



# **Вычислительные технологии определения характеристик заплесков волн цунами: *новые возможности и проблемы***

*Бейзель С.А.<sup>1)</sup>, Гусяков В.К.<sup>2)</sup>, Рычков А.Д.<sup>1)</sup>, Чубаров Л.Б.<sup>1)</sup>, Шокин Ю.И.<sup>1)</sup>*

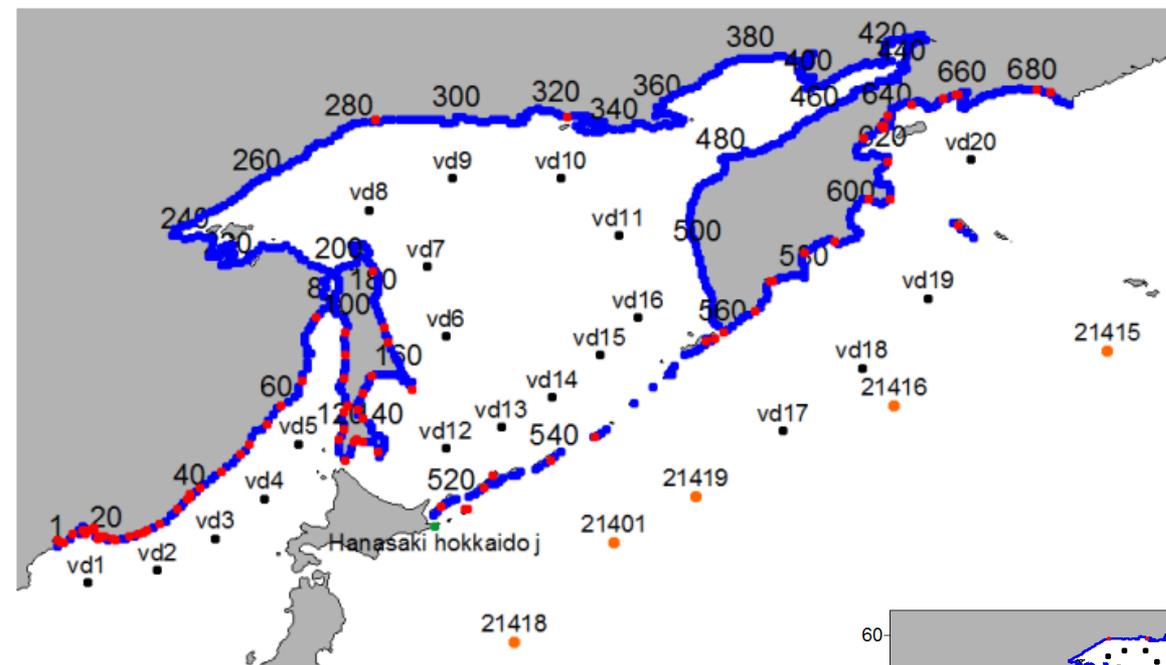
<sup>1)</sup>Институт вычислительных технологий СО РАН

<sup>2)</sup>Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирск, Россия

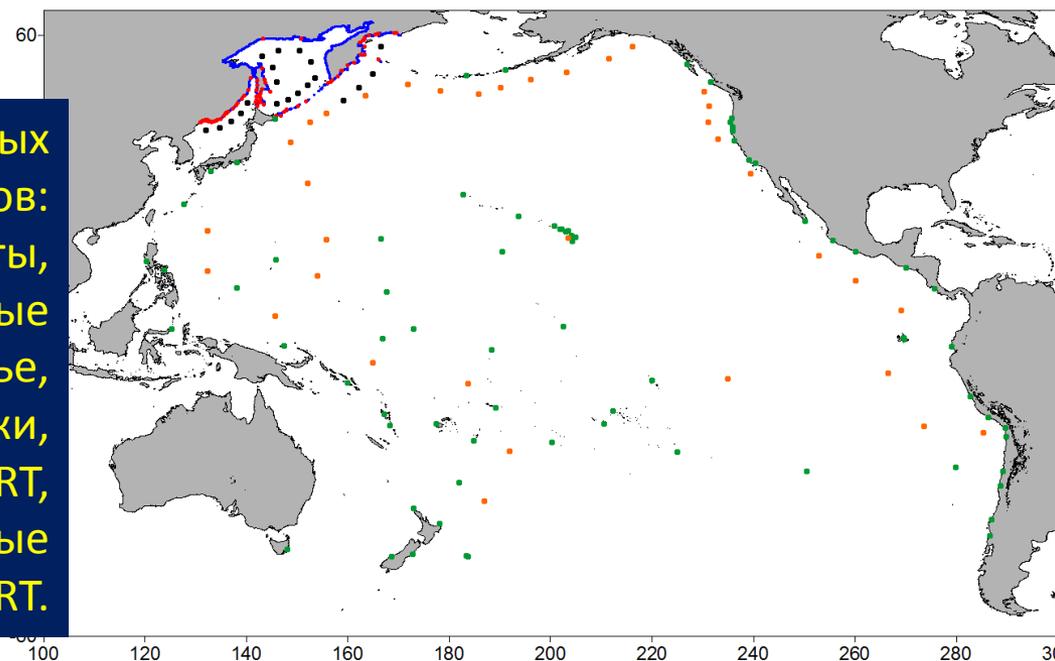
chubarov@ict.nsc.ru

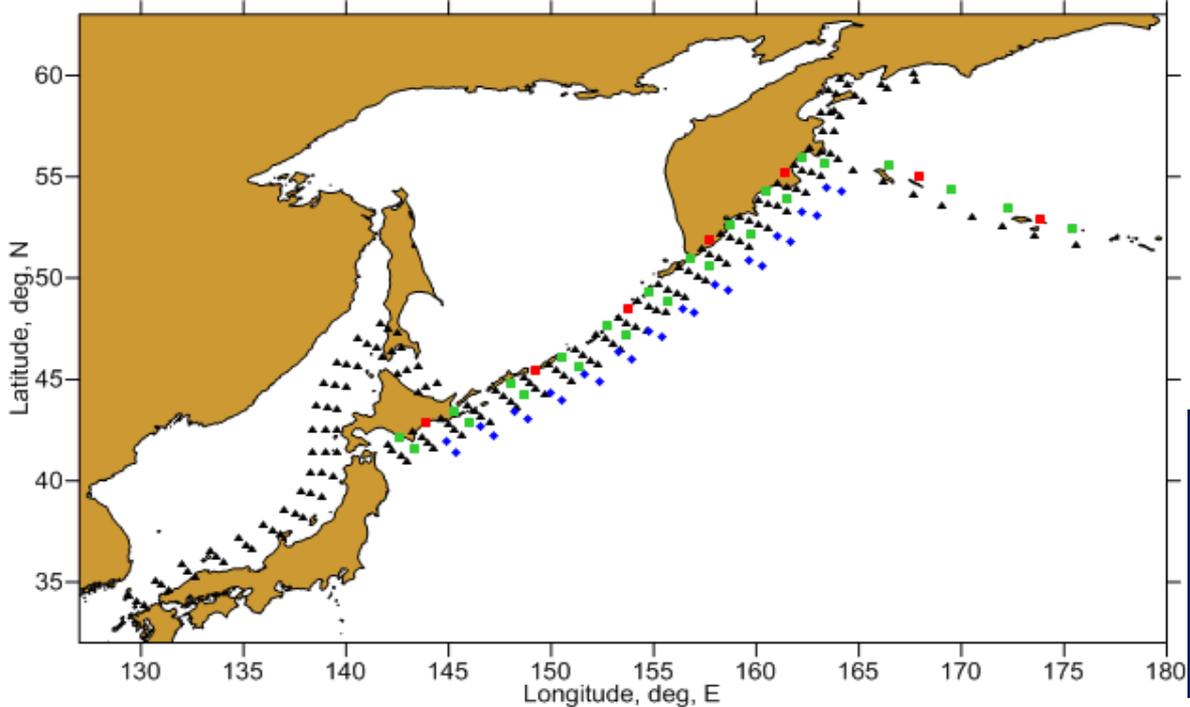
# Традиционные «старые» задачи:



Установка виртуальных  
мареографов

Схема расположения виртуальных  
мареографов:  
**Красные** точки – «защищаемые» пункты,  
**синие** – дополнительные виртуальные  
мареографы на защищаемом побережье,  
**зеленые** – «прибрежные» датчики,  
**оранжевые** – виртуальные датчики DART,  
**черные** – дополнительные виртуальные  
датчики DART.





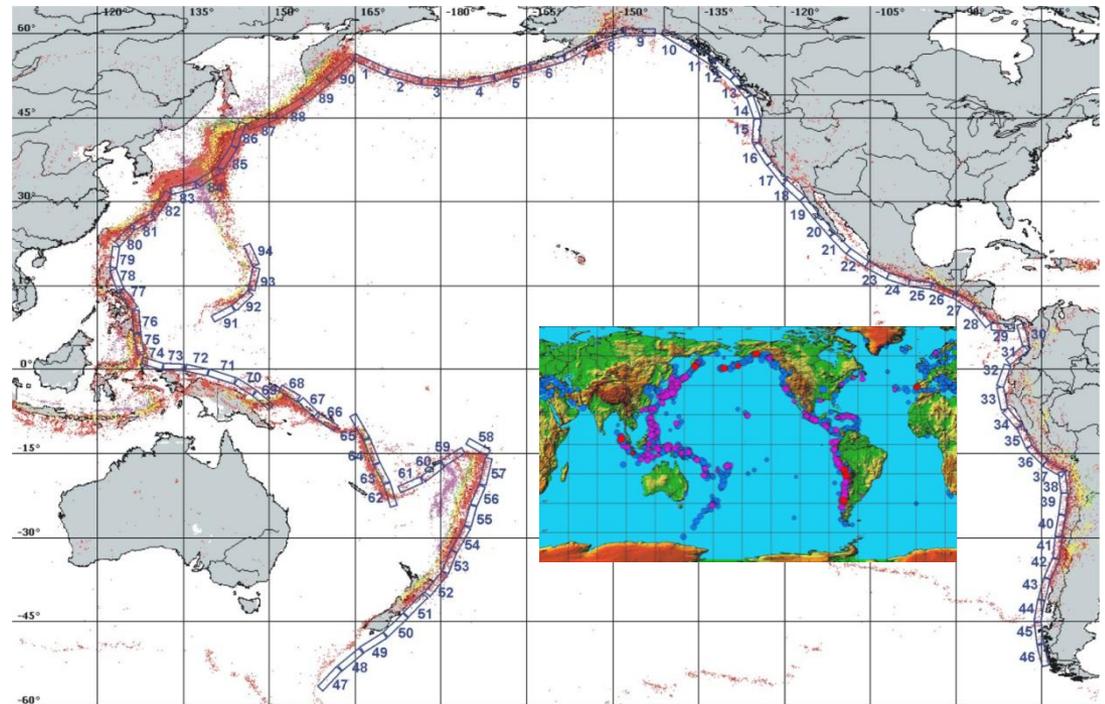
## Ближние очаги:

Эпицентры модельных землетрясений с магнитудами  $M_w=7.8, 8.1, 8.4, 9.0$  вдоль основных цунамигенных зон Курило-Камчатской сейсмогенной зоны

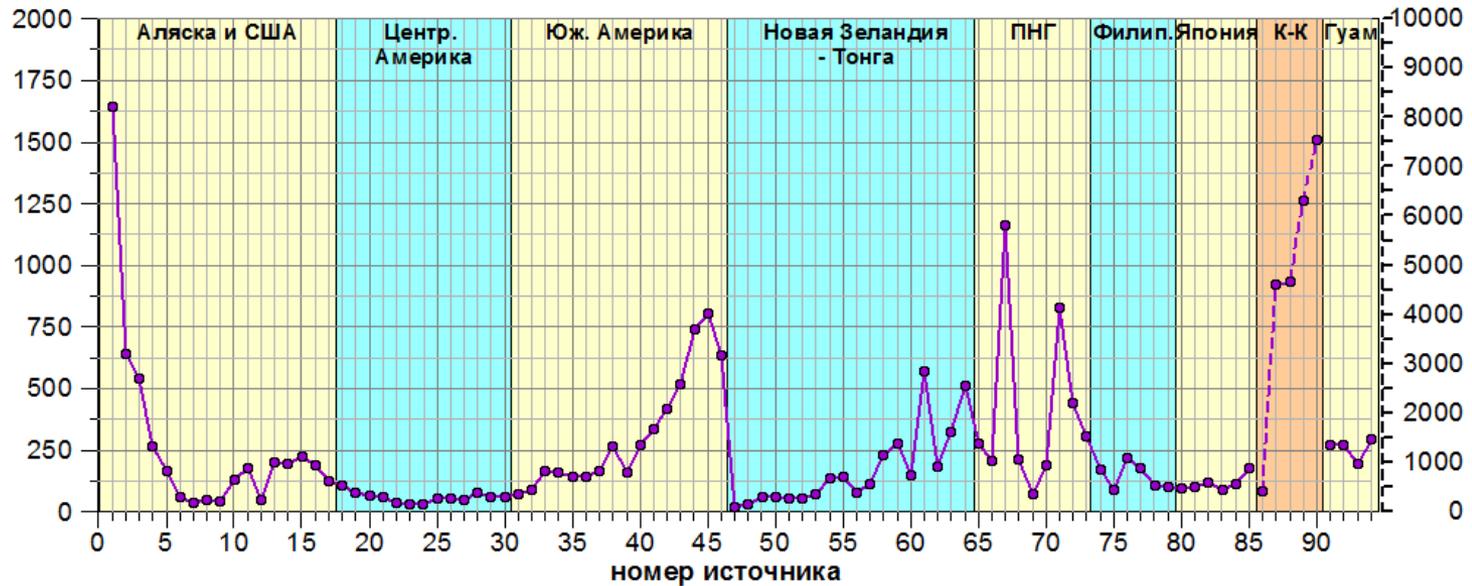
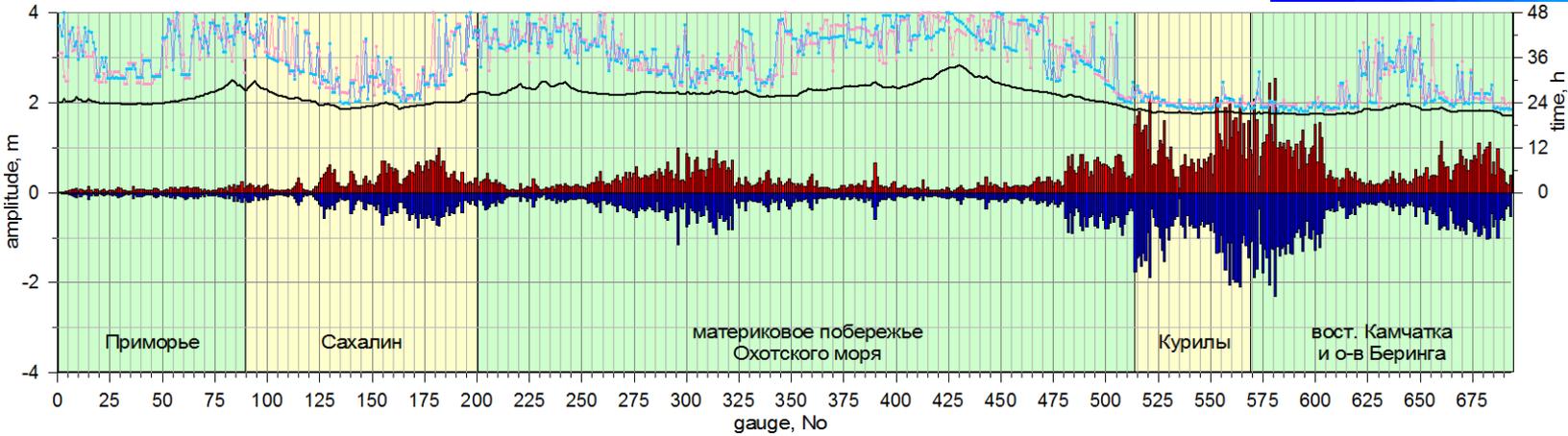
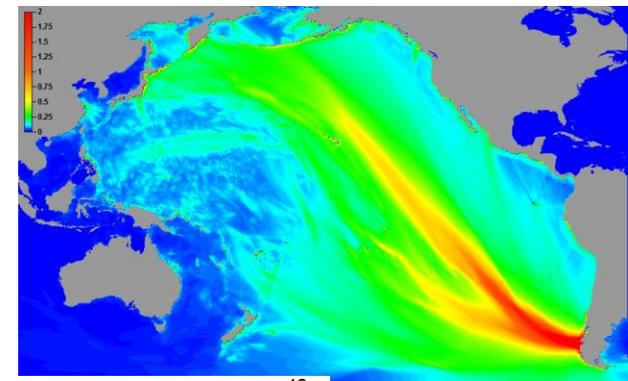
## Удаленные очаги:

площадки разрыва модельных землетрясений с магнитудой  $M_w=9.0$  вдоль основных цунамигенных зон Тихого океана

- Алеуты – Северная Америка (1 – 17),
  - Центральная Америка (18 – 30),
    - Южная Америка (31 – 46),
  - Новая Зеландия – Тонга (47 – 65),
- Папуа – Новая Гвинея – Соломоновы острова (66 – 73),
  - Филиппины (74 – 79),
    - Япония (80 – 85),
  - Курилы – Камчатка (86 – 90),
    - Гуам (91 – 94).



# Традиционные «старые» задачи:

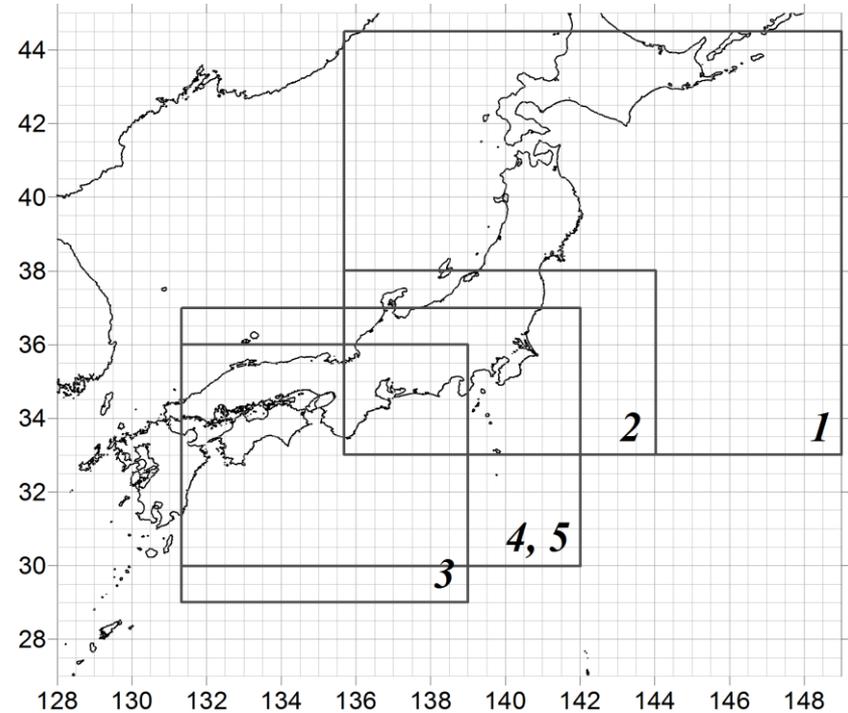
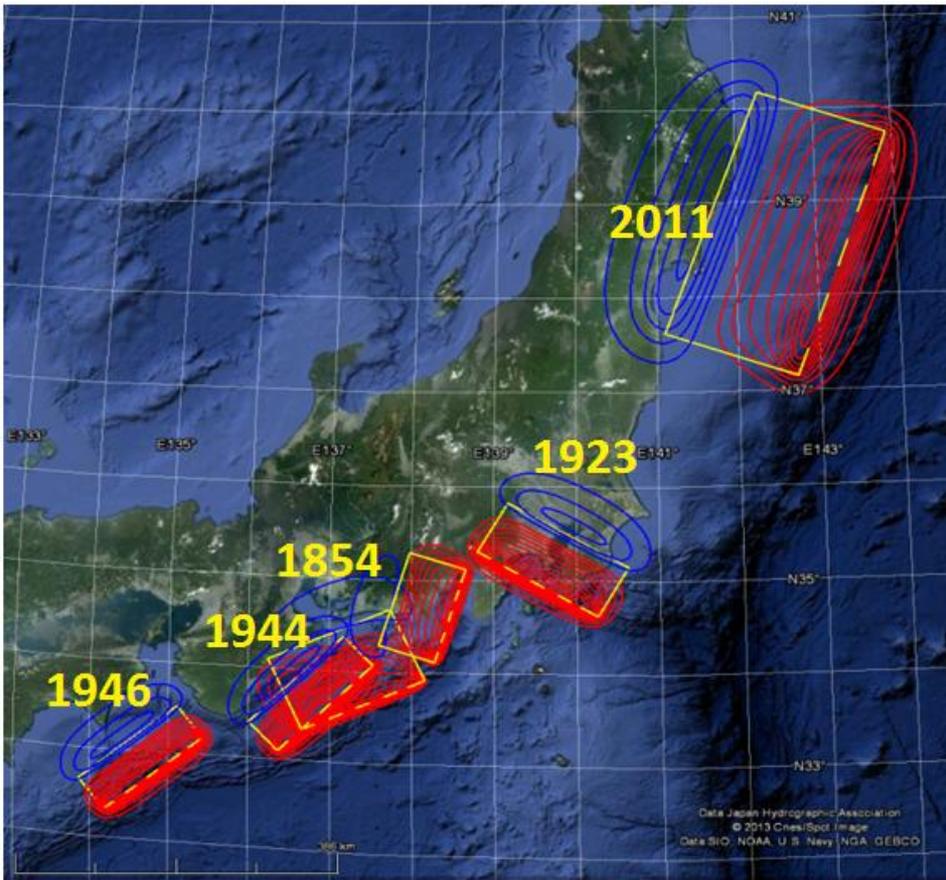


富嶽三十六景 神奈川沖  
波裏

江戸の海



# Новые задачи – от интереса страховых компаний к решению «государственных задач»



| Events/Param     | Mw  | Epicenter     | Depth, km | L, km | W, km | Do, m | $\delta$ | $\lambda$ | $\theta$ |
|------------------|-----|---------------|-----------|-------|-------|-------|----------|-----------|----------|
| 2011 Tohoku      | 9.0 | 38.9N, 141.7E | 20        | 300   | 150   | 25    | 10       | 88        | 20       |
| 1946 Nankai      | 8.1 | 33.N, 134.5E  | 10        | 150   | 50    | 5     | 20       | 90        | 50       |
| 1944 Tonankai    | 8.1 | 33.9N, 136.6E | 10        | 150   | 50    | 5     | 20       | 90        | 45       |
| 1923 Kanto       | 7.9 | 35.5N, 139.9E | 10        | 150   | 70    | 5     | 20       | 90        | 120      |
| 1854 Ansei-Tokai | 8.4 | 34.4N, 137.0E | 5         | 150   | 100   | 4     | 24       | 113       | 65       |
|                  |     | 34.8N, 137.8E | 5         | 115   | 70    | 4     | 24       | 71        | 17       |

# Новые задачи – на примере цунами Тохоку-2011

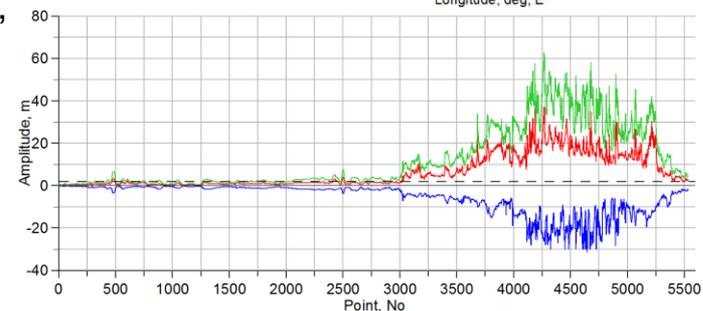
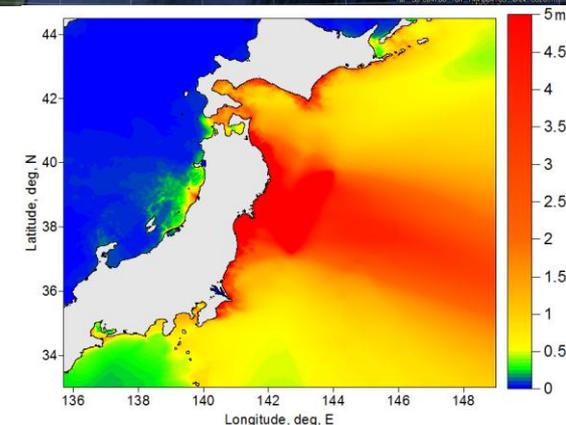
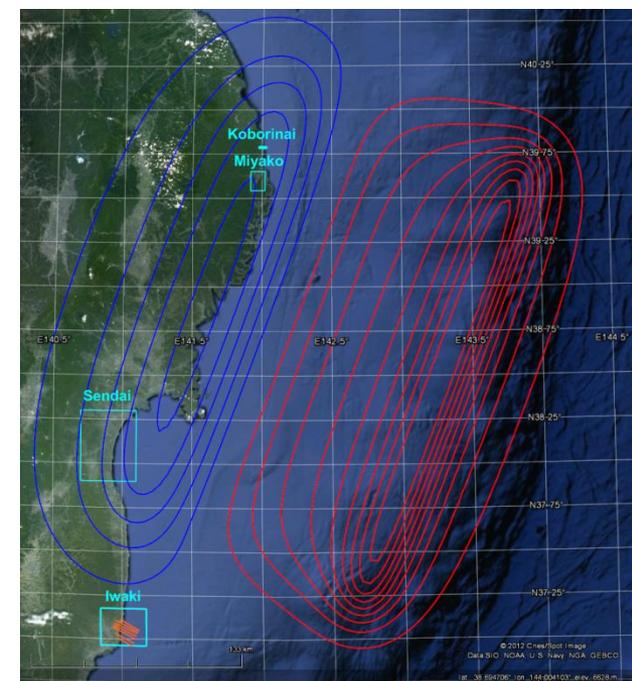
Землетрясение магнитудой  $M_w=9.0$  произошло у тихоокеанского побережья Тохоку, Япония, в пятницу, 11 марта 2011 г. в 14:46:23 по местному времени (5:46:23 GMT). Это было землетрясение самой большой магнитуды из документированных в Японии и четвертое по величине в мире из инструментально зарегистрированных с 1900 года.

По официальным данным, **15 870 человек погибли, 6114 были ранены и 2814 пропали без вести, 129 225 зданий были разрушены полностью, почти полностью – 254 204 и 691 766 – частично. 96% всех жертв были результатом волны цунами. Экономические потери достигли 300 млрд. долларов.** Цунами вызвало тяжелую аварию на ядерной электростанции Фукусима Дайити. Около **90 000 жителей** были эвакуированы.

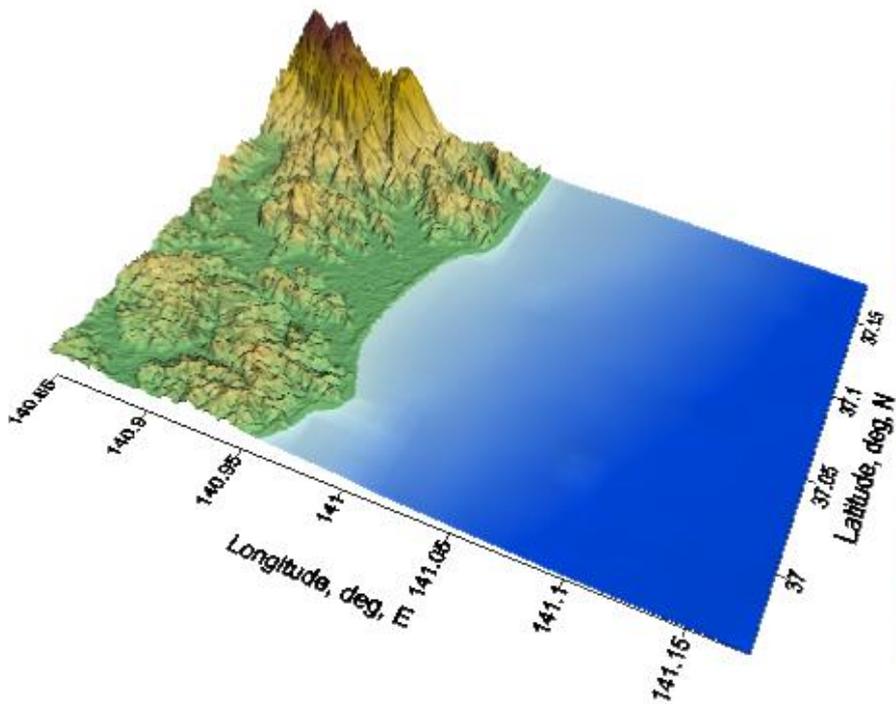
Было получено **5770** измерений высот заплесков и затопления (**34%** от общего количества данных с 2000 года до н.э.).

**Максимальный заплеск 55.88 м** был зафиксирован на крутом береговом склоне на севере города Камаиси, **второй по высоте заплеск 40.57 м** измерен в 25 км севернее, на том же типе побережья.

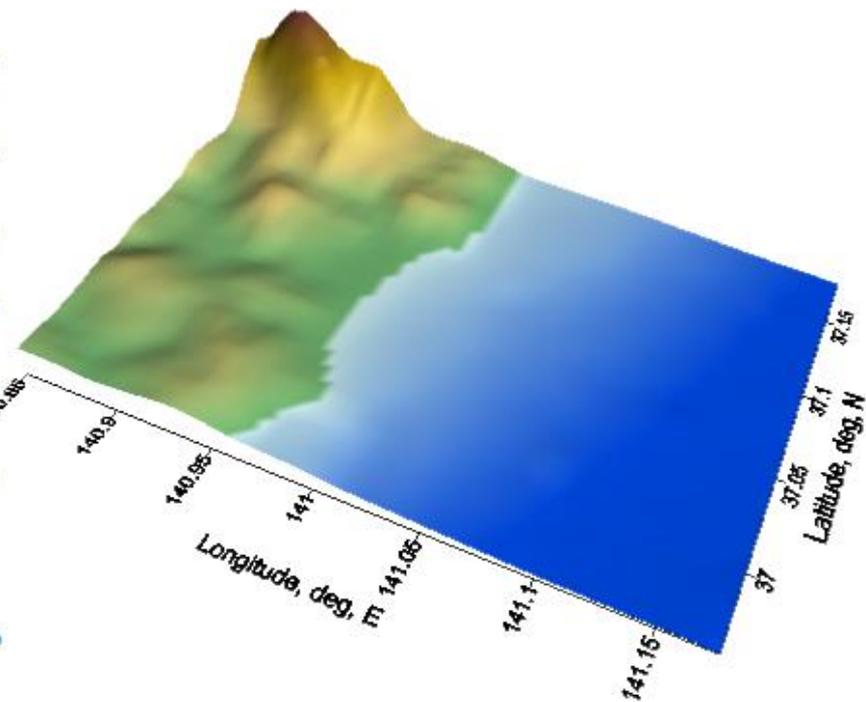
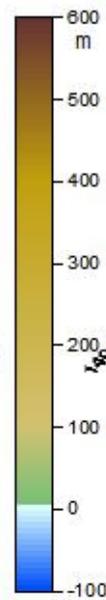
**Максимальная глубина затопления 38.56 м** измерена на небольшом острове, **максимальная высота затопления** на равнине Сендай составила **19.5 м**, а **средняя высота затопления** вблизи береговой линии здесь, по оценкам, составила **10 м**.



# Новые задачи – проблема качественных цифровых рельефов дна и суши



DEM: SRTM-3sec (version 2.1)



DEM: GEBCO-30sec

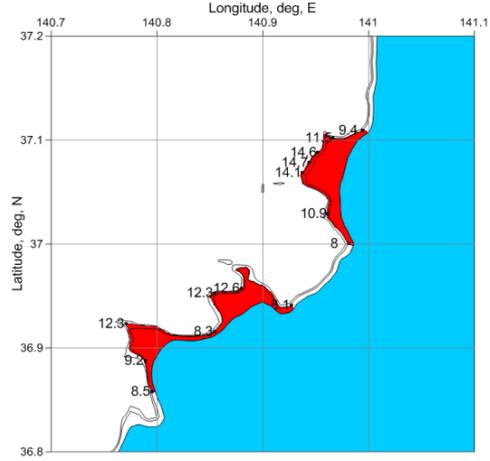
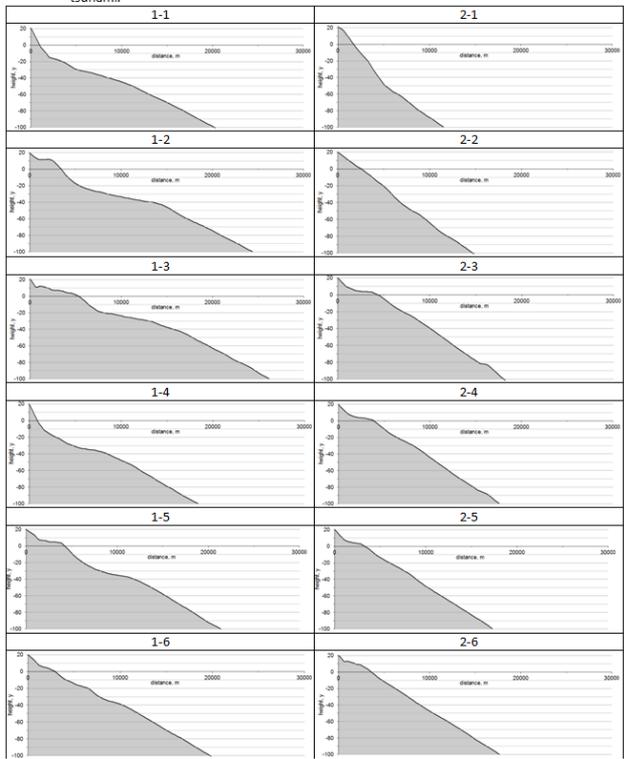
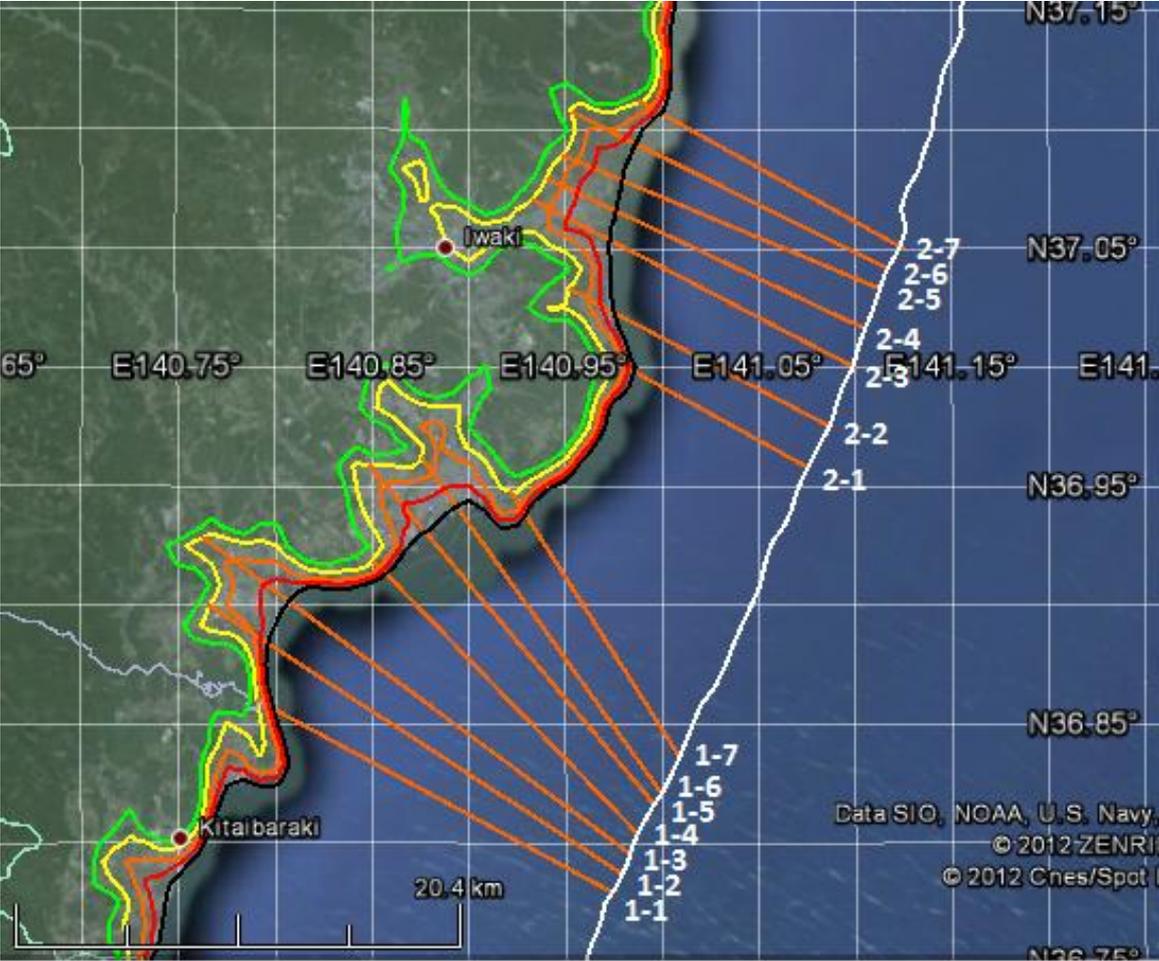
# Новые задачи – бухта Мияко



# Новые задачи – бухта Мияко



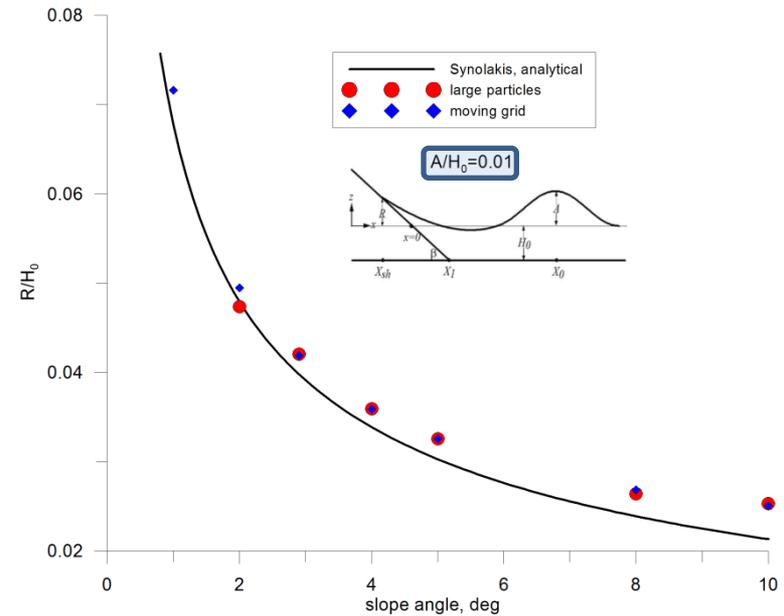
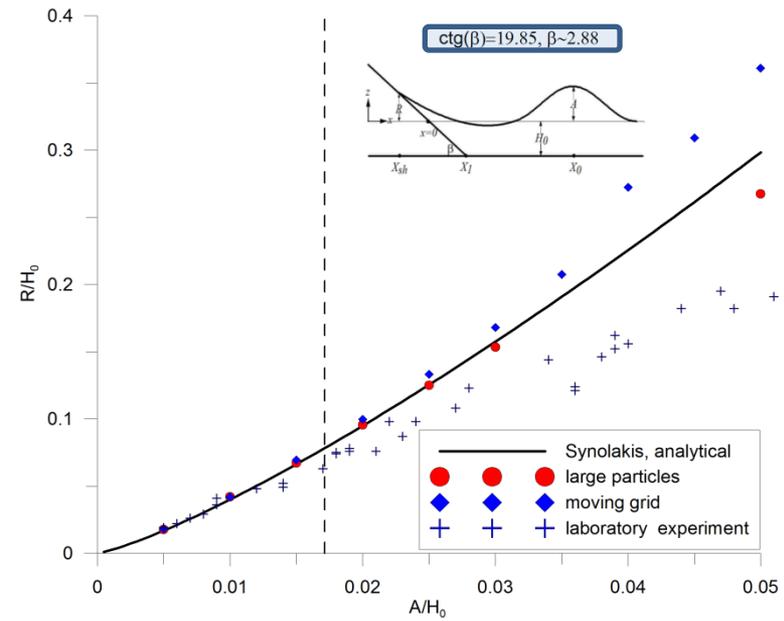
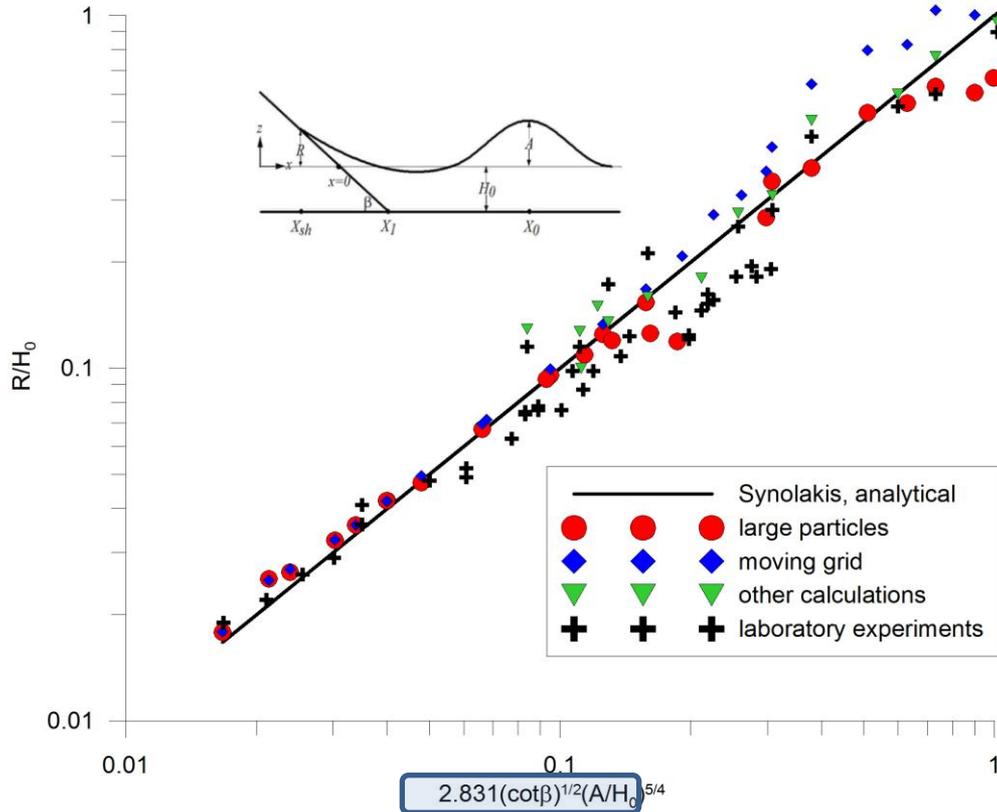
# Новые задачи – 1D моделирование



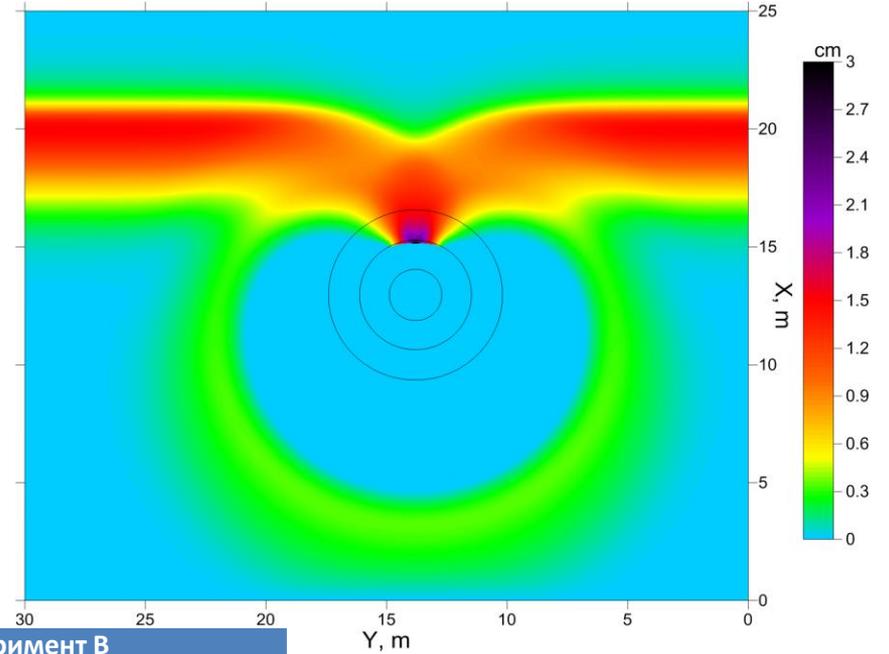
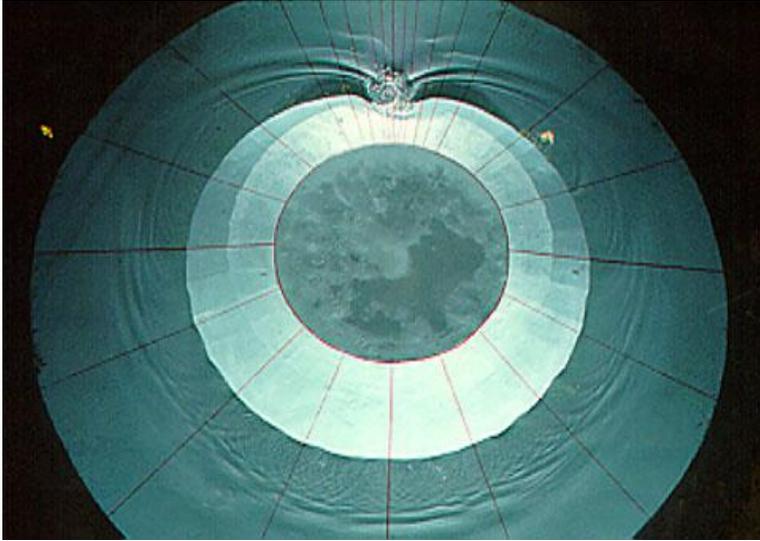
# Новые задачи – 2D моделирование



# Новые задачи – верификация и валидация (1D)

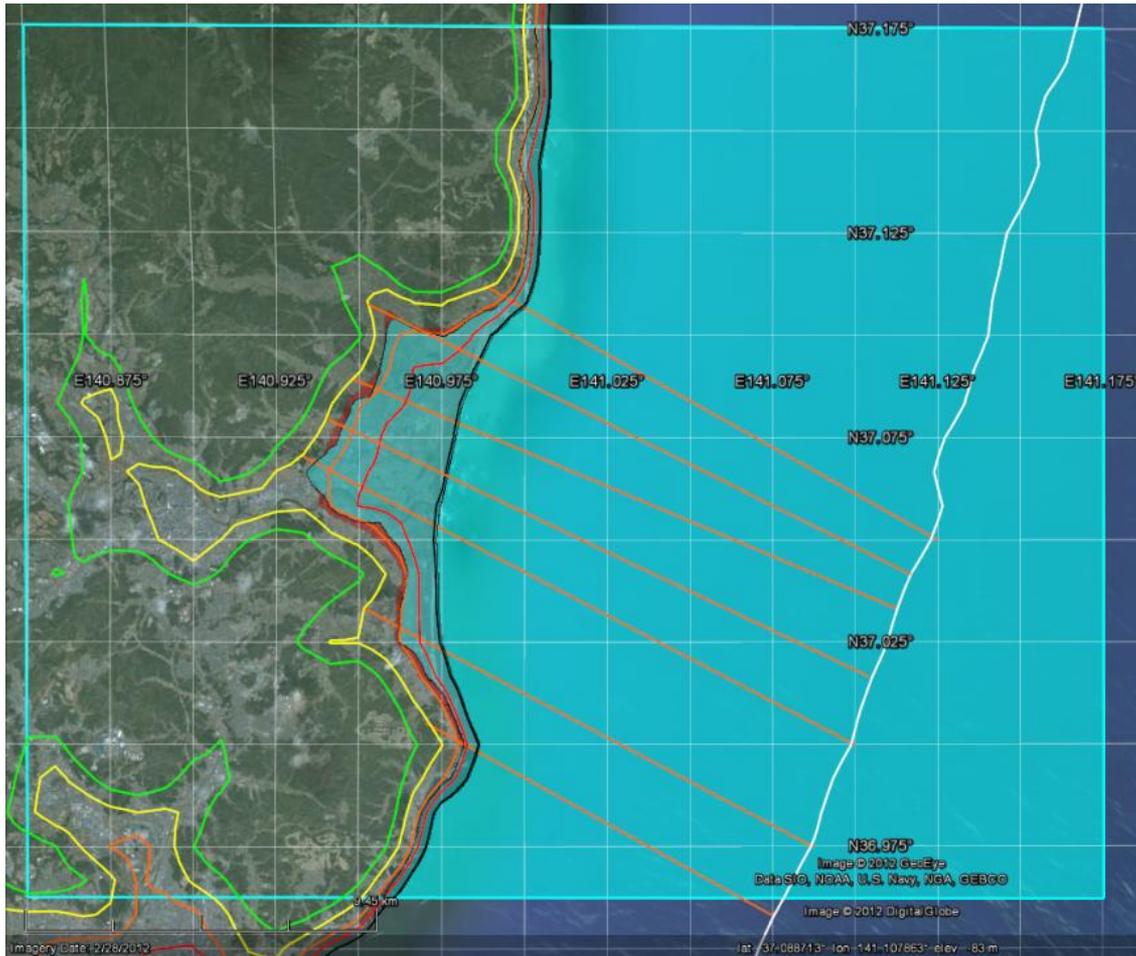


# Новые задачи – верификация и валидация (2D)



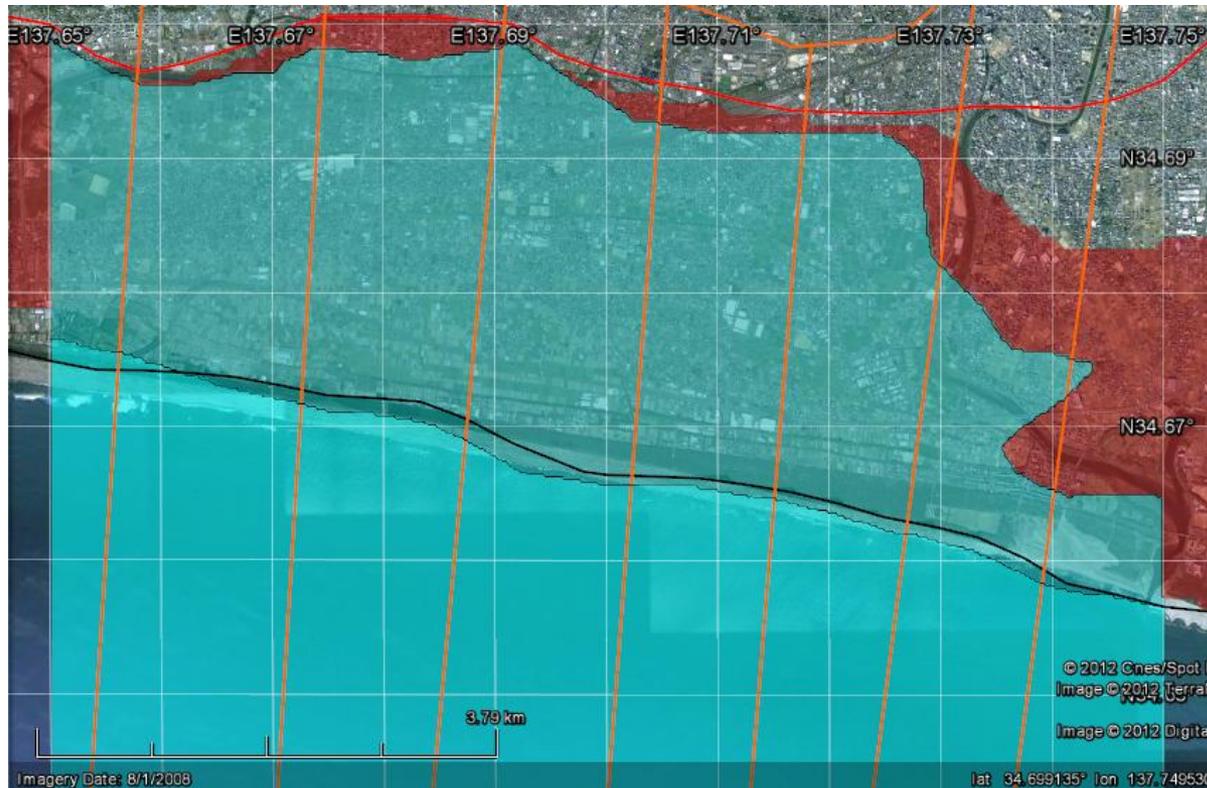
|                                  | Эксперимент А                 |       |       |       |                       |              | Эксперимент В                 |       |       |                       |              |
|----------------------------------|-------------------------------|-------|-------|-------|-----------------------|--------------|-------------------------------|-------|-------|-----------------------|--------------|
|                                  | Расчет методом крупных частиц |       |       |       | Расчет (Takagi, 1996) | Эксперимент. | Расчет методом крупных частиц |       |       | Расчет (Takagi, 1996) | Эксперимент. |
| Кoeffициент Шези (шероховатость) | 0                             | 0.002 | 0.004 | 0.005 |                       |              | 0                             | 0.002 | 0.004 |                       |              |
| R (см) спереди                   | 4.5                           | 4.1   | 3.6   | 3.6   | 4.9                   | 3.2          | 11.5                          | 9.1   | 7.1   | 8.7                   | 7.4          |
| R (см) сзади                     | 3.5                           | 3.1   | 2.5   | 2.1   | 4.1                   | 2.2          | 9.1                           | 6.1   | 4.1   | 7.2                   | 8.6          |

## Новые задачи – результаты



Зоны заплеска цунами “**Tohoku, 2011**”, рассчитанные в прибрежной области “Iwaki” с помощью **2D** (голубая заливка) и **1D** моделирования (красная заливка) на основе цифровых рельефа и батиметрии DEM/DBM GEBCO-30sec. Цветными линиями отрисованы изолинии батиметрии (белая – 100 м) и рельефа: черная – начальное положение линии уреза (0 м), красная – изолиния 5 м, оранжевая – 10 м, желтая – 20 м, зеленая – 30 м.

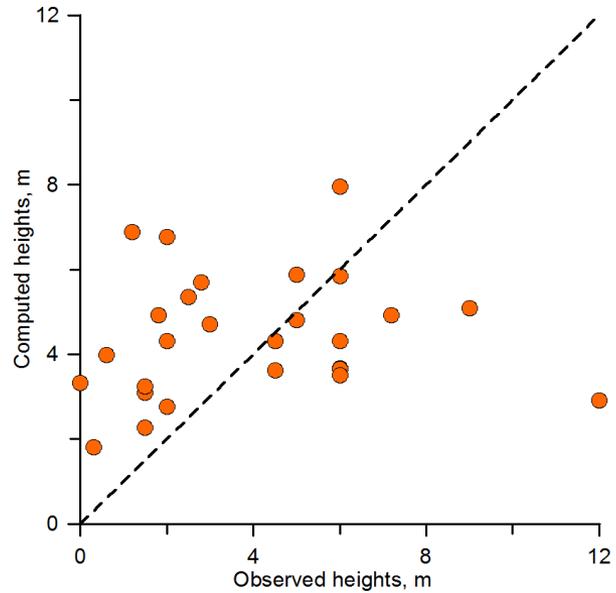
## Новые задачи – результаты



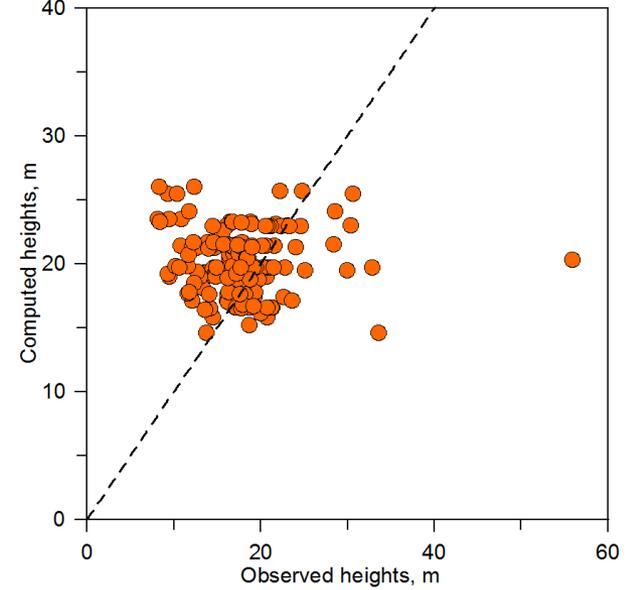
Зоны заплеска цунами “Ansei-Tokai, 1854”, рассчитанные с помощью 2D (голубая заливка) и 1D моделирования (красная заливка) на основе цифровых рельефа и батиметрии DEM/DBM GEBCO-30sec. Цветными линиями отрисованы изолинии рельефа: черная – начальное положение линии уреза (0 м), красная – изолиния 5 м, оранжевая – 10 м, желтая – 20 м, зеленая – 30 м.

# Новые задачи – Сравнение с наблюдениями

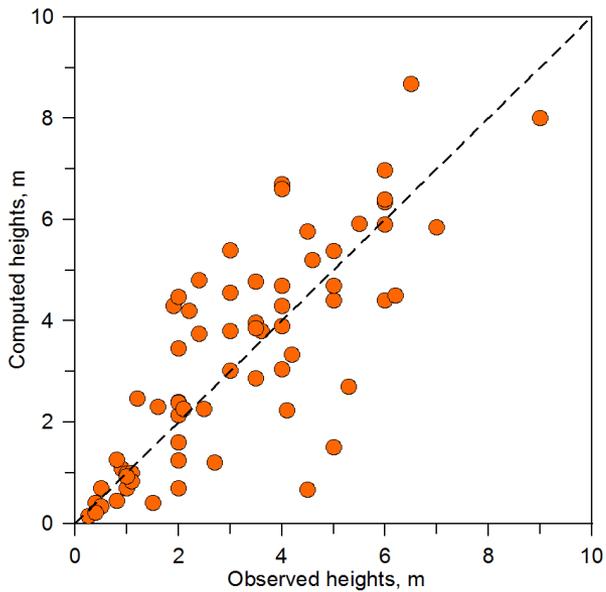
Kanto, September 1, 1923



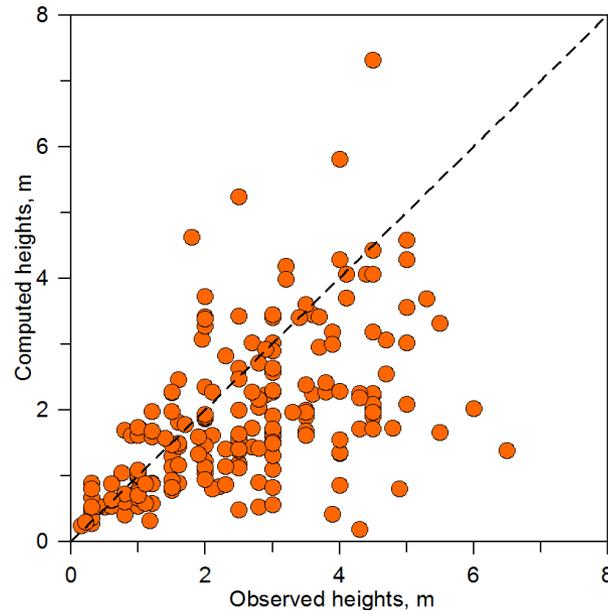
March, 11, 2011, Tohoku



1944, Tōnankai



1946, Nankai



富嶽三十六景 神奈川沖  
波裏

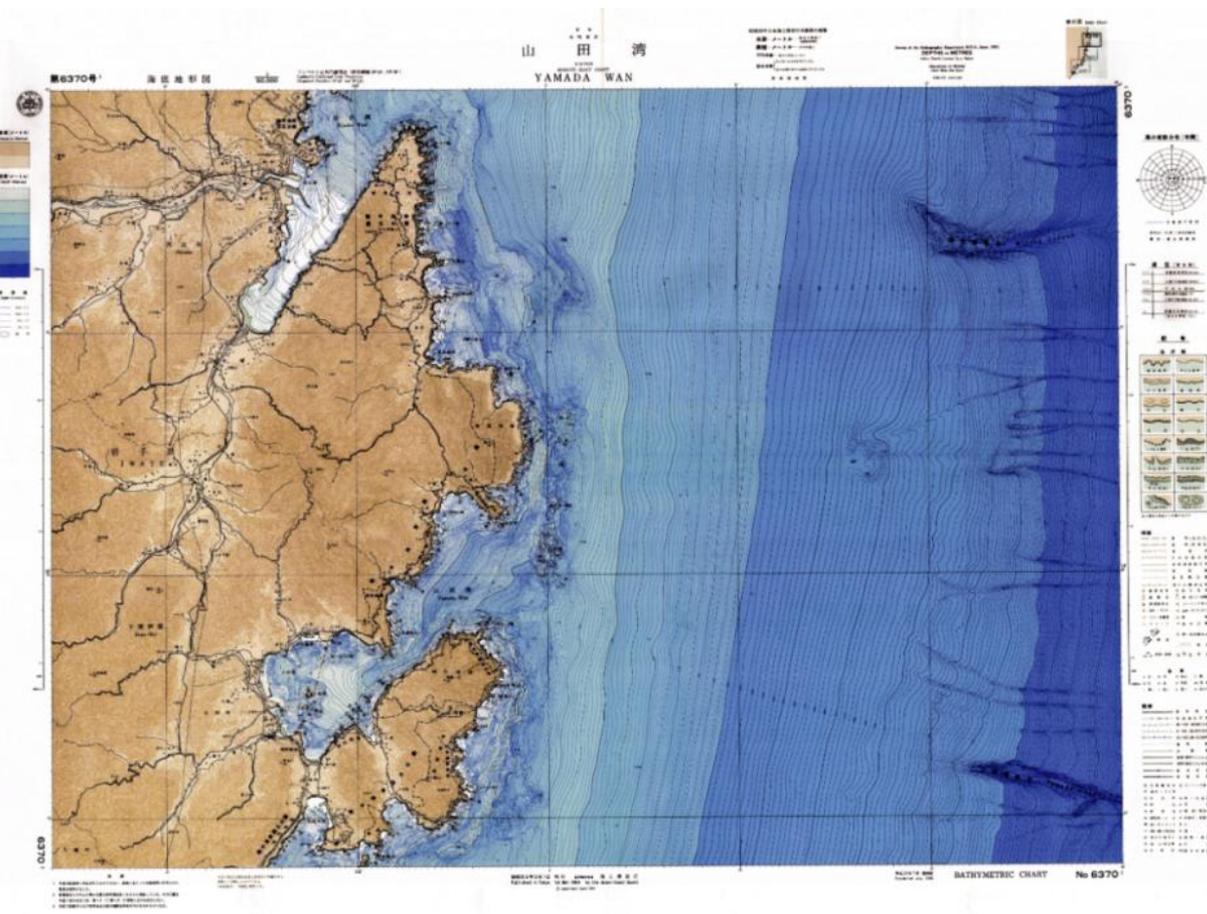
丁母の島一草



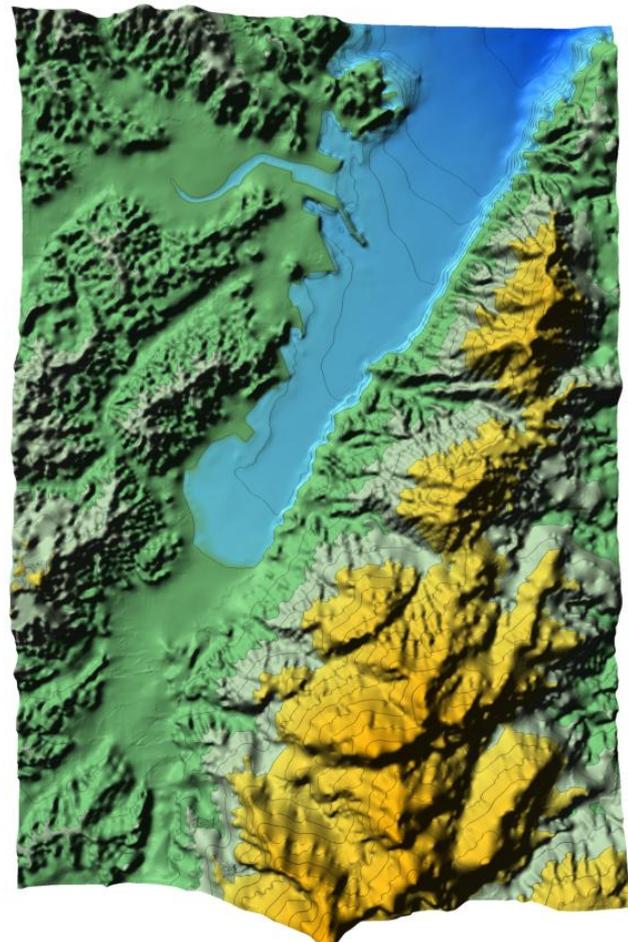
**Новые задачи –  
можно ли  
обойтись 1D  
моделированием?**



**1D (red) vs 2D (blue)**



**Новые задачи –  
можно ли  
обойтись 1D  
моделированием?**



## Новые задачи – Бухта Коборинаи

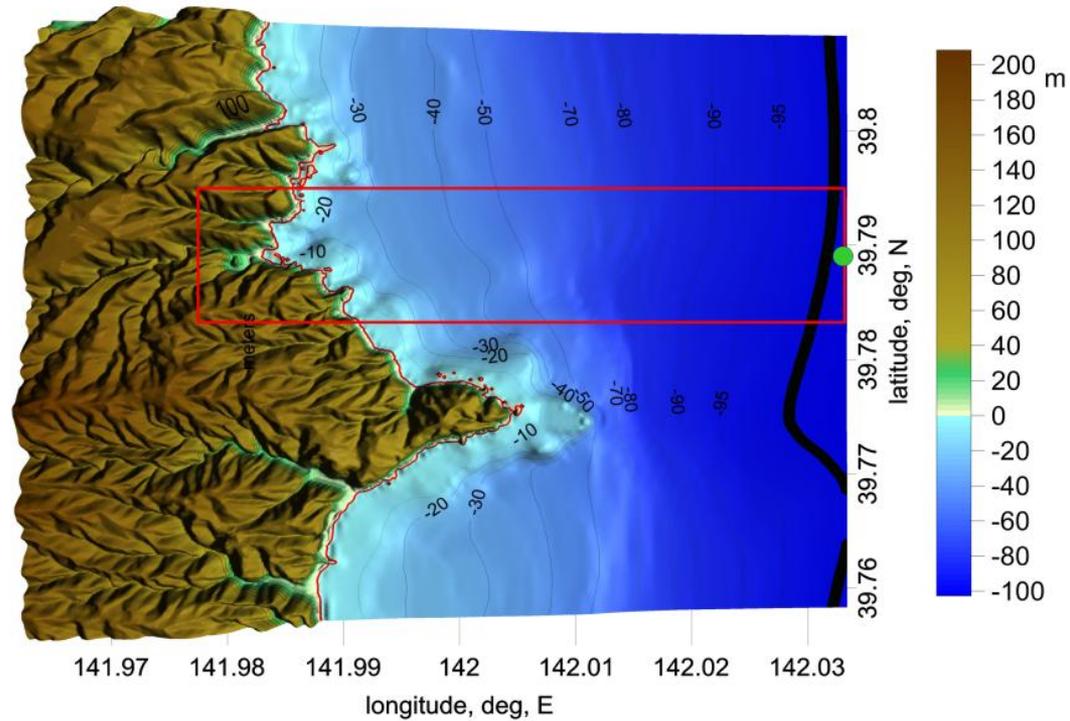
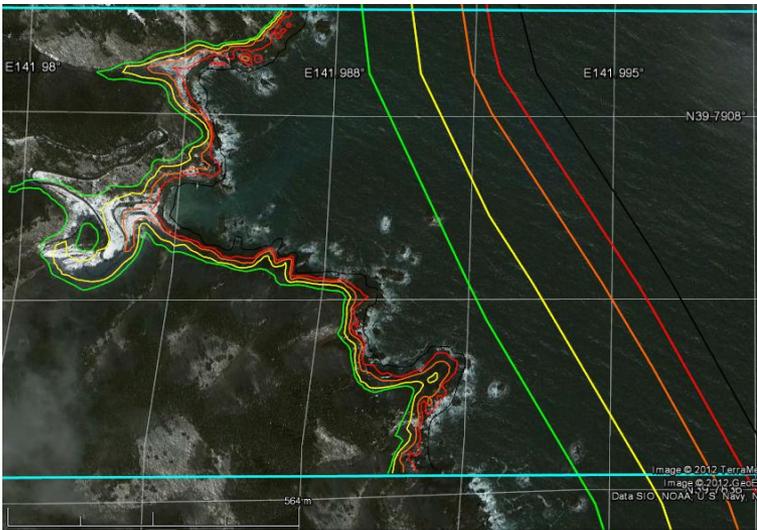
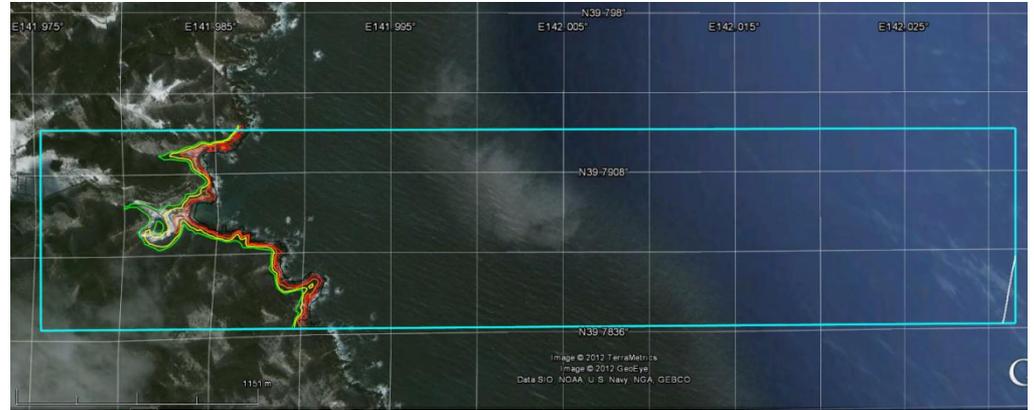
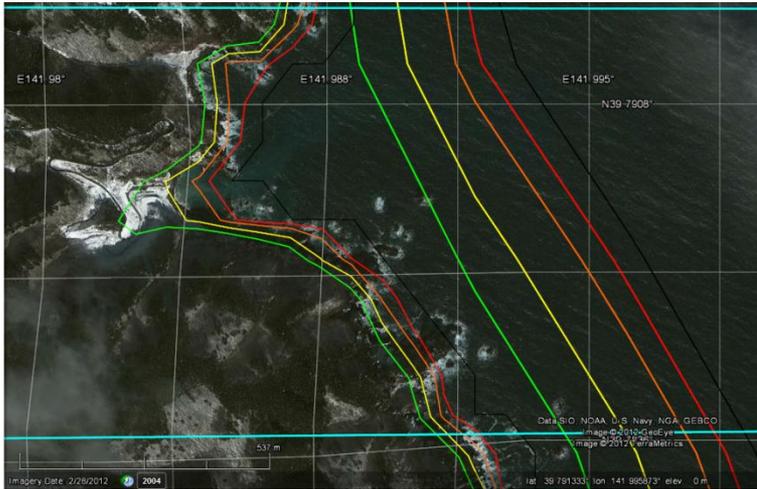


Бухта Коборинаи задолго  
до японского мега-цунами  
(20 июля 2009 г.)

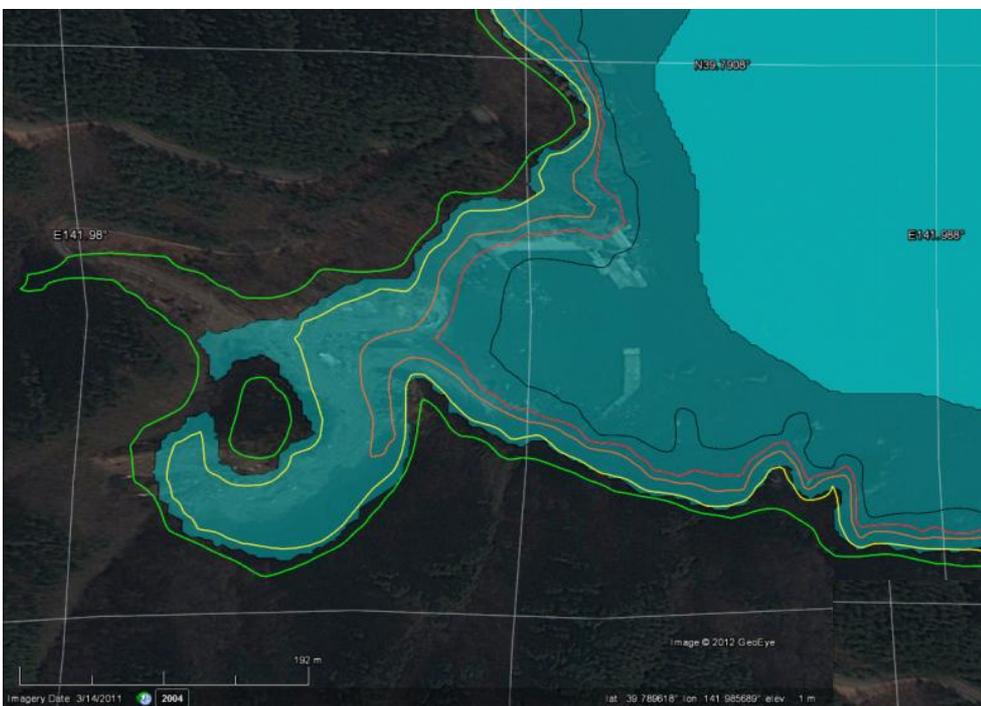


Бухта Коборинаи. Высота заплеска 37.9 м.  
Место гибели трех пожарников.  
Фото В.Гусякова (22.02.2012).

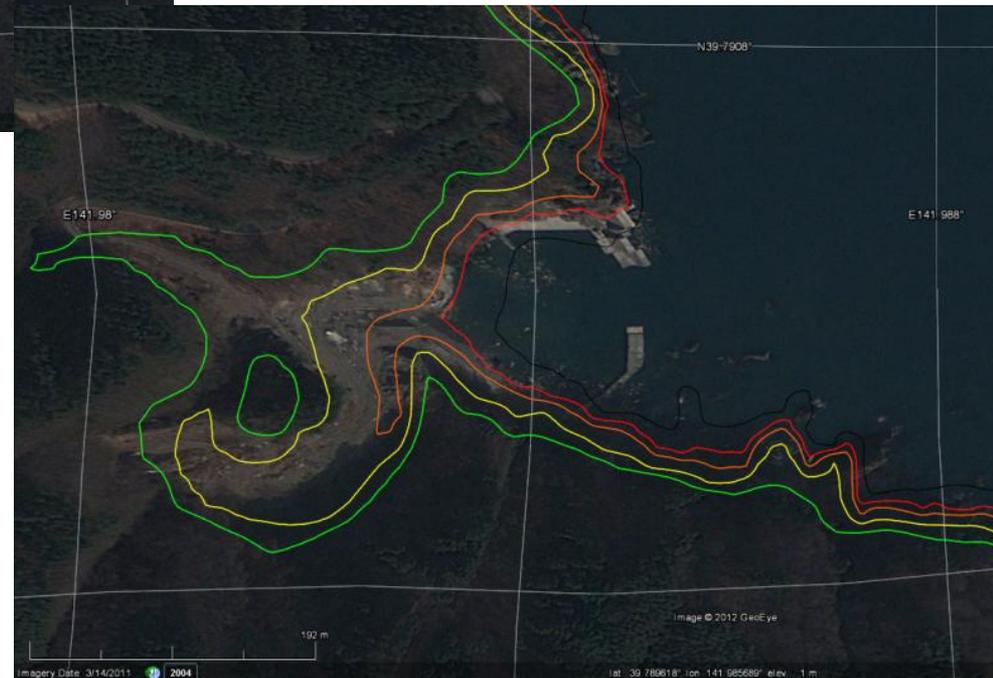
# Новые задачи – Бухта Коборина



# Новые задачи – Бухта Коборинаи

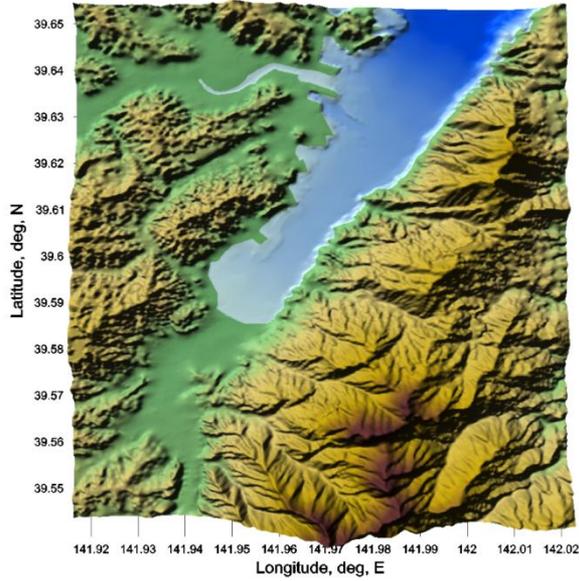


Бухта Коборинаи сразу после японского  
мега-цунами (14 марта 2011 г.)

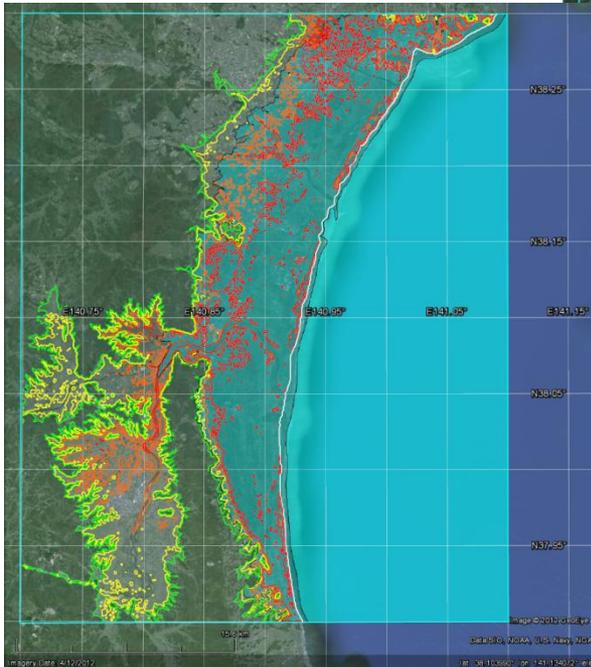


Бухта Коборинаи сразу после японского  
мега-цунами (14 марта 2011 г.)

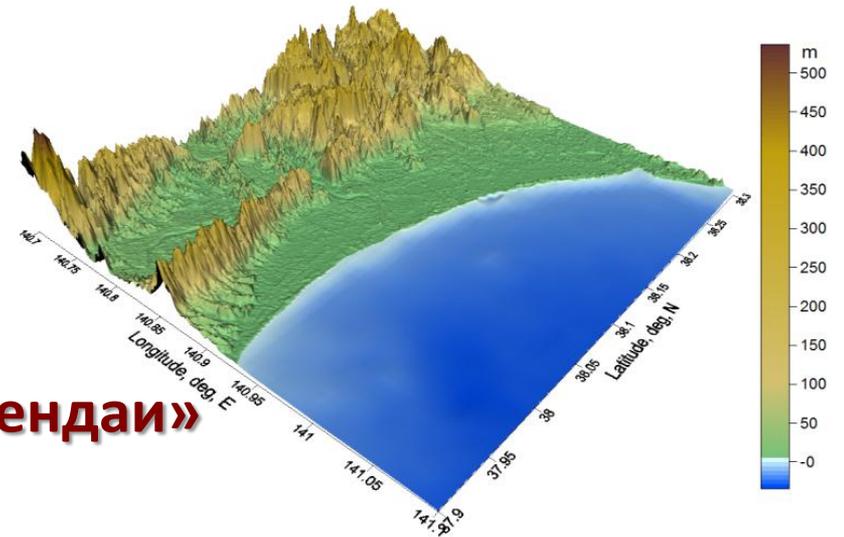
# Бухта «Мияко»



# Новые задачи



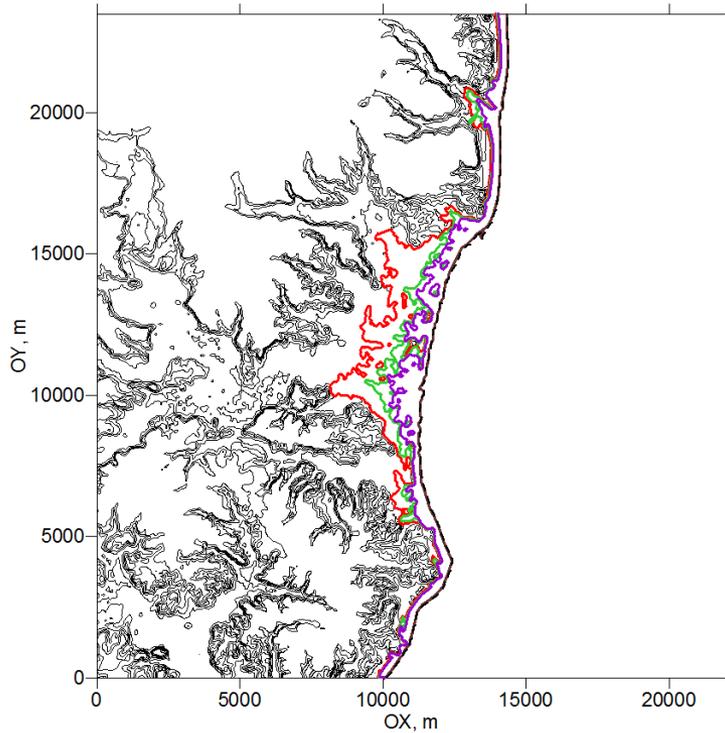
# Район «Сендаи»



# Новые задачи: зависимость от трения

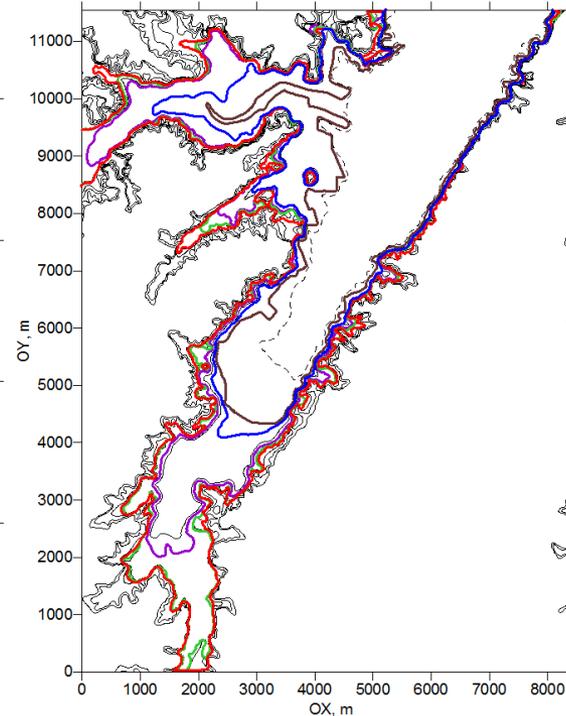
красная -  $n=0.000$   
зеленая -  $n=0.001$   
фиолетовая -  $n=0.002$   
синяя -  $n=0.005$ .  
Коричневая -  $z=0$ ,

## Район «Иваки»

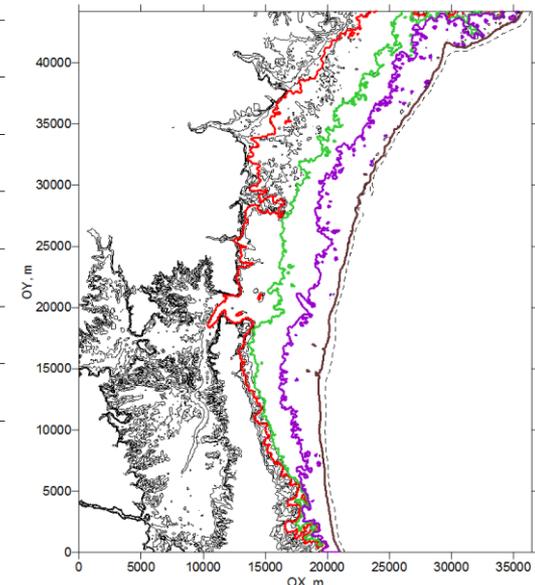


П у н к т и р -  $z \approx -4.9$  (начальная линия уреза).  
Изолинии суши - 10, 20, 30, 40 и 50 м.

## Бухта «Мияко»



## Район «Сендай»

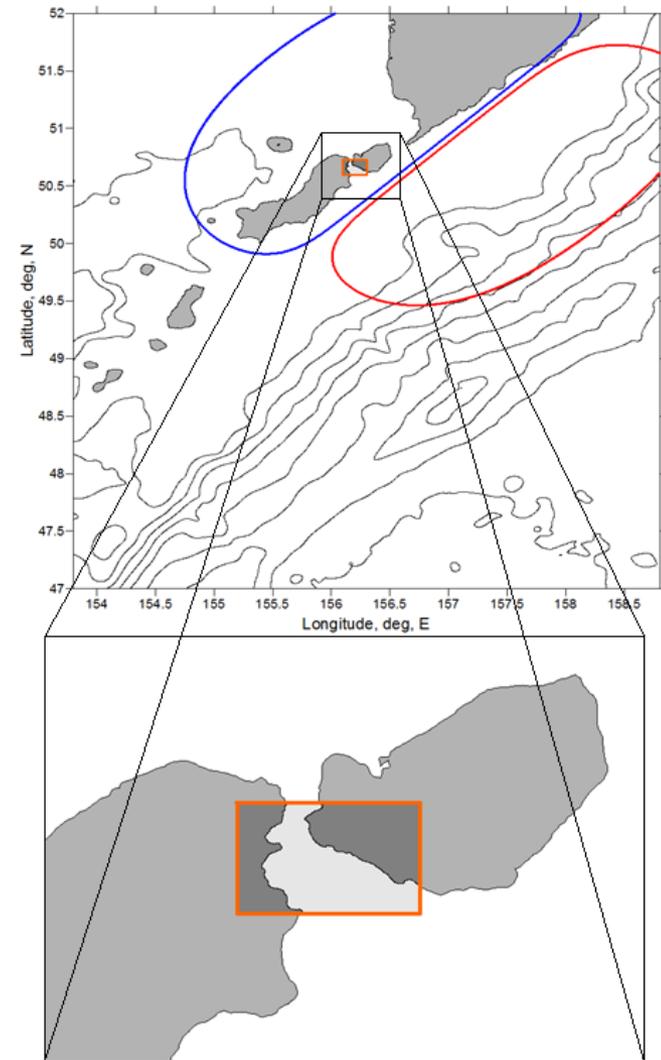
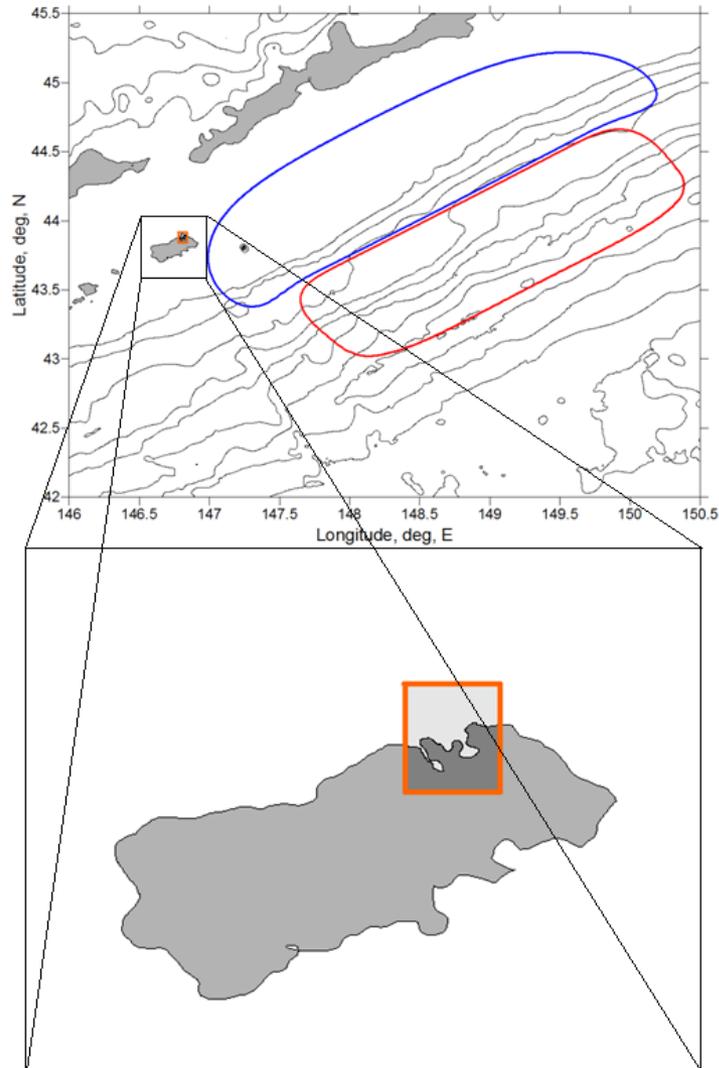


富嶽三十六景 神奈川沖  
波裏

丁母の島一草

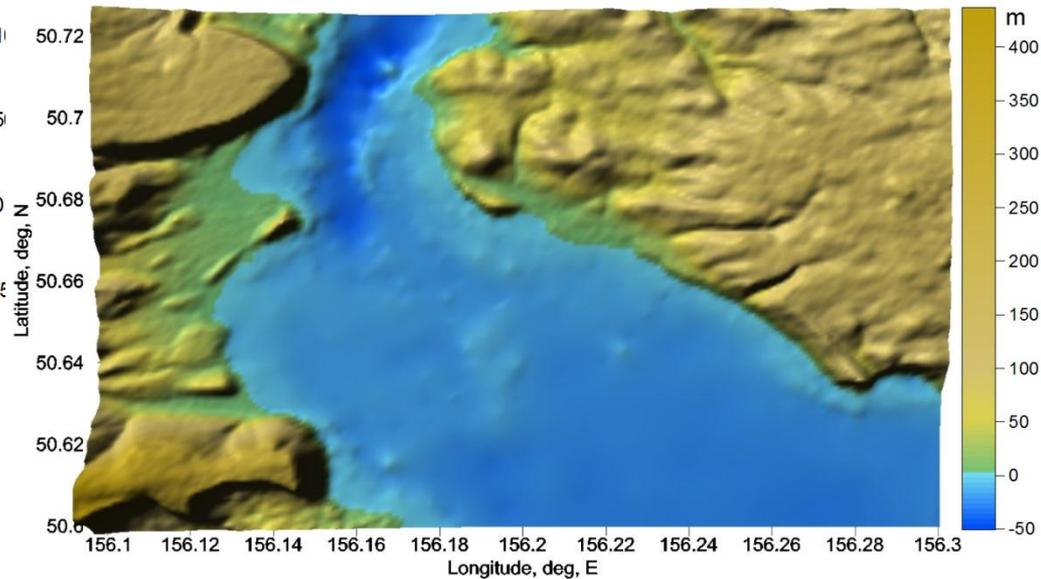
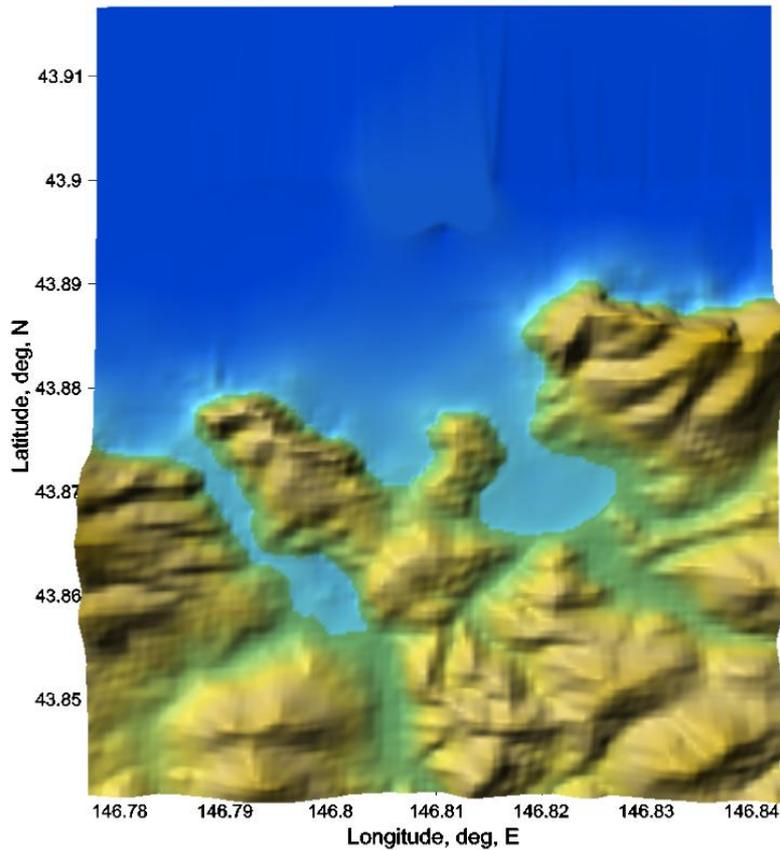


# Расчетные области



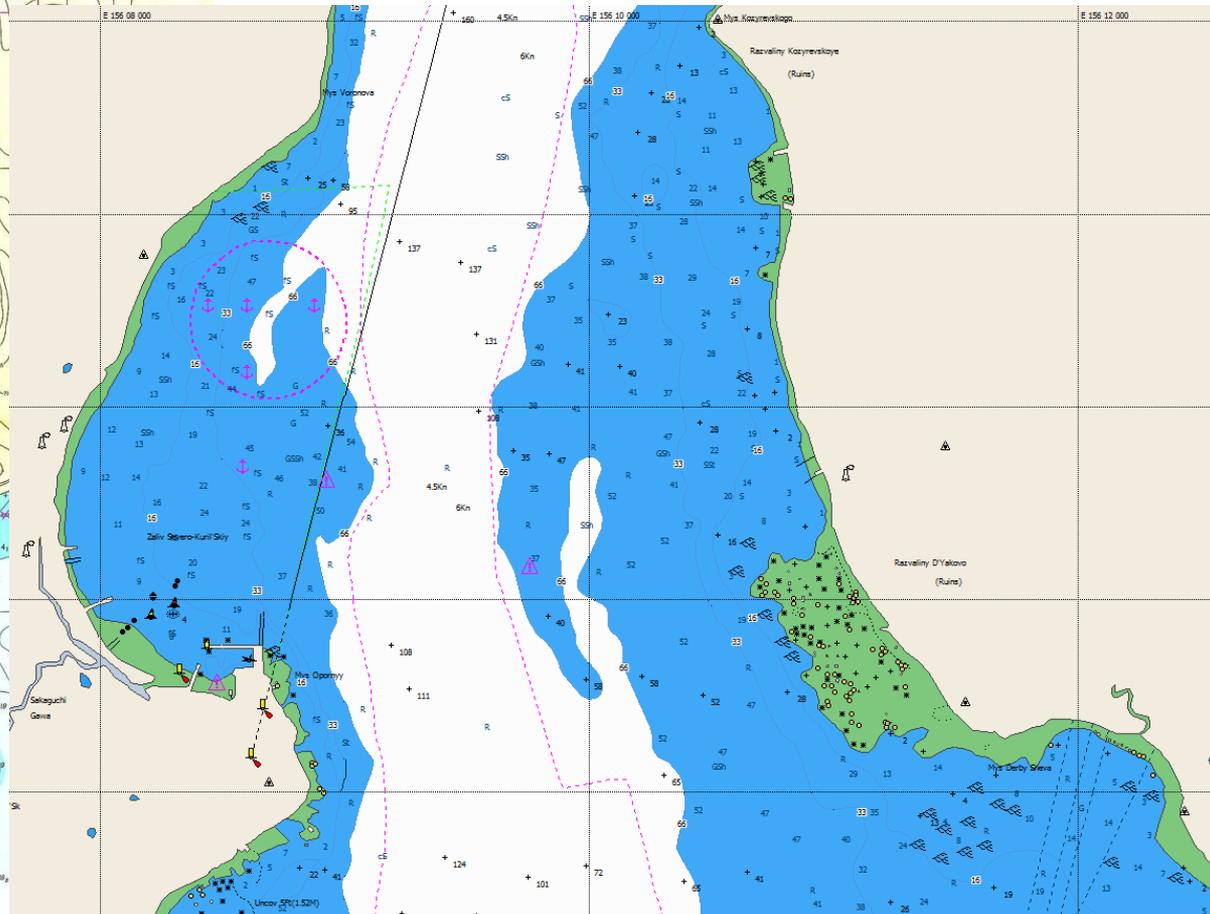
# Рельефы расчетных областей

Детальные рельефы батиметрии и топографии для расчета наката построены на основе данных SRTM-3sec для суши и результатах оцифровки доступных изображений морских карт.

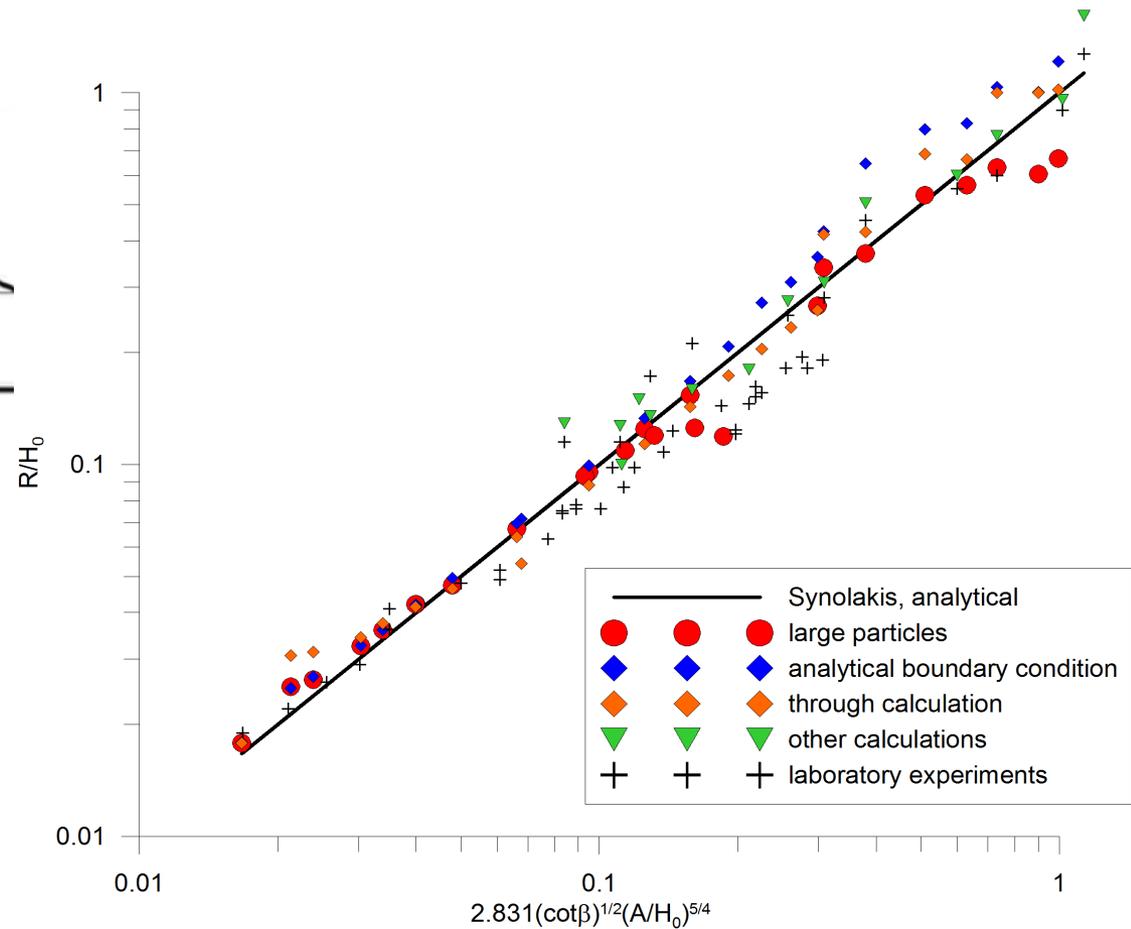
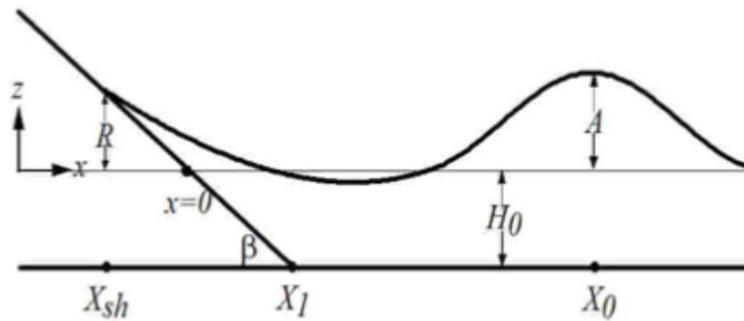




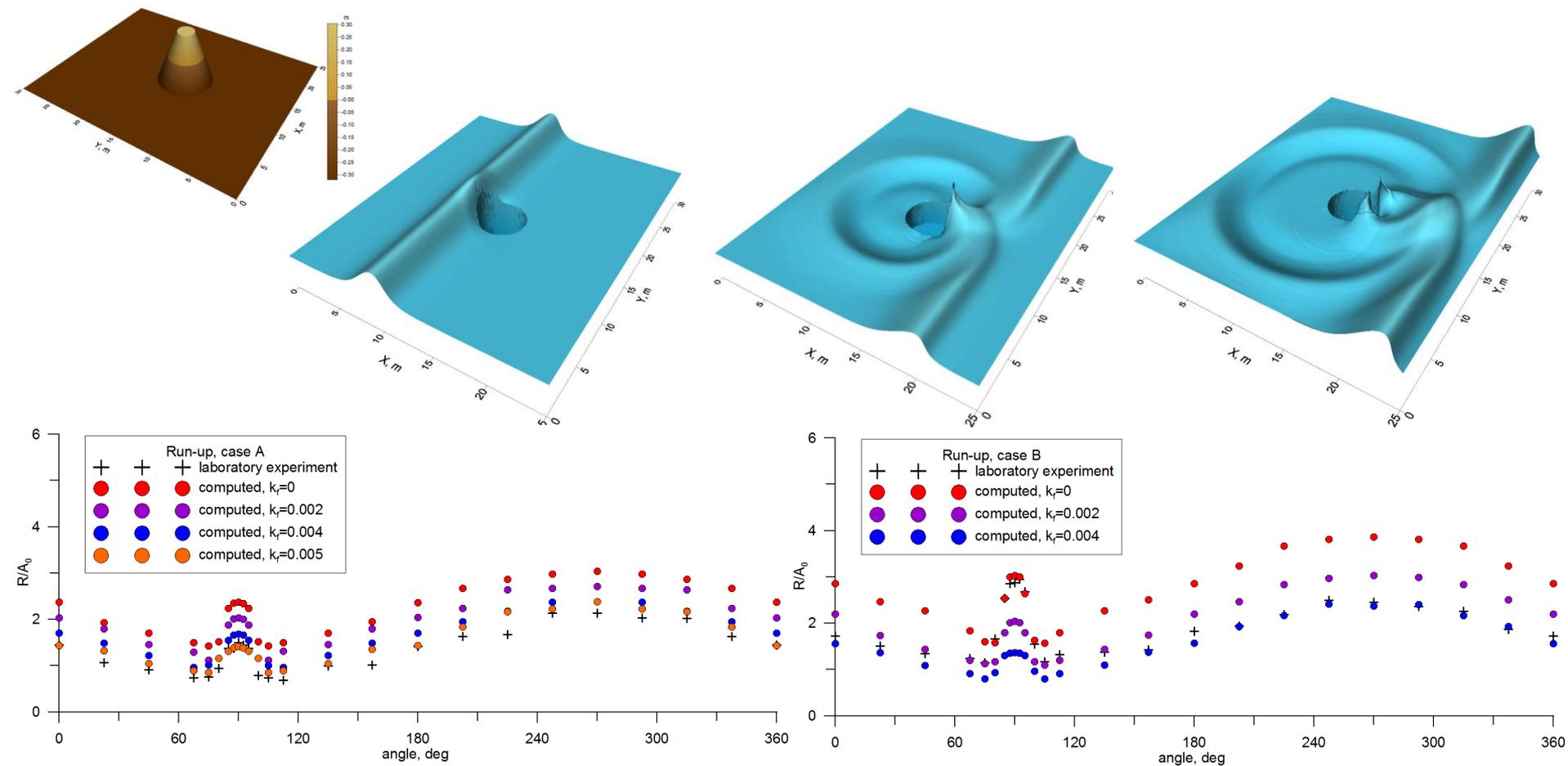
# Морские карты: Северо-Курильск



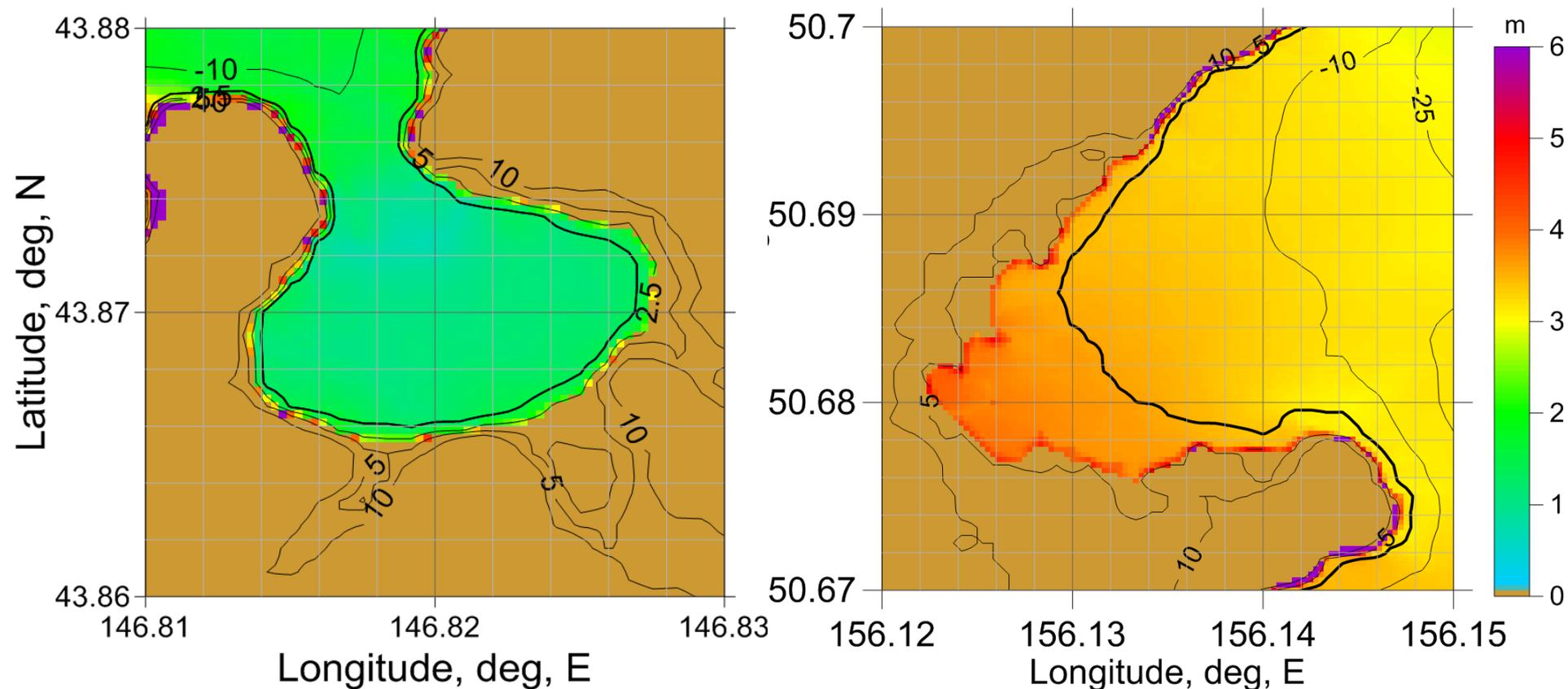
# Тестирование численного метода: натекание уединенной волны на откос



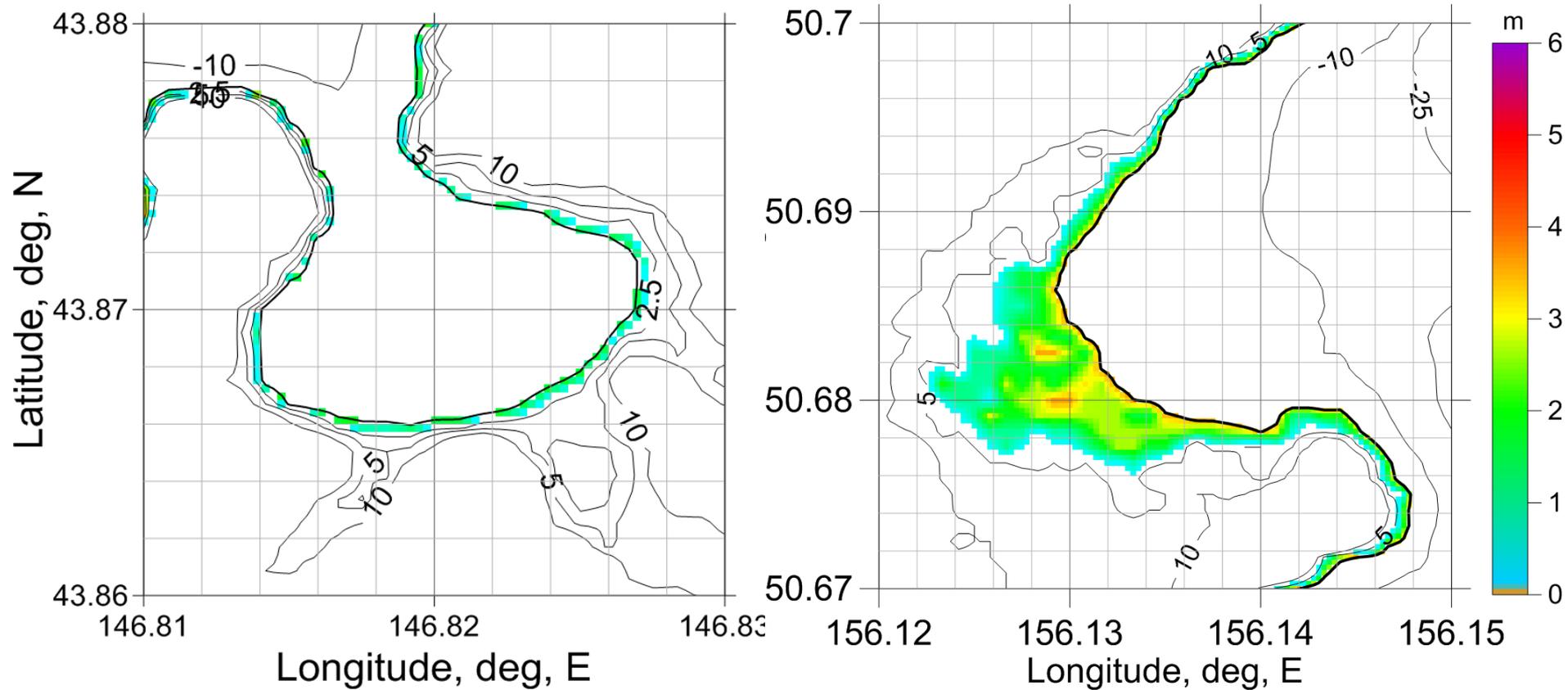
# Тестирование численного метода: обтекание конического острова



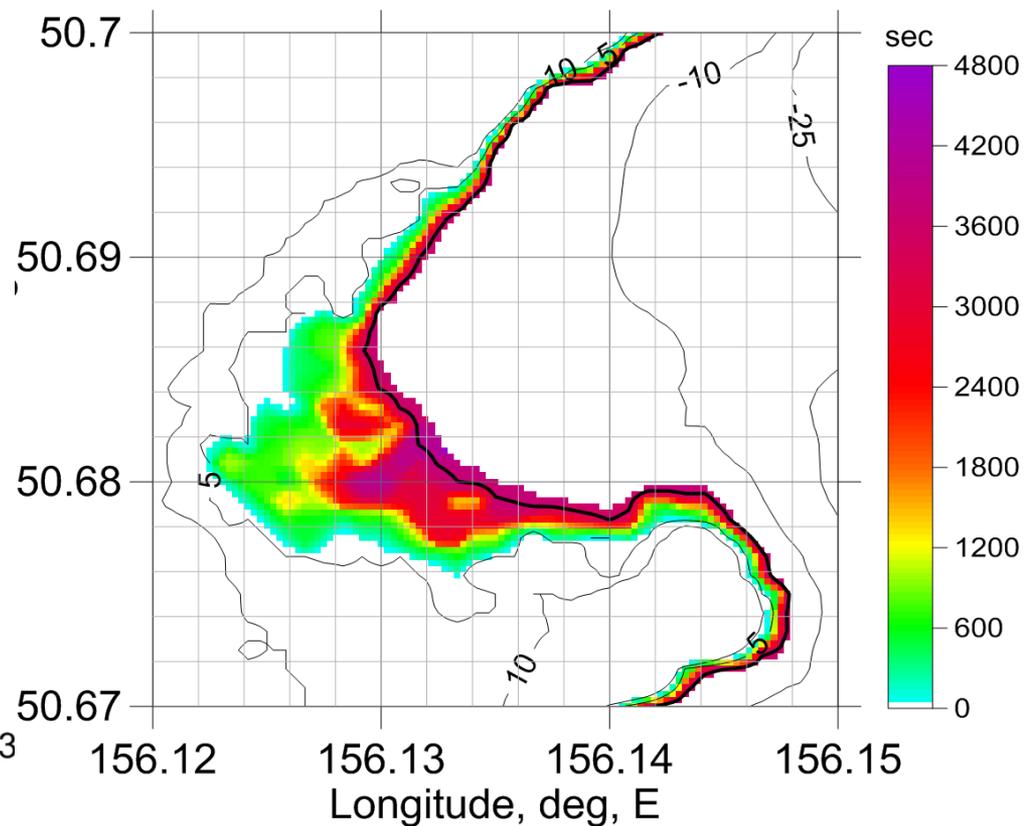
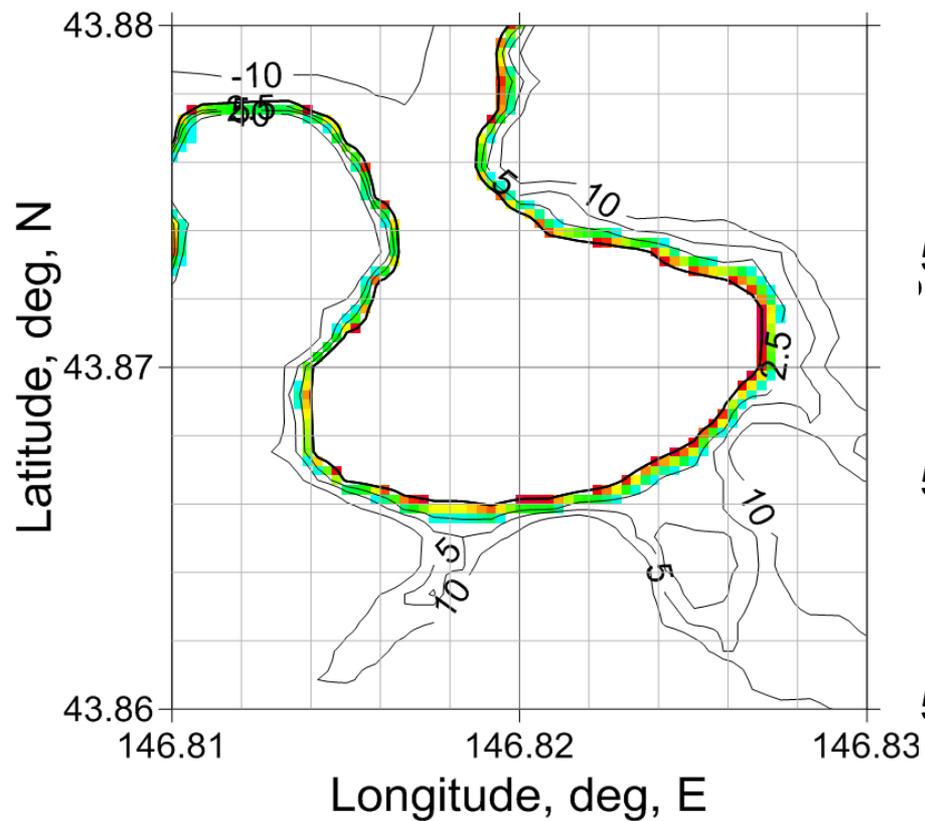
# Распределение максимальных уровней свободной поверхности



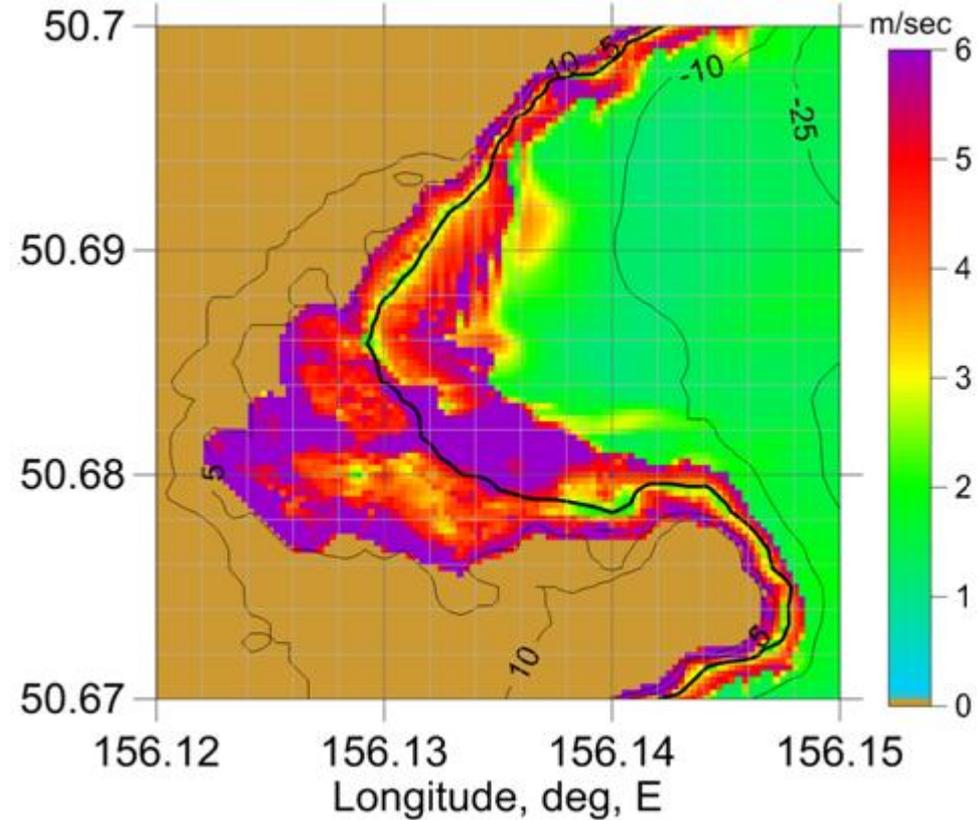
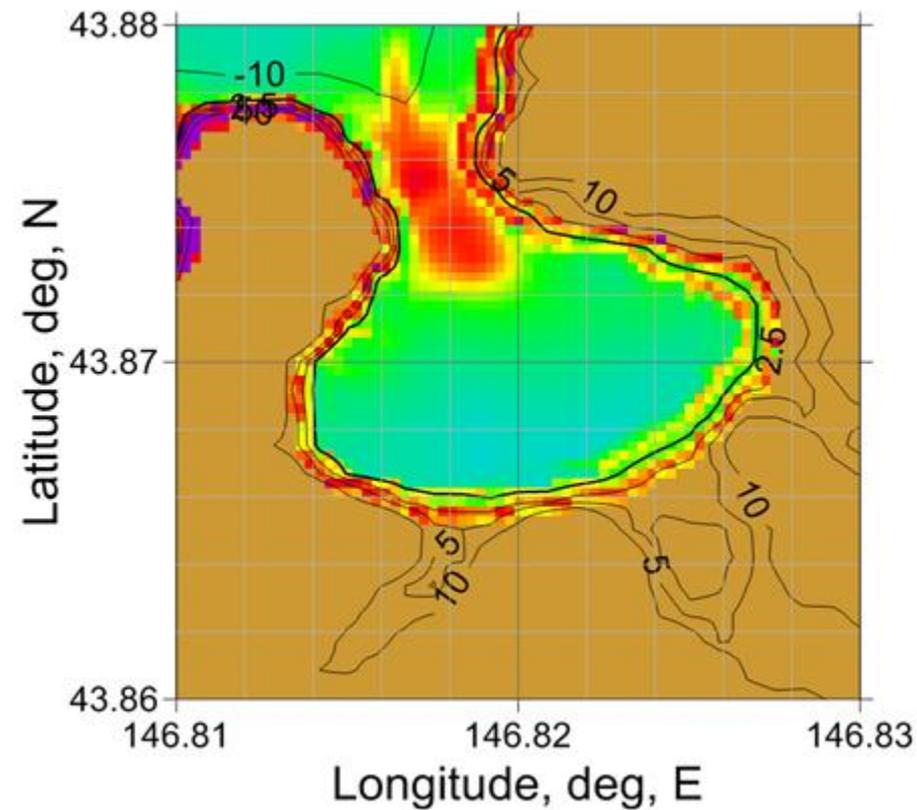
# Распределение максимальных глубин затопления



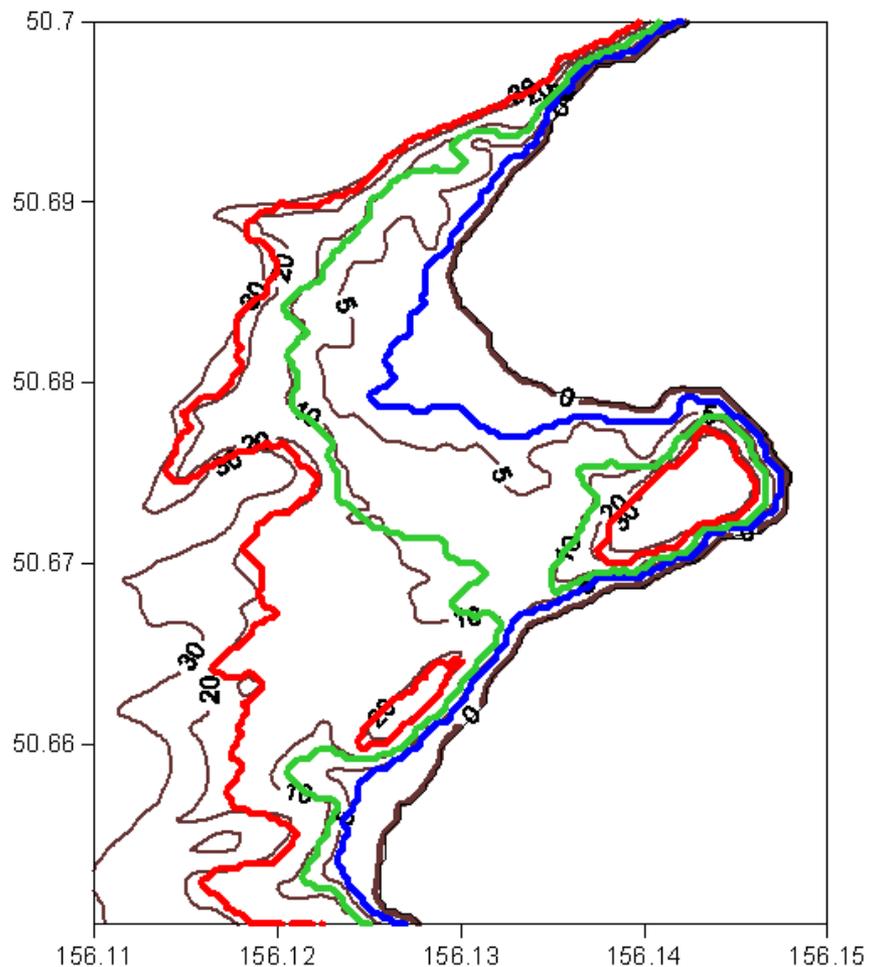
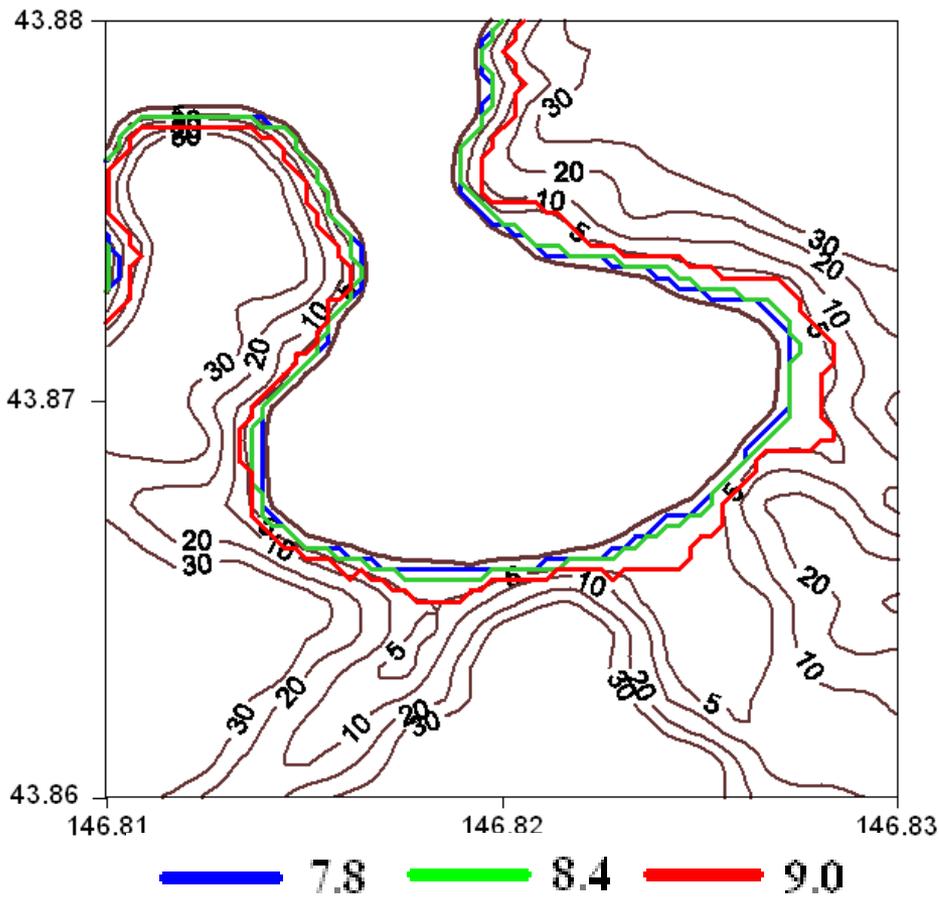
# Распределение продолжительности затопления



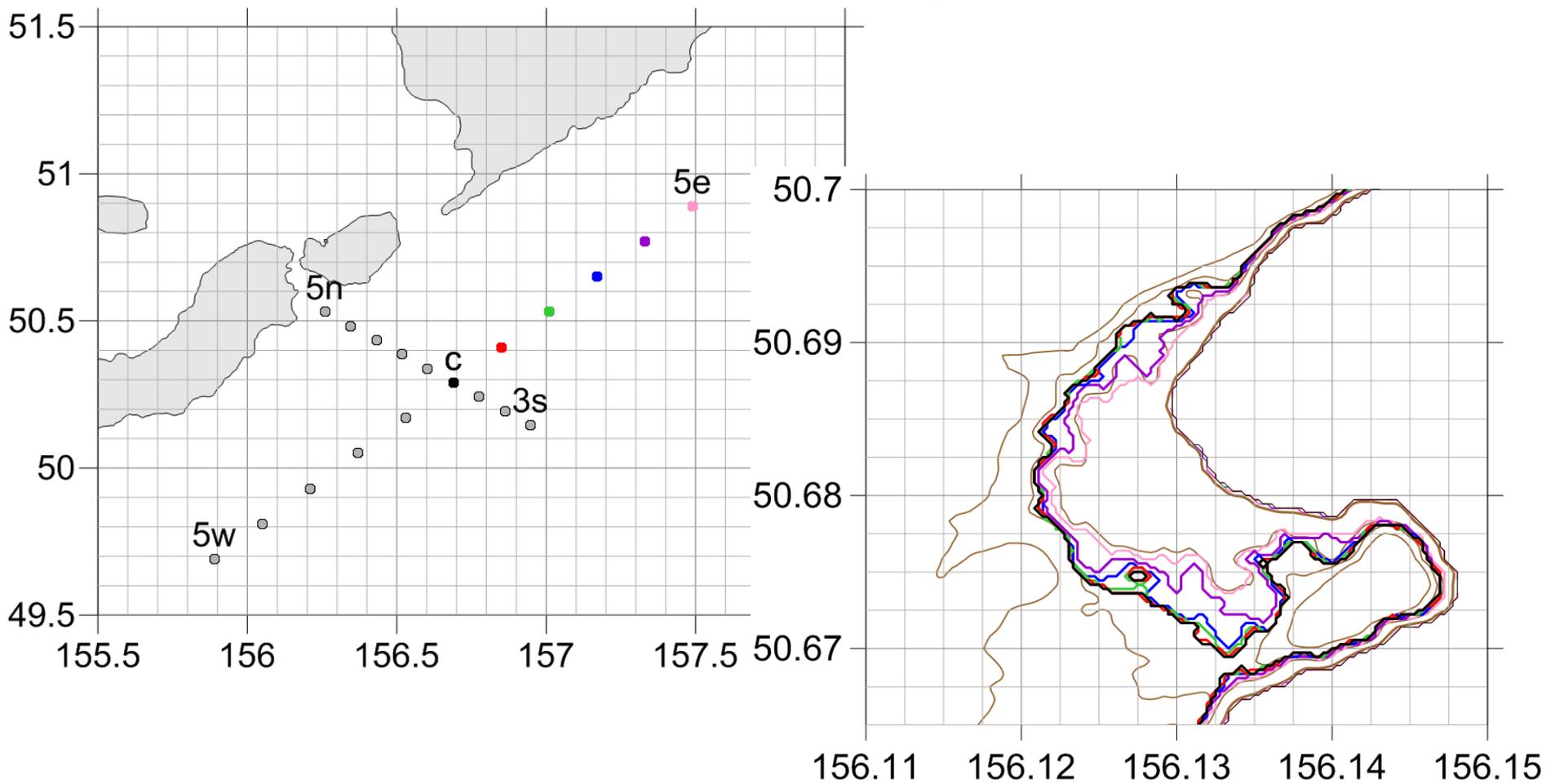
# Распределение максимальных значений модулей скорости течений



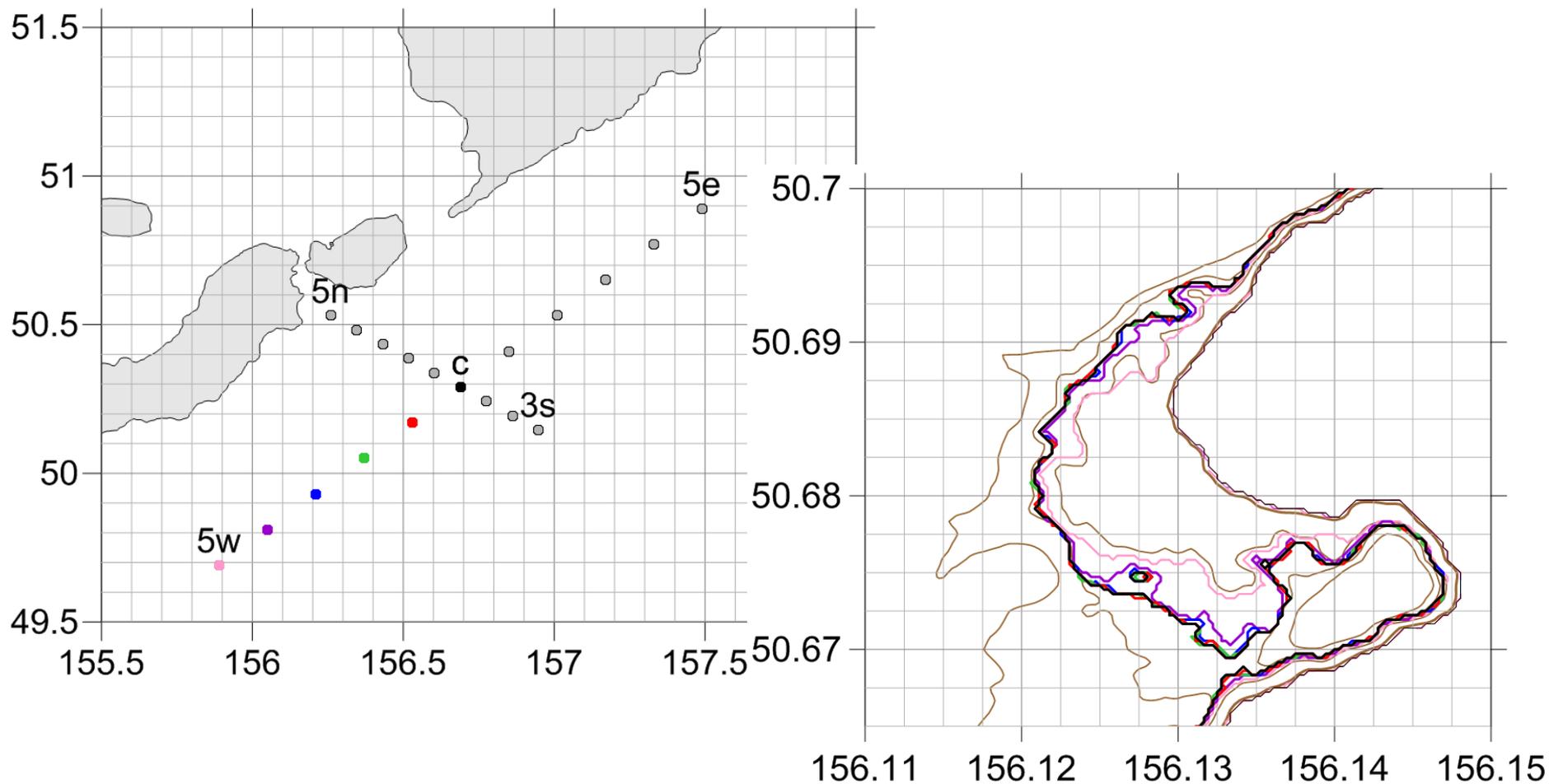
# Сравнение зон заливания для источников разной магнитуды



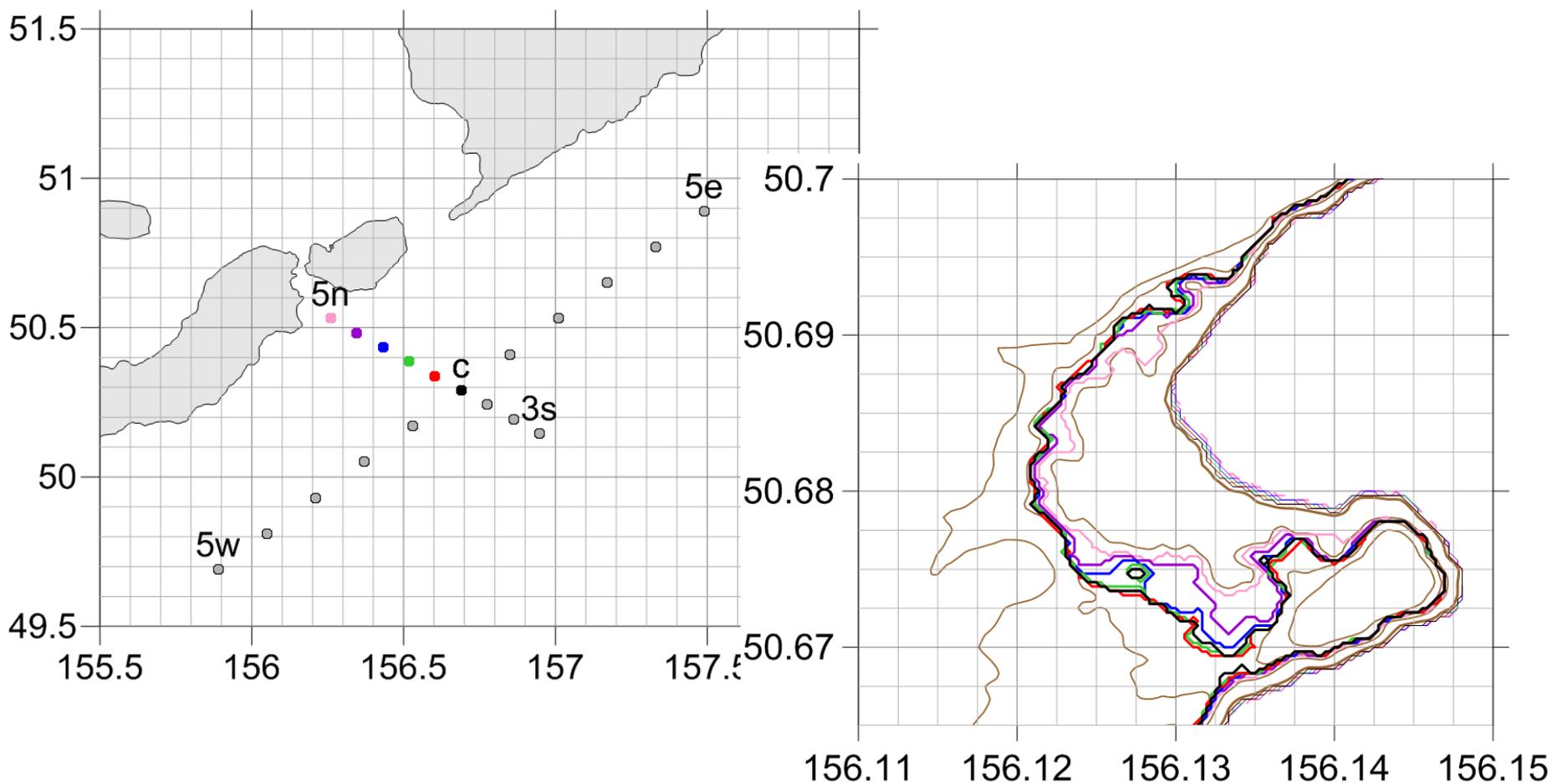
# Сравнение зон заливания при смещении эпицентра очага «К ВОСТОКУ»



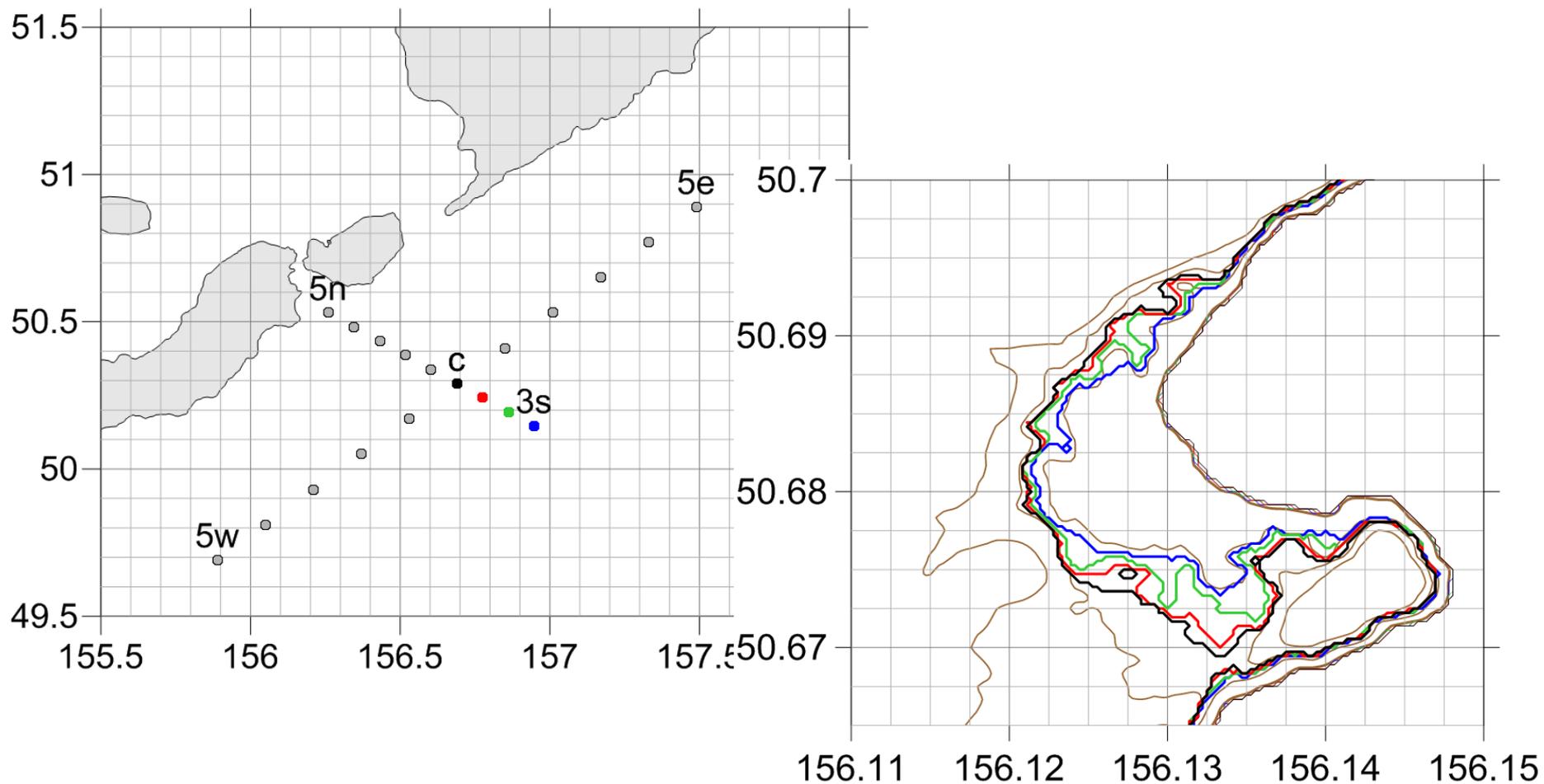
# Сравнение зон заливания при смещении эпицентра очага «к западу»



# Сравнение зон заливания при смещении эпицентра очага «к северу»



# Сравнение зон заливания при смещении эпицентра очага «К югу»



富嶽三十六景 神奈川沖  
波裏

江戸の海



В используемой в настоящее время АИСПЦ базе данных результатов моделирования ИВТ СО РАН шаг «сетки» очагов (расстояние между эпицентрами) составляет:

7.8 – ~ 0.45 градуса в поперечном направлении и 1.5 градуса в продольном;

8.1 – ~ 0.7 градуса в поперечном направлении и 2 градуса в продольном;

8.4 – ~ 0.9 градуса в поперечном направлении и 3 градуса в продольном;

9.0 – ~ 6 градусов в продольном.

富嶽三十六景 神奈川沖  
波裏

江戸の海

