



Расширенное заседание Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики, г. Мурманск, 6 апреля 2023 г.



# Системная конструкция объединенного калиброванного каталога землетрясений восточного сектора АЗРФ

П.Н.Шебалин, И.А.Воробьева, А.Д.Гвишиани, Б.А.Дзедобоев,  
Б.В.Дзеранов, А.А.Скоркина

## Задача и актуальность исследования

- Анализ сейсмического режима арктических территорий России и построение карт сейсмической опасности являются сегодня актуальными задачами, решение которых невозможно без создания представительного инструментального каталога землетрясений .
- Важность этих задач для изучения и освоения Арктики подчеркивается увеличивающимся уровнем промышленного развития региона.
- Задачей данного исследования являлось создание представительного каталога землетрясений восточного сектора Арктической зоны Российской Федерации, объединяющего все доступные данные российских и международных сейсмологических агентств, с приведением магнитуд к однородной шкале.
  - **Объединение всех доступных каталогов землетрясений, предполагающее идентификацию дублированных событий.**
  - **Унификация оценок магнитуд в объединенном каталоге**

# Каталоги землетрясений

**Базовая информация:** время и место возникновения события и его сила

	Date	TIME	Lat°	Lon°	Dep, km	Mag	
1	22.11.1969	23:09:38.86	57.67	163.51	25.6	7.5	MS_ISC
2	18.05.1971	22:44:41.70	63.93	145.96	1.5	7.0	MS_ISC
3	08.03.1991	11:36:31.27	60.828	167.075	16.5	6.6	MW_GCMT

- Каталоги бывают глобальные, региональные, локальные
- Часто сейсмичность одной и той же зоны может быть представлена в нескольких разных каталогах
- Каталоги могут содержать разный набор событий в силу различной конфигурации сетей и способов обработки сейсмических записей.
- Объединение данных различных сетей позволяет улучшить представительность каталога землетрясений.

## **Магнитуды**

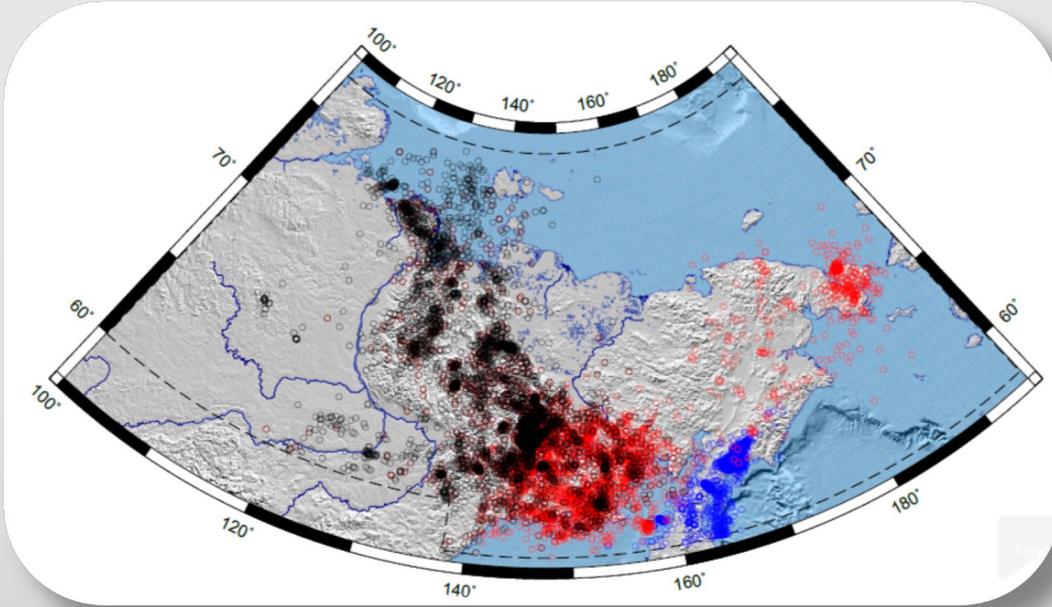
Сила землетрясения описывается магнитудой.

Существует много типов магнитуды, в российских каталогах используется энергетический класс

Оценки магнитуд могут существенно различаться в зависимости от типа и агентства

# Исходные данные

## Регион исследования



Эпицентры землетрясений из каталогов ГС РАН Якутии (черные), Северо-Востока (красные) и Камчатки (синие)

## Каталоги

1. Региональный каталог Якутии из сборников «Землетрясения в СССР» 1962 – 1991, «Землетрясения Северной Евразии» 1992 – 2014 и «Землетрясения России» 2015 – 2019 (ГС РАН) (далее YAK).
2. Региональный каталог Северо-востока России из сборников «Землетрясения в СССР» 1968 – 1991, «Землетрясения Северной Евразии» 1992 – 2014 и «Землетрясения России» 2015 – 2019 (ГС РАН) (далее NER).
3. Региональный каталог землетрясений Камчатки Камчатского филиала ГС РАН (далее КАМ).
4. Каталог ISC, являющийся композитным каталогом, в котором собраны данные множества мировых агентств, в том числе российских. На территории исследования представлены данные 24 агентств

## Приоритет источников данных

1. Данные глобальных сетей из каталога ISC
2. Данные Российских региональных сетей
3. Остальные данные из каталога ISC

# Модифицированный метод ближайшего соседа

Метод разработан по аналогии с современными способами идентификации афтершоков  
Модификация метода ближайшего соседа основана на положении, что дубли формируют пары, в которых события необходимо принадлежат разным исходным каталогам.

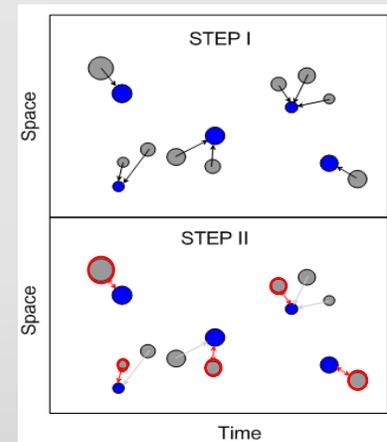
На входе имеется 2 каталога, главный каталог 1 и дополнительный каталог 2. Задача состоит в том, чтобы разделить каталог 2 на события, имеющие дубли в каталоге 1 и уникальные события.

**Шаг 1.** Для каждого события каталога 2 ищем ближайшего соседа из каталога 1 в соответствии с выбранной функцией близости. Таким образом, у каждого события из каталога 2 определяется единственное событие из каталога 1 для которого оно может являться дублем.

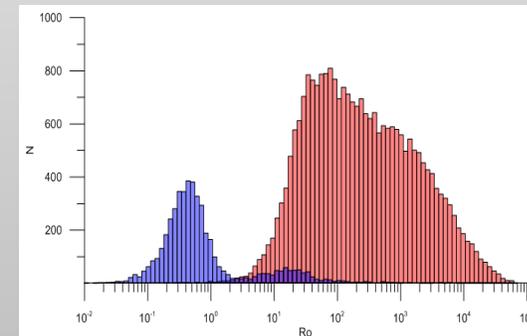
**Шаг 2.** Некоторые события из Каталога 1 могут оказаться ближайшими для нескольких событий Каталога 2, тогда в качестве потенциального дубля выбирается ближайшее из таких событий, остальные события объявляются не дублями, вне зависимости от значений метрики.

**В итоге** дублями считаем события второго каталога с функцией близости меньше пороговой. Остальные события Каталога 2 объявляются уникальными и добавляются к Каталогу 1.

**Далее**, можно последовательно добавить любое число каталогов.



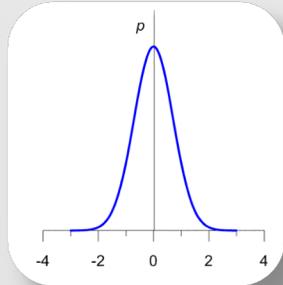
Синие – события из главного каталога 1  
Серые- события из дополнительного каталога 2.  
Потенциальные дубли выделены красным



Синяя гистограмма - распределение метрики для пар ближайших событий из сильно пересекающихся каталогов.

## Функция близости для дублей: вероятностный подход

Мы предполагаем, что разница в определении землетрясения различными сетями является случайной величиной, имеющей нормальное распределение с нулевым средним по каждому из параметров



$$f(DT) = \frac{1}{\sigma_T \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{DT^2}{2\sigma_T^2}\right),$$

$$f(DX) = \frac{1}{\sigma_X \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{DX^2}{2\sigma_X^2}\right),$$

$$f(DY) = \frac{1}{\sigma_Y \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{DY^2}{2\sigma_Y^2}\right).$$

$DT, DX, DY$  – разница во времени, долготе и широте между различными определениями сейсмического события

$\sigma_T, \sigma_X, \sigma_Y$  – соответствующие стандартные отклонения

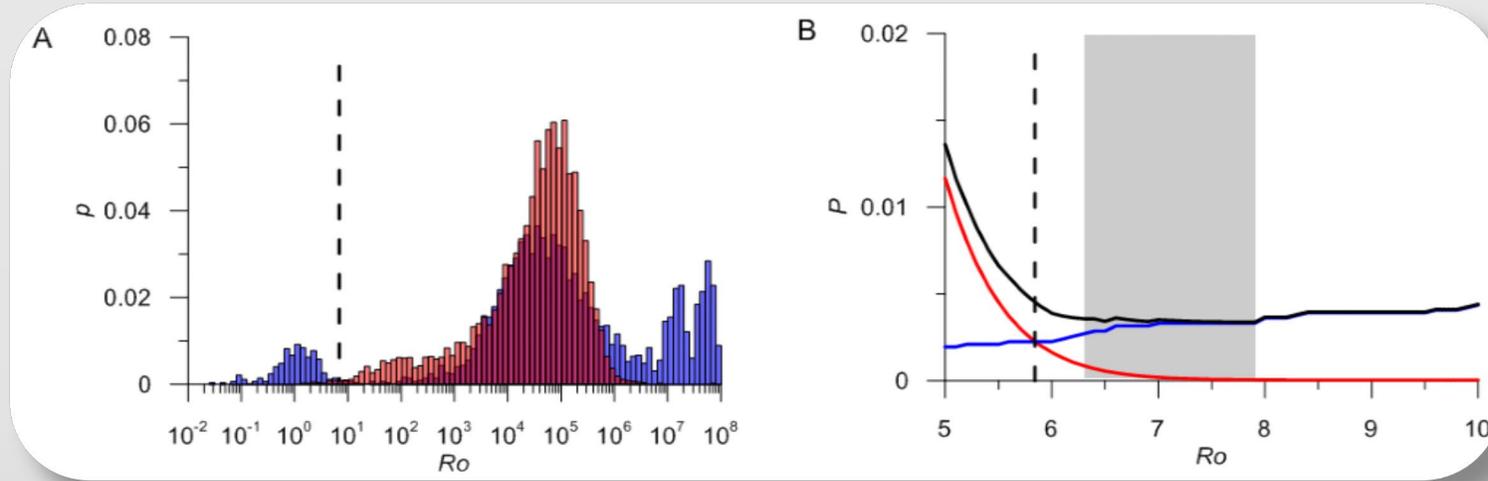
Мы предполагаем,  $DT, DX, DY$  что являются независимыми случайными величинами, тогда вероятность дубля будет произведением вероятностей ошибок по каждому из параметров

$$f(DT, DX, DY) = \frac{1}{\sigma_T \sigma_X \sigma_Y (2\pi)^{3/2}} \cdot \exp\left(-\left(\frac{DT^2}{2\sigma_T^2} + \frac{DX^2}{2\sigma_X^2} + \frac{DY^2}{2\sigma_Y^2}\right)\right).$$

Таким образом мы естественно приходим к Эвклидовой метрике

$$Ro = \sqrt{\frac{DT^2}{\sigma_T^2} + \frac{DX^2}{\sigma_X^2} + \frac{DY^2}{\sigma_Y^2}}$$

# Окончательная идентификация дублей и оптимизация порога метрики на примере каталогов Якутии и Северо-Востока

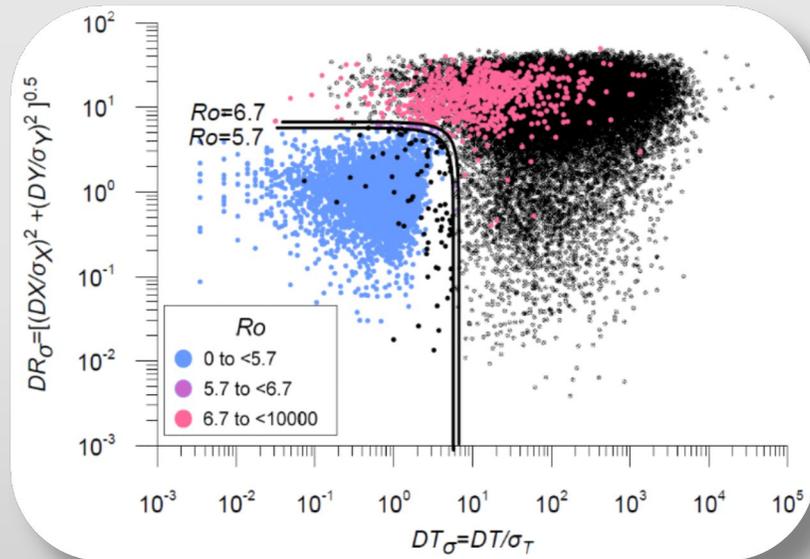


**a).** Сравнение распределения метрики для пар YAK/NER (синяя гистограмма) и такой же метрики для землетрясений YAK/YAK (красная гистограмма).

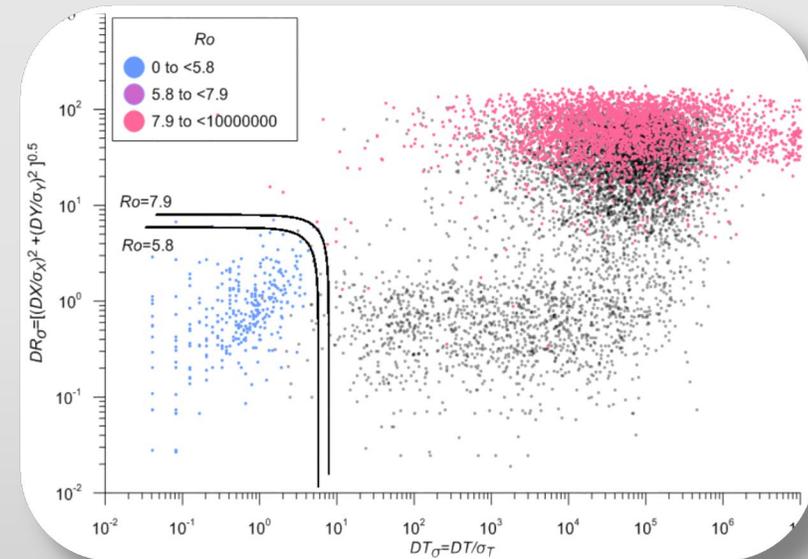
**b).** Оптимизация порога: красная линия показывает вероятность пропуска дубля в модели многомерного нормального распределения, синяя линия – вероятность ложного дубля, черная линия – суммарная вероятность ошибок первого и второго рода, пунктирная линия  $Ro = 5.8$  соответствует равному числу ошибок первого и второго рода (число ложных дублей равно числу пропущенных дублей), оценка суммарного числа ошибок примерно 0.5%, серая полоса показывает диапазон значений метрики  $Ro = 6.3 \div 7.9$ , минимизирующих суммарное число ошибок, примерно 0.4%.

# Пространственно-временная структура дублей и афтершоков на примере каталогов афтершоков Землетрясения Тохоку, Япония, и каталогов Якутии и Северо-Востока

Тохоку ANSS/JMA

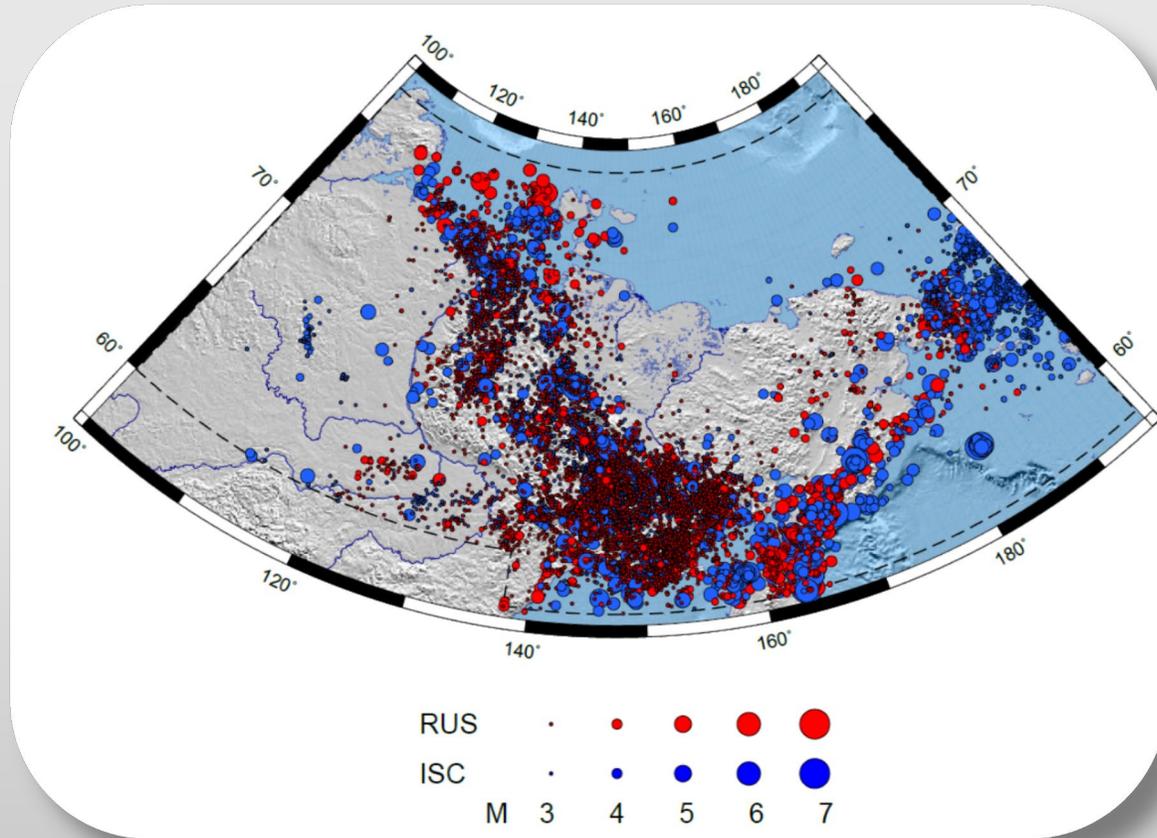


Якутия/Северо-Восток



Распределение нормированных  $DT$  и  $DR$ , и линии уровня метрики  $Ro$ . Цветные точки – пары ,ближайших событий из разных каталогов, черные точки – расстояния между событиями в одном каталоге в метрике  $Ro$ . Значения метрики для землетрясений в одном каталоге существенно больше, чем для дублей из разных каталогов. Линии уровня метрики обеспечивают близкое к оптимальному разделение дублей и естественно группированных событий (нижний кластер черных точек).

# Объединенный каталог землетрясений восточной Арктики



- На основе обобщения и интеграции данных различных сетей для восточного сектора Арктической зоны Российской Федерации составлен объединенный каталог землетрясений.
- Каталог содержит информацию о 23 254 сейсмических событиях за период 1962 – 2020 гг.
- 7 781 событие из ISC
- 15 473 события из Российских каталогов.

# Магнитуды в объединенном каталоге землетрясений восточной Арктики

Объединенный каталог восточного сектора АЗРФ содержит 23 254 события, которые имеют разные типы магнитуды, определенные различными агентствами. Необходимо их унифицировать

## Каталог ISC

Для каждого события приводятся все известные оценки магнитуды от множества агентств, событие может иметь несколько десятков различных магнитуд.

## Каталоги ГС РАН

Большинство событий имеет энергетический класс. Число землетрясений с магнитудами невелико.

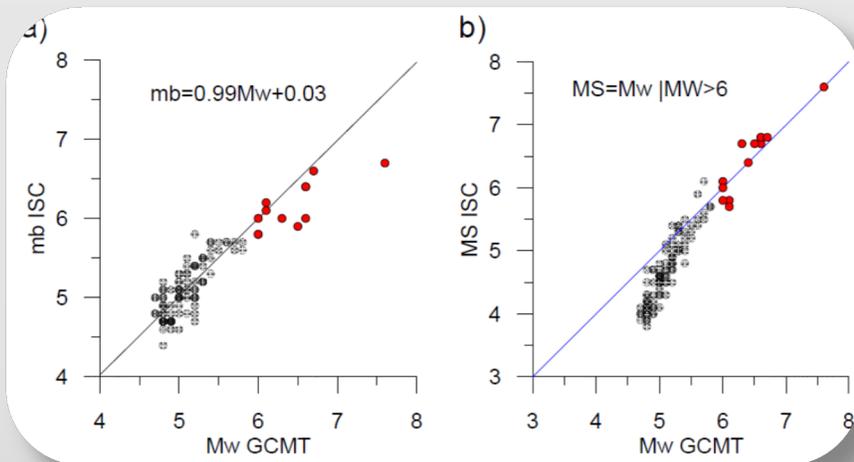
В каталогах Якутии и Северо-Востока приводятся классы Раутиан  $kr = 1.8 \lg A_{\text{peak}} + f(r)$

В каталоге Камчатки приводятся классы Смирнова  $ks = 2 \lg A_{\text{peak}} + f(r)$

**Необходимо выбрать приоритет магнитуды (тип и агентство)**

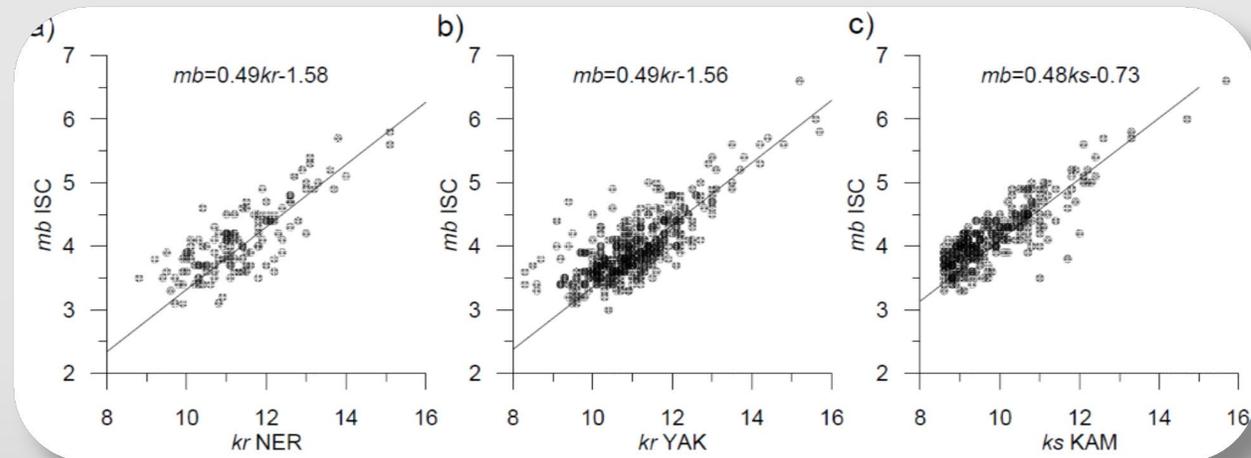
**Необходимо установить корреляционные соотношения различных типов магнитуды.**

## Регрессионные соотношения магнитуд



Регрессионные соотношения магнитуд  
GCMT и ISC:

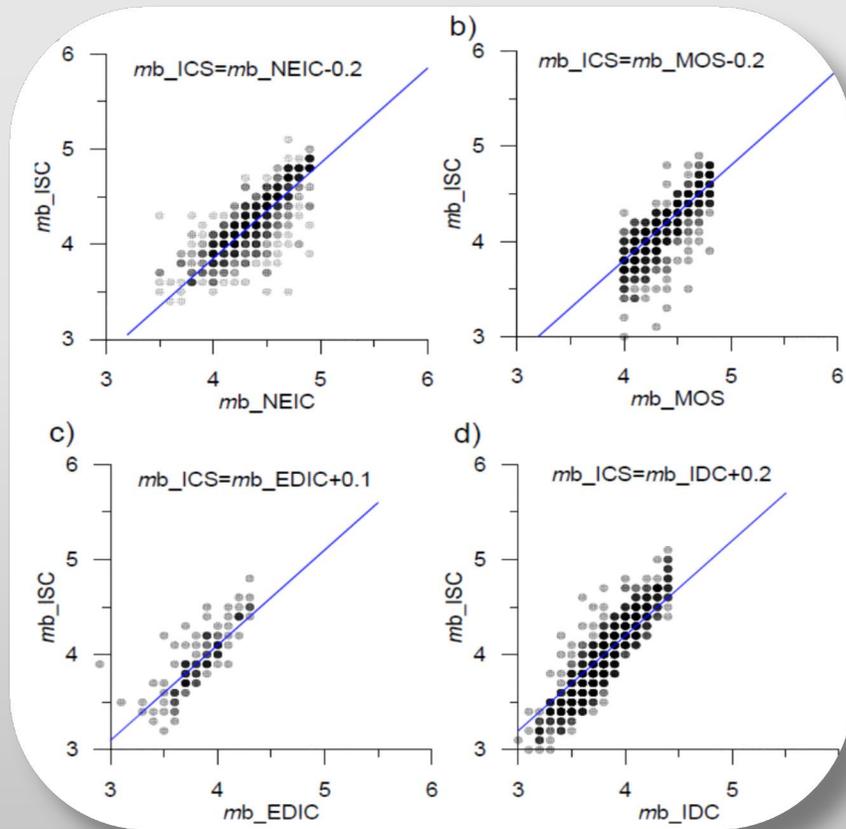
- a).  $M_w$  GCMT и  $mb$  ISC для  $M_w < 6.0$ ;  
b).  $M_w$  GCMT и  $MS$  ISC для  $M_w \geq 6.0$ .



Регрессионные соотношения энергетических классов  $kr$ ,  $ks$  и  
магнитуды  $mb$  ISC.

- a). Северо-Восток,  $kr$ ; b). Якутия,  $kr$ ; c). Камчатка,  $ks$ .

## Регрессионные соотношения магнитуд $m_b$ разных агентств



Регрессионные соотношения магнитуды  $m_b$  различных агентств и магнитуды  $m_b$  ISC.

- a) National Earthquake Information Center, USA (NEIC);
- b) ГС РАН, Россия (MOS)ж
- c) Experimental International Data Center USA (EDIC);
- d) International Data Centre, Austria IDC.

## Заключение

- На основе интеграции данных различных агентств составлен наиболее полный и представительный каталог землетрясений для восточного сектора Арктической зоны Российской Федерации.
- Каталог содержит информацию о 23 254 сейсмических событиях за период 1962 – 2020 гг., из которых 7 781 событие из ISC и 15 473 события из Российских каталогов.
- Предложена авторская унифицированная магнитудная шкала. Все оценки приведены к магнитуде по сейсмическому моменту на основе регрессионного анализа различных типов магнитуды.

Спасибо за внимание