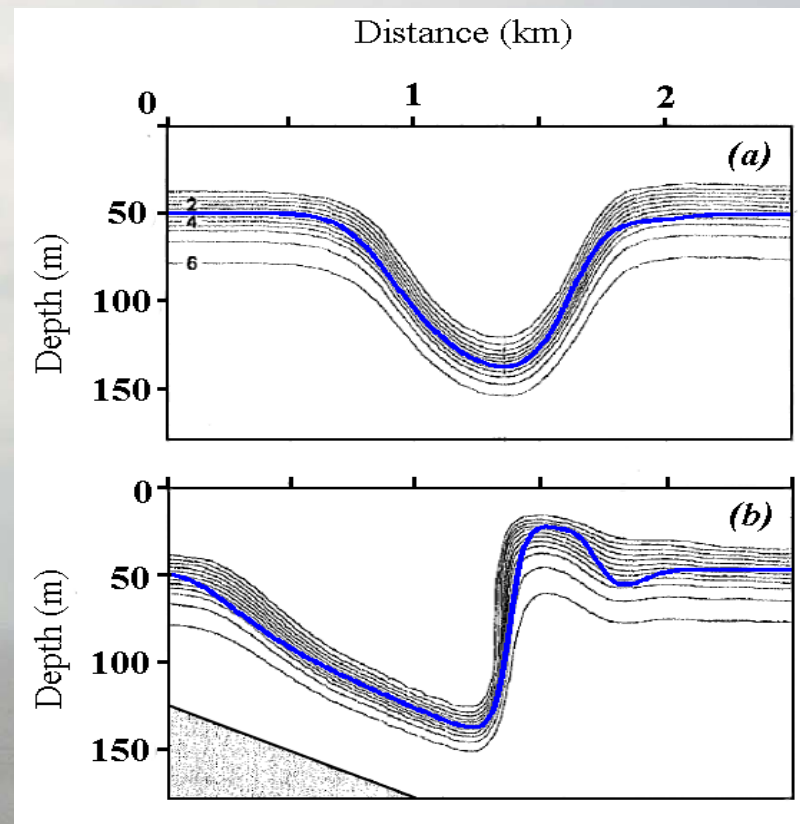
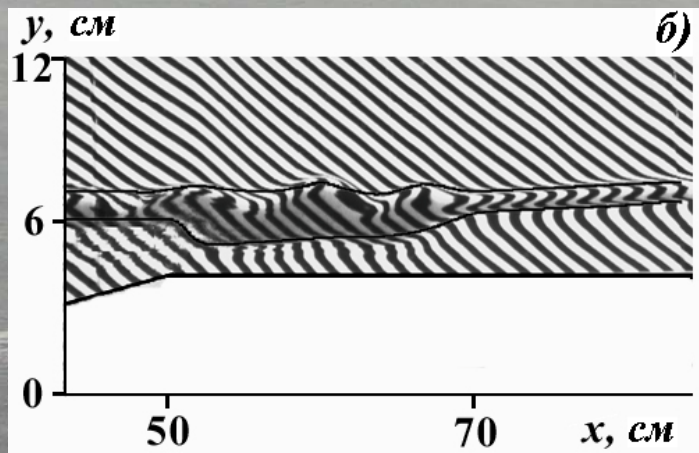
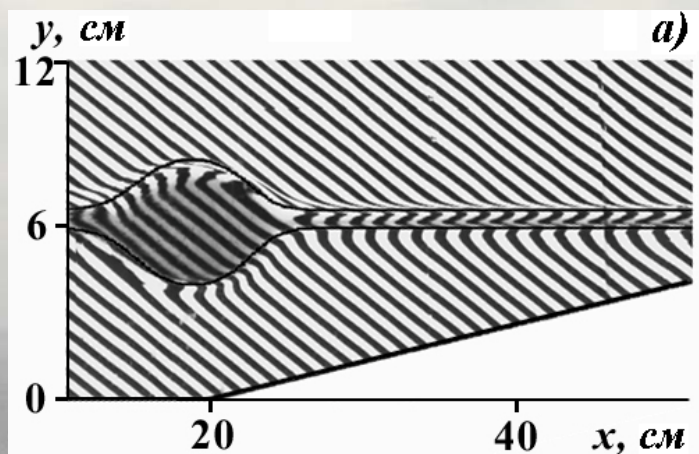
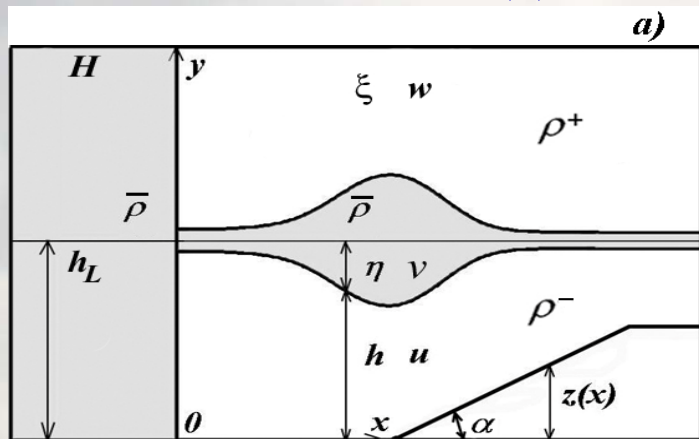


Бегущая волна $\eta_0 > 0$



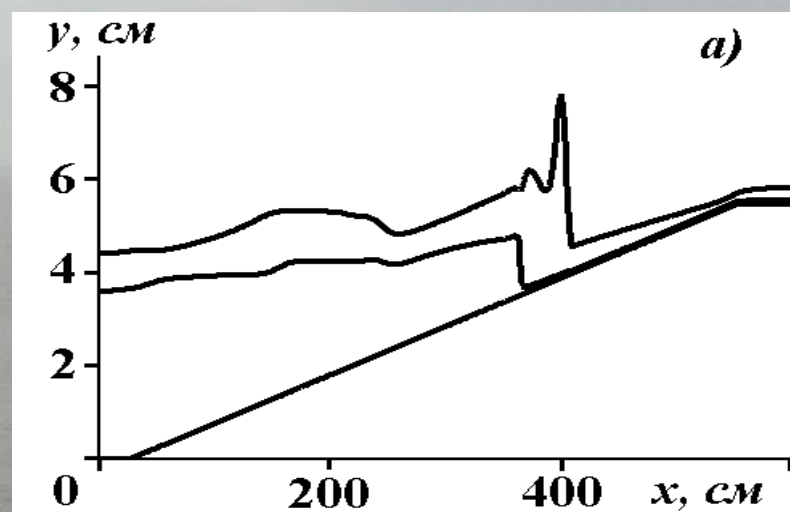
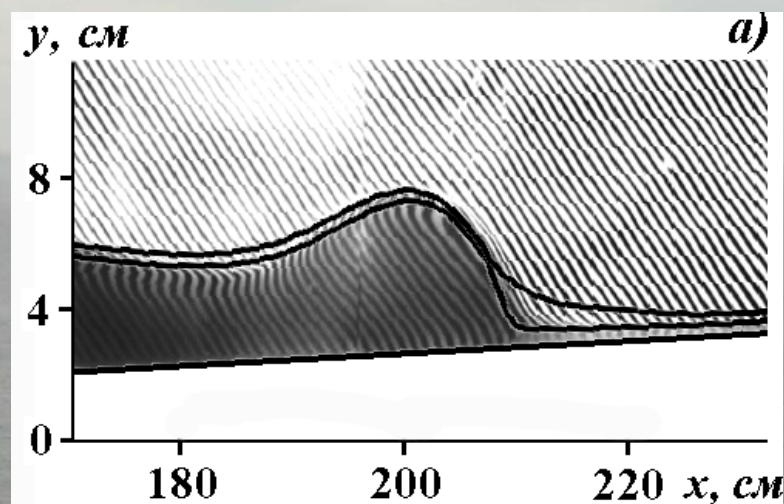
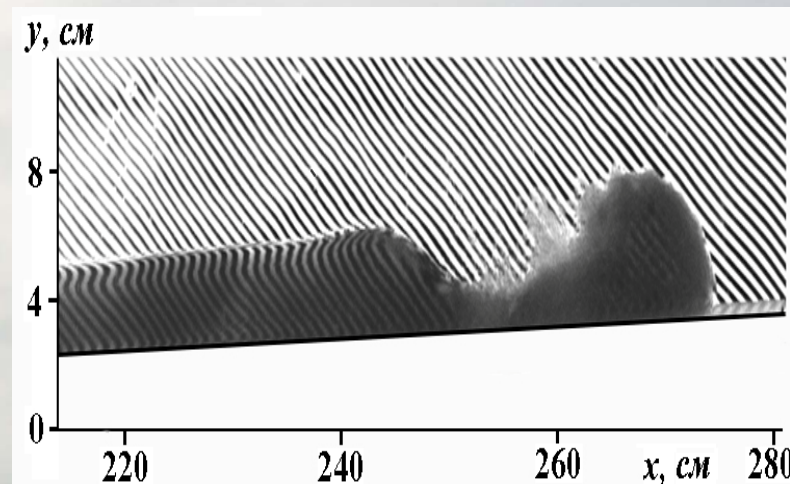
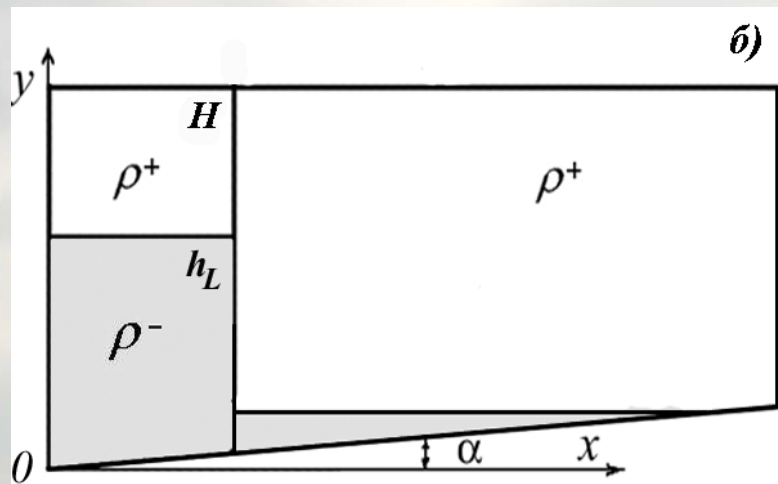
Нестационарный расчет

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)

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

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

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

$$u_t + \left(\frac{1}{2}u^2 + \frac{1}{3}h\frac{d^2h}{dt^2} + \frac{1}{6}\left(\frac{dh}{dt}\right)^2 + p + \right.$$

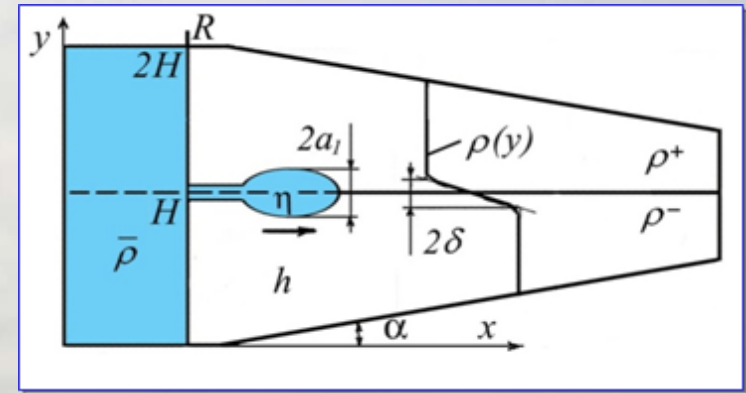
$$+bh + \bar{b}\eta + bz + \frac{1}{2}h\frac{d^2z}{dt^2} + \frac{1}{2}\frac{dh}{dt}\frac{dz}{dt} + \frac{1}{2}\left(\frac{dz}{dt}\right)^2_x = 0,$$

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

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

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

Гидростатическое распределение давления в прослойке!!



Следствия :

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

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

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

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

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

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

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

Величины u, u_x, w, w_x находятся из (А), (Б)

Приложения модели: атмосферные явления

Плотностные
течения:

Новороссийская бора
Сарма (Байкал)
Мистраль (Франция)



Интрузии:

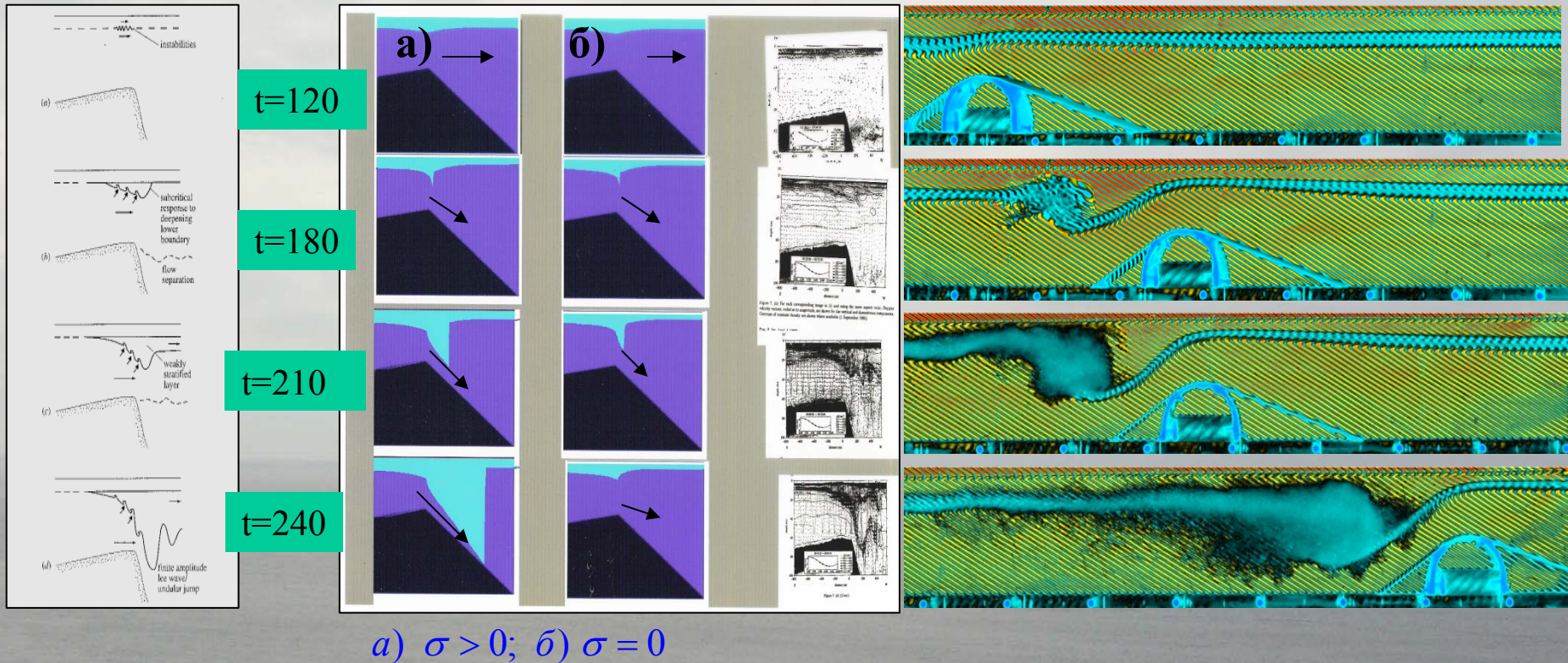
Morning Glory
(Australia)



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!

