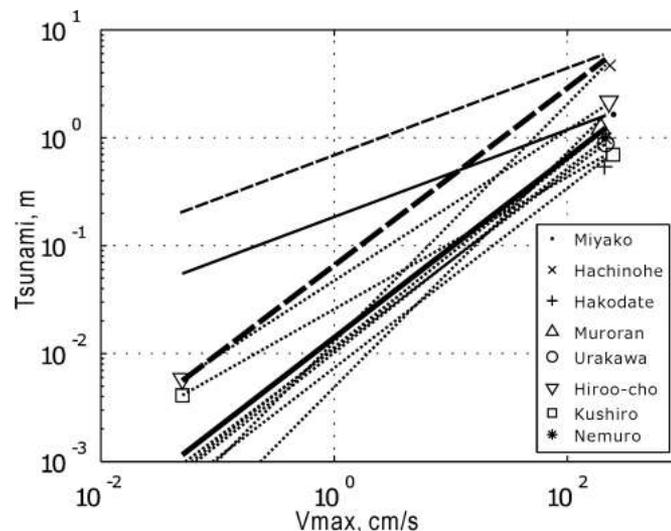
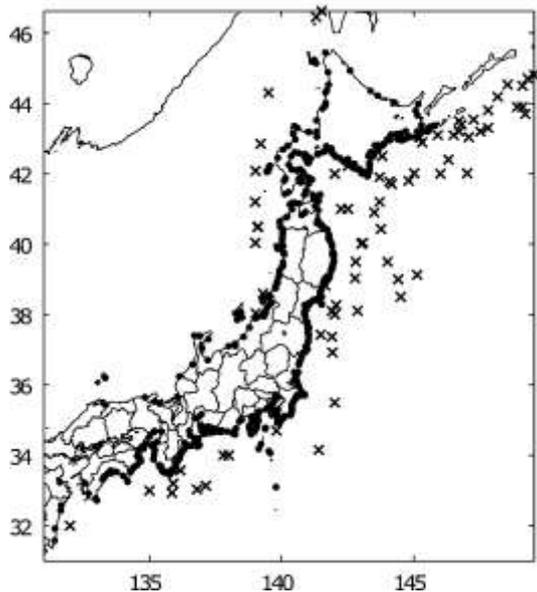


КОРРЕЛЯЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ МЕЖДУ ВЫСОТОЙ ЦУНАМИ И ПАРАМЕТРАМИ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ГРУНТА ПО ДАННЫМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЯПОНИИ

Петухин А.Г.¹, Гусев А.А.^{2,3}, Чебров В.Н.³

¹Geo-Research Institute, ²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, ³Камчатский филиал Геофизической службы РАН



Основные предпосылки

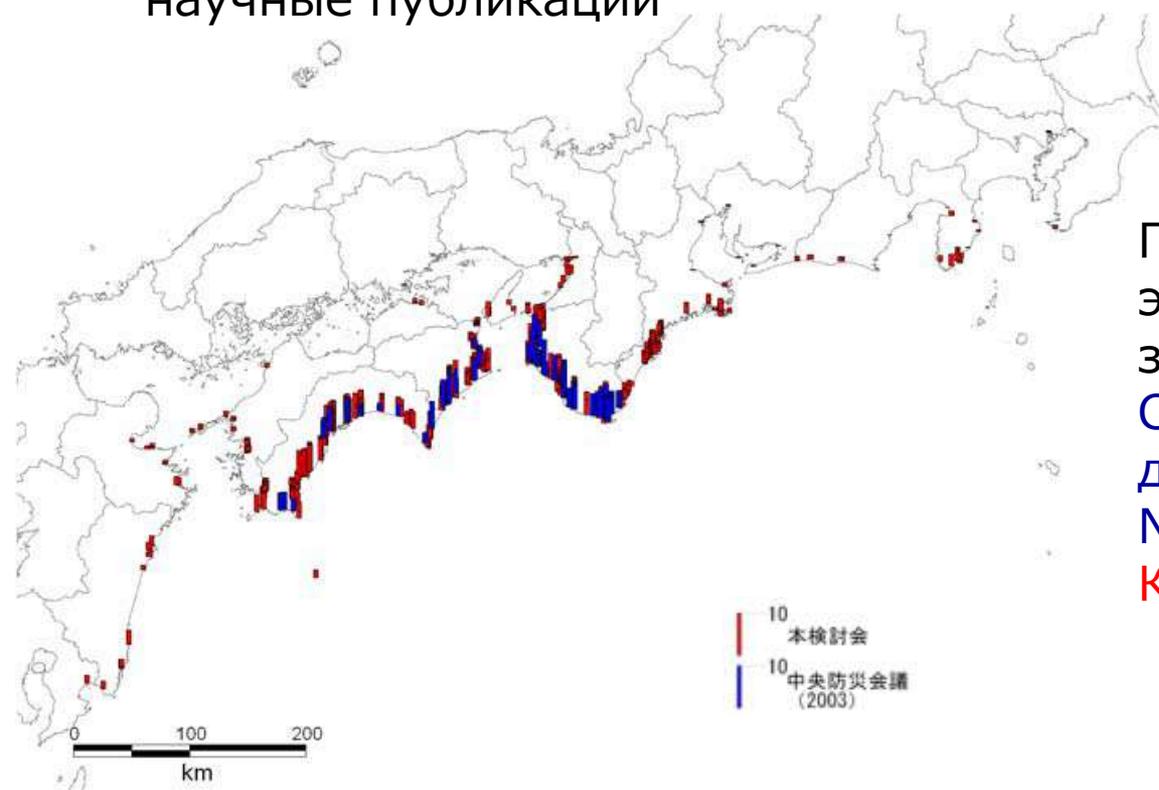
1. Целью данной работы является проверка и уточнение алгоритма прогноза цунами **по одной станции** на основе обильных исторических и инструментальных данных Японии.
2. **Соловьевым С.Л. и Поплавской Л.Н., 1980-1982гг.** получена выраженная связь высот цунами с макросейсмическим баллом.
3. На этой основе была сделана рекомендация объявлять тревогу цунами при **6 и более** баллах.
4. В работе Чеброва и др., 2011, было отмечено, что для высоты **цунами 1м** тревога должна объявляться при пиковой скорости **11 см/с**, что соответствует **6.3 балла**.

Содержание работы

1. Сбор данных и составление каталога цунами и параметров сильных движений
2. Регрессия данных цунами – модель Тобит
3. Результаты регрессии и оценка прогнозных зависимостей
4. Изучение причин разброса данных

Подбор источников: цунами

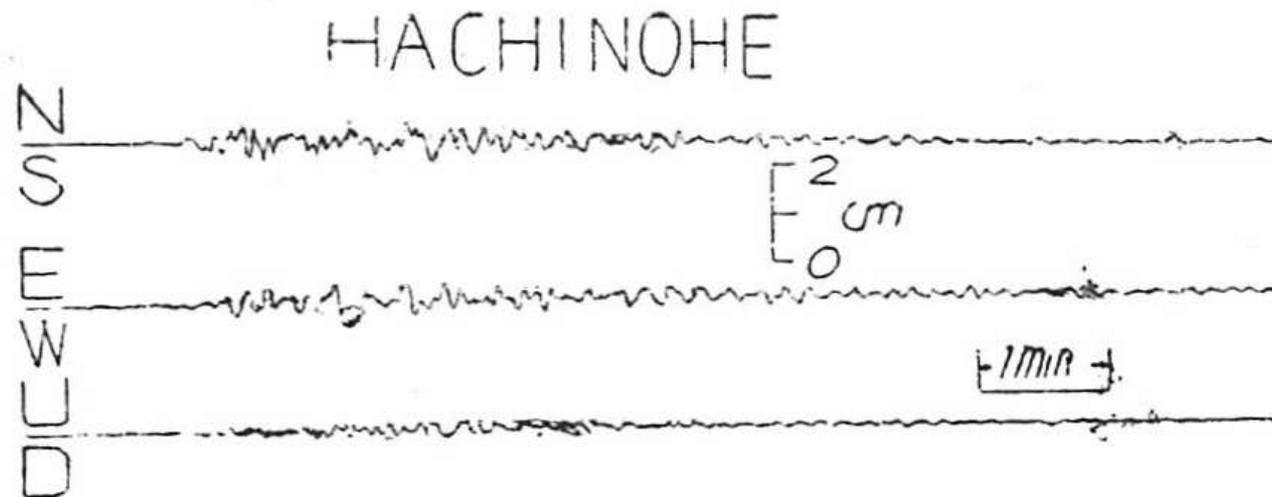
1. National Geophysical Data Center / World Data Center (NGDC/WDC) Global Historical Tsunami Database
2. The Annual Seismological Bulletin of Japan, Japan Meteorological Agency (JMA), CD-ROM
3. Центральный Совет по Предотвращению Стихийных Бедствий (CDPC), отчеты экспертных советов
4. The 2011 Tohoku Earthquake Tsunami Joint Survey Group
5. Отчеты полевых обследований последствий землетрясений и научные публикации



Пример данных из
экспертного отчета:
з/тр Нанкай 1946г
Синий – данные собранные
до 2003г. (вошли в базу
NGDC)
Красный – новые данные

Подбор источников: сильные движения

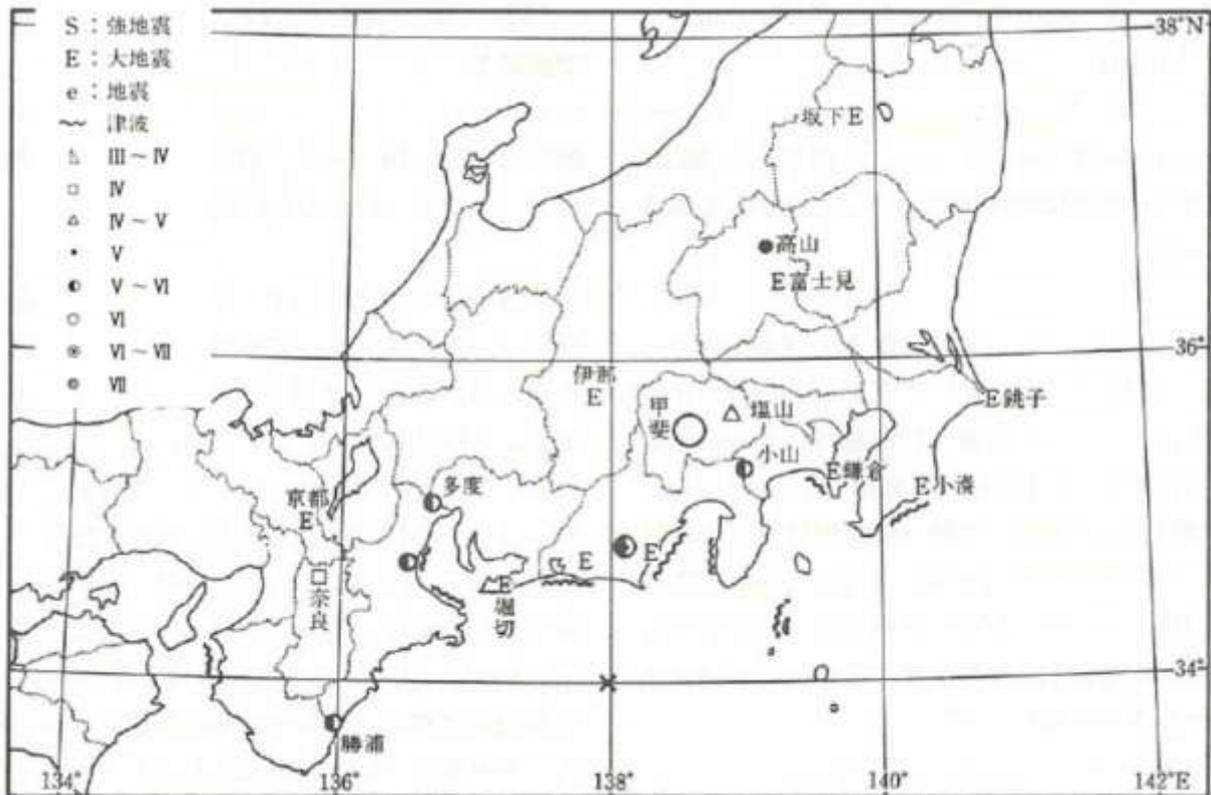
1. National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention (NIED), Strong-motion Seismograph Networks (**KNET, KiK-net, с 1995г, 20км**)
2. Japan Meteorological Agency (**JMA**), Strong Motion Database (**с 1987г, 50км**)
3. Port and Airport Research Institute (**PARI**), Strong Motion Database (**с 1962г., в портах и гаванях**)
4. **SMCAT**, 1996, Earthquake strong motion 3-volume CD-ROM collection, March 1996, Volume 3: Non-USA records (**с 1964г., на инженерных сооружениях**)
5. Отчеты полевых обследований последствий землетрясений и научные публикации (**аналоговые записи**)



Пример аналоговой записи до 1987г: з/тр Токати-оки 1952

Подбор источников: балльность

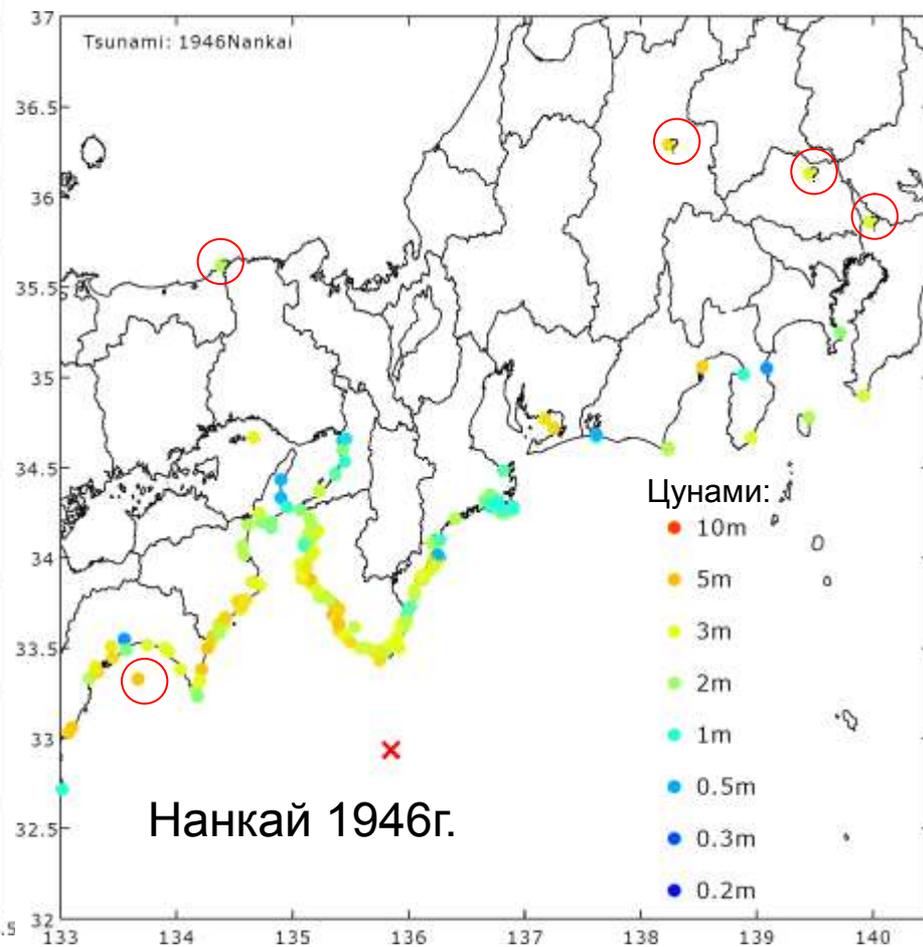
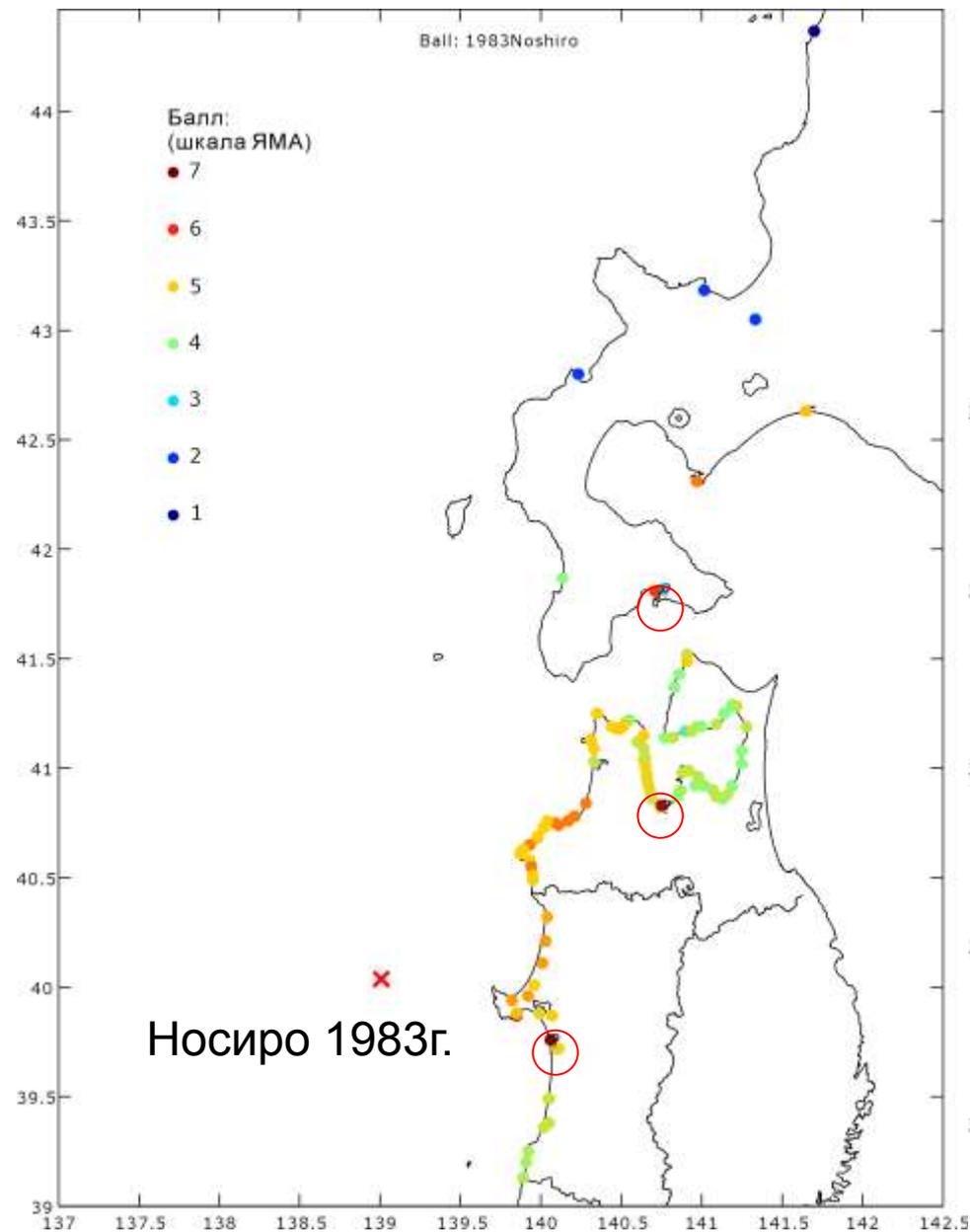
1. Усами Т., 2010, Распределение интенсивностей и контурные карты балльности исторических землетрясений Японии (до 1867г)
2. The Annual Seismological Bulletin of Japan, Japan Meteorological Agency, JMA CD-ROM (с 1926г)
3. Центральный Совет по Предотвращению Стихийных Бедствий(CDPC), отчеты экспертных советов
4. Отчеты полевых обследований землетрясений, научные публикации



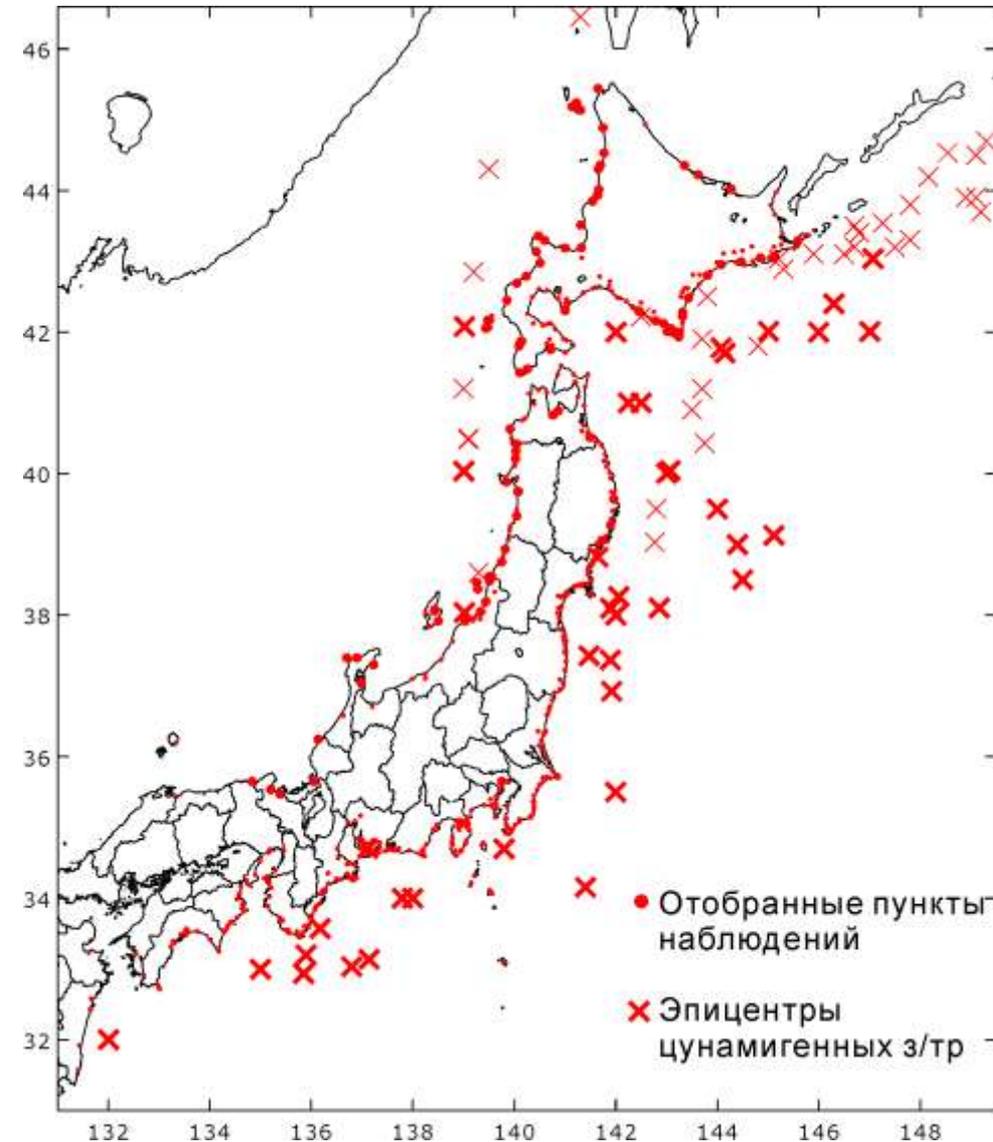
Пример данных каталога
Усами: з/тр Мейо 1498г

Проверка на непротиворечивость

Вызывающие сомнение
аномальные данные
перепроверялись и при
необходимости отбрасывались.



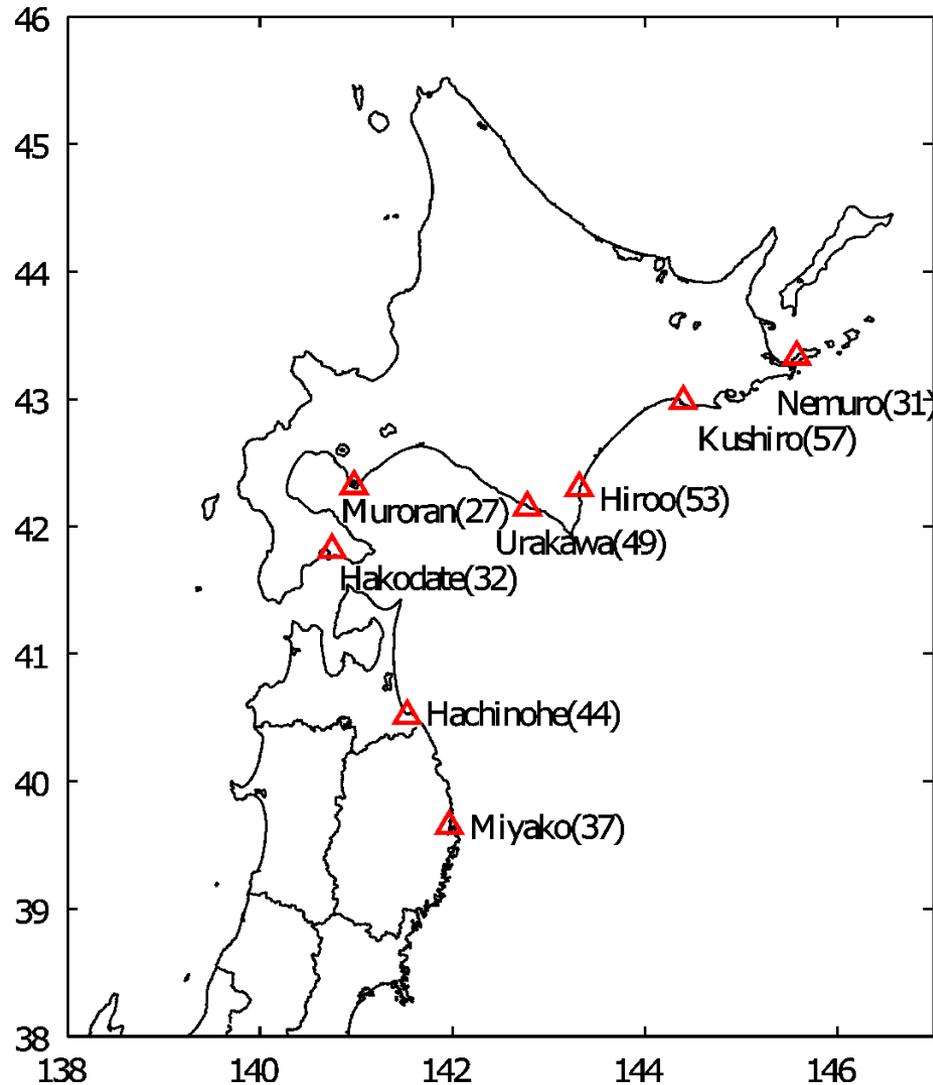
Обработка данных и составление каталога



- по **отфильтрованным** записям рассчитывались пиковые скорости V_{max}
- все первичные данные по V_{max} , цунами и балльности сведены в **базу данных**
- балльность переведена из шкалы ЯМА в шкалу МСК и затем в V_{max} по эмпирическим зависимостям **Гусева и Шумиловой(1999)**, и затем объединены с инструментально наблюдаемыми V_{max}
- для каждого пункта регистрации цунами были подобраны пункты наблюдения балльности и сильных движений **на расстояниях не более 30км**

Выборка данных для одного пункта

Схема прогноза предполагает **наблюдение сильных движений в пункте и оценку вероятности цунами в том же пункте** по амплитудам наблюдаемых сильных движений. Исходя из этого, разумно строить корреляционную зависимость **по данным одного и того же пункта**.

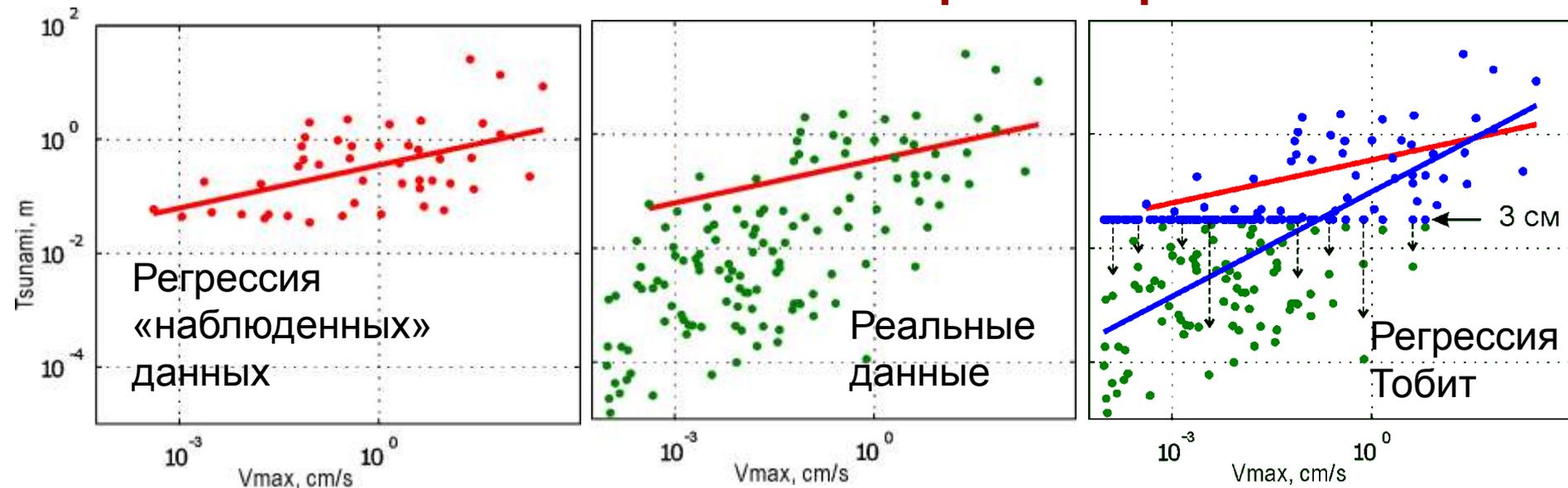


- На последнем этапе отобраны пункты обильных данных с числом наблюдений 20 и более.
- Для этого весь район наблюдений был разбит по сетке на квадраты 30x30км и были выбраны квадраты с числом наблюдений 20 и более.
- Эти данные затем присвоены пунктам наиболее обильных наблюдений внутри каждого квадрата. Таких пунктов оказалось 8.

Проблема регрессии данных цунами

1. При построении эмпирических зависимостей методом регрессии используются **наблюдённые данные**. Пропуски в данных обсуждаются в рамках проблемы полноты данных, но при этом ограничиваются случаями, когда **данные не были получены в виду недостаточности наблюдений**.
2. В этой работе мы рассмотрим **случай, когда данные не получены ввиду отсутствия самого явления** (цунами - как волны большой амплитуды). Целью данной работы является прогноз прихода цунами и его высоты по результатам наблюдений сильных движений в пункте. **Цунами возникает не при всех землетрясениях, при которых наблюдаются достаточно сильные колебания, и такие землетрясения естественно не попадают в статистику пар**.
3. Неучет таких землетрясений при построении прогнозных зависимостей **приводит к большому количеству ложных тревог**.
4. Мы попытаемся применить альтернативный подход, когда таким землетрясениям **приписывается «нулевое» цунами**, и использовать их в регрессии. Такая схема регрессии разработана в финансовой статистике и называется **моделью Тобит**.

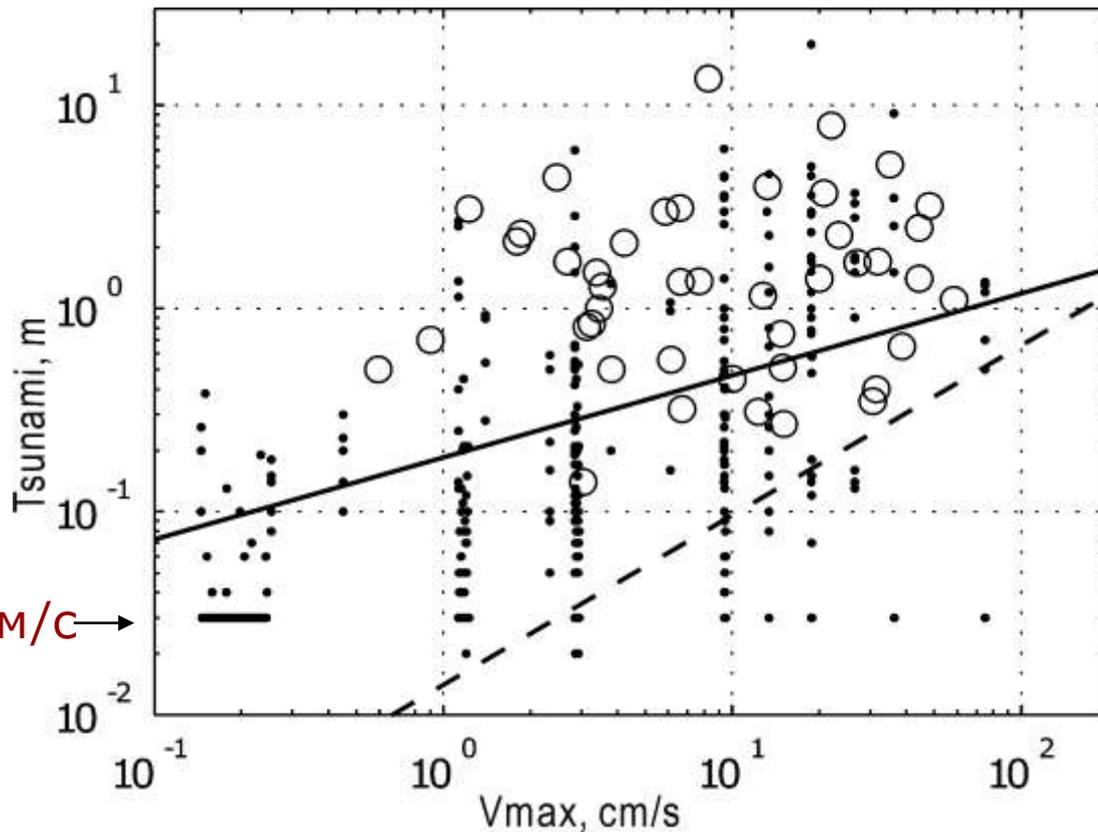
Регрессия Тобит для цензурированных данных численный пример



- «Наблюденные» данные
- Исходные данные
- Цензурированные данные с порогом 3 см/с

Tobin, J., 1958, Estimation of relationships for limited dependent variables, *Econometrica* (The Econometric Society) 26 (1): 24–36

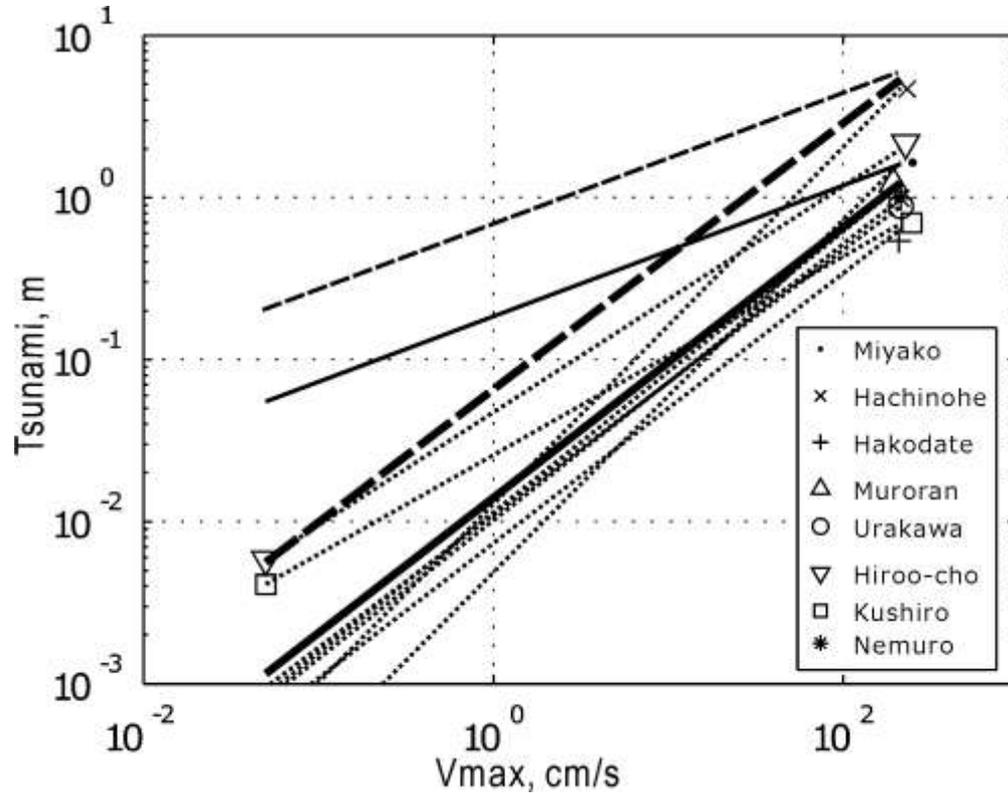
Регрессия Тобит для цензурированных данных наблюденные данные



- Кружки – непосредственные измерения V_{max}
- Точки – V_{max} пересчитанные из балла
- Пунктир - результат регрессии Тобит
- Сплошная линия - стандартная регрессия

← ~ 300 (50% данных)

Результаты регрессии



- Точечные линии - регрессия Тобит по пунктам в отдельности
- Толстая сплошная линия - для данных во всех пунктах суммарно
- Толстая пунктирная линия - среднее+стандартное отклонение
- Тонкие линии - среднее и среднее+стандартное отклонение для стандартной регрессии

Параметры регрессий:

| | $H(V_{max}=10\text{cm/s})$ см | b | σ лог. ед. |
|-----------------------|----------------------------------|-----------------|----------------------|
| Стандартная регрессия | 47^{58}_{38} | 0.40 ± 0.04 | 0.56 |
| Модель Тобит | $9.6^{10.2}_{9.1}$ | 0.84 ± 0.02 | 0.67 |

Прогнозные зависимости высоты цунами от пиковых скоростей V_{max}

Для **средних** величин
(пропуск цели **50%**):

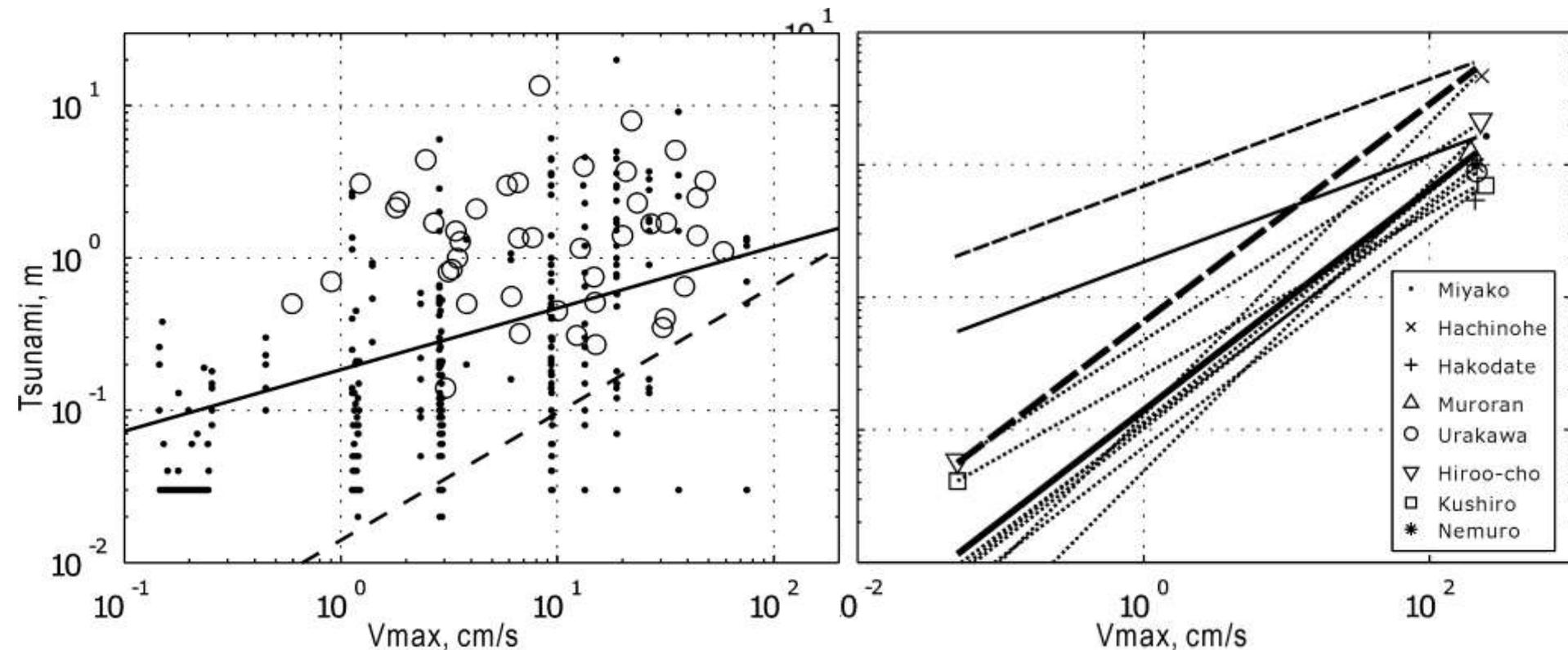
| V_{max} , см\с | H , см | |
|---------------------|-------------------|-------|
| | Стандартная регр. | Тобит |
| 3 | 30 | 4 |
| 10 | 50 | 10 |
| 30 | 75 | 30 |
| 100 | 140 | 80 |
| 300 | 190 | 220 |

Пример для **среднего + стандартное отклонение**:
(пропуск цели **16%**)

| V_{max} , см\с | $H + \sigma$, см | |
|---------------------|-------------------|-------|
| | Стандартная регр. | Тобит |
| 1 | 80 | 7 |
| 10 | 200 | 45 |
| 100 | 550 | 310 |

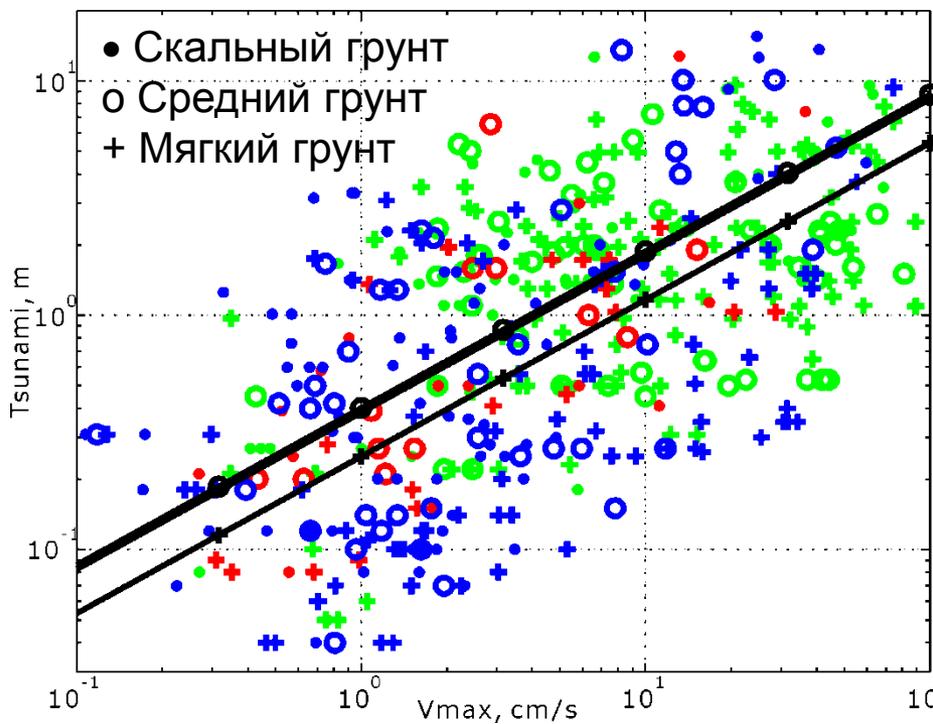
Обратная интерполяция в случае **среднего + стандартное отклонение** дает уровень тревоги для **цунами 100см**: **1.6 см/с** в случае стандартной регрессии, и **18 см/с** при использовании модели Тобит. Первое значение приблизительно соответствует **4 баллам** МСК, а второе – **7 баллам** МСК. Расхождение на первый взгляд сильное, но смысл цифр несколько отличается т.к. **первая модель учитывает только наблюдаемые цунами**, а **вторая модель все землетрясения**.

Проблема разброса данных



- **Разброс данных:** отличие среднего и среднего+стандартное отклонение около **5-6 раз!** Отчасти это связано с различием частотных характеристик процессов: высокочастотный для сильных движений и низкочастотный для цунами.
- Большой разброс приводит к большому количеству ошибок прогноза: **ложным тревогам** при сильных сотрясениях (**7-8 баллов и более**), или к вероятному **пропуску цели** при малых сотрясениях (**3-4 балла и менее**).

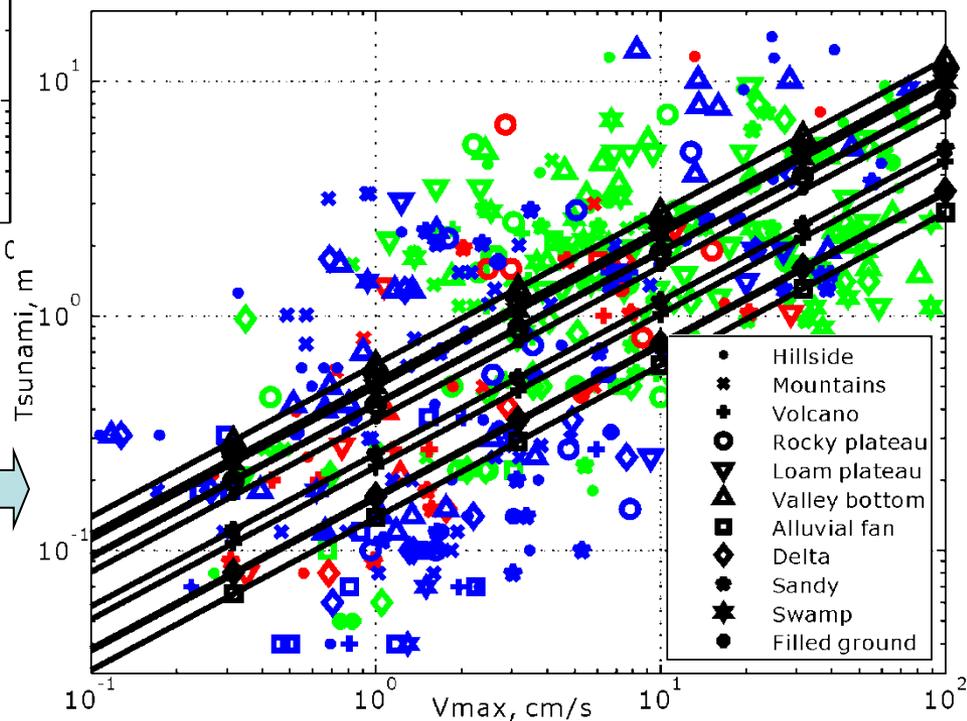
Исследование причин разброса: влияние типа грунтов



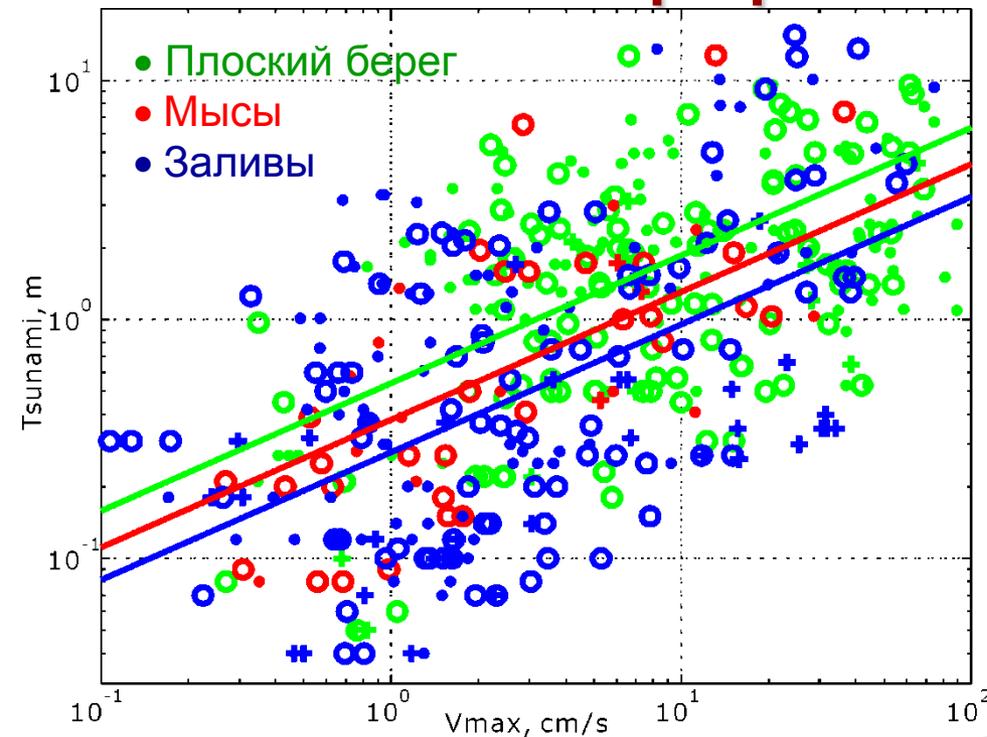
Детальный учет характеристик
грунта, например с разбивкой по
геоморфологическим категориям,
позволяет уменьшить разброс
(0.45/0.5 лог.ед.)



Традиционный упрощенный
учет характеристик грунта:
скальный, средний и мягкий,
практически не уменьшает
разброс данных
(0.49/0.5 лог.ед.)

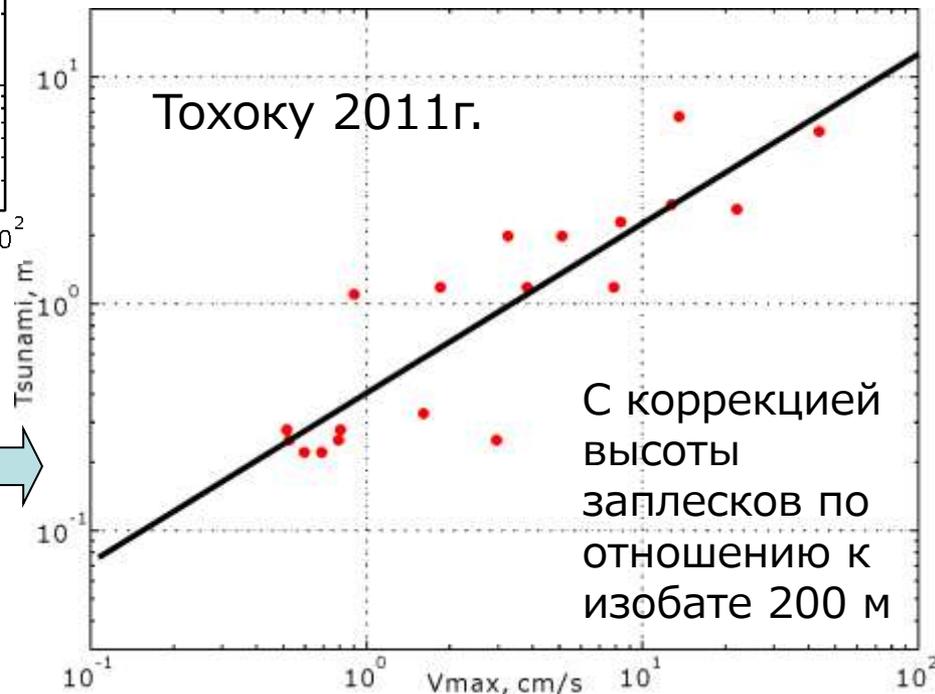


Исследование причин разброса: влияние формы береговой линии

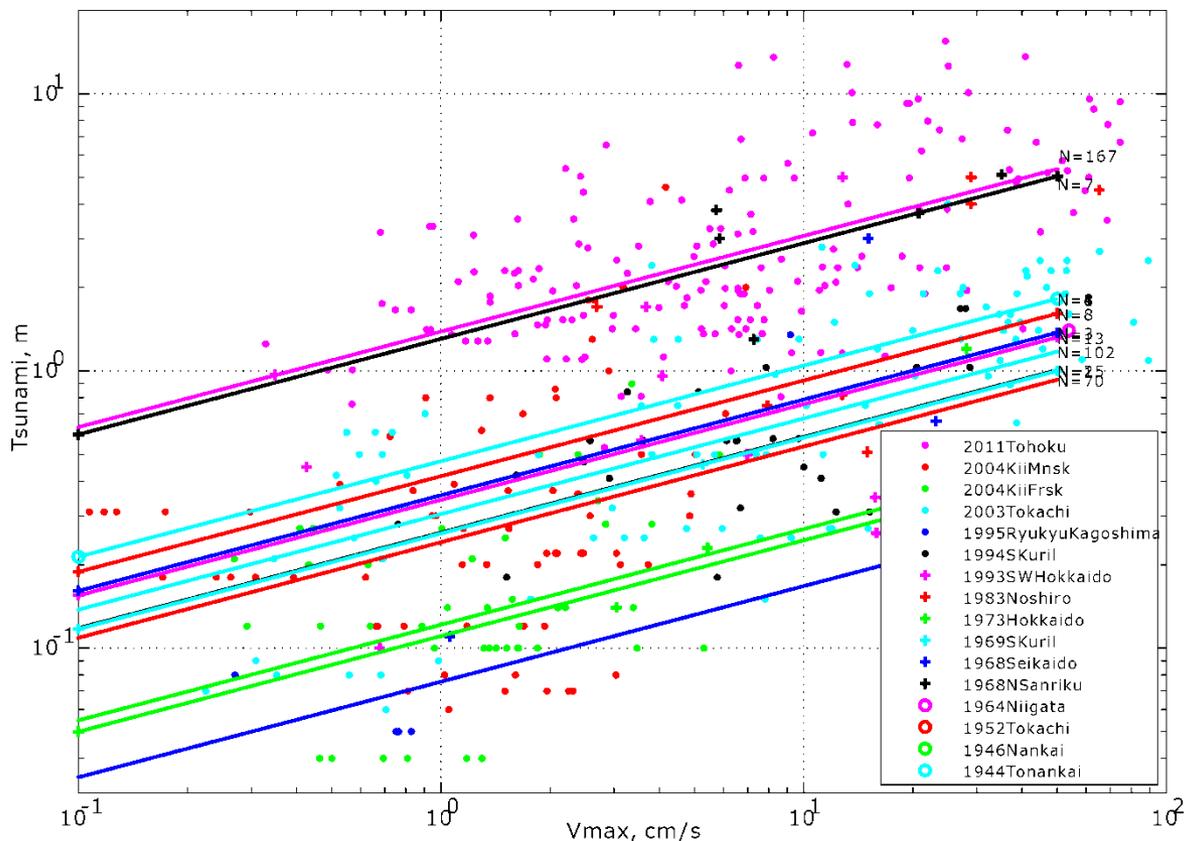


Учет формы береговой линии (плоский берег, мысы, заливы) также позволяет несколько уменьшить разброс данных (0.46/0.50 лог.ед.)

Пример справа показывает, что для отдельного з/тр с учетом высоты заплесков оцененных индивидуально для каждого пункта, разброс (а значит и неопределенность прогноза!) можно значительно уменьшить (0.26/0.5 лог.ед.)



Исследование причин разброса: влияние отдельных очагов



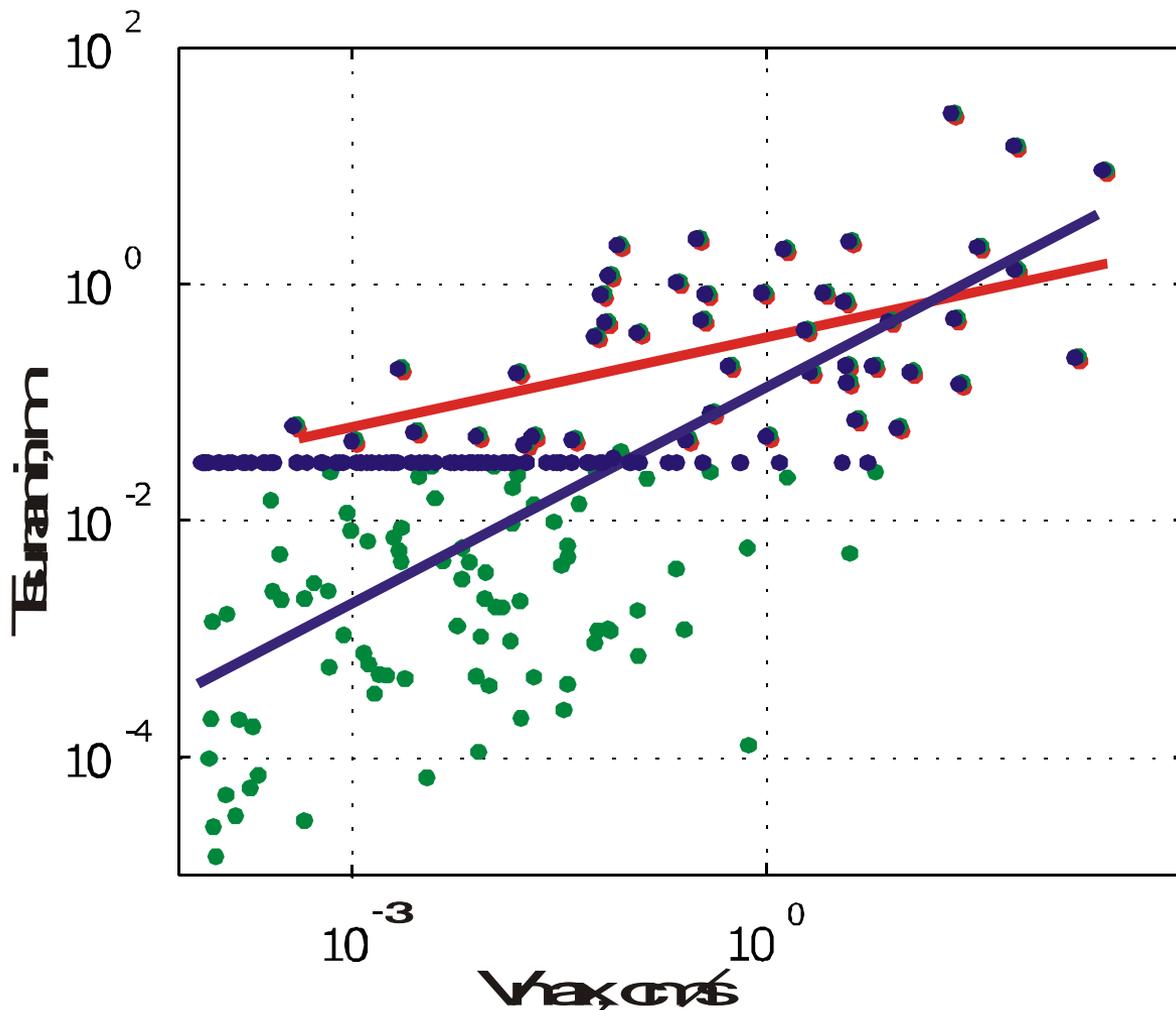
Наибольший вклад в уменьшение разброса и неопределенности прогноза дает учет влияния конкретных очагов: при одинаковых V_{max} цунами больше для межплитовых з/тр с подвижкой в глубоководной части, и меньше для внутриплитовых з/тр с подвижкой в мелководной части (0.29/0.50 лог.ед.)

Заключение

1. Собраны наблюдения высот цунами, балльности и записи сильных движений грунта землетрясений Японии.
2. Для отдельных пунктов изучена корреляция высот цунами и пиковых скоростей V_{max} . Используются стандартная регрессия для наблюдаемых данных и регрессионная модель Тобит для набора данных, пополненных цензурированными данными цунами.
3. Получены прогнозные зависимости для среднего и для среднего + стандартное отклонения, для двух типов регрессии.
4. Полученные зависимости дают основу для построения вероятностных оценок прихода цунами заданного уровня в зависимости от наблюдаемого уровня V_{max} .
5. Учет характеристик грунта, формы береговой линии, а также параметров очага позволяет значительно уменьшить неопределенность прогноза.

Благодарности. В работе интенсивно использованы базы данных NGDC, JMA, KNET, Kik-net. Авторы благодарны А.А.Поплавскому за предоставленные данные цунами и балльности з/тр Курильских островов. Особая благодарность Т.Шкиндер за работу по подготовке первичных данных и обработке источников на японском языке.

Регрессия Тобит для цензурированных данных численный пример



- «Наблюдаемые» данные
- Исходные данные
- Цензурированные данные с порогом 3см/с

Tobin, J., 1958,
Estimation of
relationships for limited
dependent variables,
Econometrica (The
Econometric Society)
26 (1): 24–36