

**Результаты исследований**  
**по теме «Развитие методов**  
анализа сейсмических данных в  
целях изучения очага, среды,  
сейсмической опасности **»,**  
**полученные в 2020 году**

# **Последовательность представления результатов**

**Аппаратура, грунт.** Кислов К.В., Гравиров В.В., Винберг Ф.Э.

**Системы наблюдения.** Кушнир А. Ф. и Варыпаев А. В.

**Параметры среды и очага.** Букчин Б.Г., Фомочкина А.С., Скоркина А.А.

**Сейсмотектоника.** А.В.Ландер.

**Среднеглубокая сейсмичность, закономерности, механизм.**

Никитина М.А., Родкин М.В., Шмаков И. Г.

**Предвестниковые аномалии,** Родкин М.В.

**Сейсмическая опасность,** В.Ф.Писаренко, М.В.Родкин, Т.А.Рукавишникова.

**Резюме**

# 1. Аппаратура, грунт. Кислов К.В., Гравиров В.В., Винберг Ф.Э.

Продолжено совершенствование программ и алгоритмов детектирования сейсмических сигналов, выделения основных волновых фаз на фоне шумов, в масштабе времени, максимально приближенному к реальному. Особое внимание было уделено улучшению алгоритма адаптивной фильтрации входных сейсмических цифровых данных. Опубликована статья [6]. Подготовлены материалы и начаты работы по регистрации в ФИПС 2-х программ для ЭВМ.

Улучшено аппаратное обеспечение мониторинга температуры грунта. Аппаратура может быть использована для регистрации градиентов температуры в массиве грунтов, и для учета тепловых шумов, возникающих при изменении температуры снаружи и внутри сейсмических приборов. Разработанный микроэлектронный термометр отличается от аналогов применением двух независимых измерительных мостов, включающих в свой состав прецизионные термочувствительные термосопротивления в каждом измерительном канале, что обеспечивает уменьшение наведенных помех по цепям питания и по сигналу и дает разрешающую способность  $\sim 0,001$  оС. Принцип работы микроэлектронного термометра отличается от других прецизионных измерителей температуры (точные терморезистора) тем, что его работа базируется на измерении отношений величин резисторов (переменного выносного терморезистора и постоянного эталонного сопротивления, включенного в состав электронной схемы блока измерений).

Продолжен анализ записанных сейсмических сигналов и температурных данных Баксанской нейтринной обсерватории (БНО), где в 2019 году совместно с ИФЗ РАН были установлены первые опытные образцы микроэлектронных термометров. Проведено сравнение полученных результатов с данными лидарного мониторинга штольни БНО. По результатам исследования опубликована статья [7] в журнале (Q1 Scopus).

При переходе температуры через точку замерзания скачкообразно меняются характеристики грунтов, нами подготовлены, отраженные в статье [1], принципы разработки сейсмических экспериментов, учитывающих этот эффект. Для геофизических систем контроля необходим широкий динамический диапазон измерений. Система сбора построена по блочно-модульному принципу, что позволяет гибко изменять количество полностью независимых каналов входных данных и тип / модель контроллера с учетом конкретных требований решаемых задач. По результатам опубликована статья [2].

## 1. Аппаратура, грунт. Кислов К.В., Гравиров В.В., Винберг Ф.Э.

Помимо гибкой системы мониторинга, современные геофизические системы контроля подразумевают интеллектуальную предобработку данных. Проведены исследования возможных преобразований данных для дальнейшей обработки с помощью искусственного интеллекта. Исследование нестационарных временных рядов в сейсмологии имеет свои особенности. С одной стороны, на небольшом временном отрезке фоновый сейсмический шум можно считать стационарным. С другой, изменение внешних условий может привести к кратковременному или долговременному изменению статистических характеристик шума. Плюс к этому сейсмические данные могут быть отягчены нестационарными помехами антропогенного происхождения. Задача сейсмометрии – выявить на фоне таких шумов полезный сигнал, классифицировать сейсмическое явление и определить его характеристики. Это более сложная задача, чем простое определение разладки нестационарного процесса. В настоящее время для ее решения применяют различные методики, в том числе и глубокие нейронные сети различной архитектуры. Для повышения их эффективности необходима предварительная обработка данных, уменьшающая шум, но не снижающая информативности. Работы в этом направлении отражены в статьях [3, 4].

Изучение вращательных движений, вызванных землетрясениями, взрывами или иными причинами является относительно новым полем деятельности. Вращательные движения представляет интерес для телесейсмических широкополосных исследований, изучения сильных движений, и для изучения механизмов очагов землетрясений. Это требует разработки новых сейсмических приборов, методик экспериментов, методов обработки данных. Современное состояние и перспективы вращательной сейсмологии отражены в публикациях [8, 11].

Процессы подготовки и генерации землетрясения сложны, и любой прогноз даётся с определённой вероятностью. Поэтому неожиданные землетрясения происходят — и неизбежно будут происходить. Одним из наиболее действенных инструментов снижения потерь при землетрясениях является раннее предупреждение. Для ознакомления широких кругов общественности с его принципами и разъяснения роли нашего института в решении возникающих проблем опубликована статья [5].

По результатам всех перечисленных работ были подготовлены доклады, из-за ситуации с коронавирусом проведение конференций было отложено.

# 1. **Аппаратура, грунт.** Кислов К.В., Гравиров В.В., Винберг Ф.Э.

## Публикации:

1. **Kislov K.V., Gravirov V.V. Some Remarks on the Seismometric Experiments Taking into Account the Thickness of the Frozen Layer Soil // In: Yanovskaya T., Kosterov A., Bobrov N., Divin A., Saraev A., Zolotova N. (eds) Problems of Geocosmos–2018. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham 2020, P. 263–269. DOI: 10.1007/978-3-030-21788-4\_22 (WoS)**
2. **Gravirov V.V., Kislov K.V., Sobisevich A.L., Sobisevich L.E. PEMSDAS—Portable Expandable Modular Seismic Data Acquisition System // In: Yanovskaya T., Kosterov A., Bobrov N., Divin A., Saraev A., Zolotova N. (eds) Problems of Geocosmos–2018. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham, 2020. P. 271–278. DOI: 10.1007/978-3-030-21788-4\_23 (WoS)**
3. **Кислов К.В., Гравиров В.В., Винберг Ф.Э. Возможности предподготовки сейсмических данных для анализа глубокой нейронной сетью // Физика Земли, 2020, № 1, с. 1–13. DOI: 10.1134/S0002333720010056**
4. Кислов К.В., Гравиров В.В. Раннее предупреждение о землетрясении: стратегии, методы, возможности, и перспективы // Наука и жизнь. 2020, №3. С.36 – 42.
5. Гравиров В.В., Кислов К.В. Применение техники адаптивной фильтрации в геогидроакустических системах // Подводное морское оружие. Научно-технический сборник. Специальный выпуск, 4 (52), ГНЦ РФ Концерн Морское подводное оружие АО «Гидроприбор», Санкт-Петербург, 2020, с. 102-111.
6. **Pershin S.M., Sobisevich A.L., Grishin M.Ya., Gravirov V.V., Zavozin V.A., Kuzminov V.V., Lednev V.N., Likhodeev D.V., Makarov V.S., Myasnikov A.V., Fedorov A. N., Volcanic activity monitoring by unique lidar based on a diode // Laser Physics Letters. — 2020. — Vol. 17, no. 11. — P. 115607–115613. DOI: 10.1088/1612-202x/abbedc (WoS, Q1 Scopus).**
7. Кислов К.В., Гравиров В.В. Вращательная сейсмология. Обзор достижений и перспектив // Сейсмические приборы, 56, № 3 (в печати).
8. Гравиров В.В., Кислов К.В. Программа чтения файлов данных с АЦП Е-24 // Свидетельство о регистрации ПО (в процессе регистрации).

## 2. Системы наблюдения. Кушнир А. Ф. и Варыпаев А. В.

Совместно с сотрудниками ИДГ РАН микрогруппой сейсмометров была исследована наведённая сейсмичность от мощных промышленных взрывов в шахтах комбината «КМАруда». Показано, что математическая модель сигналов, генерируемых микроземлетрясениями и регистрируемых сейсмометрами группы в виде многомерной линейной системы с одним входом и несколькими выходами достаточно точно описывает наблюдаемые процессы. Также получено:

1. Механизмы очагов, выделенных на фоне помех, имеют сложную диаграмму излучения; их фокальный механизм отличен от равномерного расширения.
2. Распределение очагов во времени не противоречат закону Омори об убывании частоты афтершоков .
3. Результаты локации очагов по данным группы показывают, что события концентрируются вдоль линий геологических разломов.

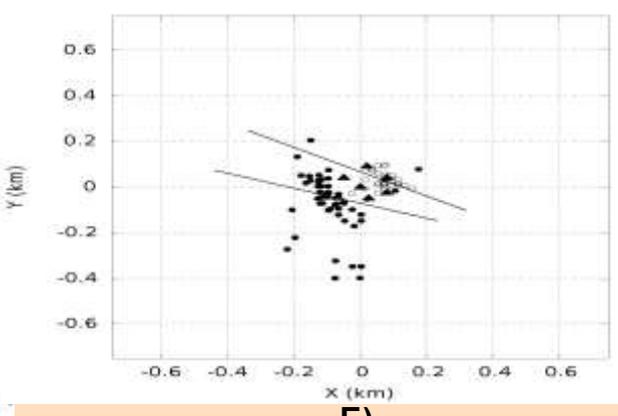
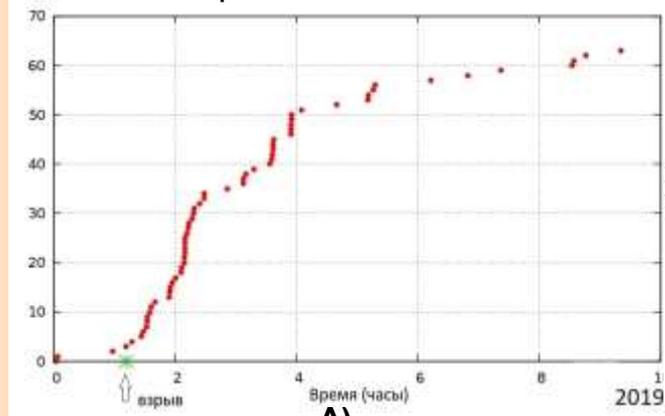
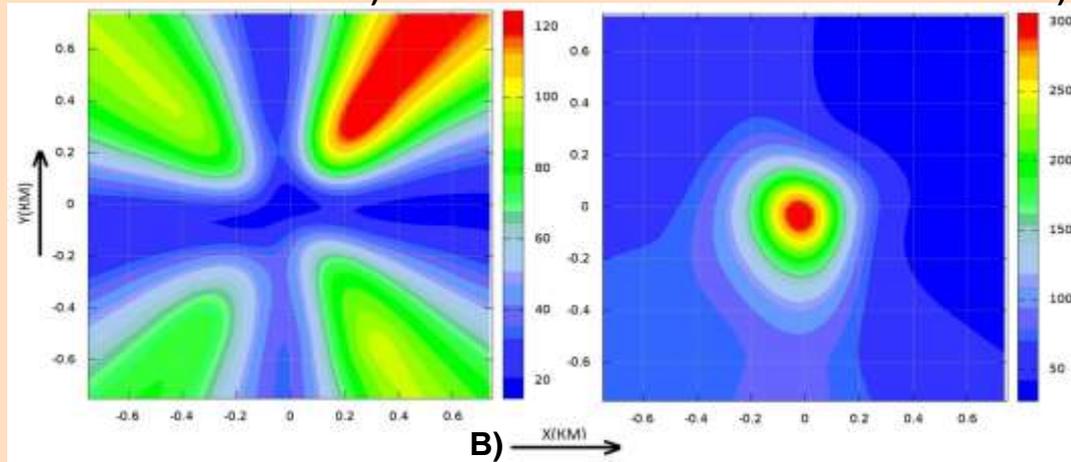


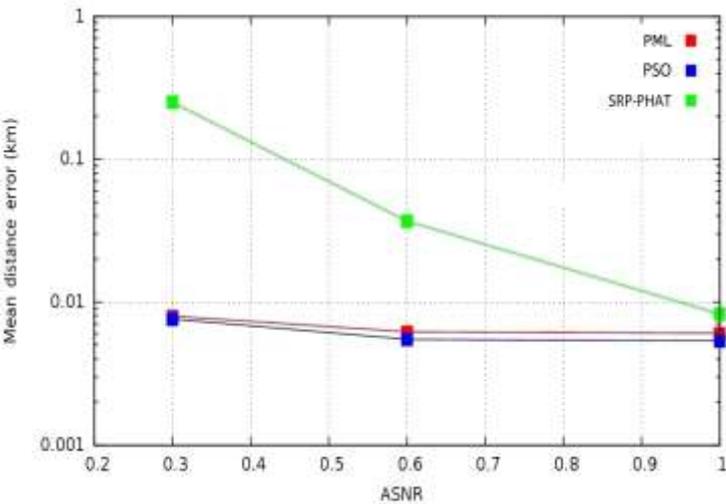
Рис. 1

**А)** Кумулятивный график распределения во времени всех микросейсмических событий, обнаруженных эксперименте - 2019 г.

**Б)** Датчики группы, ---- положение разломной зоны и проекции очагов микро-событий на земную поверхность. Датчики — треугольники, очаги микро-событий — точки (эксперимент 2017 г.), окружности (2019 г.).



**В)** Слева - пример целевой функции для локации очага в зависимости от горизонтальных координат, рассчитанной по сейсмограммам одного из событий без учета знаков вступлений Р-волн на датчиках группы. Справа – целевая функция этого же события, рассчитанная с учётом «правильного» распределения знаков вступления Р-волн.



Методом статистического синтеза были получены новые алгоритмы оценивания координат сейсмических очагов по наблюдениям малоапертурных групп. В данном случае речь касается локации источников ближнего поля, когда регистрируемый волновой фронт отличен от плоского и является комплексным ввиду сложной скоростной структуры среды распространения сейсмических волн. Результаты численного моделирования и метода независимых испытаний Монте-Карло показали, что новые алгоритмы локации обладают более высокой помехоустойчивостью по сравнению с известным beamforming алгоритмом SRP-PHAT, широко применяемым в различных приложениях array signal processing, например, в акустике, радио и лишь совсем недавно в сейсмологии.

Рис. 2. Средняя абсолютная ошибка оценивания координат источника алгоритмами PML, PSO, SRP-PHAT в зависимости от усреднённого отношения сигнал-помеха ASNR.

### Публикации:

**Adushkin, V.V., Varypaev, A.V., Kushnir, A.F., Sanina, I.A. Identification of Induced Seismicity in the Fault Zone of the Korobkovskoye Deposits (Kursk Magnetic Anomaly) Based on Observations of a Small-Aperture Seismic Array Doklady Earth Sciences, 2020, 493(1), p. 548-551.**

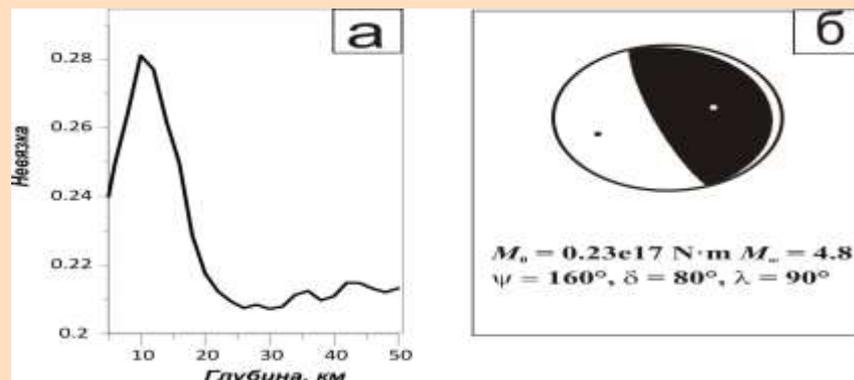
**Sanina, I.A., Riznichenko, O.Y., Kushnir, A.F., Varypaev A. V., Sergeev, S.I., Volosov, S.G. Recognizing of Microseismic Source Types Based on Small-Aperture Seismic Array Data Izvestiya, Physics of the Solid Earth, 2020, 56(2), p. 260-278.**

**Varypaev, A., Kushnir, A. Statistical synthesis of phase alignment algorithms for localization of wave field sources. Multidimensional Systems and Signal Processing, Springer, 2020, 31(4), p. 1553-1578.**

### 3. Параметры очага. Букчин Б.Г., Фомочкина А.С., Скоркина А.А.

По записям поверхностных волн построены модели очагов двух землетрясений: в Акабе (27 июня 2015 года,  $M_w=5.5$ ) и в Мертвом море (4 июля 2018 года  $M_w=4.8$ ). Используются записи фундаментальных мод волн Лява и Рэлея, зарегистрированные станциями сетей IRIS, GEOSCOPE и GEOFON. На первом этапе описывается источник в приближении тензора момента, рассматривая мгновенную точечную сдвиговую дислокацию (двойной диполь) на заданной глубине. По амплитудным спектрам поверхностных волн были получены четыре эквивалентных решения. Для однозначного выбора решения были использованы знаки первых вступлений Р-волны (для землетрясения в Акабе) или для каждого из решений рассчитаны фазовые спектры (для землетрясения в Мертвом море). По минимальным значениям построенных совместных невязок для каждого события было выбрано единственное решение. Затем, рассматривая очаг в предположении плоского источника, были получены следующие параметры: продолжительность процесса в очаге, длины большой и малой осей источника, скорость мгновенного центра, угол между большой осью источника и осью простирания, угол между направлением движения мгновенного центра и осью простирания. Качество полученных решений оценено функцией нормированной невязки, характеризующей отличие теоретических амплитудных спектров от наблюдаемых. В случае землетрясений в Мертвом море разрешение данной функции для некоторых параметров оказалось настолько мало, что выделить решение не удалось. Также для рассматриваемых землетрясений была проанализирована неоднозначность, связанная с существенным превышением длин поверхностных волн над глубиной мелкофокусного источника.

Рис. Пример функции невязки глубины и фокальный механизм (нижней полусфера), землетрясения в Мертвом море 04.07.2018 года



### Публикации:

Фомочкина А.С., Букчин Б.Г. Сравнительный анализ Аляскинских землетрясений 2018 г. по записям поверхностных волн //Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 76–84. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.07>

Фомочкина А.С., Букчин Б.Г. Зависимость погрешности определения параметров землетрясений от набора записей поверхностных волн //Физика Земли. – 2020. – №1. – С. 109-117.

Принята к печати:

Фомочкина А.С., Букчин Б.Г. Определение параметров очагов региональных землетрясений по записям поверхностных волн в «Российский сейсмологический журнал».

Тезисы на конференции:

XV Международной сейсмологической школа "Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных" перенесена на неопределенный срок.

XIII школа-конференция с международным участием «Проблемы Геокосмоса» перенесена на 24-27 марта 2021.

Конференция "Quasilinear Equations, Inverse Problems and their Applications", МРТИ, Dolgoprudny (Russia) – наш доклад запланирован на 1 декабря 2020 года.

### **3А. Характеристики очага и среды. Скоркина А.А.**

По данным цифровой регистрации изучены спектральные характеристики среды вблизи 23 сейсмических станций Камчатки методом сравнения спектров записи местного землетрясения на целевой и эталонной станциях; в качестве последней выбрана станция «Петропавловск» (РЕТ) с жестким скальным грунтом. Спектры определены по данным многополосной фильтрации. Средний спектр Фурье в пределах полосы найден из равенства Парсевала по энергии поперечных волн в полосе. Для поперечных волн различие гипоцентральных расстояний скомпенсировано с помощью эмпирических функций затухания. Обработаны записи более 300 событий с диапазоном гипоцентральных расстояний, в основном, 100–600 км, с  $M = 5–6$ . Обнаружено большое разнообразие спектральных характеристик. Часть станций могут считаться аналогами ст. РЕТ. Для ряда станций обнаружен четкий рост спектральных отношений с частотой вплоть до 10-кратного усиления в области 20–30 Гц. В целом, выявленные спектральные характеристики в диапазоне до 3–5 Гц согласуются с ожидаемыми трендами, соответствующими геологическому строению в пунктах установки приборов сильных движений.

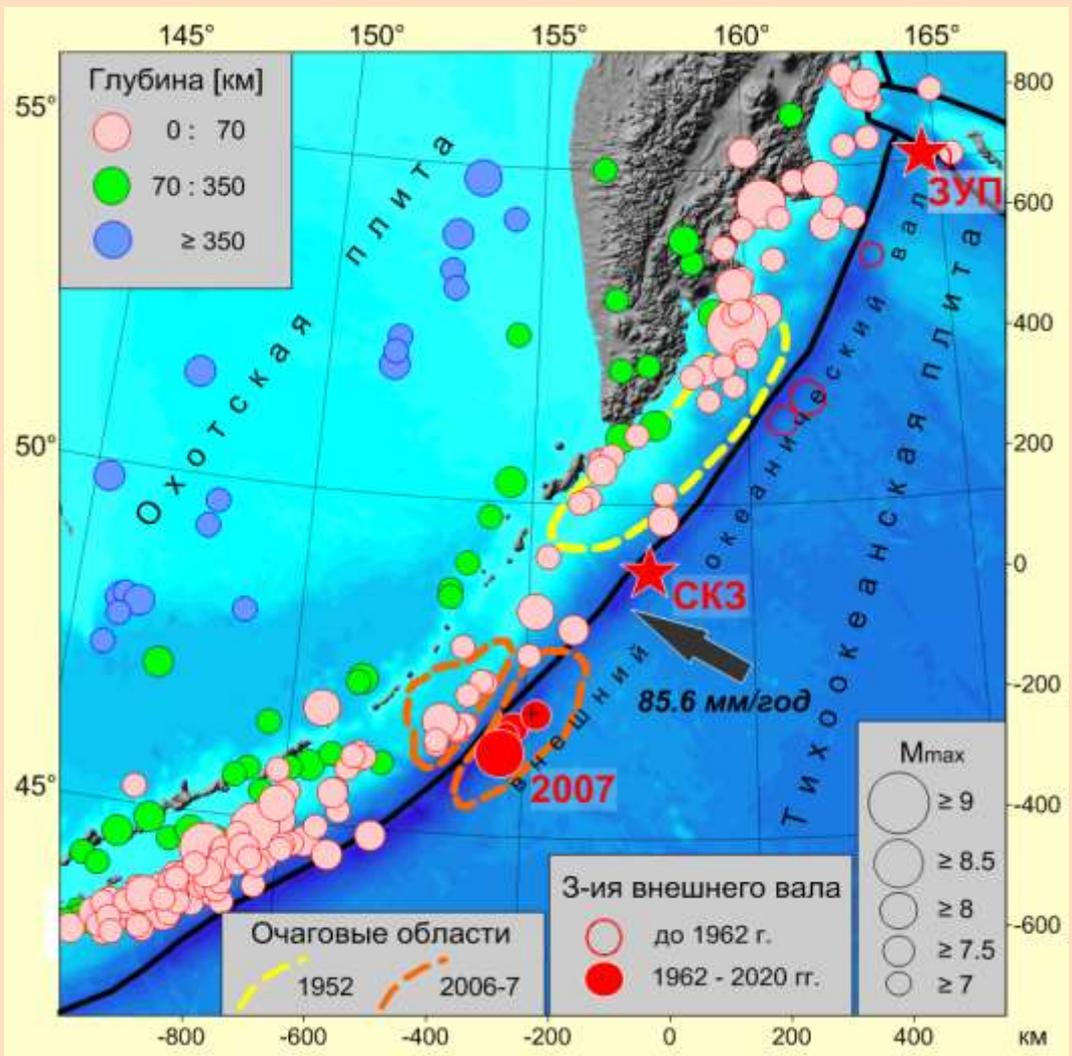
Для землетрясений Командорских островов проведено исследование спектров. Определены характерные угловые частоты спектров.

#### **Публикации**

**Skorkina, A.A. Scaling of two corner frequencies of source spectra for earthquakes of the Bering fault // Russian Journal of Earth Sciences, 2020, vol. 20(2).**

**Гусев А.А., Скоркина А.А. Эмпирические спектральные характеристики среды вблизи сейсмических станций сильных движений Камчатки // Геология и геофизика, 2020, vol. 61(2), pp. 275–287.**

**Изучение очагов сильных землетрясений океанического вала:  
З-ие Углового поднятия (ЗУП) 20 декабря 2018 г. Mw=7.3  
Северо-Курильское з-ие (СКЗ) 25 марта 2020 г. Mw=7.4**



Землетрясения внешнего океанического вала отличаются по характеристикам очага от субдукционных (повторяемость, расположение, механизм и тд), но потенциально не менее **цунамиопасны**. Примером является Симуширское з-ие 2007 г., от которого на островах зафиксирован накат волны цунами высотой до 20 м .

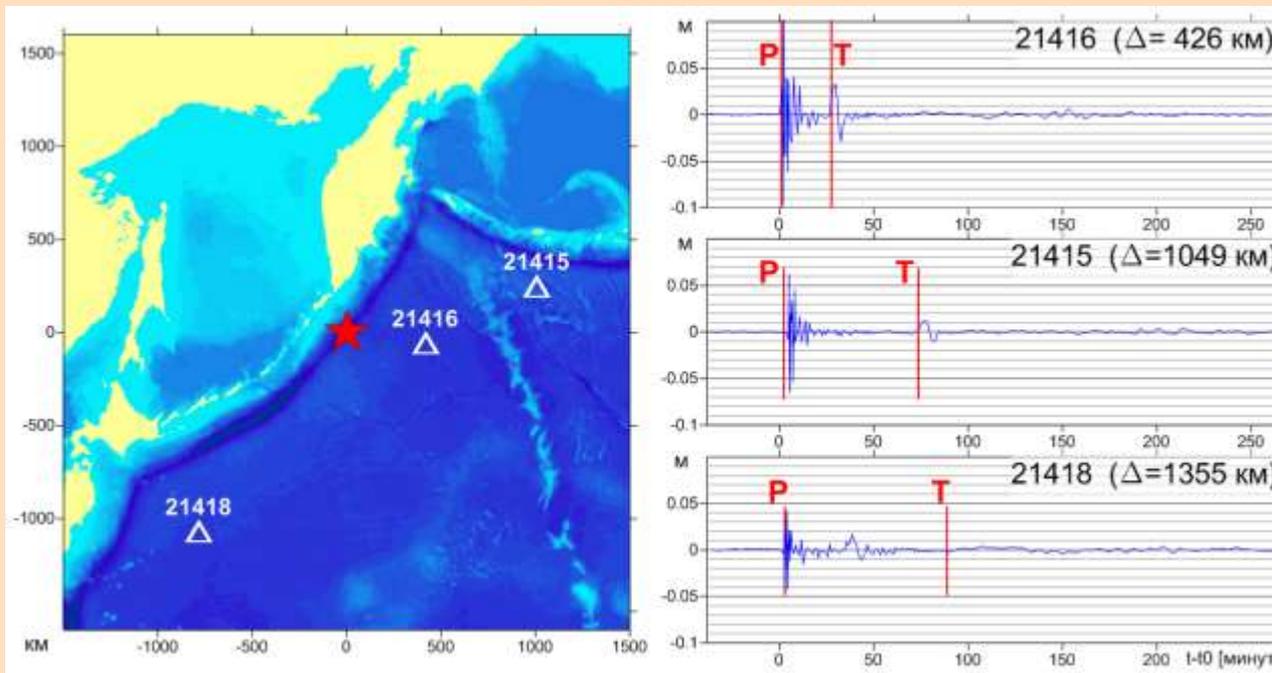
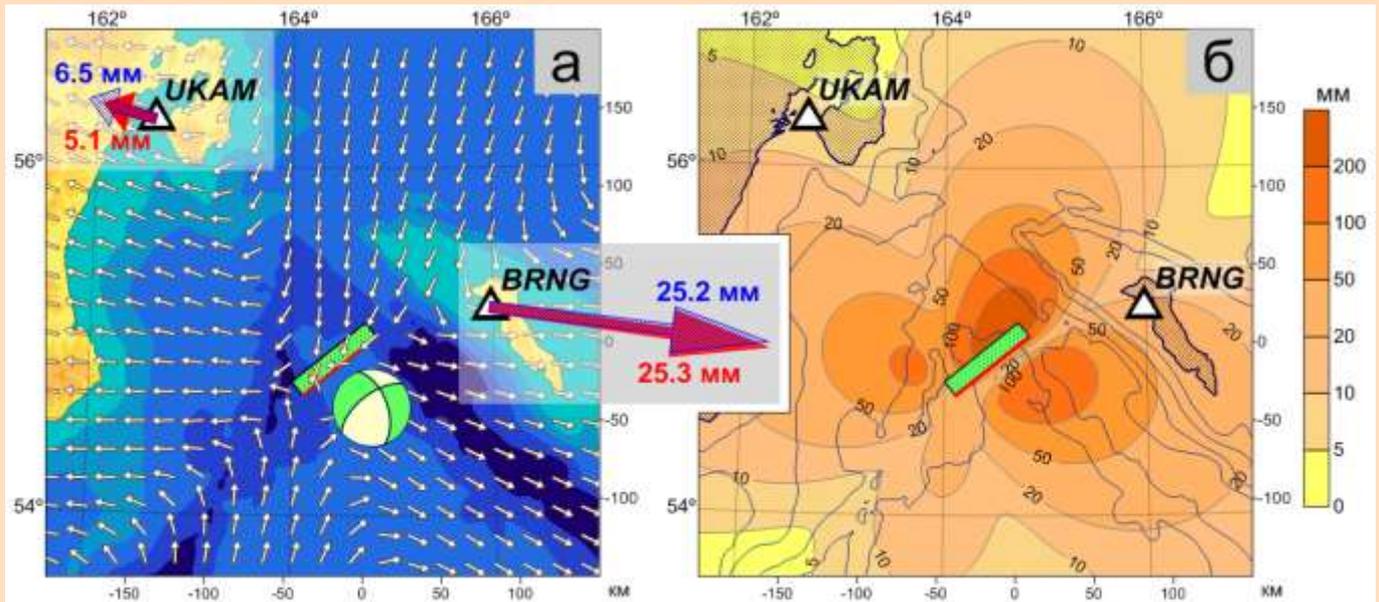
**Землетрясения Курило-Камчатской дуги с  $M_{max} \geq 7.0$**

## Землетрясение Углового поднятия.

Модельное поле  
горизонтальных  
косейсмических  
смещений:

**а** – направление,  
**б** – амплитуда.

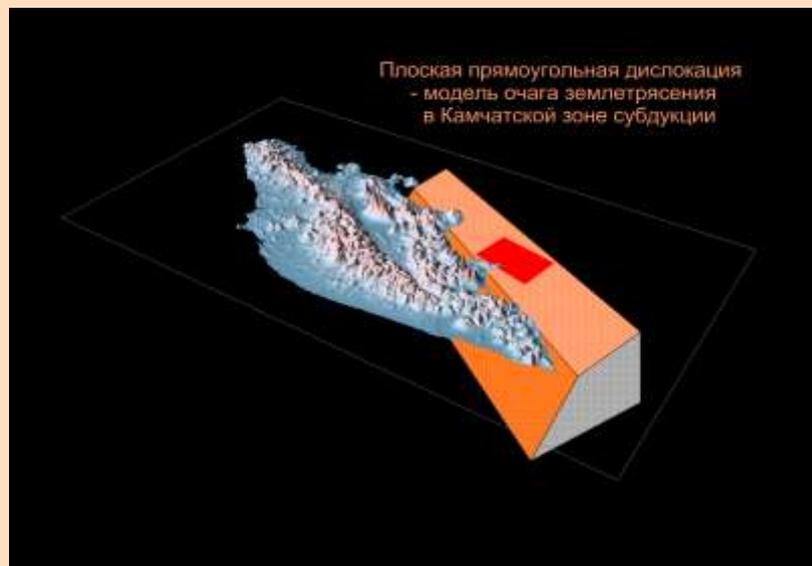
Параметры очага  
восстановлены по данным  
волновых форм и записей  
станций сети GNSS (GPS) –  
крупные стрелки.



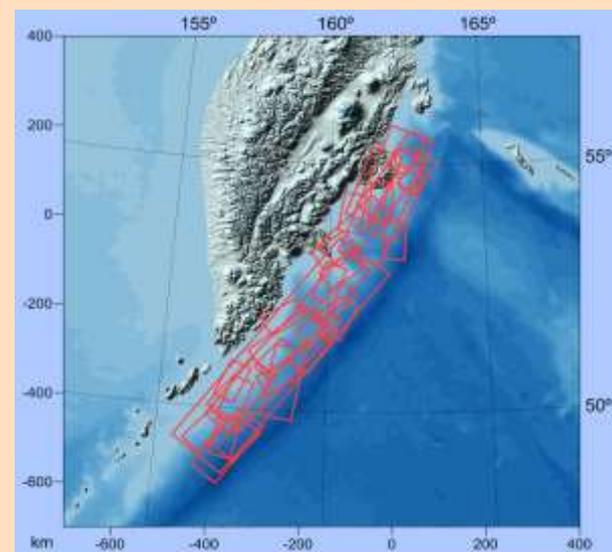
**Северо-Курильское  
землетрясение.**  
Слабая волна цунами  
на станциях DART (~7  
мм), выделенная при  
помощи программ  
TSDELAY и  
DARTFILTER.

## **Детальное цунамирайонирование района бухты Бчевинка на восточном побережье Камчатки, в которой ведется строительство терминала по перегрузке СПГ.**

**Разработана вероятностная методика районирования, основанная на компьютерном моделировании волн цунами. Смоделирована последовательность пространственных очагов землетрясений. Расчитаны повторяемости высот цунами. Результаты проконтролированы в процессе полевых исследований палеоцунами на побережье бухты Бчевинка.**



**Типичный модельный пространственный очаг сильного землетрясения, расположенный в Камчатской зоне субдукции.**



**Очаги (различной магнитуды) синтетического каталога, использованного для цунамирайонирования.**

## Публикации А.В.Ландера в 2020 г.

Д.В. Чебров, Ю.А. Кугаенко, А.В. Ландер, И.Р. Абубакиров, С.Я. Дрознина, С.В. Митюшкина, В.М. Павлов, В.А. Салтыков, Ю.К. Серафимова, Н.Н. Титков.  
ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ УГЛОВОГО ПОДНЯТИЯ 20 ДЕКАБРЯ 2018 г. Mw = 7.3 В ЗОНЕ СОЧЛЕНЕНИЯ КАМЧАТСКОГО И АЛЕУТСКОГО ОКЕАНИЧЕСКИХ ЖЕЛОБОВ // ВЕСТНИК КРАУНЦ. НАУКИ О ЗЕМЛЕ. 2020. № 1. ВЫПУСК 45.

Представлена статья в журнал "Natural Hazards"

Chubarov L.B., Kikhtenko V.A., Lander A.V., Gusev O.I., Beisel S.A., Pinegina T.K.  
Technique of near-field probabilistic tsunami zoning applied to the Bechevinskaya Cove (the Kamchatka Peninsula).

### **4 программы прошли регистрацию, получены номера РИД.**

- (1) Спектральный и спектрально-временной анализ сейсмограмм (SVANDI) регистрационный номер 2020615311 от 21.05.2020
- (2) Оперативный расчет времен пробега волн цунами (TSDELAY) регистрационный номер 2020615380 от 22.05.2020.
- (3) Выделение волны цунами на записях станций DART (DARTFILTER) регистрационный номер 2020615463 от 25.05.2020
- (4) Генератор случайных цунамигенных очагов землетрясений Камчатки (RANDEKA) регистрационный номер 2020615420 от 22.05.2020

## 4. Среднеглубокая сейсмичность, закономерности, механизм.

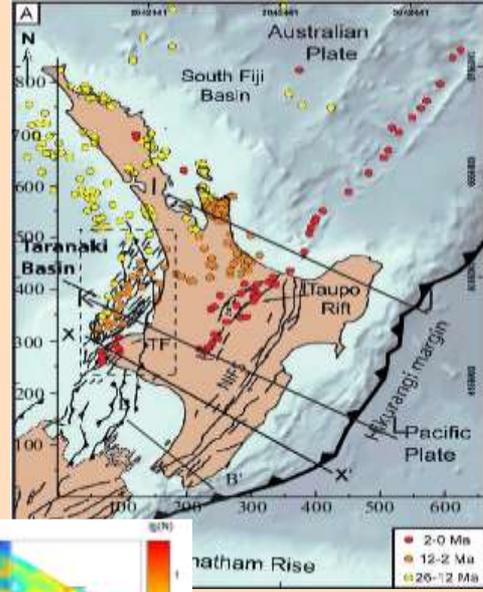
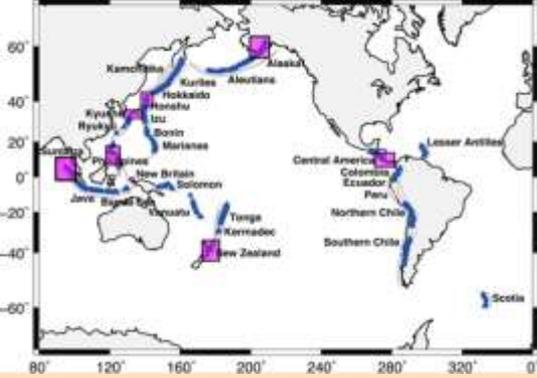
Никитина М.А., Родкин М.В., Шмаков И. Г.

**Рассмотрено** распределение среднеглубинной сейсмичности ряда детально исследованных зон субдукции. В методологическом отношении оригинальность подхода состоит в анализе плотности числа очагов в координатах «глубина»-«расстояние от верхней границы погружающейся плиты», что удобнее при анализе внутриплитной сейсмичности.

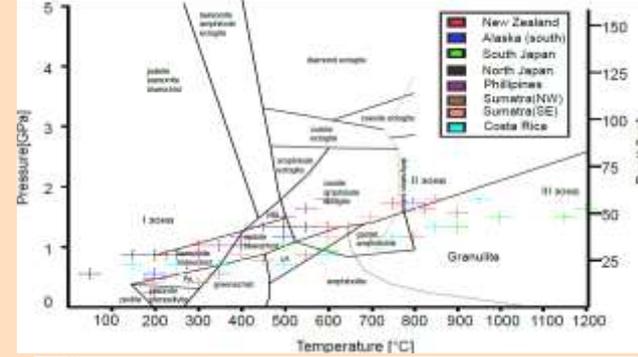
**Подтверждается** предположение о связи распределения среднеглубинных землетрясений с современной вулканической активностью на поверхности, но также и с процессами метаморфизма и глубинным флюидным режимом. Выделены по глубине три кластера повышенной сейсмичности: от 0 до 30, от 45 до 60-70, и от 70 до 120-250 (для разных регионов глубины варьируются в пределах 10 км).

В теле погружающейся плиты первые два максимума обычно формируют планарную структуру. Рассчитанные РТ условия этой структуры согласуются с границами метаморфизма превращений глаукофановых сланцев в гранулиты и эклогиты. Третья отвечает проекции вулканической гряды на поверхность плиты. Это скопление предположительно связано с падением прочности плиты при выделении флюида при реакциях дегидратации материала плиты (что, как предполагается, порождает восходящий флюидный поток и вулканическую активность на поверхности).

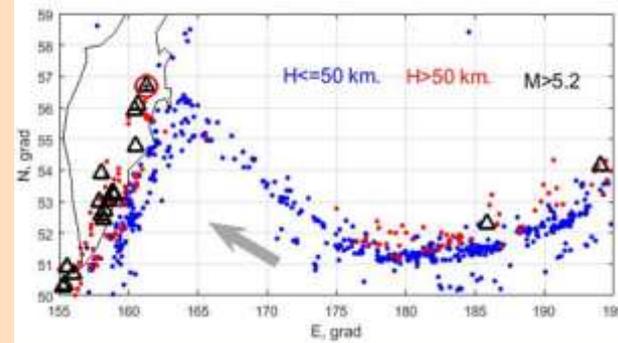
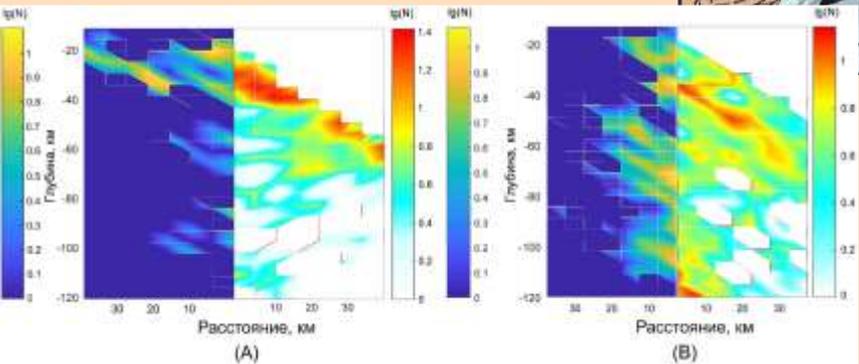
Дан пример развития тектонических деформаций зоны субдукции в отсутствие существенных процессов метаморфизма – что приводит к отсутствию среднеглубинной сейсмичности и современного вулканизма.



Пример. Вулканический и невулканический сегменты зоны субдукции Н-Заландии. Показаны ось желоба, вулканы, сейсмологические профили



Планарная структура и скопление очагов под вулканической цепью



**Публикации:**

Никитина М.А., М.В.Родкин. Среднеглубинные землетрясения и связь сейсмичности зоны субдукции с метаморфизмом и глубинным флюидным режимом для Северного острова Новой Зеландии. Геосистемы переходных зон, 2020, 4, 1, 103-115.

Nikitina M.A., M.V.Rodkin, I.G.Shmakov. The connection of the seismicity of the subduction zone in Alaska with metamorphism and the deep fluid regimes. Physics of the Earth. Physics of the Solid Earth, 2020, Vol. 56, No. 6, pp. 892–899.

Rodkin M.V., Zharikov A.V. (2020) Permeability of the Continental Crust –Possible High Values from Laboratory Measurements and Seismological Data. HEAT-MASS TRANSFER AND GEODYNAMICS OF THE LITHOSPHERE. Series. Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering.

## 5. Предвестниковые аномалии. М.В.Родкин

### Новый эмпирический закон предвестниковой сейсмичности

Понимание физики сейсмического процесса, в частности процессов подготовки землетрясений, затруднено огромной случайной компонентой сейсмического режима. В такой ситуации оправданной стратегией является выявление наиболее типичных черт сейсмического процесса и попытки их теоретического описания. В плане реализации этой программы рассмотрены типовые черты фор- и афтершокового процесса в обобщенной окрестности сильного землетрясения (ООСЗ), построенной путем масштабированного наложения данных по окрестностям большого числа (сотни, до тысячи) отдельных сильных землетрясений. В результате анализа ООСЗ было уверенно подтверждено существование форшокового степенного каскада роста сейсмической активности (рис. 1). Начало каскада может быть выделено на фоновом уровне примерно за 100 дней до обобщенного сильного землетрясения (ОСЗ).

В ООСЗ также была выявлена неизвестная ранее закономерность развития форшоковых аномалий с амплитудой  $A$ , увеличивающейся к моменту ОСЗ как  $A = a - b \cdot \lg(T_c - T)$ , где  $a$  и  $b$  – положительные параметры, а  $T_c$  – момент времени ОСЗ. Такая аномалия характерна для среднего значения магнитуды, наклона графика повторяемости ( $b$ -value), средней глубины землетрясений  $H$ , длительности сейсмического процесса, ряда других характеристик. Особый интерес представляет аномалия изменения средней глубины землетрясений, предположительно отвечающая присутствию в очаговой области флюида малой плотности и прорыву его вверх; проведен анализ возможности аномалии резкого роста величин проницаемости в литосфере.

Аналогичный характер аномалии ранее наблюдался при экспериментах по АЭ, где статистика микроразрушений несравнимо богаче данных по слабой сейсмичности. Такой же характер развития аномалии для величин  $b$ -value имеет место в модели сейсмического процесса как совокупности развития мультипликативных каскадов. В этой модели такой характер аномалии задается соотношением  $b$ -value  $\sim -\lg(P)$ ,  $P$  – вероятность продолжения развития процесса разрушения (в предположении в момент ОСЗ  $P \rightarrow 1$ ).

Перечисленные зависимости выявлены при анализе разных каталогов, за разные промежутки времени. В частности, по мировым и региональным данным, причем пока не обнаружено принципиальных изменений длительности развития этих аномалий для событий разного диапазона магнитуд.

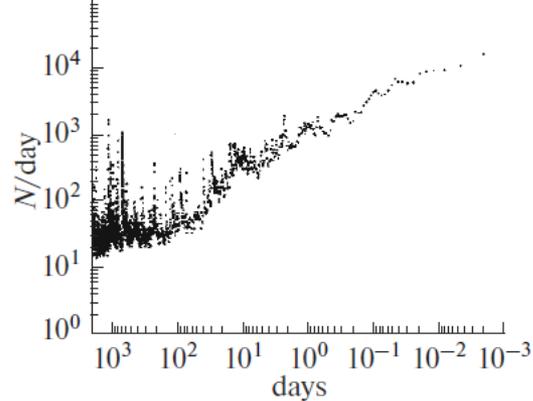


Рис.1. Пример типовой аномалии форшокового каскада роста числа землетрясений к моменту ОСЗ.

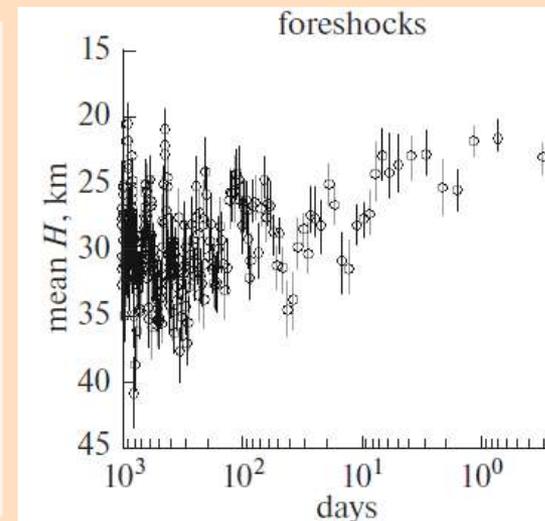
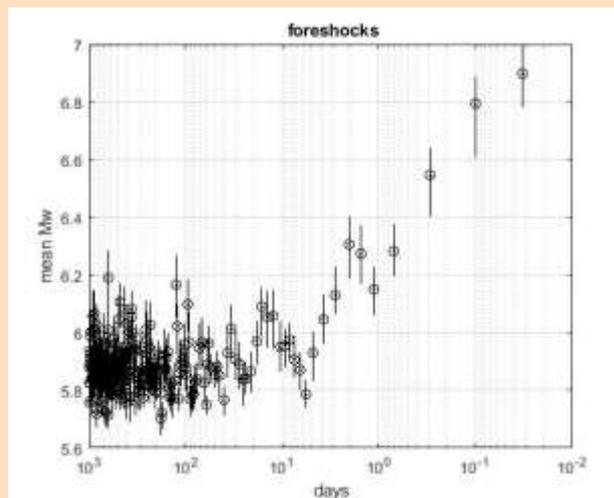


Рис.2. Примеры типовой форшоковой аномалии роста средней магнитуды  $M_w$  (а) и уменьшения средней глубины литосферных событий (б) в ООСЗ по данным мирового GCMT каталога.

### Публикация:

Родкин М.В. Типовая фор- и афтершоковая аномалия – эмпирика, интерпретация. *Вулканология и сейсмология*. 2020, 1, 64-76

Родкин М.В., Андреева М.Ю., Григорьева О.О. Анализ обобщенной окрестности сильного землетрясения по региональным данным, Курило-Камчатский регион. *Вулканология и сейсмология*, 2020, № 6, с. 67–77

Ivankina T.I., I.Yu.Zel, M.Petruzalek, M.V. Rodkin, M.A. Matveev, T.Lokajicek. Elastic nistropy, permeability, and freeze-thaw cycling of rapakivi granite. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2020, 136, 104541.

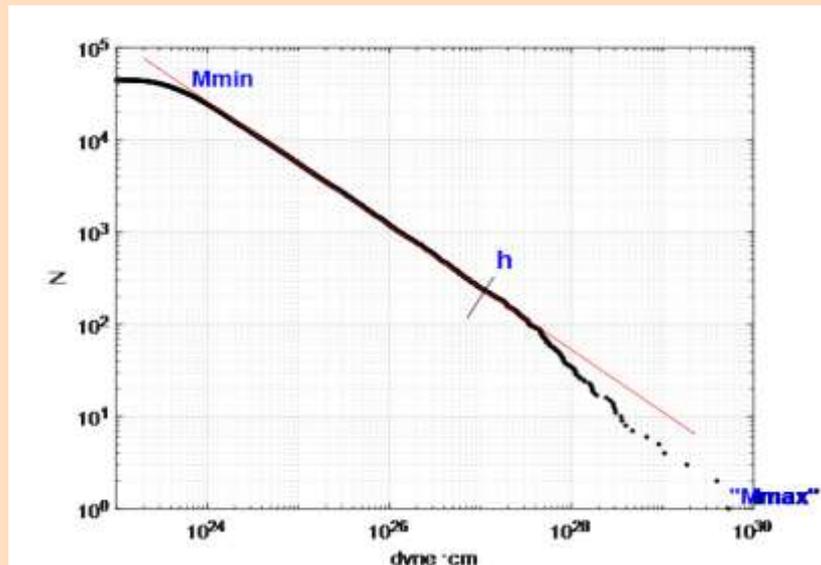
Nikitina M.A., M.V.Rodkin, I.G.Shmakov. The connection of the seismicity of the subduction zone in Alaska with metamorphism and the deep fluid regimes. *Physics of the Earth. Physics of the Solid Earth*, 2020, Vol. 56, No. 6, pp. 892–899.

Rodkin M.V., Zharikov A.V. Permeability of the Continental Crust –Possible High Values from Laboratory Measurements and Seismological Data. *HEAT-MASS TRANSFER AND GEODYNAMICS OF THE LITHOSPHERE. Series. Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering*. 2020 (In Press).

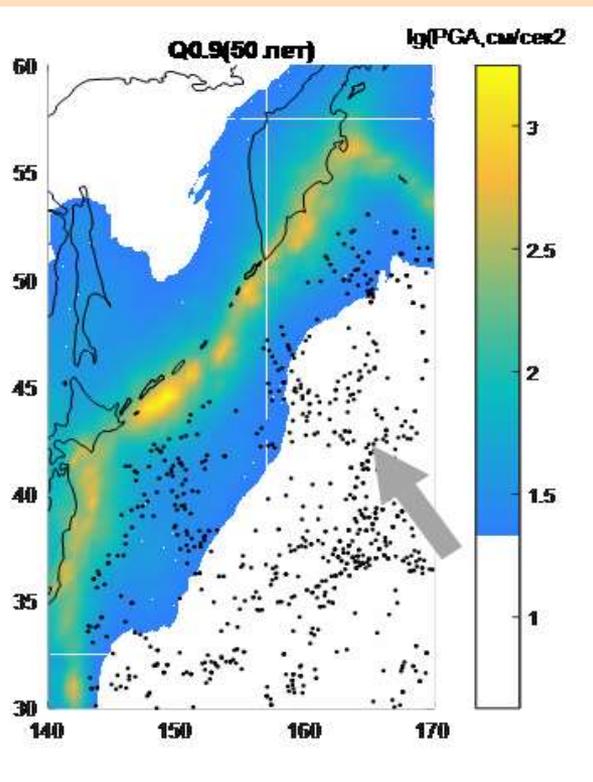
## 6. Сейсмическая опасность. В.Ф.Писаренко, М.В.Родкин, Т.А.Рукавишникова

**Новая модель графика повторяемости и выявление кластеров повышенной сейсмической опасности в областях субдукции Северо-Запада Тихого океана.**

Предложена новая составная модель распределения магнитуд землетрясений, статистически удовлетворительно описывающая их распределение как в диапазоне слабых и умеренных землетрясений (законом Гуттенберга–Рихтера), так и в области редких сильнейших событий (обобщенным законом Парето, GPD, одним из предельных законов теории экстремальных значений). Использование такой составной модели (Рис.1), за счет условия сопряжения в точке  $h$  двух ветвей закона распределения, позволяет получить дополнительное соотношение, уменьшающее число подлежащих определению параметров GPD распределения с 3-х до 2-х, из которых существенно важен только параметр формы  $\xi$ . Такой подход существенно уменьшает требования на число используемых при расчете сильных событий, что позволяет рассчитывать карты вероятных значений  $M_{max}$  за время  $T$  с существенно лучшим разрешением. На примере Японии, Курил и Камчатки показано, что эта модель позволяет описать сейсмичность для областей, содержащих более 80 основных событий в диапазоне уверенной регистрации. Это требование допускает достаточно надежную оценку квантилей  $M_{max}(T)$  для областей радиусом около 300 км.



Составная модель закона повторяемости землетрясений, где область частых землетрясений описывается законом Гуттенберга-Рихтера (тонкая красная линия), а область редких сильнейших событий Обобщенным распределением Парето, GPD. Сопряжение решений в точке  $M=h$  дает дополнительное соотношение, позволяющее уменьшить число сильных событий, необходимых для оценки значений параметров GPD распределения.



На основе использования того же GPD распределения с применением формулы Ф.Ф.Аптикаева, связывающей значения максимальных ускорений PGA с магнитудой и расстоянием до очага землетрясения рассчитаны квантили  $Q_q(T)$  величин PGA за время  $T$  с уровнем доверия  $q$ . Расчеты проведены для мирового каталога ISC-GEM и региональных каталогов Японии JMA и исторического каталога Утсу (1885-1925). Результаты расчетов, кроме ожидаемой зависимости квантилей PGA от расстояния до глубоководного жолоба, выявили устойчивые во времени кластеры существенно повышенных (на порядок и более) значений PGA. Расположение кластеров коррелирует с повышенной плотностью числа морских гор на прилегающем участке океанической плиты и со средней разницей магнитуд ( $M_b$ - $M_w$ ); т.е., можно предположить, что кластеры порождаются большим сцеплением на границах плит при затягивании в зону субдукции морских гор (рис. 2). Кластеры повышенной сейсмической опасности отсутствуют на картах ОСР России, но отмечены на картах сейсмической опасности Японии (рассчитанных для меньших интервалов времени). Учет существования кластеров могло бы уточнить карты сейсмической опасности Дальнего Востока России.

### Публикация:

1. Писаренко В.Ф., Родкин М.В. Применение методов теории экстремальных значений для оценки сейсмической опасности. Седьмая научно-техническая конференция Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. 29 сент. – 5 окт. 2019, Петропавловск-Камчатский. Тезисы докладов. 36.
2. Pisarenko V.F., M.V. Rodkin. Statistics and spatial-temporal structure of ground acceleration caused by earthquakes in the North-Western Pacific region. *Pure Appl Geophys.* Pure Appl. Geophys. 2020, 177, 6, 2563-2578. ISSN: 0033-4553eISSN: 1420-9136.
3. Писаренко В.Ф., М.В.Родкин, Т.А.Рукавишникова. Стабильная модификация закона повторяемости землетрясений и перспективы ее применения в сейсморайонировании. *Физика Земли*, 2020, №1, 62-76.
4. V.Pisarenko, M. Rodkin. A Collection of Statistical Methods for Analysis of the Disaster Damages and the Seismic Regime. *EARTHQUAKE RISK PERCEPTION, COMMUNICATION AND MITIGATION STRATEGIES ACROSS EUROPE* 43-63.

**СПАСИБО  
ЗА ВНИМАНИЕ!**