



6^{ая} Международная конференция

«Триггерные эффекты в геосистемах»

21-24 июня 2022, Москва, Россия

Секция 1. Триггерные эффекты в геосферах.

Сейсмичность. Причины, мониторинг и прогноз

22 июня 2022 14:55-15:15



Сильные вариации геоиндуцированных токов в проводящих сейсмогенных разломах земной коры как возможный триггер землетрясений

Новиков В.А.

novikov@ihed.ras.ru ОИВТ РАН

Поддержано РФФИ и ГФЕН, проект № 21-55-53053

Мотивация

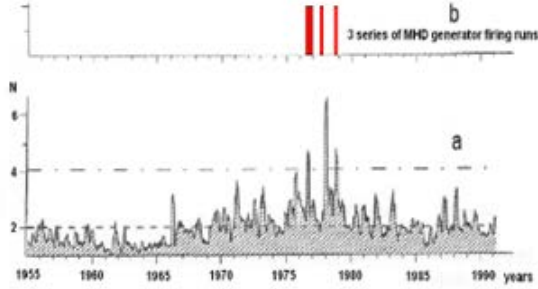
Космическая погода и сейсмичность Земли - предыстория

- Еще Плиний Старший в первом столетии новой эры в своей «Естественной истории» [Murphy, 2004] отмечал то, что в районе Средиземного моря землетрясения происходят чаще ночью, чем днем.
- В 1853 г. швейцарский астроном и математик Рудольф Вольф указал на то, что солнечные пятна могут влиять на возникновение землетрясений [Wolf, 1853].
- **Положительная корреляция между вариациями геомагнитного поля и количеством землетрясений (Ruzhin, Duma, 2003; Соболев, Пономарев, Харин, Закржевская, 2001-2021, Гульельми, 2021; Marchitelli et al, 2020 и многие другие).**
- **Отрицательная корреляция между вариациями геомагнитного поля и количеством землетрясений (Тарасов, 2017-2021).**
- **Отсутствие статистически значимого триггерного воздействия вариаций геомагнитного поля на сейсмичность Земли (Love & Thomas, 2013; Пилипенко и Козырева, 2021).**

Электромагнитная инициированная сейсмичность

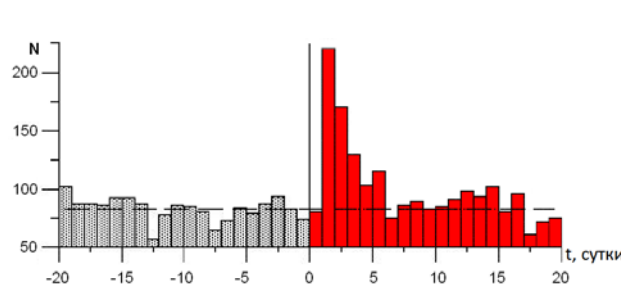
Полевые наблюдения

МГД – Гарм



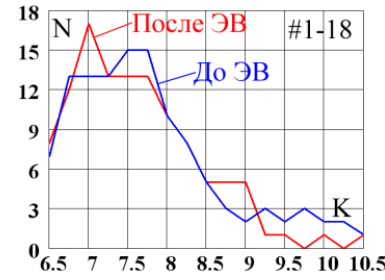
(Тарасов, 1995)

МГД – БГП



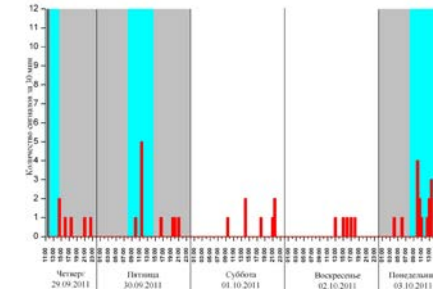
(Тарасов и др., 2001)

ЭРГУ – БГП



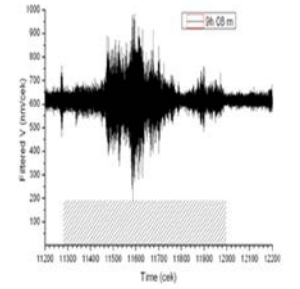
(Сычев, 2009)

ЭРГУ – ГАЭ



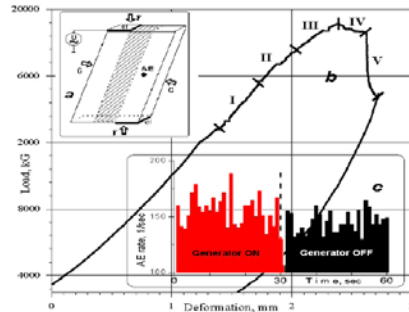
(Закупин и др., 2011)

ЭРГУ – МС

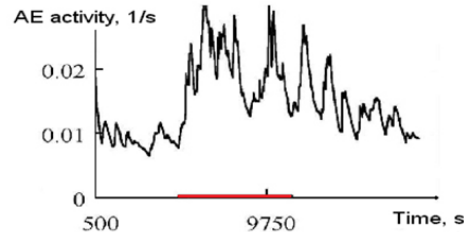


(Брагин и др., 2012)

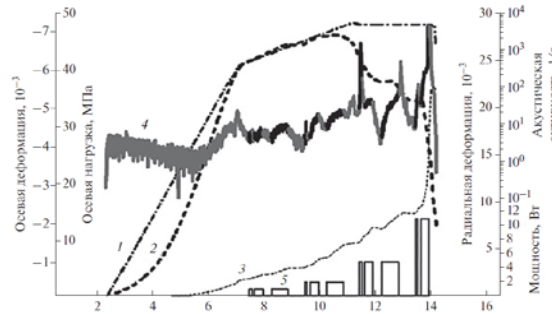
Лабораторные эксперименты



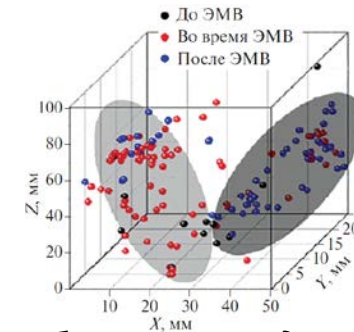
(Соболев, Пономарев, 2001)



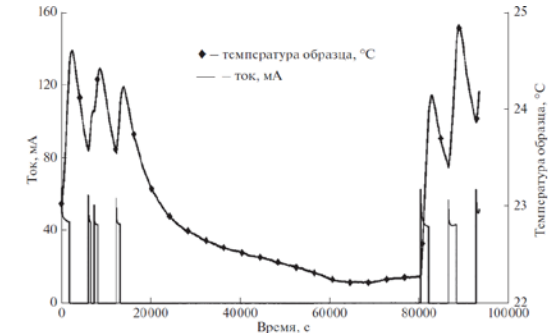
(Богомолов и др., 2002-2010)



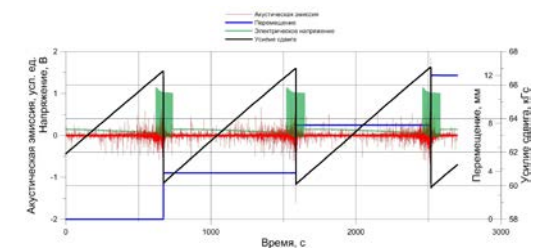
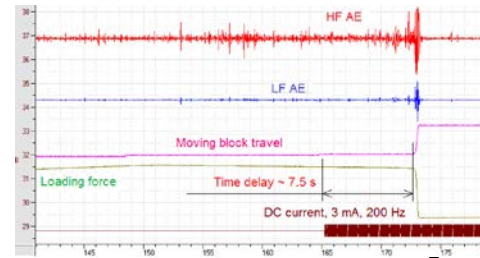
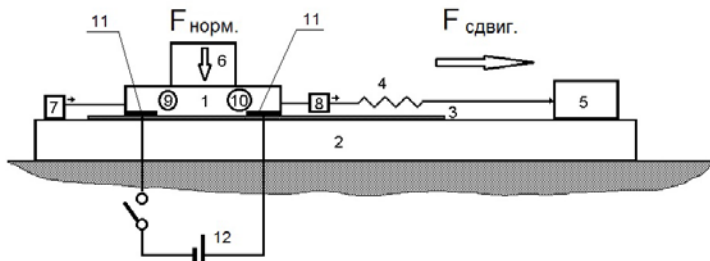
(Лапшин и др., 2016)



(Мубассарова и др., 2014)

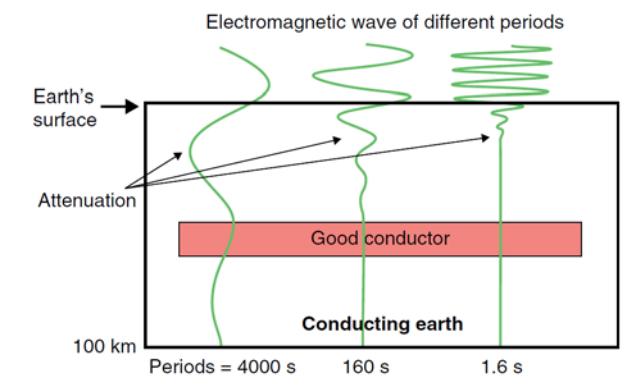
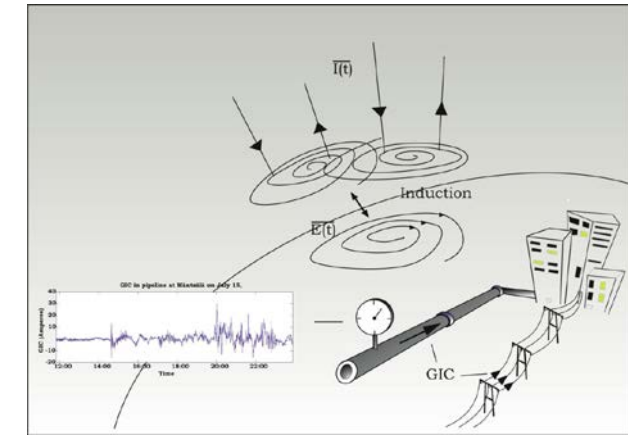
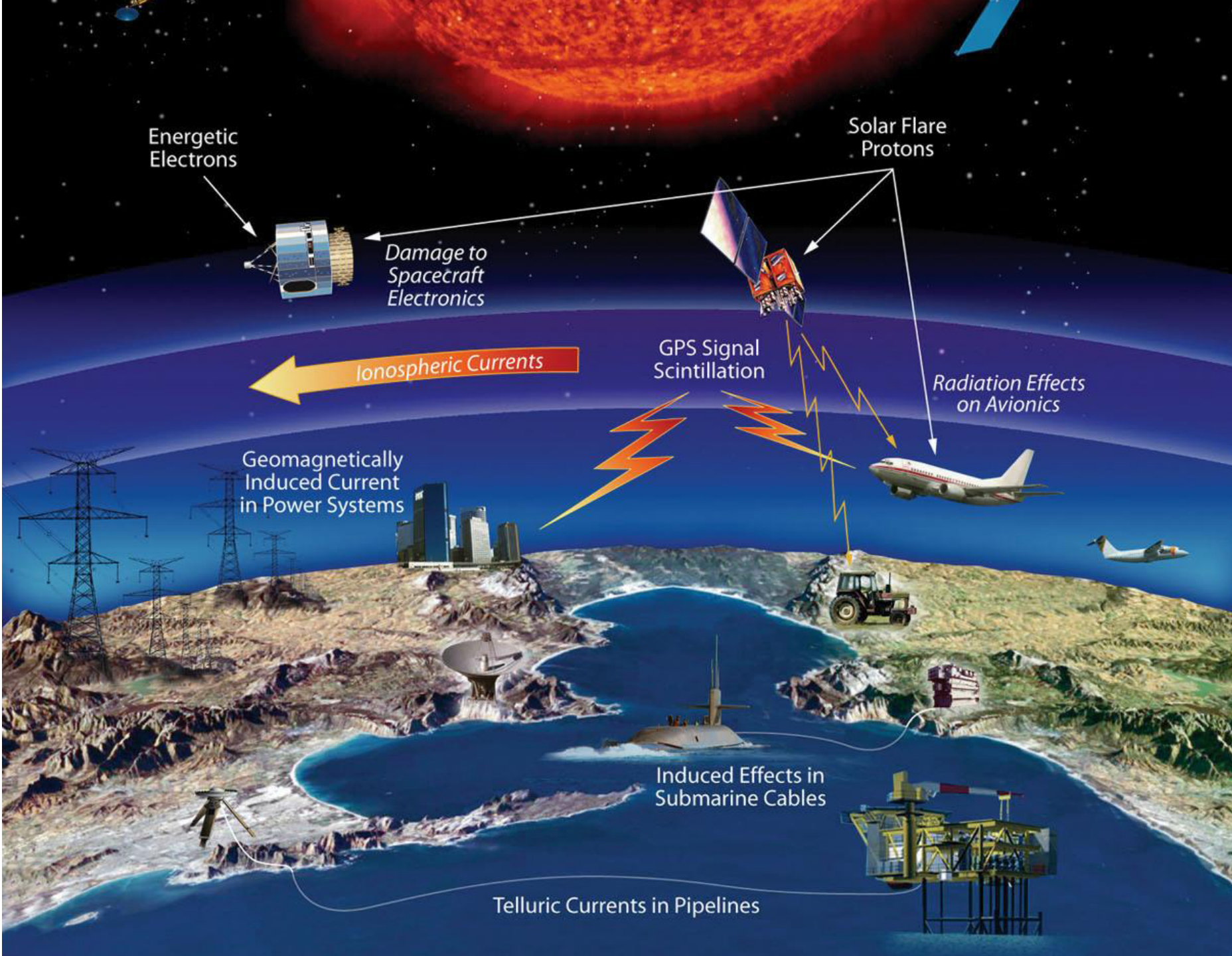


(Зейгарник и др., 2018)

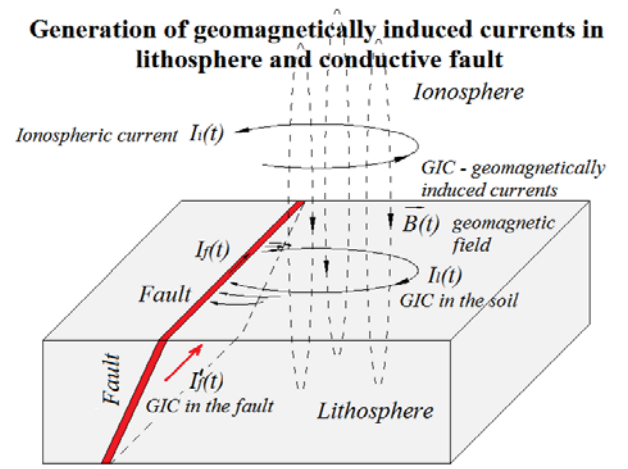


(Novikov et al, 2017)

Зейгарник и др. Электромагнитное инициирование землетрясений: полевые наблюдения, лабораторные эксперименты и физические механизмы (обзор), Физика Земли, 2022



[Gannon et al, 2019]



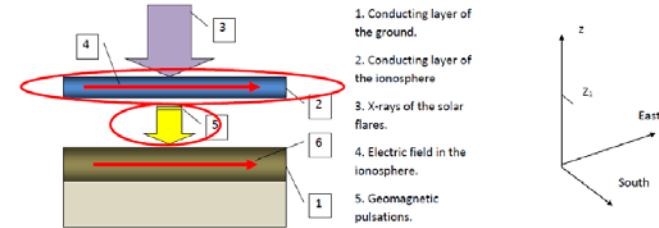
Численные оценки уровня геоиндуцированных токов в разломах

A possible mechanism of stimulation of seismic activity by ionizing radiation of solar flares*

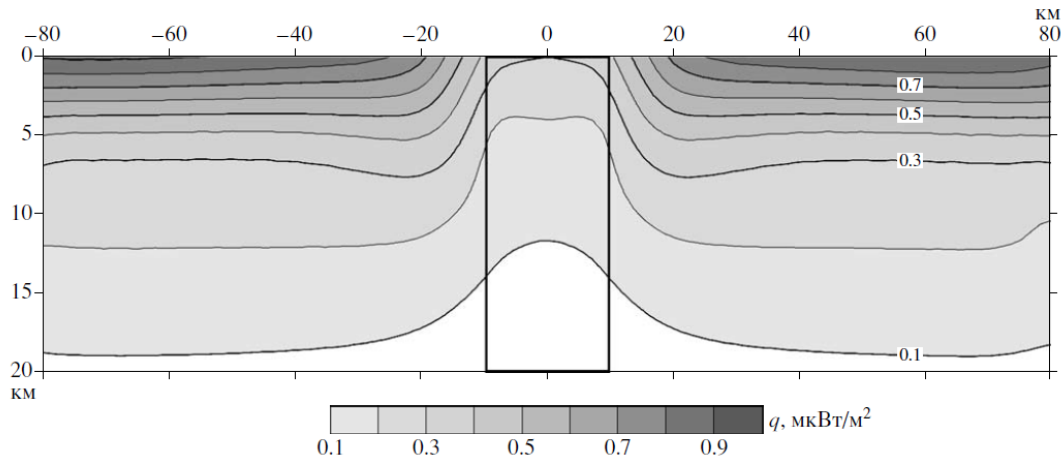
Valery M. Sorokin¹ Alexey K. Yashchenko¹ Victor A. Novikov^{2,✉}

¹ Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism and Radio Wave Propagation of Russian Academy of Sciences, Troitsk, Moscow 108840, Russia

² Joint Institute for High Temperatures of Russian Academy of Sciences, Moscow 125412, Russia



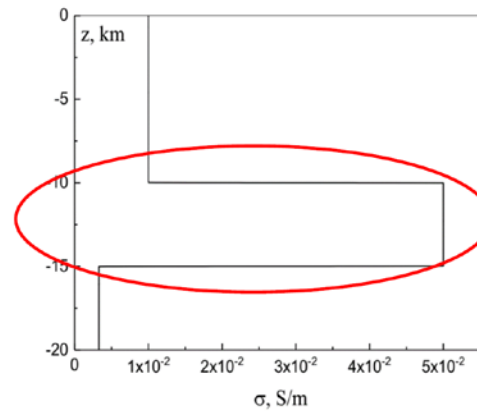
Генерация тепловых потоков в недрах Земли мировыми магнитными бурями [Файнберг и др. 2004]



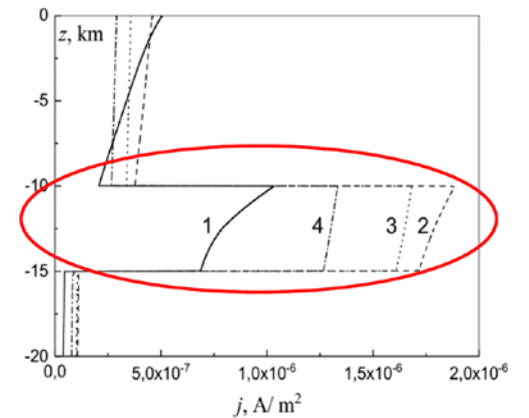
Распределение теплового потока в среде с вставкой типа «разлом»

$$\rho_1 = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}, \rho_2 = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

Numerical estimations of generation of a splash of telluric currents in lithosphere as a result of solar flares

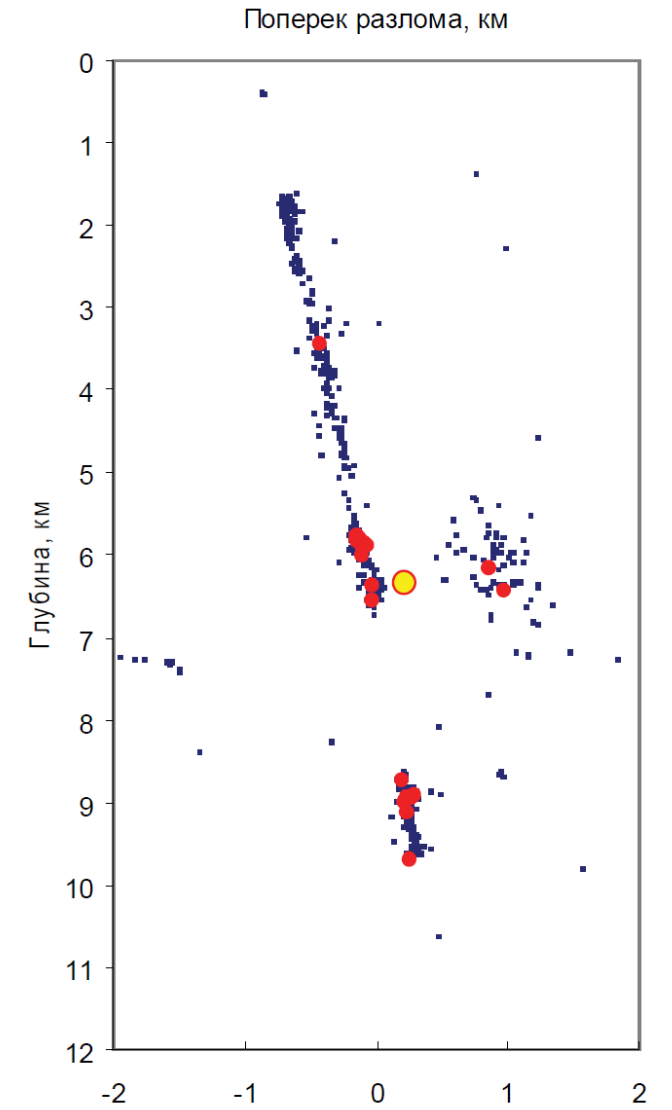
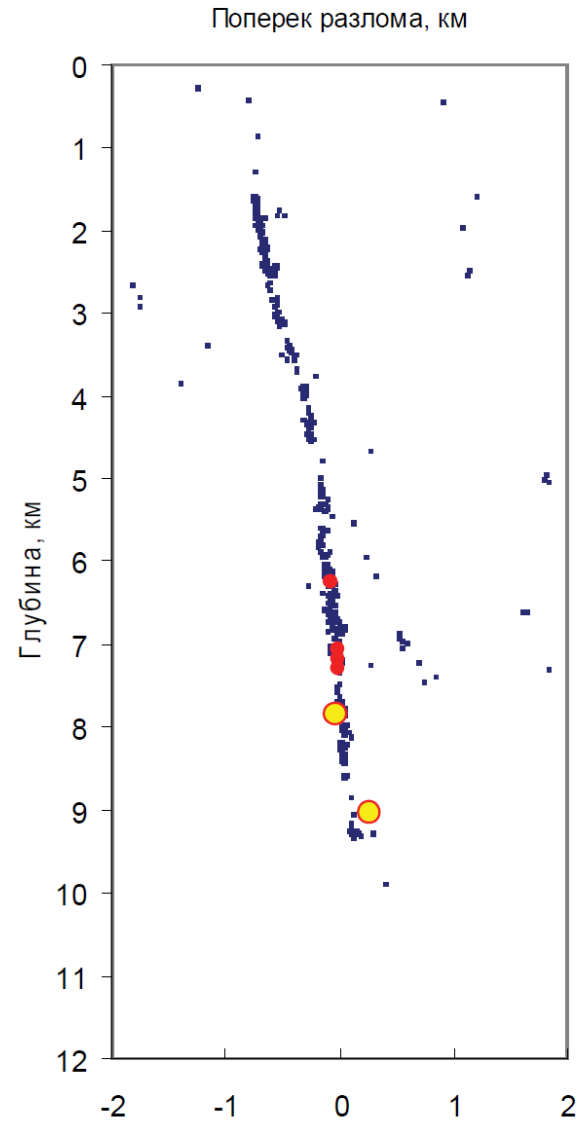
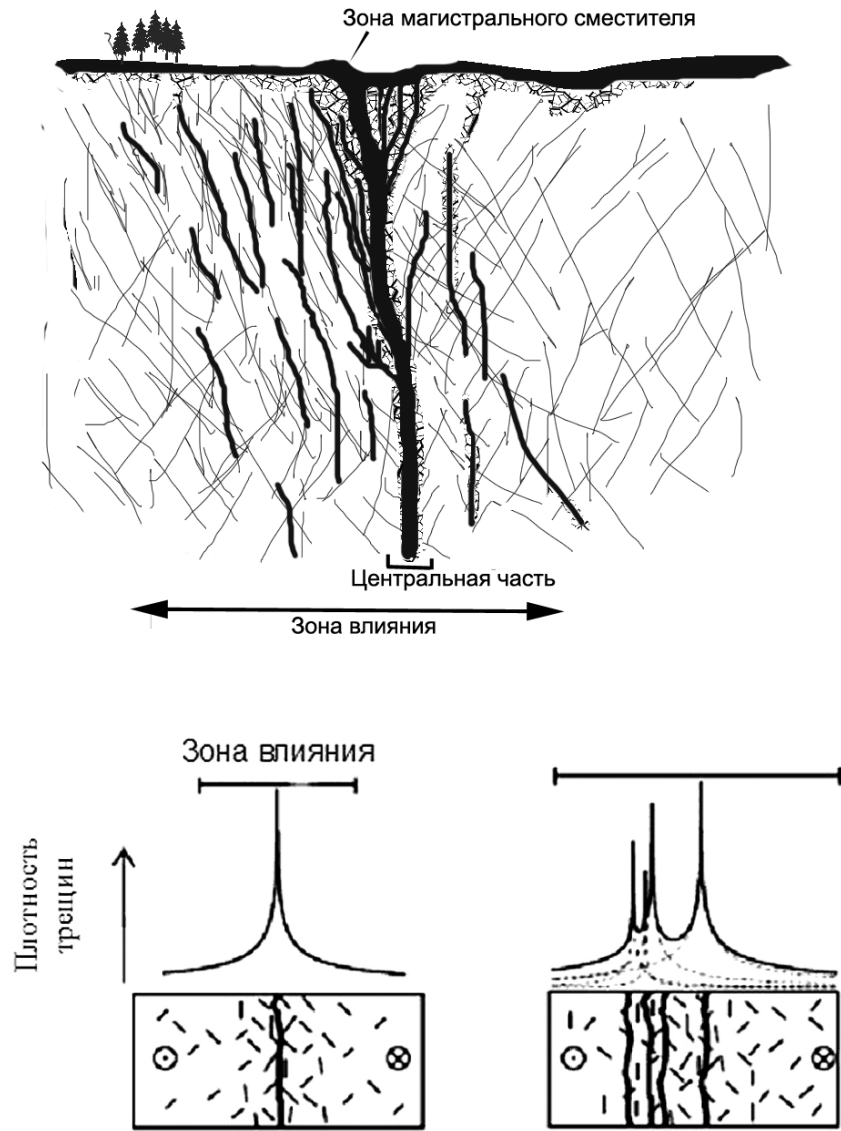


Electric conductivity of the Earth crust (Bishkek geodynamic test site, Northern Tien Shan, Kirghizia)



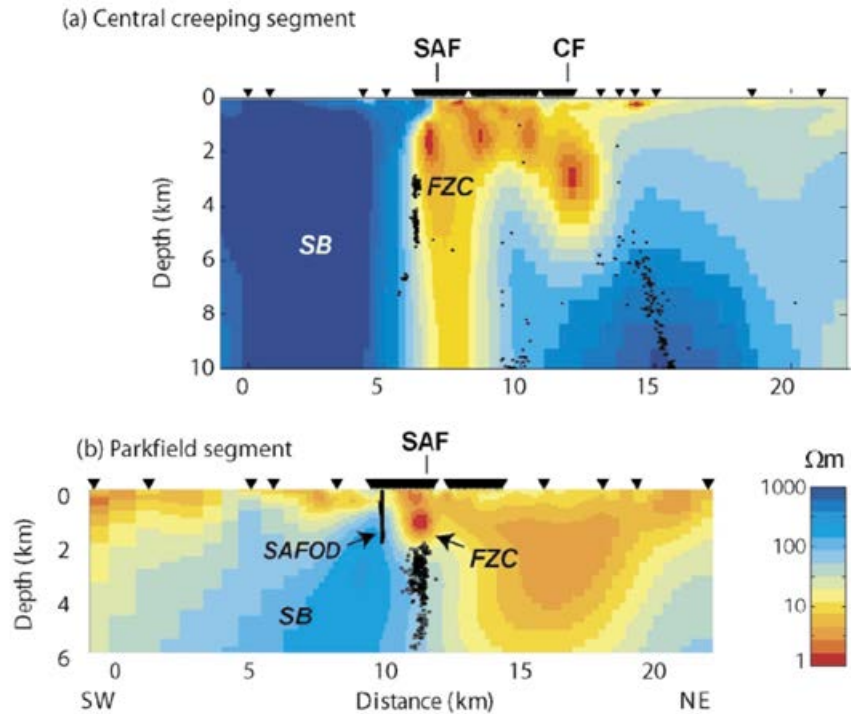
Telluric current density generated by solar flare in the Earth crust for different times (1 – 5 s, 2 – 10 s, 3 – 15 s; 4 – 20 s)

Расположение очагов землетрясений на нескольких участках разломной зоны Calaveras

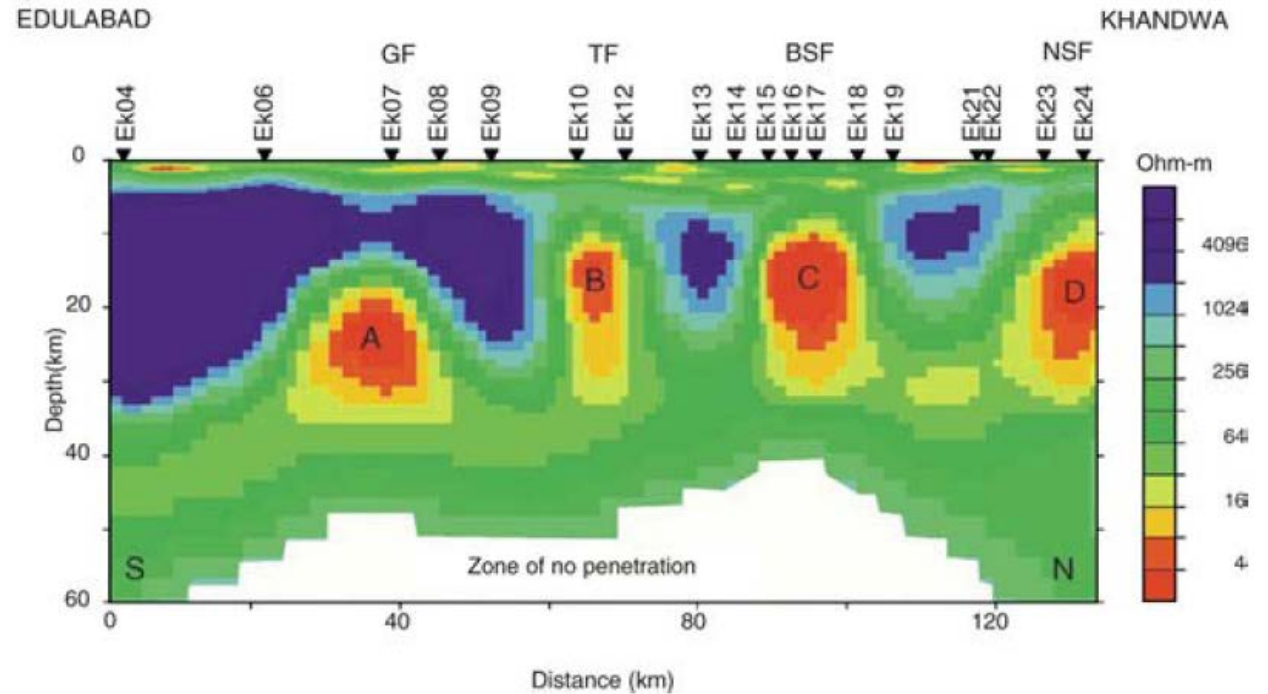


Геоэлектрическая структура разломов

Разломы Сан-Андреас и Калаверас, США



Разломы провинции Деккан, Индия

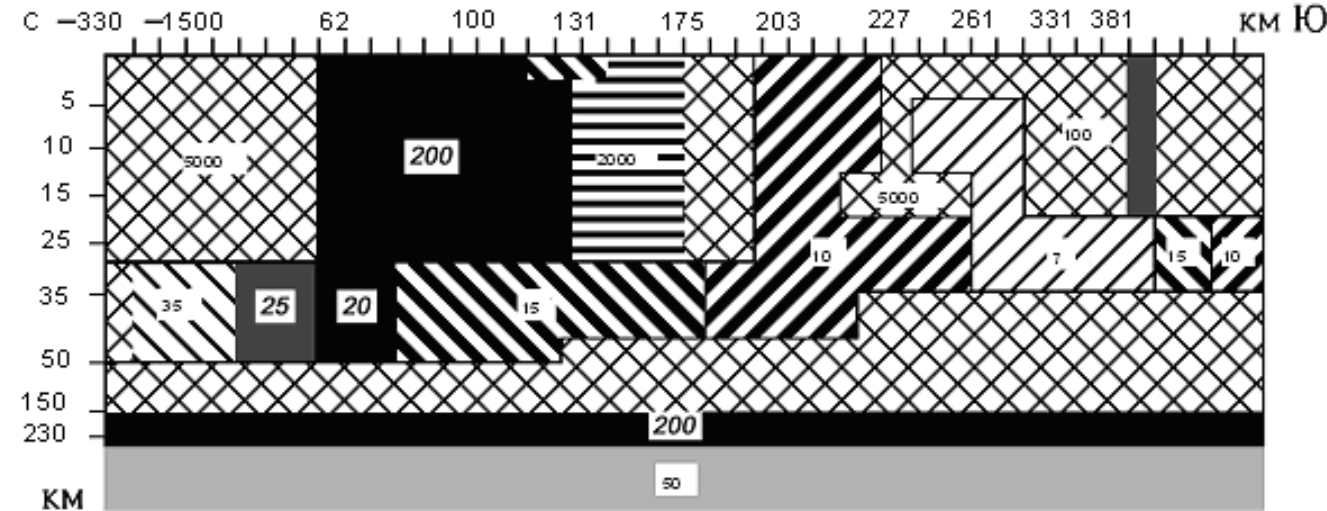
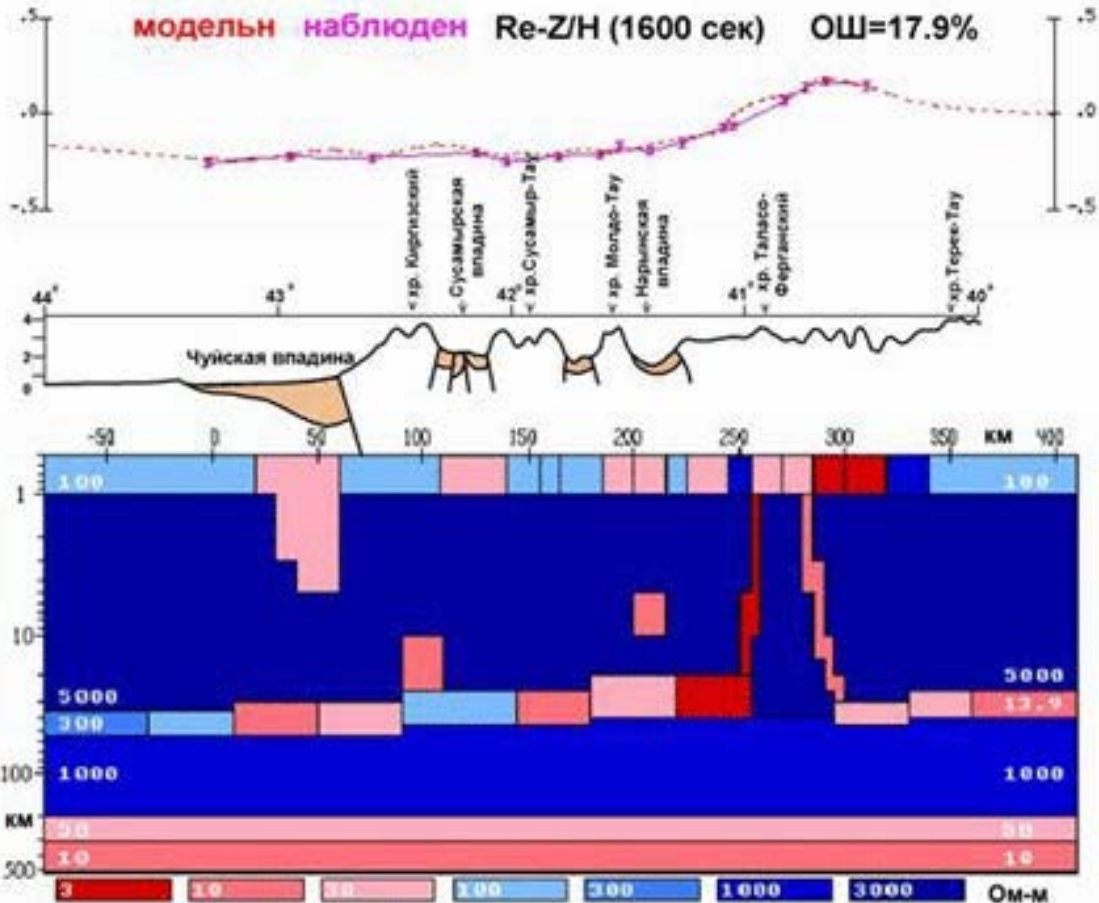


- Electrical resistivity structure of the San Andreas Fault at (a) Hollister where the fault creeps, (b) Parkfield, where the fault is in transition from being locked to creeping.
- SAF=San Andreas Fault; CF=Calaveras Fault; SB=Salinian block; SAFOD=San Andreas Fault Observatory at Depth; FZC=Fault-zone conductor. In each case seismicity is indicated by the black circles.
- Martyn Unsworth and Paul A. Bedrosian On the geoelectric structure of major strike-slip faults and shear zones, *Earth Planets Space*, 56, 1177–1184, 2004

- 2-D electrical resistivity depth section along Edulabad–Khandwa south–north profile.
- GF: Gavligarh fault, TF: Tapti fault, BSF: Barawani–Sukta fault, NSF: Narmada south fault.
- T. Harinarayana , B.P.K. Patro, K. Veeraswamy, C. Manoj, K. Naganjaneyulu, D.N. Murthy, G. Virupakshi, Regional geoelectric structure beneath Deccan Volcanic Province of the Indian subcontinent using magnetotellurics. *Tectonophysics* 445 (2007) 66–80

Геоэлектрическая структура разломов

Линия Николаева и Таласо-Ферганский разлом (Северный Тянь-Шань)

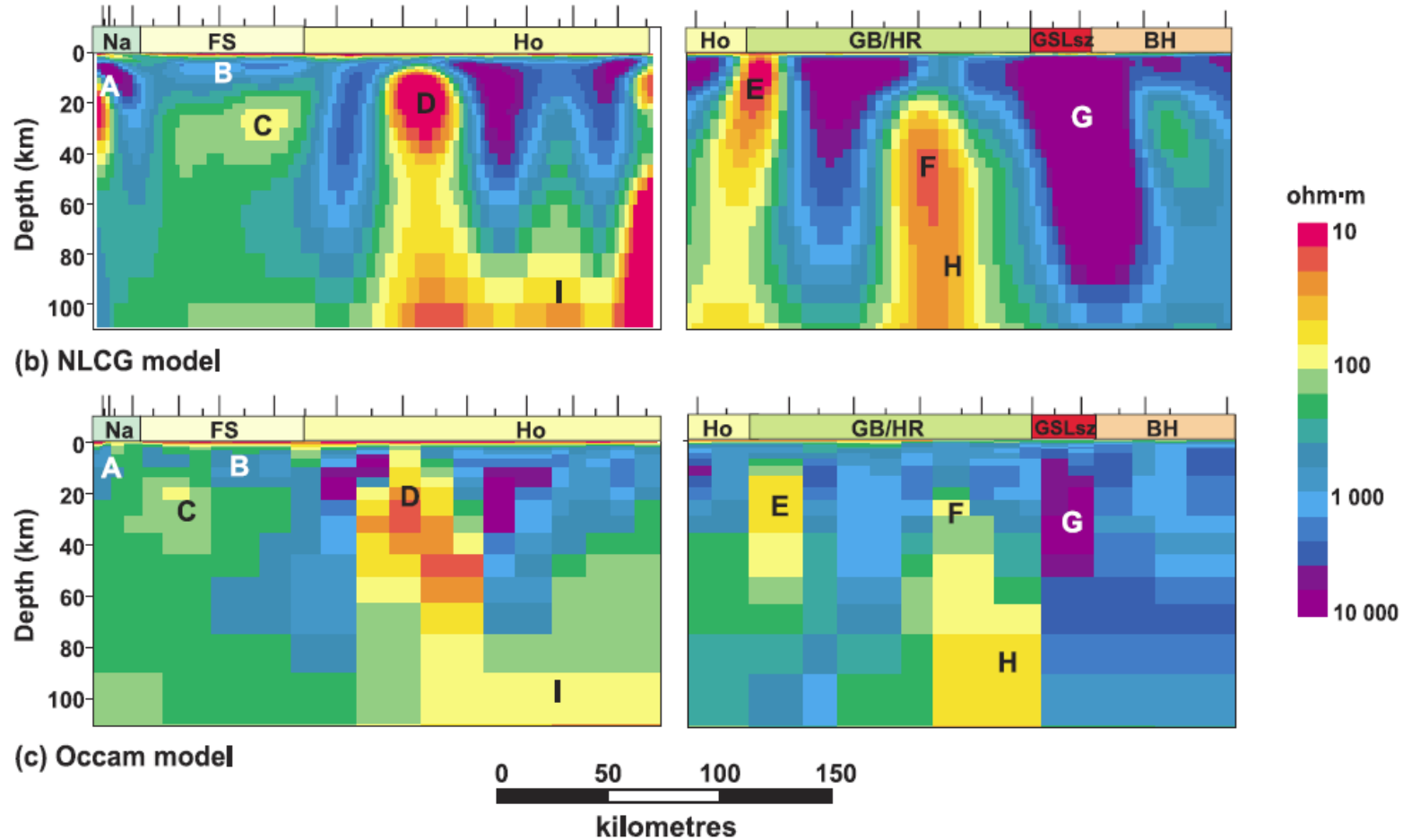


- Геоэлектрическая модель субмеридионального МТ-профиля I-I (74 в. Д.).
- Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Щелочков Г.Г., Баталева И.В., Сафронов И.В., Черненко Д.Е. Таласо-Ферганский разлом – глубинное строение и геодинамика (на основе данных геоэлектрики) Сб материалов 2 международного симпозиума Геодинамика и Геоэлектрические проблемы высокогорных регионов., Москва – Бишкек, 2002, с.164-179

- Геоэлектрический разрез по профилю I-I. Цифрами в блоках показаны удельные электрические сопротивления в Ом·м. Выделяются два крупных разлома: разлом вдоль, так называемой, линии Николаева (между отметками 203-227 км) и Таласо-Ферганский разлом (250-350 км).
- Андреева Е.В., Баталев В.Ю., Бердичевский М.Н., Ваньян Л.Л., Волюхин А.М., Голубцова Н.С., Рыбин А.К. Магнитотеллурические зондирования в горах Киргизского Тянь-Шаня. //Физика Земли. 1997. № 1. С. 3-20

Геоэлектрическая структура разломов

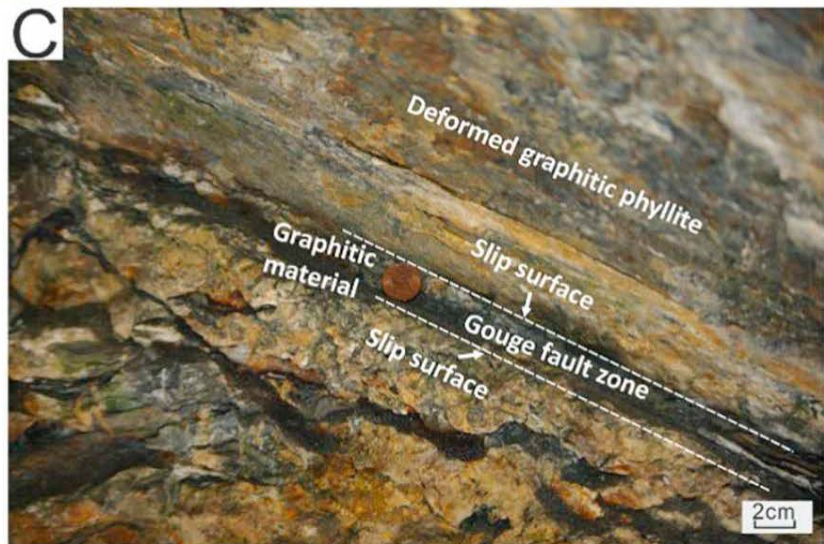
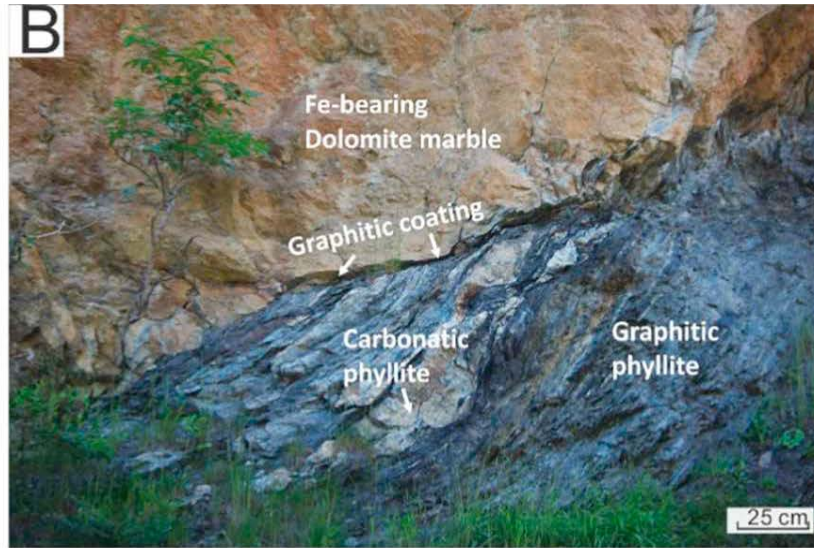
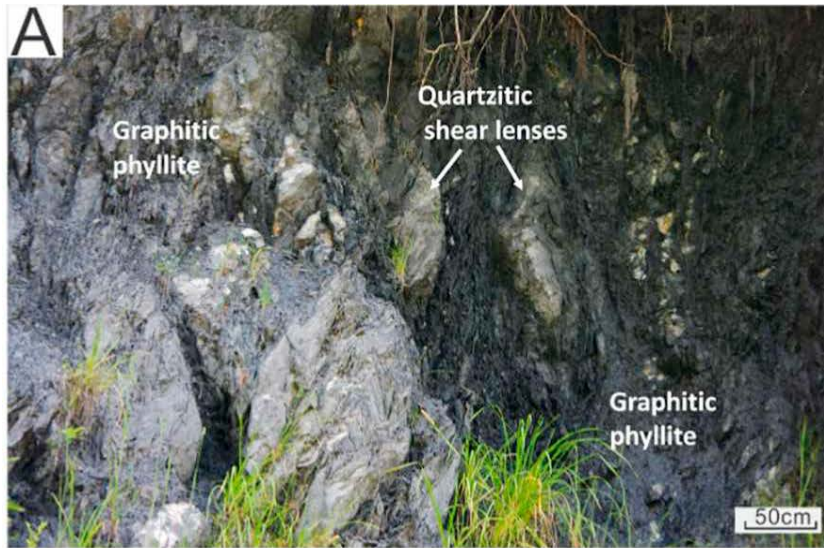
The Great Slave Lake shear zone



- BH- Buffalo Head terrane; FS- Fort Simpson terrane; GB- Great Bear magmatic arc; **GSLsz-Great Slave Lake shear zone**; Ho-Hottah terrane.

- Xianghong Wu, Ian J. Ferguson, and Alan. G. Jones Geoelectric structure of the Proterozoic Wopmay Orogen and adjacent terranes, Northwest Territories, Canada Can. J. Earth Sci. 42: 955–981 (2005)

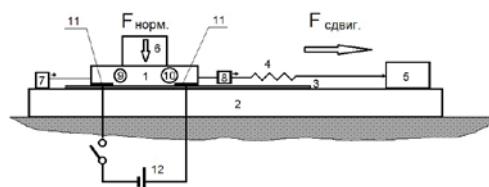
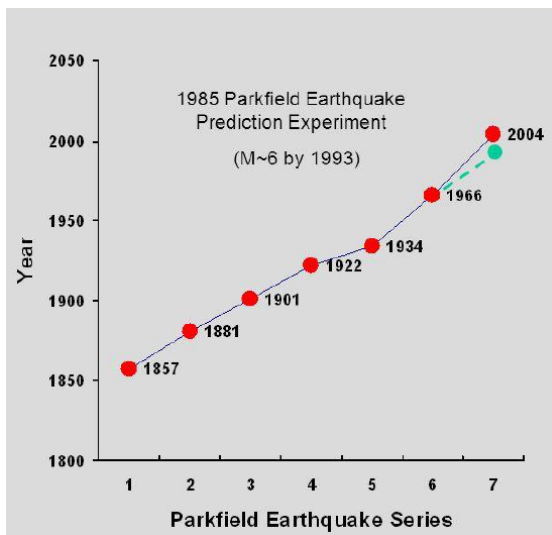
Shuyun Cao, Franz Neubauer (2019) Graphitic material in fault zones: Implications for fault strength and carbon cycle. Earth-Science Reviews.



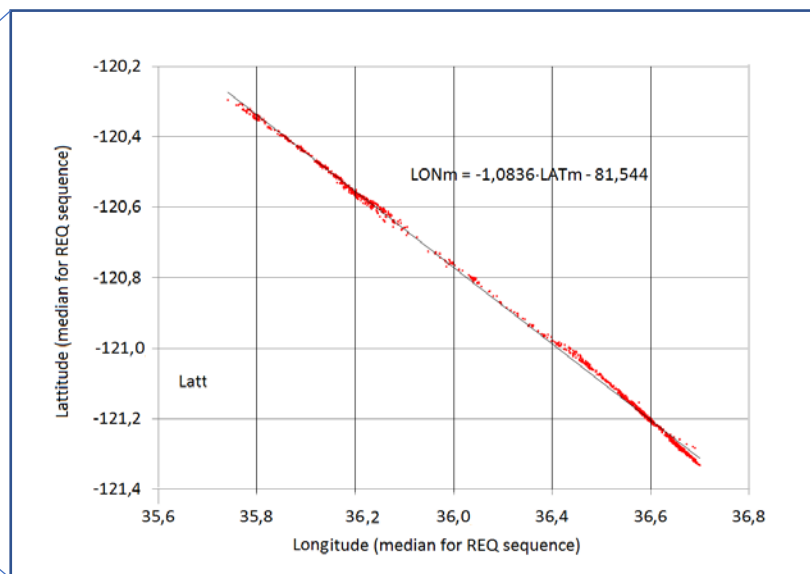
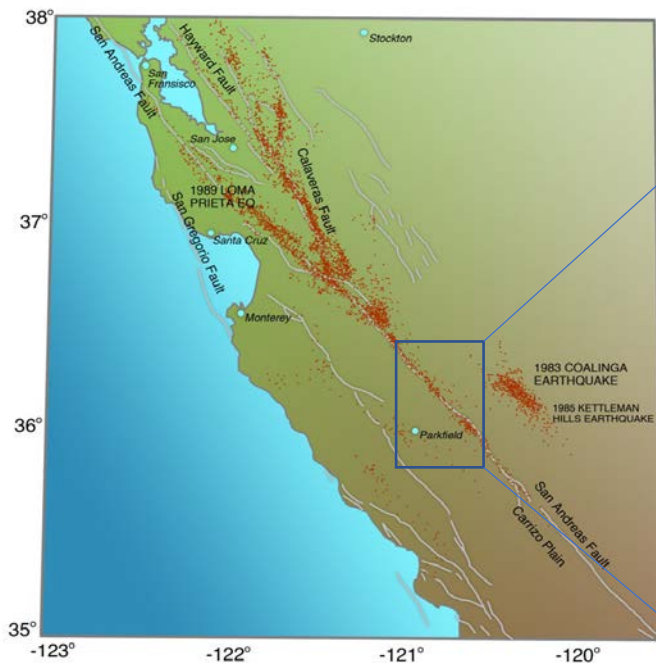
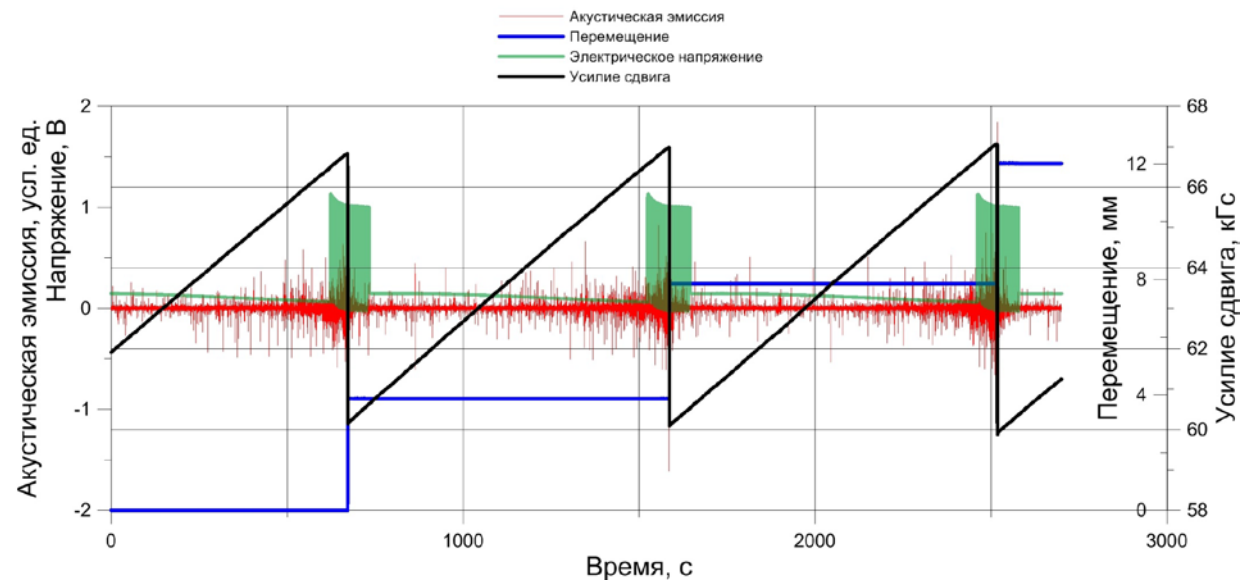
Representative types of graphitic material-bearing rocks in major natural fault zones in the Eastern Alps. (A) Graphitic material-bearing phyllites and quartzitic shear lenses in the Periadriatic fault. (B) Graphitic material-bearing phyllites and dolomite marble in the Periadriatic fault. (C) Graphitic material in the gouge fault zone and ductile deformed graphitic phyllite in the Salzach-Enns-Mariazell-Puchberg (SEMP) fault zone. (D) graphitic phyllite, graphitic material and ductile deformed limestone shear lenses in the cataclastic fault zone in the Salzach-Enns-Mariazell-Puchberg (SEMP) strike-slip fault

Удельное сопротивление углерода (графита) от 2.5×10^{-6} до 5.0×10^{-6} Ом·м при 20 °C

Анализ влияния геомагнитных бурь на рекуррентный период повторяющихся землетрясений



Лабораторный эксперимент: Сокращение рекуррентного периода ~ на 20%



Магнитные бури с $Kp \geq 8$, происходящие в конце сейсмического цикла приводят к сокращению среднего рекуррентного периода ~ на 10-15%, что подтверждает возможность инициирования землетрясений магнитными бурями

Заключение

- 1) Геоиндуцированные токи в проводящих разломных зонах земной коры, а также их воздействие на деформационные процессы являются практически неизученными.
- 2) Вследствие насыщенности разломов земной коры высокоминерализованными флюидами или графитизации разлома его проводимость может на несколько порядков превышать проводимость вмещающих горных пород.
- 3) Расчетными оценками показано, что при сильных возмущениях геомагнитного поля ~ 100 нТл плотность теллурических токов в проводящем разломе может достигать 10^{-6} А/м², что на порядок выше плотности тока, генерируемого в очагах землетрясений искусственными импульсными источниками постоянного тока и вызывающего пространственно-временное изменение сейсмической активности.
- 4) При определенных условиях (уровень напряженно-деформированного состояния разлома, его проводимость и ориентация) геоиндуцированные токи, возбуждаемые в разломах резкими вариациями геомагнитного поля, могут инициировать землетрясения.