



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

Бейзель С.А.¹⁾, Гусяков В.К.²⁾, Рычков А.Д.¹⁾, Чубаров Л.Б.¹⁾, Шокин Ю.И.¹⁾

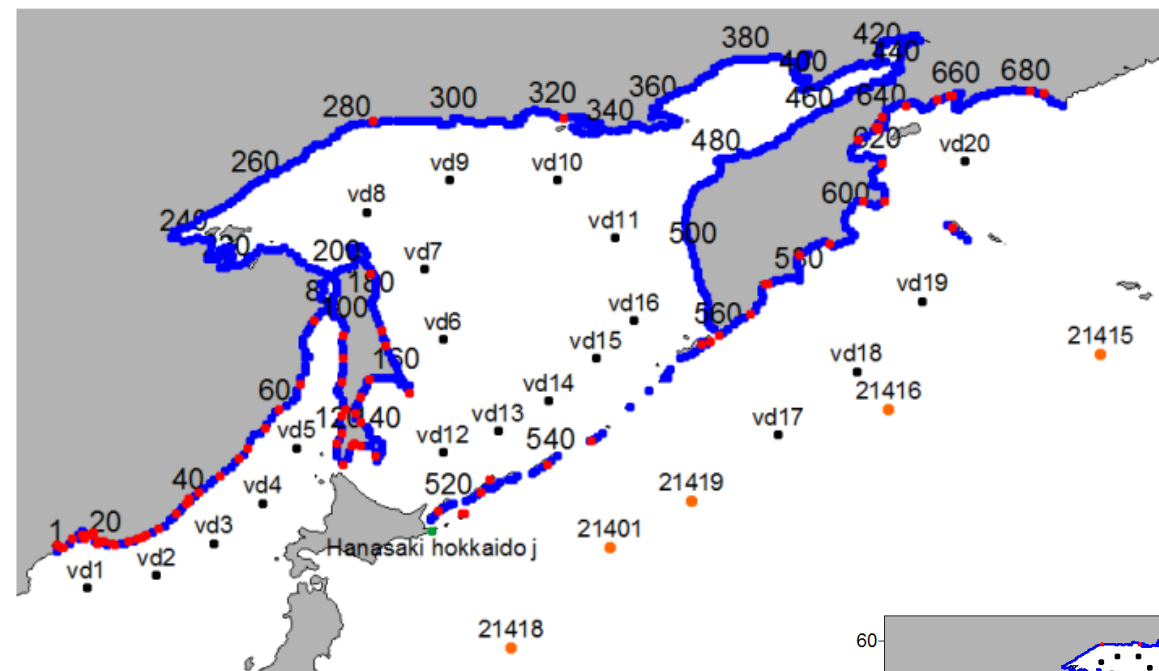
¹⁾Институт вычислительных технологий СО РАН

²⁾ Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН

Новосибирск, Россия

chubarov@ict.nsc.ru

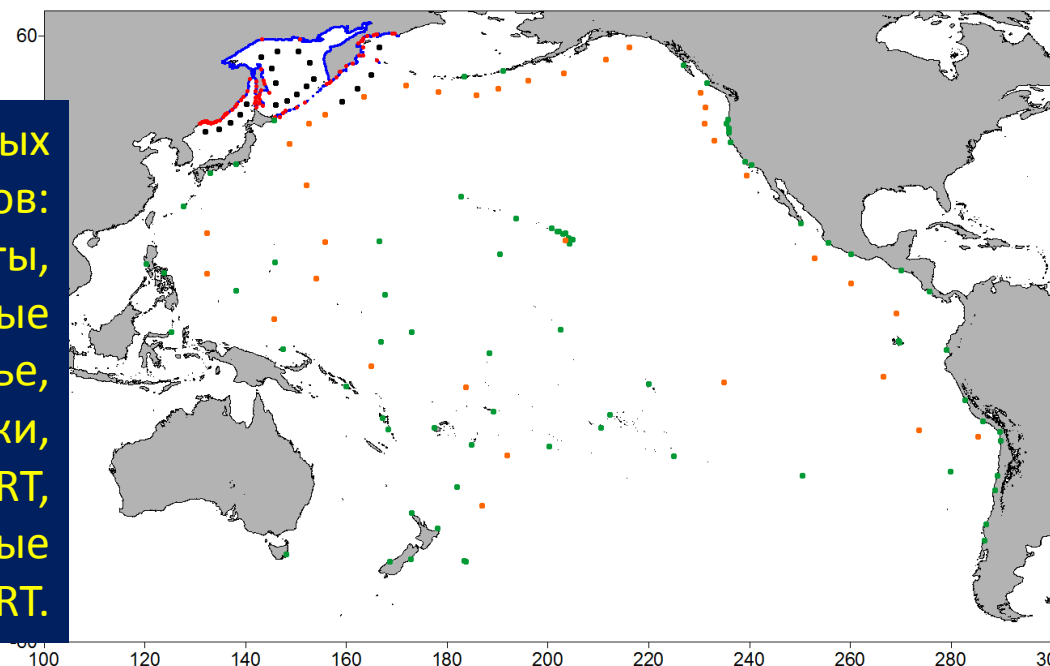
Традиционные «старые» задачи:

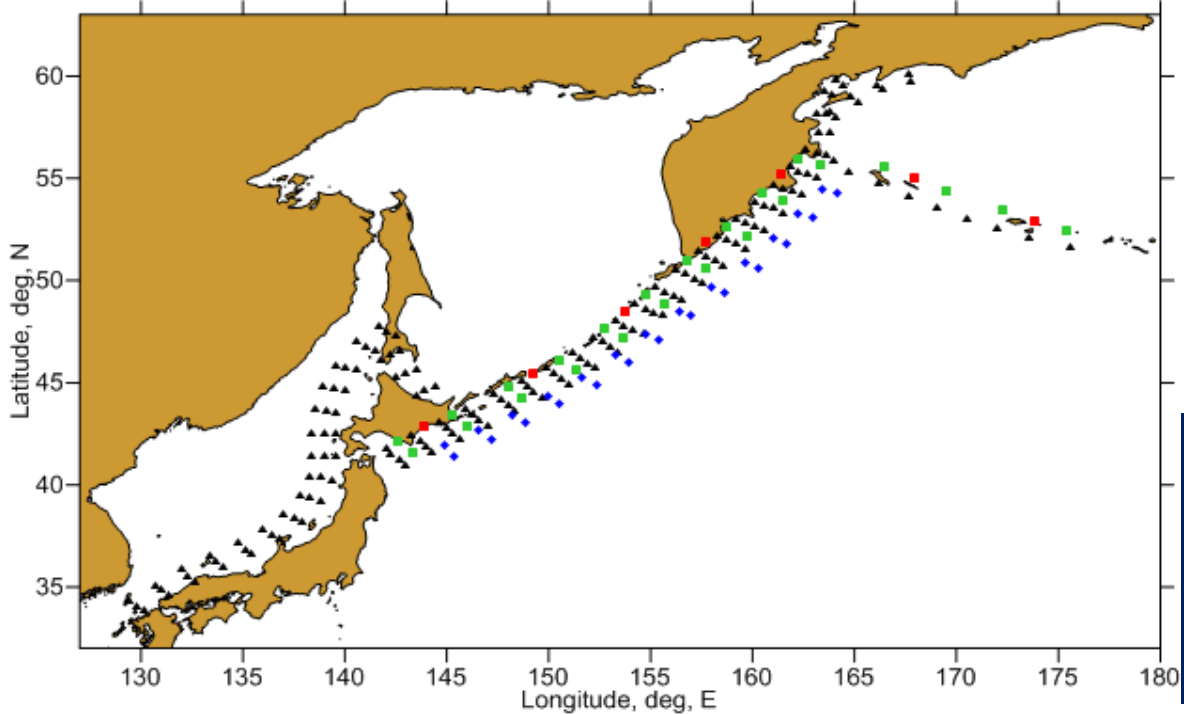


Установка виртуальных
мареографов

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.





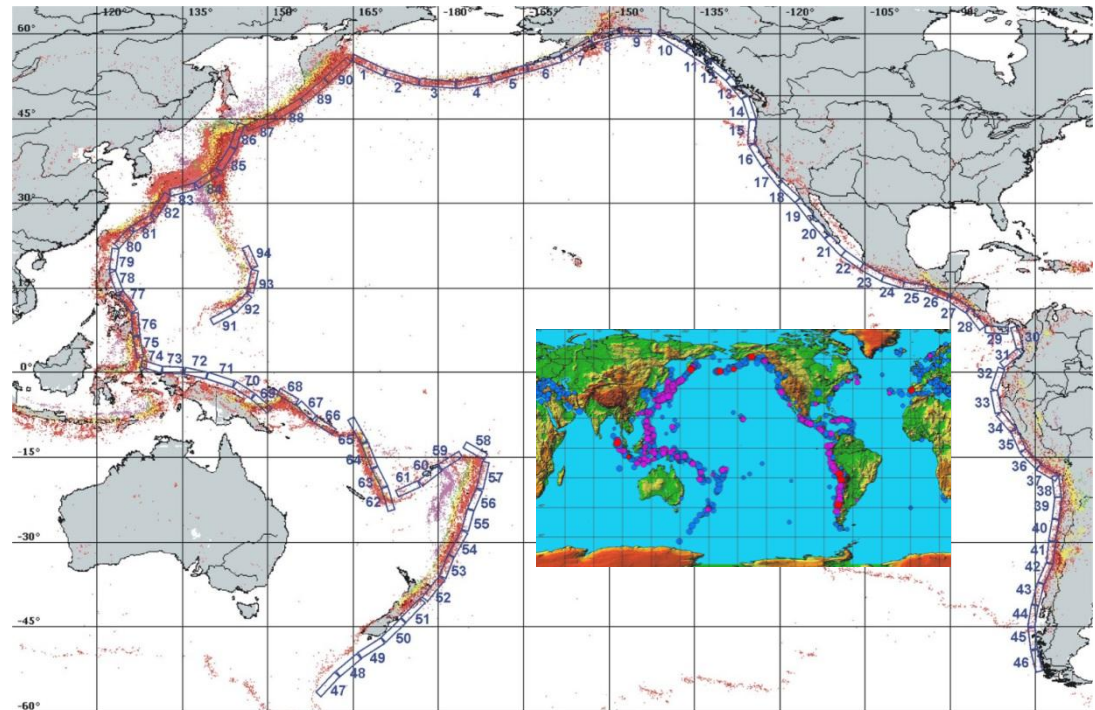
Ближние очаги:

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

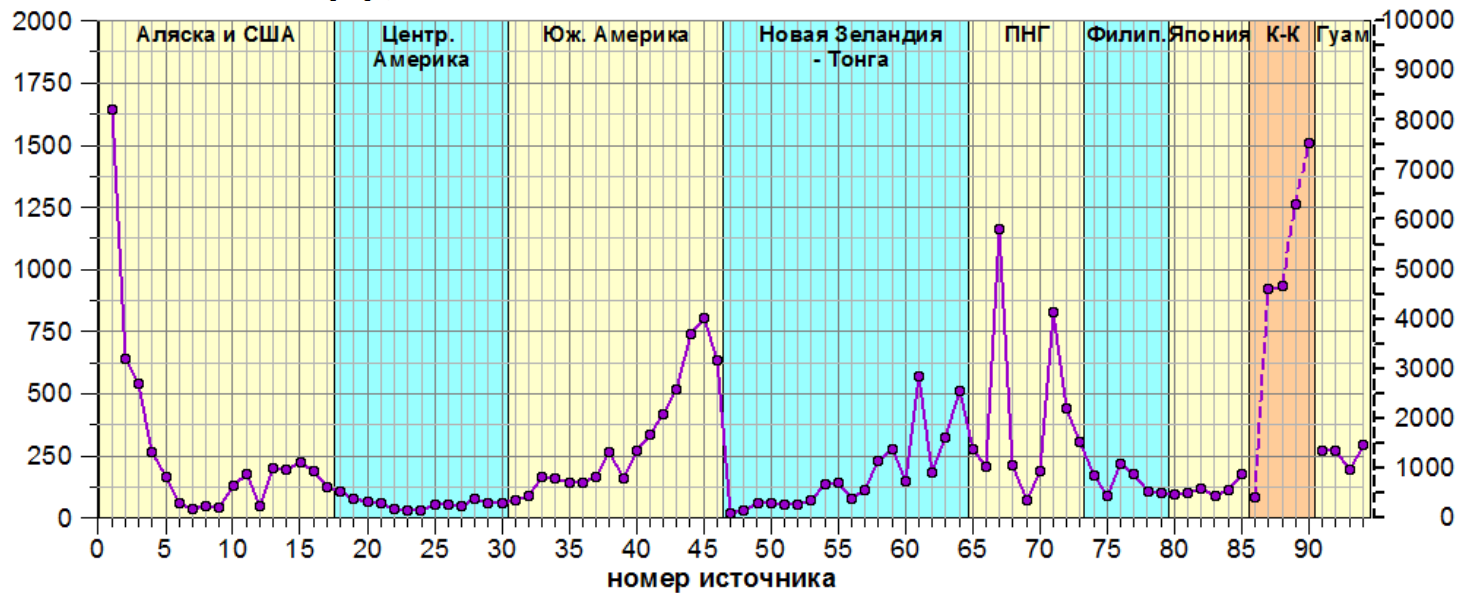
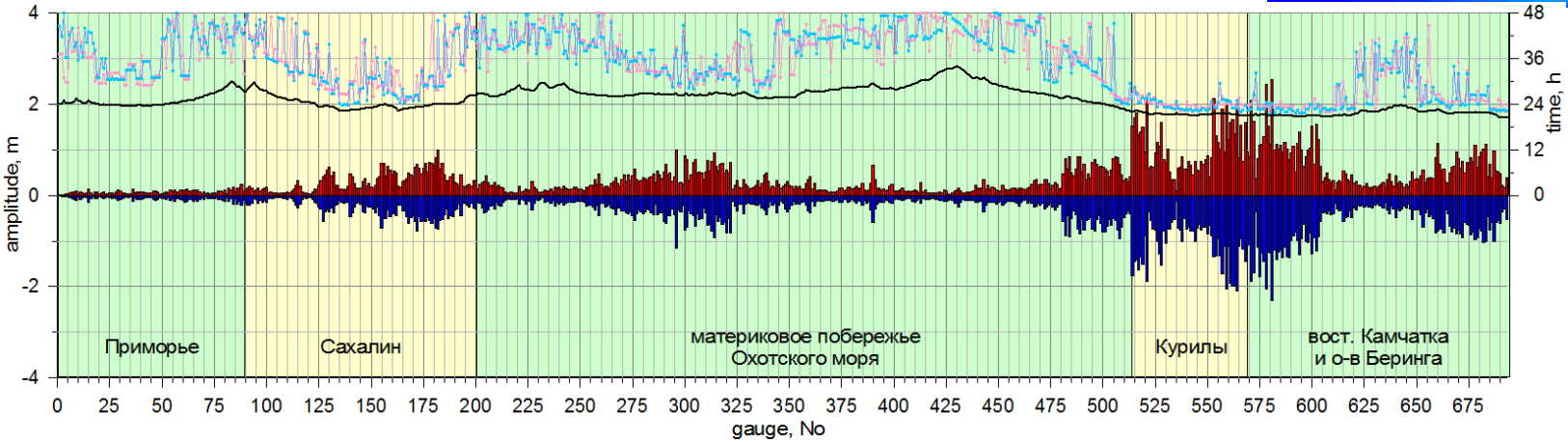
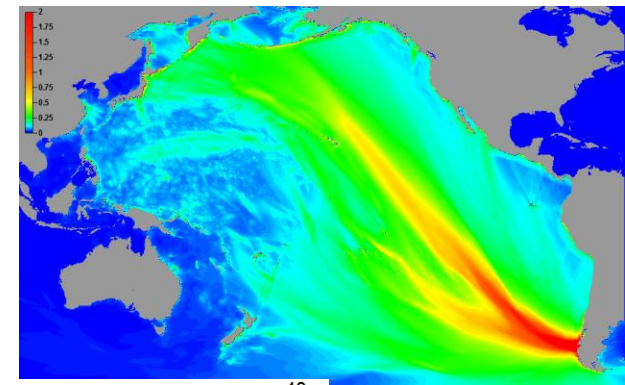
Удаленные очаги:

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:

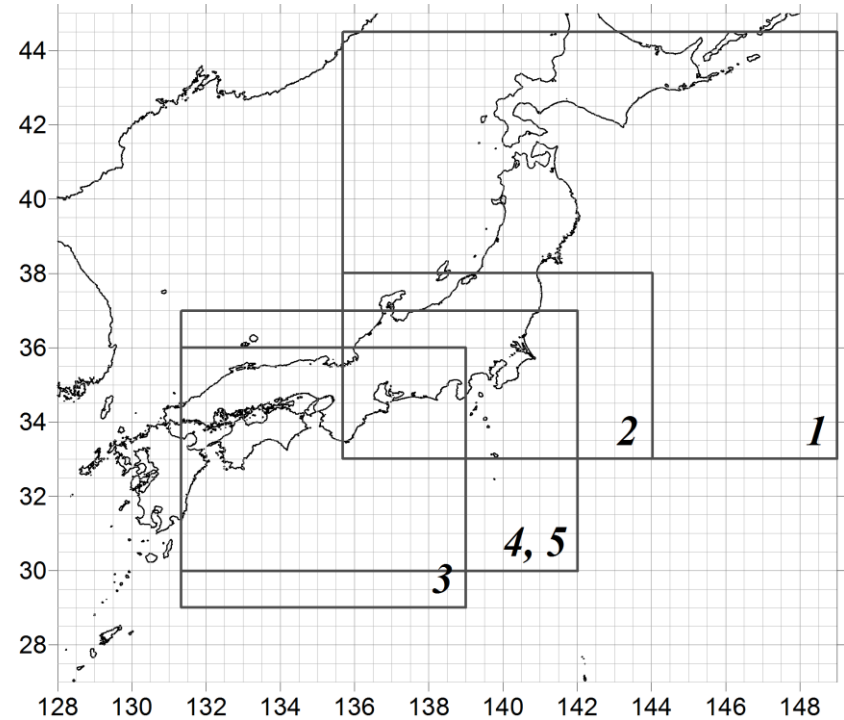
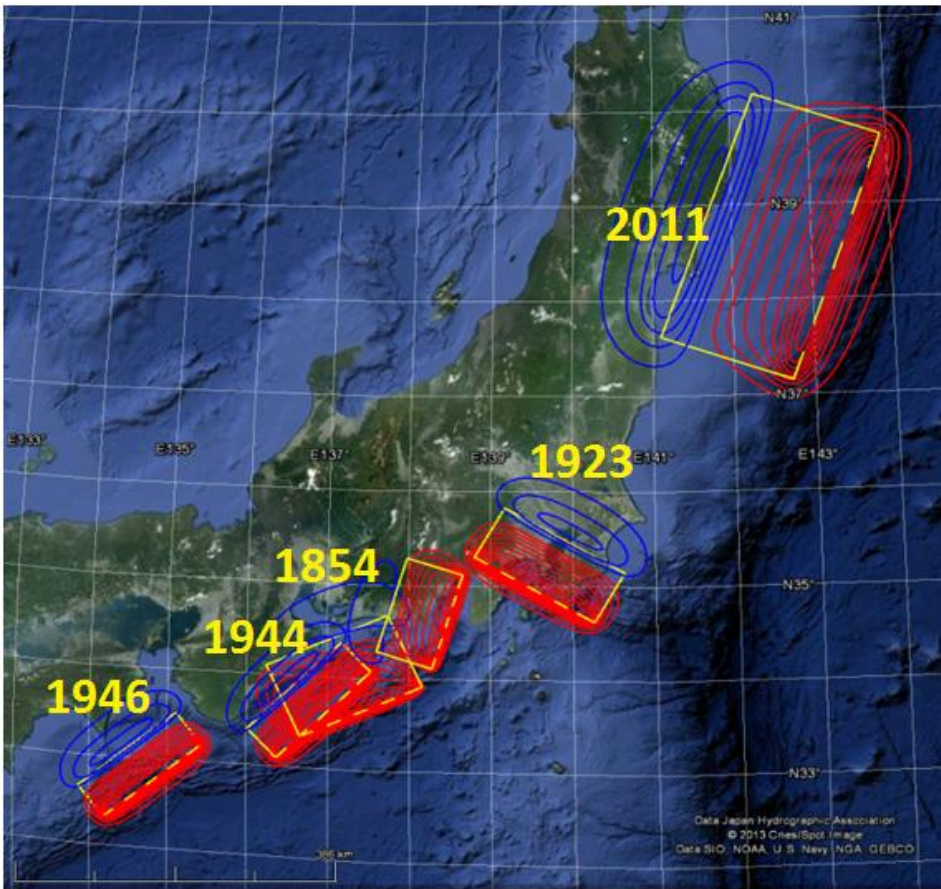


富嶽三十六景 神奈川沖
波裏

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	δ	λ	θ
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

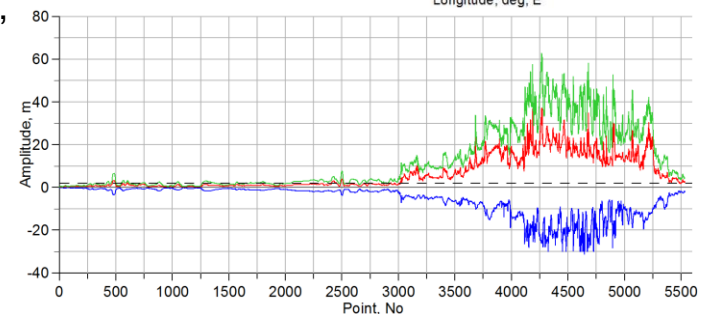
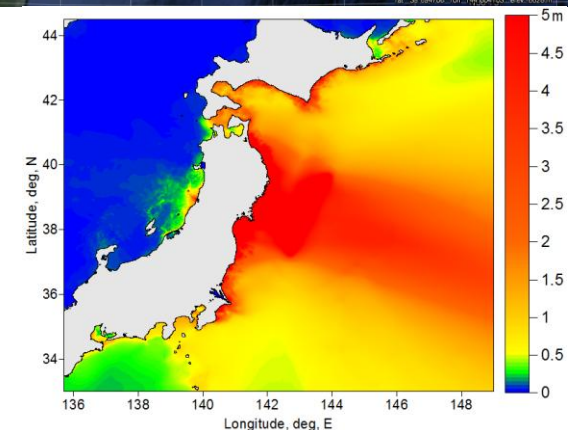
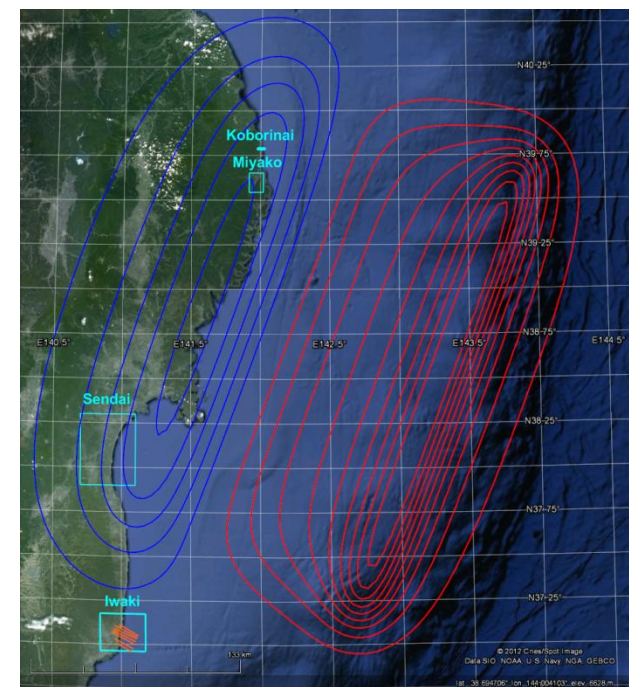
Землетрясение магнитудой $M_w=9.0$ произошло у тихоокеанского побережья Тохоку, Япония, в пятницу, 11 марта 2011 г. в 14:46:23 по местному времени (5:46:23 GMT). Это было землетрясение самой большой магнитуды из документированных в Японии и четвертое по величине в мире из инструментально зарегистрированных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

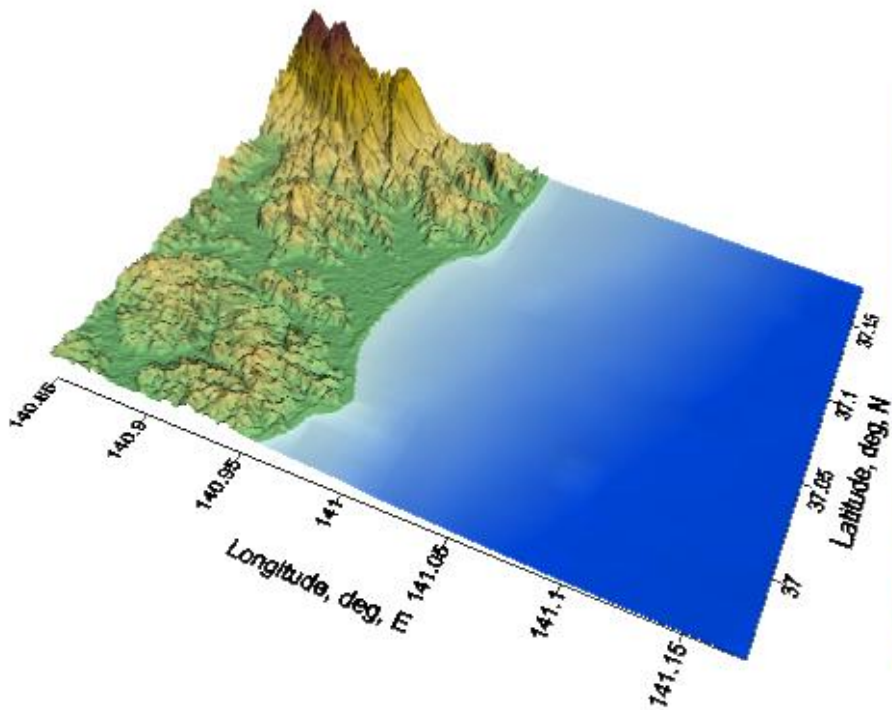
Было получено **5770** измерений высот заплесков и затопления (**34%** от общего количества данных с 2000 года до н.э.).

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.

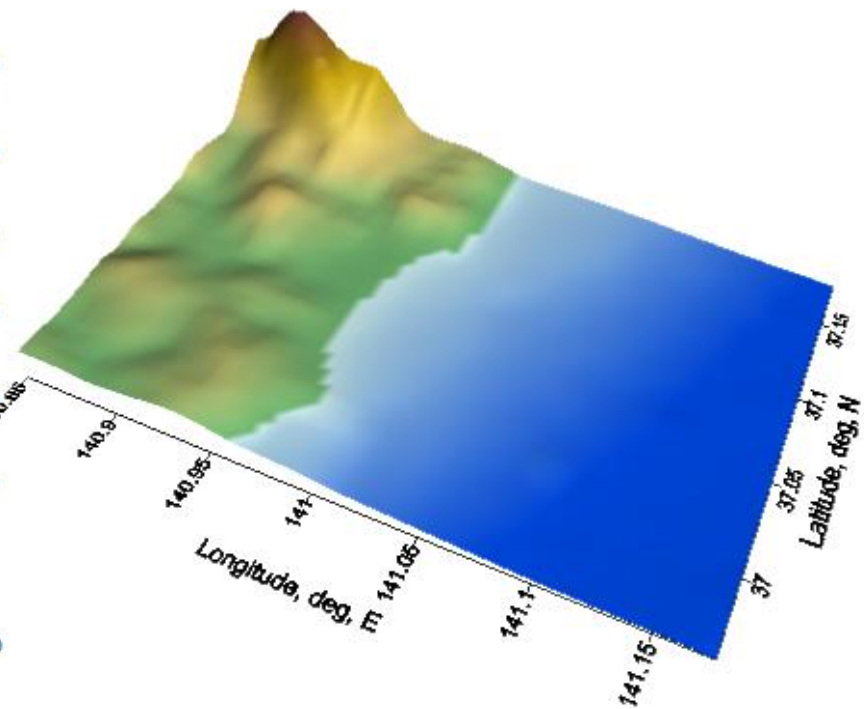
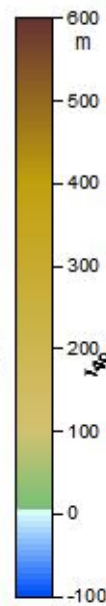
Максимальная глубина затопления 38.56 м измерена на небольшом острове, **максимальная высота затопления** на равнине Сендай составила **19.5 м**, а **средняя высота затопления** вблизи береговой линии здесь, по оценкам, составила **10 м**.



Новые задачи – проблема качественных цифровых рельефов дна и суши



DEM: SRTM-3sec (version 2.1)



DEM: GEBCO-30sec

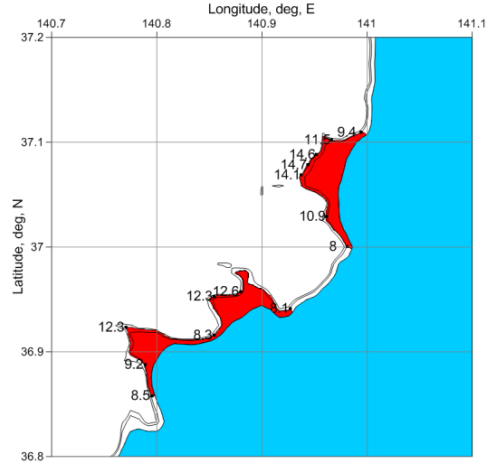
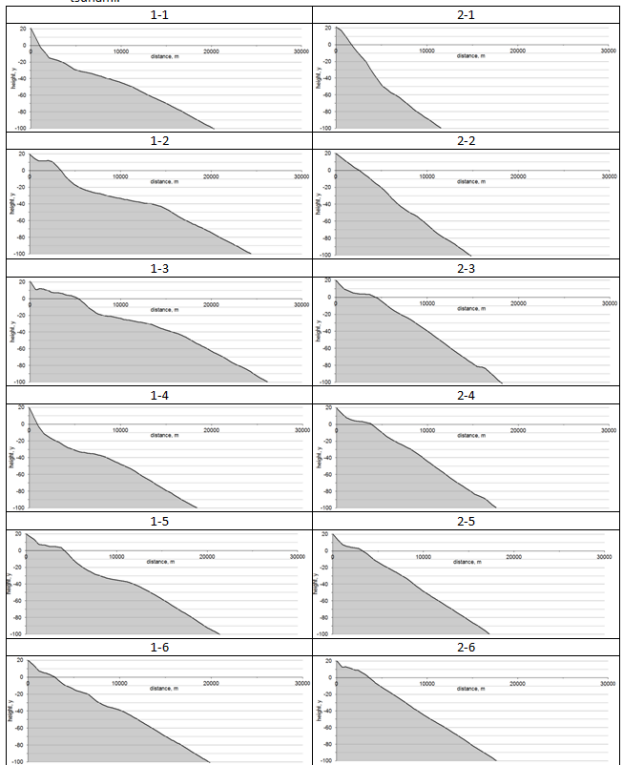
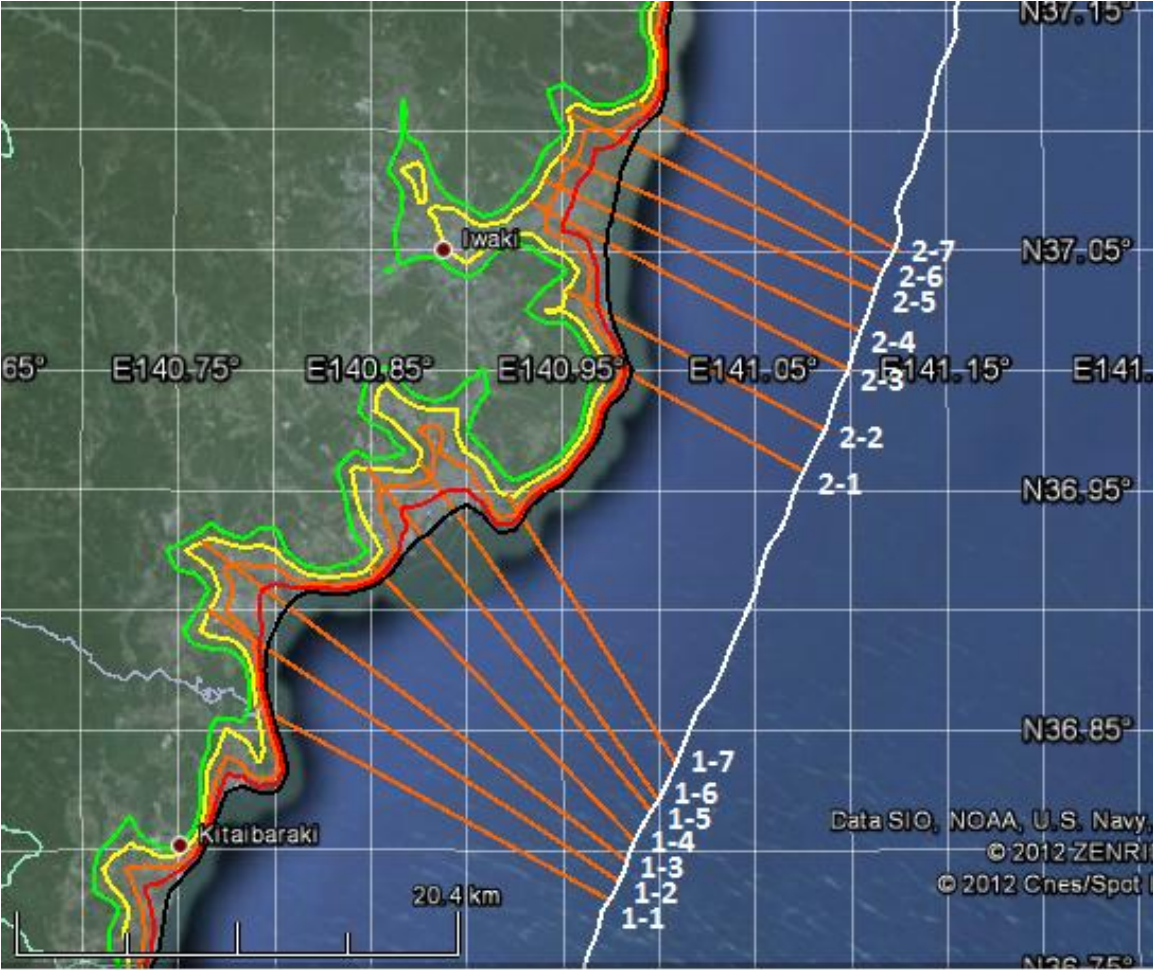
Новые задачи – бухта Мияко



Новые задачи – бухта Мияко



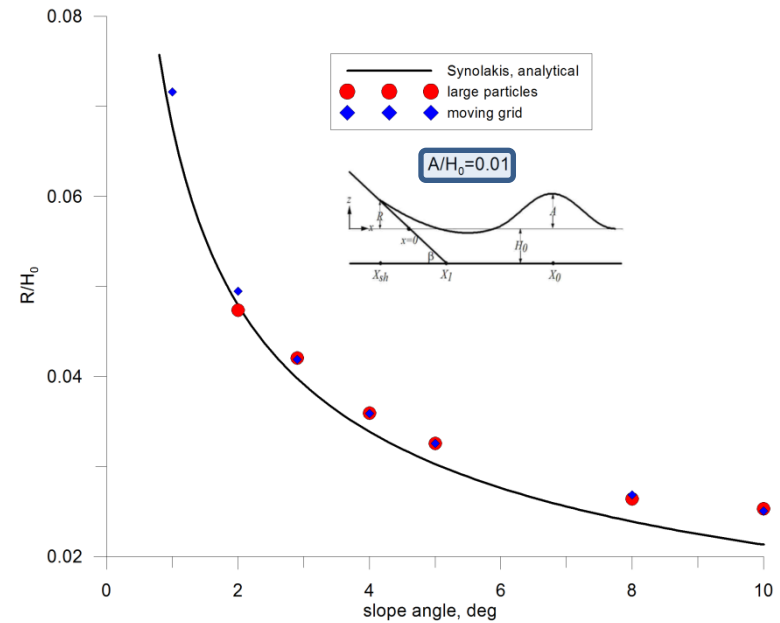
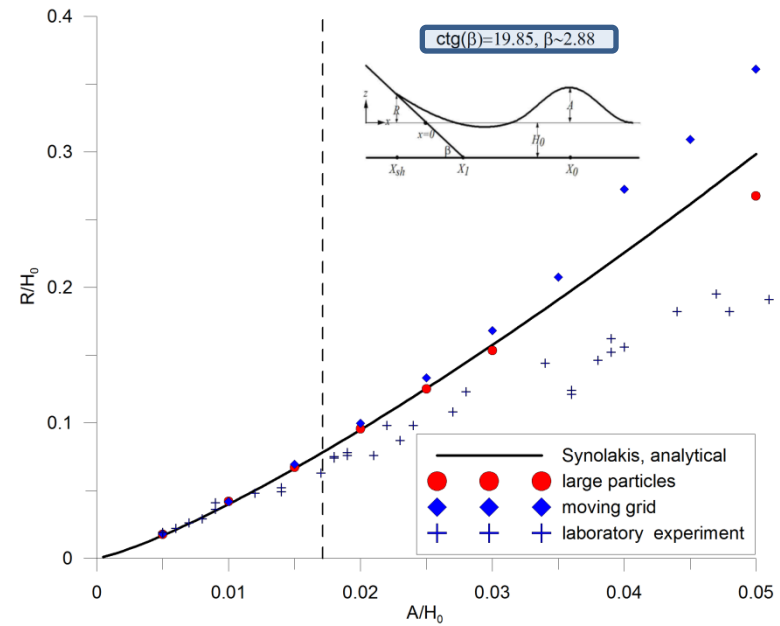
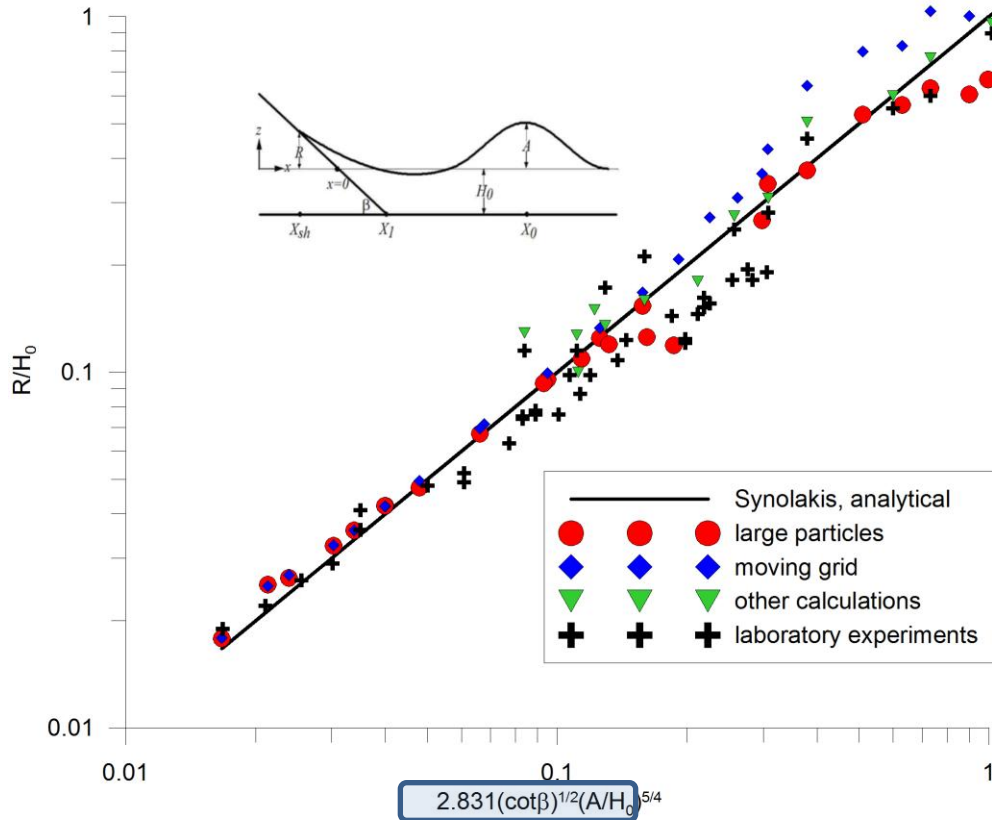
Новые задачи – 1D моделирование



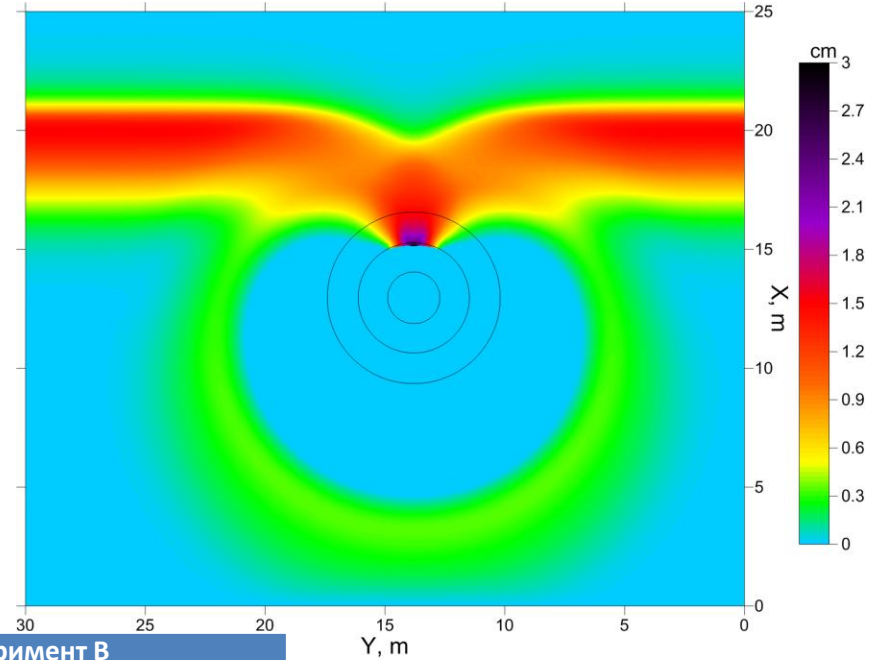
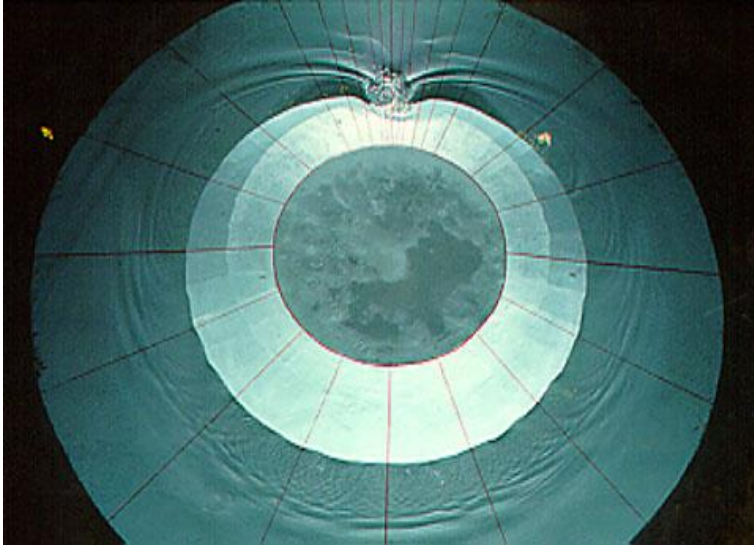
Новые задачи – 2D моделирование



Новые задачи – верификация и валидация (1D)

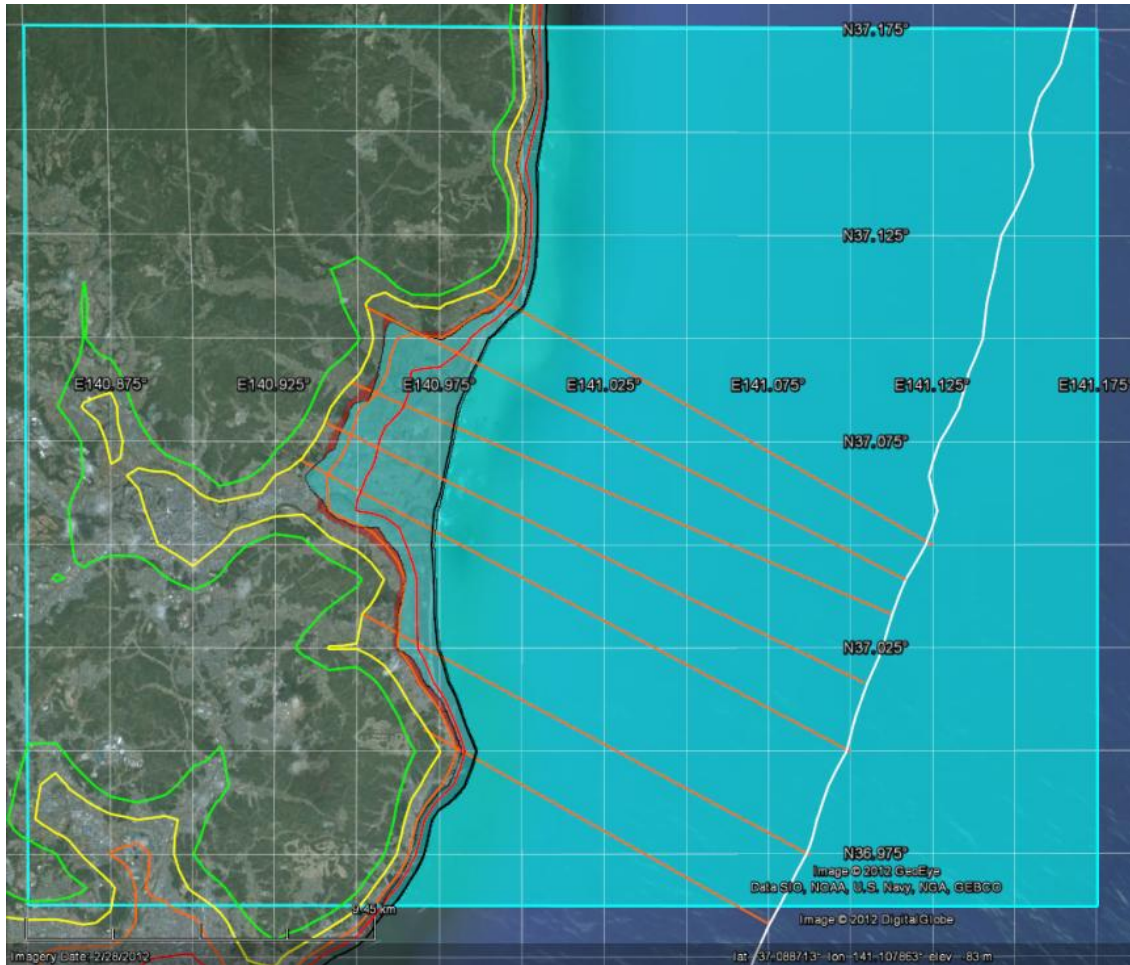


Новые задачи – верификация и валидация (2D)



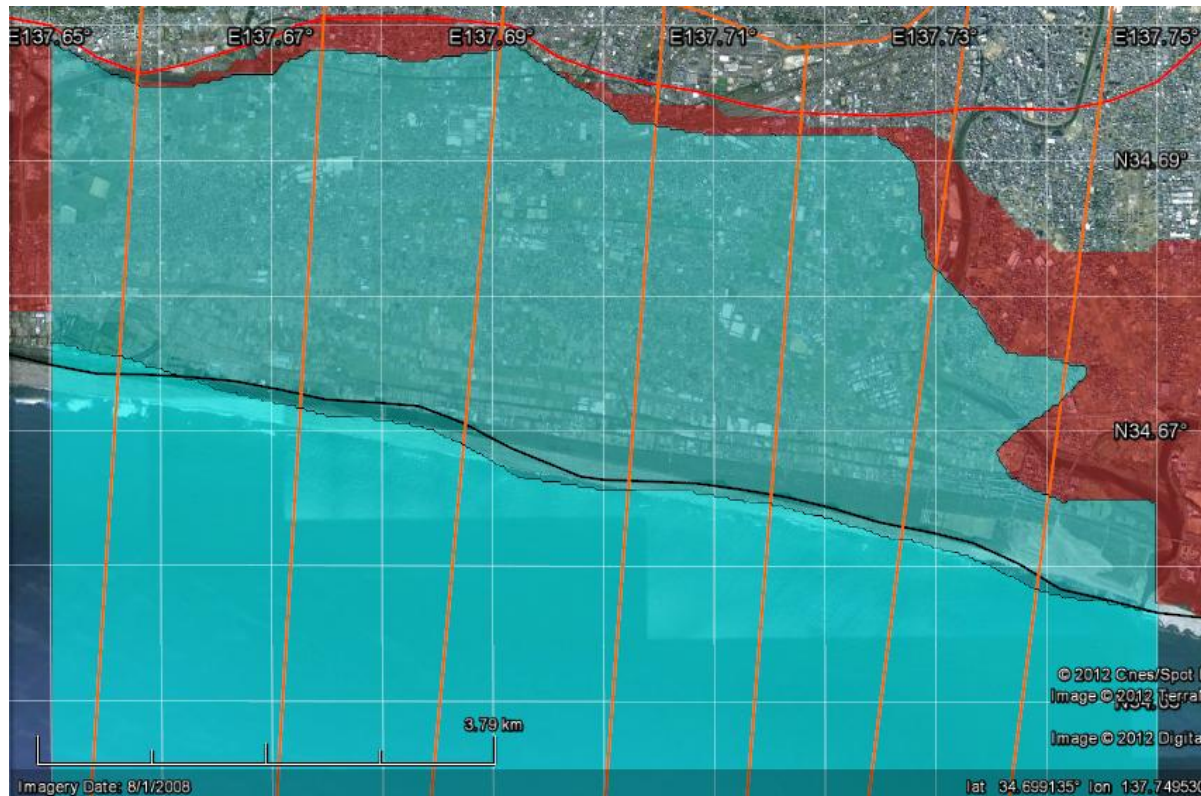
	Эксперимент А						Эксперимент В				
	Расчет методом крупных частиц				Расчет (Takagi, 1996)	Эксперимент.	Расчет методом крупных частиц			Расчет (Takagi, 1996)	Эксперимент.
Коэффициент Шези (шероховатость)	0	0.002	0.004	0.005			0	0.002	0.004		
R (см) спереди	4.5	4.1	3.6	3.6	4.9	3.2	11.5	9.1	7.1	8.7	7.4
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.

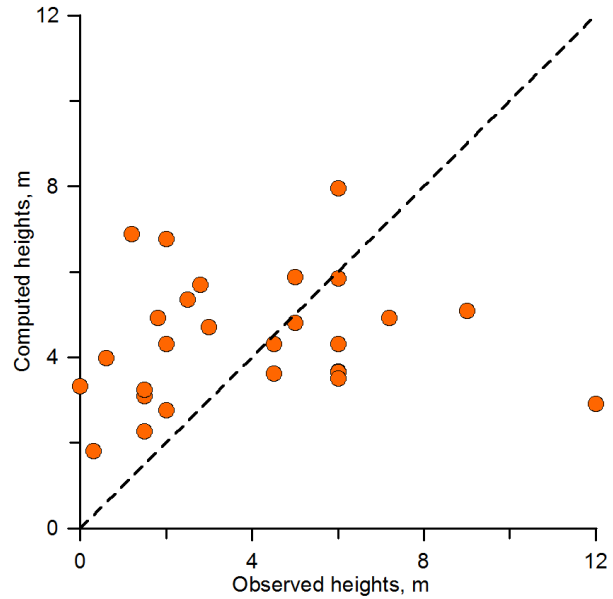
Новые задачи – результаты



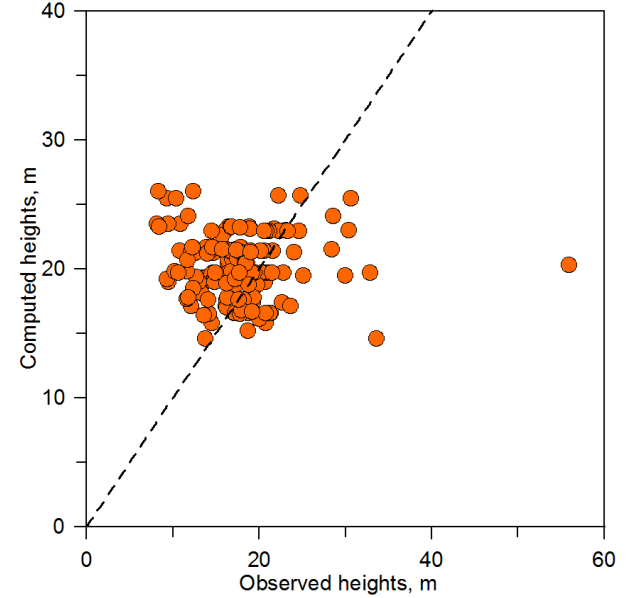
Зоны заплеска цунами “**Ansei-Tokai, 1854**”, рассчитанные с помощью **2D** (голубая заливка) и **1D** моделирования (**красная заливка**) на основе цифровых рельефа и батиметрии DEM/DBM GEBCO-30sec. Цветными линиями отрисованы изолинии рельефа: черная – начальное положение линии уреза (0 м), красная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

Новые задачи – Сравнение с наблюдениями

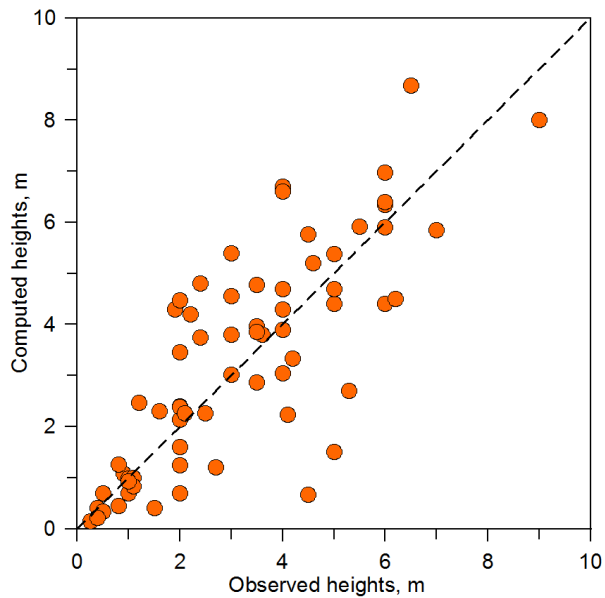
Kanto, September 1, 1923



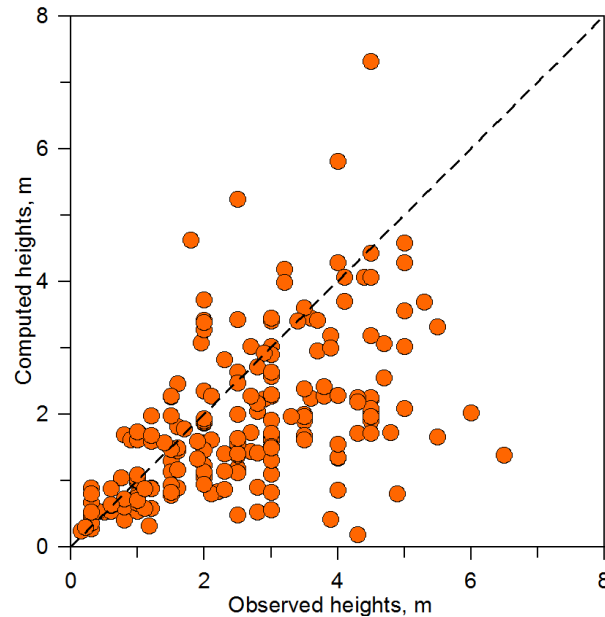
March, 11, 2011, Tohoku



1944, Tōnankai



1946, Nankai



富嶽三十六景 神奈川沖
波裏

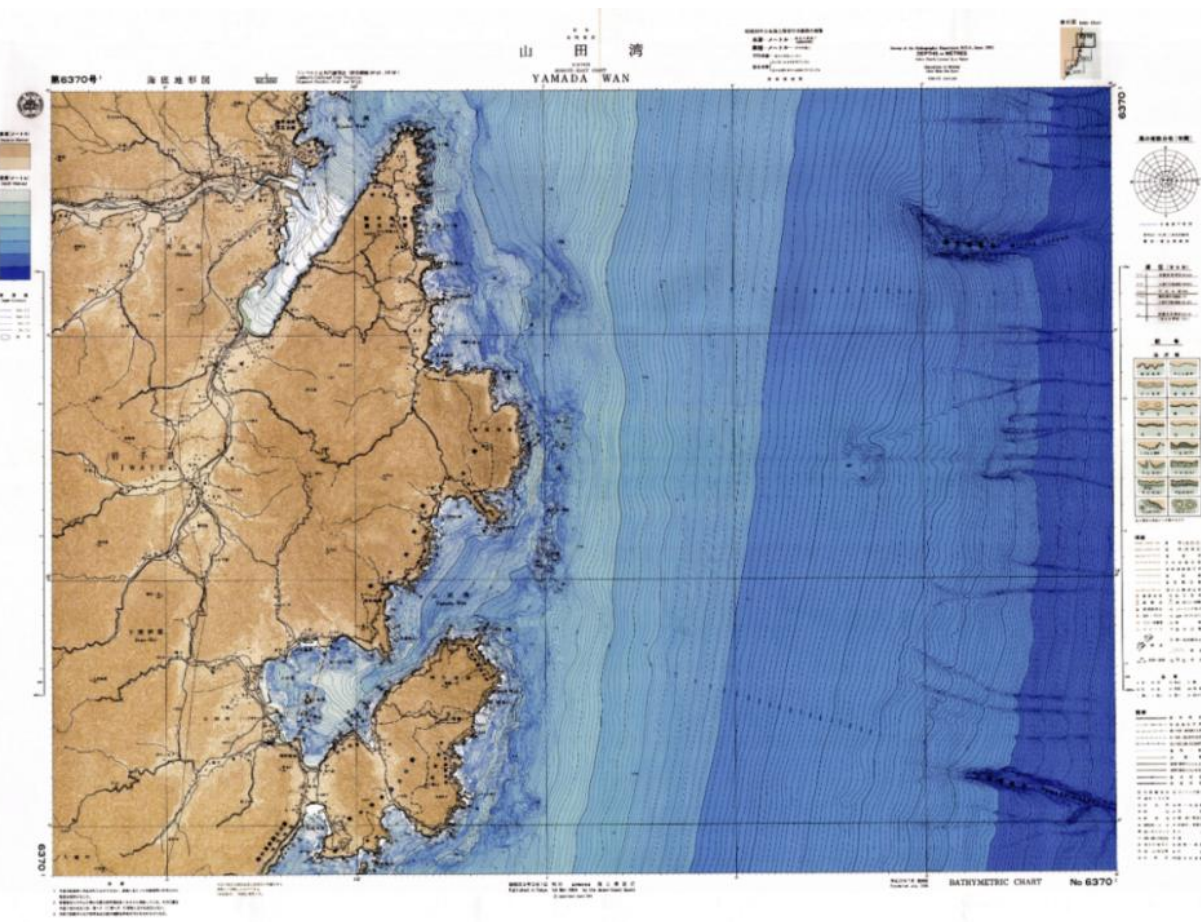
江戸の海



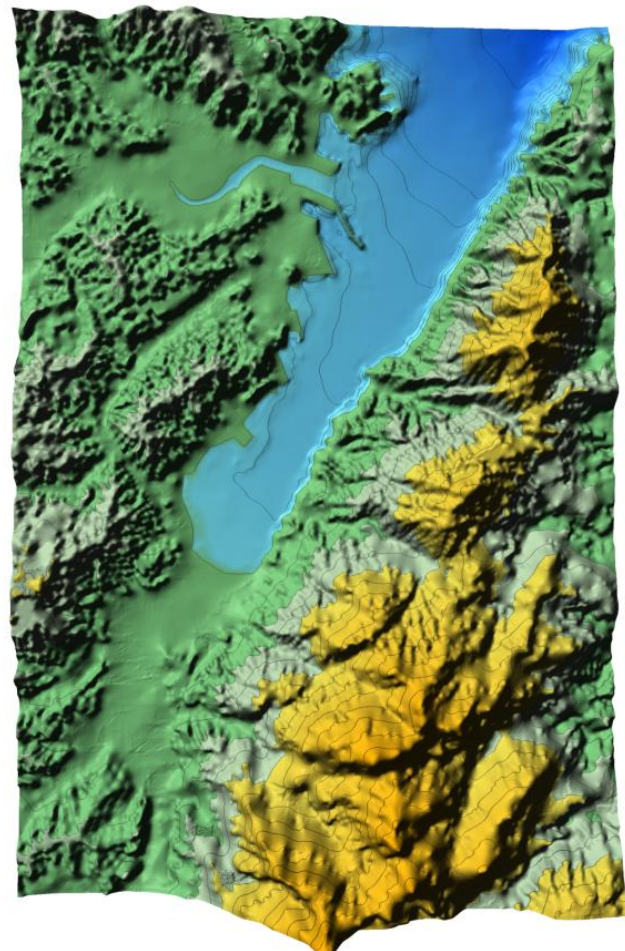
**Новые задачи –
можно ли
обойтись 1D
моделированием?**



1D (red) vs 2D (blue)



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



Новые задачи – Бухта Коборинаи

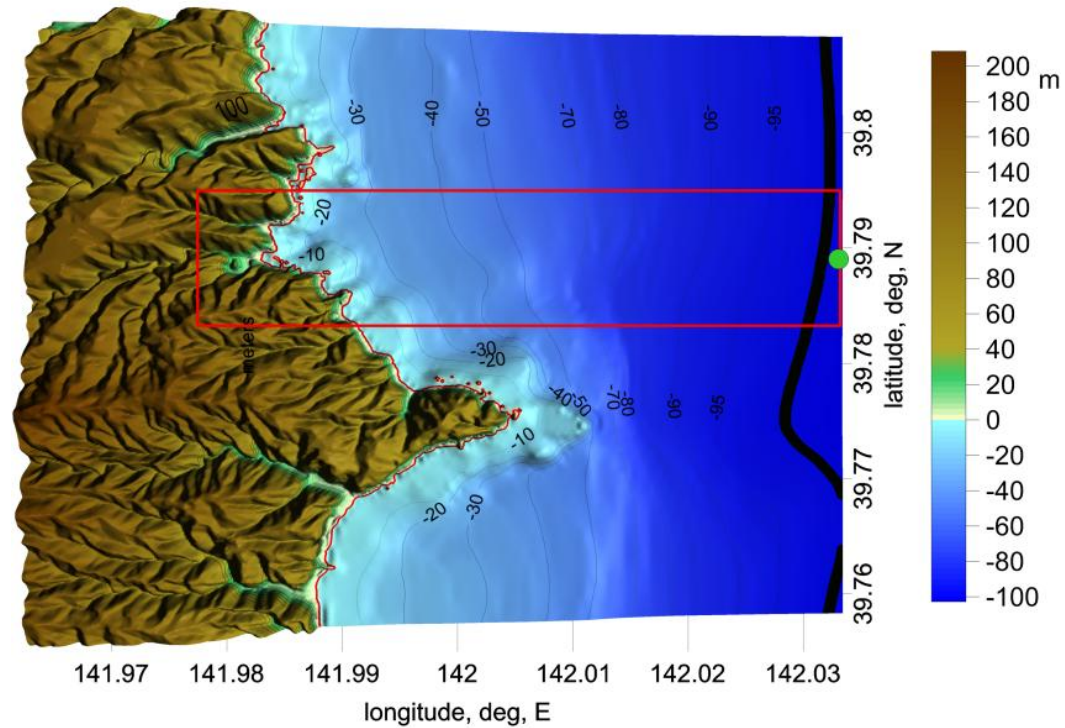
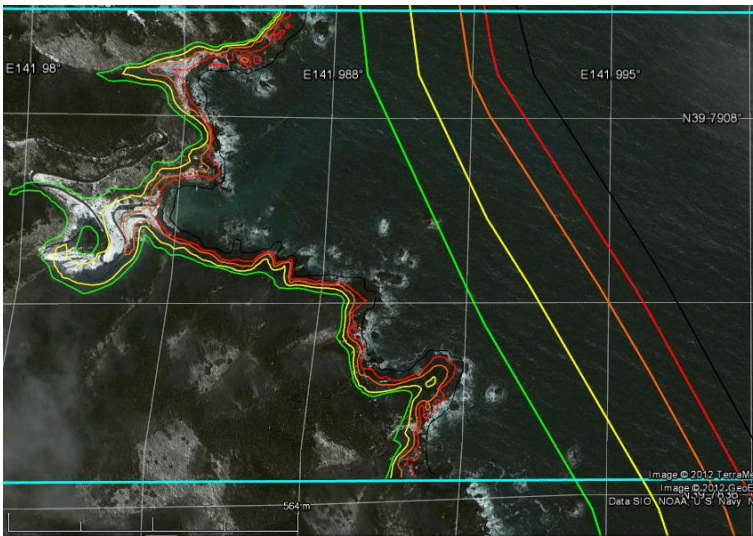
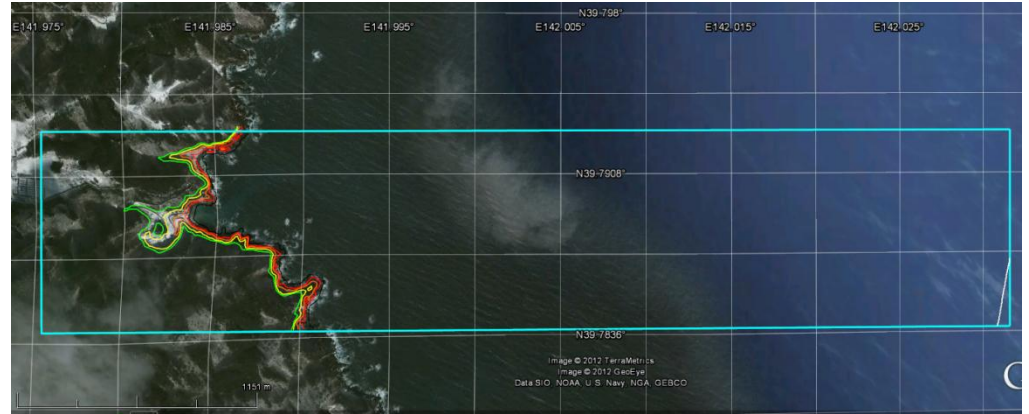
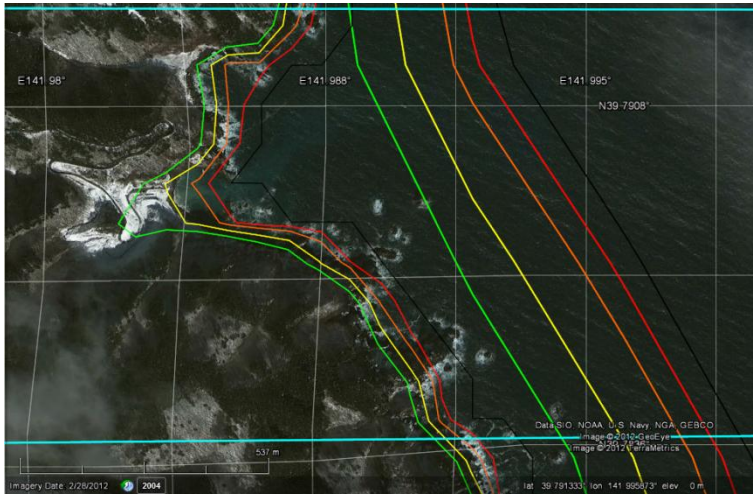


Бухта Коборинаи задолго
до японского мега-цунами
(20 июля 2009 г.)

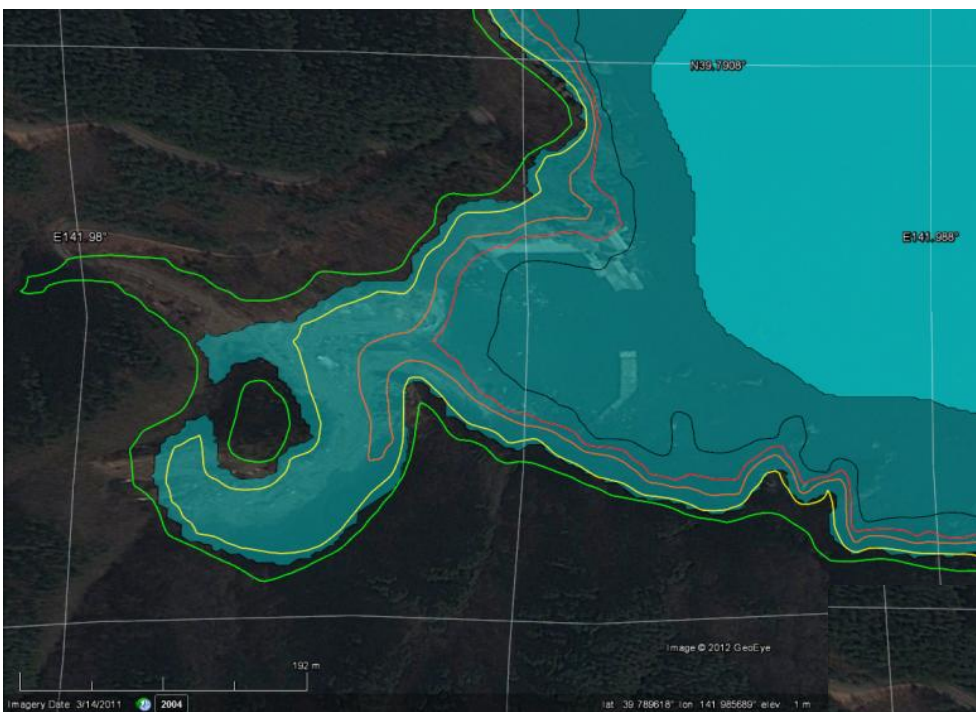


Бухта Коборинаи. Высота заплеска 37.9 м.
Место гибели трех пожарников.
Фото В.Гусякова (22.02.2012).

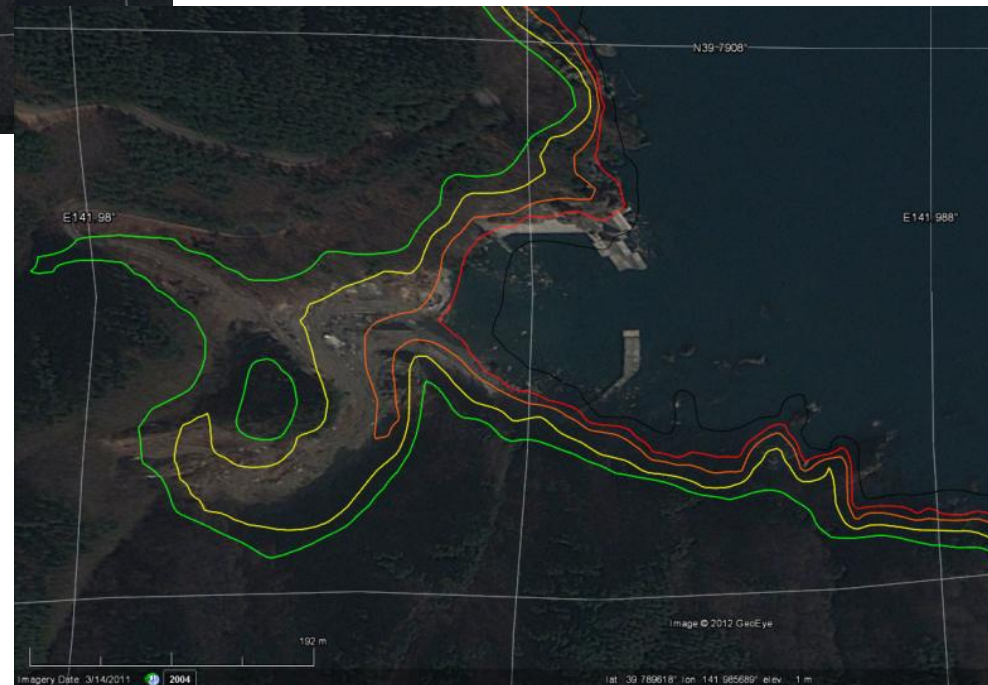
Новые задачи – Бухта Коборина



Новые задачи – Бухта Коборинаи

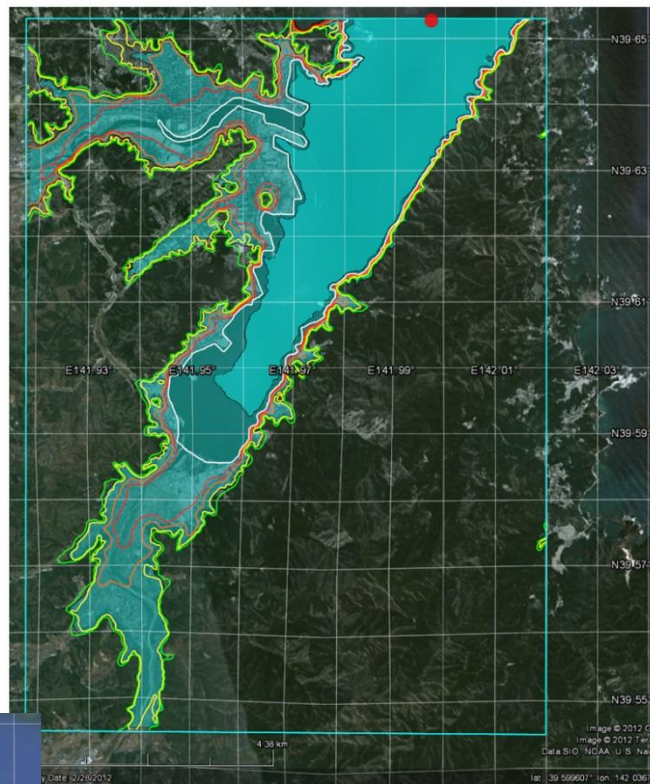
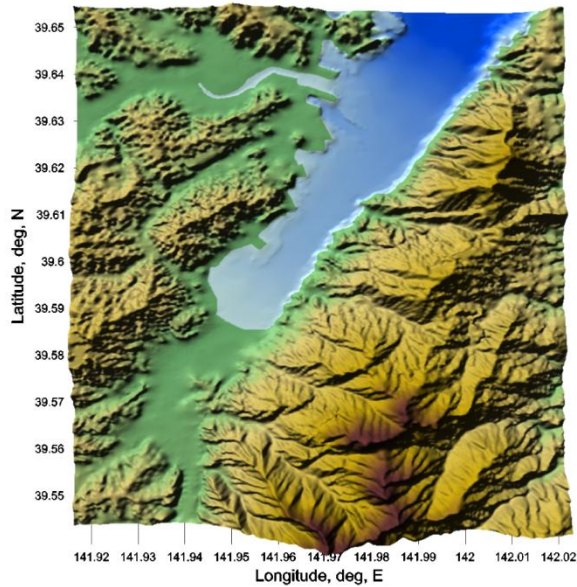


Бухта Коборинаи сразу после японского
мега-цунами (14 марта 2011 г.)

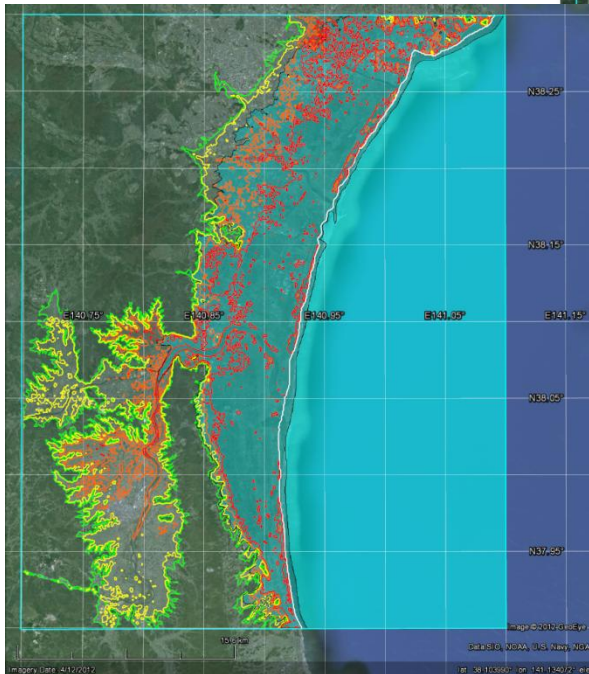


Бухта Коборинаи сразу после японского
мега-цунами (14 марта 2011 г.)

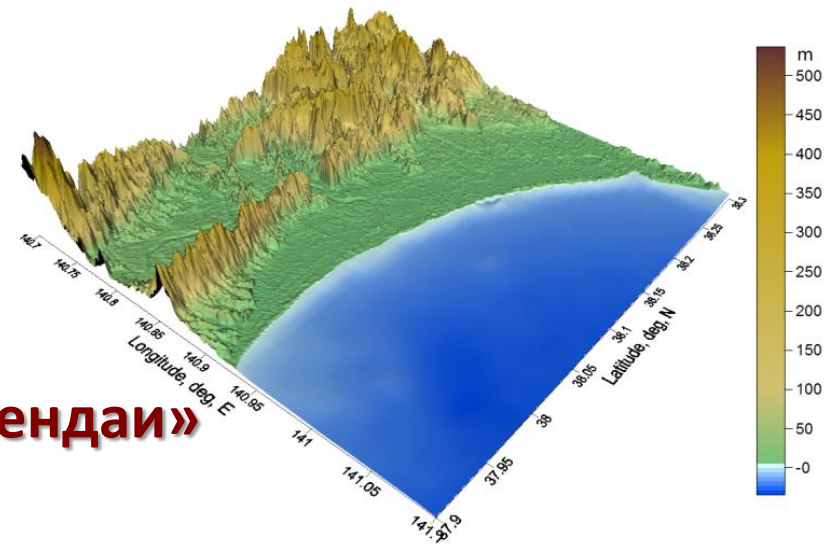
Бухта «Мияко»



Новые задачи



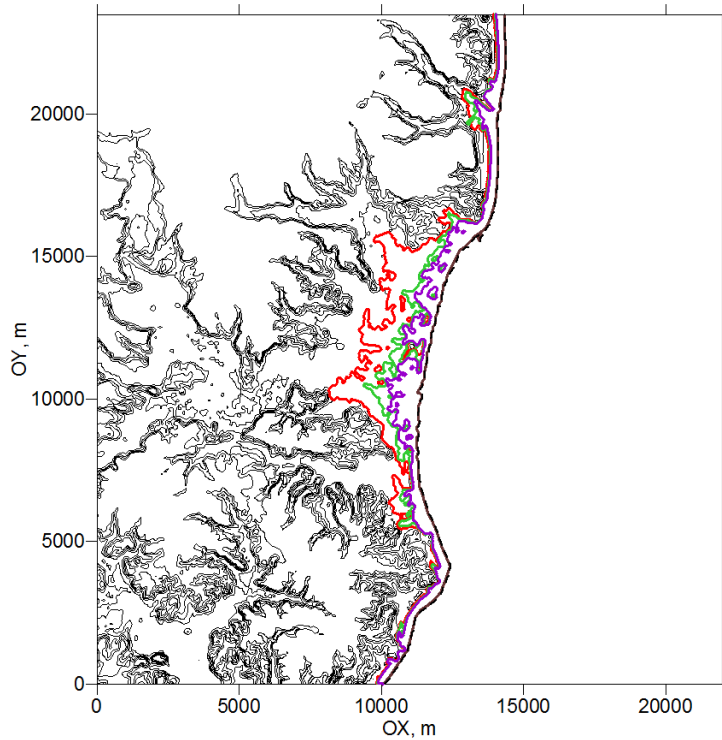
Район «Сендай»



Новые задачи: зависимость от трения

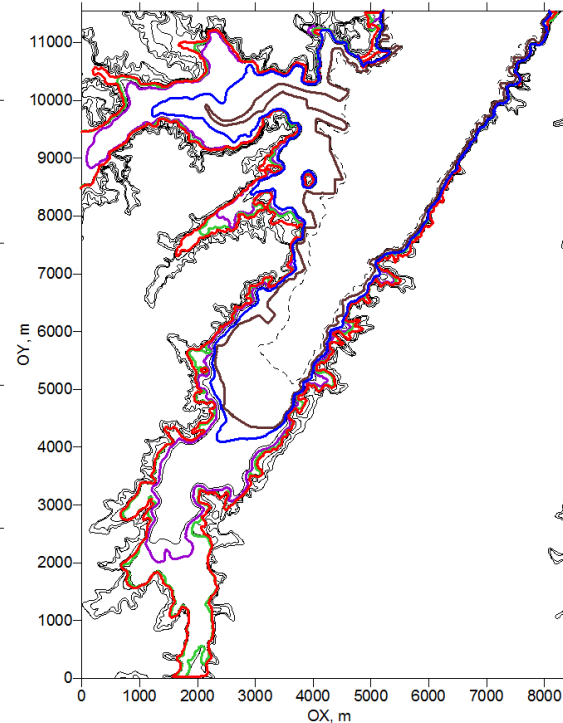
красная - $n=0.000$
зеленая - $n=0.001$
фиолетовая - $n=0.002$
синяя - $n=0.005$.
Коричневая - $z=0$,

Район «Иваки»

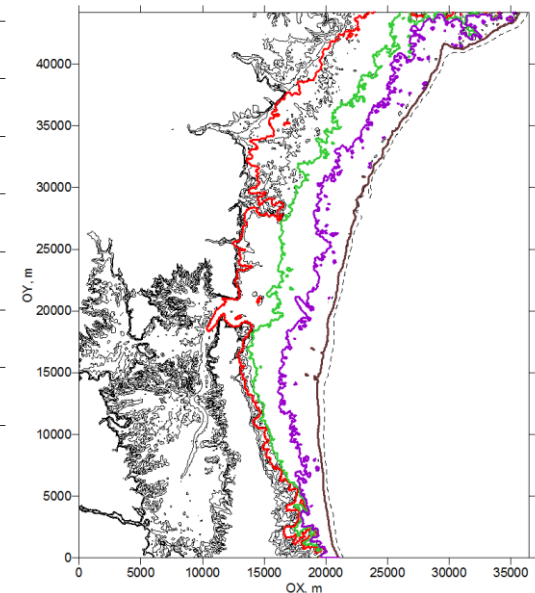


П у н к т и р - $z \approx -4.9$ (начальная линия уреза).
Изолинии суши - 10, 20, 30, 40 и 50 м.

Бухта «Мияко»



Район «Сендай»

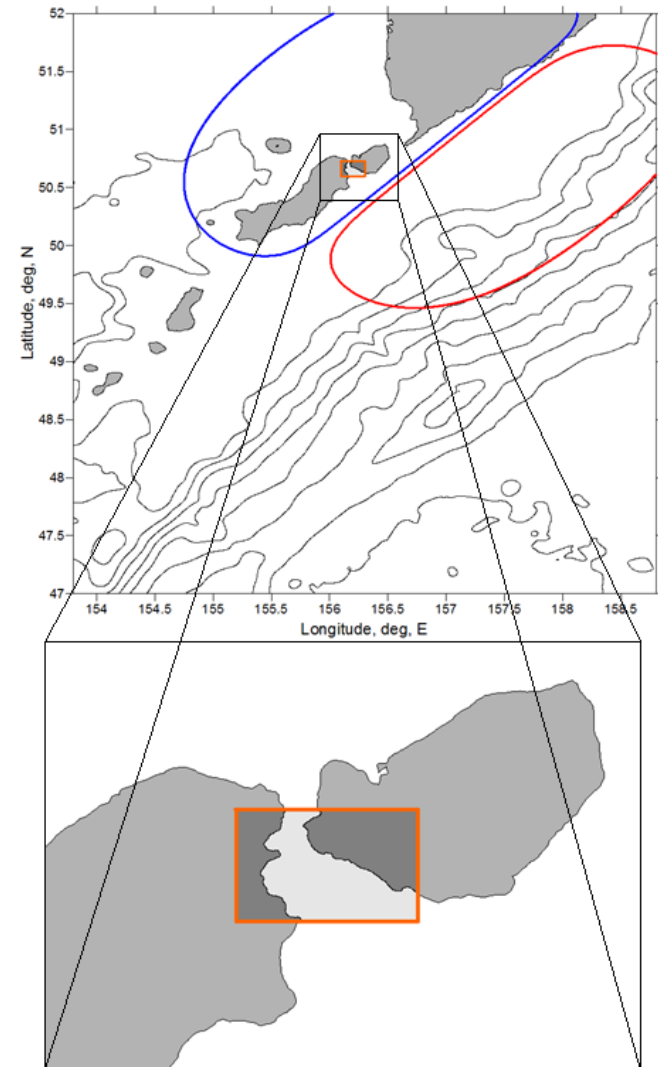
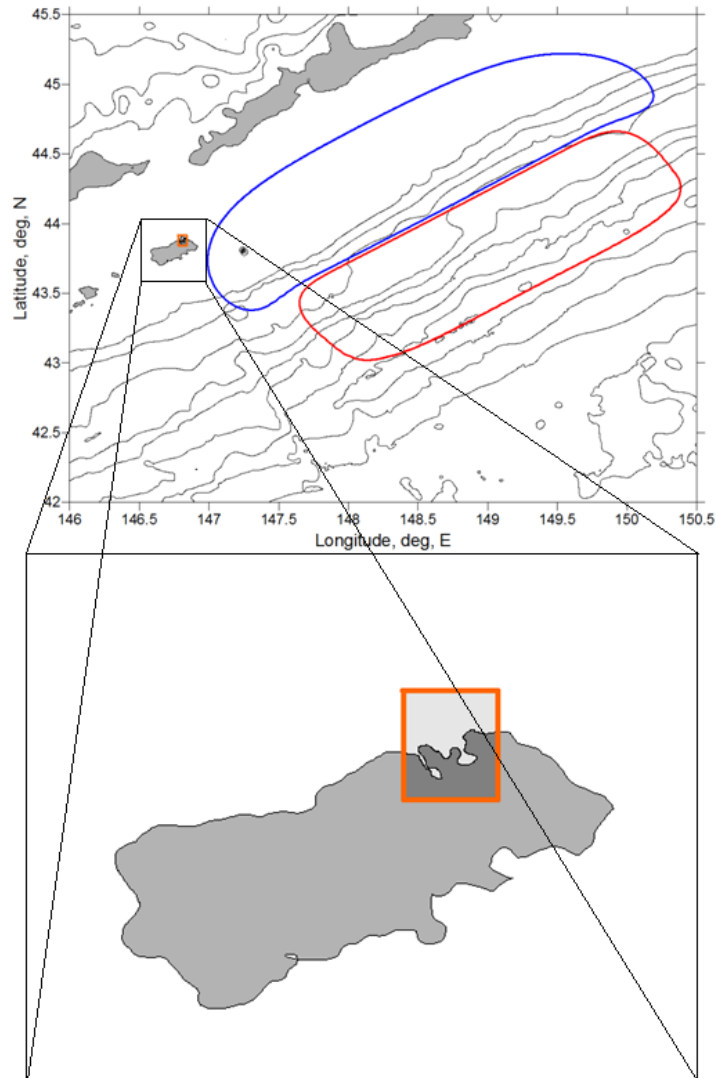


富嶽三十六景 神奈川沖
波裏

江戶 葛飾 富田 一筆

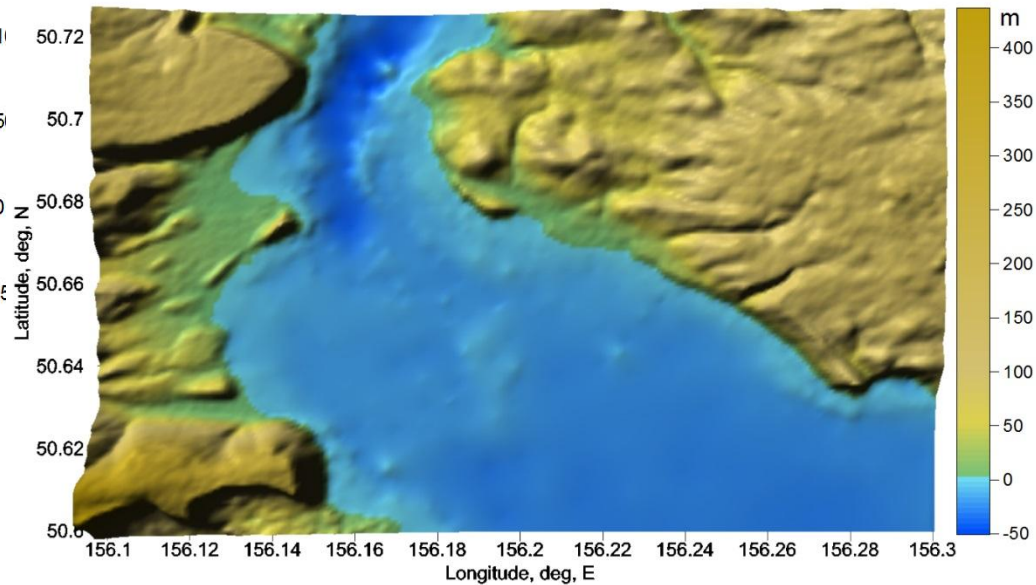
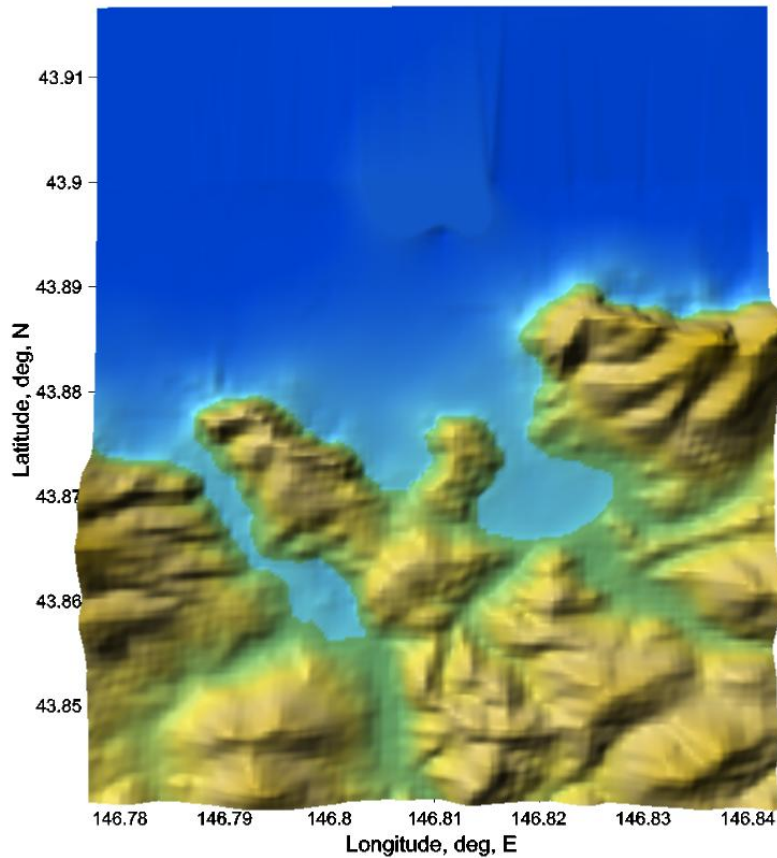


Расчетные области

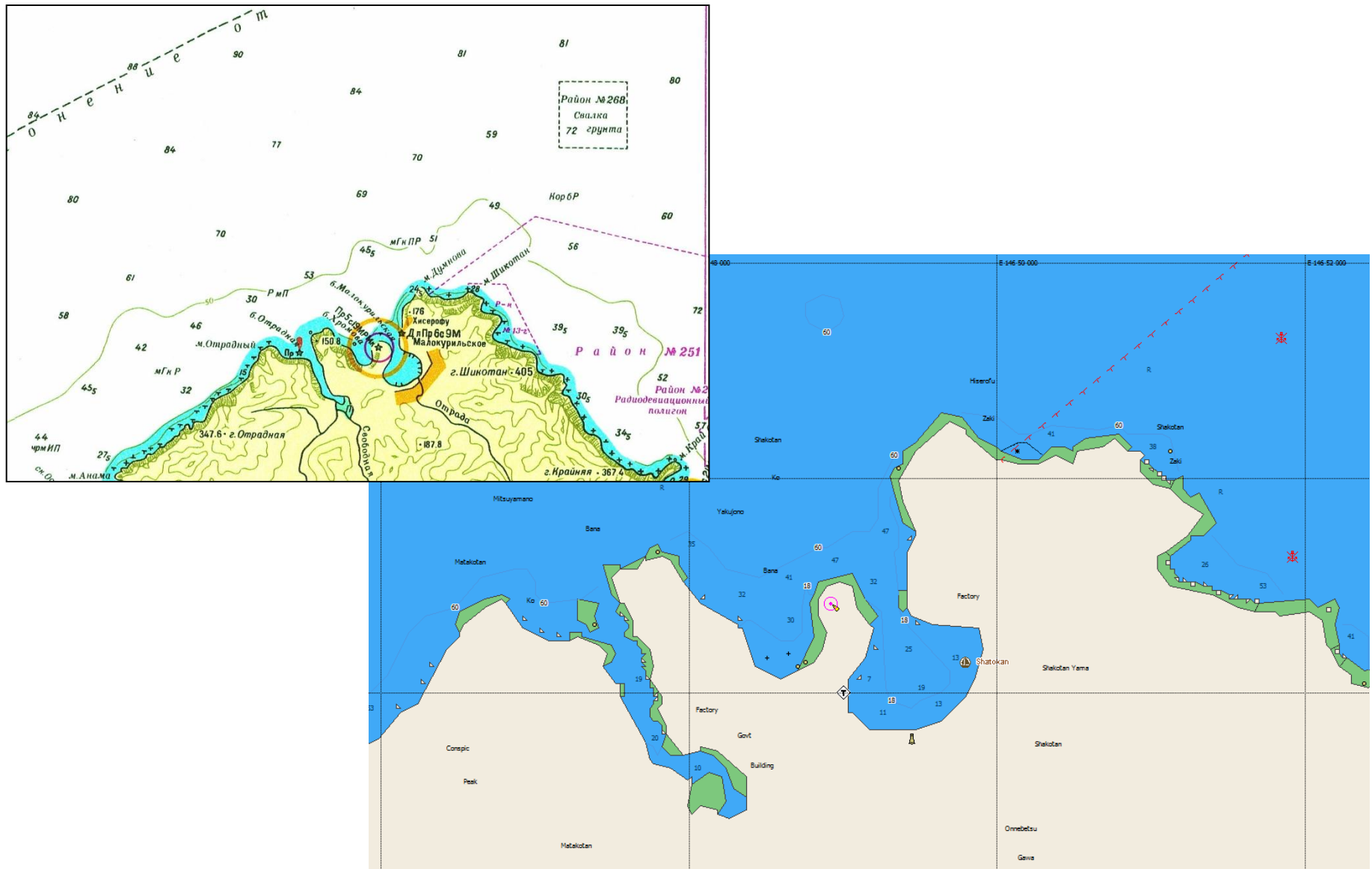


Рельефы расчетных областей

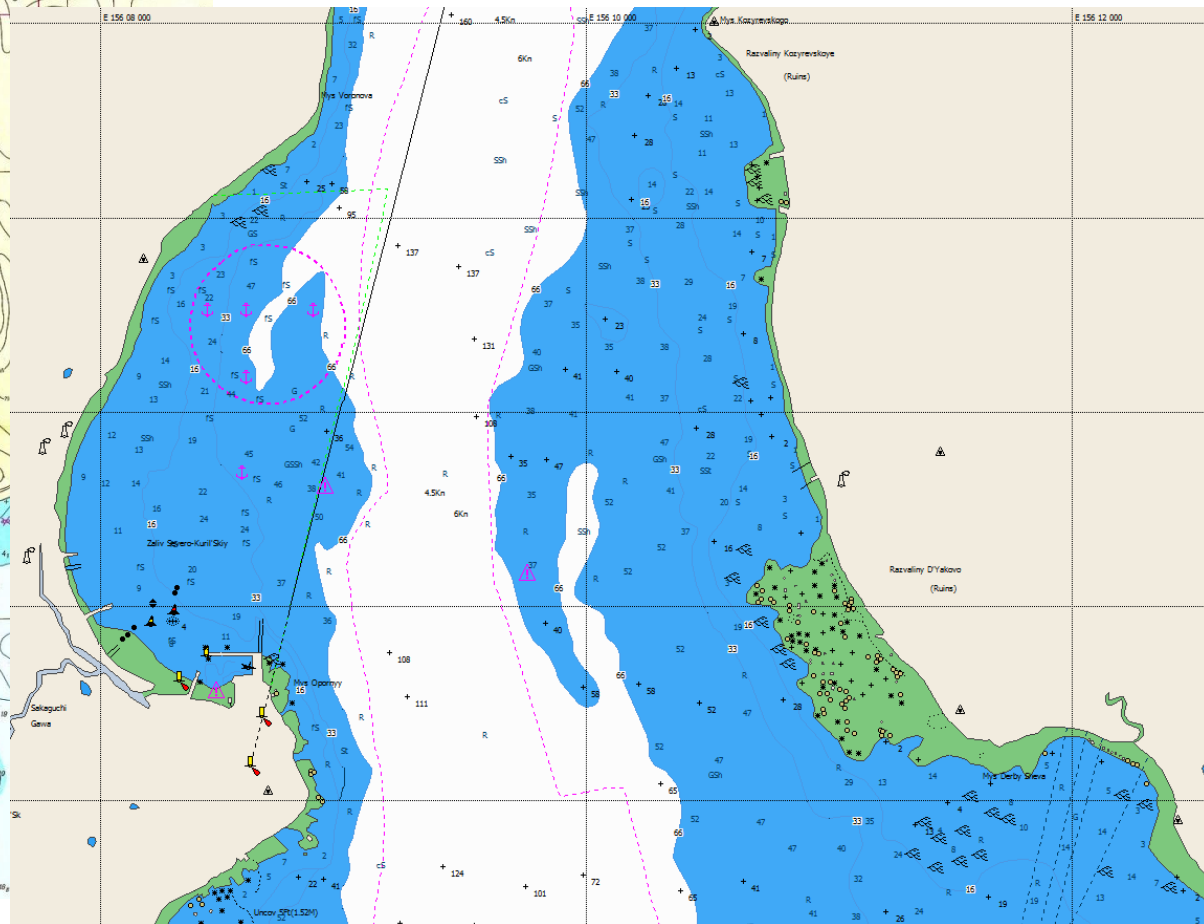
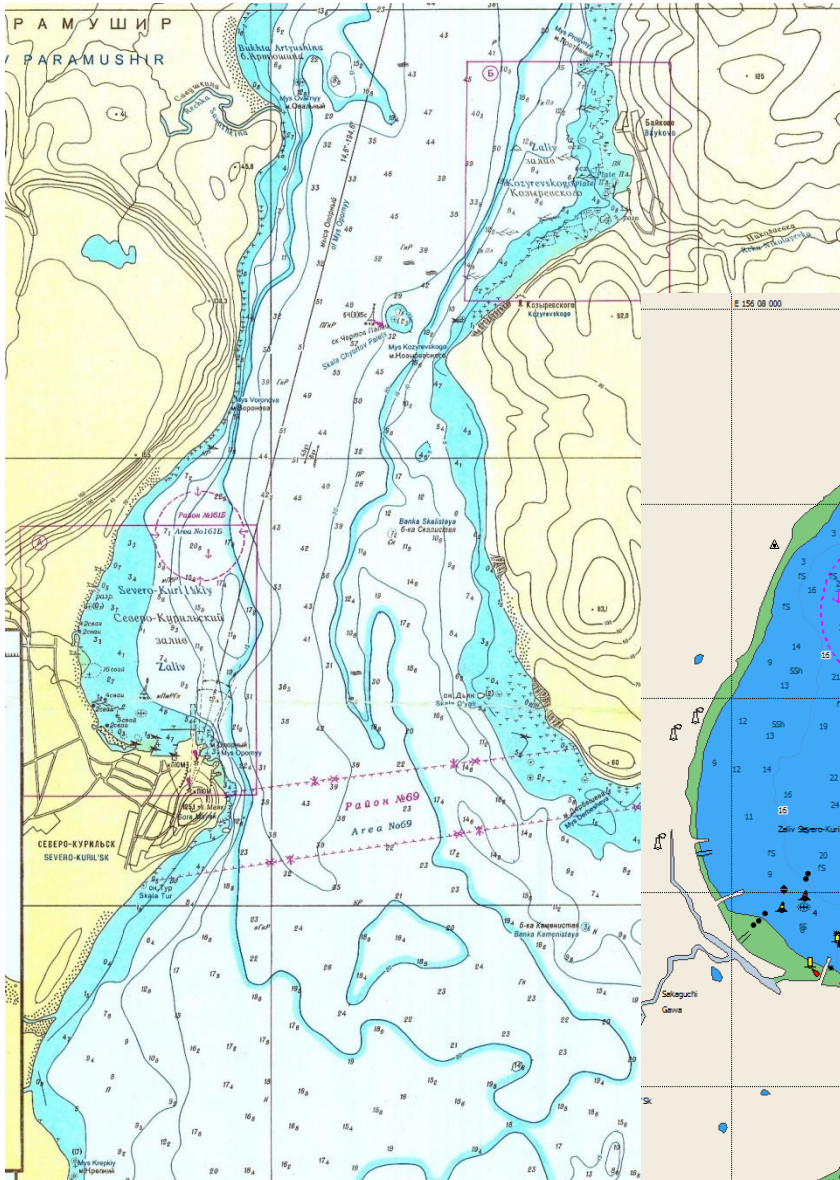
Детальные рельефы батиметрии и топографии для расчета наката построены на основе данных SRTM-3sec для суши и результатах оцифровки доступных изображений морских карт.



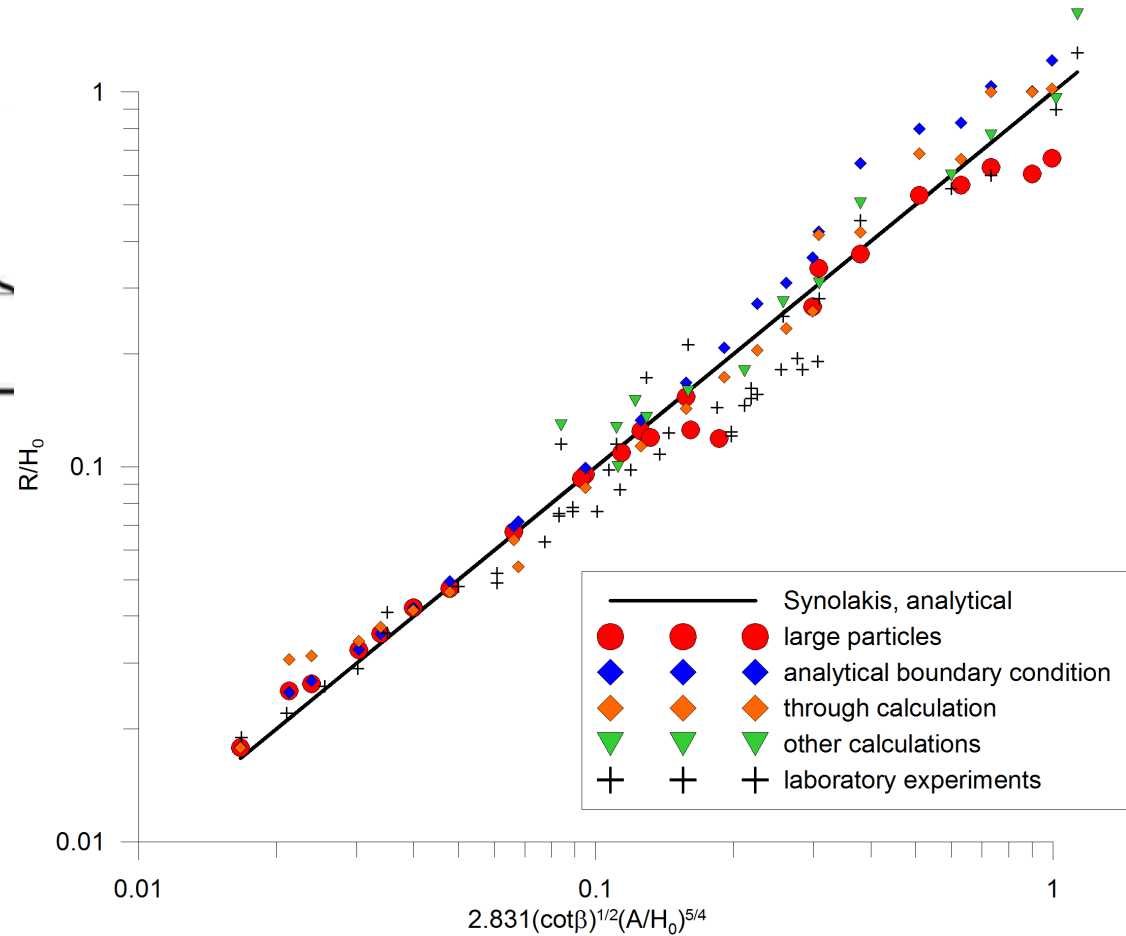
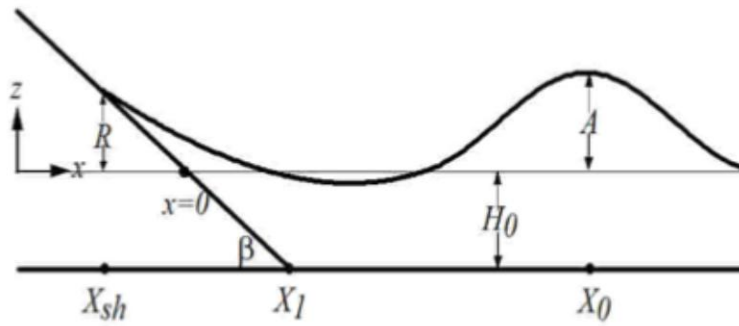
Морские карты: Малокурильская



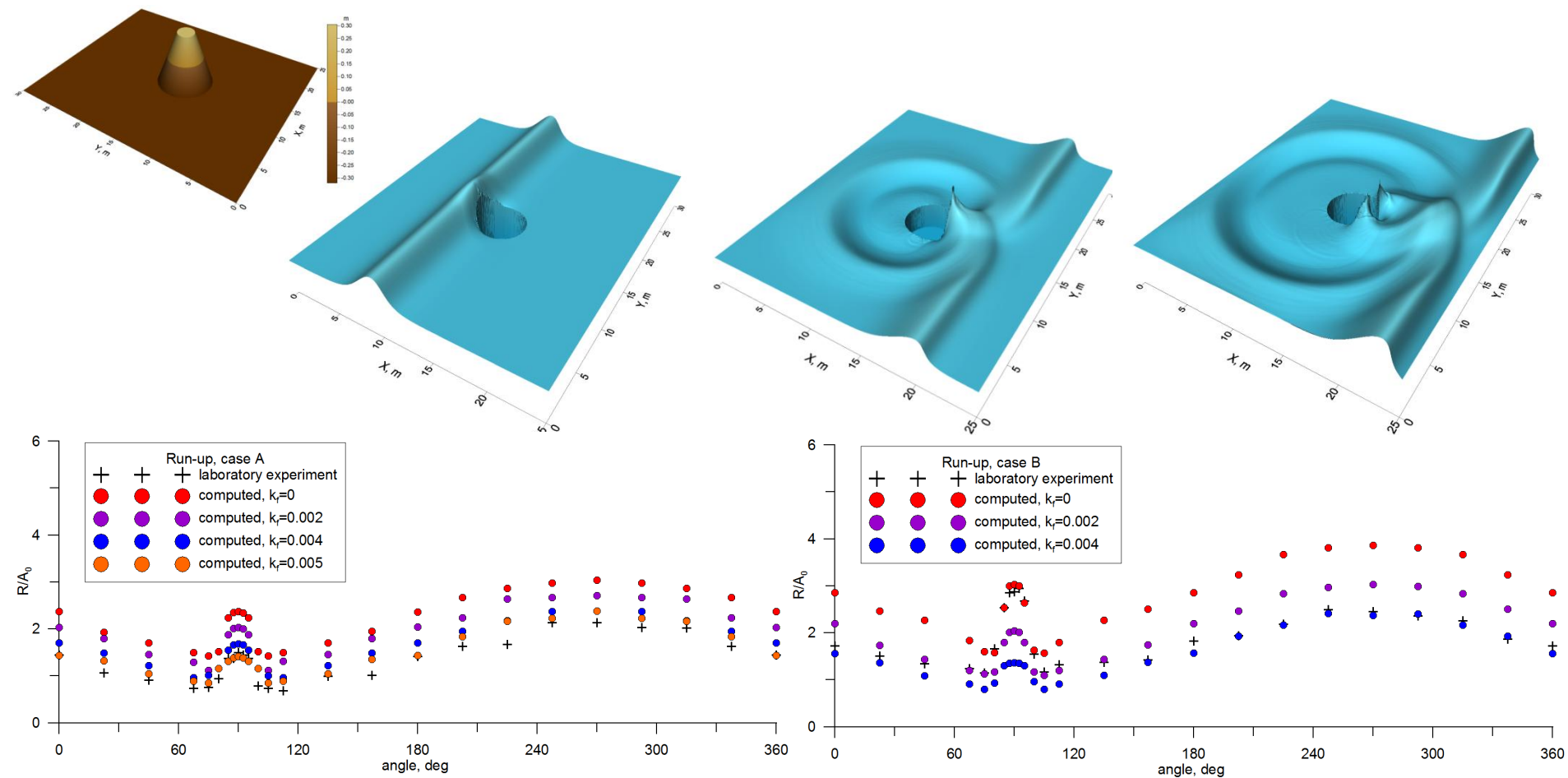
Морские карты: Северо-Курильск



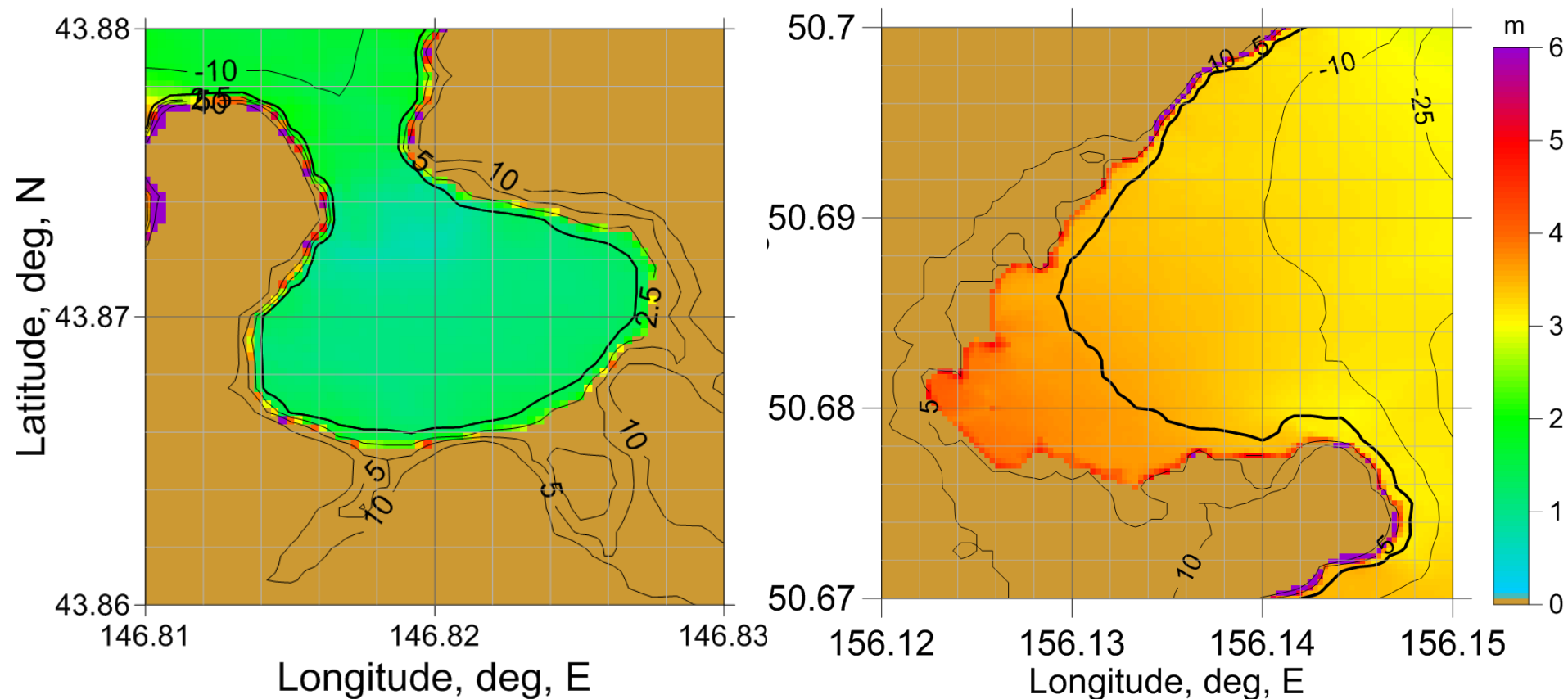
Тестирование численного метода: натекание уединенной волны на откос



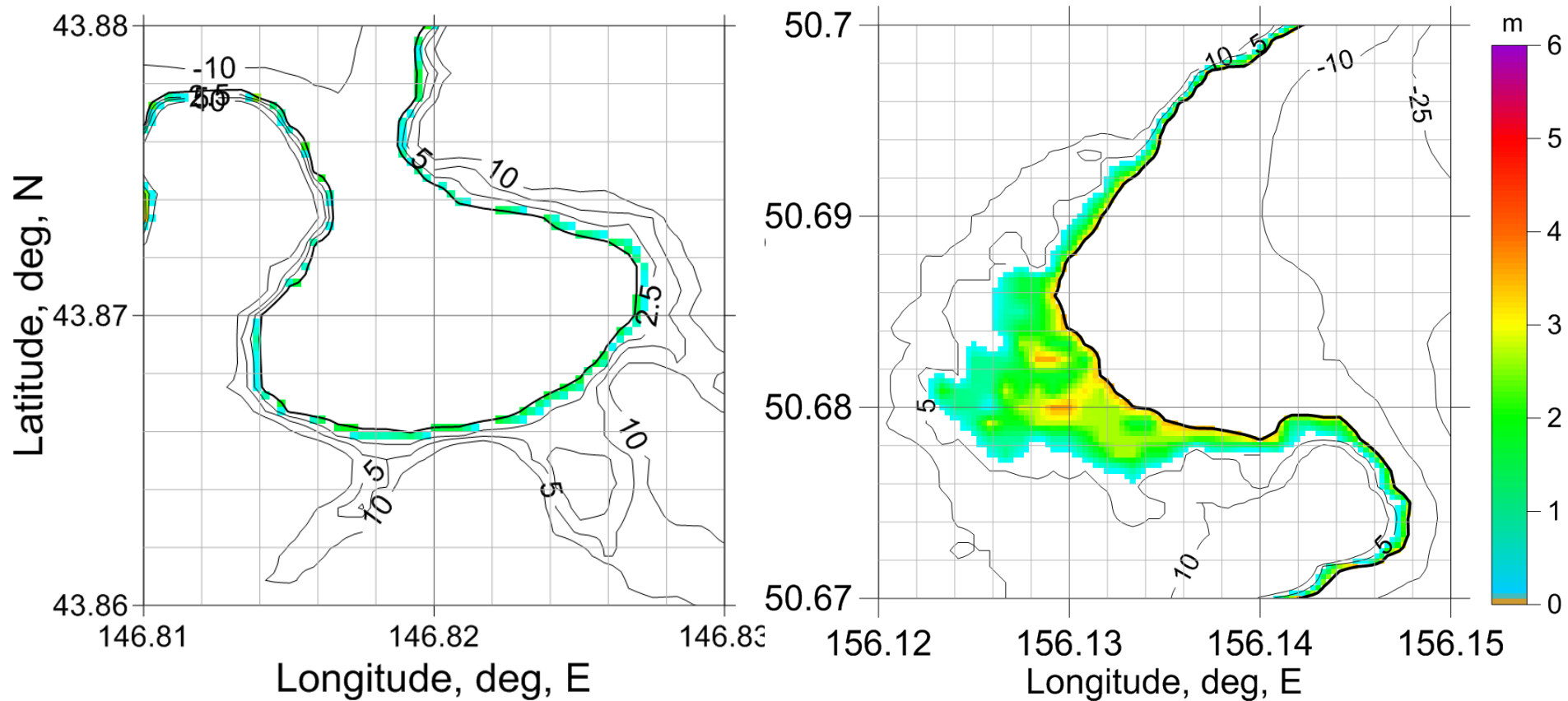
Тестирование численного метода: обтекание конического острова



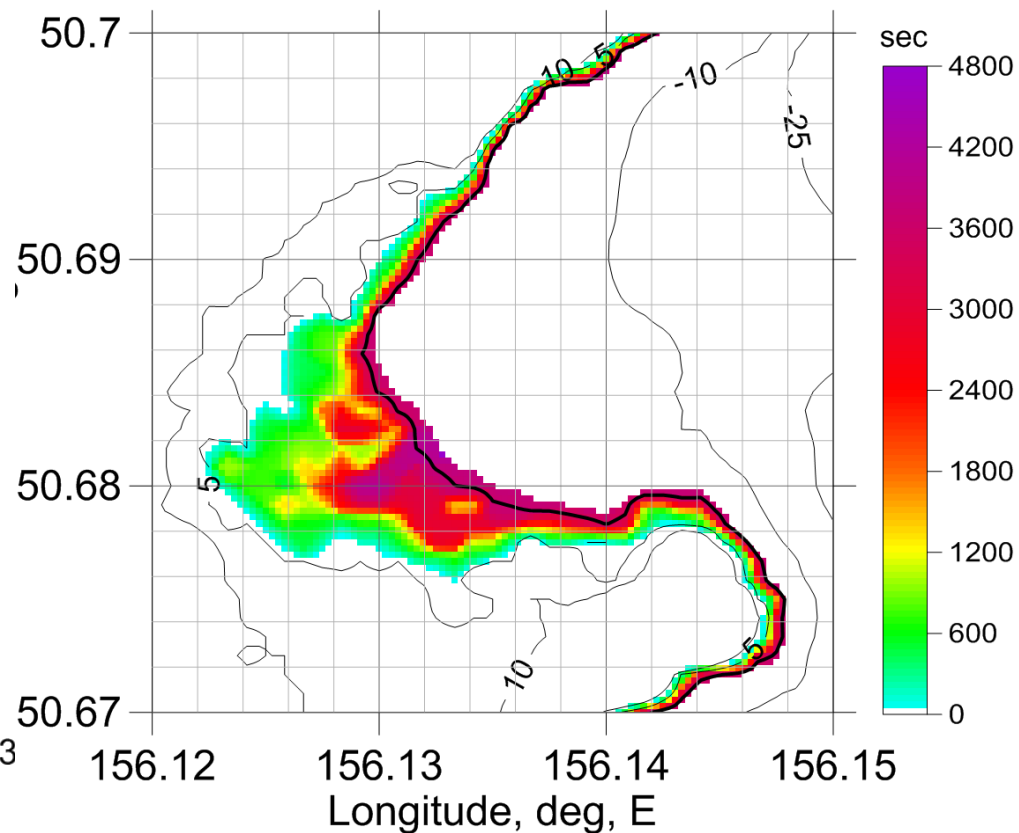
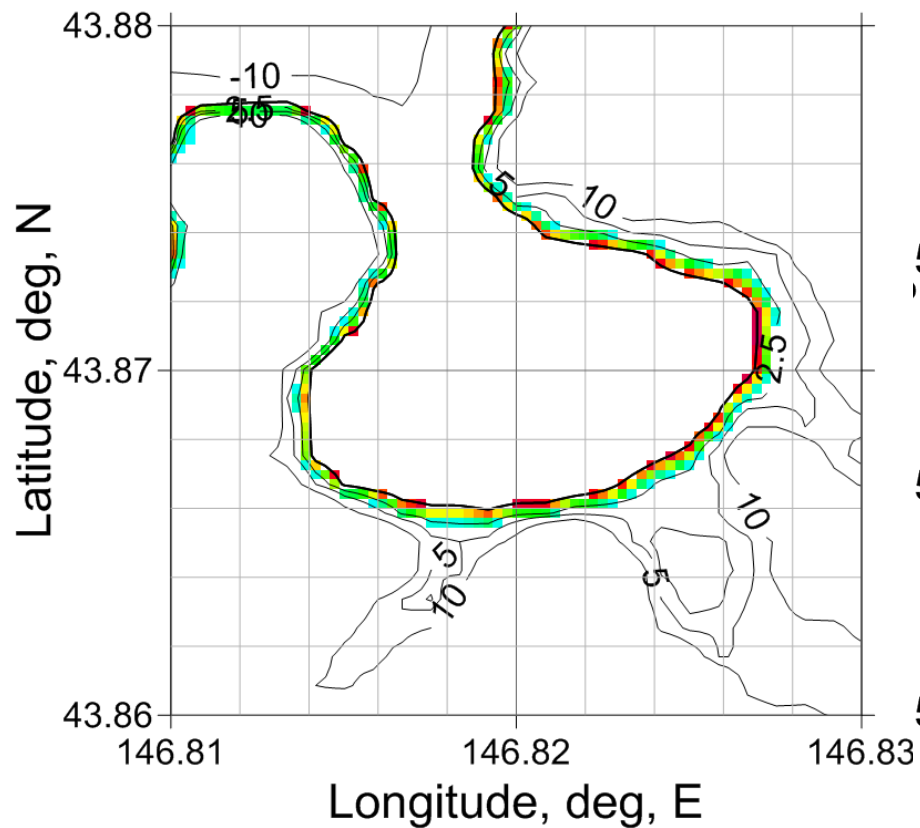
Распределение максимальных уровней свободной поверхности



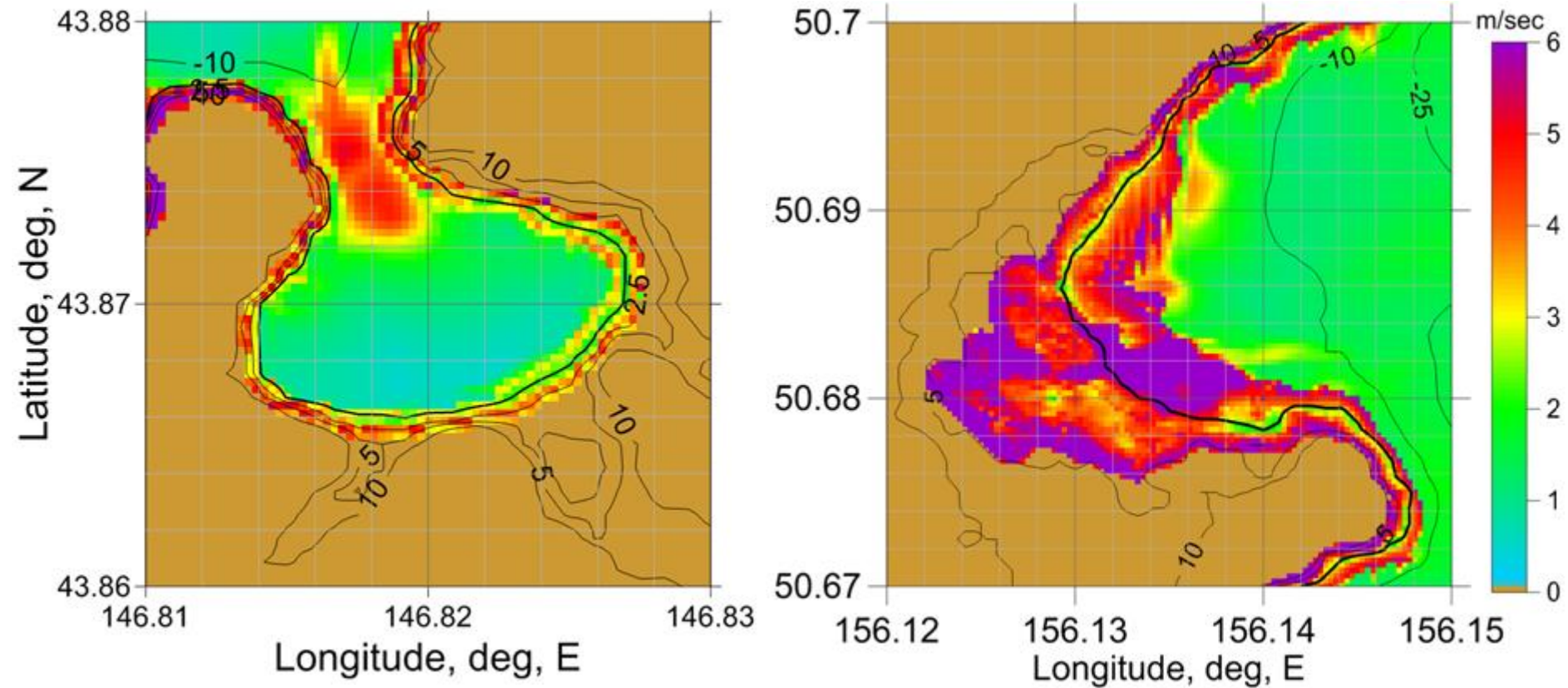
Распределение максимальных глубин затопления



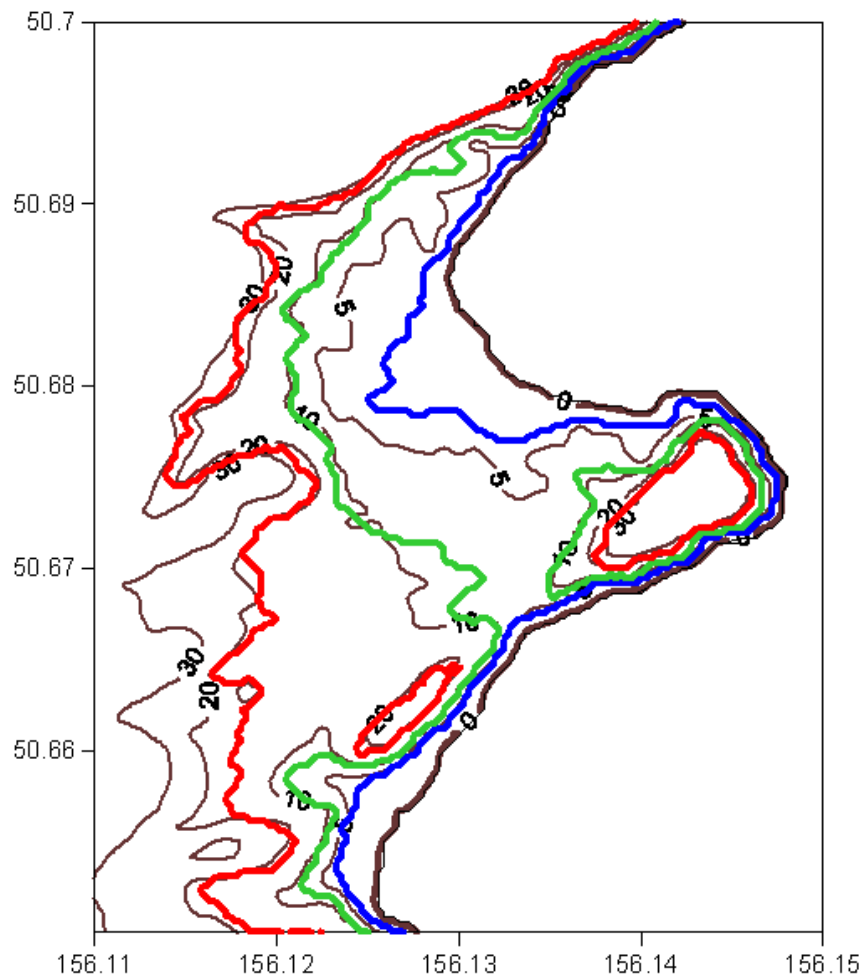
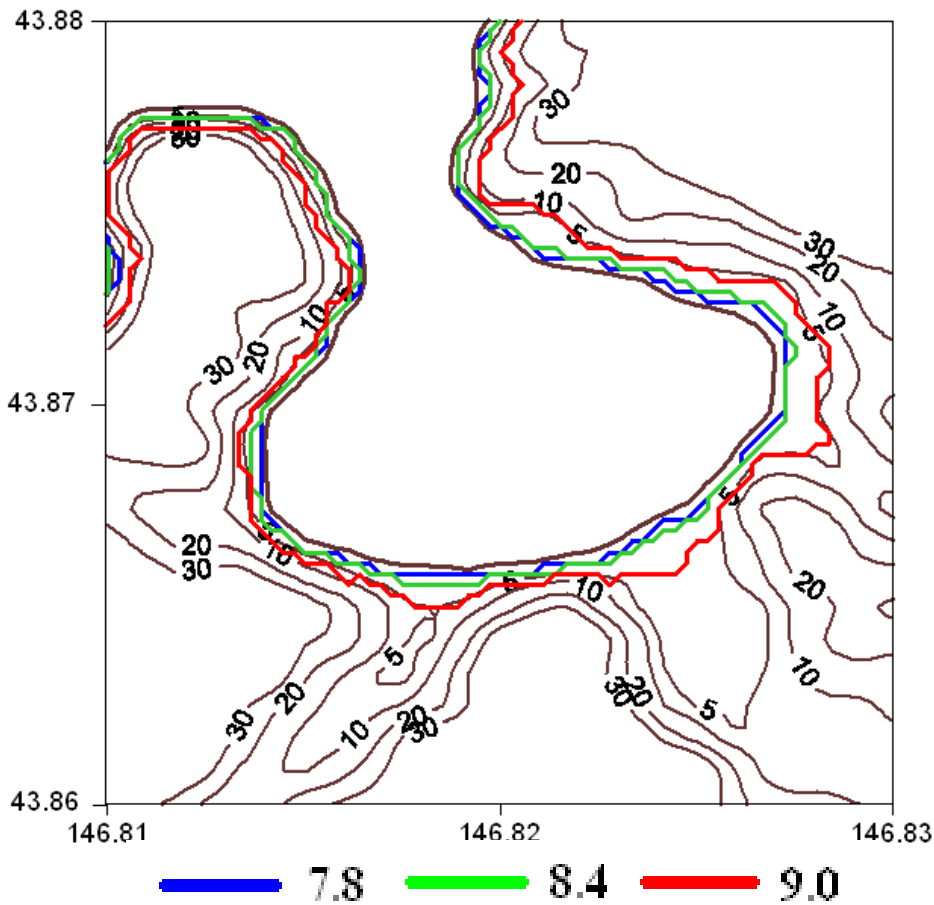
Распределение продолжительности затопления



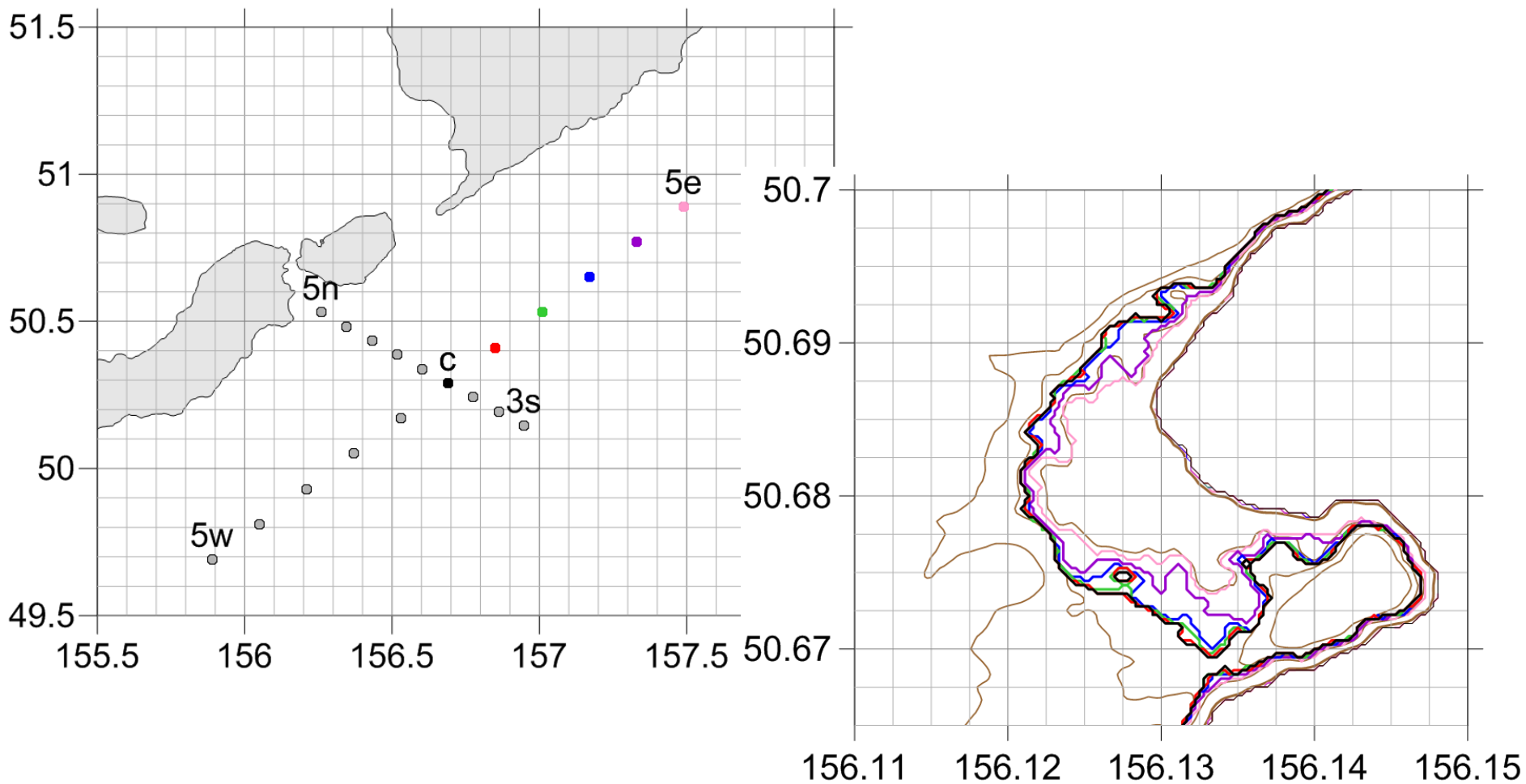
Распределение максимальных значений модулей скорости течений



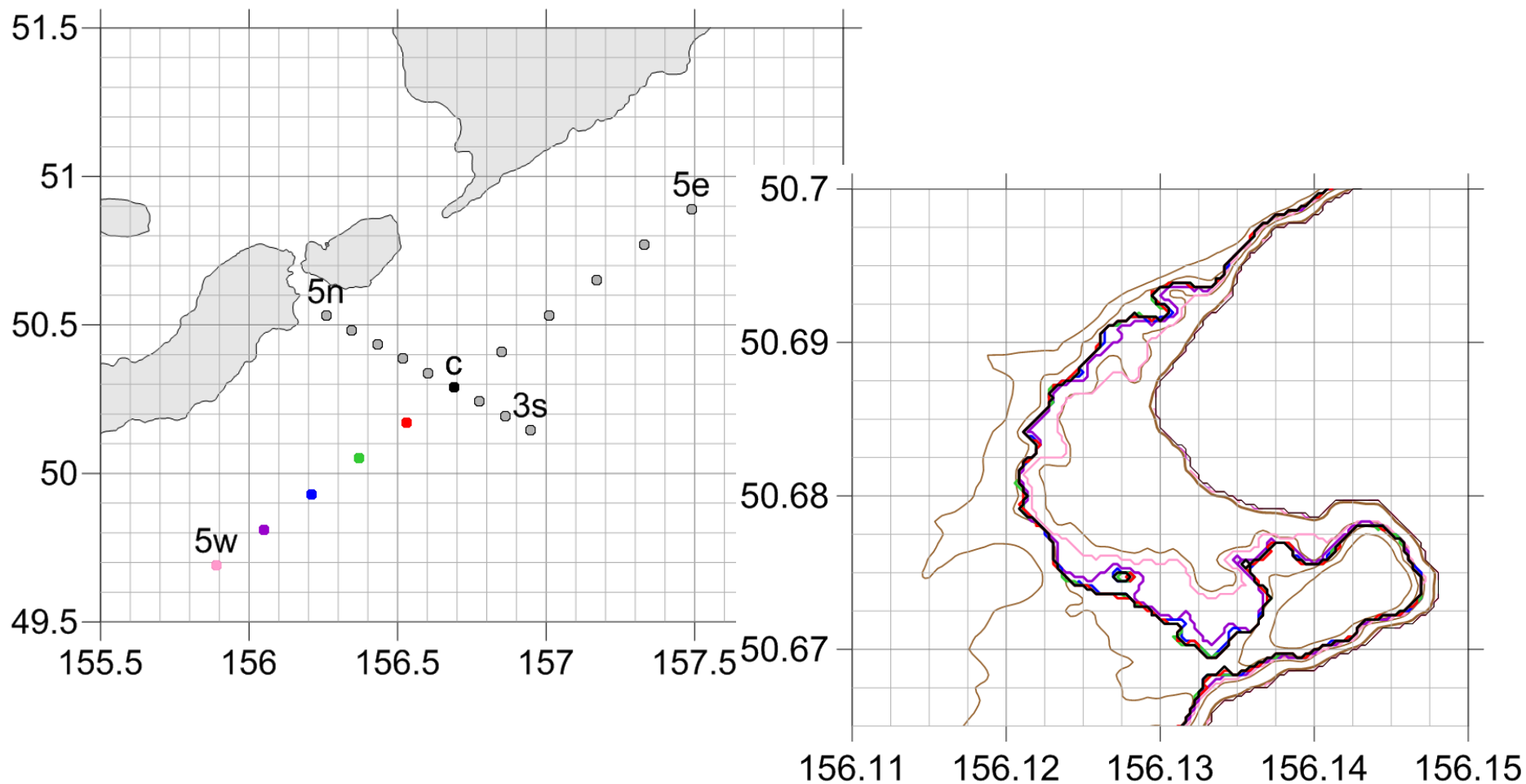
Сравнение зон заливания для источников разной магнитуды



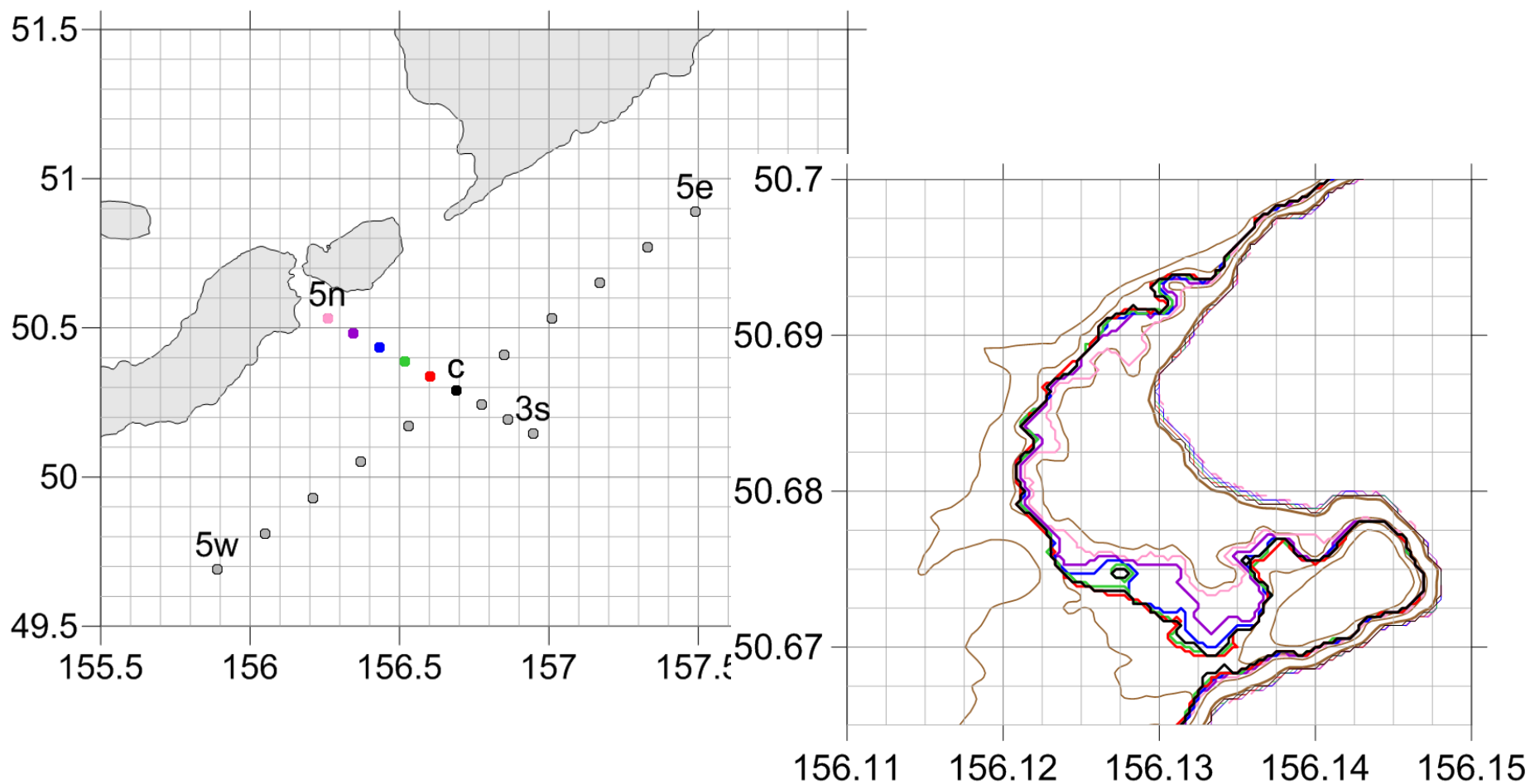
Сравнение зон заливания при смещении эпицентра очага «К ВОСТОКУ»



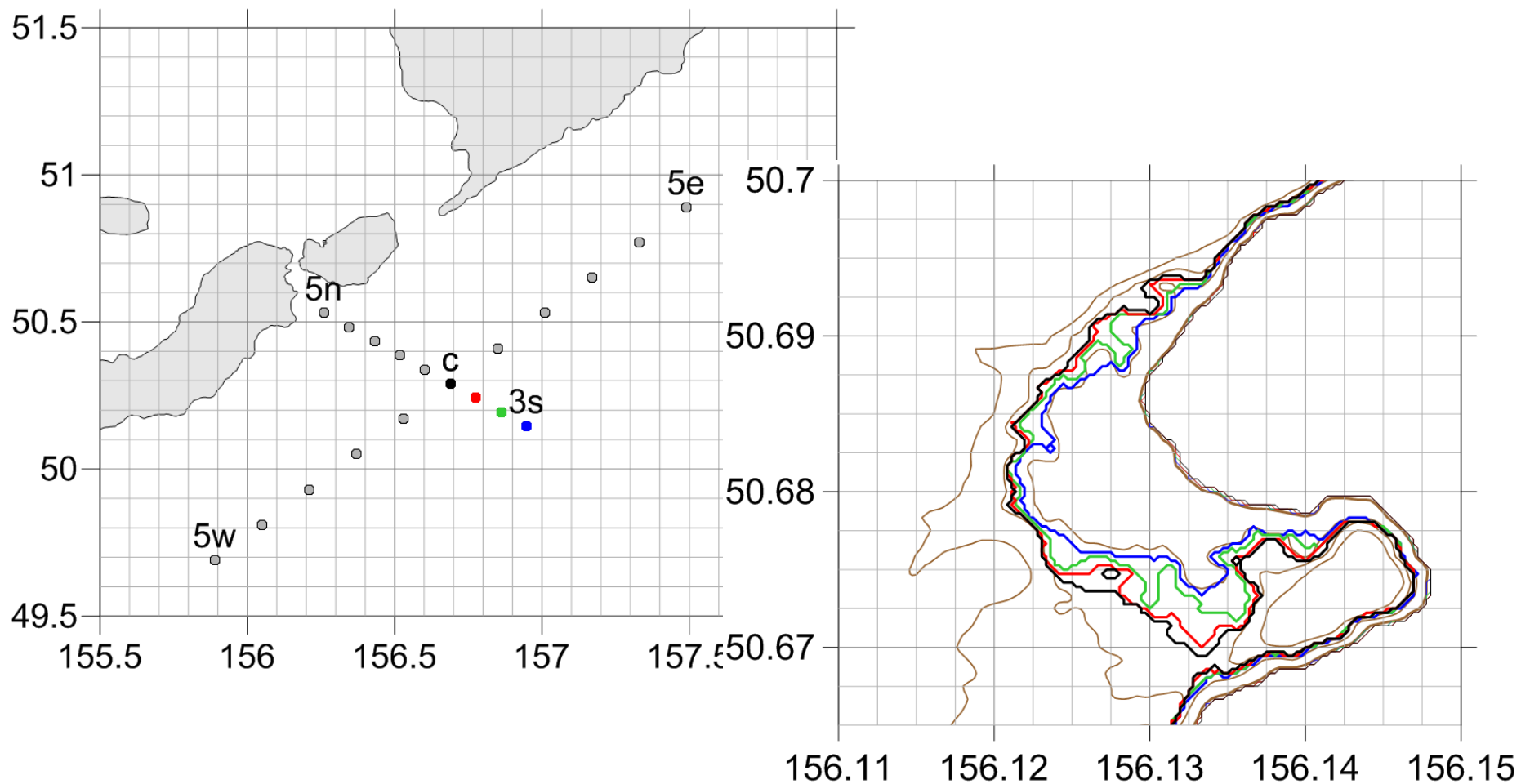
Сравнение зон заливания при смещении эпицентра очага «к западу»



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
葛飾
一
平



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

