

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВНУТРЕННИХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В АРКТИКЕ:
ТЕОРИЯ И ПРИЛОЖЕНИЯ**

БУЛАТОВ В.В.

Доктор физико-математических наук

Доктор экономических наук

Профессор РАН

WWW.BULATOV.SU

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МЕХАНИКИ ИМ.А.Ю.ИШЛИНСКОГО РАН





История

Экспедиция Ф.Нансена – эффект «мертвой воды»

Причина возникновения внутренних гравитационных волн (ВГВ) –
стратификация морской воды

Пик публикаций по изучению ВГВ 1960-1980 года

Физический механизм генерации ВГВ

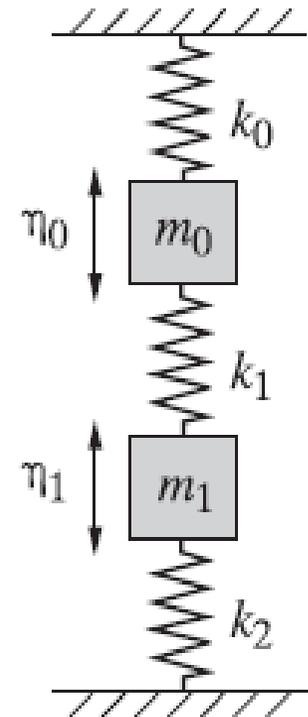
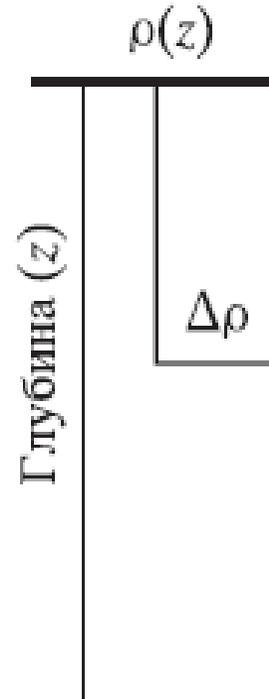
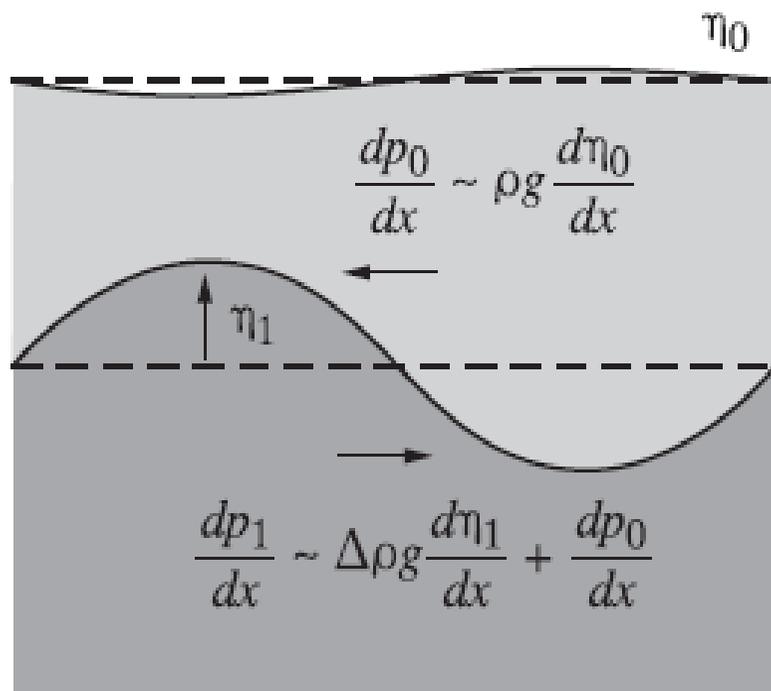
Стратификация – изменчивость плотности среды по глубине

Причины: температура, соленость, неравномерный нагрев

$N(z,x,y,t)$ – частота Брента-Вяйсяля (частота плавучести)

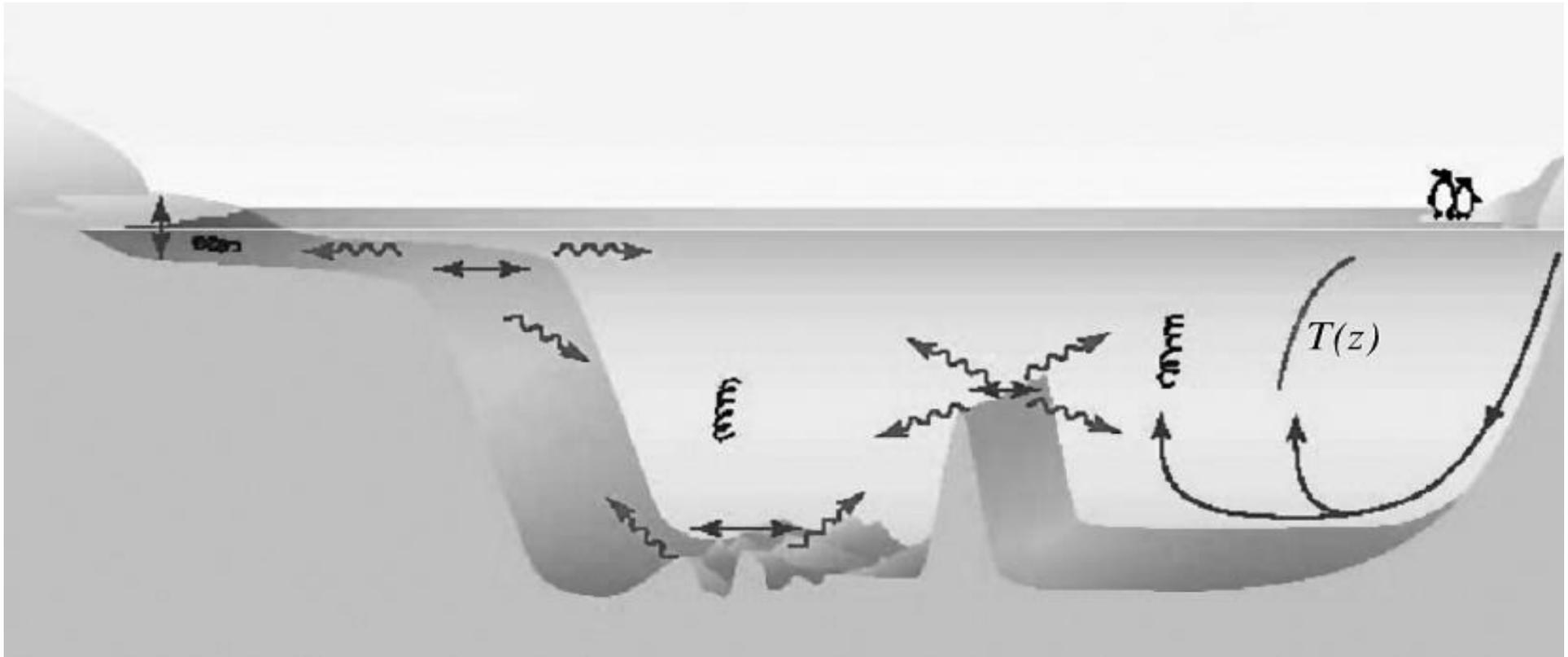
Частота колебаний жидкой частицы, выведенной из состояния равновесия

Значения $N(z,x,y,t)$: океан - десятки минут, атмосфера – несколько часов



Фундаментальные проблемы

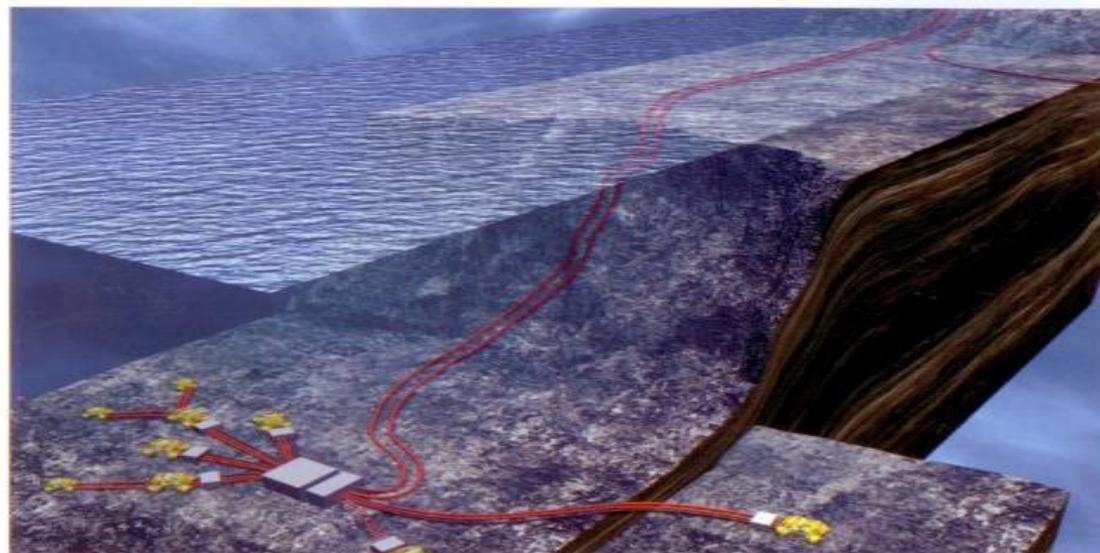
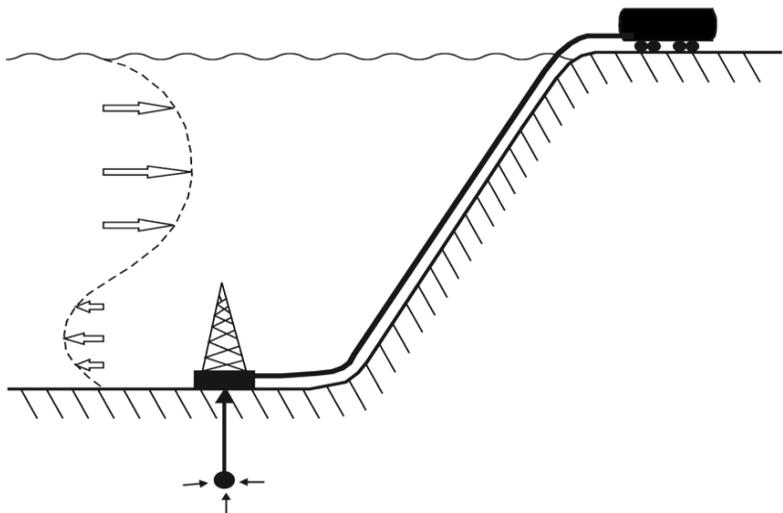
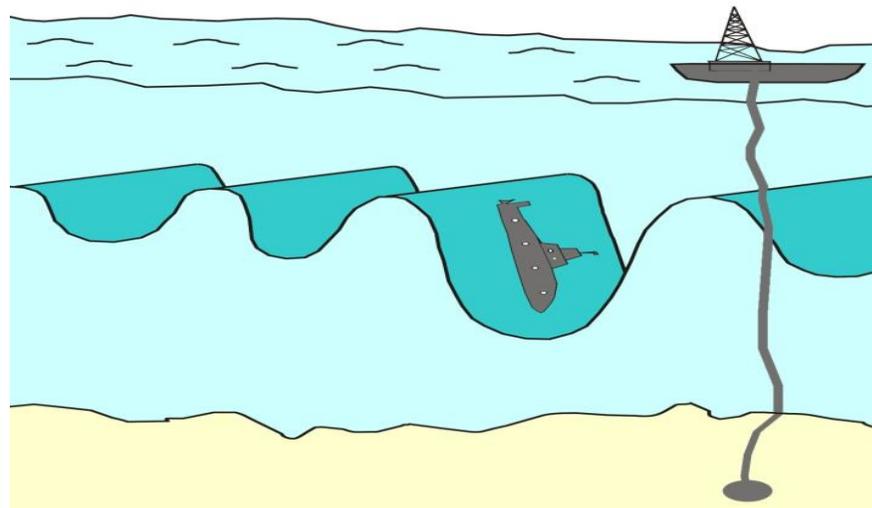
- Генерация ВГВ экстремально большой амплитуды: волн-убийц
- Влияние ВГВ на подводные технологические конструкции, объекты
- Взаимодействие ВГВ и течений
- Классические задачи гидродинамики выхода ВГВ на поверхность





18.10.97 - ANDAMAN SEA - "STENA CLYDE" LISTING 3° DUE TO SOLITON

Courtesy of Norman Fraser, Photographer and Master Mariner, Queensland, Aus.



Баренцево море (глубина в районе Штокмановского газового месторождения 300-400 метров) - ВГВ амплитудой до 20 метров
Охотское море – амплитуды более 100 метров

Ряд районов Мирового океана (Южно – Китайское море, Арктический бассейн) влияние ВГВ волн на подводные платформы в десятки раз может превышать ветровые нагрузки



Безопасность и обнаружение субмарин – “TRESHER” submarine (1963)



Photo # NH 97543 USS Thresher (SSN-593). Artwork by Hultberg, circa 1960



Приложения

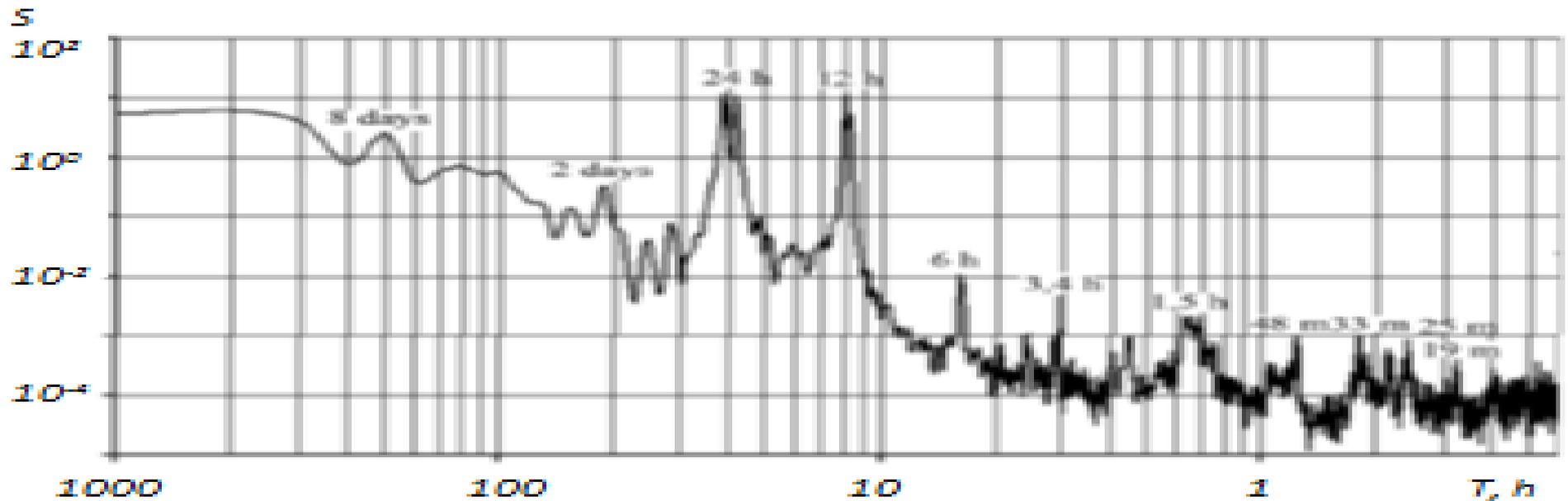
Системы раннего обнаружения

Донные датчики давления используются для регистрации ВГВ в океане

Система DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis) -

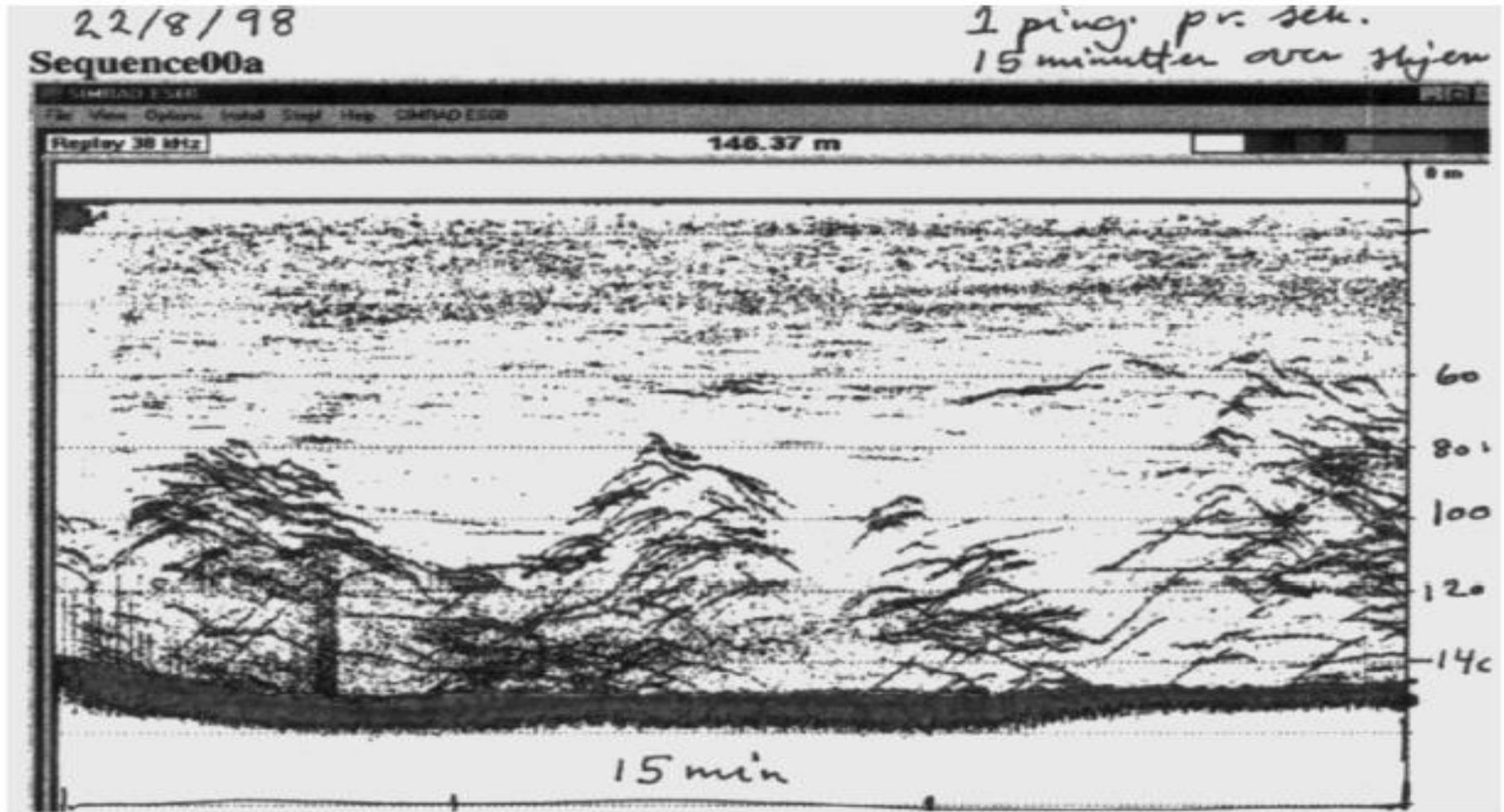
предназначена для регистрации волн цунами

С 2008 года используется система раннего обнаружения цунами и ВГВ больших амплитуд (Soliton Early Warning System)



Вариация давления на дне при проходе ВГВ

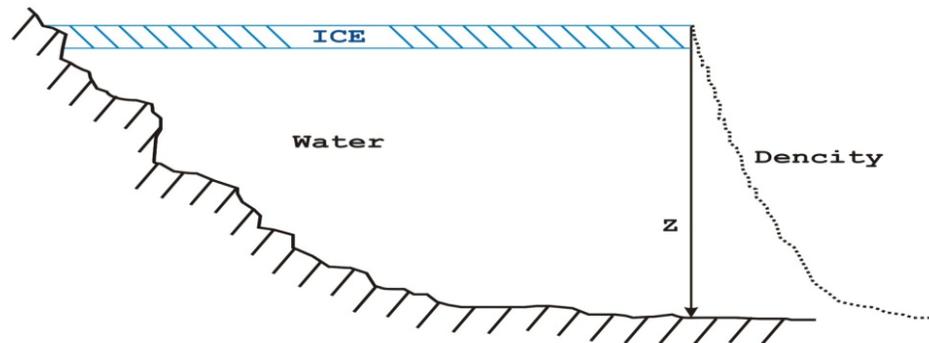
Приложения
Экология
Перенос биомассы
ВГВ маркируют рыбный косяк (Баренцево море)



Арктический бассейн

Программа научных исследований Office of Naval Research (ВМФ США)
(2011 – н.вр.)

- исследование влияния динамики ВГВ на основные океанические обмены
 - особенности распространения ВГВ в зоне Арктического бассейна
- волновые процессы в толще моря, влияющие на инженерные сооружения



Исландия
Lagune JOKULSARLON
James Bond(2002)
DIY ANOTHER DAY



Основные фундаментальные проблемы

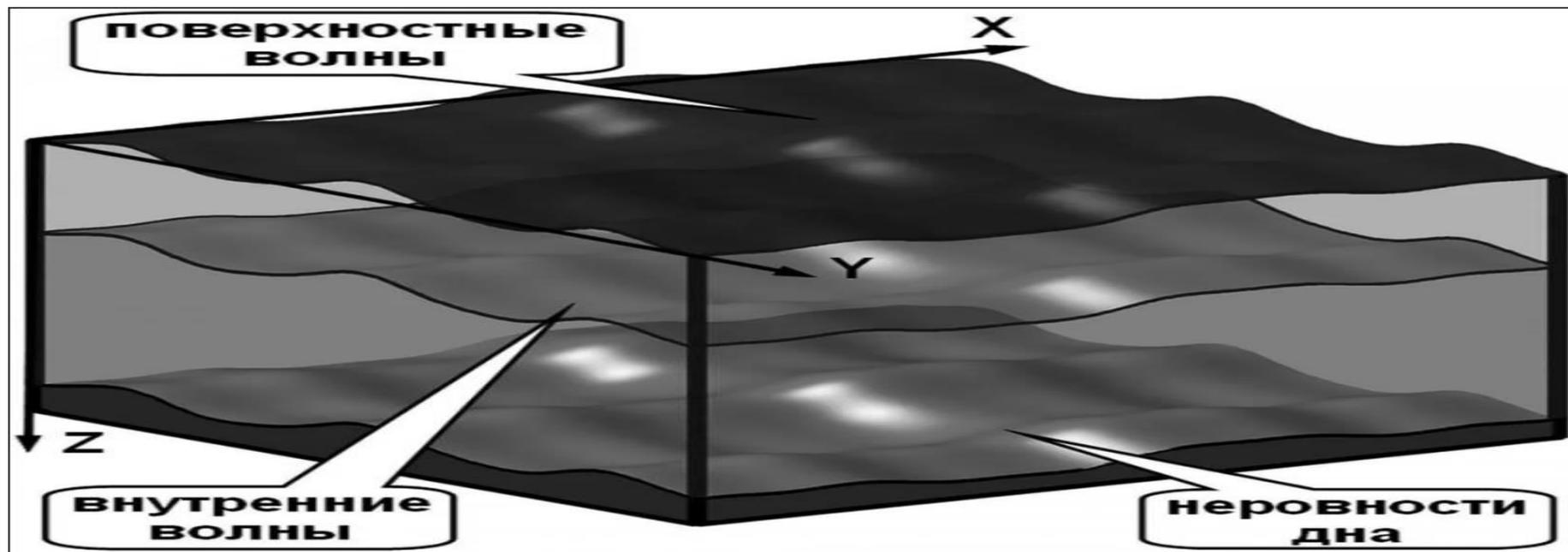
- i) Математическое моделирование волновой динамики с учетом реальной изменчивости природных сред (океан, атмосфера)
- ii) Численное моделирование генерации (воздействия): нелокальные источники, морские платформы, субмарины
- iii) Разработка асимптотических методов расчетов ВГВ
- iv) Алгоритмы обнаружения



Система уравнений гидродинамики, описывающая возмущения в общем виде представляет достаточно сложную математическую задачу как в плане доказательств теорем существования и единственности решений, так и с вычислительной точки зрения.

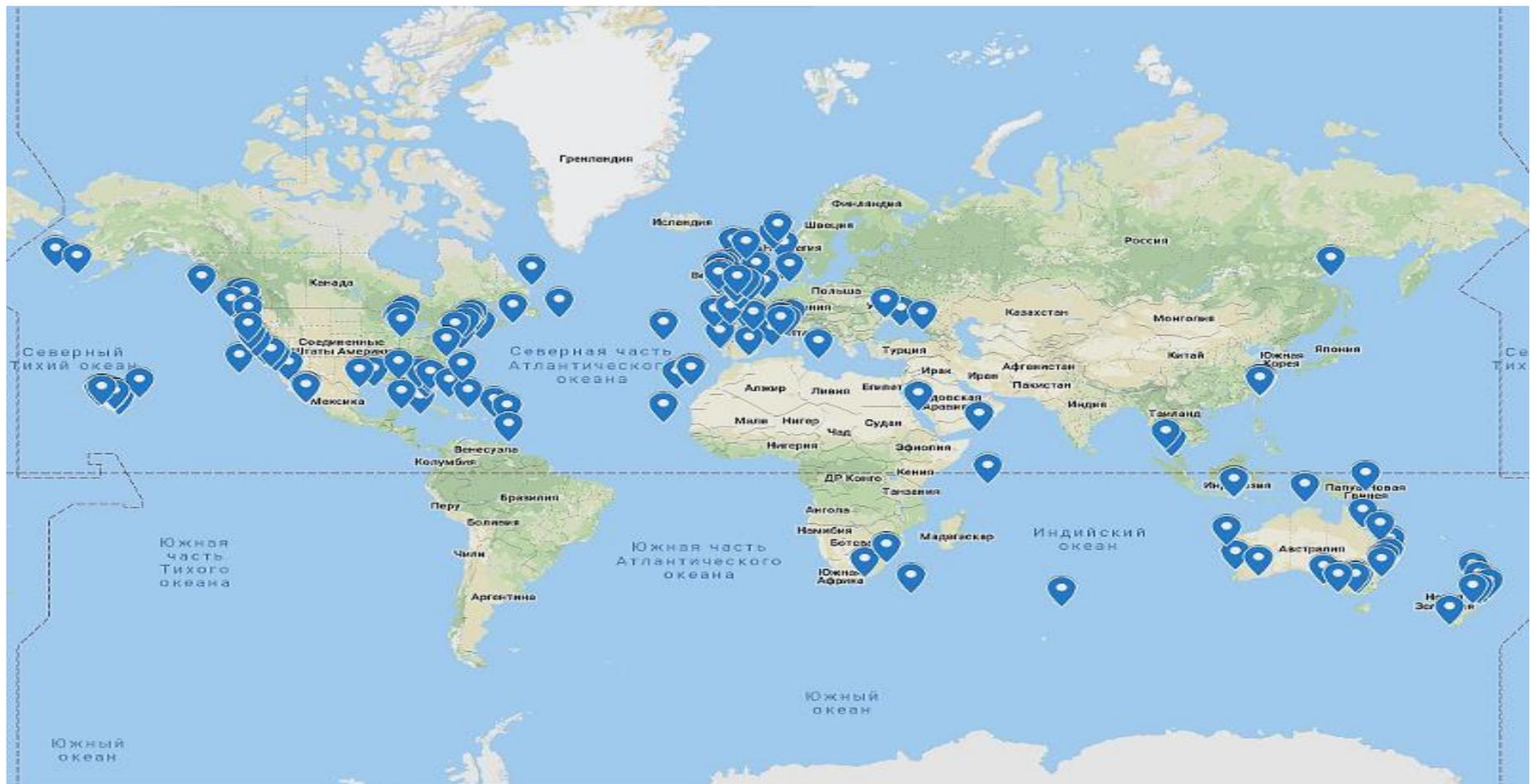
Основные результаты решений задач о генерации волновых возмущений представляются в самой общей интегральной форме. Требуется разработка асимптотических методов их анализа, допускающих качественный анализ и проведение экспресс оценок получаемых решений.

Булатов В.В., Владимиров Ю.В. Волны в стратифицированных средах. М.: Наука. 2015. 735 с.



Результаты анализа линейных задач лежат в основе активно развивающейся в настоящее время нелинейной теории генерации океанических волн экстремально большой амплитуды – волн-убийц.

Kharif C., Pelinovsky E., Slunyaev A. Rogue waves in the ocean. Springer: Berlin. 2009. 216 p.



Математическая модель Невязкая, несжимаемая среда

Уравнения движения

$$\rho \frac{dU_1}{dt} + \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \quad \rho \frac{dU_2}{dt} + \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad \rho \frac{dW}{dt} + \frac{\partial p}{\partial z} + g \rho = 0$$

Уравнение состояния (приближение адиабататики)

$$\frac{1}{c^2} \frac{dp}{dt} = \frac{d\rho}{dt} \quad \frac{d}{dt} = \frac{\partial}{\partial t} + U_1 \frac{\partial}{\partial x} + U_2 \frac{\partial}{\partial y} + W \frac{\partial}{\partial z}$$

Уравнение неразрывности

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho \mathbf{U}) = 0$$

Аналитические решения

Сумма волновых мод

$$W(\xi, y, z) = \lim_{\xi=\text{const}, t \rightarrow \infty} W(x, y, z, t) = \sum_n W_n(\xi, y, z)$$

$$W_n(\xi, y, z) = \frac{i}{(2\pi)^2} \int_{-\infty}^{\infty} \exp(-i\nu y) d\nu \int_{-\infty+i\varepsilon}^{\infty+i\varepsilon} \exp(-i\mu\xi) \frac{\mu V \omega_n^2(k) \varphi_n(z, k) \varphi_{nz}'(z_0, k)}{k^2 (\mu^2 V^2 - \omega_n^2(k))} d\mu$$

$$\mu = \pm \mu_n(\nu), \pm i \lambda_n(\nu)$$

$$\mu^2 V^2 = \omega_n^2(\sqrt{\mu^2 + \nu^2})$$

Основная вертикальная спектральная задача

$$\frac{\partial^2 \varphi_n(z, k)}{\partial z^2} + k^2 \left(\frac{N^2(z)}{\omega_n^2(k)} - 1 \right) \varphi_n(z, k) = 0 \quad \varphi_n(0, k) = \varphi_n(H, k) = 0, k^2 = \mu^2 + \nu$$

Asymptotics and Applications
Journal of Engineering Mathematics (2011)
Special Issue on Practical Asymptotics

....Applied mathematics seems, at first sight anyway, to become more and more dominated by direct numerical simulations. Admittedly, this leads to new insights which, it would seem, could not have been attained by other means and many believe that asymptotics deals with exceptional cases which are usually outside the practical domain. However, this is a misconception!...

...Does the asymptotic analysis have a future in the era of supercomputers? The answer to the question is obvious: Yes, it has...



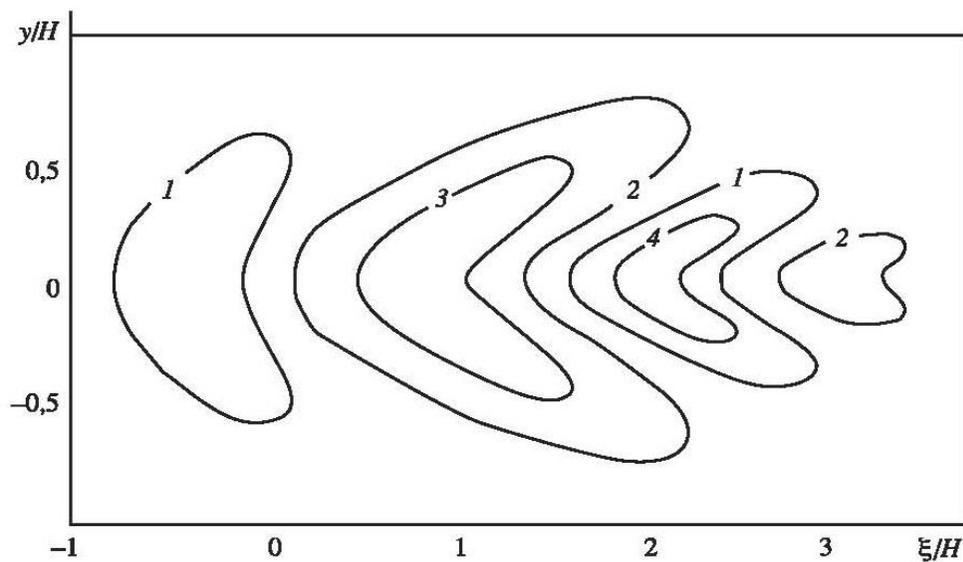
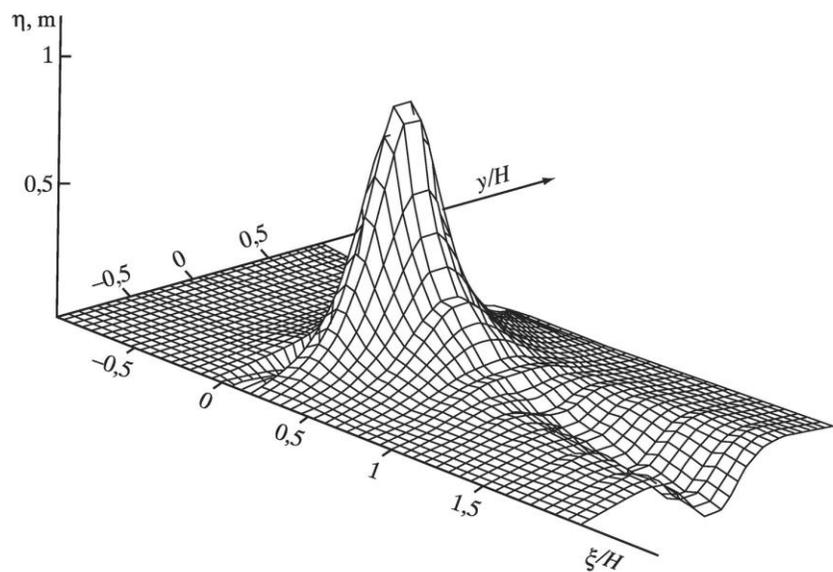
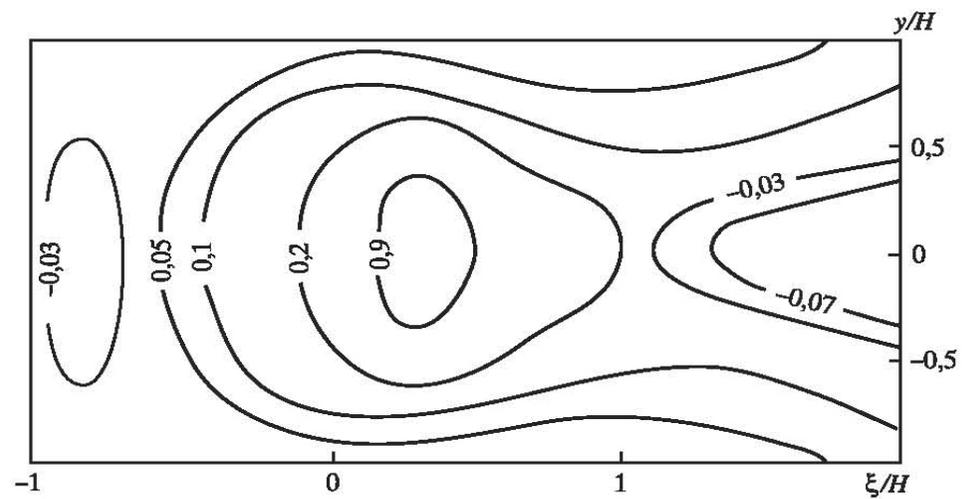
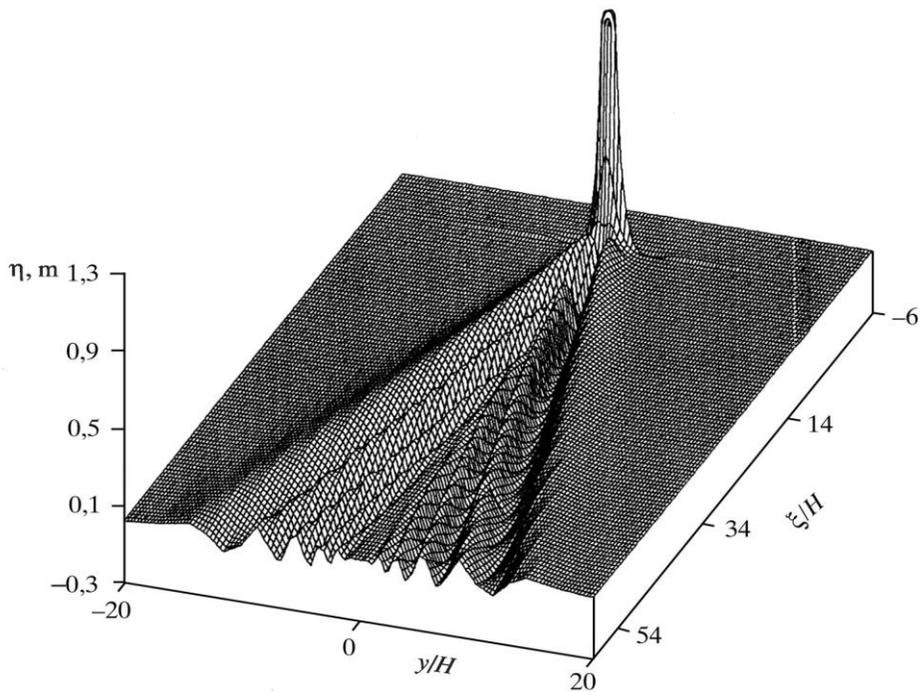
Asymptotics and Applications
Journal of Engineering Mathematics (2011)
Special Issue on Practical Asymptotics

...Why do we need this complicated analysis, if the problem can be easily solved by computer simulations?..

...Before the 90s numerical calculations were complementary to rigorous or approximate analysis of a problem. At the present time the “center of mass” in research is still moving towards computations. However, along this way, it is getting more and more clear that computer simulations being applied to practical problems is not a universal panacea. Euphoria about computers is still high but a more practical point of view is becoming at least visible these days: computation is a research tool as are many other approximate or rigorous tools of mathematics which help us to gain new knowledge, understand important phenomena and solve challenging practical problems...



Численные результаты



Метод стационарной фазы (SPA)
Гамильтон, Стокс, Кельвин и др.

Интеграл от быстроосциллирующей функции

$$f_n(\mathbf{x}, t) = \operatorname{Re} \left\{ (2\pi)^{-n/2} \int F_n(\mathbf{k}) \cdot \exp[i(\mathbf{k}\mathbf{x} - \omega(\mathbf{k})t)] \right\} d\mathbf{k}$$

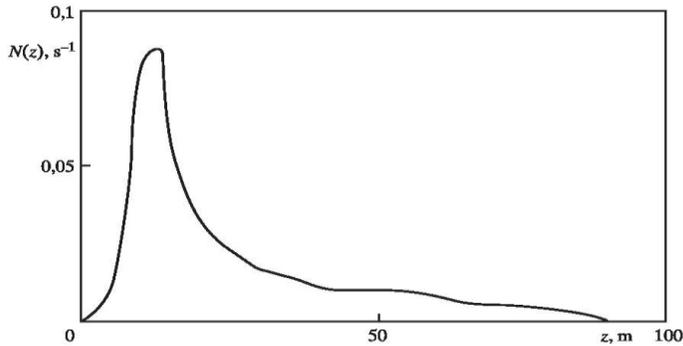
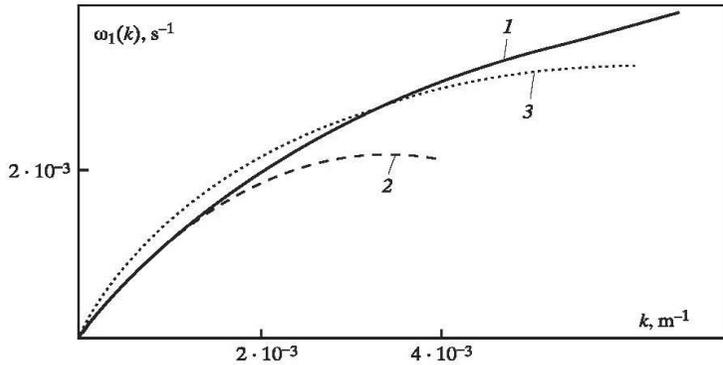
Основной вклад вносят стационарные точки

$$\frac{\partial \varphi}{\partial \mathbf{k}} = \frac{\partial \omega}{\partial \mathbf{k}} \Big|_{st} - \frac{\mathbf{x}}{t} = 0$$

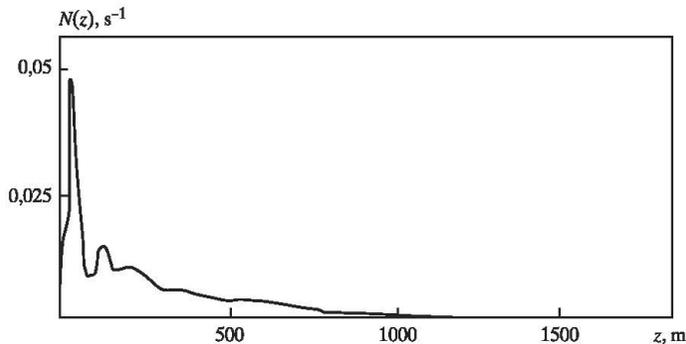
$$f_1(x, t) = |F_1(\omega_{st})| \sqrt{\frac{2}{\pi |\omega''_{st}| t}} \cos(k_{st}x - \omega_{st}t \pm \pi/4)$$

Дальние поля ВГВ: асимптотики

Свойства дальних полей определяются свойствами дисперсионных кривых при малых волновых числах



$$\eta_n \approx \frac{A_n(\tilde{\nu}_n, z, z_0)}{2\pi} \frac{\theta^{1/4}}{\sqrt{2\xi |\mu_n''(\tilde{\nu}_n)|}} Ai(\theta) \quad \theta = \left(\frac{3}{2} (\mu_n(\tilde{\nu}_n)\xi - \tilde{\nu}_n y) \right)^{2/3} \quad \text{Мелкое море}$$



$$\eta_n \approx \frac{A_n(\tilde{\nu}_n, z, z_0)}{\pi \sqrt{2\xi |\mu_n''(\tilde{\nu}_n)|}} F(\theta) \quad \theta = \sqrt{\mu_n(\tilde{\nu}_n)\xi - \tilde{\nu}_n y} \quad \text{Глубокий океан}$$

$$A_n = \frac{V\mu_n^2(\nu)}{\mu_n^2(\nu) + \nu^2} \left(\frac{\mu_n(\nu)\mu_n'(\nu)}{\nu} - 1 \right) f_n(z, \nu) \frac{\partial f_n(z_0, \nu)}{\partial z_0}$$

$$\tilde{\nu}_n \quad \mu_n'(\nu) = y/\xi$$

Асимптотические методы и приложения

ВКБ (лучевой) метод

Лежит в основе создания Stealth Technology

Истребитель F-117(Lockheed), бомбардировщик B-2(Northrop), проект «Skunk Works»

Опубликовано в СССР «Theory of Edge Diffraction in Electromagnetics» (1962),

переведено US Air Force Foreign Technology Division (1971) , создание Stealth Technology (1980)



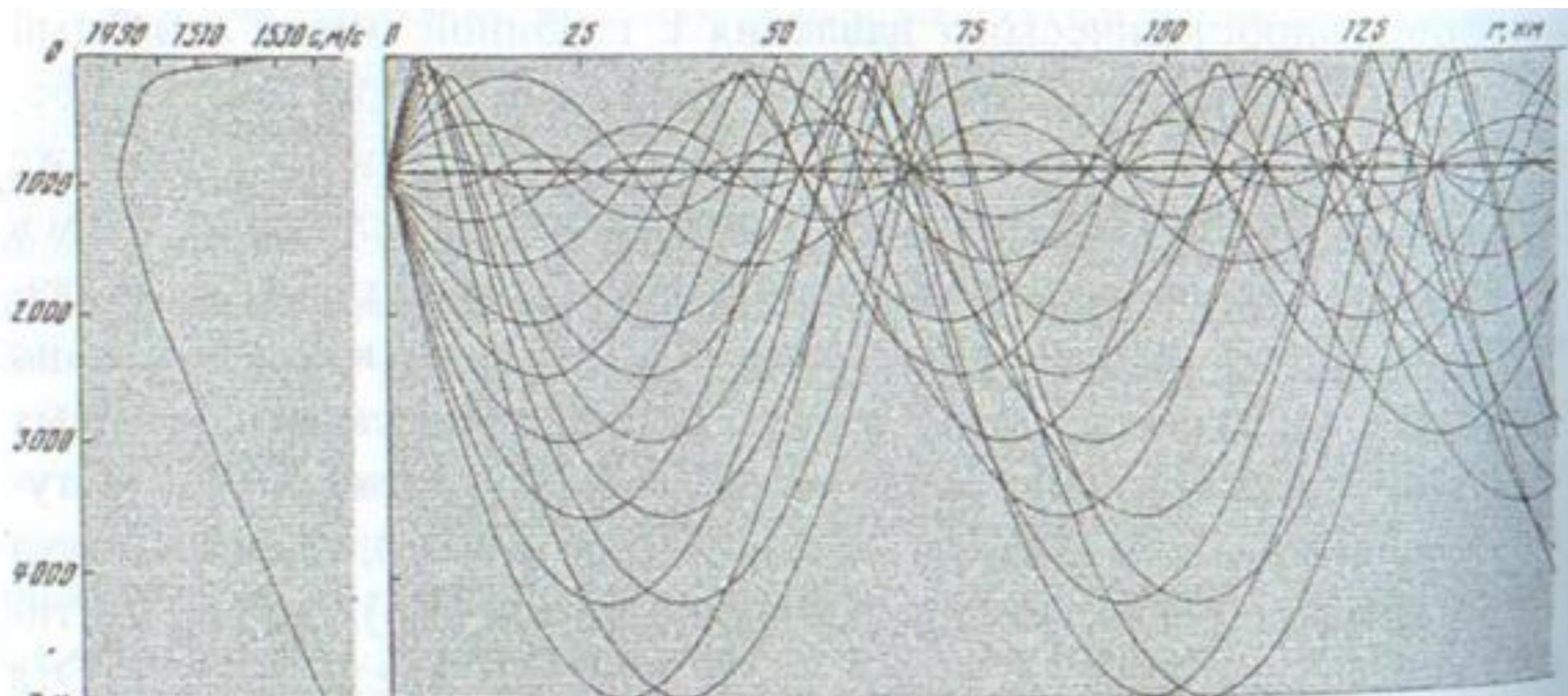
Асимптотические методы и приложения

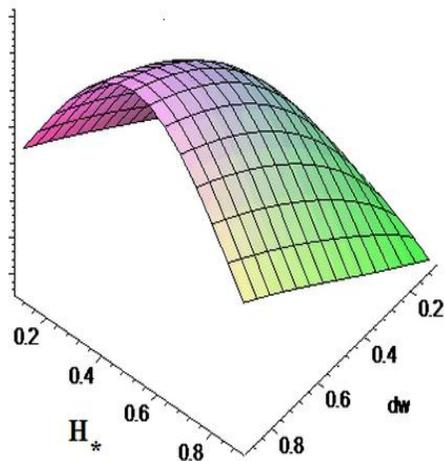
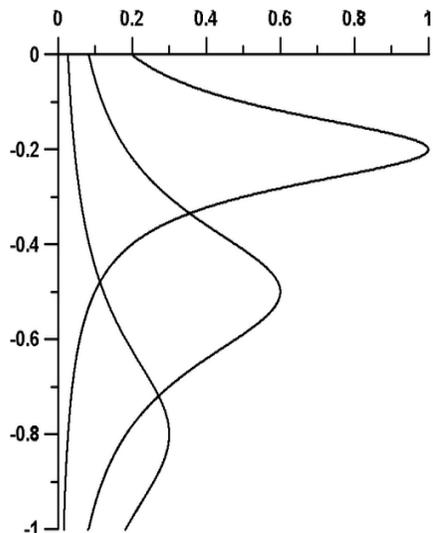
ВКБ (лучевой) метод

Подводный звуковод в океане

Причина – стратификация плотности по глубине

Открыт в 1945 году





Реальный океан

Изменчивость и нестационарность
плотности морской среды

$\varepsilon = l / L(T / \Pi) \ll 1$ - малый параметр

l – длина волны ВГВ

L – горизонтальный масштаб
изменчивости

T – период ВГВ

Π - временной масштаб изменчивости

Модифицированный метод ВКБ (лучевой метод)

Реальный океана – невозможность построения точных решений

Численное моделирование

Асимптотики

ВКБ Ansatz (Germ.- solution type)

$$\mathbf{V}(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t) = \sum_{m=0}^{\infty} (i\varepsilon)^m \mathbf{V}_m(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t) \exp\left(\frac{iS(x, y, t)}{i\varepsilon}\right)$$

$$\mathbf{V}(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t) = (U_1(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t), U_2(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t), W(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t))$$

Модифицированный ВКБ Ansatz

$$W = \varepsilon^0 W_0(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t) R_0(\sigma) + \varepsilon^a W_1(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t) R_1(\sigma) + \varepsilon^{2a} W_2(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t) R_2(\sigma) + \dots$$

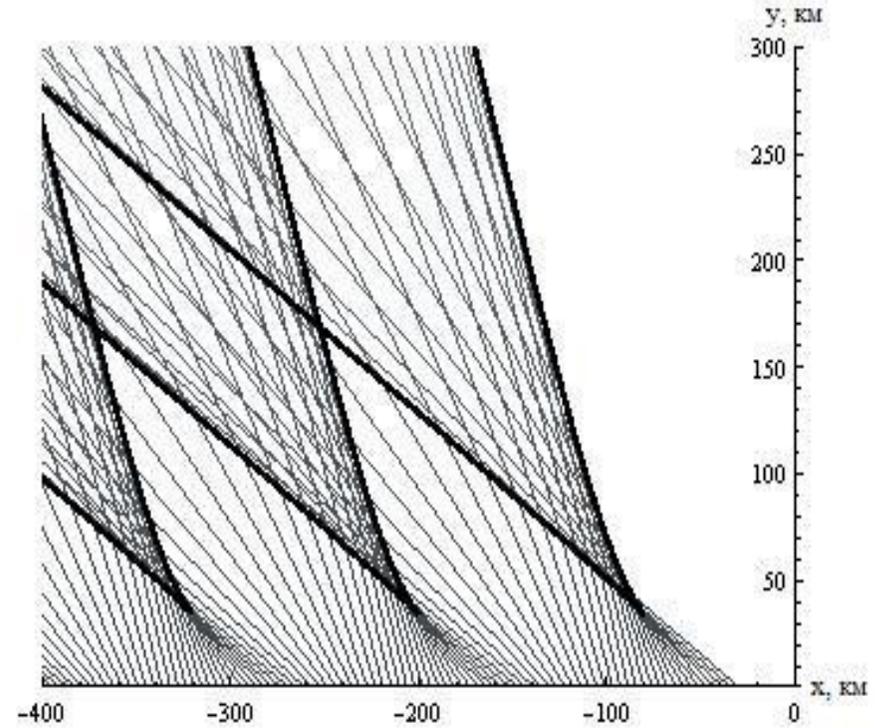
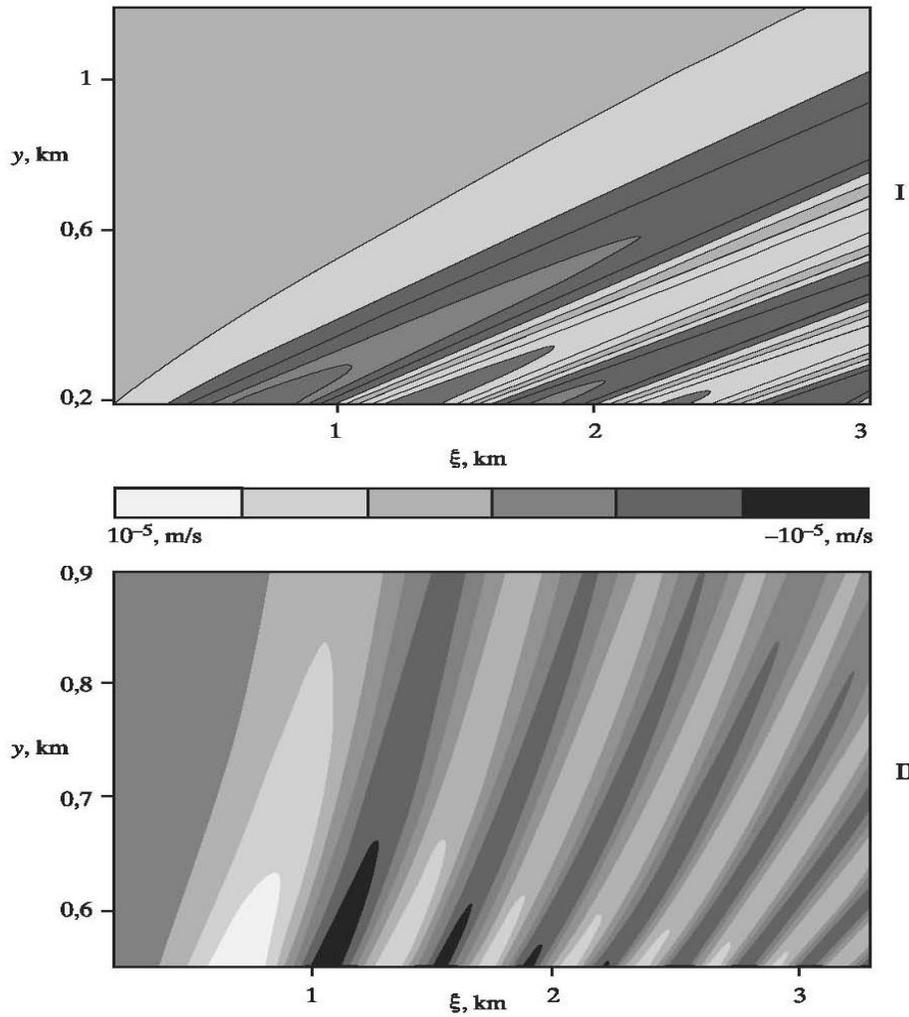
$$U = \varepsilon^{1-a} U_0(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t) R_1(\sigma) + \varepsilon U_1(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t) R_2(\sigma) + \varepsilon^{1+a} U_2(z, \varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t) R_3(\sigma) + \dots$$

$$\sigma = (S(\varepsilon x, \varepsilon y, \varepsilon t) / a)^a \varepsilon^{-a} \quad R_{m-1}(\sigma) = R'_m(\sigma)$$

Лучевая структура ВГВ в океане

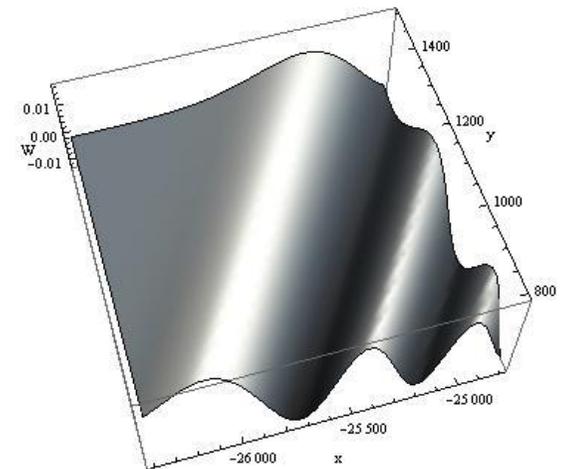
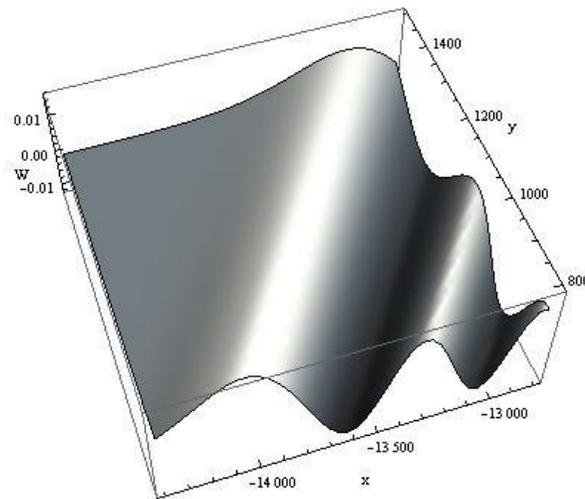
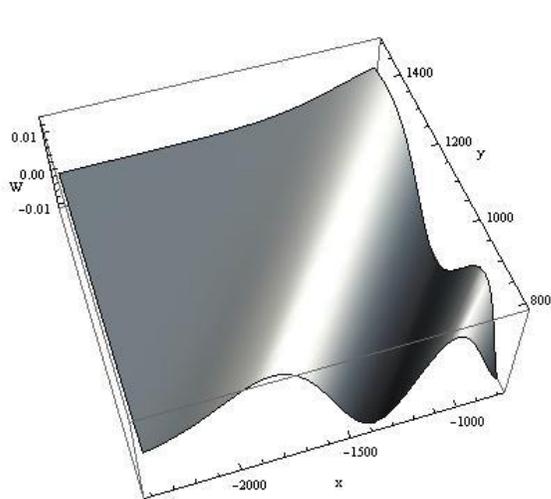
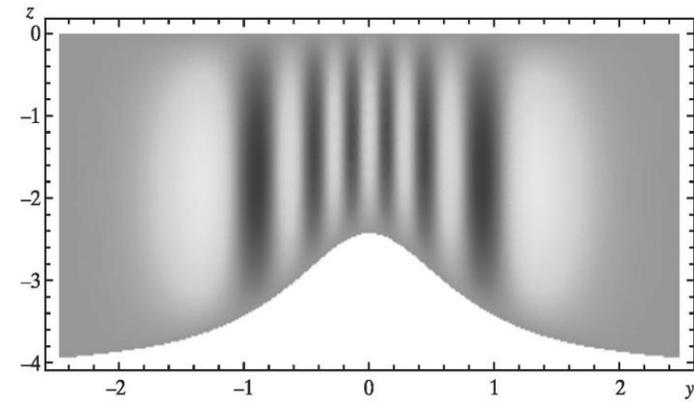
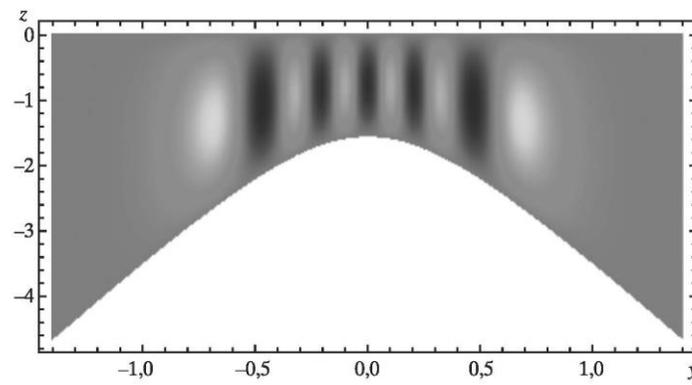
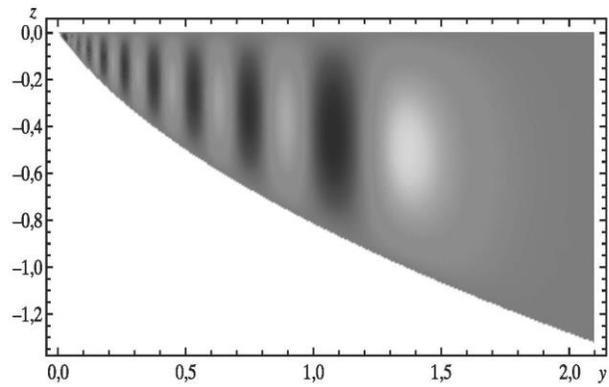
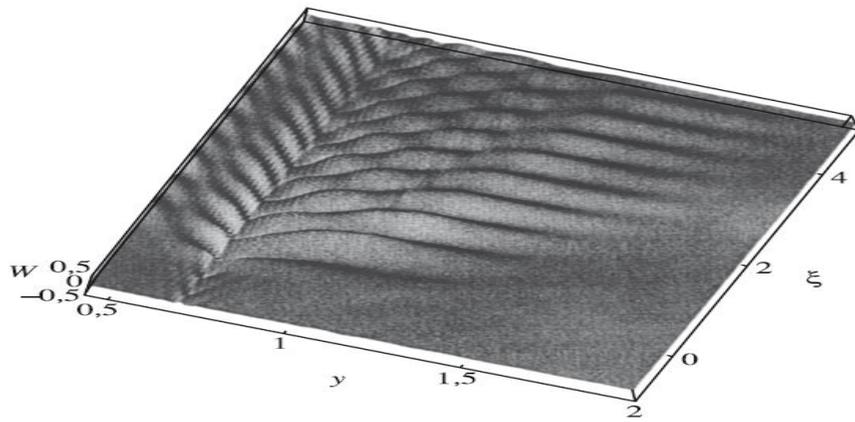
Нестационарный океан

Неровное дно



Асимптотические результаты

ВГВ над неровным дном



Asymptotic results

Point source over linear bottom profile: $z = -\gamma y$

Harmonic time dependence and Kantorovich-Lebedev transform

Variable transform: (x, y, z) - $(x, y = rch\varphi, z = -crsh\varphi)$

Full IGW field – summa of individual wave mode (pressure p): $p(r, \varphi, x) = \sum_{n=0}^{\infty} p_n(r, \varphi, x)$

$$\sum_{n=0}^{\infty} p_n(r, \varphi, x) = -\frac{\text{const} \sqrt{\tau} \exp(-i\pi/4)}{8\pi^2 \sqrt{1-\tau^2} \sqrt{rr_0} \varphi} (Li_{1/2}(B_+^+) + Li_{1/2}(B_+^-) + Li_{1/2}(B_-^+) + Li_{1/2}(B_-^-))$$

$$B_{\pm}^{\pm} = \exp(i\pi(\pm\varphi \pm \varphi_0 + A(\tau))/\varphi), \quad A(\tau) = \frac{1}{2} \ln \frac{1 - \sqrt{1-\tau^2}}{1 + \sqrt{1-\tau^2}}, \quad \tau = \frac{2r r_0}{r^2 + r_0^2 + x^2}$$

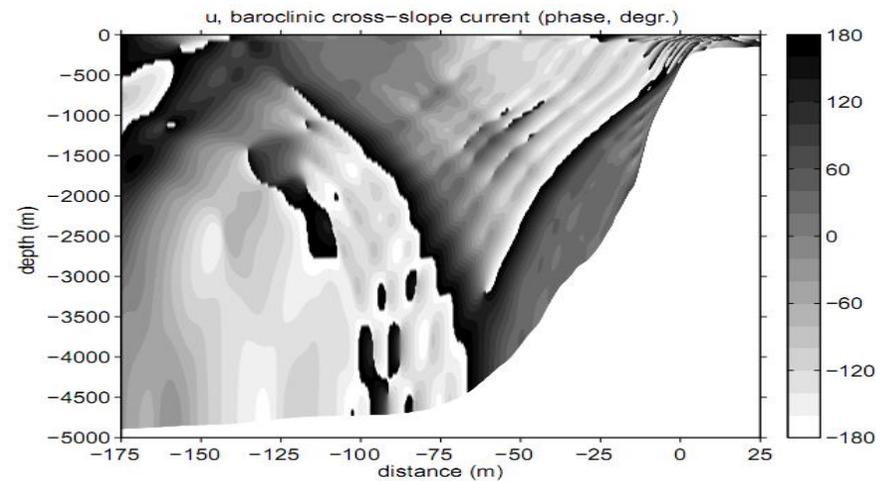
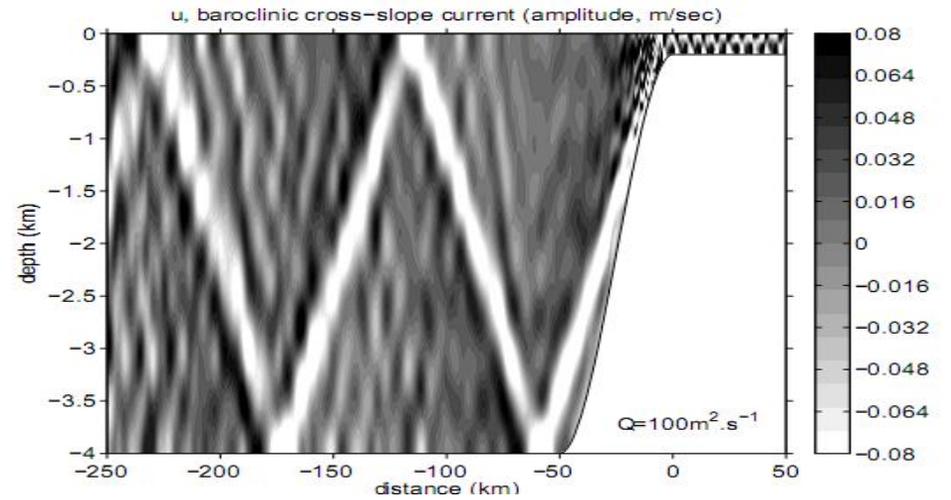
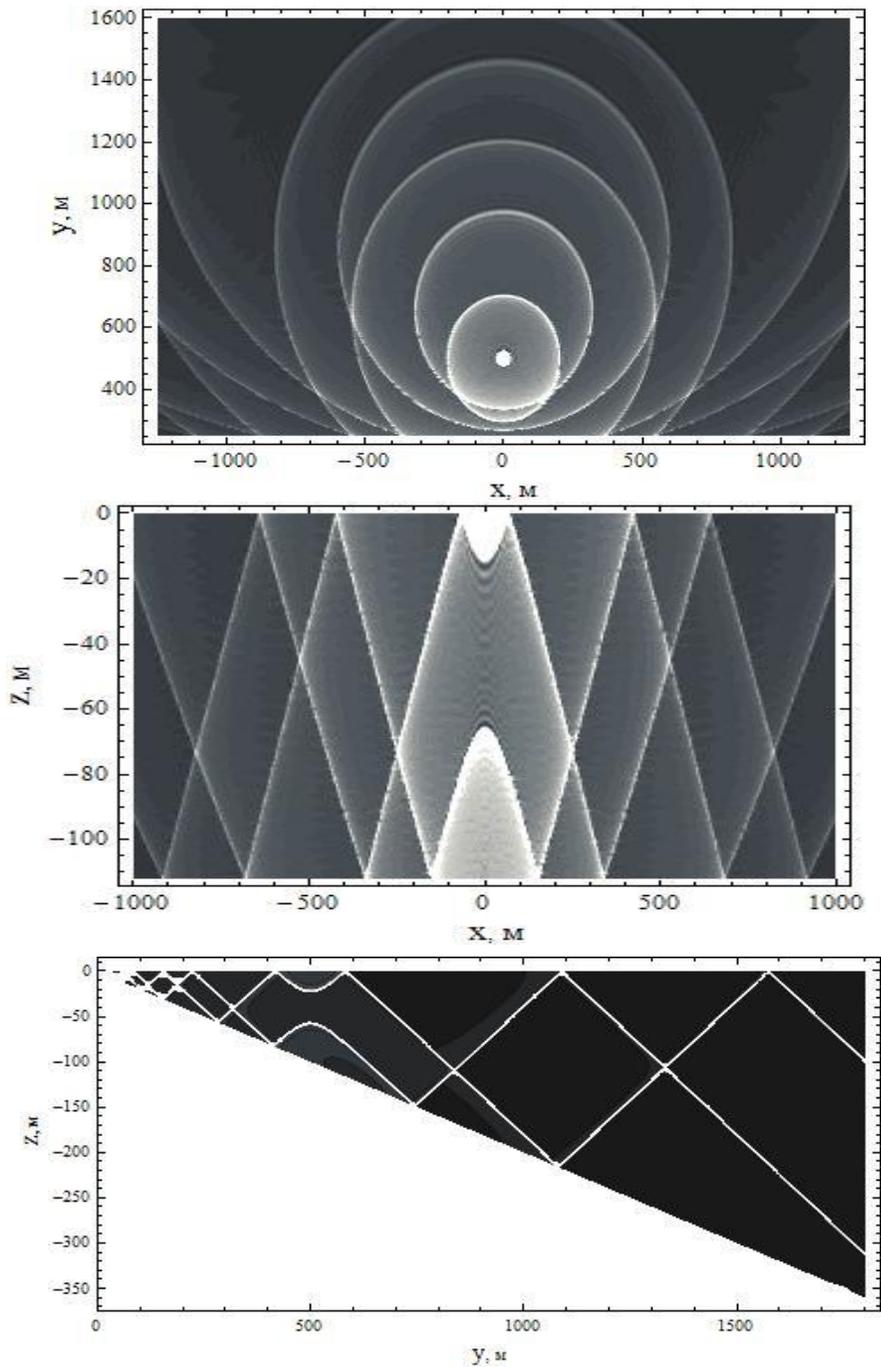
$$Li_{1/2}(z) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{z^n}{\sqrt{n}} - \text{semilogarithmic function, } (x_0, \varphi_0, r_0) - \text{point source coordinates}$$

ВГВ в океане переменной глубины

Бискайский залив

Асимптотические, численные результаты

Натурные измерения



Движущийся источник возмущений

Радиальная симметрия урагана. Скорость движения урагана, как правило, превышает скорости ВГВ в Мировом океане. Глубина «проникновения» области перемешивания в толщу океана составляет десятки метров.

ОБРАЗОВАНИЕ УРАГАНА

Спирально раскручивающиеся ветры в верхней тропосфере

Нисходящий поток сухого воздуха

Высота
10-15 км

Периферийные спиральные перистые облака

Шторм движется в направлении преобладающего ветра со скоростью 15-40 км/ч

Самые высокие скорости ветра (до 300 км/ч) в 20 км от стены глаза урагана

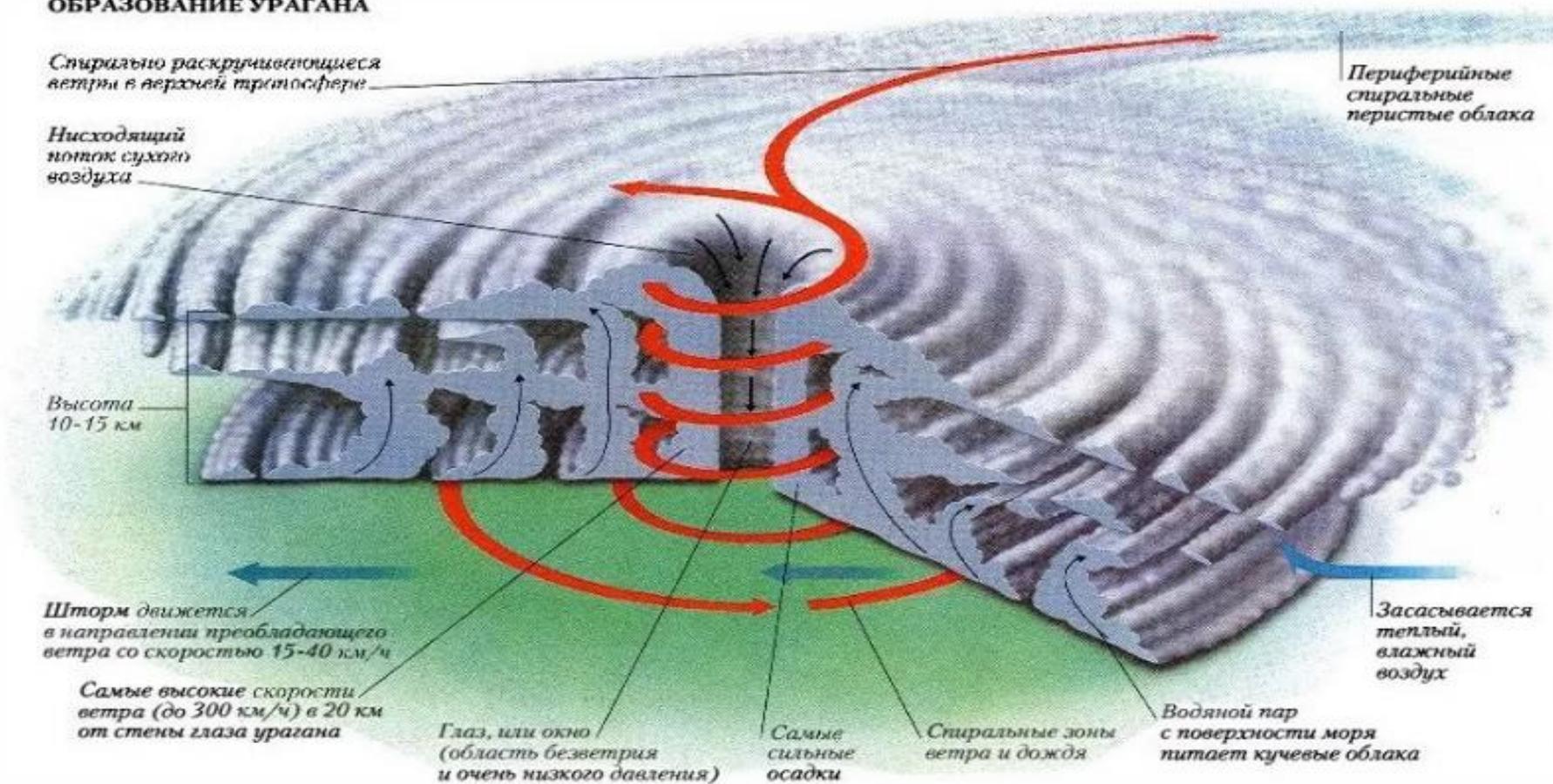
Глаз, или окно (область безветрия и очень низкого давления)

Самые сильные осадки

Спиральные зоны ветра и дождя

Водяной пар с поверхности моря питает кучевые облака

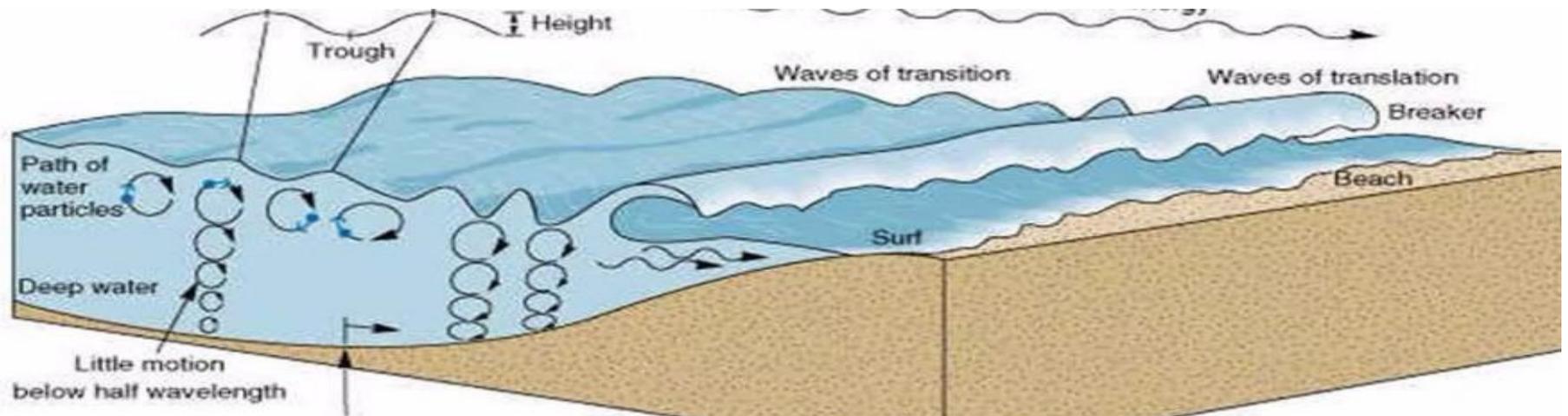
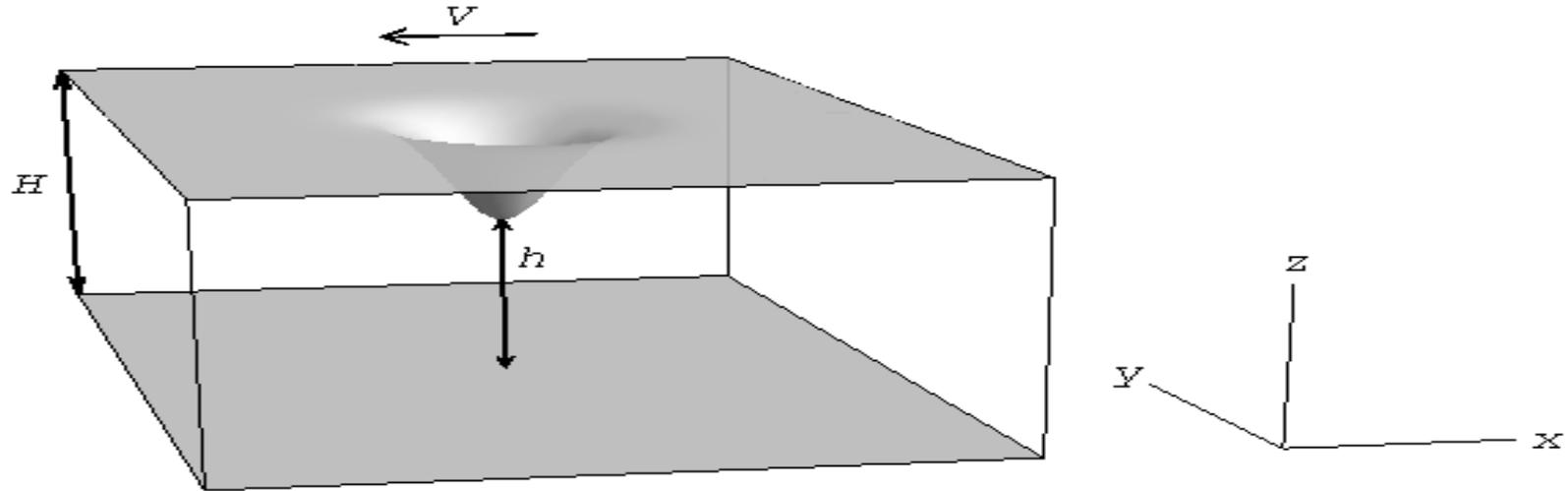
Засасывается теплый, влажный воздух



Движущийся источник возмущений

Тайфун моделируется источником радиальной симметрии

Форма – определяется из результатов прямого численного моделирования полной системы уравнений гидродинамики\полуэмпирических соображений



Постановка задачи.

W - вертикальная компонента скорости ВГВ

$$V^2 \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\Delta + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \right) W + N^2(z) \Delta W = 0$$

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad N^2(z) = -\frac{g}{\rho_0(z)} \frac{d\rho_0(z)}{dz}$$

$N(z)$ - частота Брента-Вяйсяля (частота плавучести), предполагается постоянной

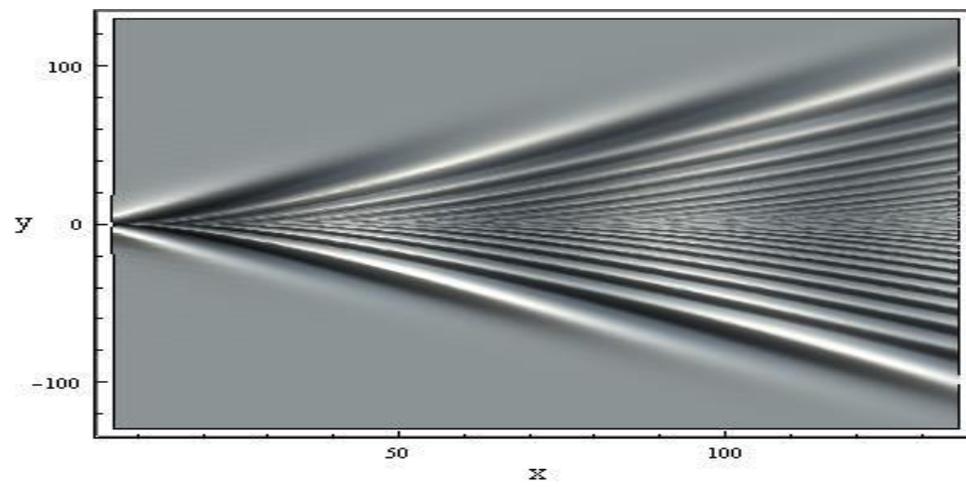
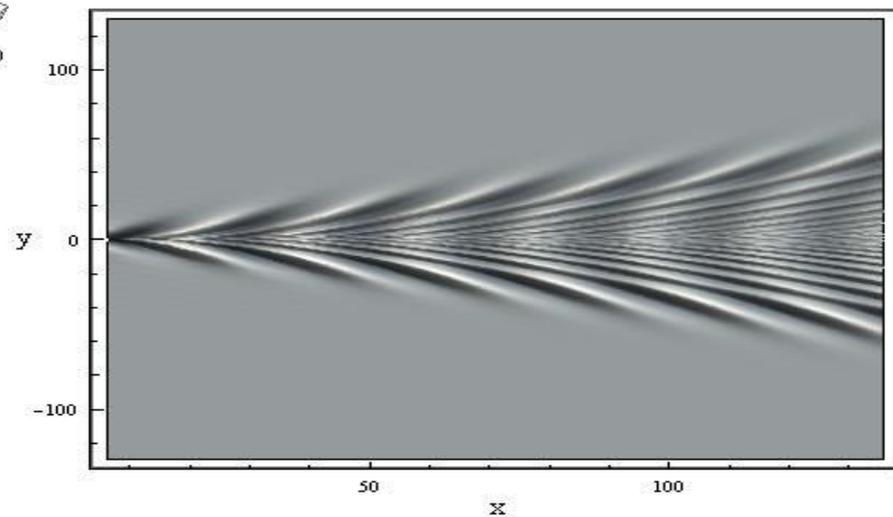
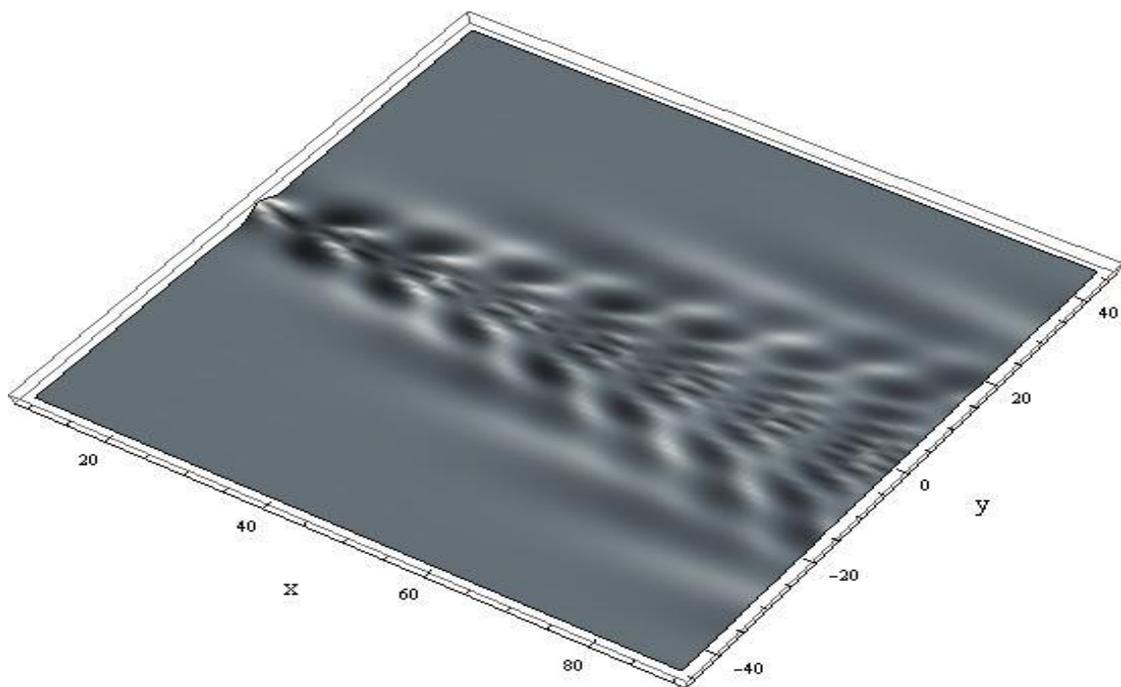
Линеаризованное (скорость источника много больше малых возмущений компонент скоростей собственно ВГВ) условие непротекания на поверхности и дне.

$$W = V \frac{\partial s(x, y)}{\partial x} \quad z = 0$$

$$W = 0 \quad z = -H$$

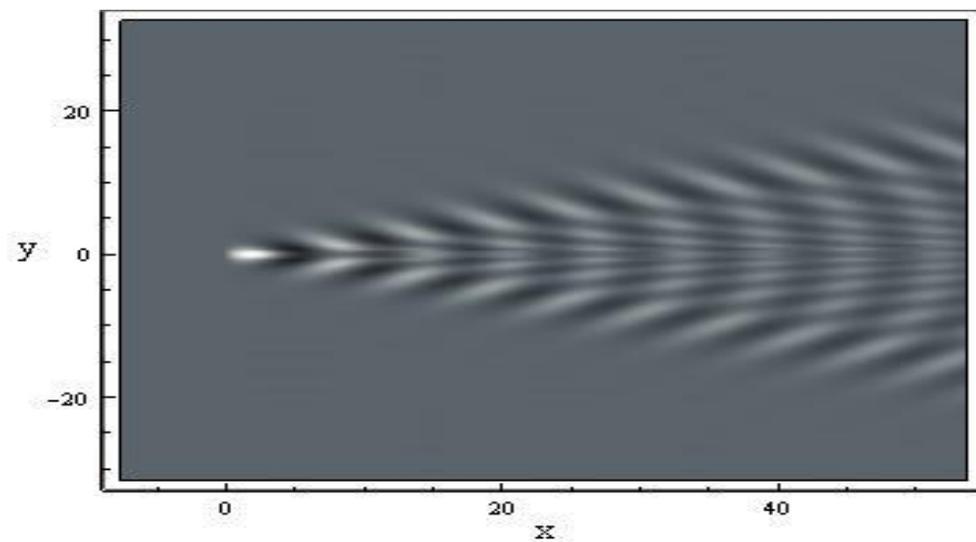
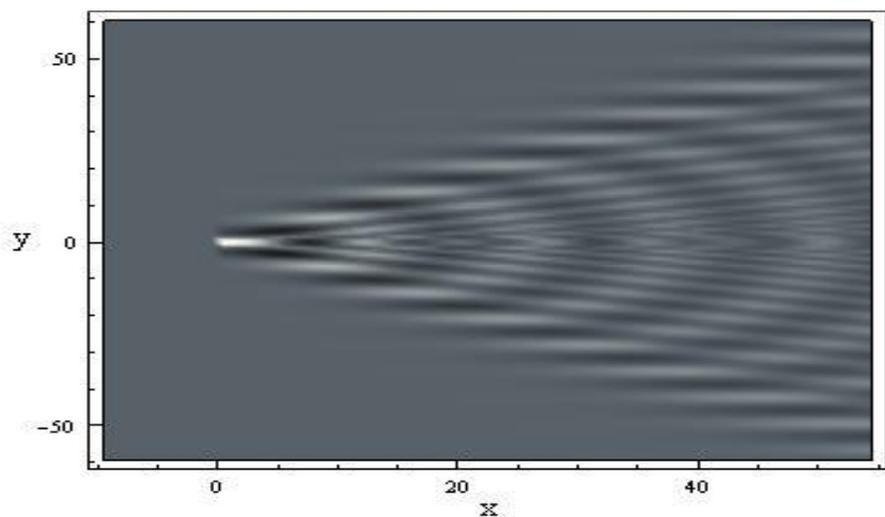
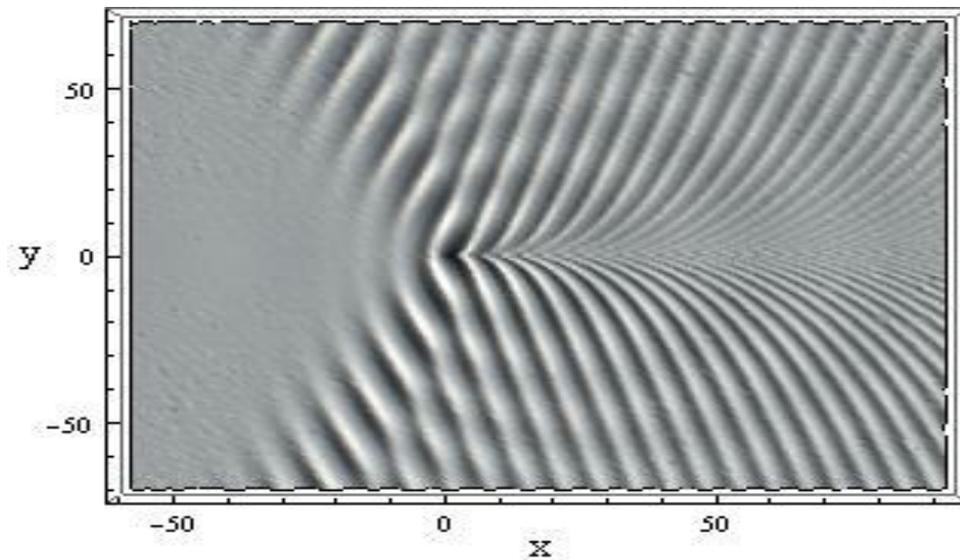
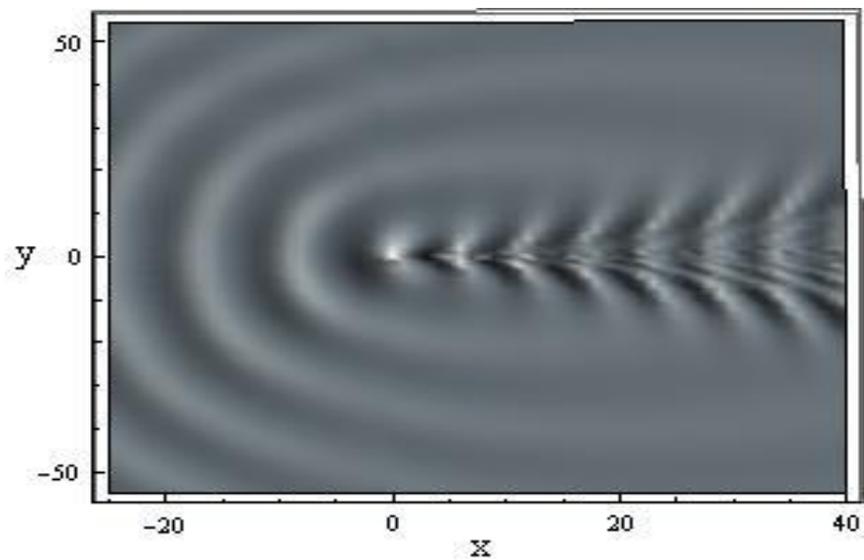
Генерация ВГВ

Волновые картины



Генерация ВГВ

Нестационарный движущийся источник



ВГВ в океане

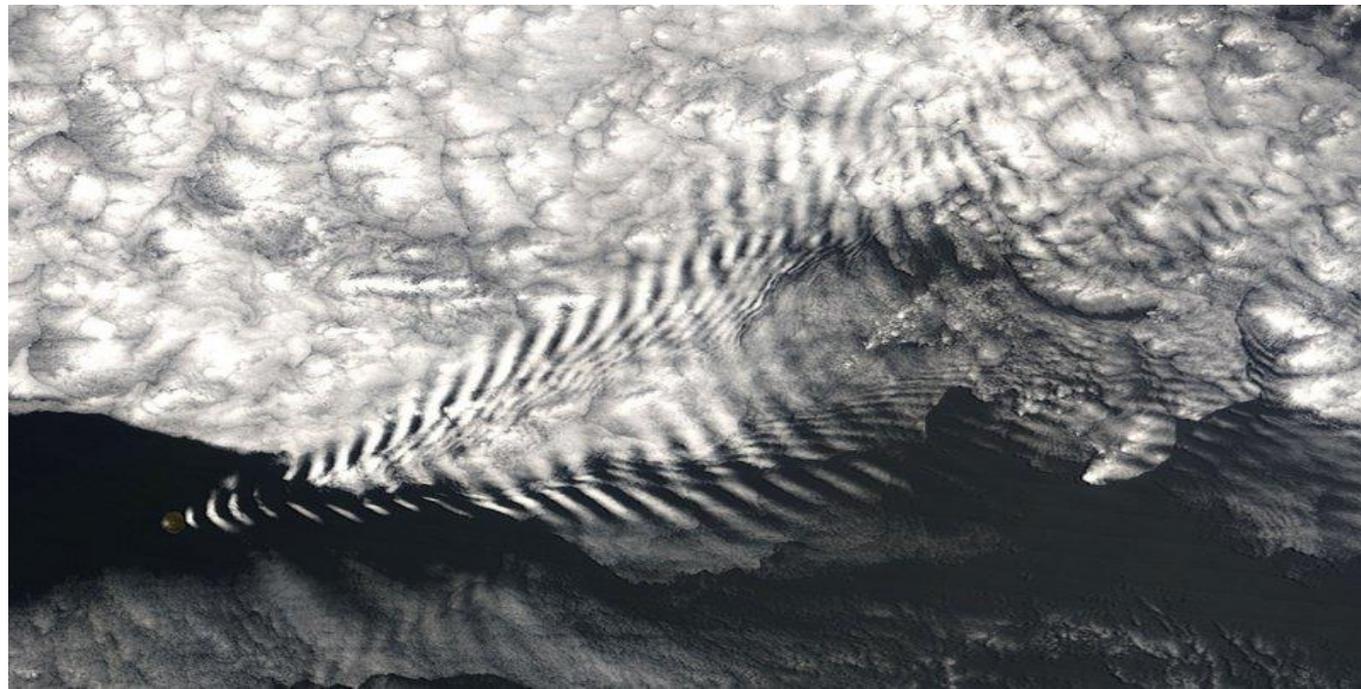
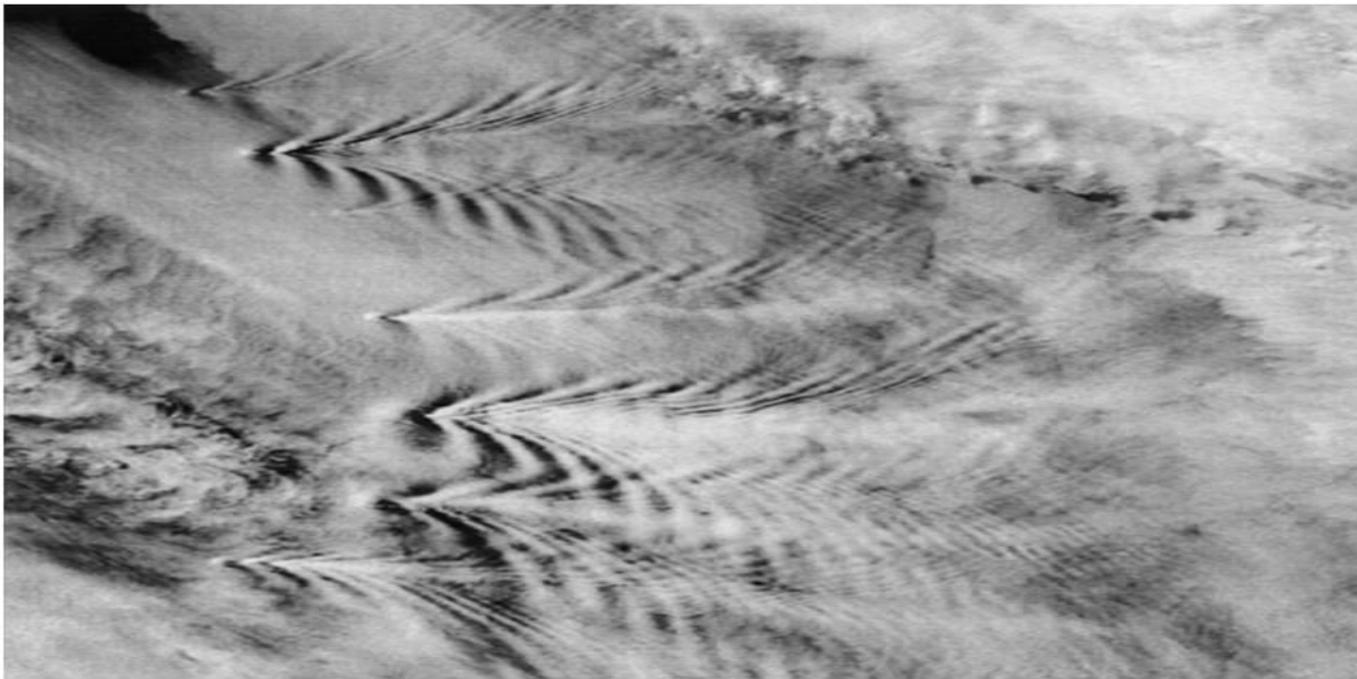
Выход на поверхность
Fjords, Greenland sea, Iceland



ВГВ в океане
Выход на поверхность
Rosario Strait North Puget Sound
Washington (Canada)

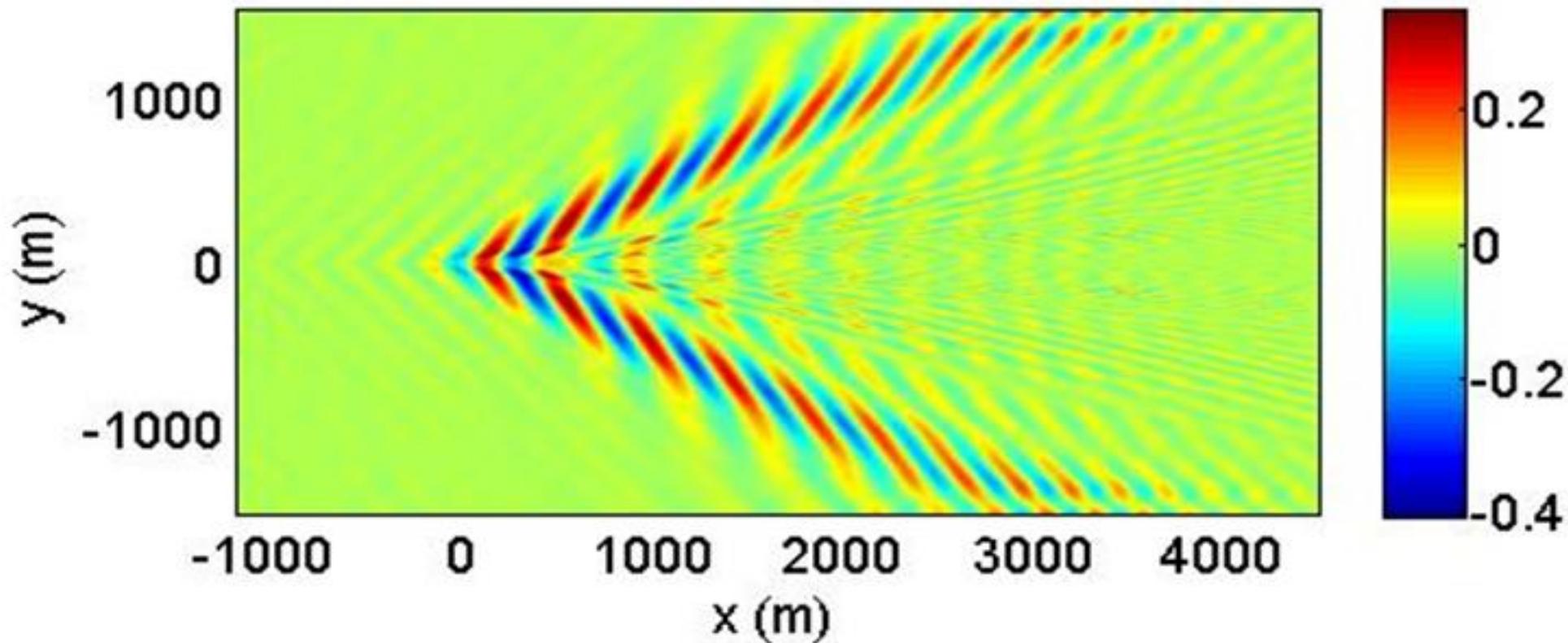


ВГВ в атмосфере
Спутниковые снимки
Южные Сандвичевы
острова

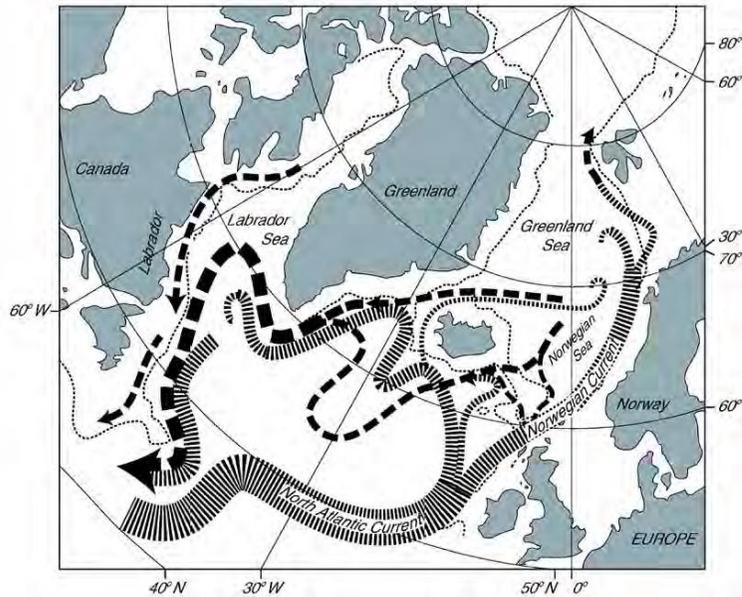




$z = -20 \text{ m}$



Течения в океане



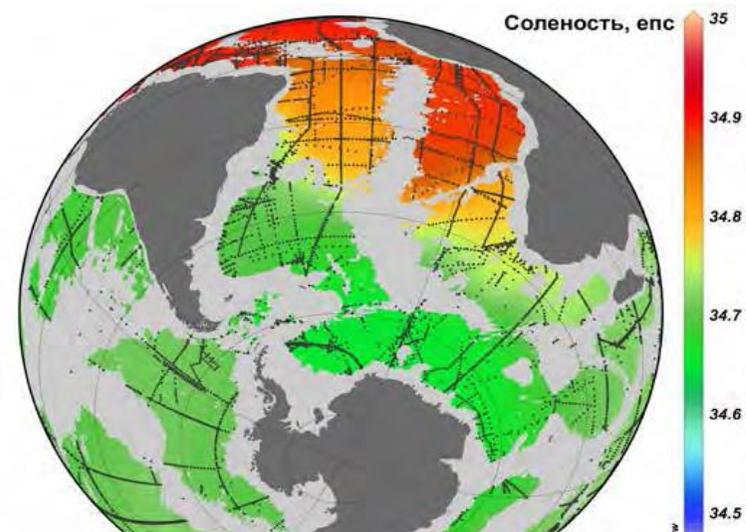
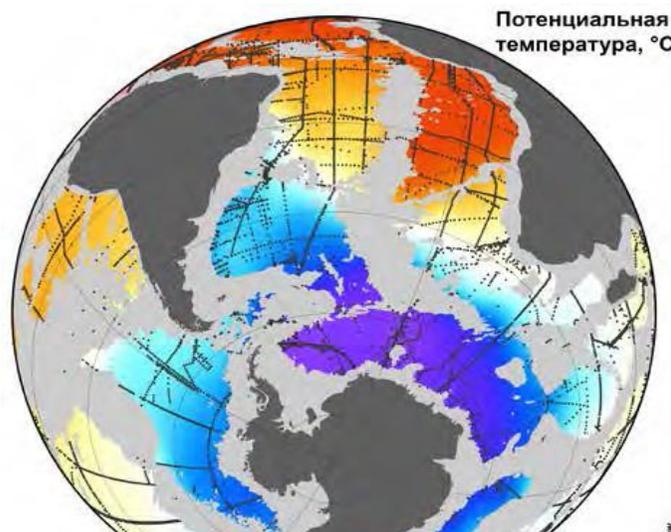
Существующая стратификация Мирового океана и распределение температуры на поверхности Земли определяются неравномерной солнечной инсоляцией : постоянный поток тепла из тропических областей в холодные высокие широты.

Примерно половина этого потока обеспечивается океаном – системой поверхностных и глубинных течений.

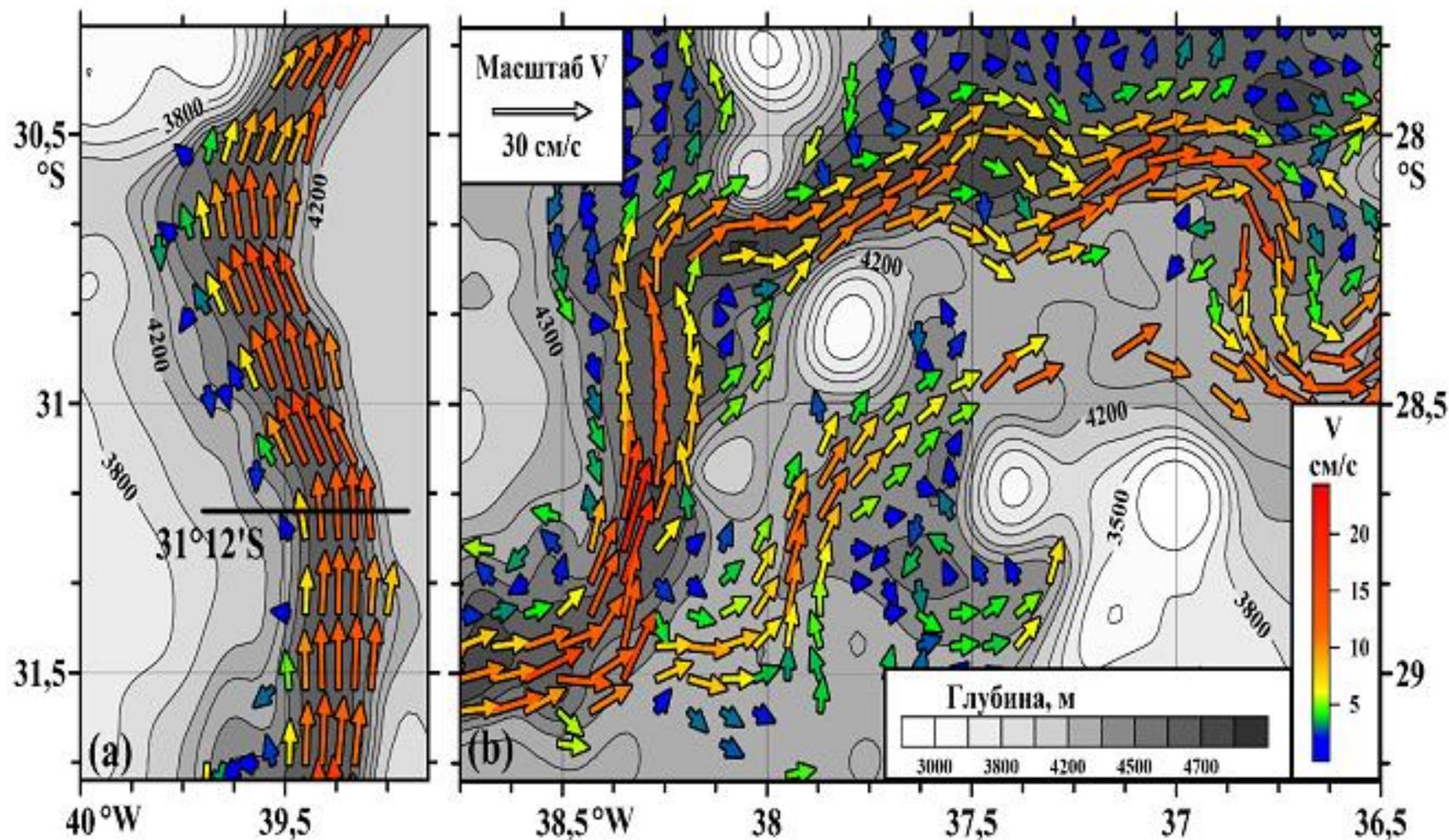
Теплые поверхностные течения переносят теплые водные массы в полярные регионы:

Образующиеся плотные водные массы достигают глубинных слоев океана и распространяются обратно в экваториальном направлении.

Образование льда в высоких широтах повышает соленость вод - увеличение плотности и причина глубокой конвекции.



Течения в океане



Сдвиговые скорости течения в канале Вима (Атлантический океан)

Внутренние гравитационные волны в океане с течениями

Исходные уравнения

$$\frac{D^2}{Dt^2} \Delta W - \frac{D}{Dt} \left(\frac{d^2 U}{dz^2} \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{d^2 V}{dz^2} \frac{\partial W}{\partial y} \right) + N^2(z) \Delta_2 W = 0$$

$$\Delta_2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} \quad \Delta = \Delta_2 + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \quad \frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + U(z) \frac{\partial}{\partial x} + V(z) \frac{\partial}{\partial y}$$

$(U(z), V(z))$ - вектор сдвигового течения

$N^2(z) = -\frac{g}{\rho_0(z)} \frac{d\rho_0(z)}{dz}$ - частота Брента-Вяйсяля (частота плавучести)

Внутренние гравитационные волны в океане с течениями

Аналитические решения для модельных распределений параметров гидрологии

Постоянная частота плавучести

$$W(t, x, y, z) = \exp(i\omega t) w(x, y, z)$$

Линейное распределение скорости по глубине

$$w(x, y, z) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} dv \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(\mu, \nu, z) \exp(-i(\mu x + \nu y)) d\mu$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} + k^2 ((\omega - \mu M(z))^{-2} - 1) \varphi = 0 \quad \varphi(\mu, \nu, 0) = \varphi(\mu, \nu, -\pi) = 0$$

Модифицированная функция Бесселя мнимого индекса

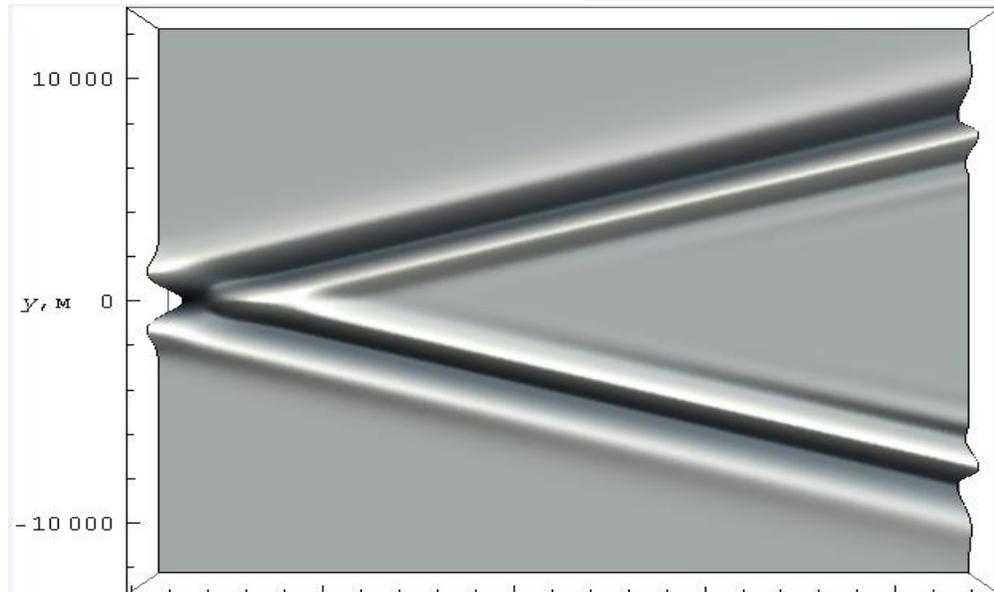
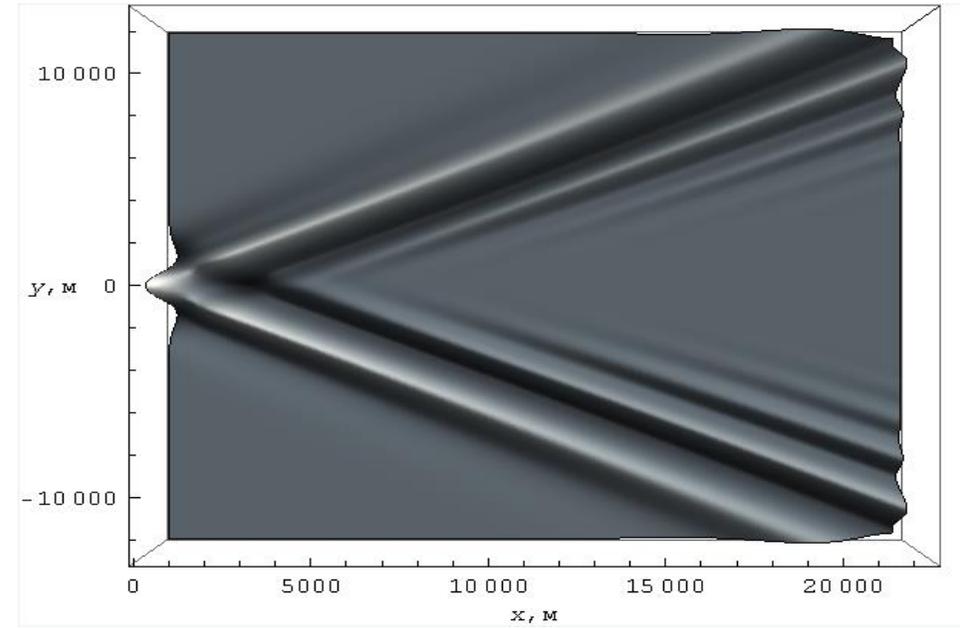
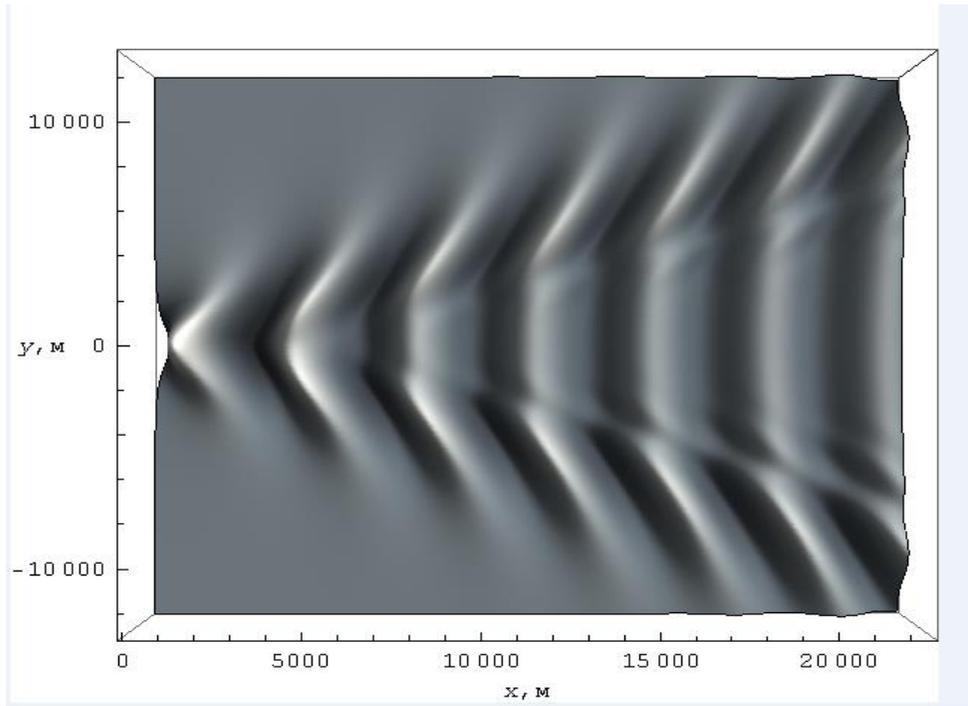
$$f_{1,2}(z) = \sqrt{2\beta(\omega - \mu M(z))} I_{\pm i\lambda}(\beta(\omega - \mu M(z)))$$

Дисперсионные соотношения

$$I_{i\lambda}(\beta(\omega - \mu M(-\pi))) I_{-i\lambda}(\beta(\omega - \mu M(0))) = I_{-i\lambda}(\beta(\omega - \mu M(-\pi))) I_{i\lambda}(\beta(\omega - \mu M(0)))$$

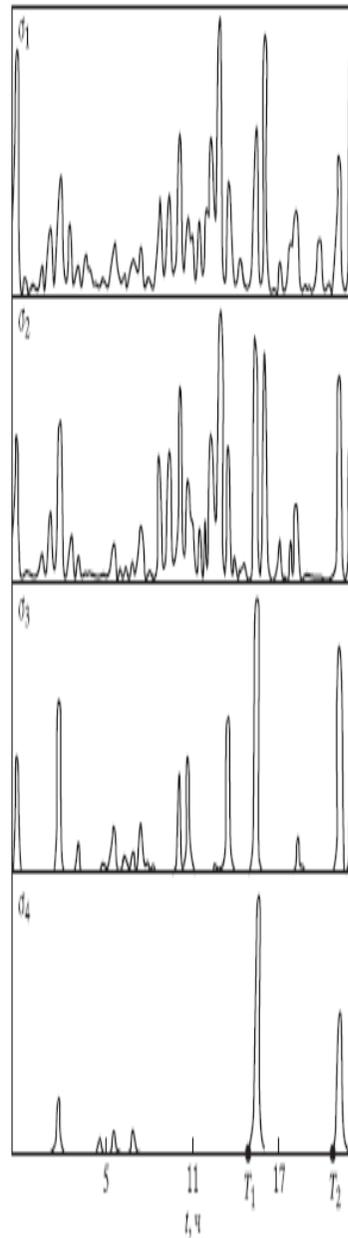
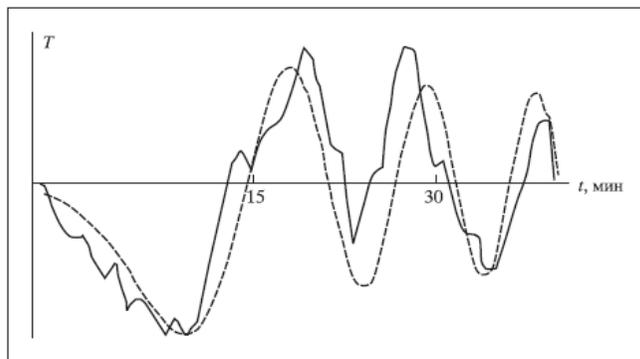
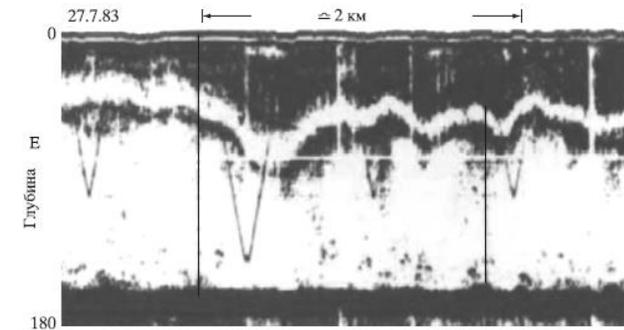
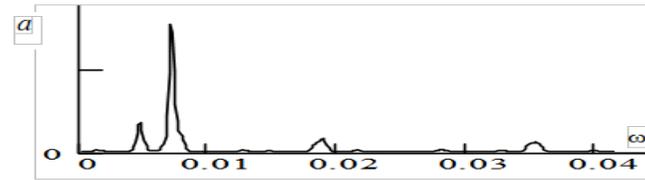
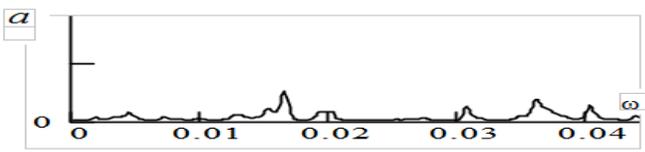
Течения в океане

Волновые картины



Проблемы обнаружения ВГВ в океане

Неспектральные алгоритмы
«Ожидаемый сигнал» - асимптотики
Широкополосные короткие цуги ВГВ



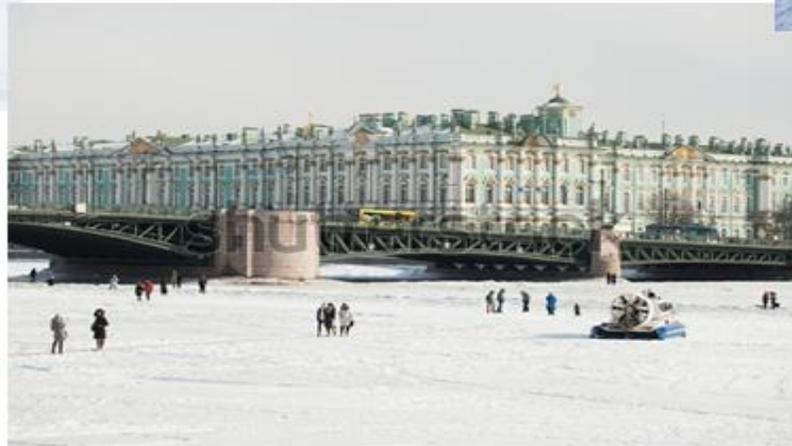
Ледяной покров

Поверхностные волны

Толще лед – больше скорость



**River Northern Dvina,
ice surfing
competitions**
Ice thickness 10 cm,
FGW phase speed less
than 2 m/s (7.2 km/h)



**Winter walks on the ice of the river Neva near the Palace
bridge, St-Petersburg, Russia, 08 March 2018**
 $h=40$ cm, $C_p=6.7$ m/s,
The aerosleigh speed is up to 50 km/h (13 m/s)



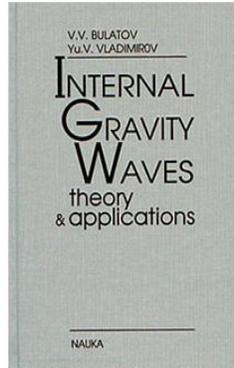
Arctic landing.
 $h=3$ m, $C_p=25$ m/s,
Aircraft speed ~ 50 m/s

Публикации (монографии)



Булатов В.В., Владимиров Ю.В.

Внутренние гравитационные волны в неоднородных средах.
М.: Наука, 2005. 195 с.
ISBN 5-02-033698-X



V.V. Bulatov, Yu.V. Vladimirov.

Internal gravity waves: theory and applications.
М.: Наука, 2007. 304 с.
ISBN 978-5-02-035804-1

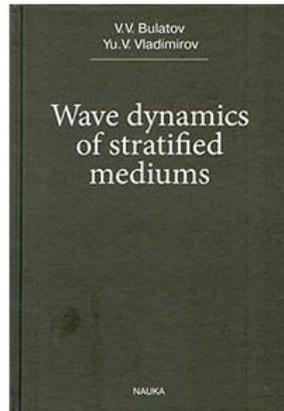
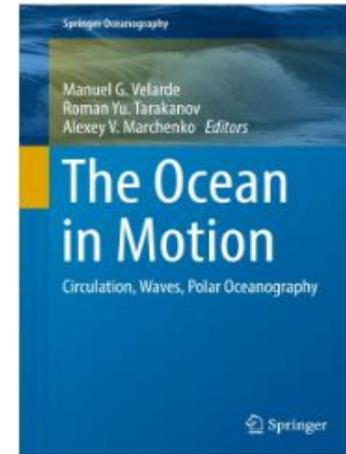


Булатов В.В., Владимиров Ю.В.
Динамика негармонических волновых
пакетов в стратифицированных средах.
М.: Наука, 2010. 470 с.
ISBN 978-5-02-036981-8



Булатов В. Владимиров Ю.

Волновые движения стратифицированных сред:
теория и приложения.
Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2012. 577 с.
ISBN 978-3-8473-9452-5



V.V. Bulatov, Yu.V. Vladimirov.

Wave dynamics of stratified mediums.
М.: Наука, 2012, 584 с.
ISBN 975-5-02-037506-2



Булатов В.В., Владимиров Ю.В.

Волны в стратифицированных средах.
М.: Наука, 2015. 735 с.
ISBN 978-5-02-039083-6



Булатов В.В., Владимиров Ю.В.
Новые задачи математической теории
поверхностных волновых возмущений.
Киров: Международный центр
научно-издательских проектов, 2017. 318 с.
ISBN 978-5-00090-125-0

В.В. Булатов, Ю.В. Владимиров

ТЕОРИЯ
ВОЛНОВЫХ ДВИЖЕНИЙ
НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД

МОНОГРАФИЯ

Булатов В.В., Владимиров Ю.
Теория волновых движений неоднородных сред.
Киров: Международный центр
научно-издательских проектов, 2012.
ISBN 978-5-00090-116-8



V.V. Bulatov, Yu.V. Vladimirov.
A General Approach to
Ocean Wave Dynamics Research:
Modelling, Asymptotics, Measurements
М.: ОнтоПринт, 2019. 587 с.
ISBN 978-5-00121-132-7



В. В. Булатов

НОВЫЕ ЗАДАЧИ
МАТЕМАТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ
ВОЛНОВОЙ ДИНАМИКИ
СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ
СРЕД

Москва, 2021
«ОнтоПринт»

Практика



РОСГЕОЛОГИЯ

Главная | Кто мы | Предприятия холдинга

ПРЕДПРИЯТИЯ



НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЬ



«ДАЛЬМОРНЕФТЕГЕОФИЗИКА» - организация и проведение комплексных геофизических работ 2D/3D на море, суше и в транзитных зонах, и с обработкой полученных геофизических данных и их геологической интерпретацией. Компания стоит у истоков открытия всех крупнейших месторождений шельфа Сахалина. Геолого-геофизические данные и результаты работ стали основой для всех морских нефтегазовых проектов, реализуемых в России. Результаты многолетней деятельности на акваториях морей Дальнего Востока и Восточной Арктики России позволяют уточнить углеводородный потенциал шельфов морей и являются основой для дальнейшего планирования геологоразведочного процесса, лицензирования недропользования и развития нефтегазового комплекса региона. Имеет на вооружении современные сейсморазведочные суда, в составе экипажей которых работают квалифицированные и специально подготовленные специалисты. Техническое оснащение исследовательских судов позволяет выполнять полный комплекс геофизических исследований, включая гравитационные, магнитометрические исследования и сейсмическую съемку 2D/3D.

Обработка сейсмических данных. Вычислительный центр в Южно-Сахалинск и Москве, одни из самых производительных специализированных геологоразведочных центров в России, обеспечивают качество обработки сейсмических данных, соответствующее мировым промышленным стандартам. Выполняется полный цикл 2D/3D обработки морских и сейсмических наземных данных, данных по транзитным зонам. Проводится переобработка архивных и сканированных сейсмических материалов. Структурные возможности ВЦ ДМНГ позволяют выполнить обработку до 8 тысяч квадратных километров 3D-морских сейсмических данных или до 250 тысяч линейных километров 2D-морской съемки.

Геологическая интерпретация сейсмических данных. Решает широкий спектр вопросов, позволяющих осуществить весь комплекс работ по интерпретации геолого-геофизических данных, начиная с региональных исследований и до реализации детальных операций с предоставлением рекомендаций по оптимальному расположению поисковых скважин, в соответствии с инструкциями и требованиями как российских, так и зарубежных заказчиков. Геологическая служба имеет в своем распоряжении мощные интерпретационные комплексы, специализированное программное обеспечение для моделирования геологических процессов на базе рабочих станций Dell.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

WWW.BULATOV.SU

Булатов Виталий Васильевич

Профессор, доктор физико-математических наук, доктор экономических наук

Ведущий научный сотрудник лаборатории механики сложных жидкостей
Института проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН

bulatov@ipmnet.ru