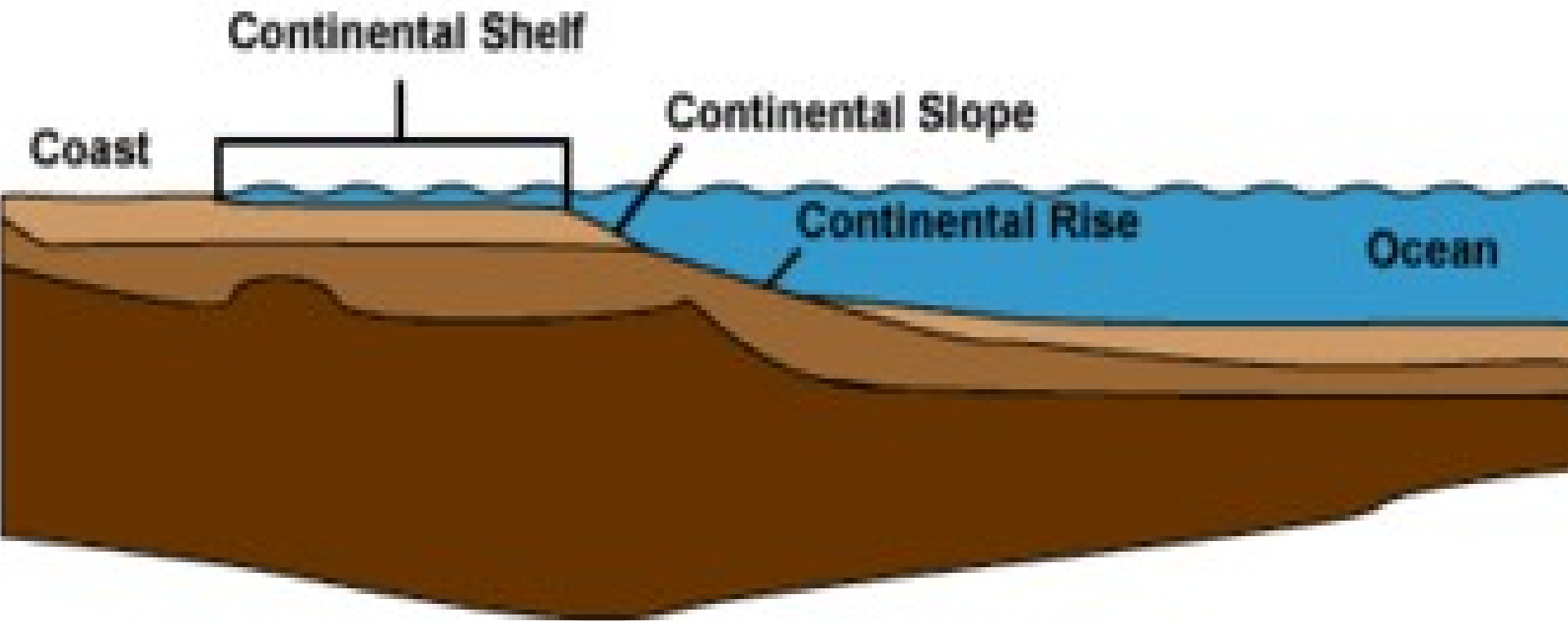


**Базовая кафедра МФТИ**  
**Информационные**  
**технологии освоения шельфа**



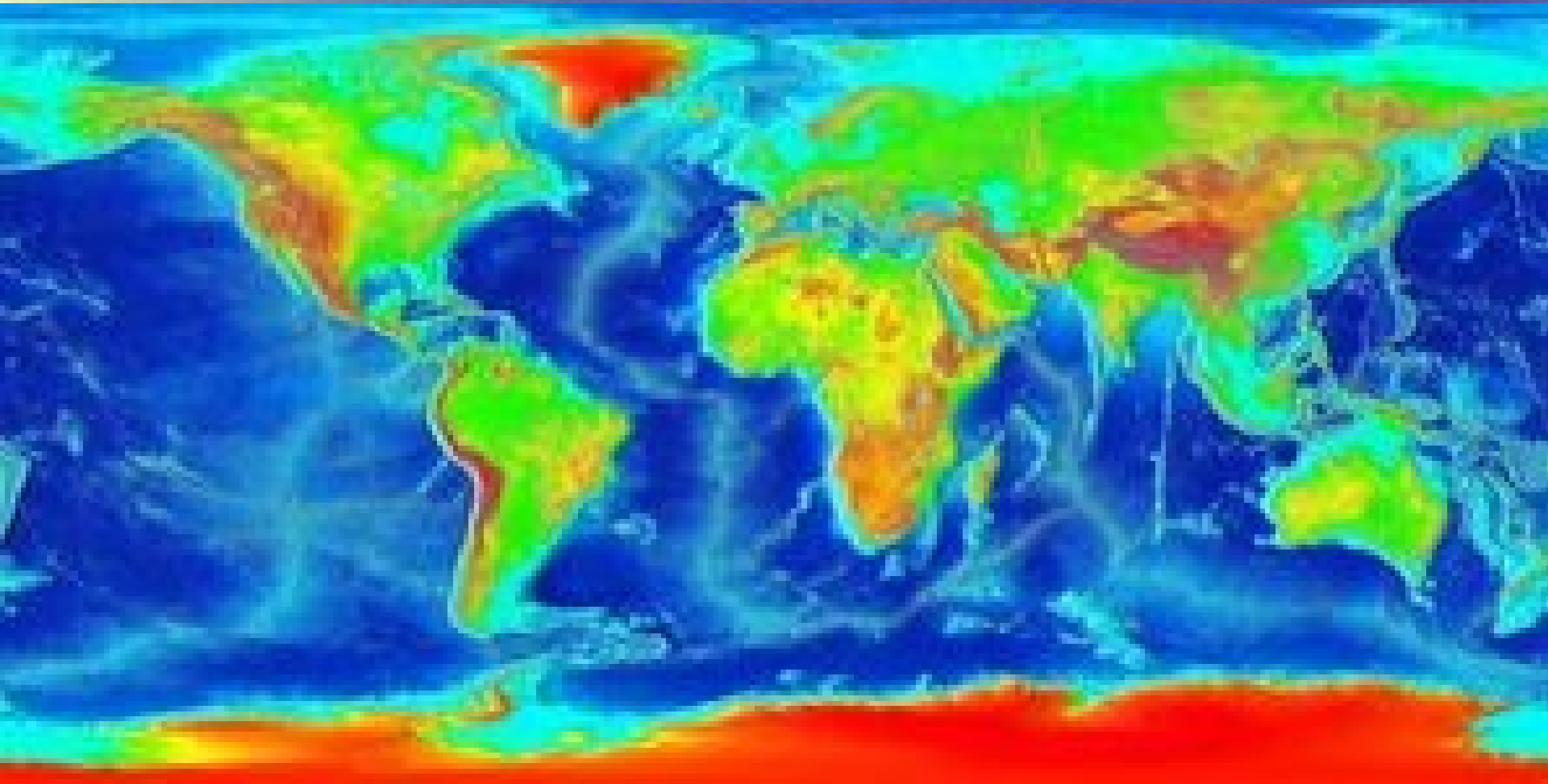
**Российская академия наук**  
**Институт океанологии**  
**им. П.П. Ширшова**

**Шельф** (от англ. *shelf* – полка) – выровненная область подводной окраины материка, примыкающая к суше и характеризующаяся общим с ней геологическим строением.



# Шельфовые зоны на карте Мира

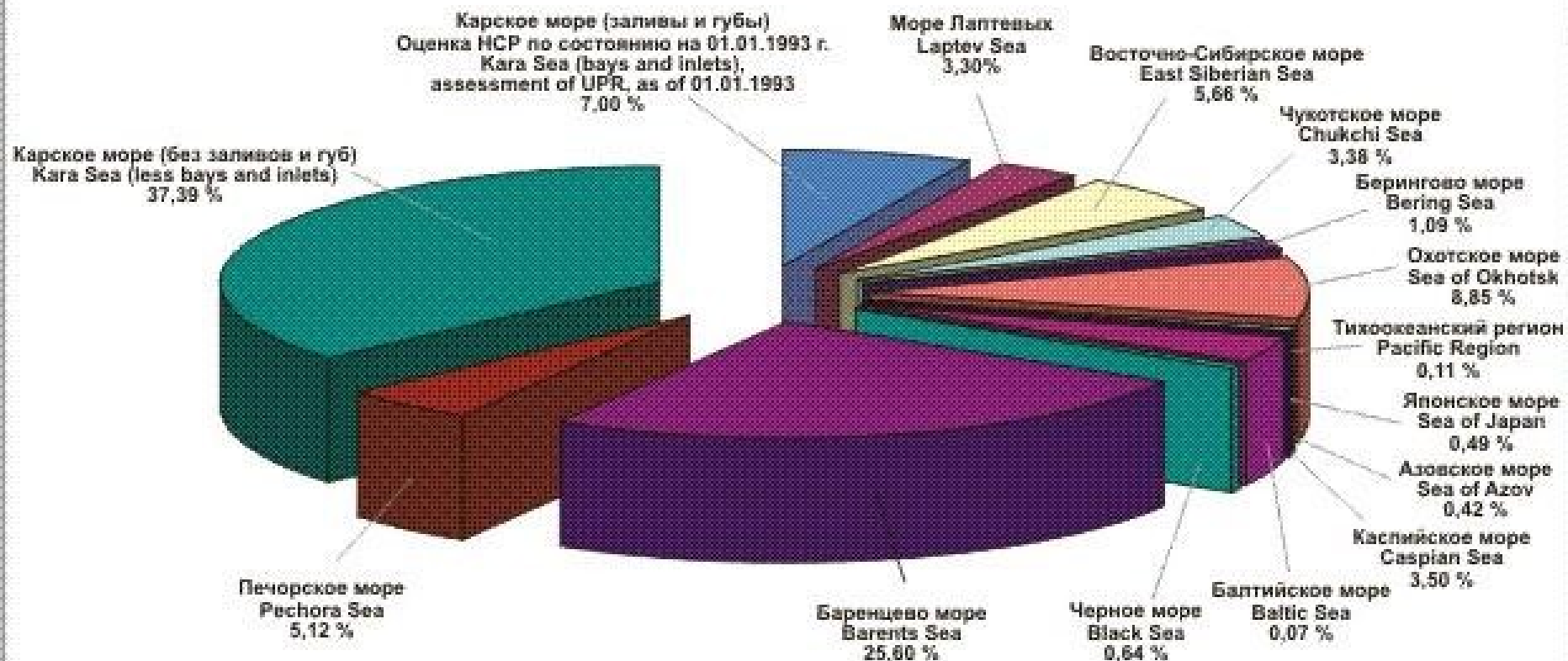
(выделены светло-голубым цветом)



# НЕФТЕГАЗОВЫЙ ПОТЕНЦИАЛ КОНТИНЕНТАЛЬНОГО ШЕЛЬФА

Рис. 1. Распределение НСР УВ в недрах морей России

Fig. 1. Distribution of HC UPR in Russia's seas





# Институт океанологии РАН

<http://www.ocean.ru/>

## Направления исследований

- **Физическое** — гидрология, гидрофизика, оптика, акустика, движение вод, взаимодействие океан — атмосфера — континенты.
- **Биологическое** — экология, биопродуктивность, промысловые популяции, функционирование морских экосистем, сохранение биоразнообразия.
- **Геологическое** — минеральные ресурсы, палеоокеанология, глобальная тектоника, геофизика, строение и эволюции морского дна, геофизических полей и процессов.

## Направления исследований (продолжение)

- **Химическое** — биогеохимия, состояние морской воды, состав элементов экосистем, биогеохимическая эволюция.
- **Морская техника** — технические средства изучения океана, информатика, средства долговременного наблюдения, распределенные сети.
- **Подводные исследования** - глубоководные подводные аппараты «Мир» базируются на борту научно исследовательского судна «Академик Мстислав Келдыш». Известны по фильму «Титаник». Способны погружаться на глубину более шести километров.



# Филиалы и отделения Института океанологии РАН

- Атлантическое отделение  
(г. Калининград)
- Южное отделение (г. Геленджик)
- Санкт-Петербургский филиал
- Северо-Западное отделение  
(г. Архангельск)
- Каспийский филиал (г. Астрахань)



# Научно-исследовательский флот Института океанологии





# Подводный аппарат «Мир»

## Основные характеристики

- Запас энергообеспечения 100 КВтч
- Запас плавучести 290 кг
- Скорость (подводная) 5 узлов
- Рабочая глубина погружения 6000 м
- Экипаж 3 чел.
- Запас жизнеобеспечения 246 челч





Погружение  
подводного аппарата  
«Мир» на Северном  
полюсе













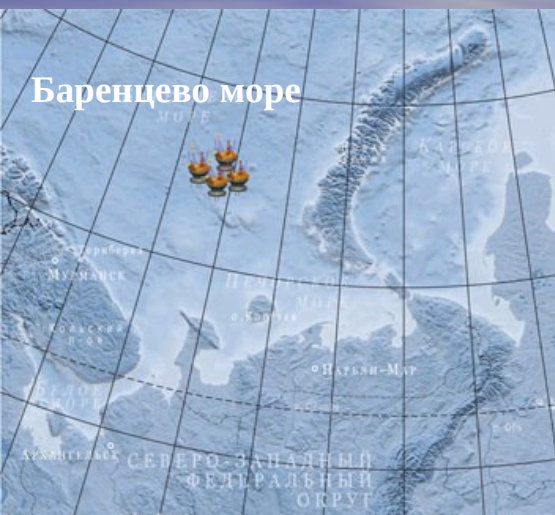


# Прикладные исследования ИО РАН

## Крупные проекты в окраинных морях России.

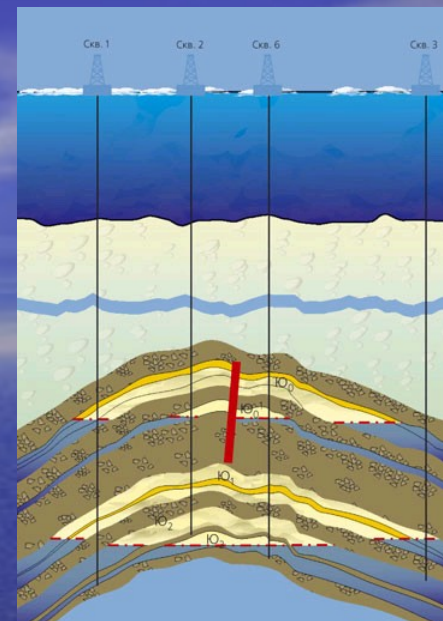
- Штокмановское и Приразломное месторождения в Баренцевом море (Росшельф, Севморнефтегаз)
- Нефтяной терминал Чёрном море. Проекты «Сахалин-1» и «Сахалин-2»
- Подводный газопровод «Голубой поток» в Чёрном море (Газпром).
- Северо-Европейский газопровод (Питергаз)
- и др.





# Штокмановское месторождение

В 6-м рейсе НИС “Профессор Штокман” (1981 г.) в Баренцевом море была выявлена антиклинальная структура в юрских отложениях, которая была названа Штокманской. С этой структурой оказалось связано одноименное гигантское газоконденсатное месторождение на Арктическом шельфе.



Месторождение состоит из четырёх пластов.

Геологические запасы газа - 3,2 трлн. куб.м

Геологические запасы конденсата 31 млн.т.

Глубина залегания 1900-2300 м

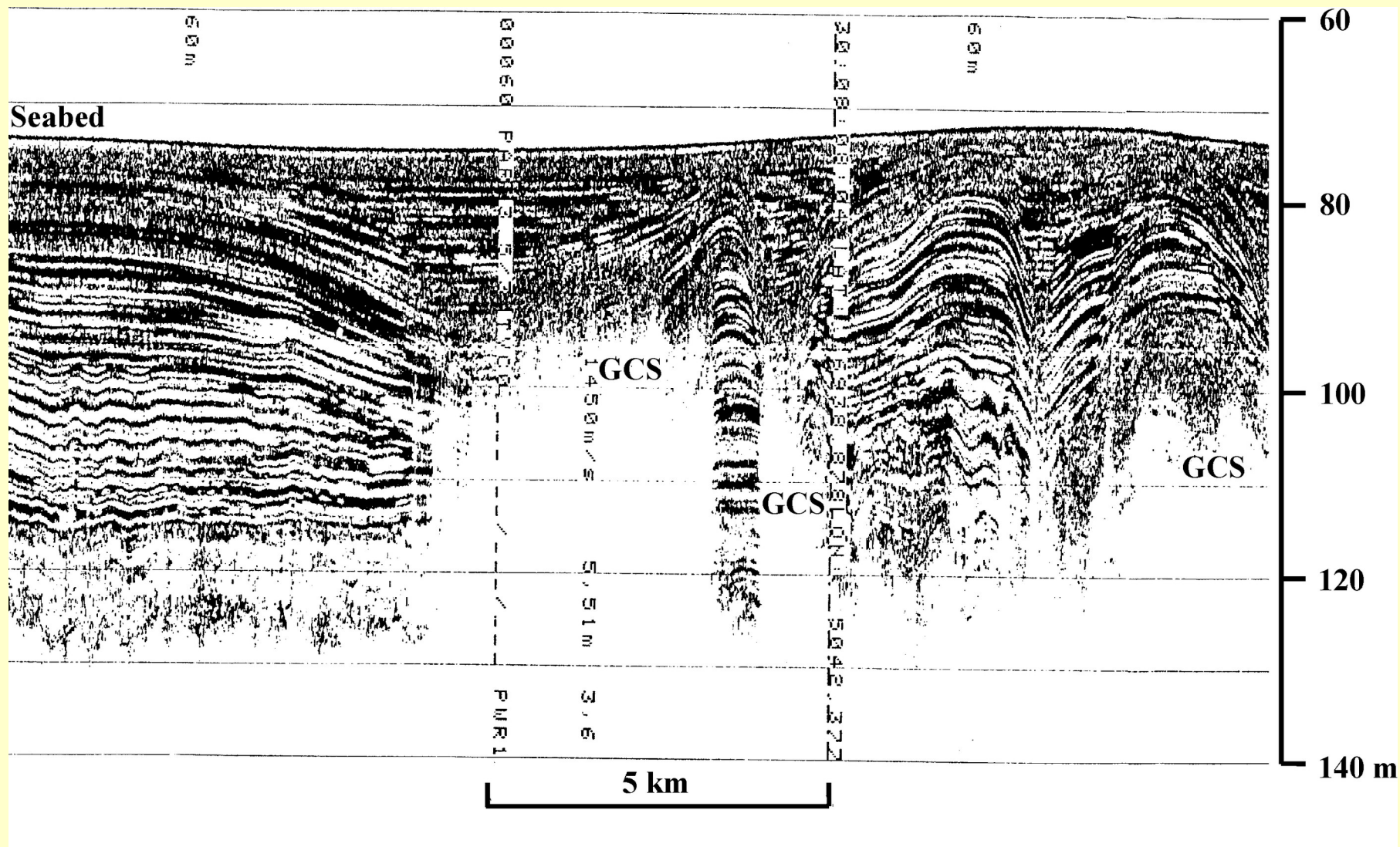


# БАРЕНЦЕВО МОРЕ

Инженерно-экологические изыскания под строительство  
объектов обустройства Приразломного нефтяного  
месторождения  
нис «Профессор Штокман» 2003 г.



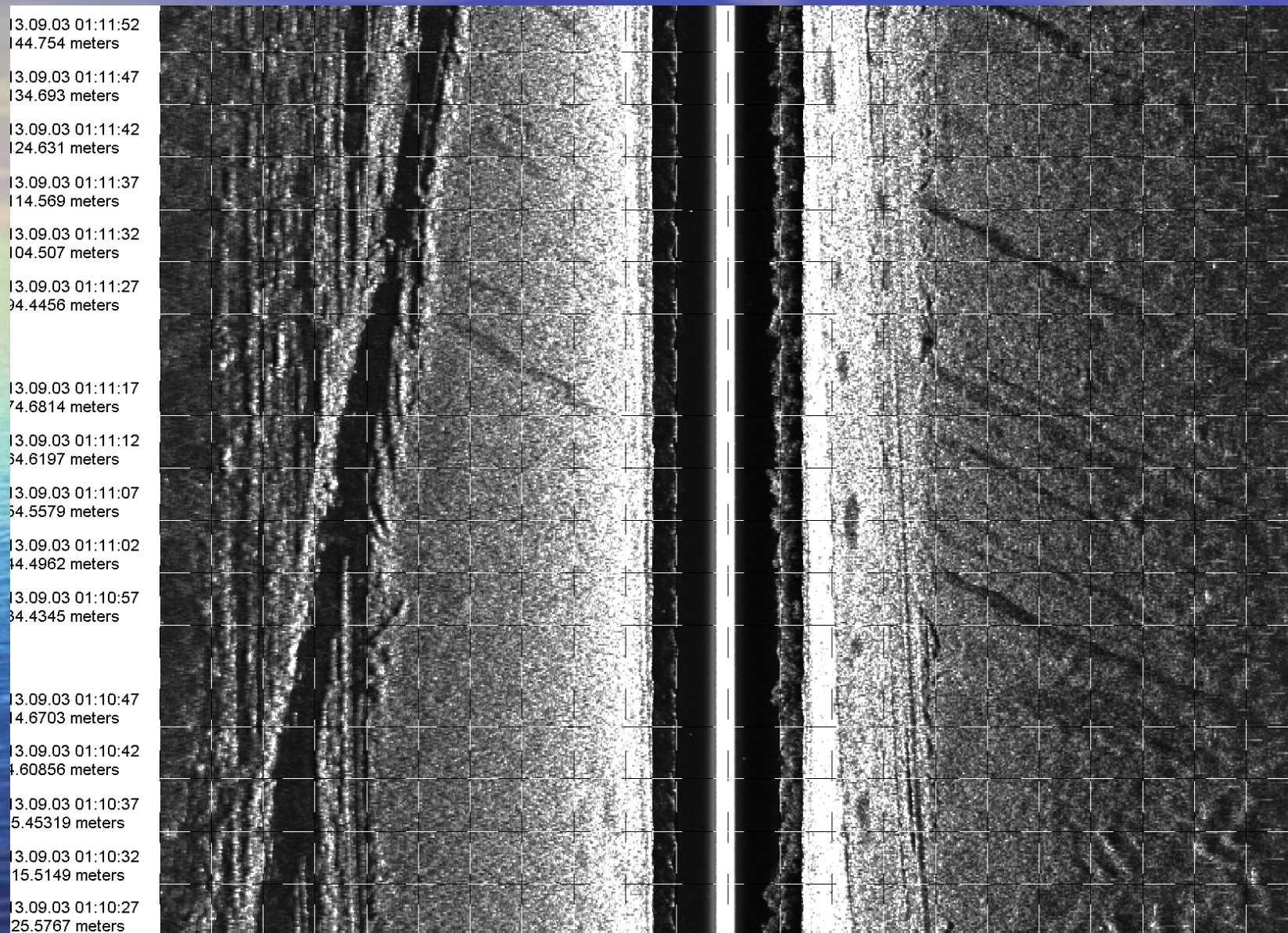




Фрагмент записи профилографа “PARASOUND”, иллюстрирующий газонасыщенные осадки (GCS) в Баренцевом море

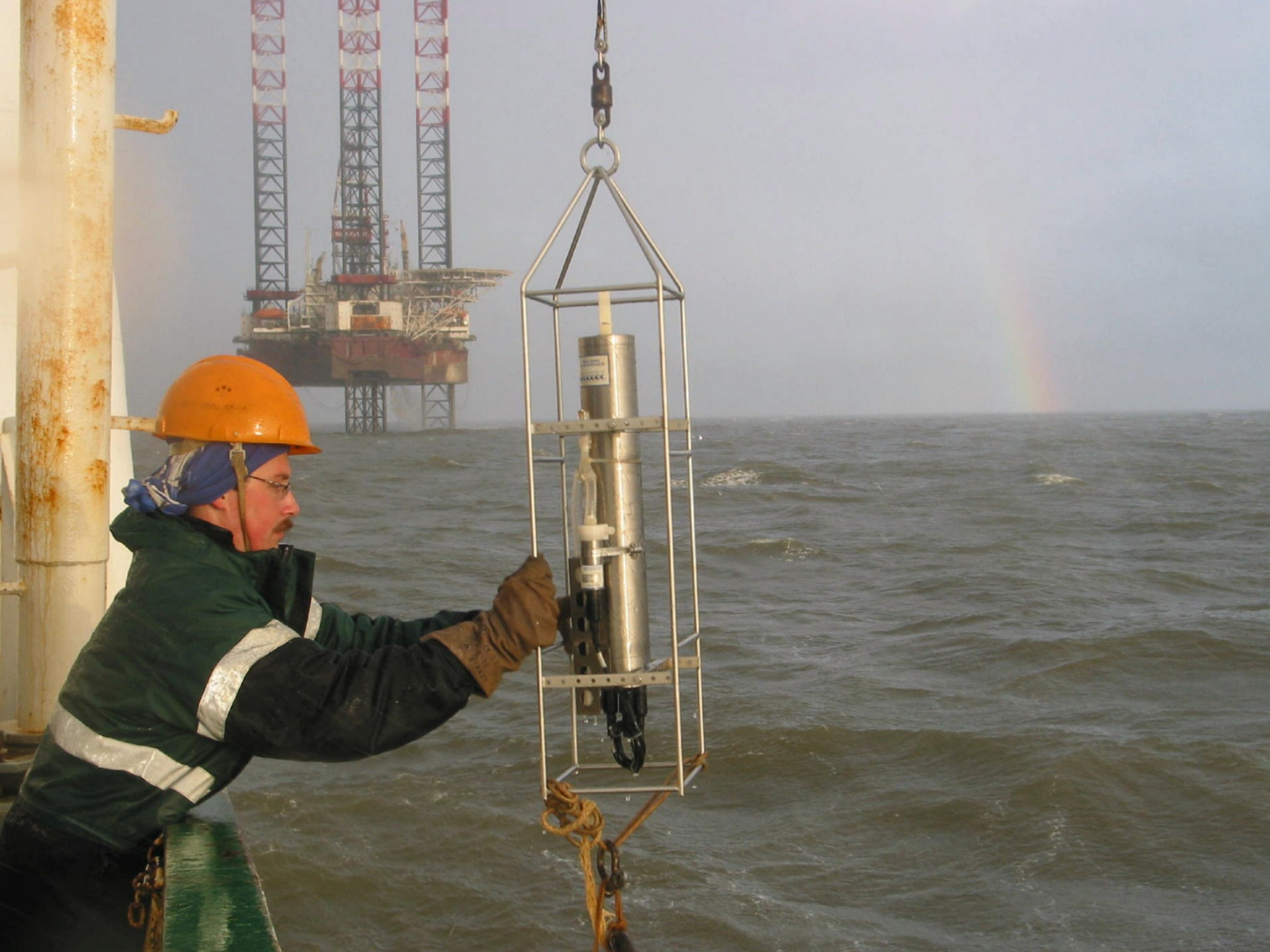


# Глубокая борозда на дне (первичная запись ГБО)



**Vertical Lines Every 10 Meters**  
**Horizontal Lines Every 10 Meters**  
**Horizontal Scale 1:1189.2**  
**Vertical Scale 1:1189.2**







Верхнее строение

Опорная часть

67000

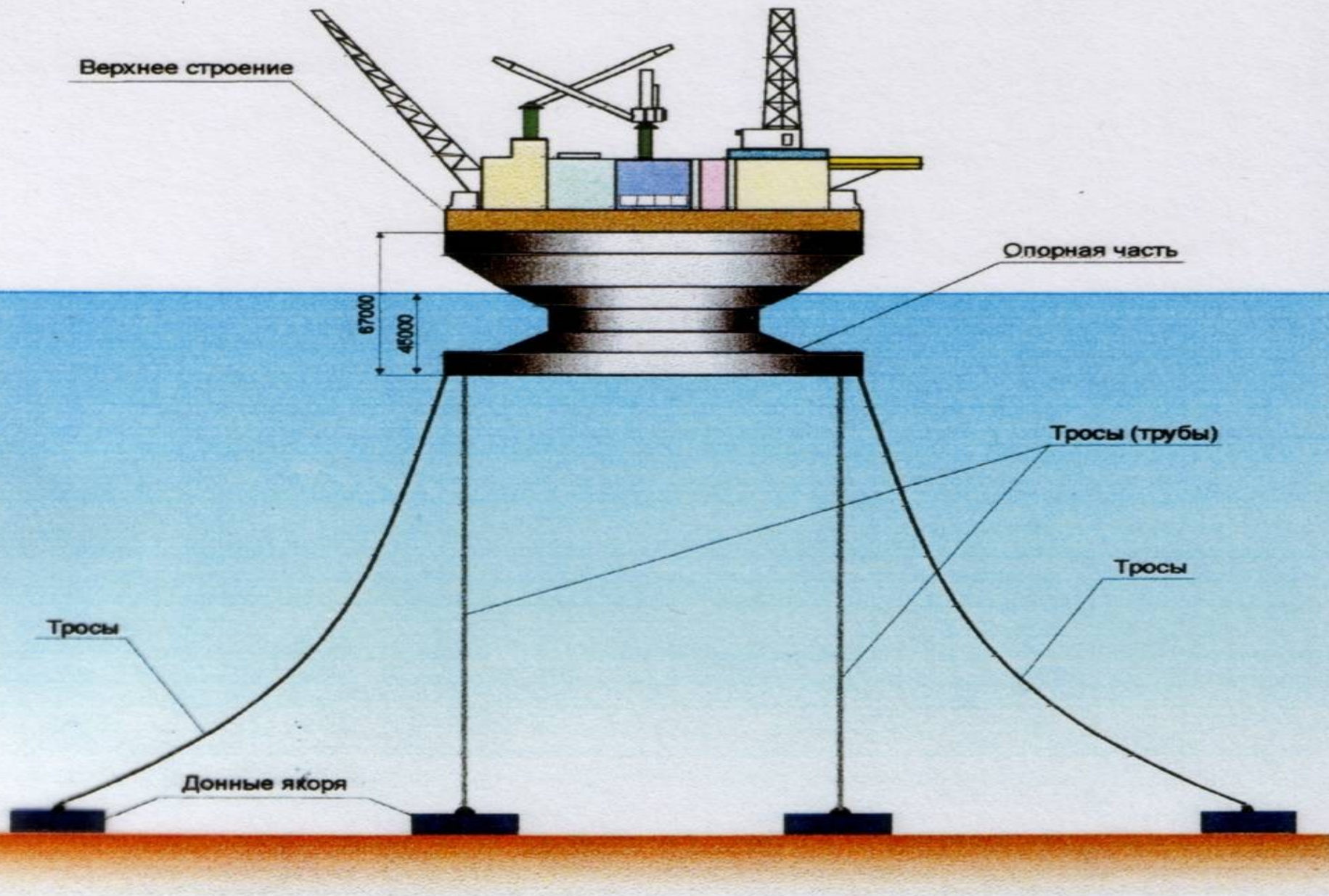
46000

Тросы (трубы)

Тросы

Тросы

Донные якоря





A detailed geological map of the study area, showing various geological features and sample locations. The map is bounded by coordinates 38°00' to 39°00' longitude and 43°45' to 44°30' latitude. The map includes a grid of latitude and longitude lines. A prominent blue line, likely a river or major road, runs diagonally from the bottom left towards the center. The map is divided into several colored regions: a large yellow area in the top right, a light grey area in the center, and a light brown area in the bottom right. Numerous red lines, some solid and some dashed, represent geological faults or boundaries. Various symbols are plotted on the map, including black circles, red circles, blue circles, green triangles, and white triangles. Some of these symbols are numbered (e.g., 3, 4, 6, 9, 10, 12, 18, 19, 20, 21, 22). The map also shows topographic features like contour lines and small streams.

▲ В мае

Глубина  
очага

- $0 < h < 8$  км
- $8 < h < 30$  км
- $h > 30$  км

разломы

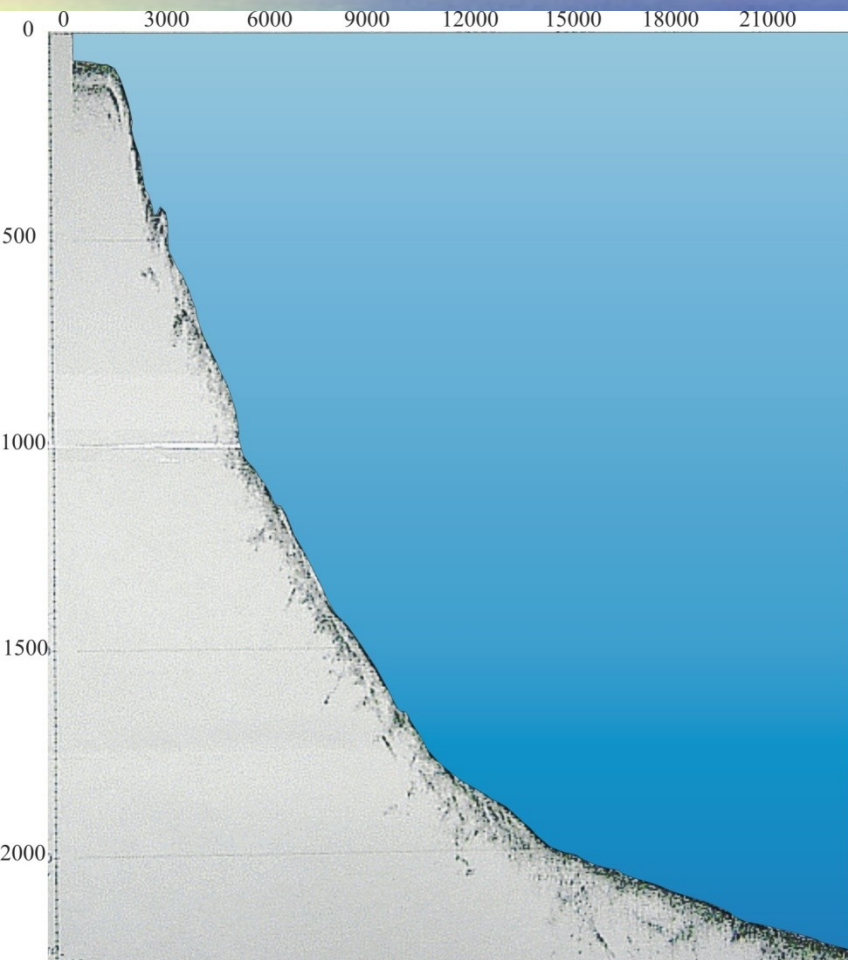
▲ ДС

- $M < 1$
- $1 \leq M < 2$
- $M \geq 2$

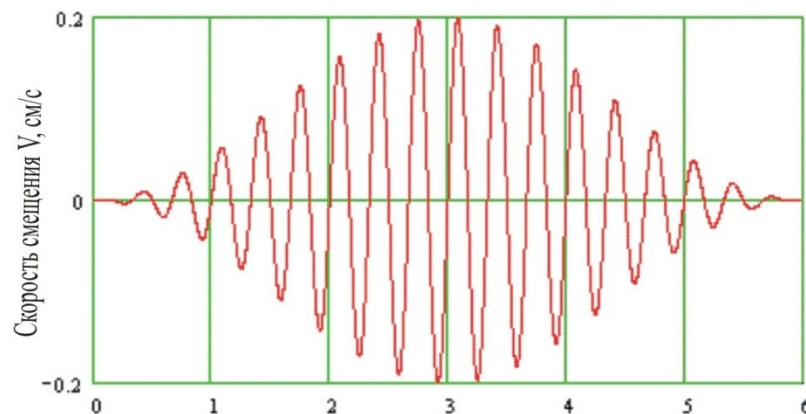
## Эпицентры землетрясений Анатолийского побережья в районе Самсуна



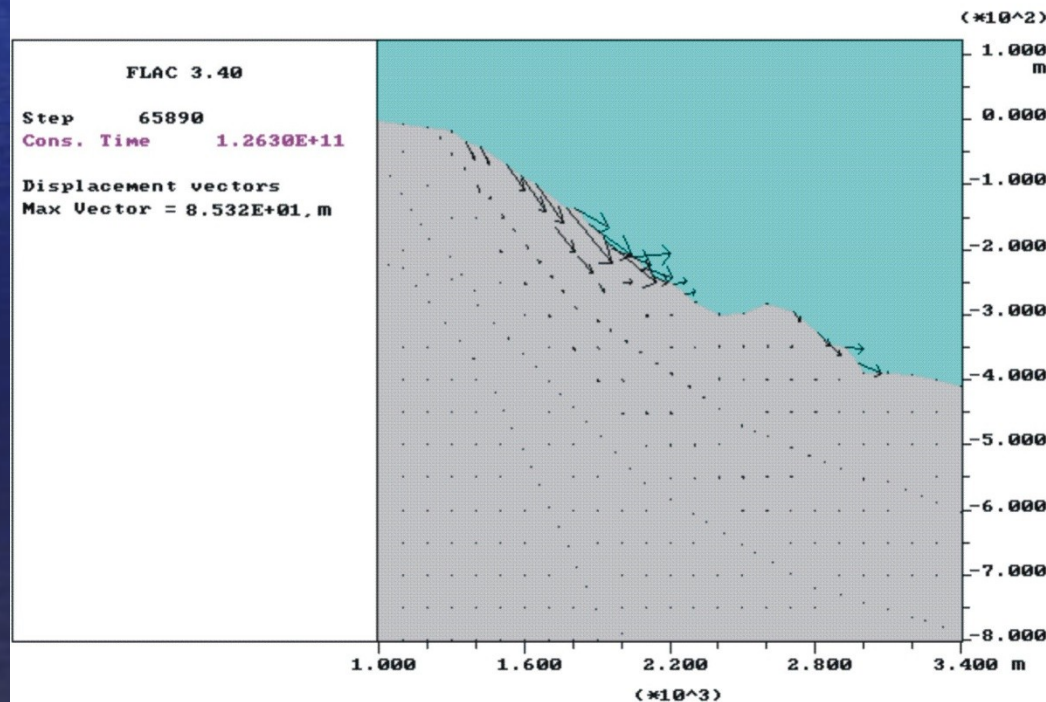
# Анализ оползневой опасности на континентальном склоне Черного моря (проект “Голубой поток”)



Сейсмическое воздействие (частота 3 гц, длительность 6 сек.)

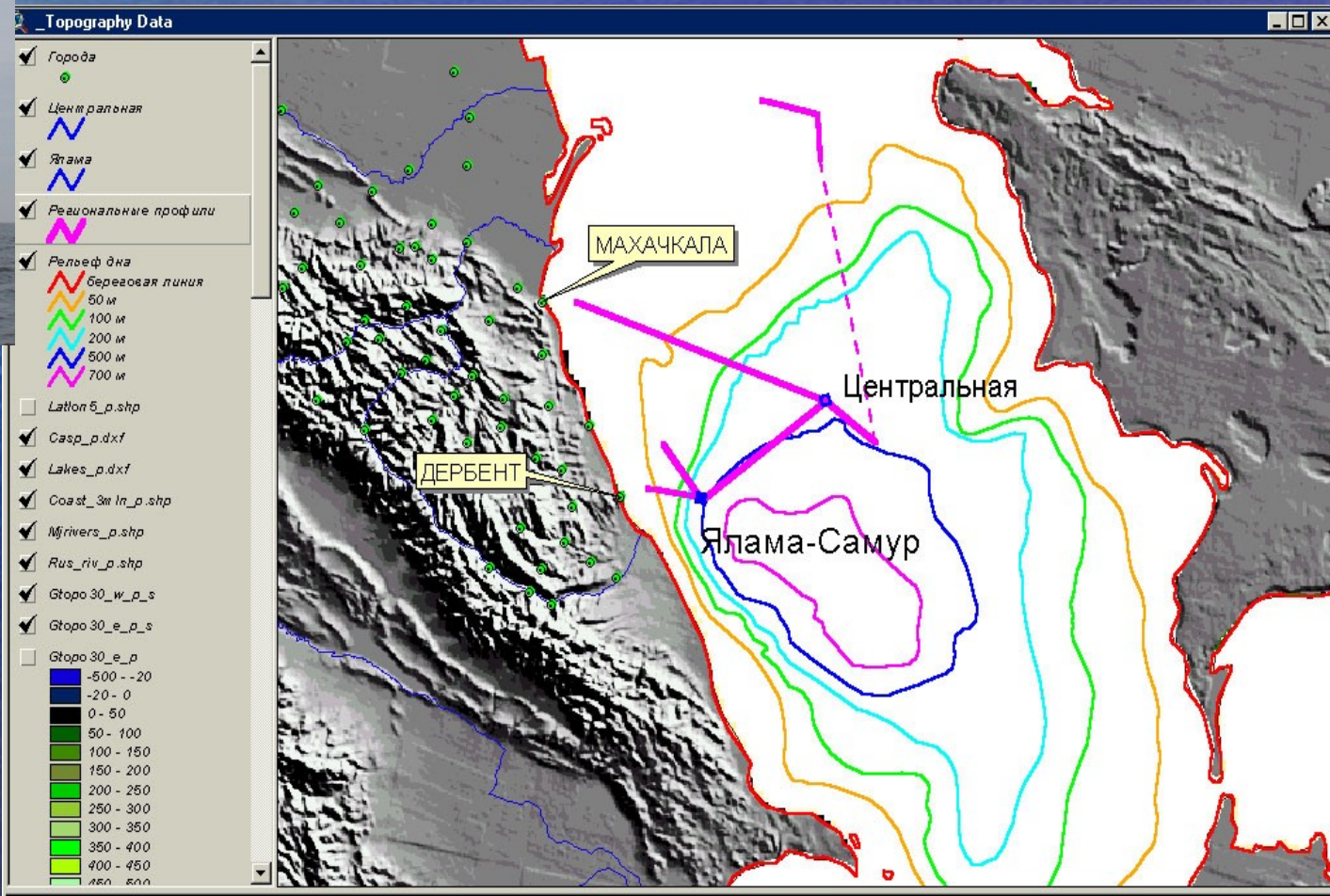


## Распределение оползневых смещений (результат землетрясения)



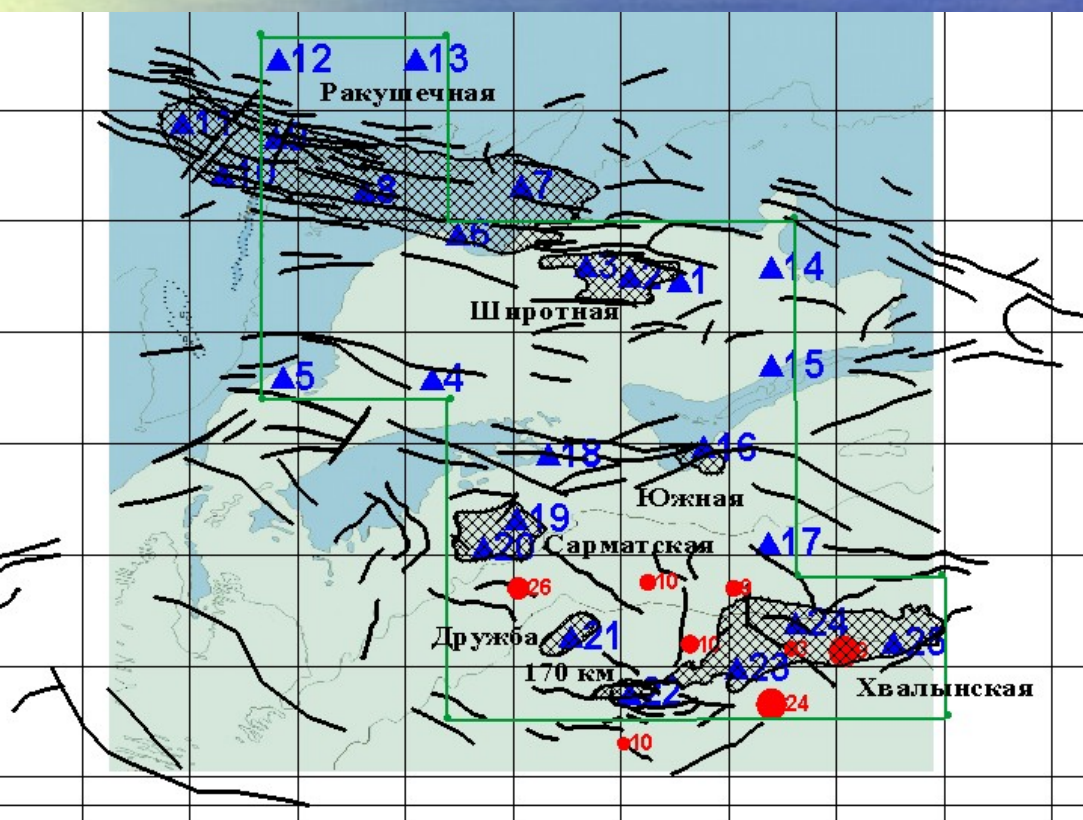


# Комплексные инженерные изыскания в Каспийском море





# Результаты донных сейсмологических наблюдений в районе нефтяных месторождений Северного Каспия



границы лицензионного участка

▲ 20  
Донные сейсмографы



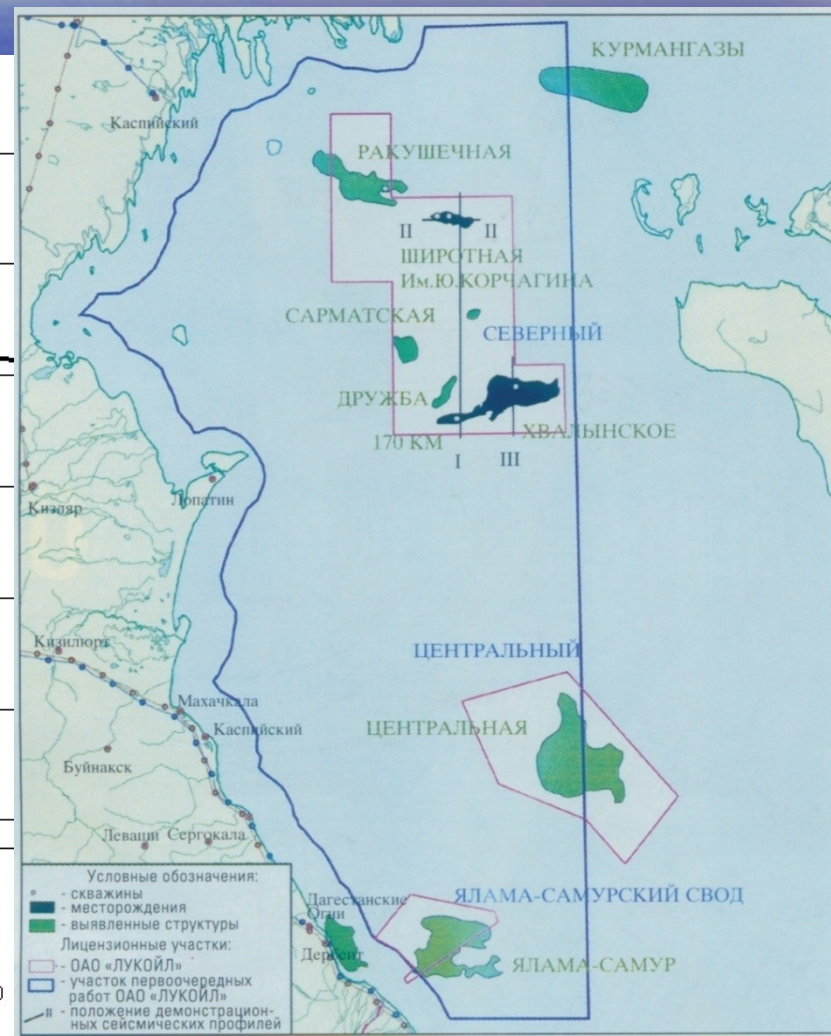
Контуры структур



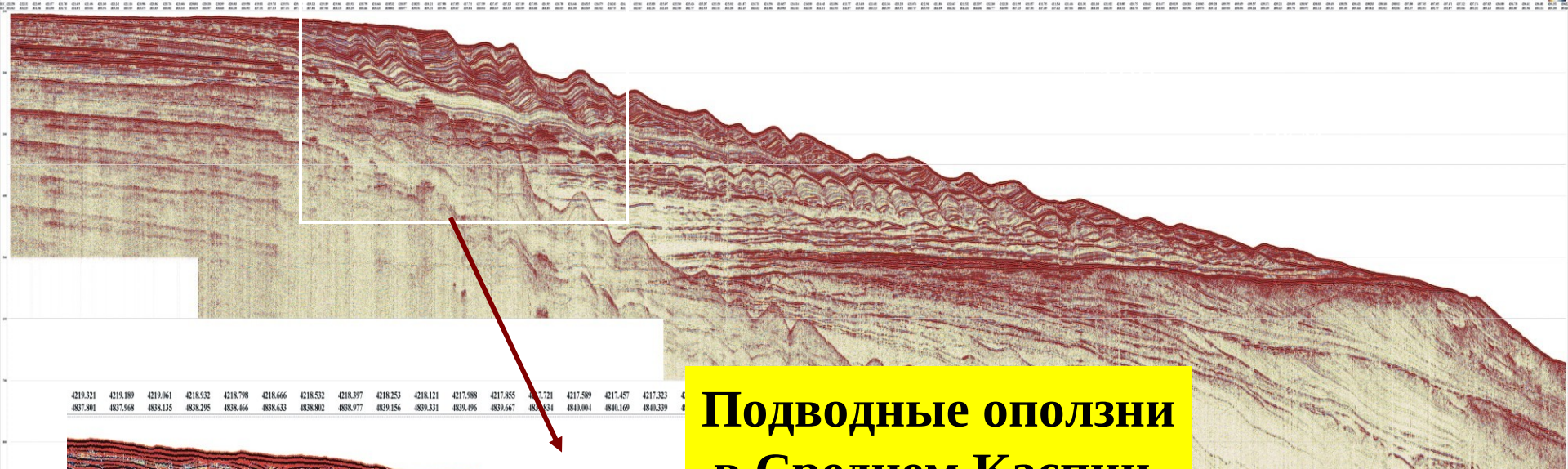
Разломы

Эпицентры землетрясений с указанием глубины очага

● ML=2,0-2,1    ● ML=2,2    ● ML=2,5    ● ML=2,9-3,0

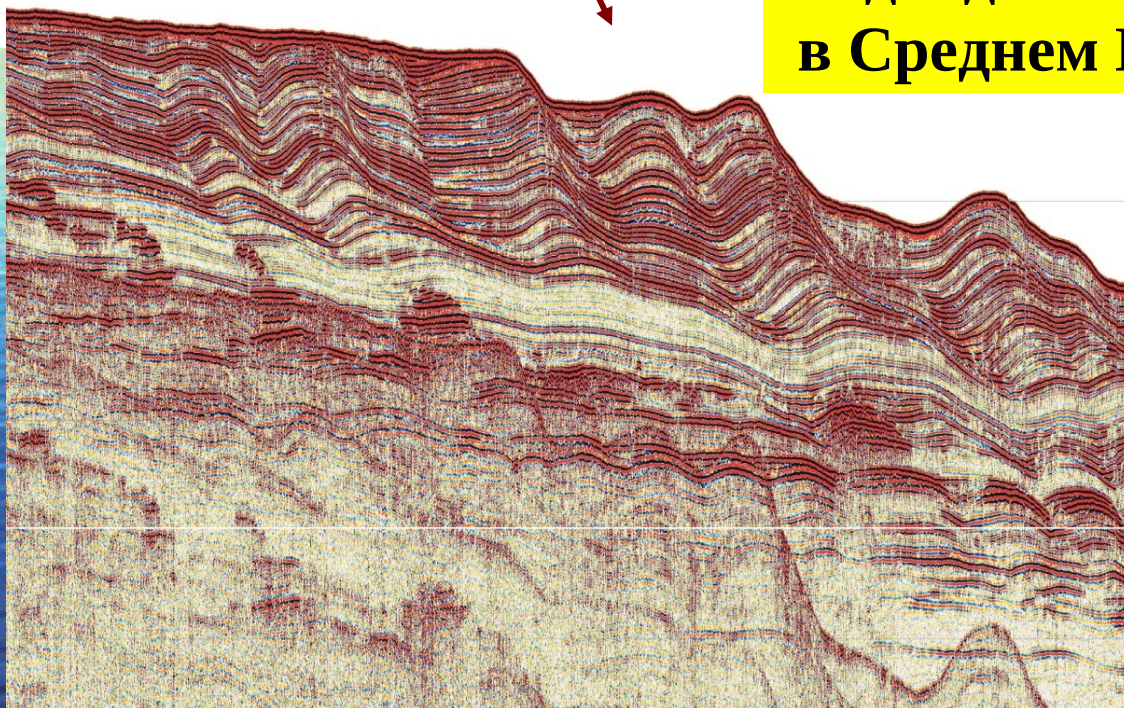






## Подводные оползни в Среднем Каспии

4219.321 4219.189 4219.061 4218.932 4218.798 4218.666 4218.532 4218.397 4218.253 4218.121 4217.988 4217.855 4217.721 4217.589 4217.457 4217.323

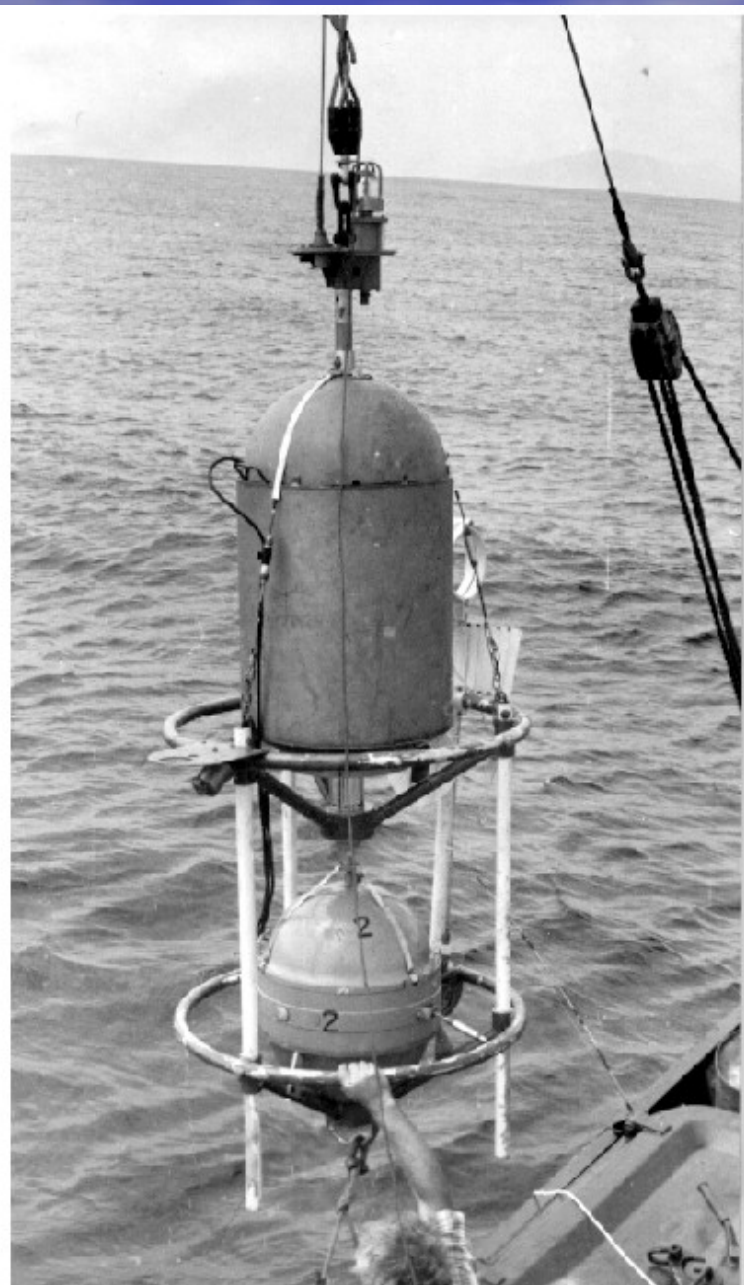
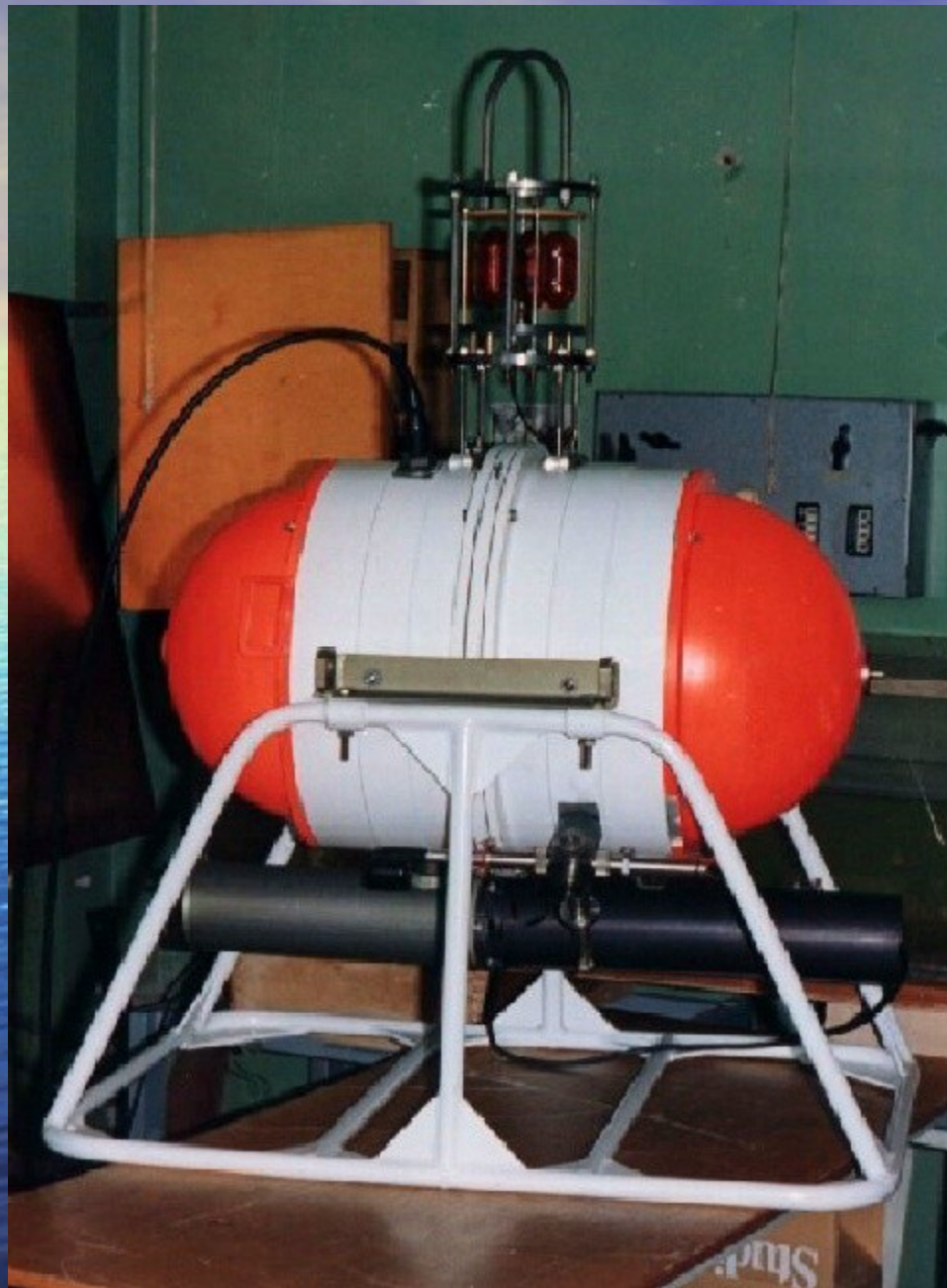


**Временной разрез непрерывного сейсмического профилирования в западной части Центрального Каспия, иллюстрирующий структуру верхней части осадочного чехла и подводные оползни**







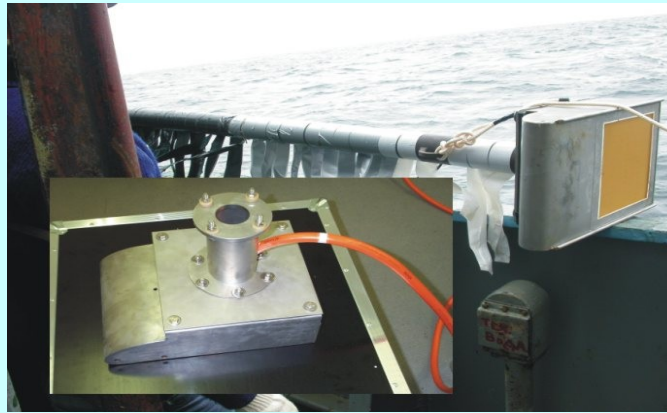




# Методы исследований



Приёмопередающая антенна  
эхолота SeaBat 8111.



Приемно-  
излучающая  
антенна  
профилографа  
«SES-96  
standard».



Сбор и  
предварительная  
обработка  
данных НСП –  
ГеонтШельф



Общий вид сейсмической косы  
МОБ-ОГТ ВР



# «Рифт» во льдах







2005 – 2006 г.г.

Работа по госконтракту  
«Создание системы  
многоуровневого регионально-  
адаптированного экологического  
и геодинамического мониторинга  
морей России, в первую очередь,  
районов шельфа и  
континентального склона»

- комплексный мониторинг морской среды в районах шельфа
- влияния антропогенного воздействия
- разработка прогностических моделей развития процессов
- совместное использование дистанционных и контактных измерений
- создание новых технических средств.



# Лазерный комплекс

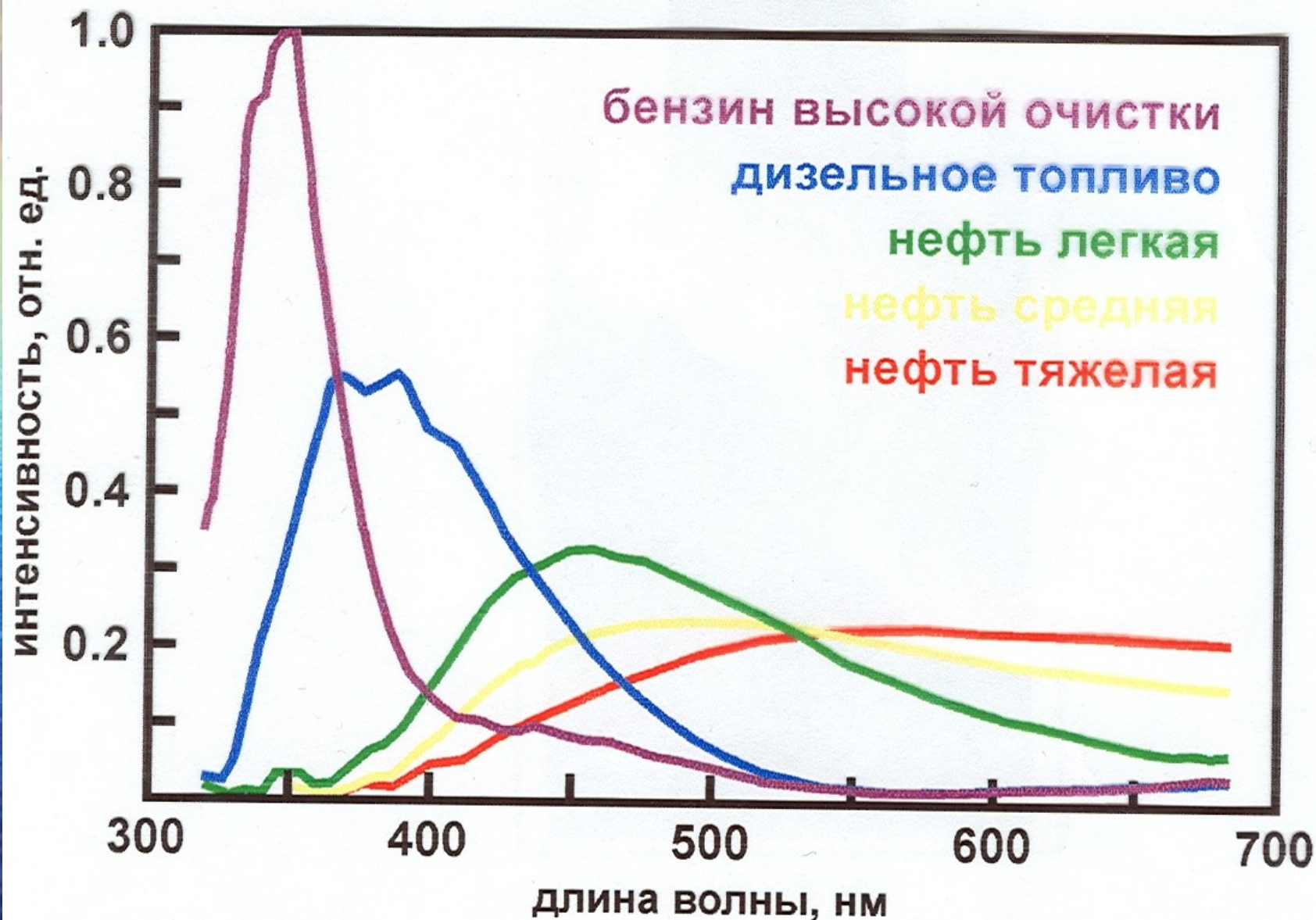


**Лазерный проточный флуориметр (ЛПФ) для измерений пространственных распределений (временной изменчивости) содержания в водной толще флуорофоров природного и антропогенного происхождения и спектров флуоресценции, необходимых для их идентификации.**

**Судовой многофункциональный лидар (СМФЛ) для дистанционного обнаружения и определения характеристик различного рода неоднородностей природного и антропогенного происхождения в водной толще, на поверхности и в приповерхностном слое воды.**



# Идентификация нефтепродуктов по данным лидара



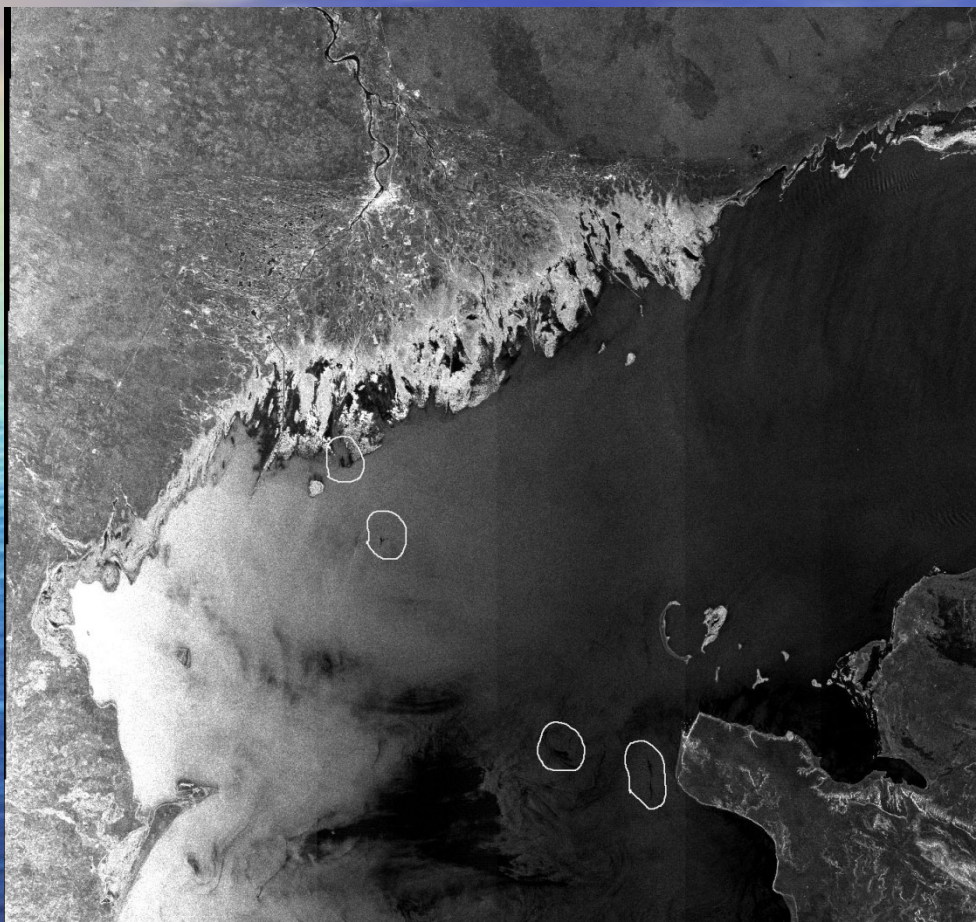


Интегральная карта  
распределения  
нефтяных  
загрязнений на  
поверхности  
Каспийского моря.

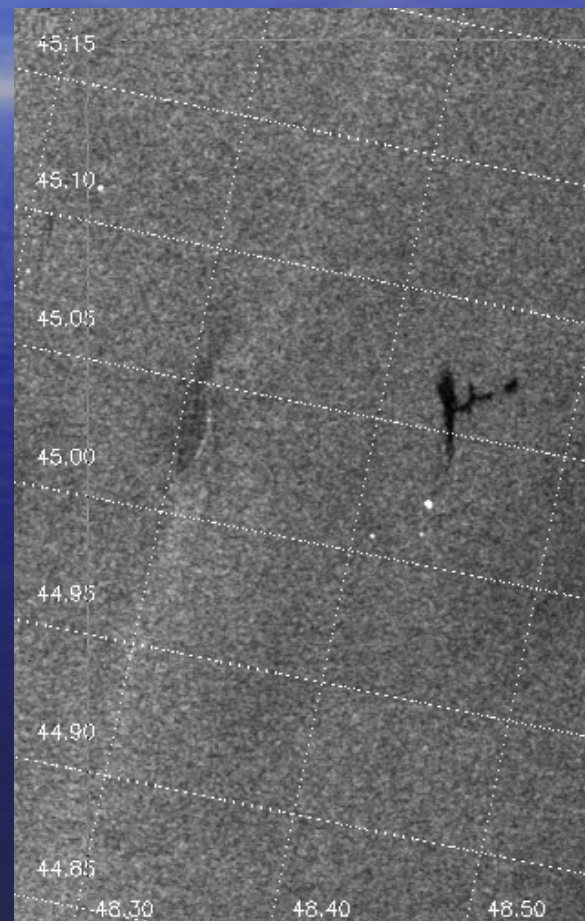




**Радиолокационное изображение со спутника ENVISAT  
7 августа 2006 г. Пространственное разрешение 150 м  
(размер пиксела 75x75 м), размер кадра 400 x 400 км.**



**Кружками отмечены нефтяные пятна,  
выявленные на РЛИ в результате анализа**



**Нефтяное пятно крупным  
планом с координатами**





Каспийский тюлень,  
эндемик

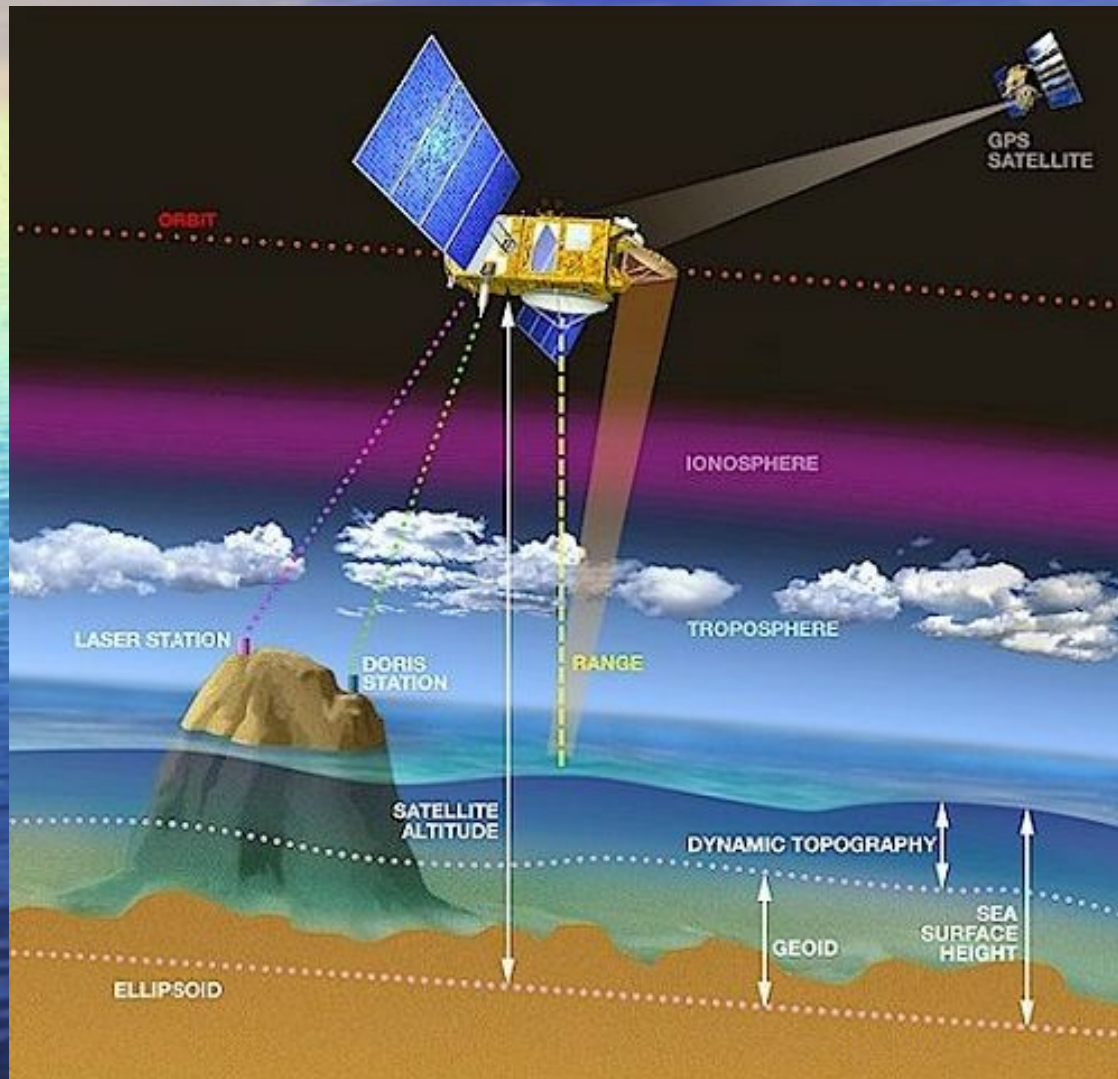


Транскаспийская миграция 61 вида  
«сухопутных» птиц





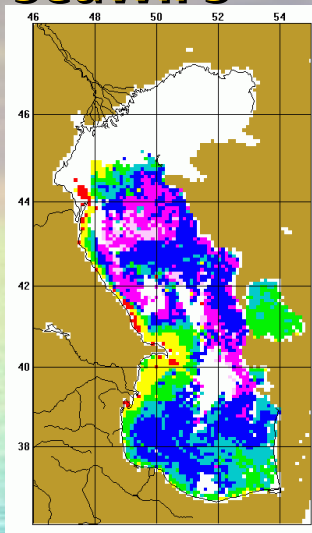
# Колебания уровня моря, регистрируемые с помощью спутникового высотомера (альтиметра)



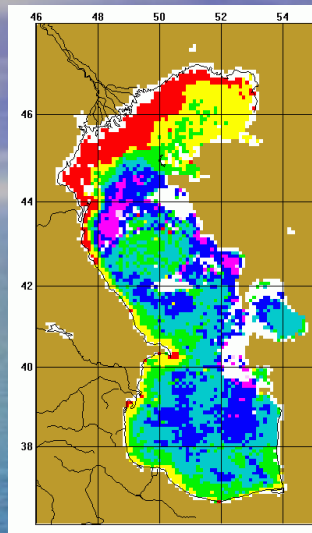
Высота орбиты ИСЗ ТОРЕХ/POSEIDON - 1336 км. Микроволновые измерения на частотах 13,6 и 5,3 ГГц. Время прохождения сигнала от спутника до поверхности моря и обратно пересчитывается в высоту спутника, а затем в возвышение морской поверхности с точностью до 4-5 см.



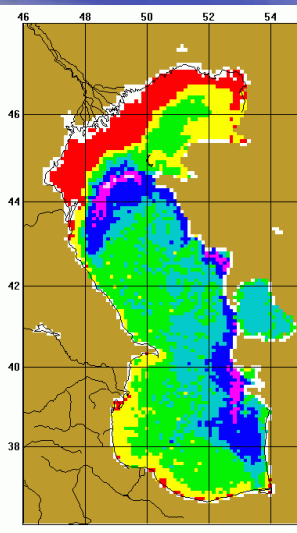
# Изменение в 2005 г. среднемесячных распределений концентрации хлорофилла по данным сканера цвета SeaWiFS



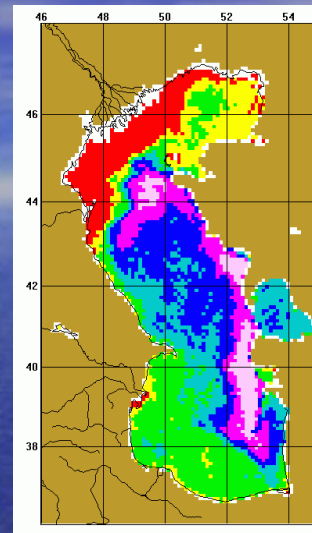
февраль



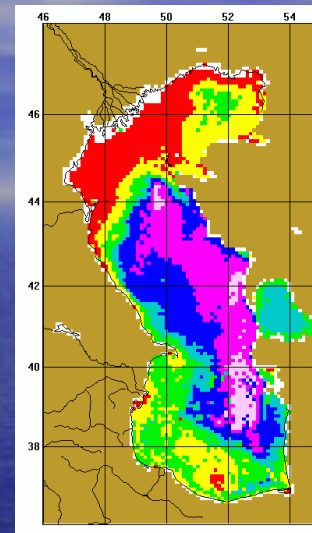
март



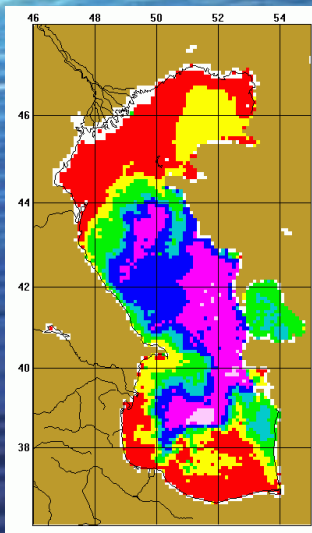
апрель



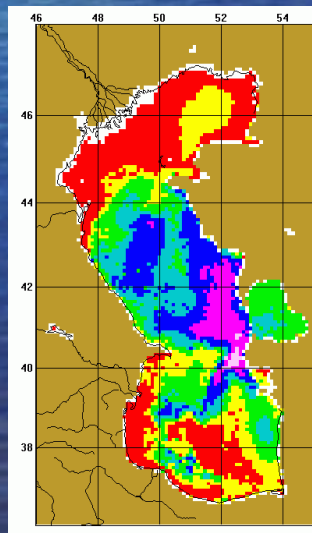
май



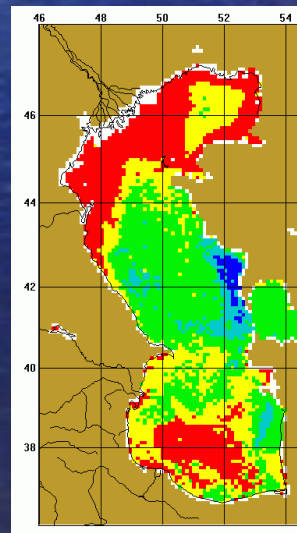
июнь



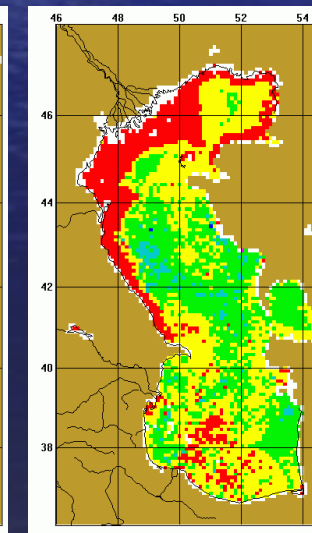
июль



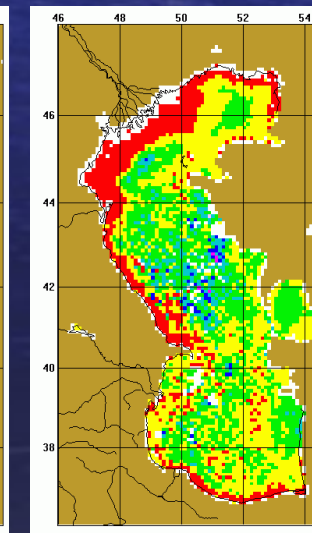
август



сентябрь

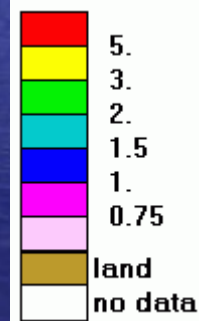


октябрь



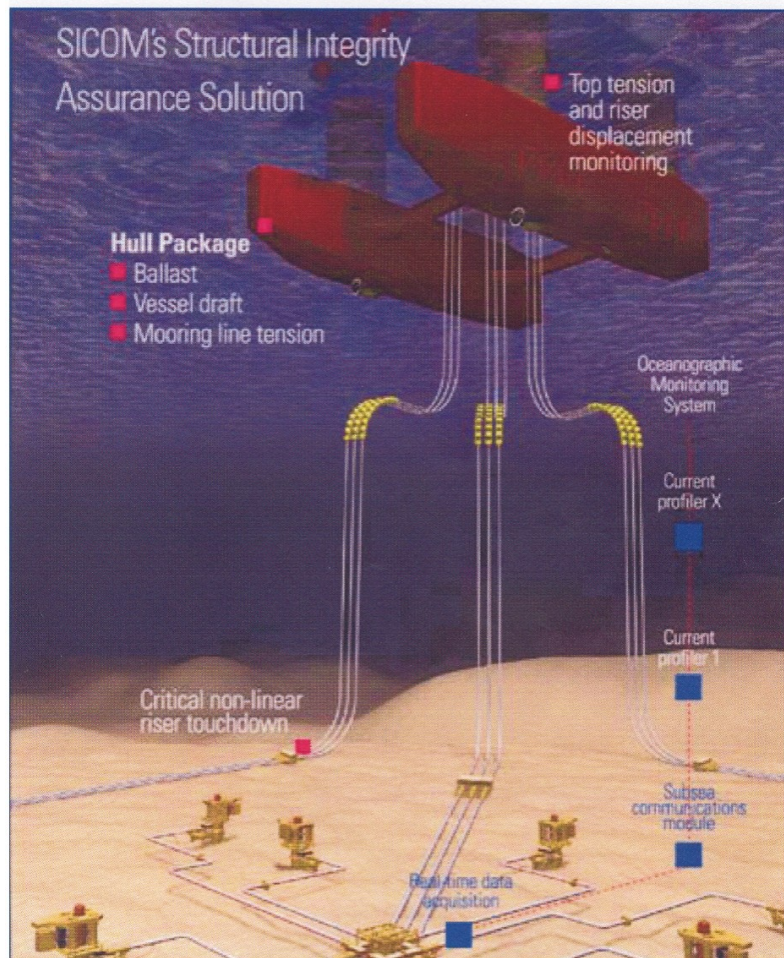
ноябрь

Хл,  
мг/л





# Пример зарубежной системы мониторинга



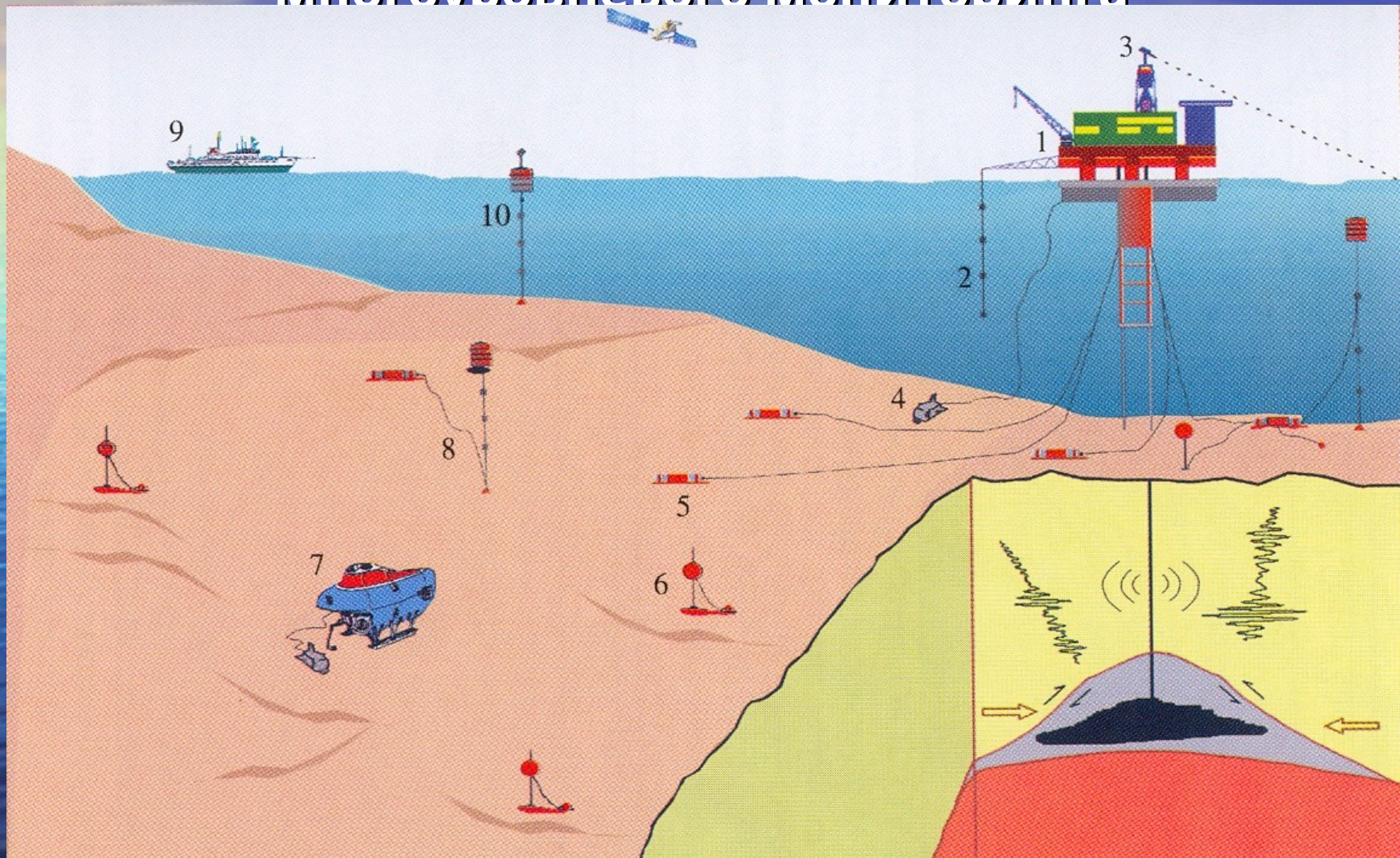
В апреле 2005 Служба Минеральных Ресурсов США разработала нормы, предписывающие мониторинг гидрофизической обстановки вокруг морских сооружений в основном для определения параметров придонных течений со скоростью, превышающей один узел. Разработка новых правил была вызвана опасением, что информация о придонных течениях в районах установки платформ недостаточна, а продолжительные воздействия течений на элементы конструкции морского сооружения могут вызвать их повреждения.

Норвежская компания **Sicom Group** в партнерстве с другими группами разработала систему океанографического мониторинга для внедрения на нефтедобывающих сооружениях в Мексиканском заливе.

Система измеряет, передает и обрабатывает информацию в реальном времени. Кроме океанографических и метеорологических данных производится мониторинг целостности конструкции, и проверку позиционирования платформы, ветровых и волновых нагрузок, вибрации сооружения, натяжения буйрепов и др. Все устройства для сбора информации связаны силовым кабелем для передачи данных в реальном масштабе времени



# Морские буровые платформы – один из наиболее подходящих технологических носителей системы комплексного многоуровневого мониторинга

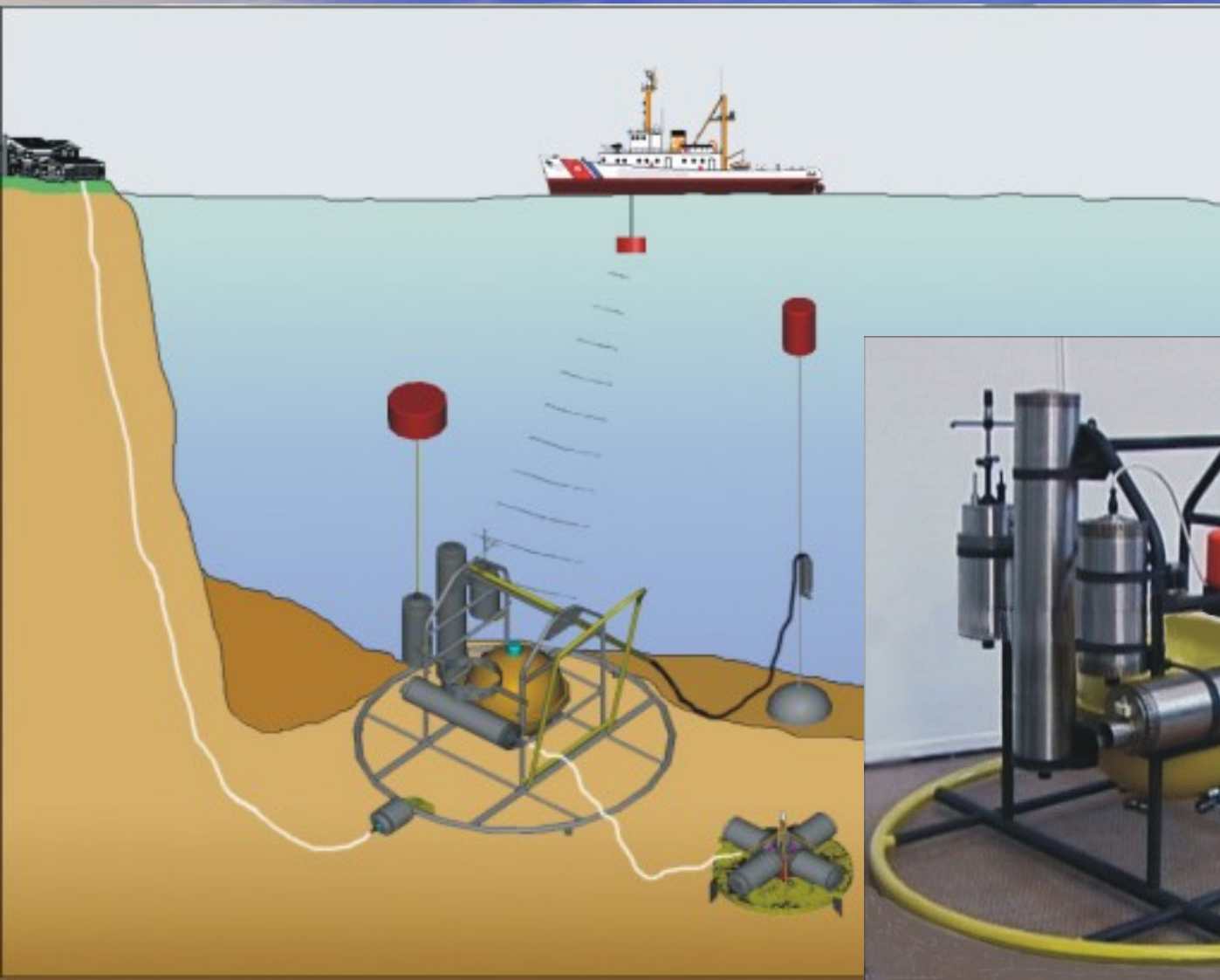






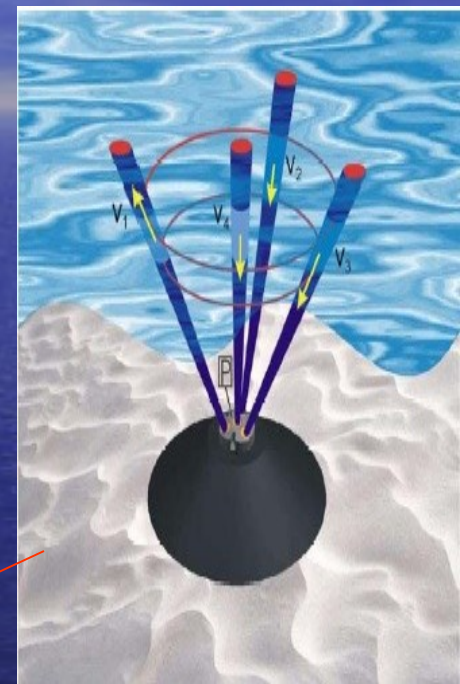
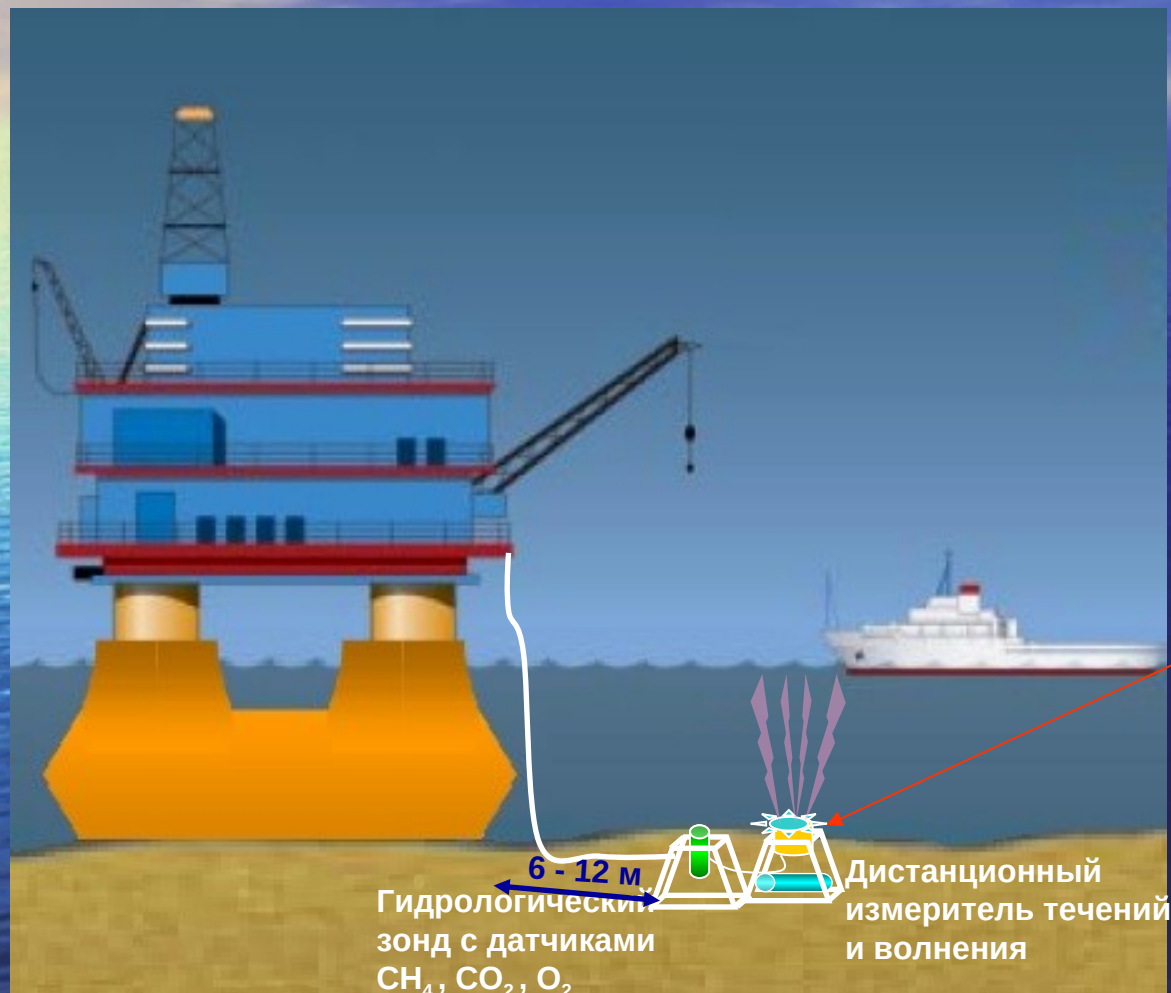


# Подсистема геодинимического (сейсмологического) мониторинга





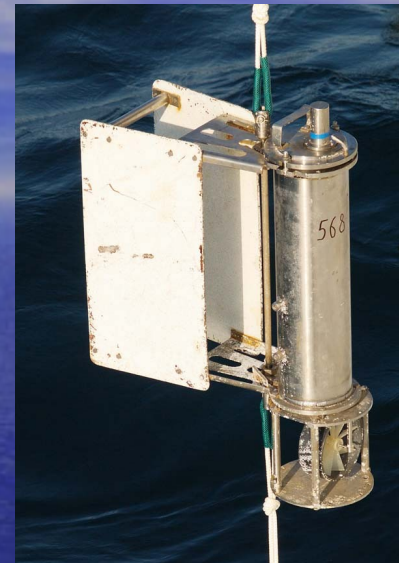
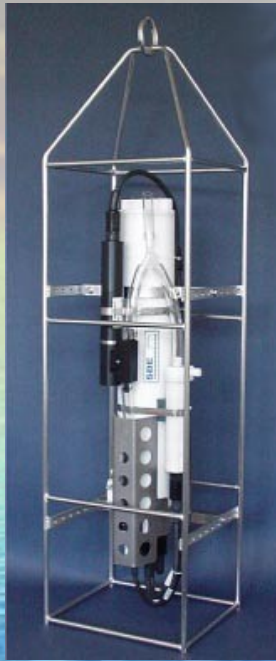
# Автоматическая гидрологическая станция Измеритель течений и взвеси, зонд температуры, солености, растворенных газов



Акустический измеритель профиля течений с разрешением не хуже 1 м. Измерение доплеровского сдвига длин акустических волн, рассеянных на частицах взвеси, переносимых течениями.



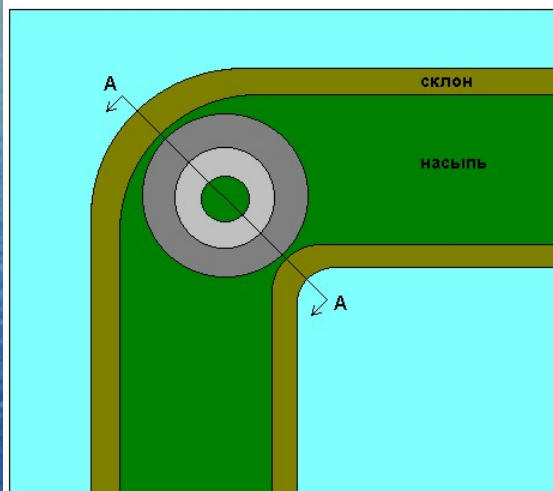
# Используемое оборудование



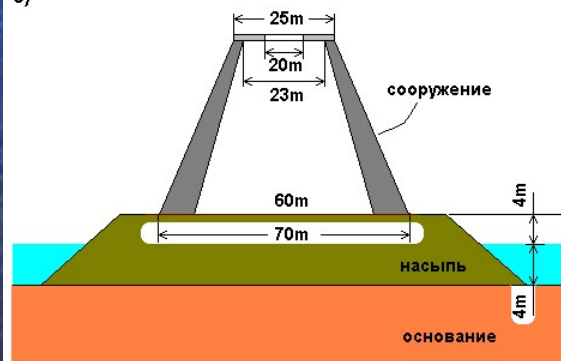


# ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ И СООРУЖЕНИЙ

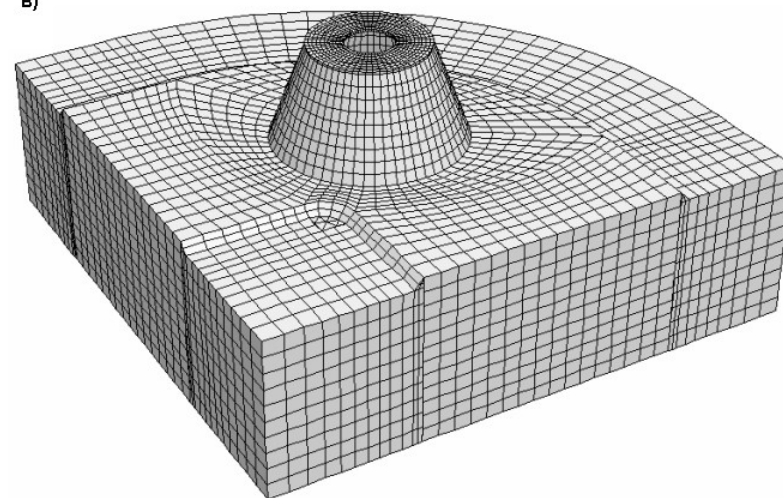
а)



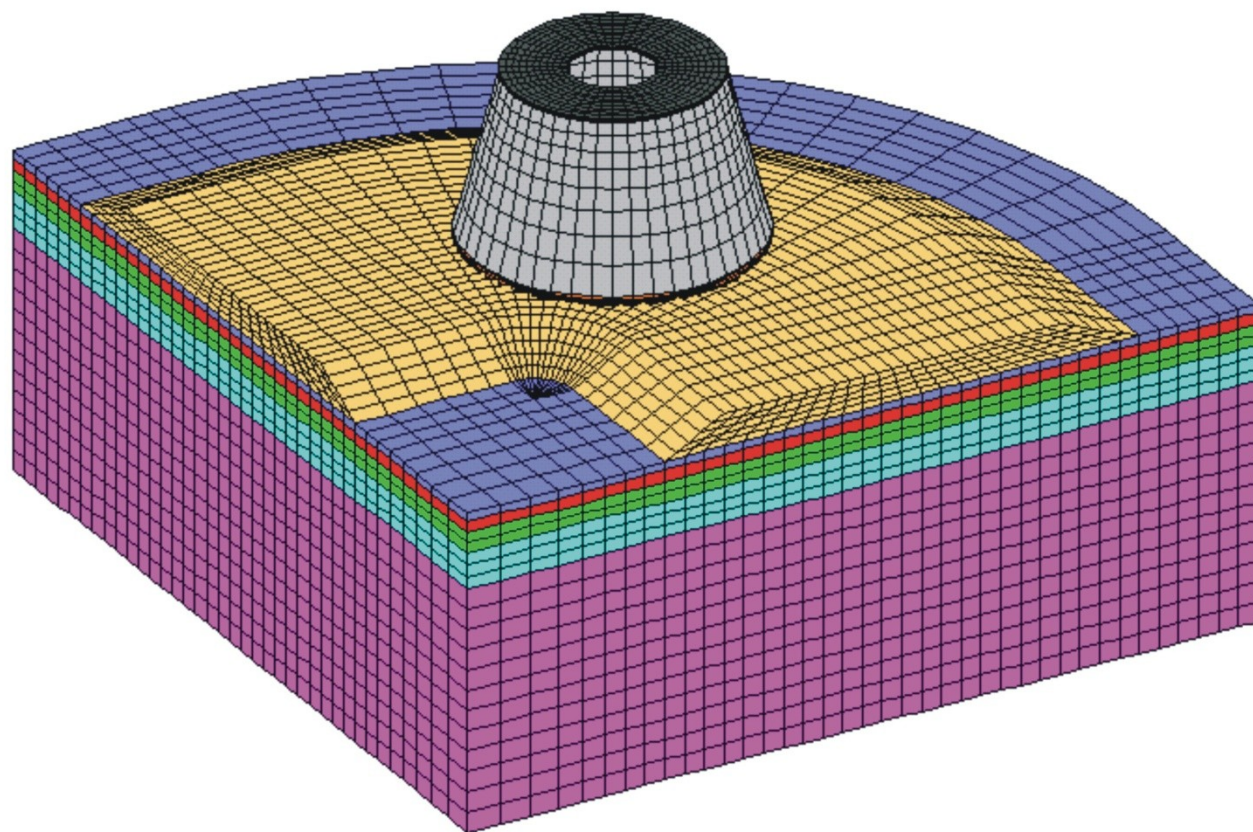
б)



в)



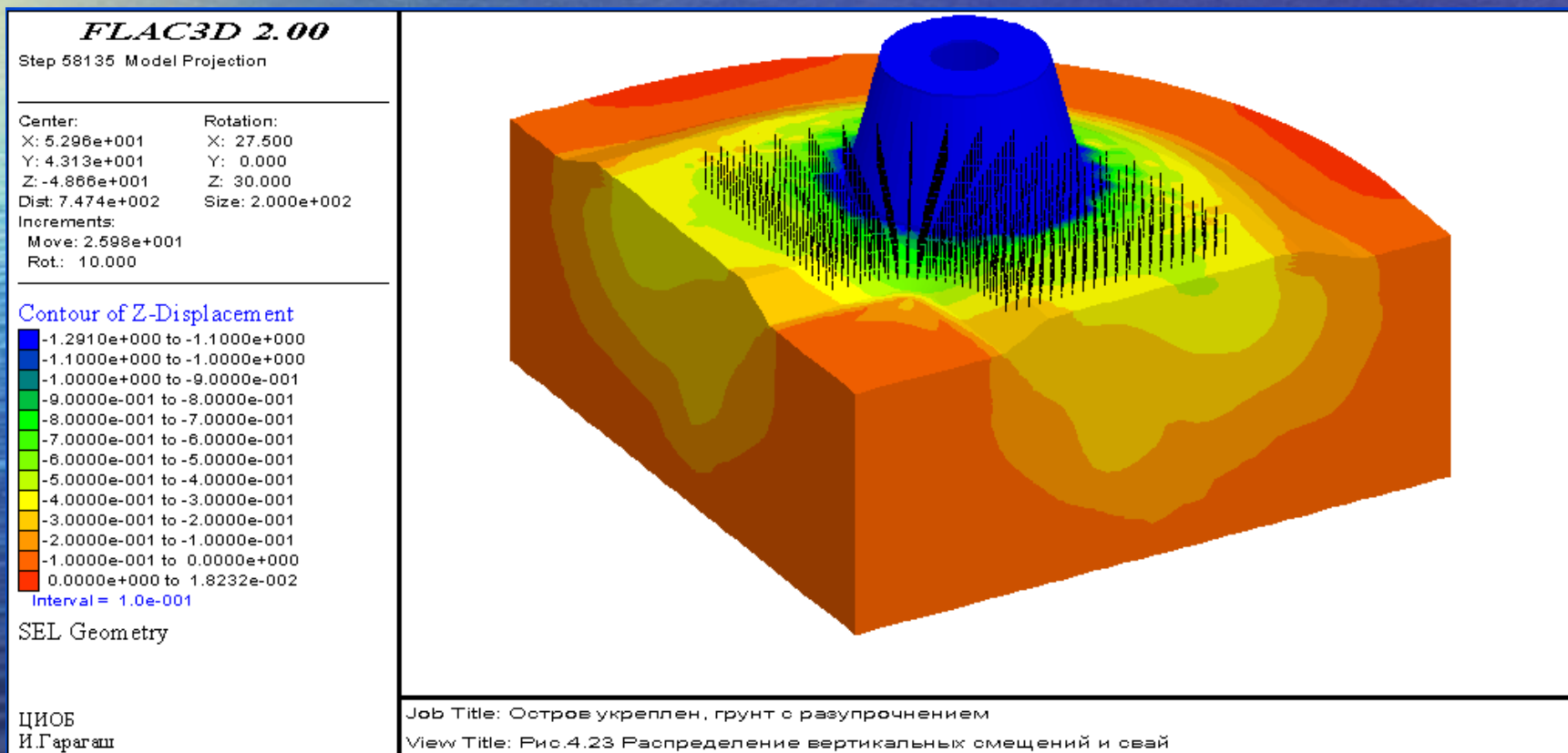




Насыпной остров и сооружение с фундаментом

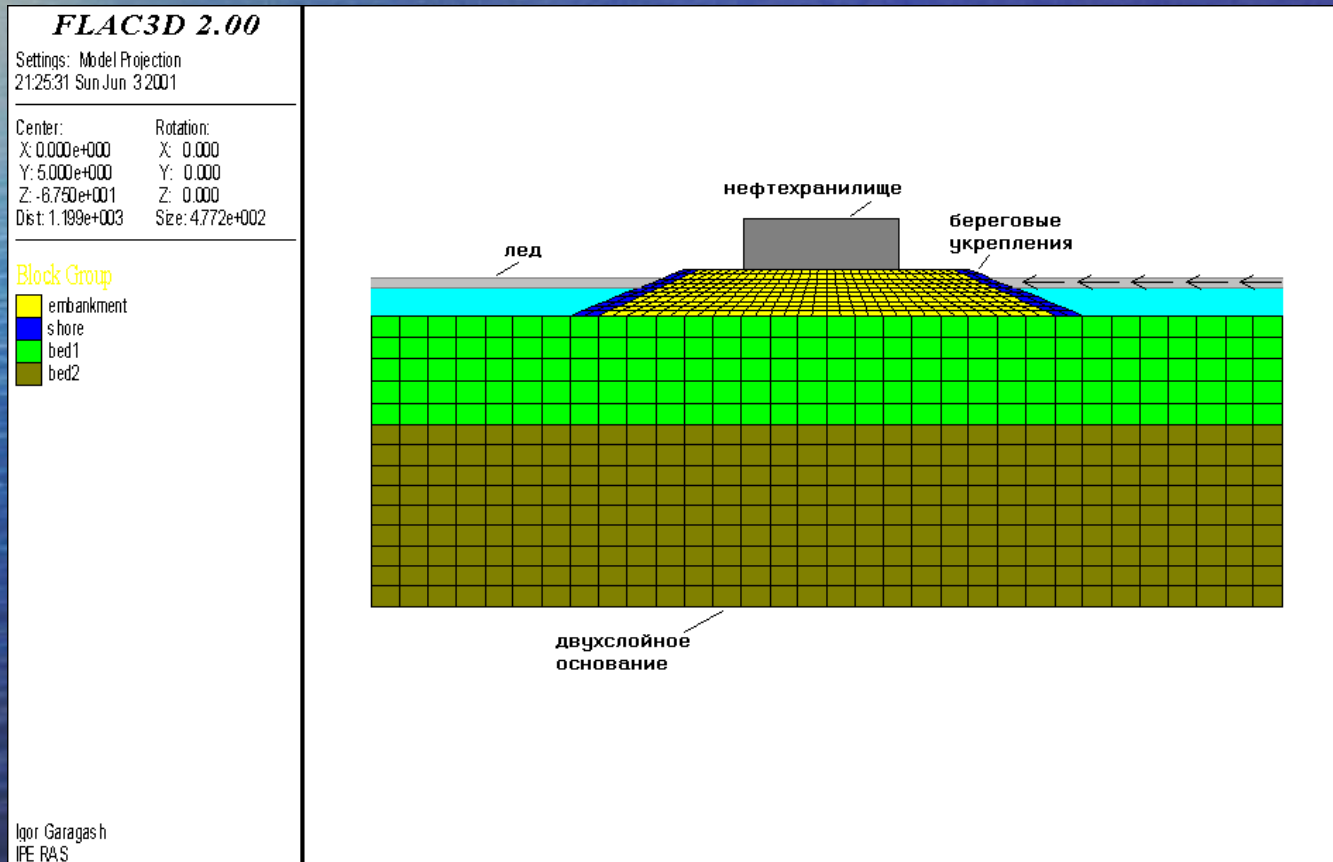


# Распределение максимальных касательных напряжений в технологическом сооружении





# Оценка смещений и деформаций насыпного острова под действием ледовой нагрузки





# FLAC3D 2.00

Step 28500 Model Projection

22:20:47 Sun Jun 3 2001

Center:

X: 0.000e+000

Y: 5.000e+000

Z: -6.750e+001

Dist: 1.199e+003

Rotation:

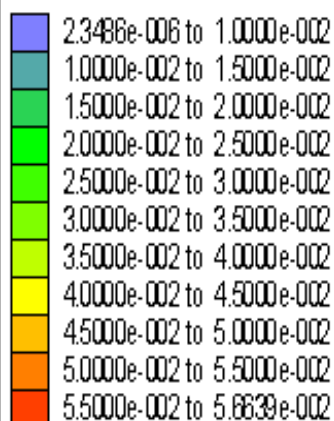
X: 0.000

Y: 0.000

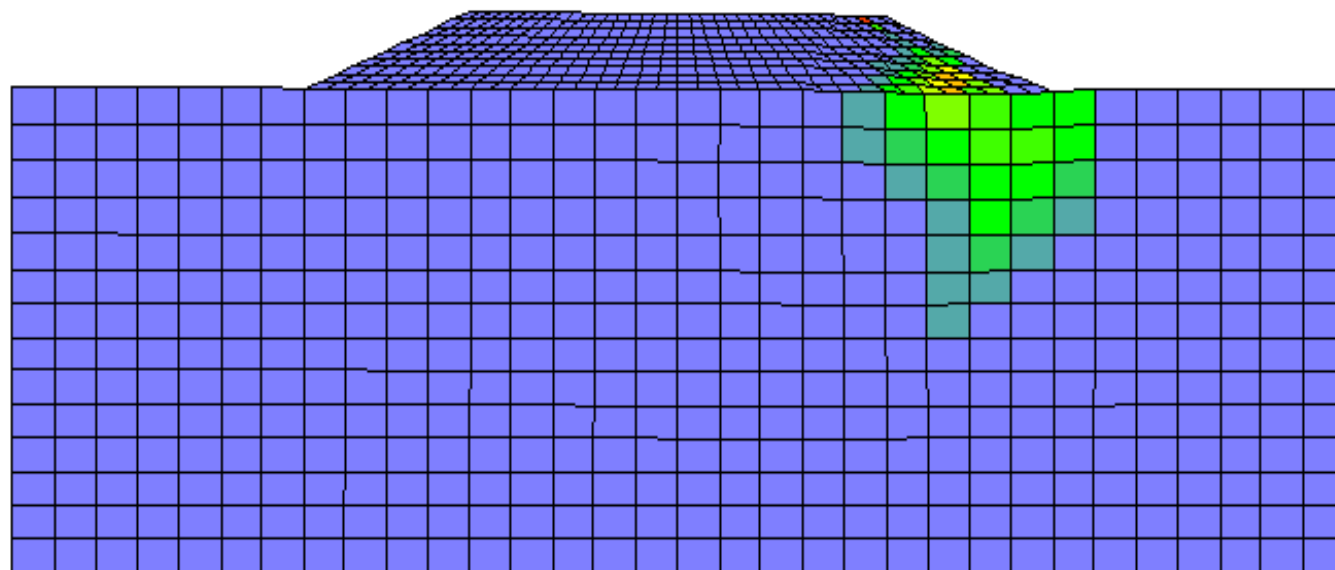
Z: 0.000

Size: 4.772e+002

## Block Contour of Shear Strain Increme



Interval = 5.0e-003



**Распределение сдвиговых деформаций в  
результате ледовой нагрузки\_**



# Распределение максимальных вертикальных смещений после заполнения нефтехранилища и учёт ледовой нагрузки

**FLAC3D 2.00**  
Step 18500 Model Projection  
22:17:18 Sun Jun 3 2001

---

Center:      Rotation:  
X: 0.000e+000    X: 0.000  
Y: 5.000e+000    Y: 0.000  
Z: -8.750e+001    Z: 0.000  
Dist: 1.199e+003    Size: 4.772e+002

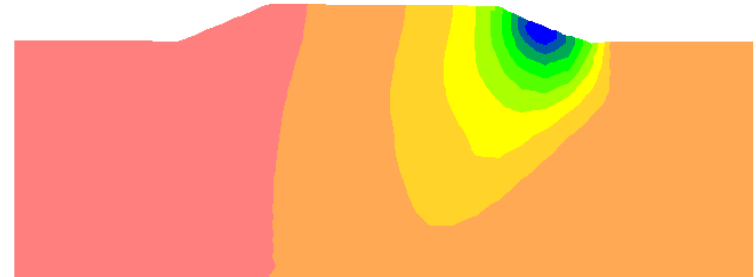
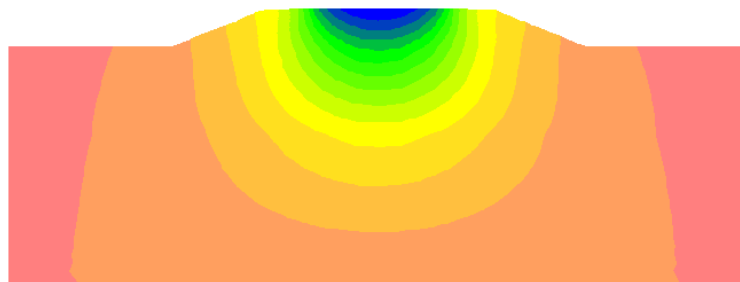
---

**Contour of Z-Displacement**

-3.2589e-002 to -3.0000e-002
-3.0000e-002 to -2.7500e-002
-2.7500e-002 to -2.5000e-002
-2.5000e-002 to -2.2500e-002
-2.2500e-002 to -2.0000e-002
-2.0000e-002 to -1.7500e-002
-1.7500e-002 to -1.5000e-002
-1.5000e-002 to -1.2500e-002
-1.2500e-002 to -1.0000e-002
-1.0000e-002 to -7.5000e-003
-7.5000e-003 to -5.0000e-003
-5.0000e-003 to -2.5000e-003
-2.5000e-003 to 0.0000e+000
0.0000e+000 to 8.8225e-004

Interval = 2.5e-003

Igor Garagash  
IFE RAS





# О специфике учебного процесса

- В соответствии с образовательными стандартами, обучение студентов на кафедре складывается из лекций, семинаров и лабораторных работ. Последние, в соответствии с характером научно-исследовательской деятельности ИО РАН (см. сайт [www.ocean.ru](http://www.ocean.ru)), включают практическую работу в экспедиционных условиях (морских, прибрежных и береговых, включая палеошельф).
- Работы организуются на базе ИО РАН и других родственных организаций.



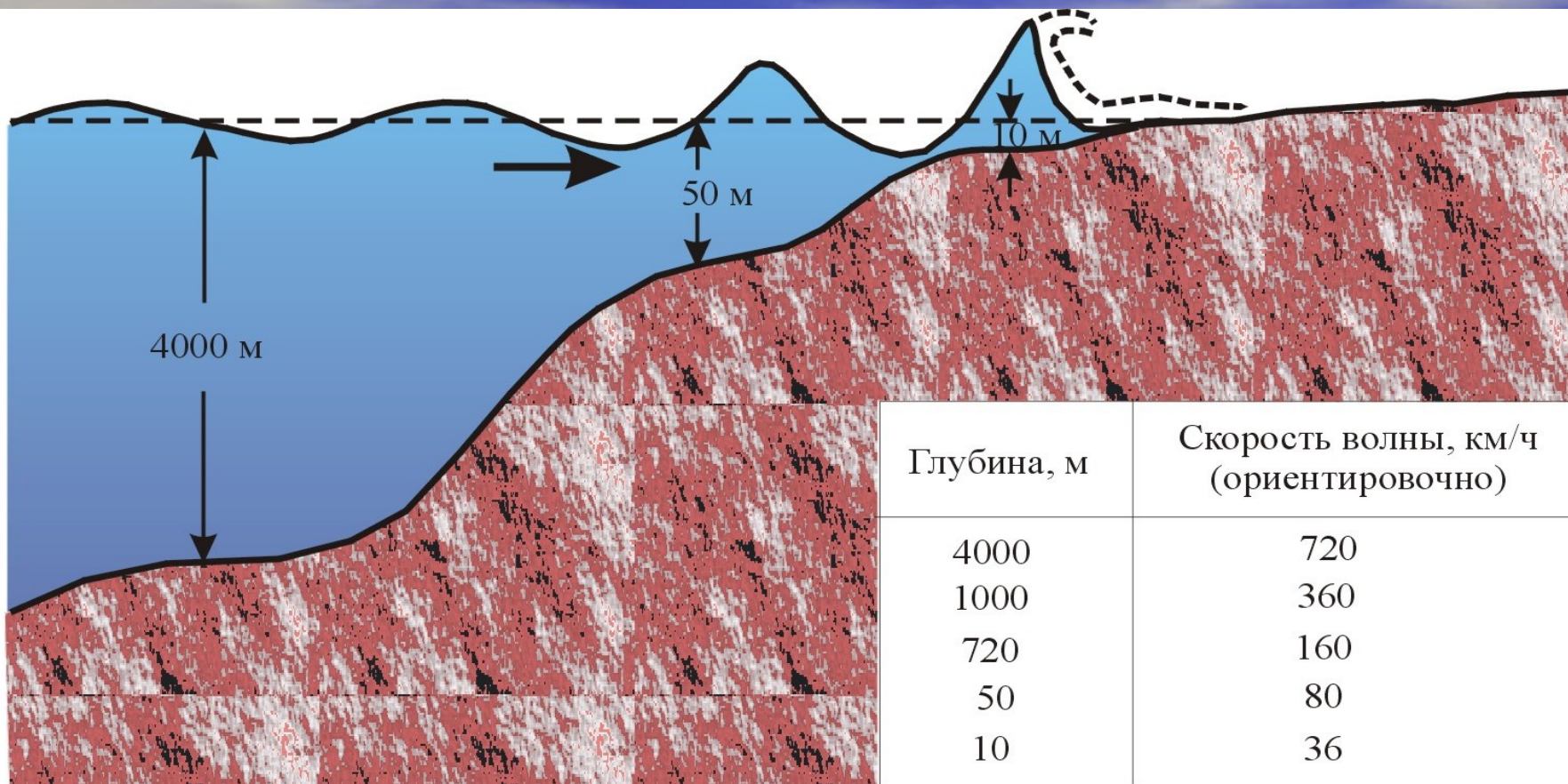
# Катастрофические цунами:

анализ, моделирование,  
прогноз, система  
предупреждения  
Л.И.Лобковски  
й





# Распространение волн цунами





# РАЗЛИЧНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ ВОЛН ЦУНАМИ

## СЕЙСМИЧЕСКИЕ

Начальное поднятие  
поверхности океана

Остаточные смещения дна

Эпицентр  
землетрясения

Разлом



## ВУЛКАНИЧЕСКИЕ

Начальное поднятие  
поверхности океана

Извержение подводного  
вулкана

## ОПОЛЗНЕВЫЕ

Возмущение поверхности океана

Осадочный слой

Подводный оползень  
или мутьевой поток

Эпицентр  
землетрясения

## МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ

Изменение атмосферного давления

Быстро движущийся грозовой фронт

Аномалия уровня моря



## Образование волны в виде бора







**Мангровый лес, уничтоженный цунами,  
о. Пулау-Панджанг (Pulau Pangang)**



# Соленая вода уничтожила посевы

©2005 USC Tsunami Research Group









**10-летняя английская девочка Тилли Смит спасла 100  
туристов во время цунами 26 декабря 2004**





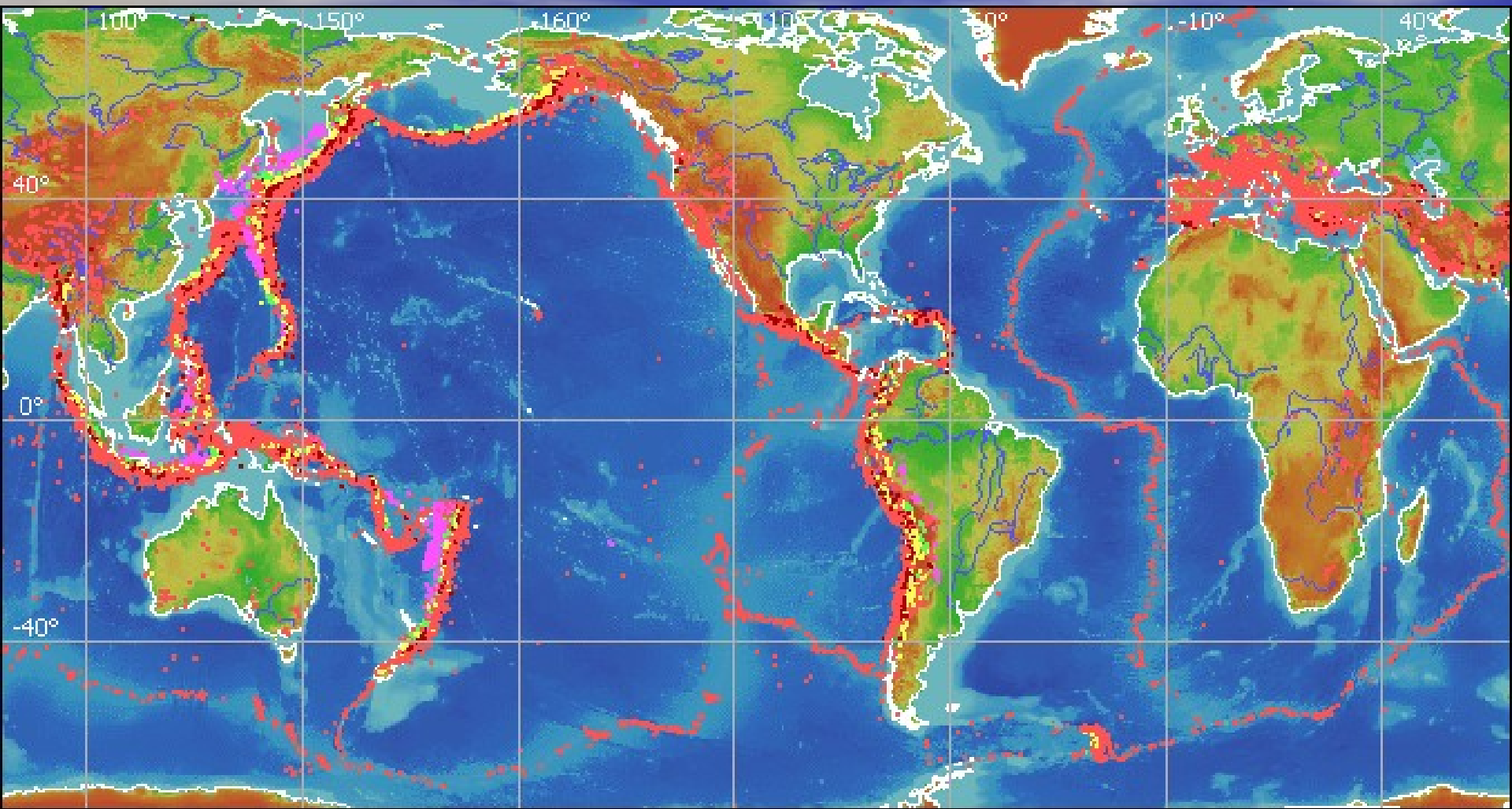
26 декабря 2004 г. О. Сimalур

Знания о цунами здесь передавались из поколения в поколение, и местные жители хорошо представляли себе опасность этого явления. На этом острове погибло 7 чел. из 78 тыс. населения.



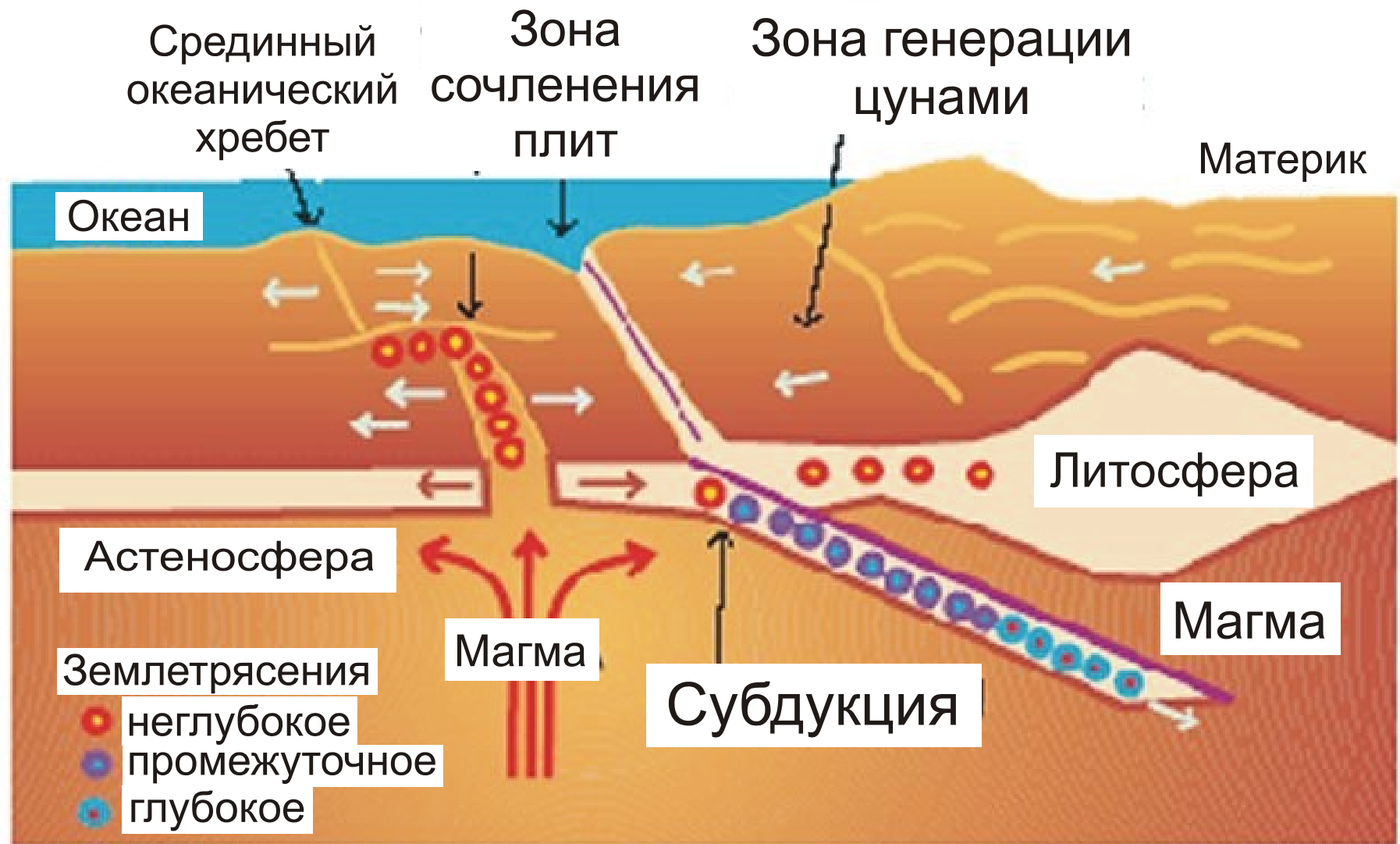


## Карта сейсмичности

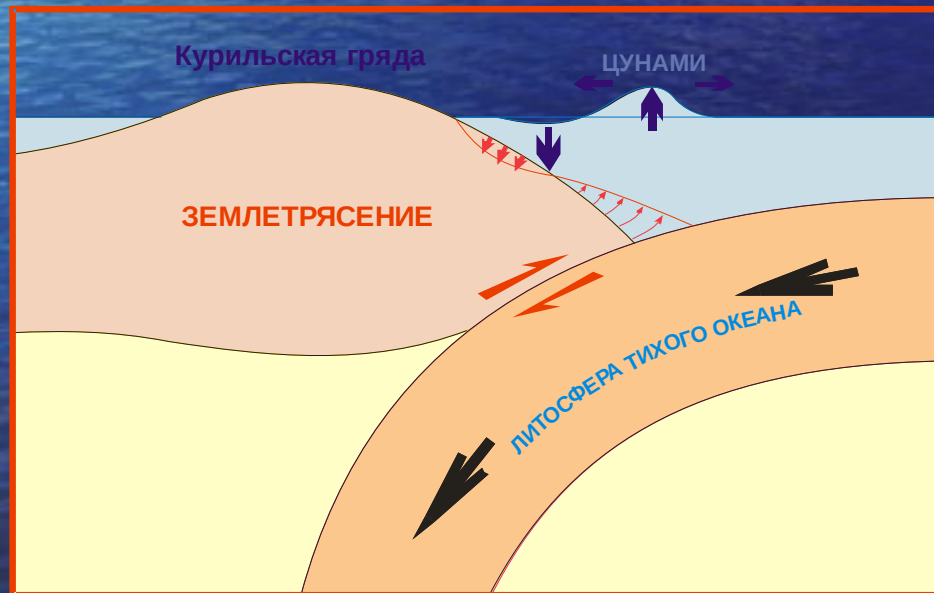




## Природа тектонических землетрясений



# Генерация цунами подводным землетрясением





## Сильнейшие землетрясения в мире (с 1900 г.)

<i>Место</i>	<i>Дата и время</i>	<i>Сила</i>
<i>Чили</i>	<i>22 мая 1960</i>	<i>9,5</i>
<i>К СЗ от о. Суматра</i>	<i>26 декабря 2004</i>	<i>9,3</i>
<i>Пролив Принца Уильяма, Аляска</i>	<i>28 марта 1964</i>	<i>9,2</i>
<i>Андреяновы о-ва, Аляска</i>	<i>9 марта 1957</i>	<i>9,1</i>
<i>Камчатка</i>	<i>4 ноября 1952</i>	<i>9,0</i>
<i>К западу от побережья Эквадора</i>	<i>31 января 1906</i>	<i>8,8</i>
<i>О-ва Рат, Аляска</i>	<i>4 февраля 1965</i>	<i>8,7</i>
<i>Ассам, Тибет</i>	<i>15 августа 1950</i>	<i>8,6</i>
<i>Камчатка</i>	<i>3 февраля 1923</i>	<i>8,5</i>
<i>Море Банда</i>	<i>1 февраля 1938</i>	<i>8,5</i>
<i>Курильские о-ва</i>	<i>13 октября 1963</i>	<i>8,5</i>

## Разрушение зданий





Разрывы линий электропередач



Образование оползней



## Образование разломов





# Интенсивность (бальность) землетрясения

1 б а л л - незаметное. Микросейсмические колебания, отмечаемые только приборами.

2 б а л л а - очень слабое. Ощущается немногими нервными людьми, находящимися в состоянии покоя.

3 б а л л а – слабое. Ощущается небольшой частью населения в форме сотрясения, как от проехавшего мимо автомобиля.

4 б а л л а - умеренное. Под открытым небом ощущается немногими людьми, а в помещениях многими; слабый звон посуды и оконных стекол, скрип дверей и полов.

5 б а л л о в - довольно сильное. Отмечается большинством людей. Сотрясение зданий, как от падения и доме тяжелого предмета. Качание висячих предметов, колебание стульев, кроватей.

# Интенсивность (бальность) землетрясения

6 баллов - сильное. Ощущается всеми, очень многие выбегают на улицу. Падение картин, книг, посуды. Легкое повреждение некоторых зданий.

7 баллов - очень сильное. В домах падает мебель. Падение кусков штукатурки. Значительные повреждения некоторых зданий, дымовых труб.

8 баллов - разрушительное. Сильное повреждение домов, большие трещины в стенах, некоторые стены и все трубы обваливаются. Падение башен и фабричных труб.

9 баллов - опустошительное. Обвалы в некоторых зданиях. Обрушение стен, перегородок, кровли. В грунтах образуются трещины шириной до 10 см. Обвалы, осыпи и оползни в горах.



# Интенсивность (бальность) землетрясения

10 баллов -уничтожающее. Обвалы во многих зданиях, в других - серьезные повреждения. Трещины в грунте до 1 метра шириной, обвалы, оползни. За счет завалов речных долин образуются озера.

11 баллов -катастрофа. Широкие трещины в земной коре, многочисленные оползни и обвалы. Вертикальные перемещения по возникшим трещинам. Общее разрушение зданий и мостов.

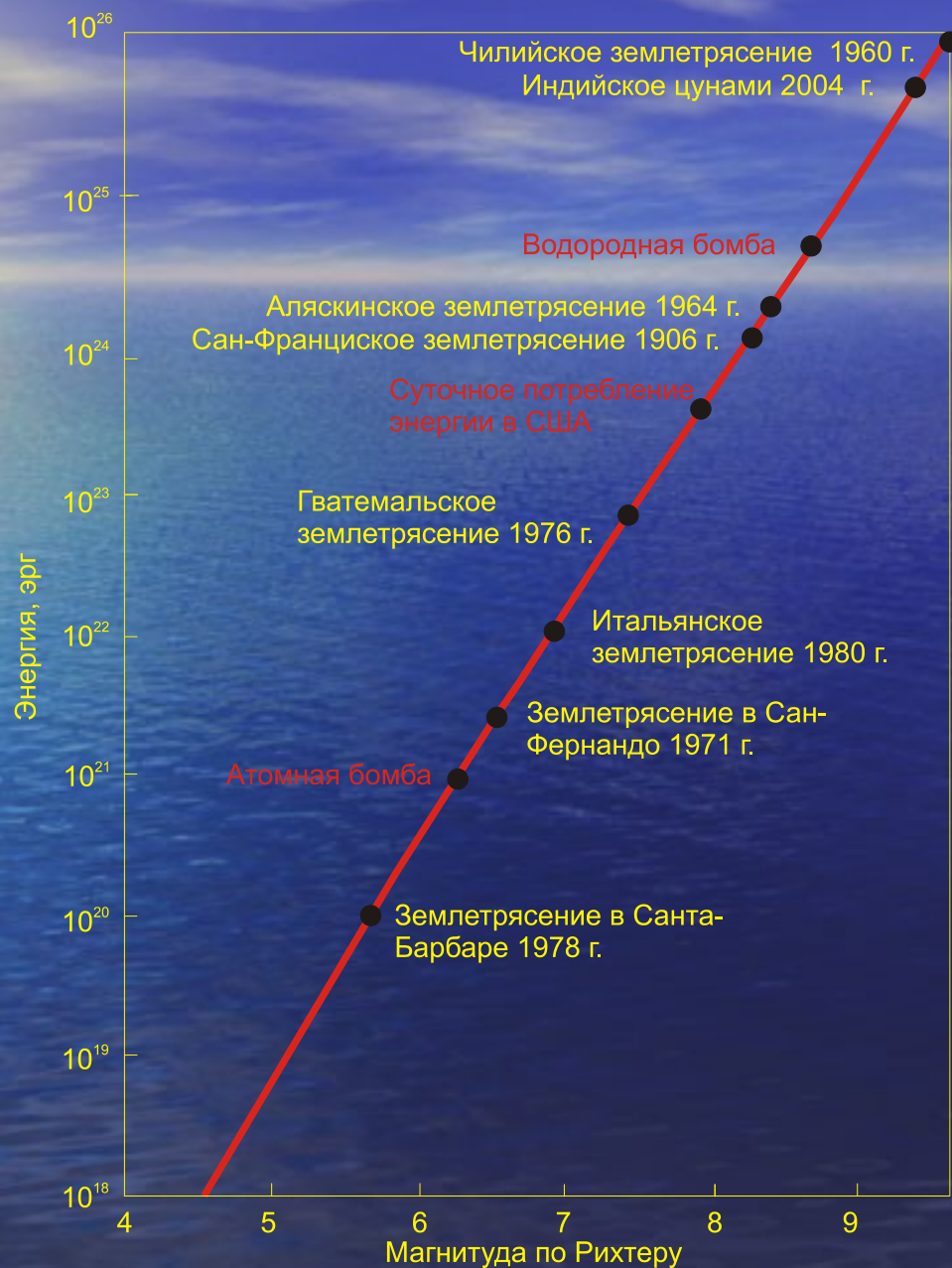
12 баллов -сильная катастрофа. Изменения в земной коре достигают громадных размеров. Изменение рельефа местности. Многочисленные трещины в грунте, горизонтальные и вертикальные перемещения по ним. Огромные обвалы и оползни. Изменение русел рек, образование водопадов и озер. Общее разрушение всех зданий и сооружений.

**Магнитуда землетрясения —**  
величина, характеризующая энергию,  
выделившуюся при землетрясении в виде  
сейсмических волн. Первоначальная шкала  
магнитуды была предложена Рихтером в 1935,  
поэтому в обиходе значение магнитуды ошибочно  
называют шкалой Рихтера.

Количество освобождаемой энергии при землетрясениях  
колоссально. По разным подсчетам крупные землетрясения  
освобождают энергию достигающую  $\sim 10^{26}$  эргов, что во много  
раз превышает энергию атомных бомб. Энергия бомбы в  
Хиросиме составляла  $\sim 10^{21}$  эргов.



# Энергия землетрясений



Магнитуда	<u>Энергия землетрясений</u>			Эквивалент в атомных бомбах	
	Эрг	Тонн ТНТ	Мегатонн ТНТ	Хиросима	Нагасаки
4.0	$6.3 \cdot 10^{17}$	$1.51 \cdot 10^{01}$	--	0.00	0.00
4.5	$3.5 \cdot 10^{18}$	$8.48 \cdot 10^{01}$	--	0.01	0.00
5.0	$2.0 \cdot 10^{19}$	$4.77 \cdot 10^{02}$	--	0.03	0.02
5.5	$1.1 \cdot 10^{20}$	$2.68 \cdot 10^{03}$	--	0.18	0.13
6.0	$6.3 \cdot 10^{20}$	$1.51 \cdot 10^{04}$	0.02	1.00	0.75
6.5	$3.5 \cdot 10^{21}$	$8.48 \cdot 10^{04}$	0.08	5.6	4.2
7.0	$2.0 \cdot 10^{22}$	$4.77 \cdot 10^{05}$	0.48	31.7	23.8
7.5	$1.1 \cdot 10^{23}$	$2.68 \cdot 10^{06}$	3	178.1	133.6
8.0	$6.3 \cdot 10^{23}$	$1.51 \cdot 10^{07}$	15	1,002	751
8.5	$3.5 \cdot 10^{24}$	$8.48 \cdot 10^{07}$	85	5632	4224
9.0	$2.0 \cdot 10^{25}$	$4.77 \cdot 10^{08}$	477	31671	23753
9.5	$1.1 \cdot 10^{26}$	$2.68 \cdot 10^{09}$	2682	178098	133574

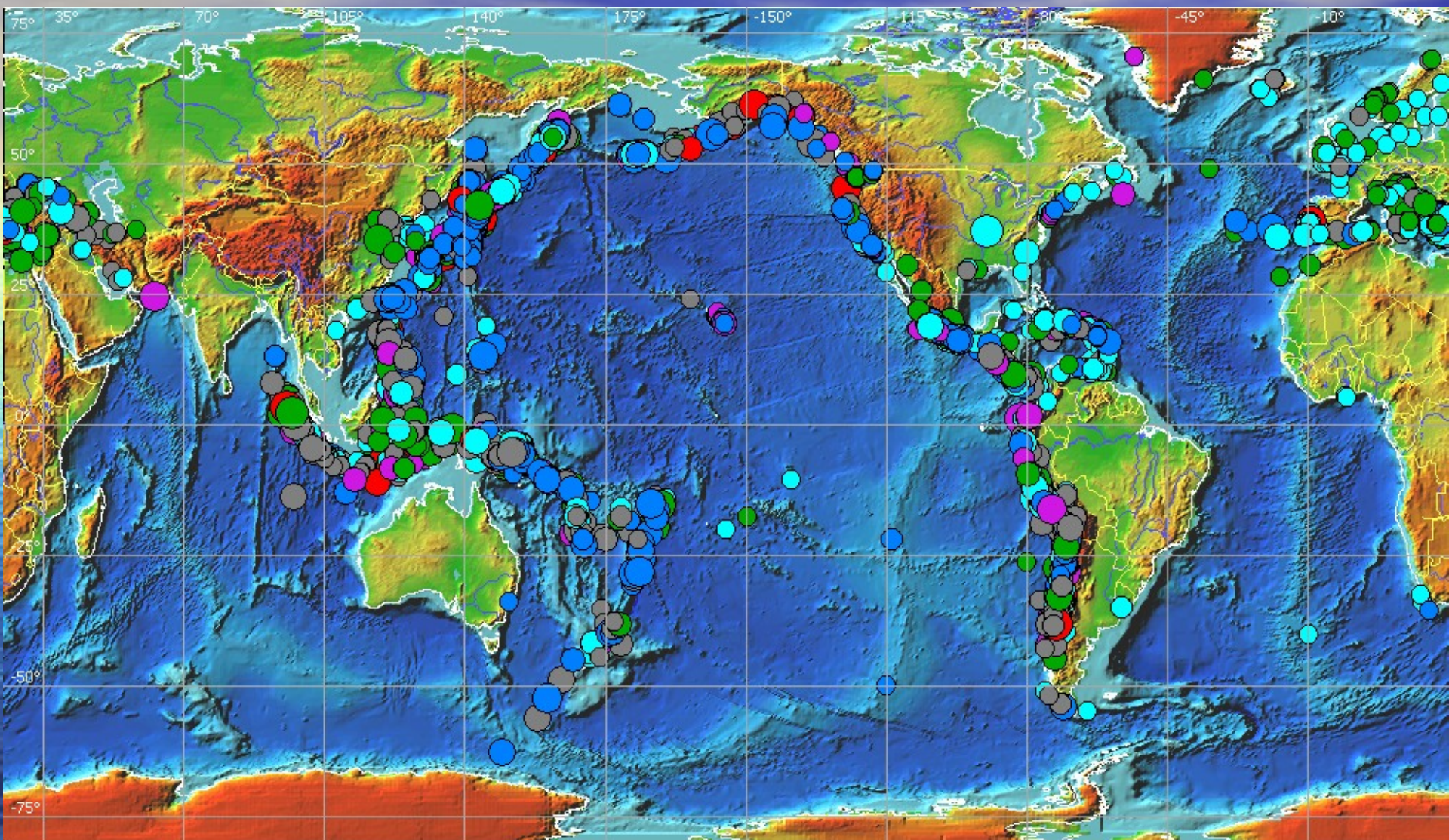


## Наиболее разрушительные цунами

<i>Число жертв</i>	<i>Места возникновения</i>	<i>Год</i>
200 000	Индийский океан (Индонезия, Индия, Шри-Ланка, Таиланд, Сомали, Мьянма, и др.)	2004
100 000	Лиссабонское землетрясение: Португалия и Марокко	1755
100 000	Ава, Япония	1703
70 000	Мессинский пролив, Италия	1908
40 000	Южно-Китайское море, Тайвань	1782
36 000	Вулкан Кракатау	1883
30 000	Токайдо-Нанкайдо, Япония	1707
27 000	Япония	1826
25 674	Чили	1868
22 070	Санрику, Япония	1896
15 030	ЮЗ Кюсю, Япония	1792
13 486	разлом Рюкю, Япония	1771
5233	Токайдо-Кашима, Япония	1703
5000	Нанкайдо, Япония	1605



## География цунами в Мировом океане





## Самые высокие волны цунами

"Литуя". 9 июля 1958 г. огромный оползень вызвал волну рекордной высоты (524 м), которая со скоростью 160 км/ч прокатилась по узкому, похожему на фьорд заливу Литуя на Аляске, США.

"о. Ланаи". Самая высокая цунами, вызванная сдвигом участка морского дна, обрушилась на о. Ланаи на Гавайях примерно 105 000 лет назад. От нее остались осадочные породы на высоте около 375 м.

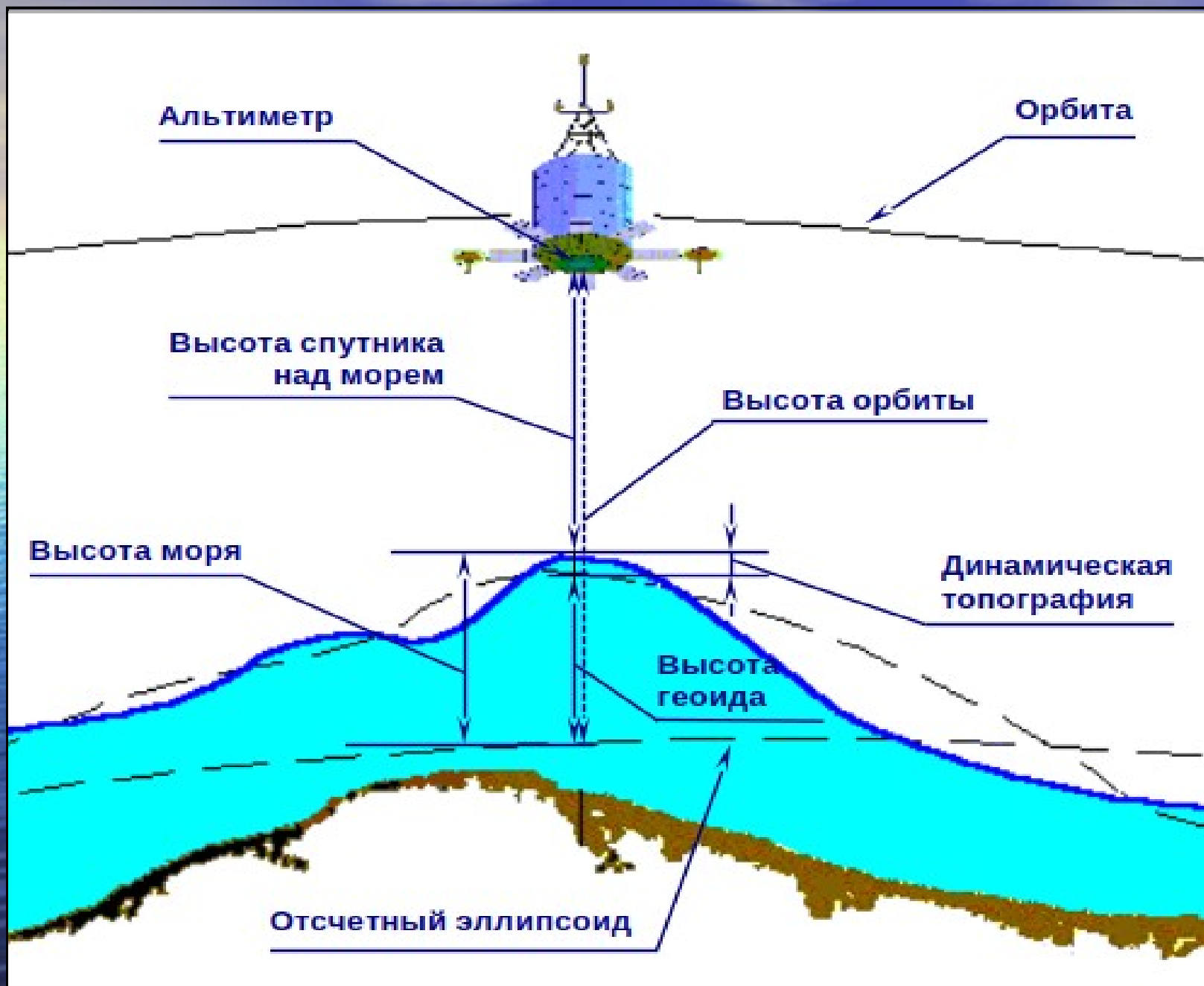
"Рюкю". Самая высокая цунами, вызванная землетрясением, появилась 24 апреля 1771 г. у о. Исигаки, который входит в архипелаг Рюкю, Япония, имеющий вулканическое происхождение. Эта волна, высота которой могла достигать 85 м, выворотила огромный обломок кораллового рифа весом 750 т и швырнула его более чем на 2,5 км.

# Энергия цунами

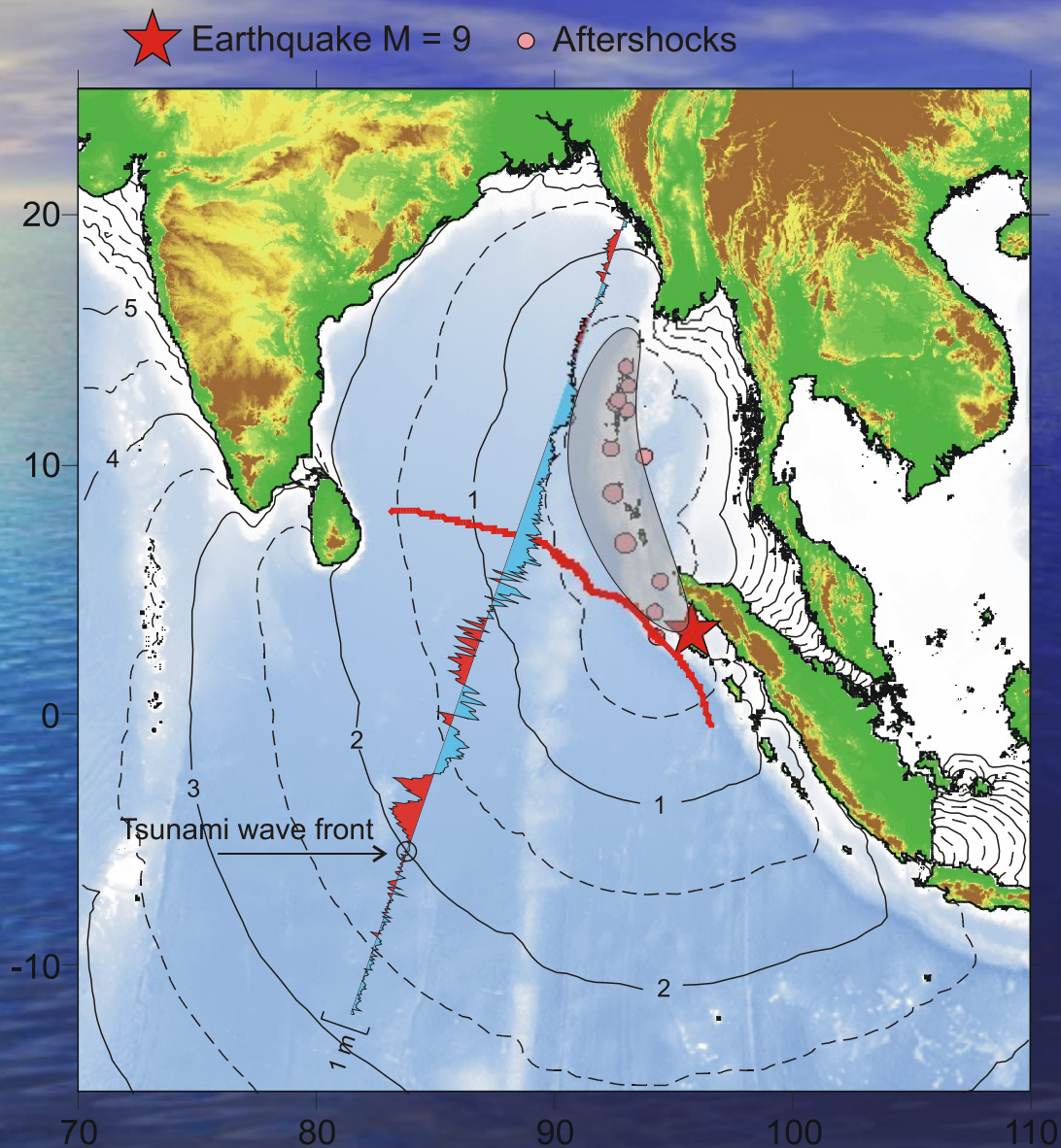
Для источника со средней высотой смещения поверхности 0.5 м размером 100\*1000 км\*км расчет энергии дает величину примерно  $10^{21}$  эрг, что равняется энергии бомбы, взорванной в Хиросиме. Согласно расчетам канадского ученого Т.Мурти, энергия цунами 26 декабря 2004 г. оказалась в 390 раз больше! При этом «эффективность» (КПД) возбуждения цунами землетрясением не превышает 0.5%.




# Регистрация цунами из Космоса



# Обнаружение сигнала цунами 26 декабря 2004 г. Jason 1 (Cycle 109, track 129)



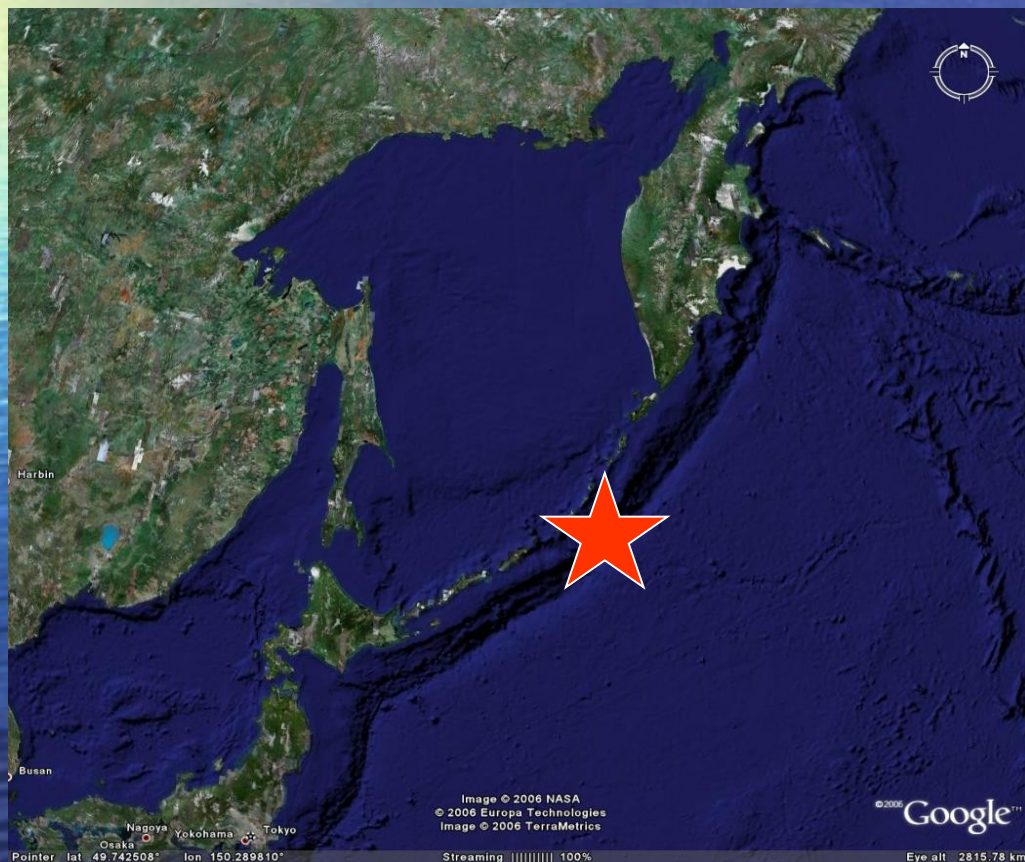


The background of the slide is a traditional Japanese woodblock print. It depicts a massive, towering tsunami wave with a dark blue, swirling crest, crashing over a small boat. The boat is filled with people, some of whom are visible as small figures. The water is rendered with intricate white and blue patterns, suggesting the power and chaos of the wave. The overall style is characteristic of Edo-period Japanese art.

**Помни о землетрясении;  
почувствовав  
землетрясение, помни о  
цунами;  
увидев цунами, убегай  
в сопки.**

В японском городе Вакаяма установлен памятник мэру, который в XVIII веке, получив сообщение о приближающемся цунами, спас сограждан неожиданным способом. Мэр не успевал бежать все дома, но поднялся в горы и собственноручно поджег рисовые поля. Граждане бросились тушить пожар и спаслись таким образом от цунами.

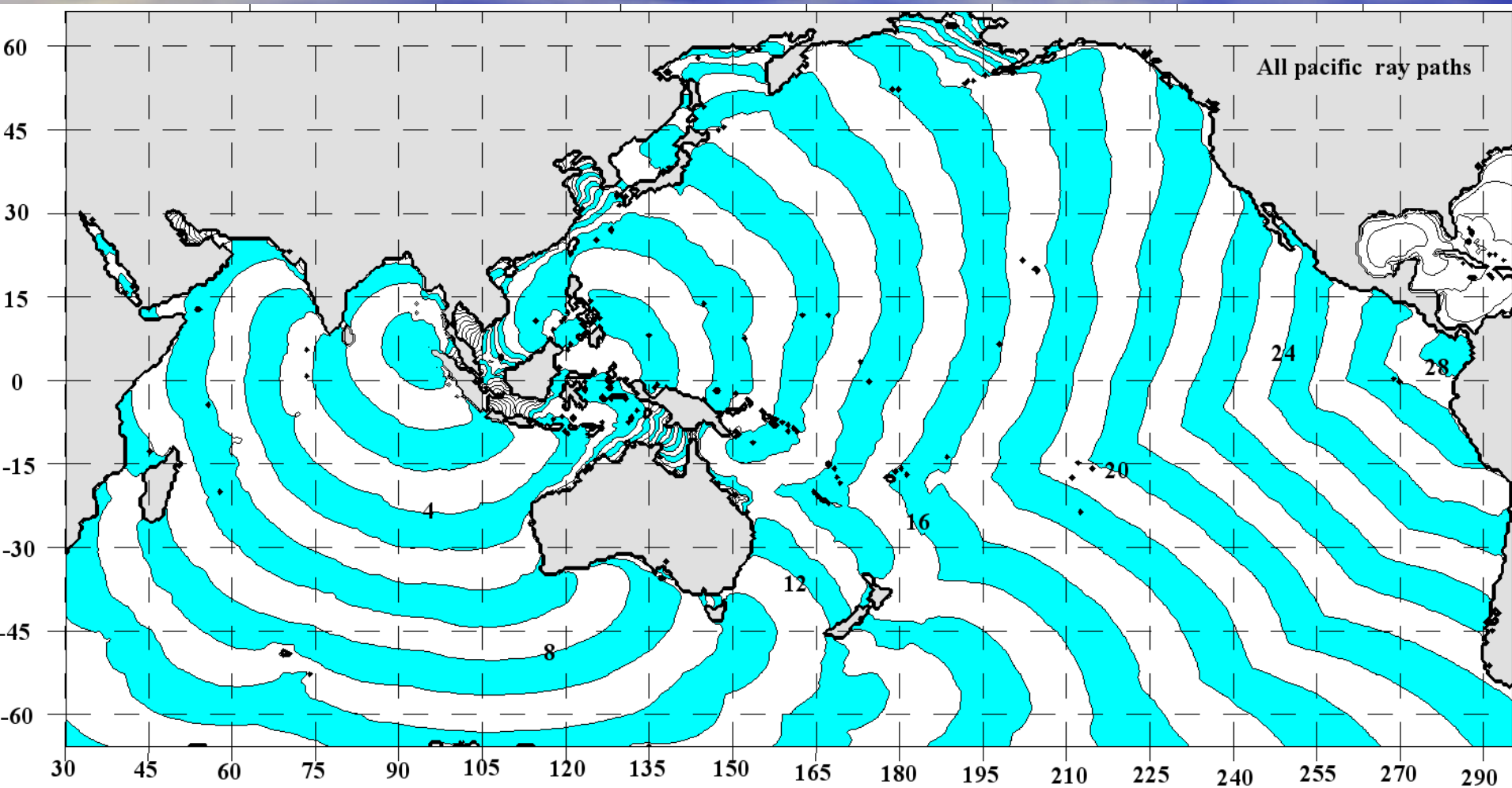
# Сильнейшее землетрясение и цунами 15.11.2006 г. на Курильских островах: Оправдавшийся прогноз



Л.И. Лобковский

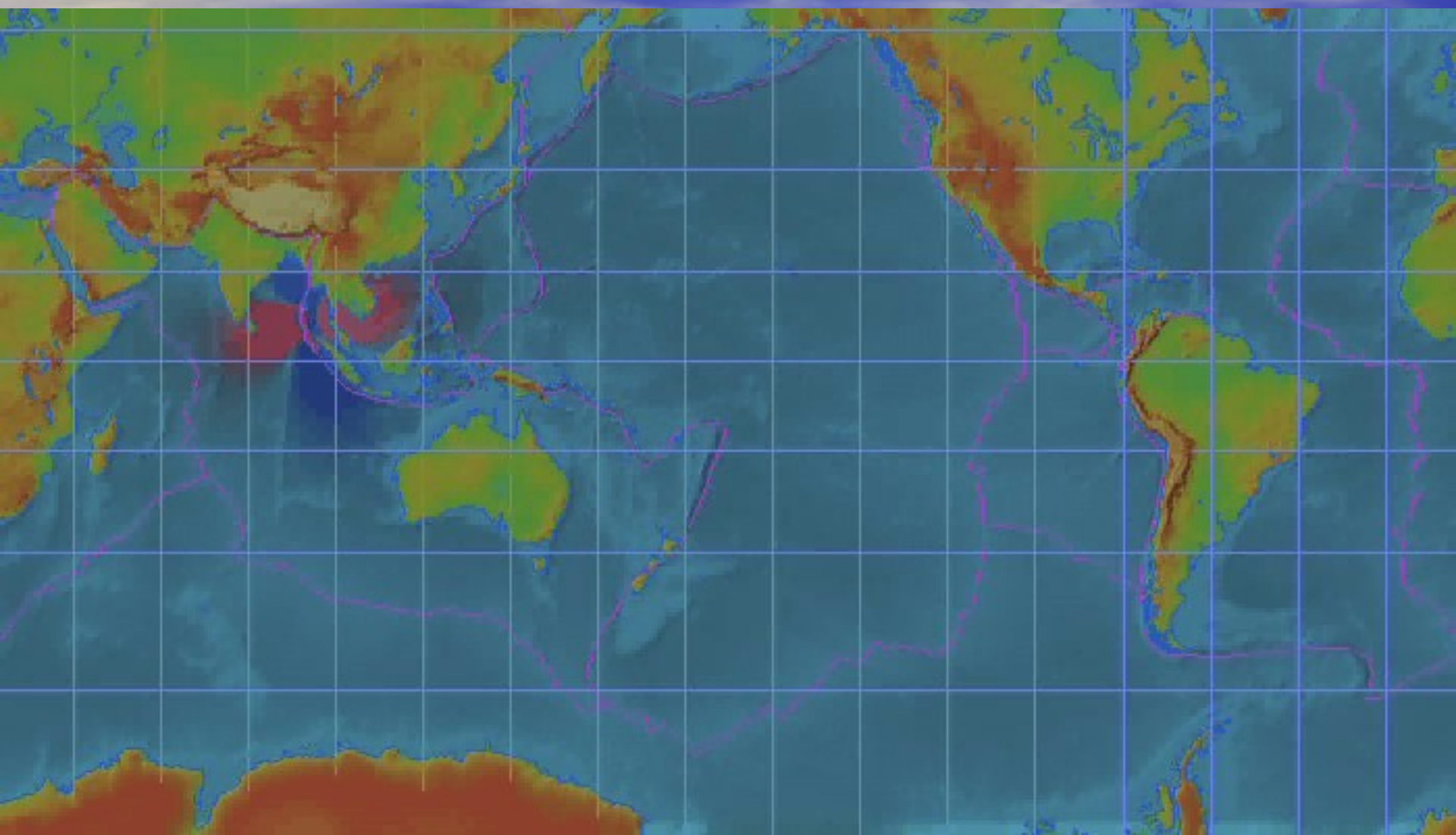
Институт  
океанологии РАН  
им. П.П. Ширшова





Результаты численного моделирования  
распространения цунами в Мировом океане

# Численная модель цунами 26 декабря 2004

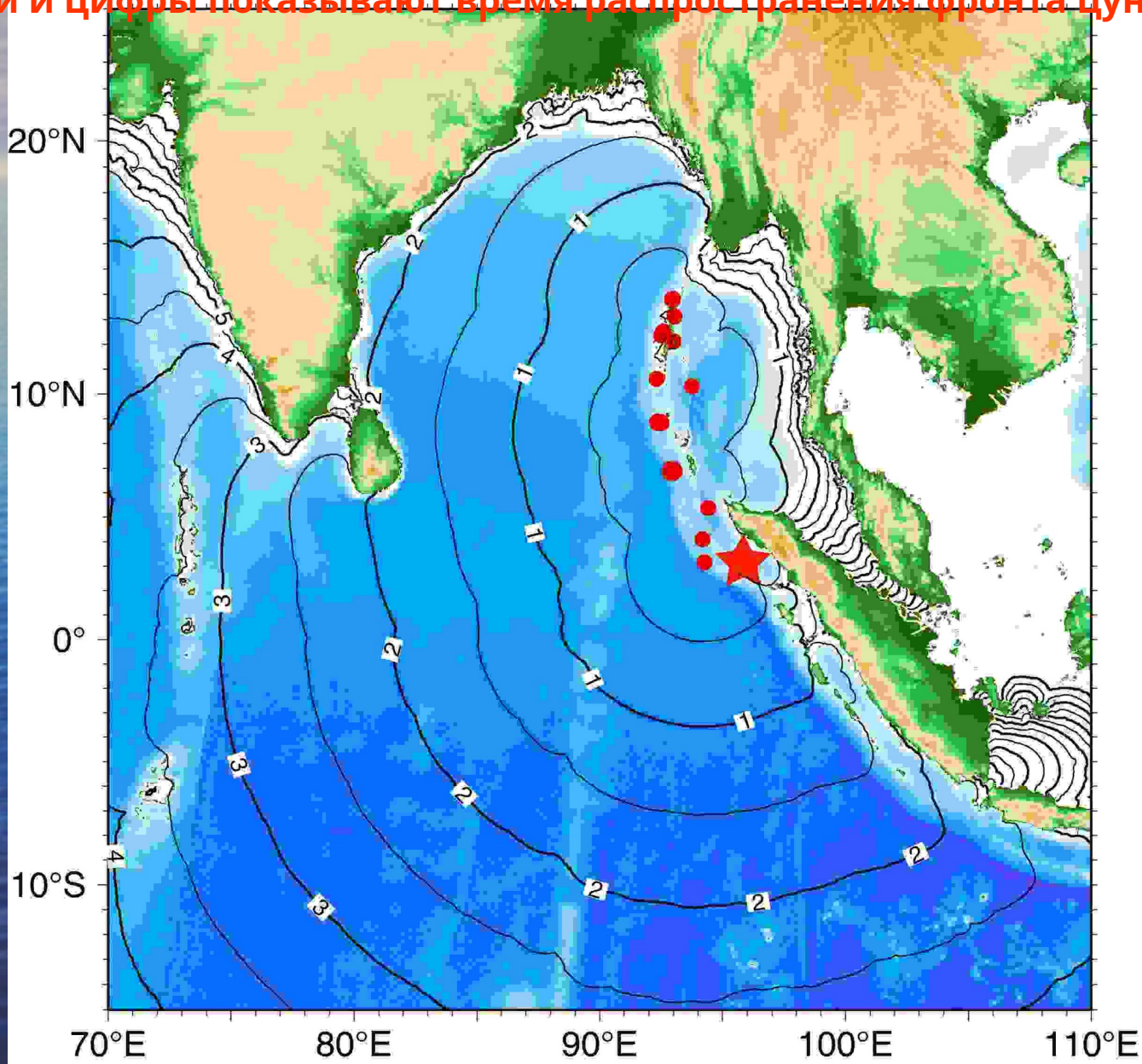


*Numerical model by V.V. Titov (PMEL/NOAA)*



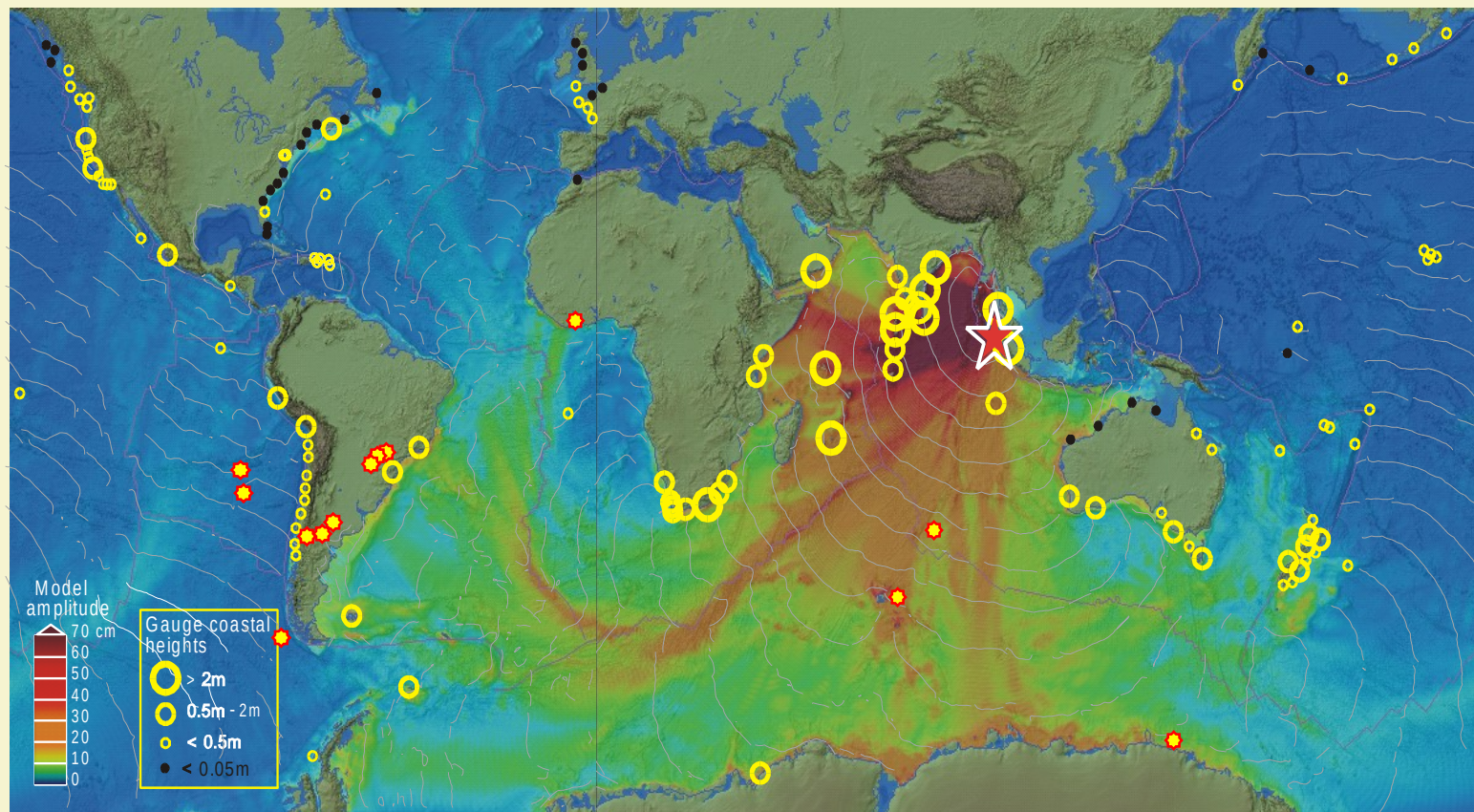
# Гипоцентр и афтершоки сильнейшего землетрясения 26.12.2004.

Изолинии и цифры показывают время распространения фронта цунами (часы)



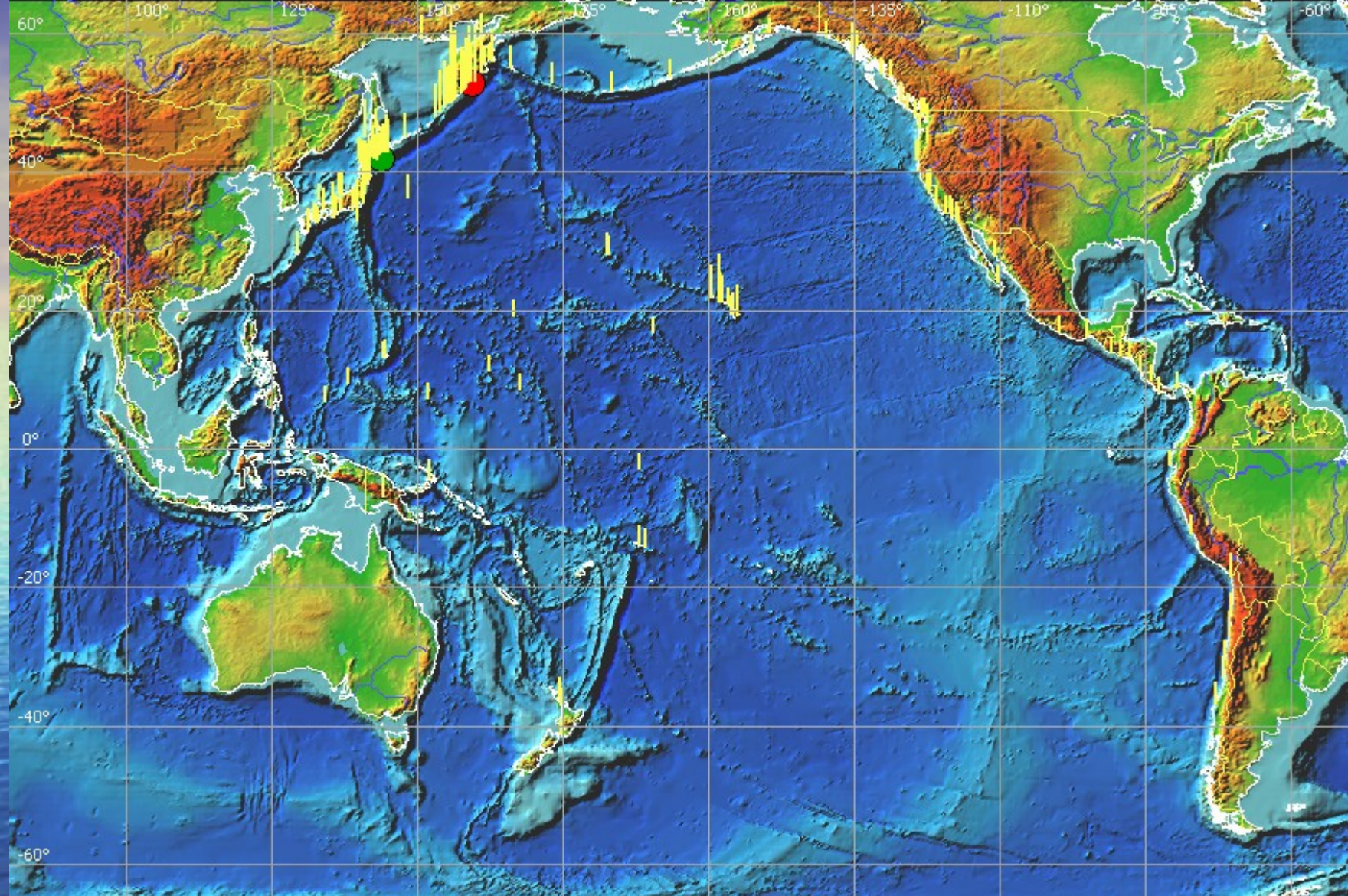


# Цунами 26 декабря 2004 года: Расчет и наблюдения



Расчет максимальных амплитуд цунами и мареографные наблюдения  
[Titov V.V., Rabinovich A.B. et al., *Science*, 2005]

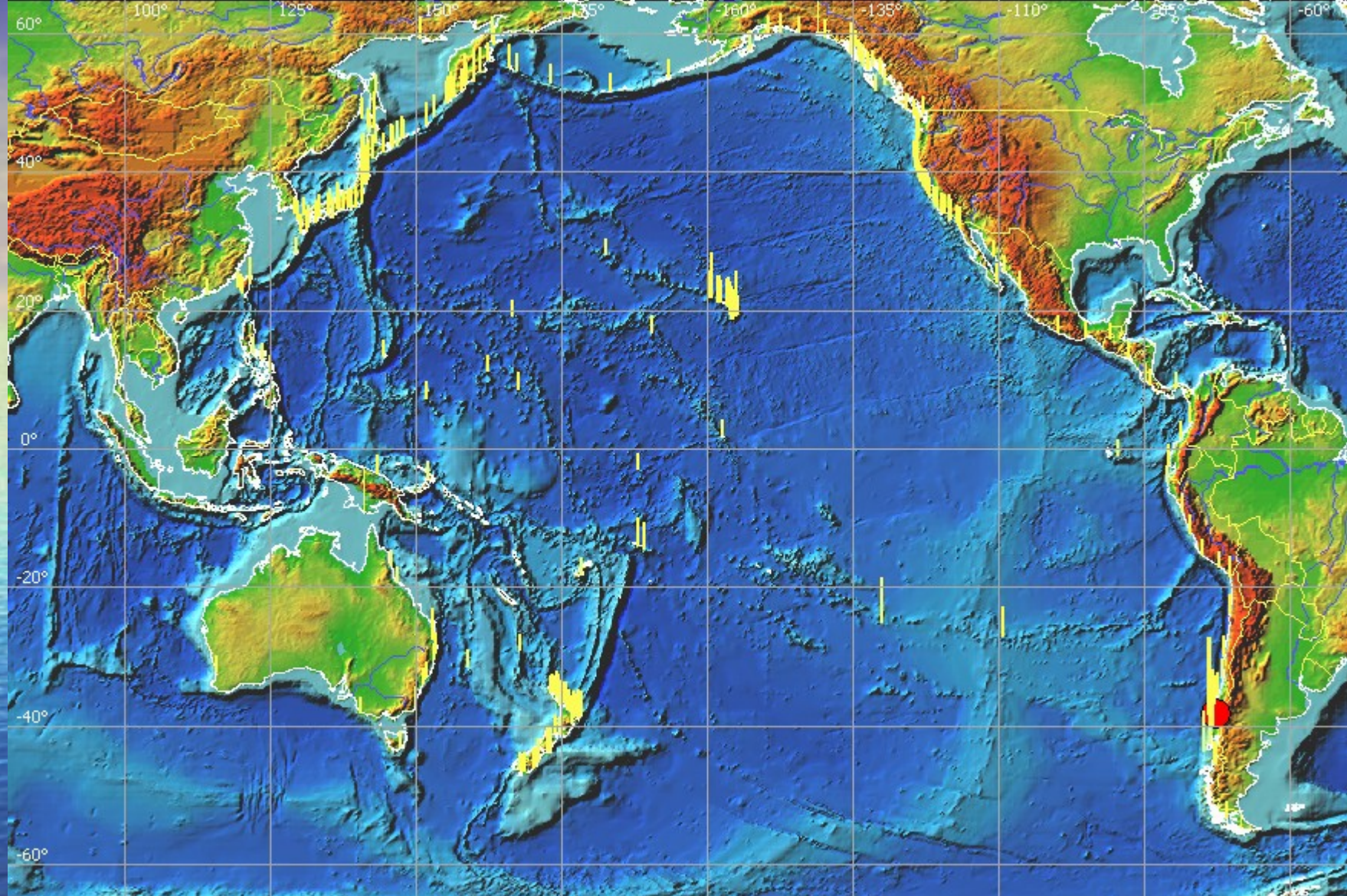




**Сильнейшее Камчатское  
землетрясение и катастрофическое  
цунами 1952 года**

Высота волны  
цунами – 30 м

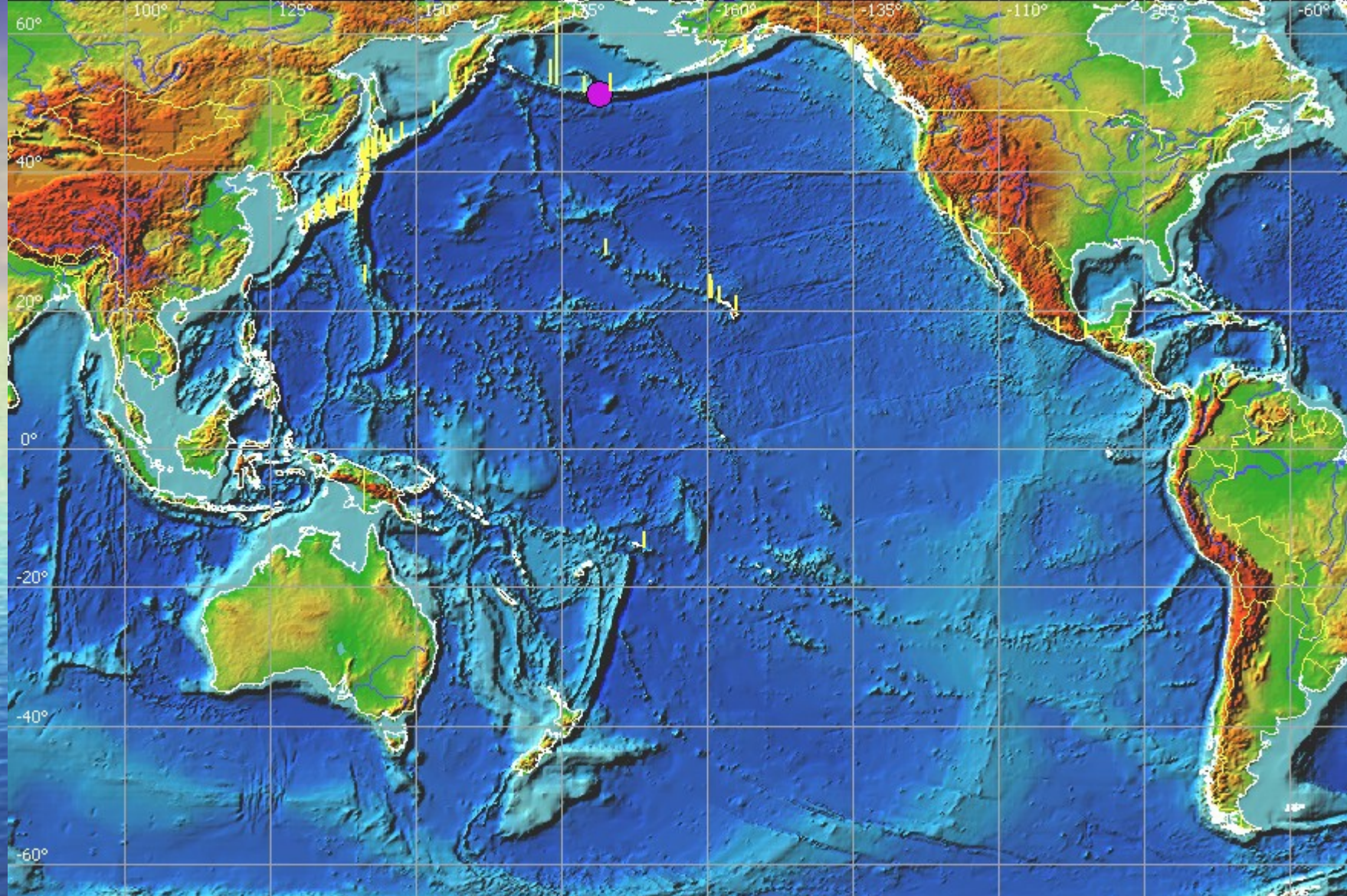




**Сильнейшее Чилийское землетрясение и катастрофическое цунами 1960 года**

Высота волны  
цунами – 30 м

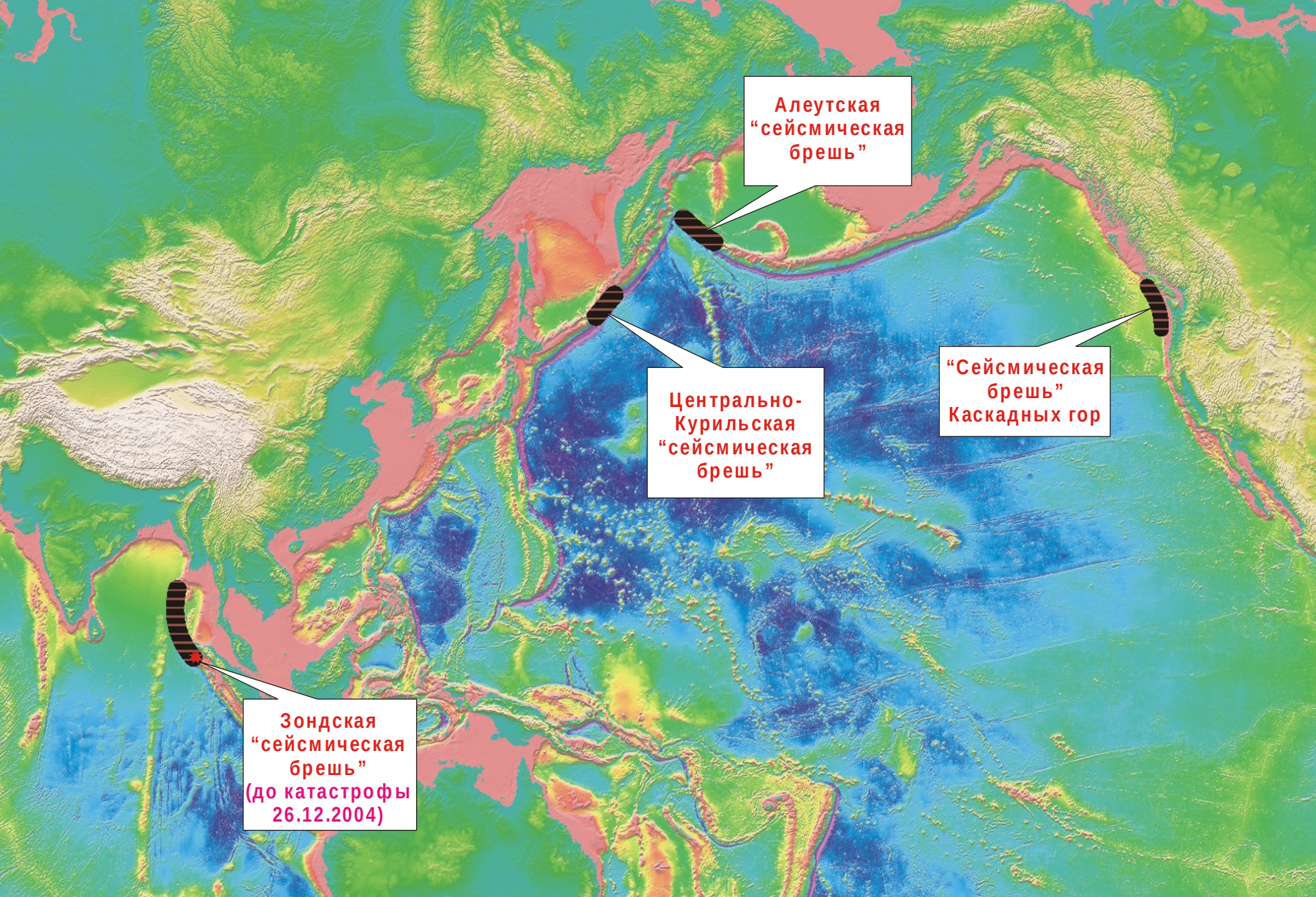




**Сильнейшее Алеутское землетрясение и  
катастрофическое цунами 1965 года**

Высота волны  
цунами – 30 м





Алеутская  
"сейсмическая  
брешь"

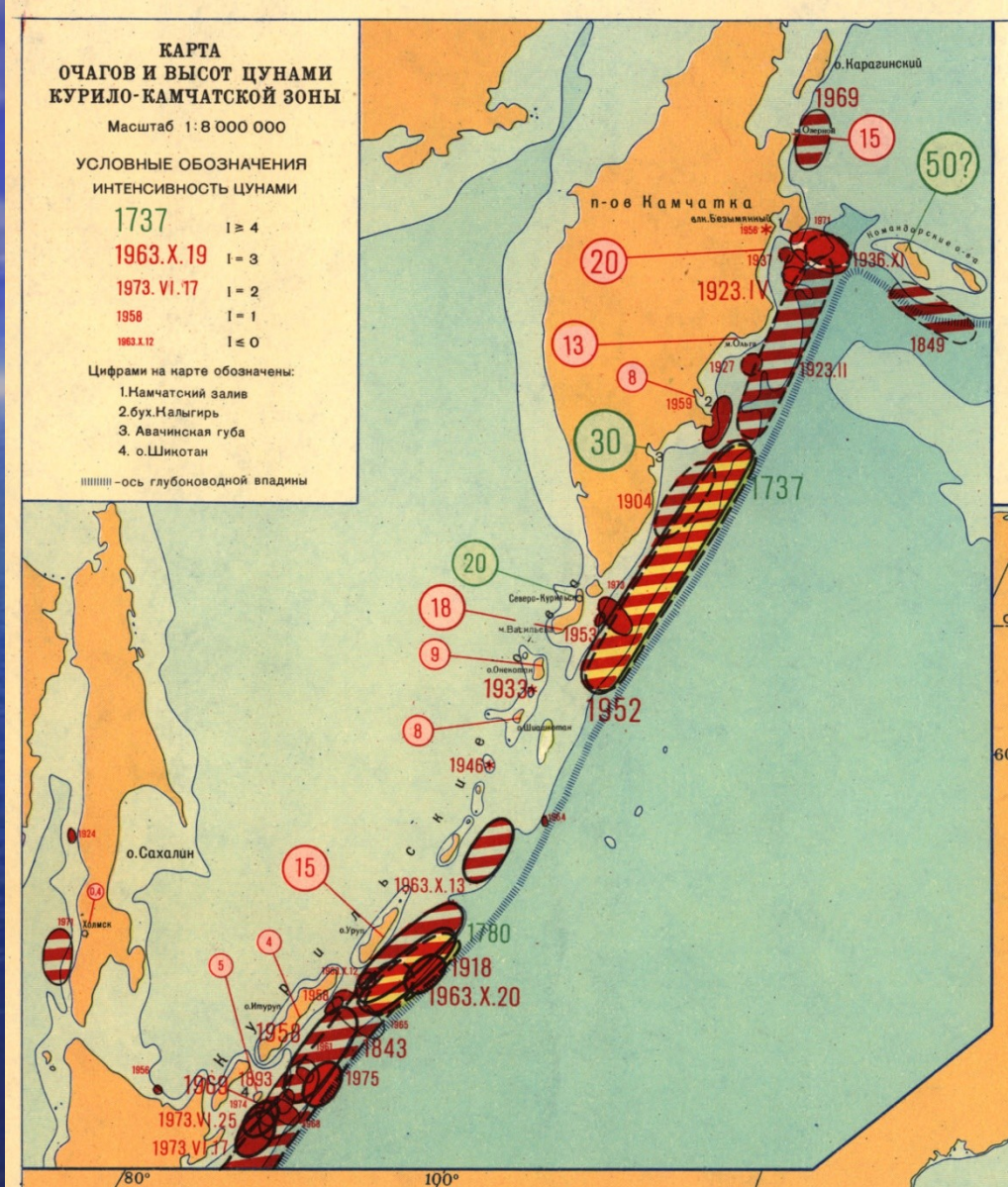
Центрально-  
Курильская  
"сейсмическая  
брешь"

"Сейсмическая  
брешь"  
Каскадных гор

Зондская  
"сейсмическая  
брешь"  
(до катастрофы  
26.12.2004)

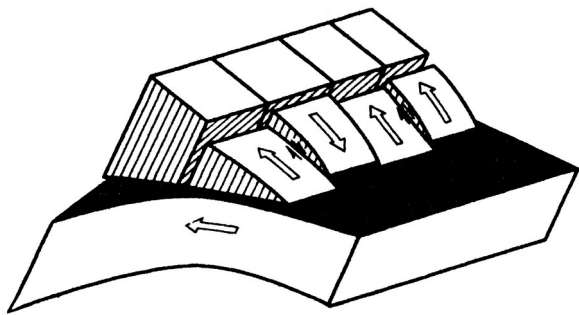
Крупнейшие сейсмические бреши Мира (конца XX – начала XXI вв).



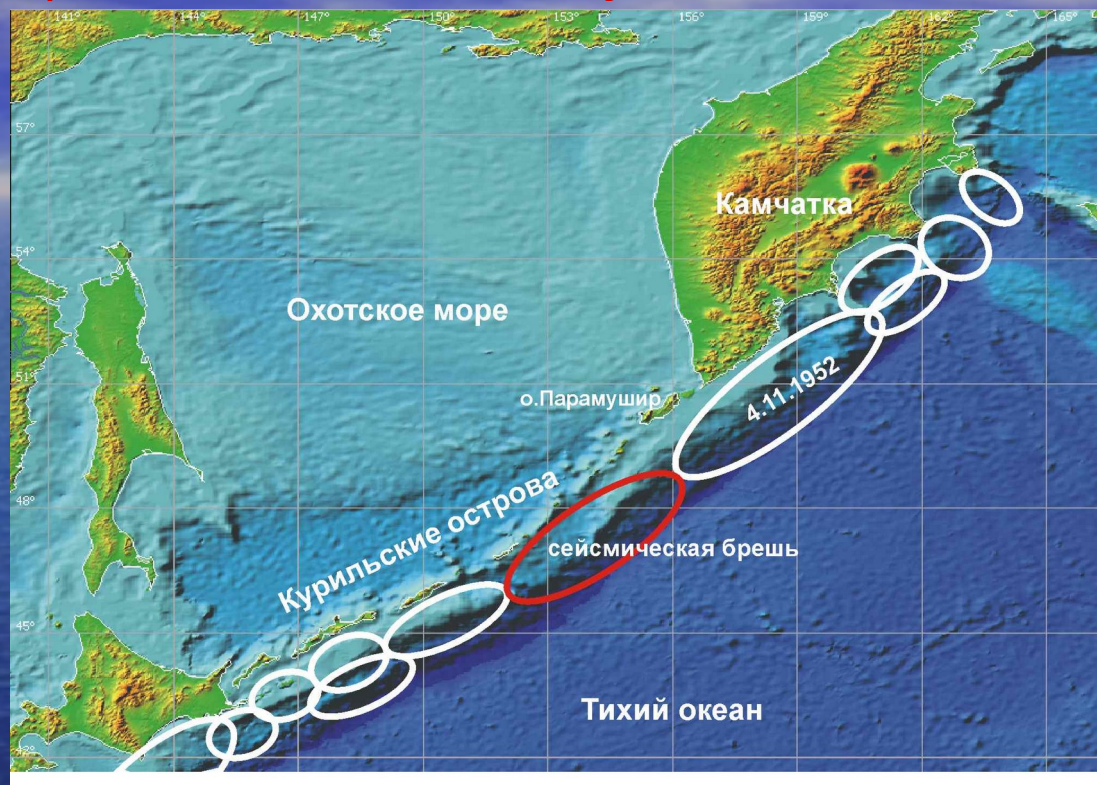
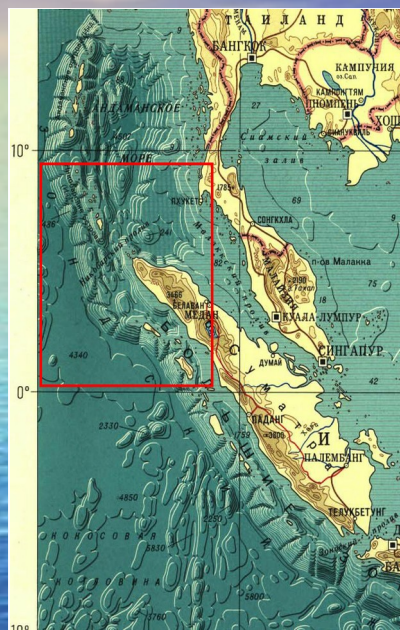


Карты очагов и высот цунами Курило-Камчатской и Зондской островных дуг за исторический период наблюдений. Видны сейсмические бреши к северу от Суматры (где произошло землетрясение и цунами 26.12.2004) и в центральном участке Курило-Камчатской дуги (где можно ожидать аналогичной катастрофы).





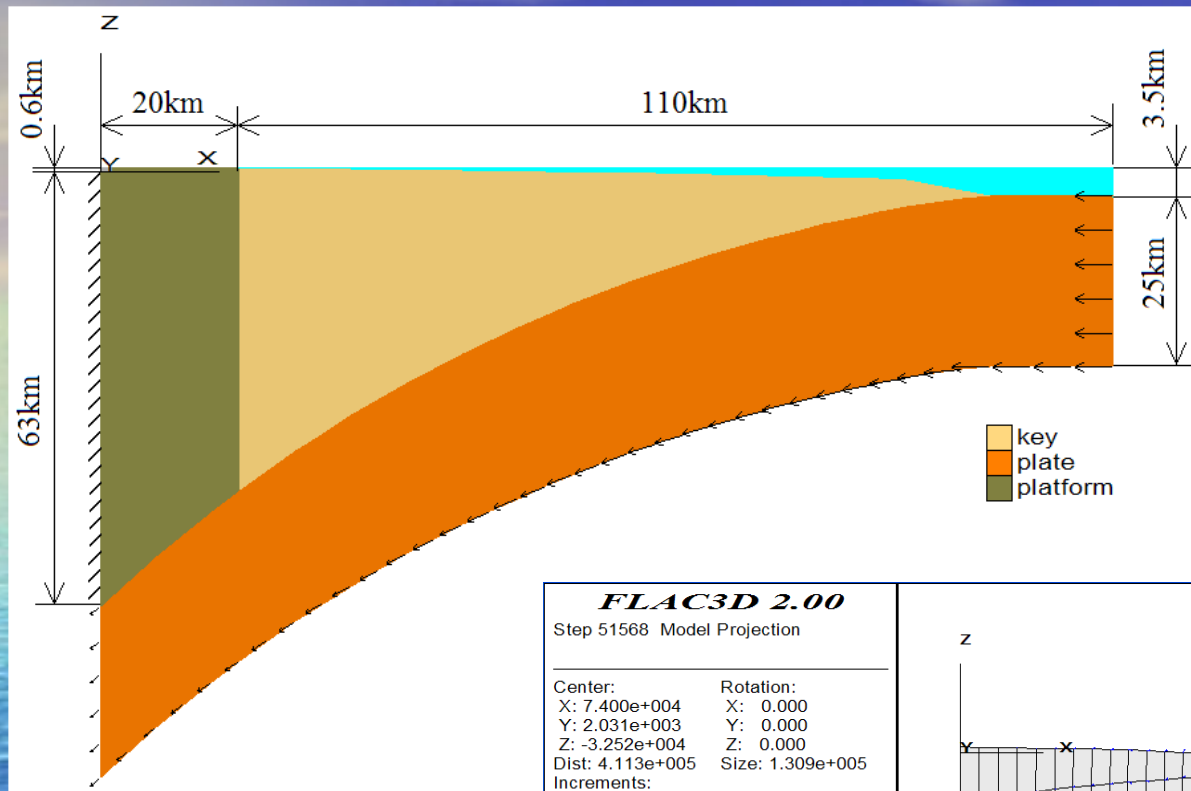
# Моделирование катастрофических цунами на основе клавишной модели субдукции, разработанной в Институте океанологии РАН



Проведено численное моделирование подготовки и реализации сильнейшего землетрясения 26.12.2004 г. в северной части Зондской дуги и вызванного им катастрофического цунами. Предварительное численное моделирование напряженно-деформированного состояния "сейсмической брешы" в центральном звене Курило-Камчатской дуги приводит к выводу о высокой вероятности возникновения здесь сильнейшего землетрясения и катастрофического цунами.



# Расчетная схема зоны субдукции



**FLAC3D 2.00**  
 Step 51568 Model Projection

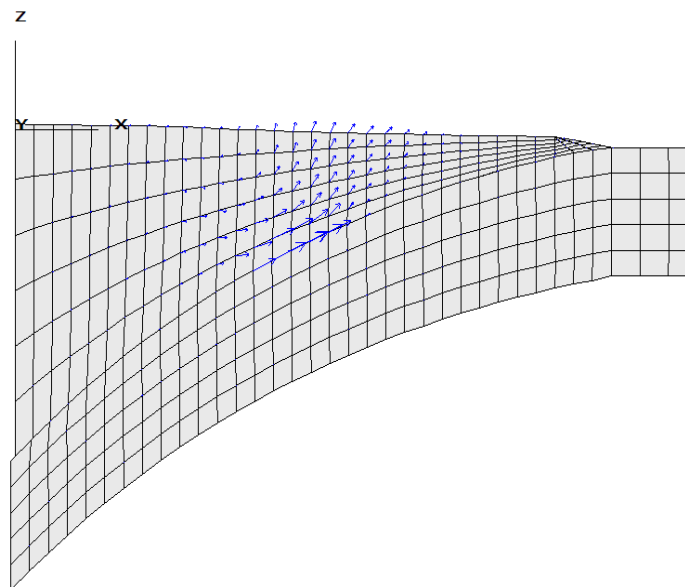
Center:		Rotation:	
X:	7.400e+004	X:	0.000
Y:	2.031e+003	Y:	0.000
Z:	-3.252e+004	Z:	0.000
Dist:	4.113e+005	Size:	1.309e+005

Increments:  
 Move: 1.438e+004  
 Rot.: 10.000

**Displacement**  
 Maximum = 2.022e+001  
 Linestyle \_\_\_\_\_

**Axes**  
 Linestyle \_\_\_\_\_

Igor Garagash  
 IPE RAS



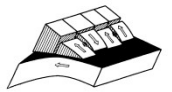
Распределение смещений.  
 Максимальное смещение  
 по разрыву равно 20м

# Прогноз (2005): Численная модель

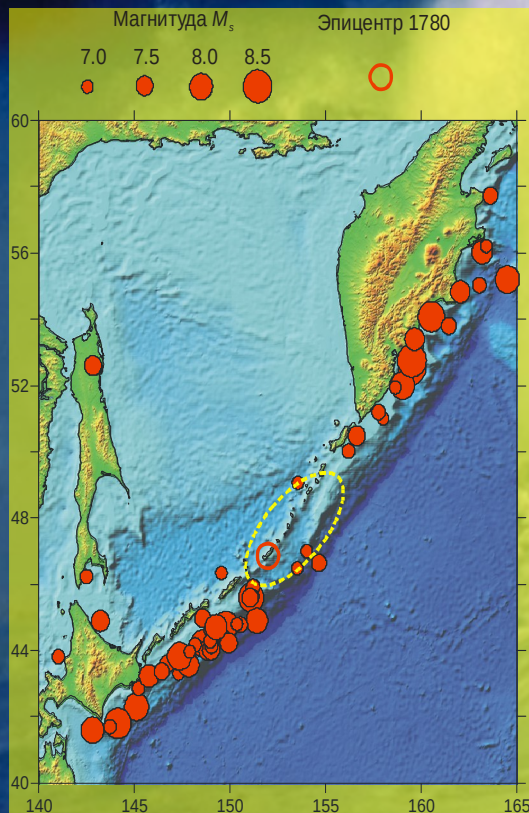
предполагаемого цунами





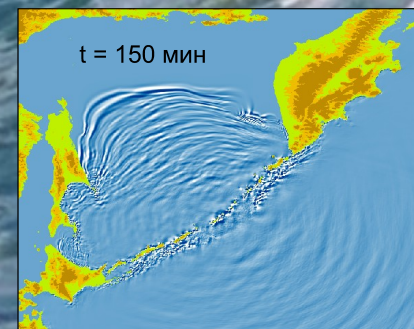
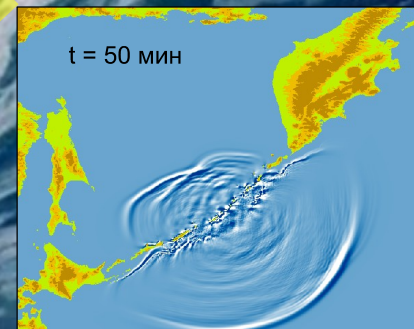
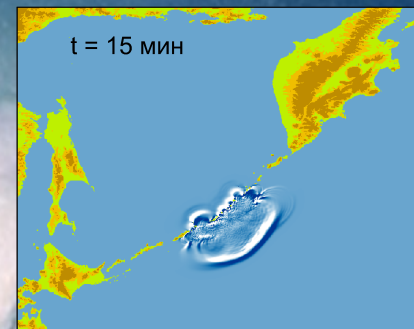
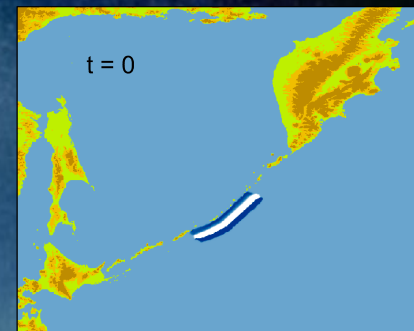


# Моделирование катастрофических цунами на основе клавишной модели субдукции, разработанной в Институте океанологии РАН

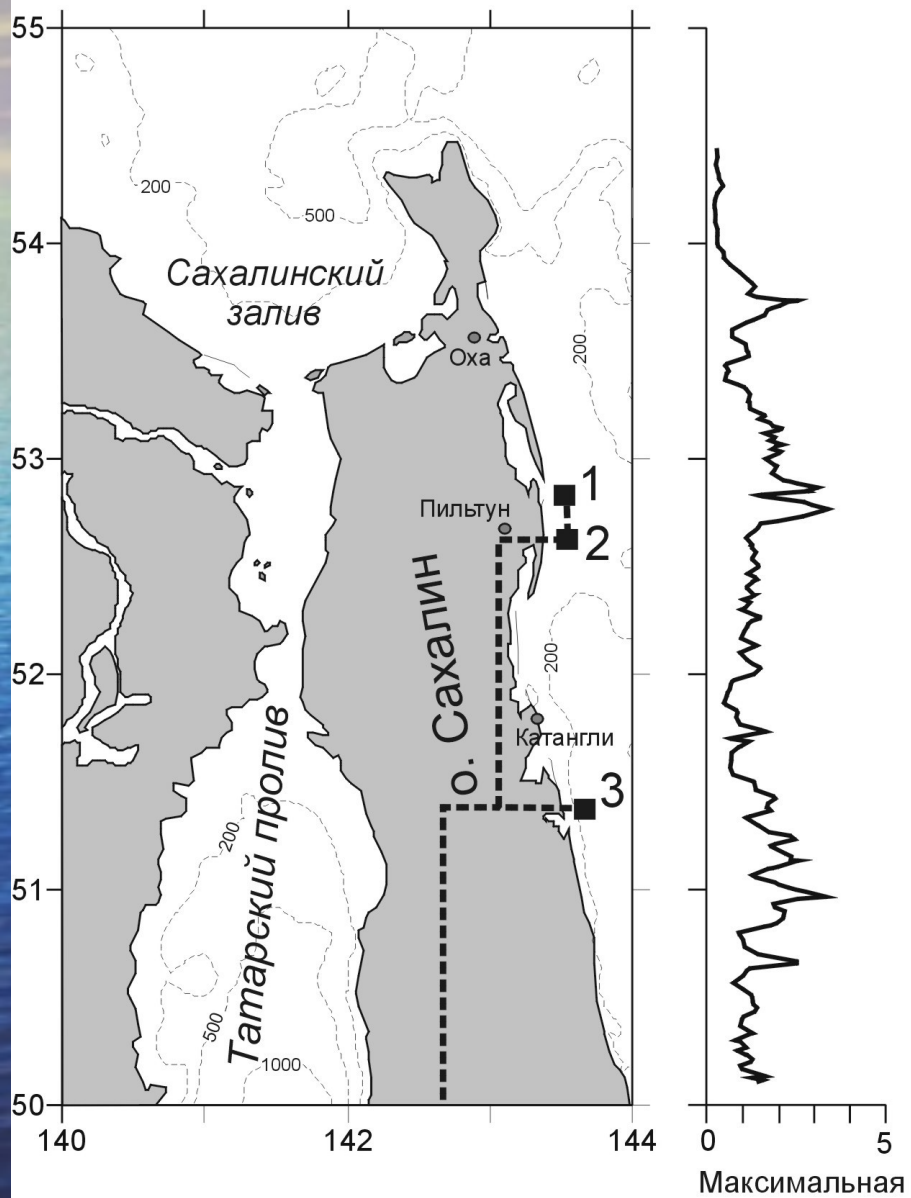


Карта цунамигенных землетрясений за период 1800 – 2004 гг. Желтой линией показана область «сей-смического молчания»

Положение фронта волны цунами через 15, 50 и 150 мин после возможного землетрясения в средней части Курильской дуги.



■ - Нефтяные платформы:  
1 - PA-B, 2 - PA-A (Molikraaq), 3 - Lun-A  
..... нефте- и газопроводы





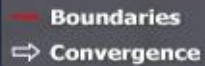
**Magnitude**



**Depth (km)**



**Plates**



78 mm/yr Convergence is approximately 78 mm/yr

78 mm/yr Convergence is approximately 78 mm/yr





**Magnitude**

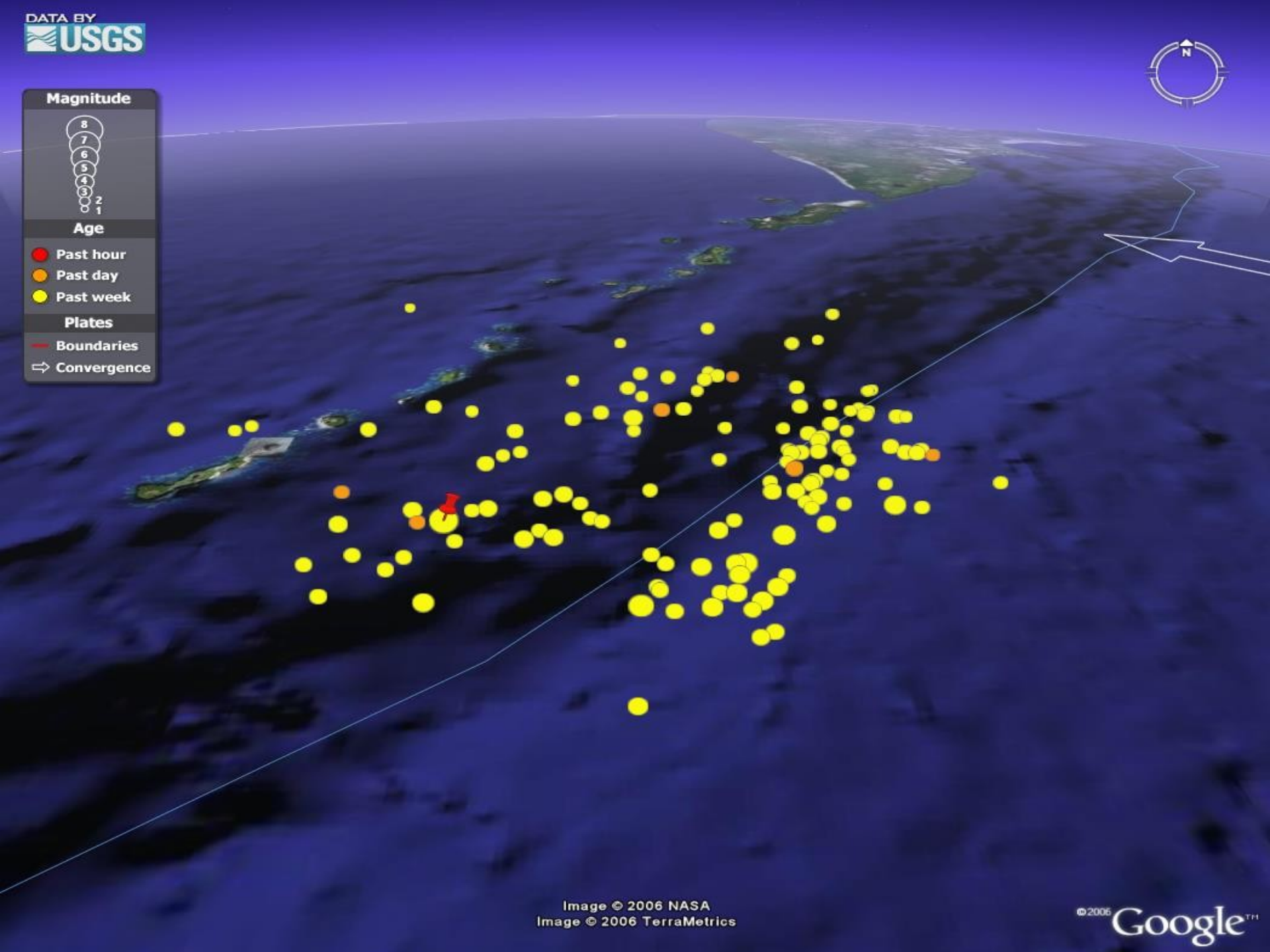


**Age**

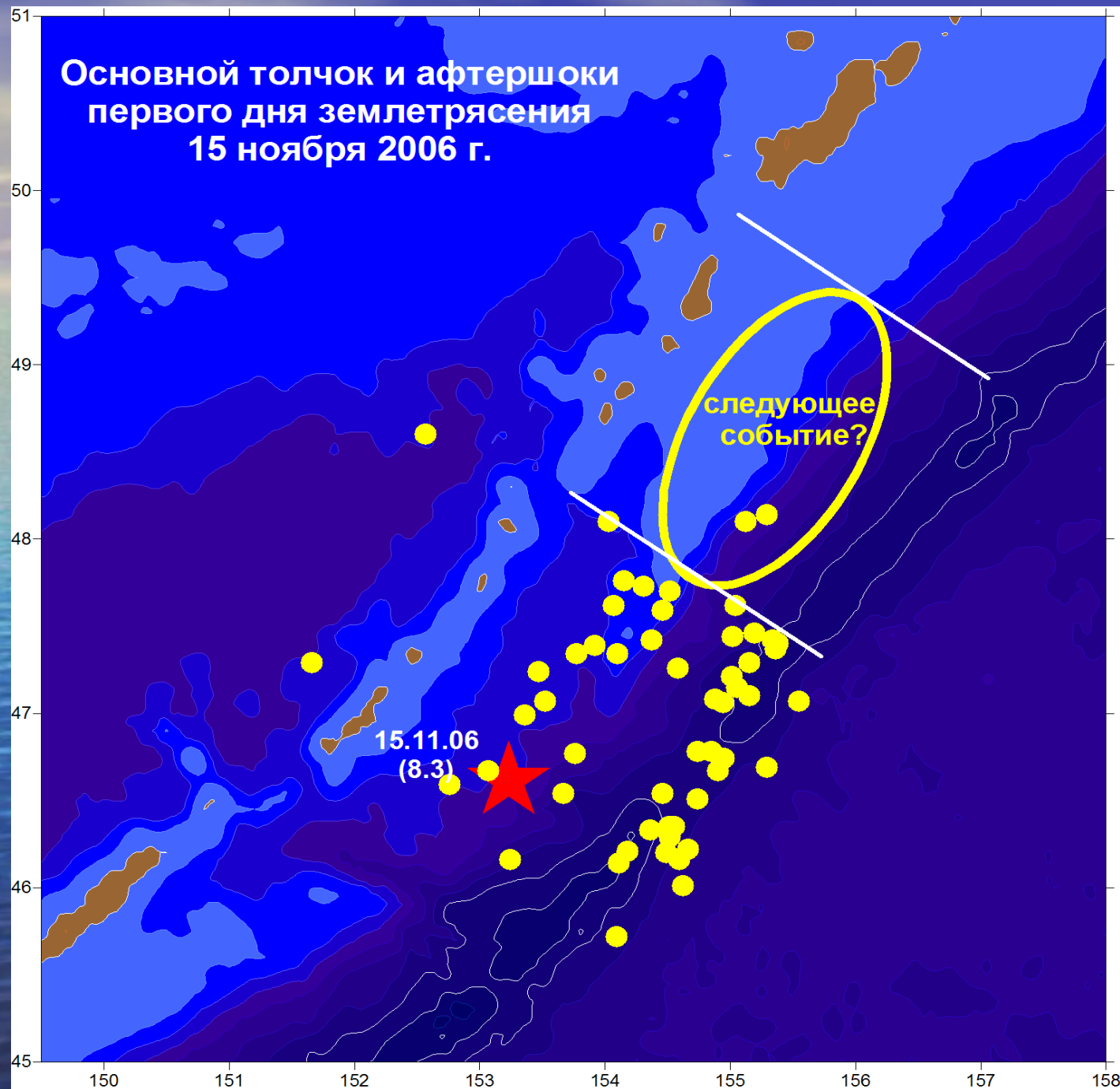
- Past hour
- Past day
- Past week

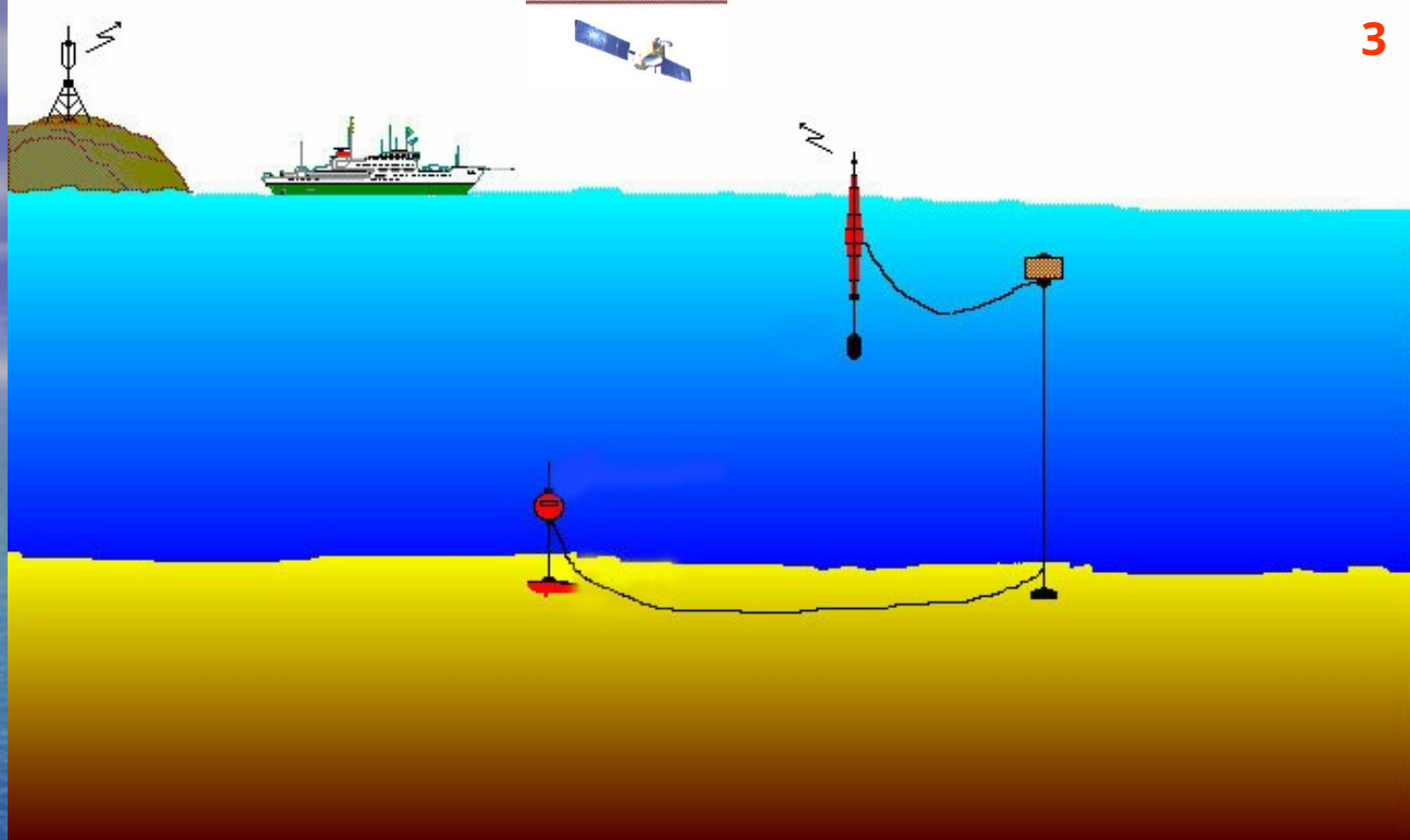
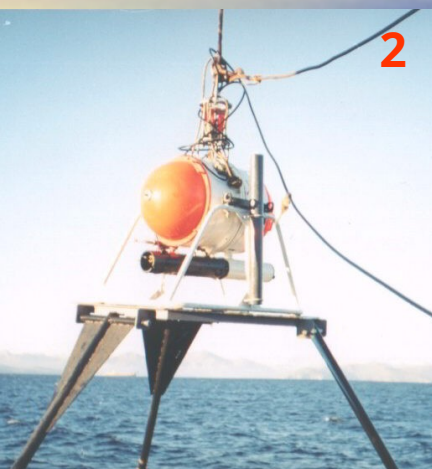
**Plates**

- Boundaries
- ⇨ Convergence









**Элементы системы мониторинга сейсмоопасных, потенциально цунамигенных участков морского дна с целью прогноза сильнейших землетрясений и предупреждения цунами**

**(1 – донная обсерватория, включающая комплекс измерительных приборов, 2 - постановка донного сейсмографа на дно, 3 – система передачи информации от донной обсерватории по радиоканалу с помощью притопленного буя )**