



*Экологические проблемы возникают в тех случаях, когда человек, изменяя окружающую среду, не может предвидеть все последствия своего вмешательства, неверно их оценивает либо в силу непонимания проблемы экономит средства на ее решение.*

## **Сейсмология – новые направления и проблемы**

*Д.г.-м.н. В.С. Селезнёв*

**Новосибирск 3.03.2022г.**

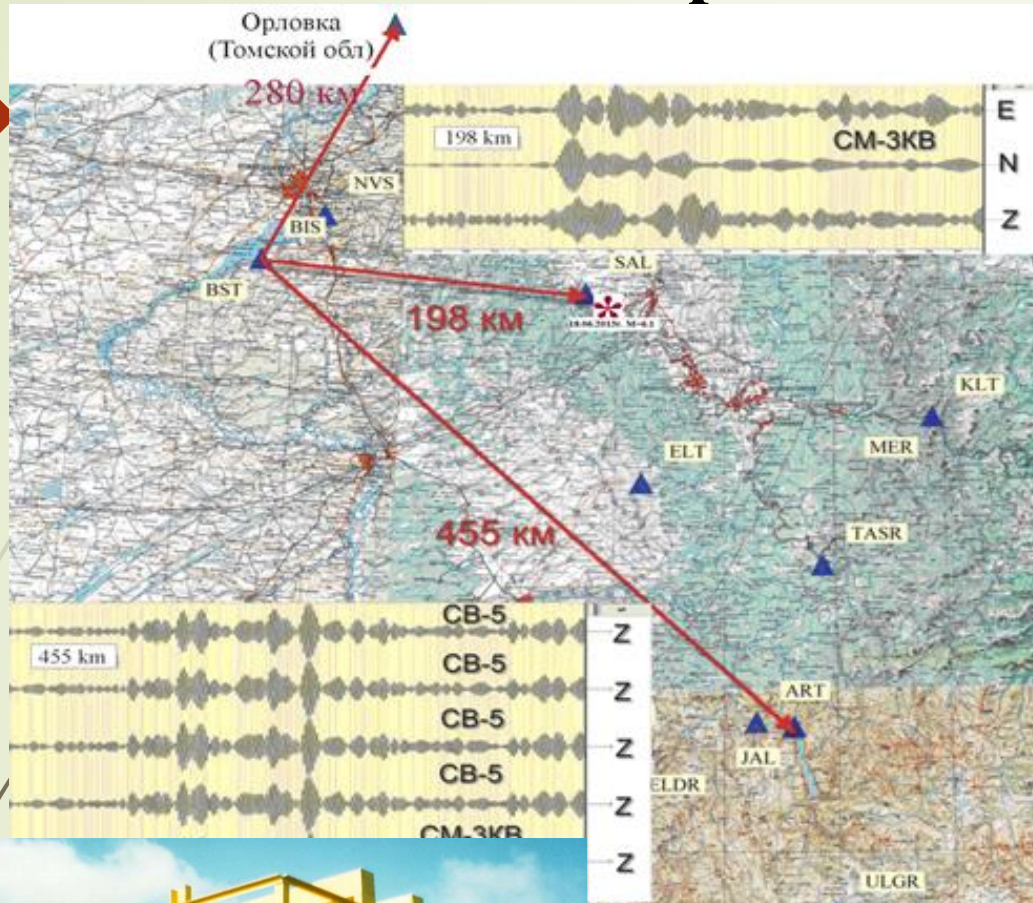
# Геофизическая служба СО РАН 1995-2016 годы, далее ФИЦ ЕГС РАН

В начале 90-х годов прошлого столетия геофизические и сейсмологические партии и экспедиции СО РАН были численностью около 600 человек с финансированием порядка 7 млн. долларов. Они содержали около 50 сейсмологических станций. В момент организации ГС СО РАН (на правах научно-технологического института) в 1995 году финансирование упало до 300 тыс. долларов. В США и Японии уже тогда количество сейсмостанций перевалило за тысячу.

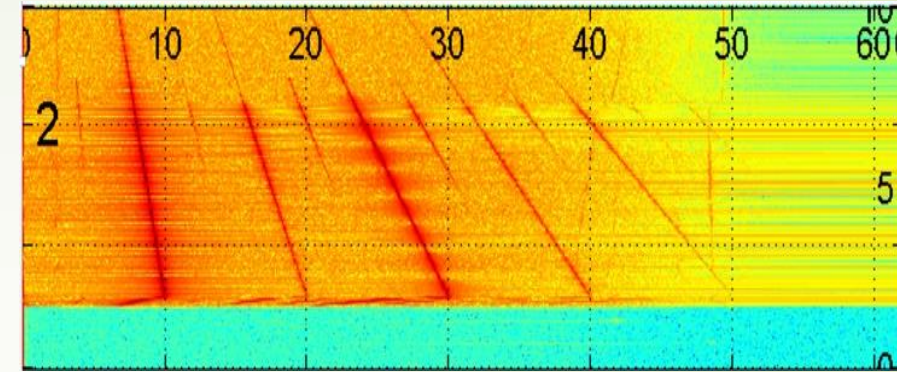
Кроме 4-х сейсмологических экспедиций в состав ГС СО РАН вошли:

- 1. Партия вибрационных исследований*
- 2. Партия глубинных сейсмических исследований*
- 3. Партия морских исследований*
- 4. Лазерная партия*

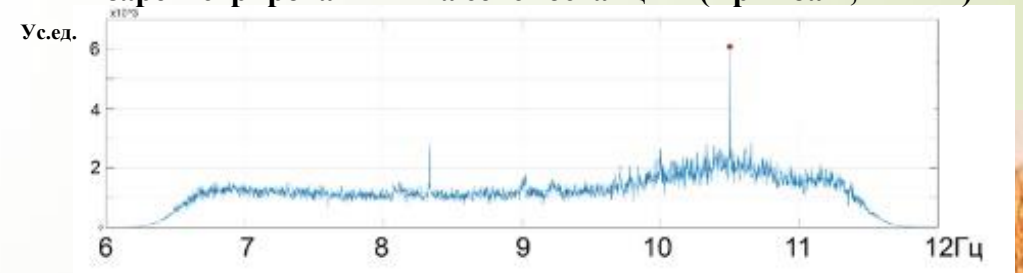
# Вибрационные источники



Текущий спектр от 40-тонного вибратора в ближней зоне с кратными гармониками



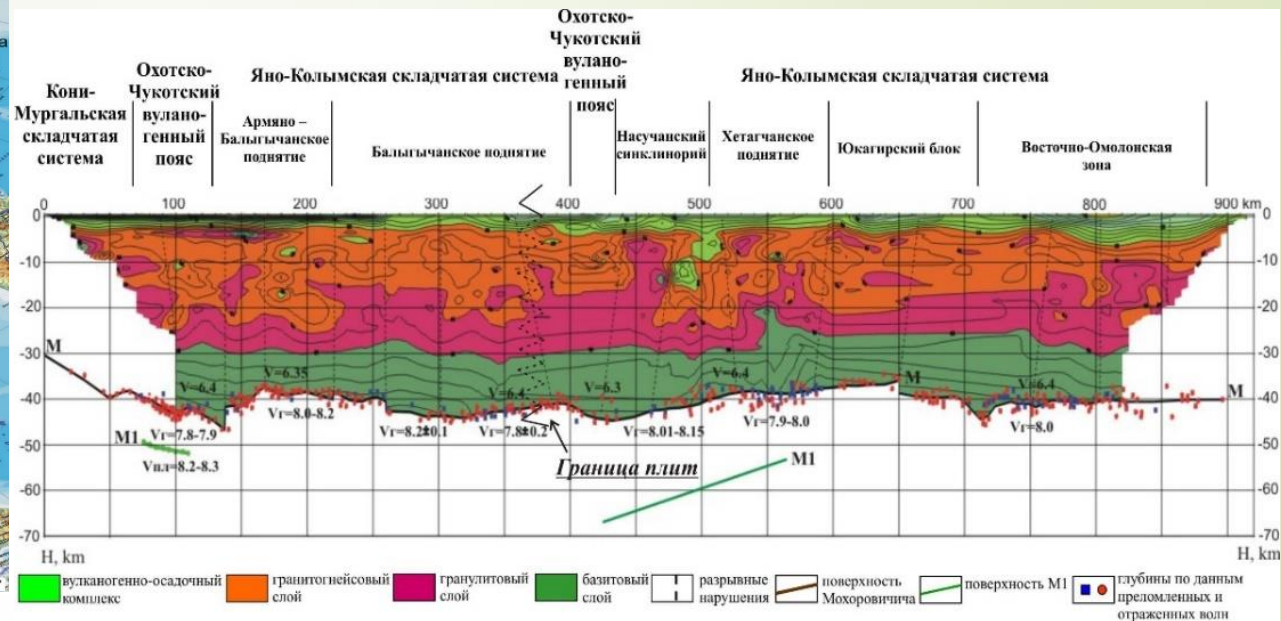
Монохроматический сигнал (10.5 Гц) от вибратора ЦВ-40 зарегистрированный на сейсмостанции (Артыбаш, 442 км)



# Глубинные сейсмические исследования с вибраторами на опорных профилях на Востоке России



Геолого-геофизический разрез земной коры по опорному профилю 2-ДВ



Выполнены работы на профилях длиной около 5000 км



Результаты исследований свидетельствуют об эффективности технологии многоволновых глубинных сейсмических исследований с использованием российской автономной мобильной регистрирующей аппаратуры (Байкал, Роса) и мощных дебалансных вибраторов при изучении глубинного строения в труднодоступной местности Востока России. Усовершенствована методика и техника полевых работ, способы обработки и интерпретации данных Р-и S-волн.



2001г. – р. Обь, 50 пог. км

2002 г. - р. Вах, 550 пог. км

2003 г. – р. Енисей, 110 пог. км

2005 г. – р. Волга, 100 пог. км

2006 г. – р. Енисей, 250 пог. км

2006 - 2007гг. – р. Лена, 700 пог. км

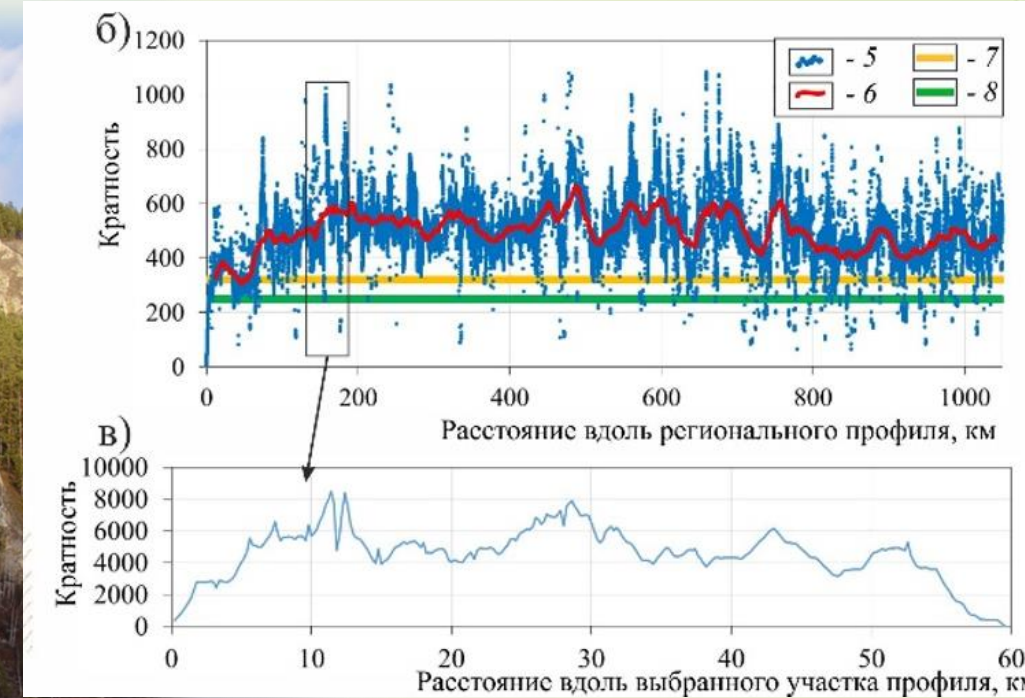
2008г. – р. Лена, р.Киренга 330 пог. км

2012г. – р. Нижняя Тунгуска, 550 пог. км

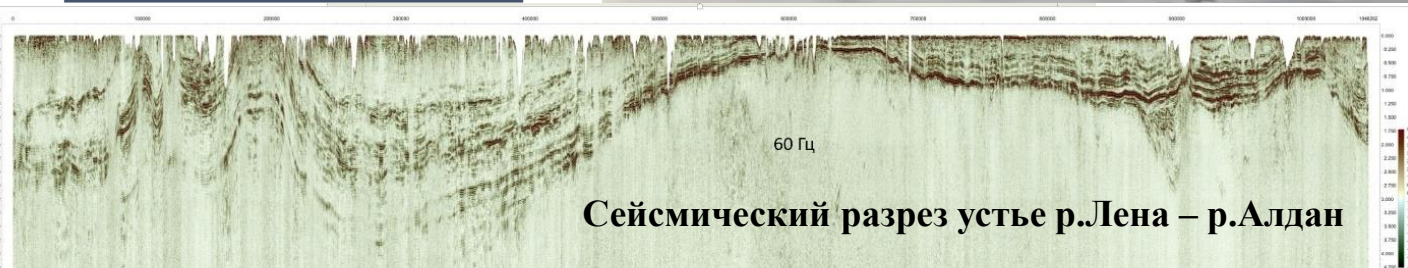
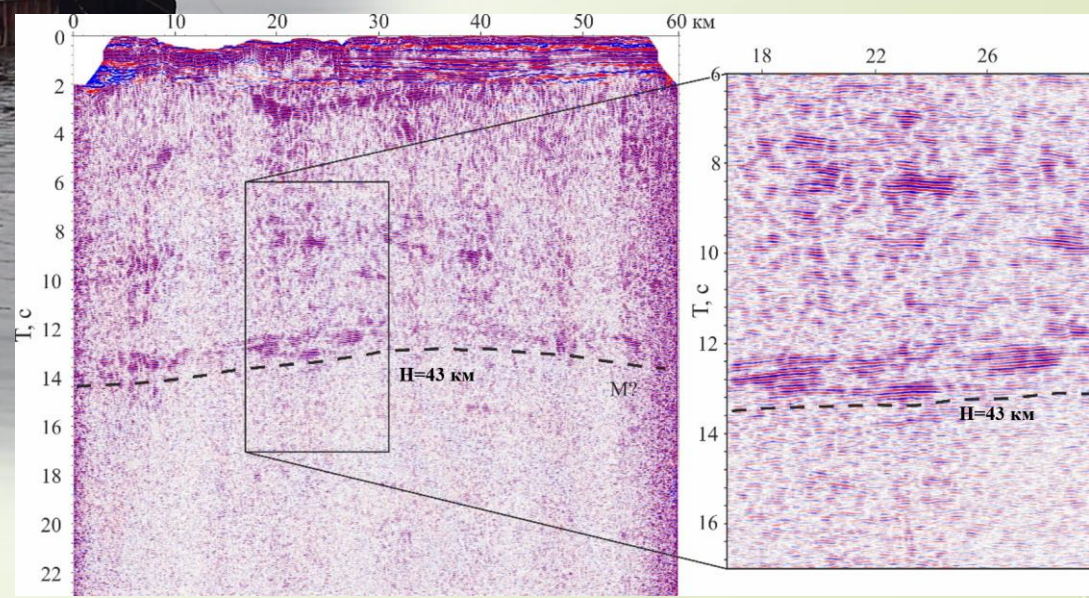
2018г. – р. Лена, 1132 пог. км

2019г. – р. Витим, 178 пог. км

## Речная сейсмика Выполнено 3800 км



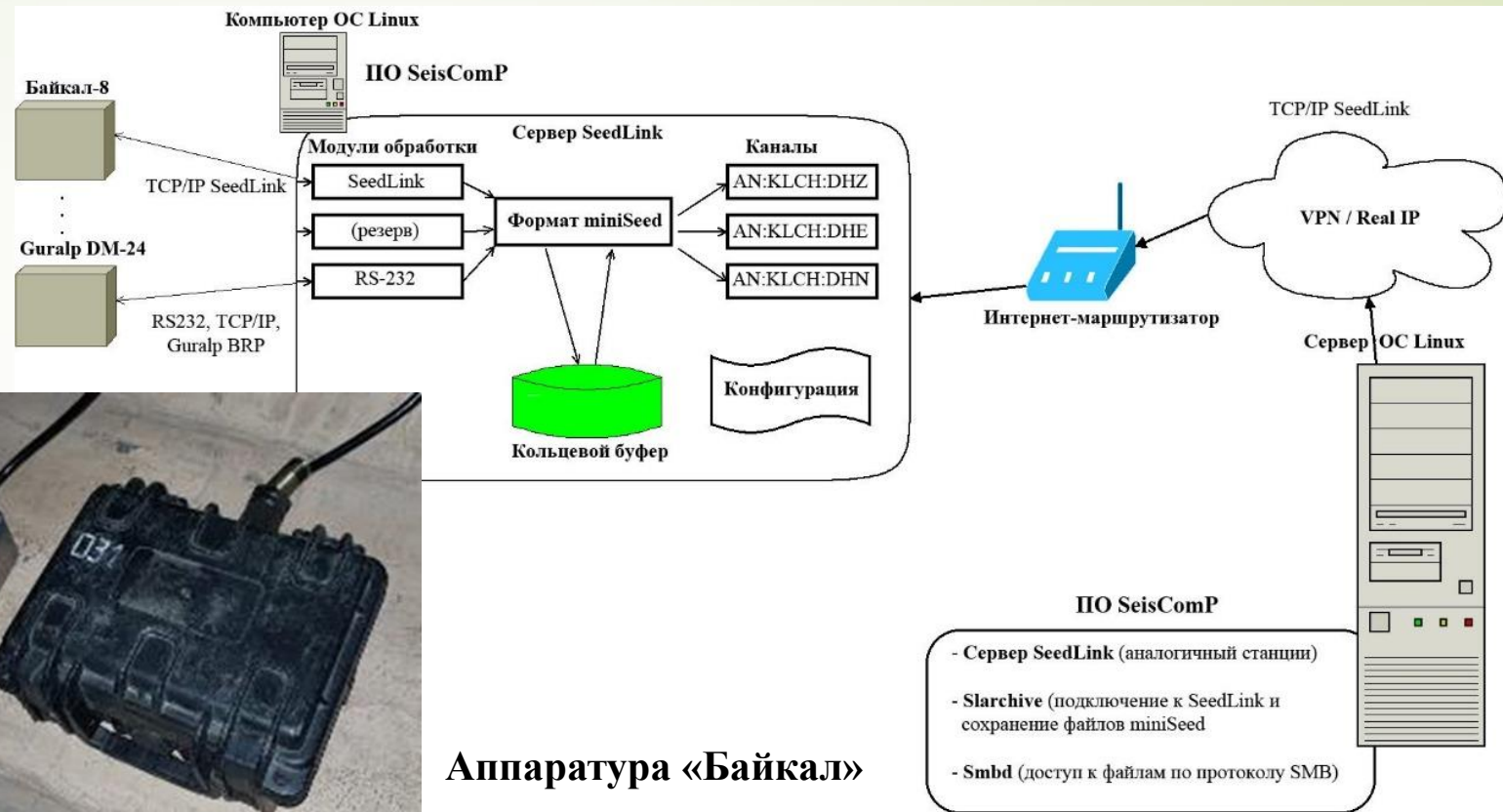
Фрагмент временного разреза по профилю в верховьях р.Лена



Сейсмический разрез устье р.Лена – р.Алдан

# Система непрерывной регистрации микросейсмических колебаний

## Принципиальная схема Комплекса



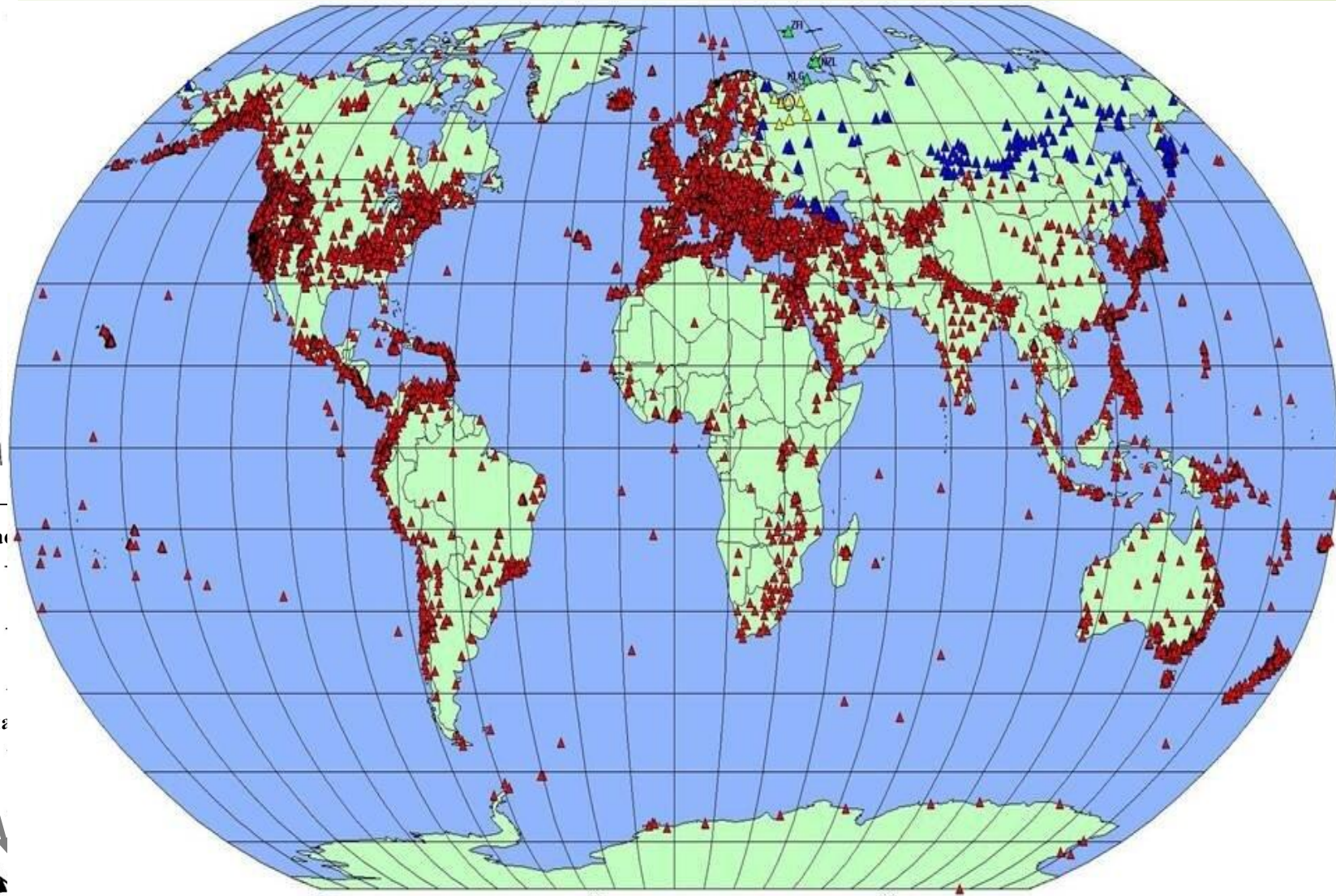
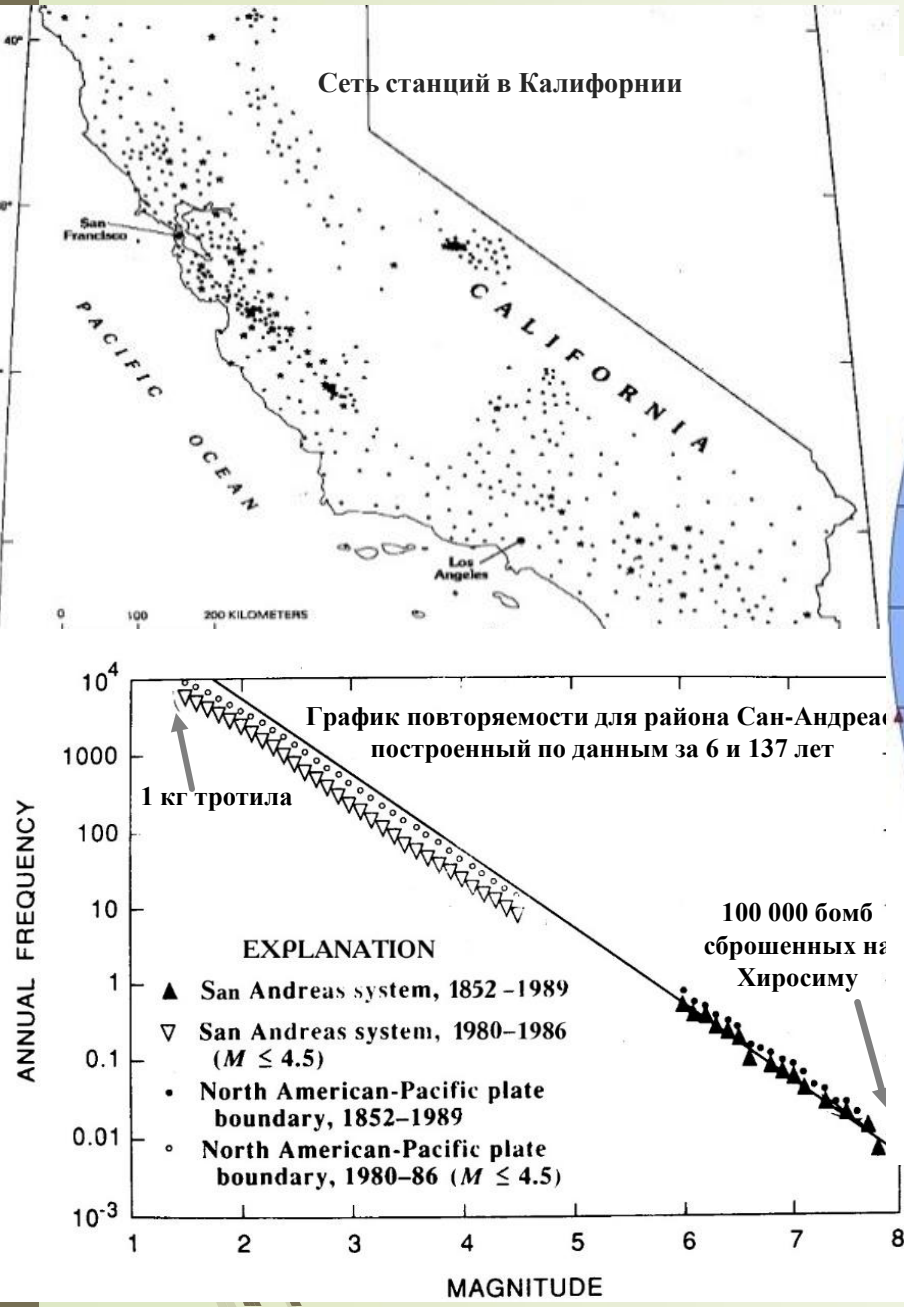
Аппаратура «Байкал»

- Основные каналы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) — шесть с разрешением 24 бита
- Частота дискретизации — 100, 125, 200, 250, 400, 500, 800, 1000, 2000, 4000 Гц
- Число эффективных разрядов — 100 Гц, 21.5
- Объем памяти — 8 Гб
- Диапазон рабочих температур — от -30 до +60 °C
- Стабильность внутреннего генератора — (от -20 до +60°C) ±3\*10<sup>-7</sup>

Аппаратура портативная, может устанавливаться в любом месте. Данные передаются на сервер СЕФ ФИЦ ЕГС РАН.



# Основная задача решаемая сейсмологией для Государства – это долгосрочный прогноз или построение карты сейсмического районирования



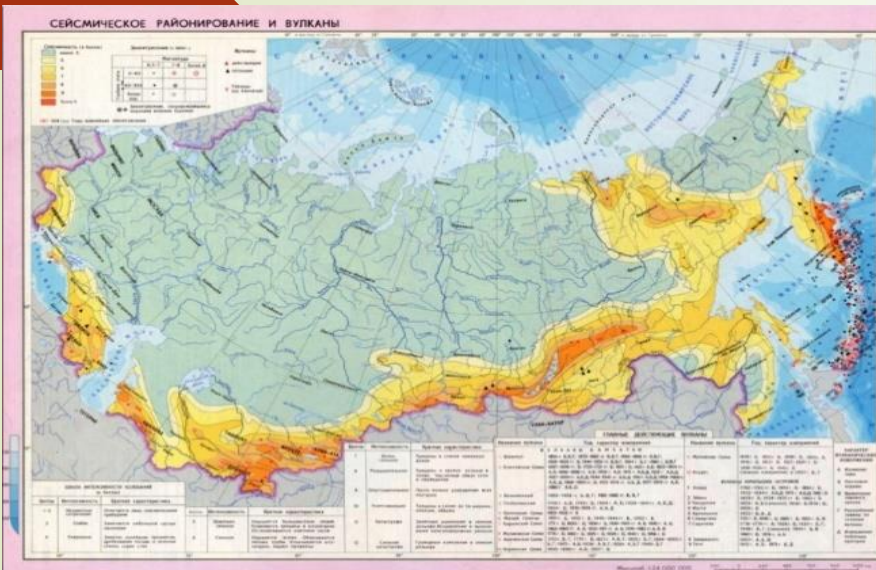
Расположение сейсмологических станций





# Сейсмическое районирование (долгосрочный прогноз) можно делать со 100% вероятностью, если достаточно данных для построения графика повторяемости

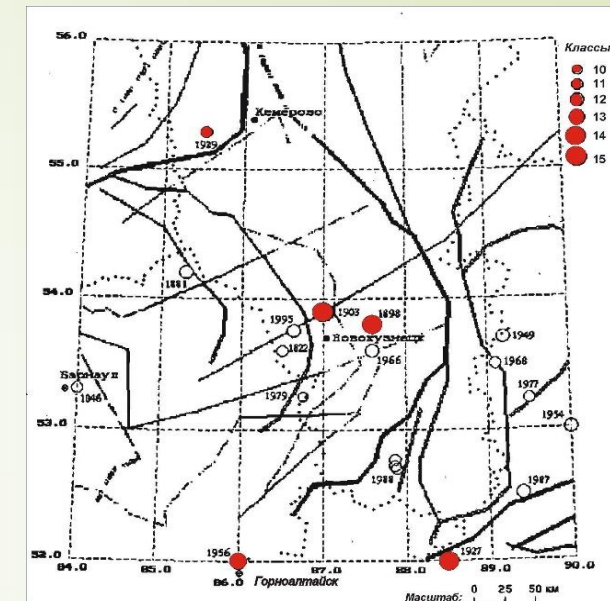
Карта сейсмического районирования 1983 года



Карта ОСР – 97-А



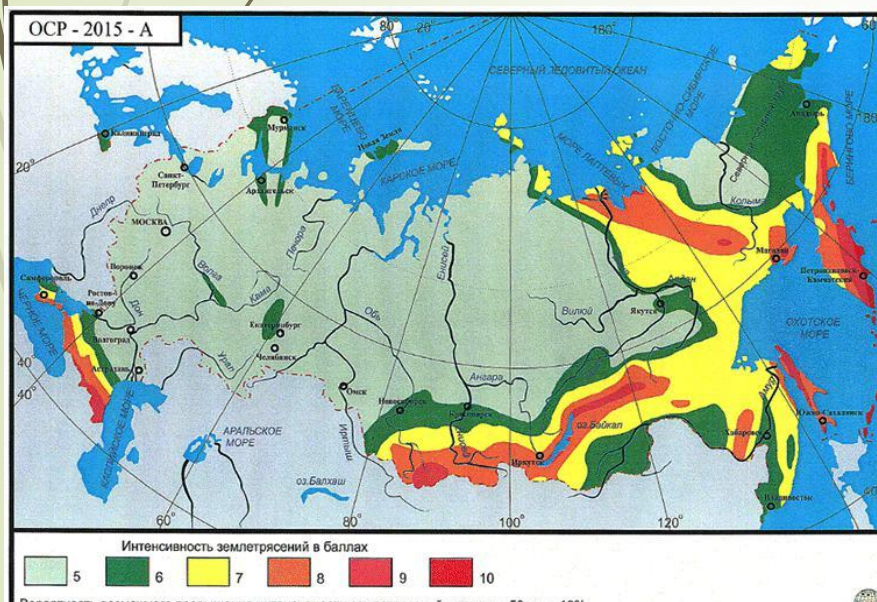
Кузбасс



## Расчёт возможного ущерба

Характеристики	Показатели	Наименование	Количество
Математическая обстановка		Тяжелая промышленная техника (бульдозеры, экскаваторы, краны в состоянии 1-1,1)	124
Население в расчетном регионе (чел.)	111841	Автотранспорт	83
Общие потери (чел.)	5490	Поверхностные коммуникации	18
Безвозвратные потери (чел.)	2110	Компрессорные ст. и инд.	41
Санитарные потери (чел.)	5380	Переключающие электростанции	45
в том числе крайне тяжелые (чел.)	887	Комплексы машин механизации	227
тяжелые (чел.)	1537		
легкие (чел.)	596		
Инженерная обстановка		<b>ЖИЗНЕОПАСНОСТИ</b>	
Доля зданий, полученных повреждения в том числе легкие (1 степень)	0,18	Исходные данные для определения жизнеобеспечения	
умеренные (2 степень)	0,06	Наименование формирования	Численность (чел.)
тяжелые (3 степень)	0,07	Численность встраиваемых, основанных без пров.	10908
разрушения (4 степень)	0,02	Численность эвакуируемых в первую очередь	1019
обвалы (5 степень)	0,01	Численность пострадавших, нуждающихся в дальнейшем лечении	9087
Количество пожаров (сл.)	0,0019	Виды жизнеобеспечения	Показатели
Количество аварий на КЭС (сл.)	18	Потребность во временном жилье	
Проживенность заваленных проездов (м.)	105	В летнее время	136
Отвеченная материальная ущерб	84,40	населения УС Б-55 (пл. 38,3 кв.м.) ед.	1272
	0,040	населения вытесняемых складов (16,5 кв.м.) ед.	108
		В зимнее время	388
		населения УС Б-56 (пл. 21,5 кв.м.) ед.	2119
		вазетки зимние покладные, ед.	2507
		одежда зимняя, ед.	97
		Потребность в новом жилье	
		Виды жизнеобеспечения	Показатели
		Средств индивидуальной защиты	219
		Средств индивидуальной защиты в воде (куб.м)	54
		Средств индивидуальной защиты в воздухе (куб.м)	6434
		Средств индивидуальной защиты в воде (куб.м)	54
		Средств индивидуальной защиты в воздухе (куб.м)	6434
		Потребность в основных продуктах питания на 10 суток	
		Расход муки (кг.)	32718
		Расход крупы (кг.)	5998
		Расход мяса (кг.)	6543
		Расход жира (кг.)	2944
		Расход молока (кг.)	26526
		Расход картофеля (кг.)	23355
		Расход сахара (кг.)	3928
		Расход рыбы (кг.)	1635

Карта ОСР – 2015-А



Нефтегорск был полностью разрушен 28 мая 1995 года в результате мощного землетрясения с  $M=7.6$ , под обломками зданий погибли 2040 человек из общего населения в 3197 человек. Землетрясения такой силы (в эпицентре 10 баллов) там не могло быть по карте 1983 года. Убытки составили 600 млрд. руб. в ценах 1995 года.

Если землетрясение масштаба 1898г. или 1903г. годов повторится сейчас, то число возможных человеческих жертв составит около 20 000 (если зимой и ночью) и около 5 000 (если летом и днем).



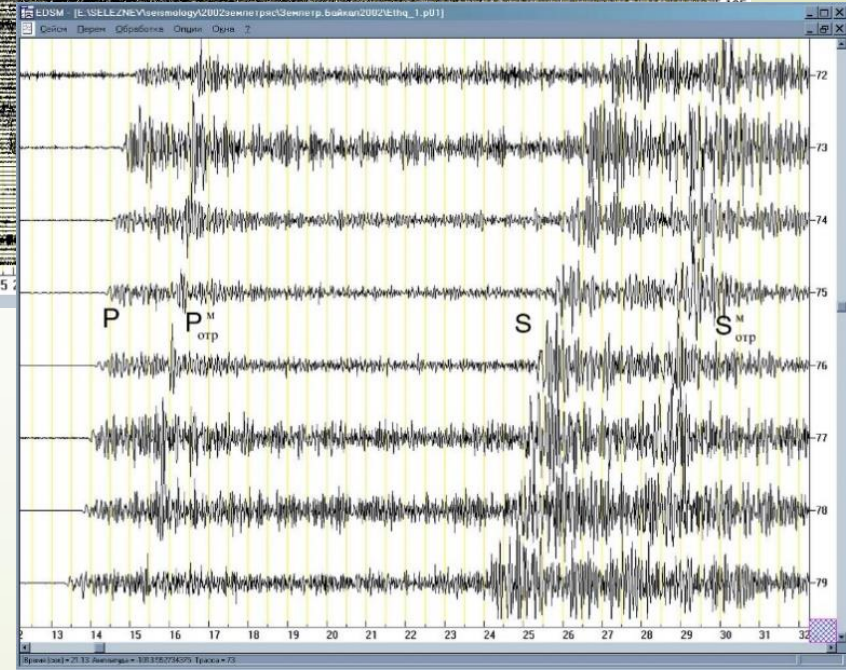
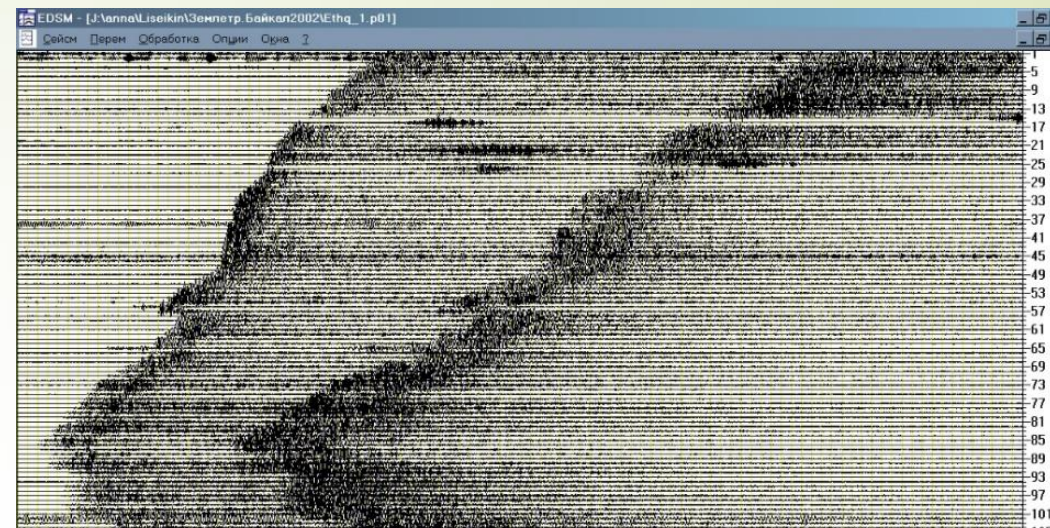
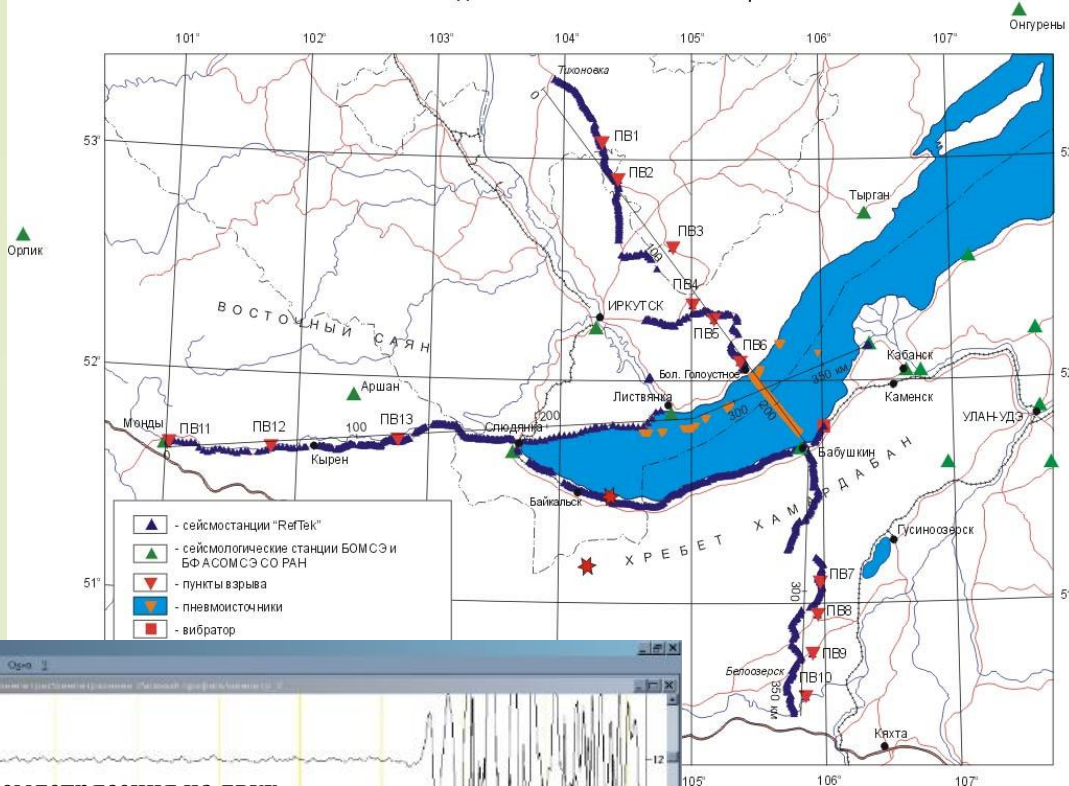
# **Новые сейсмологические технологии**

*Сейсмологическая технология это:*

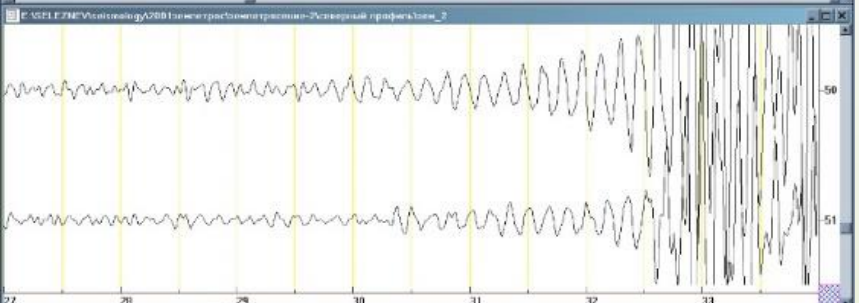
- 1. Метод исследований (какие волны мы собираемся использовать, в каких моделях и как решаем задачу)*
- 2. Аппаратура*
- 3. Алгоритмы и программы*
- 4. Техника проведения работ*
- 5. Полевые работы*
- 6. Способы интерпретации данных*
- 7. Патенты*
- 8. Гранты , договора*

# Глубинные сейсмические исследования на Байкале

Схема сейсмических наблюдений на Южно-Байкальском геофизическом полигоне



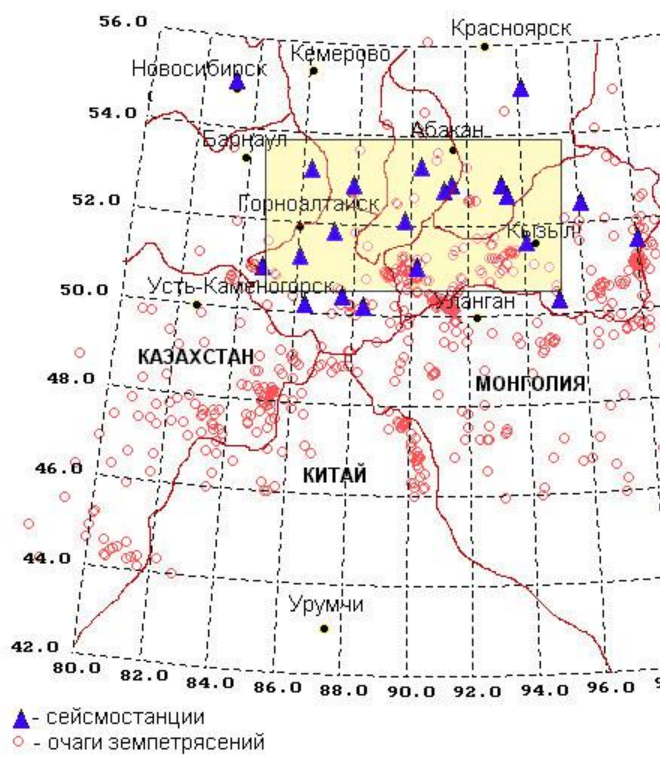
Запись землетрясения на двух ортогональных направлениях



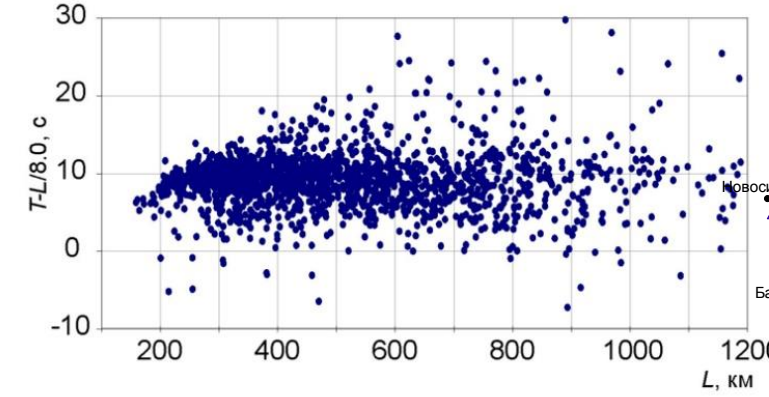
Детально изучить формирование волновых полей от землетрясений можно на системах наблюдений, используемых при проведении работ ГСЗ.

Продольные (P) и поперечные (S), отраженные и преломленные волны от границы Мохоровичича

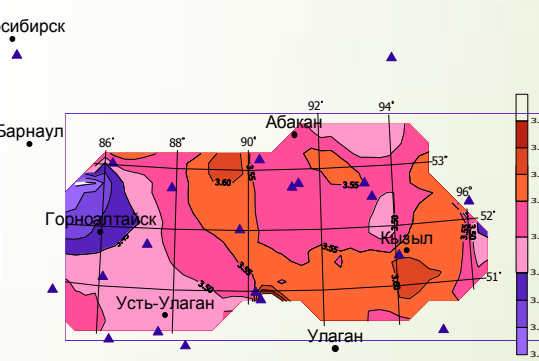
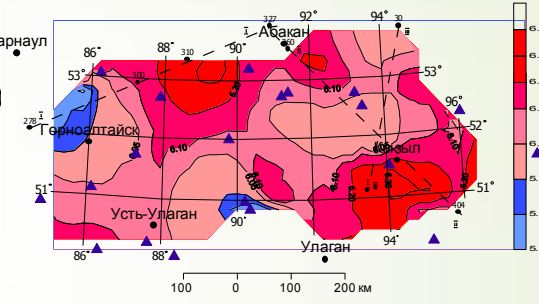
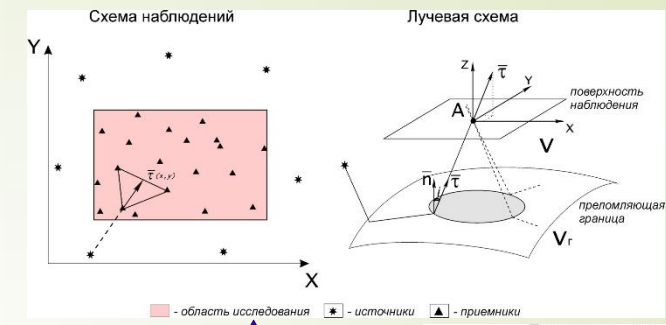
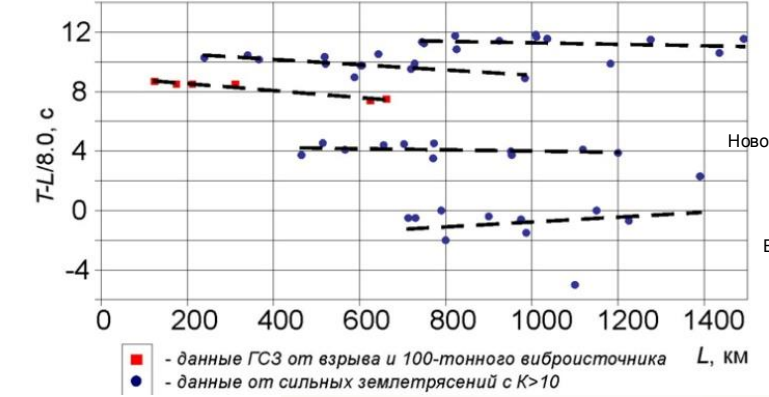
# Технология площадных сейсмологических исследований



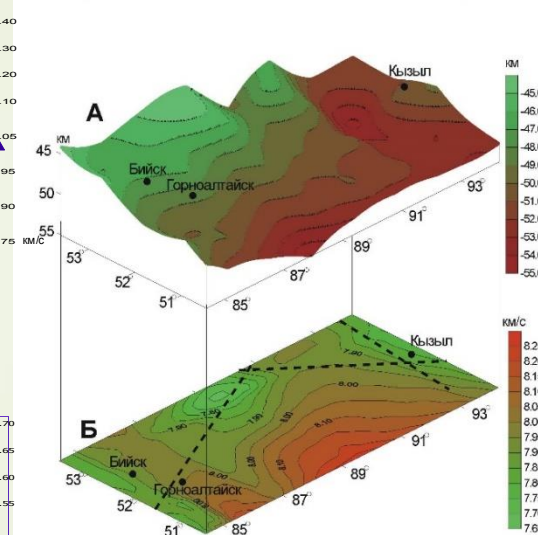
Сводный годограф Pn-волн от землетрясений, зарегистрированных на региональной сети станций Алтае-Саянской складчатой области



Годографы Pn-волн от отдельных источников



Распределение глубин (А) и скоростей (Б) по поверхности Мохоровичича в Алтае-Саянском регионе



Площадное распределение скоростей P и S в земной коре

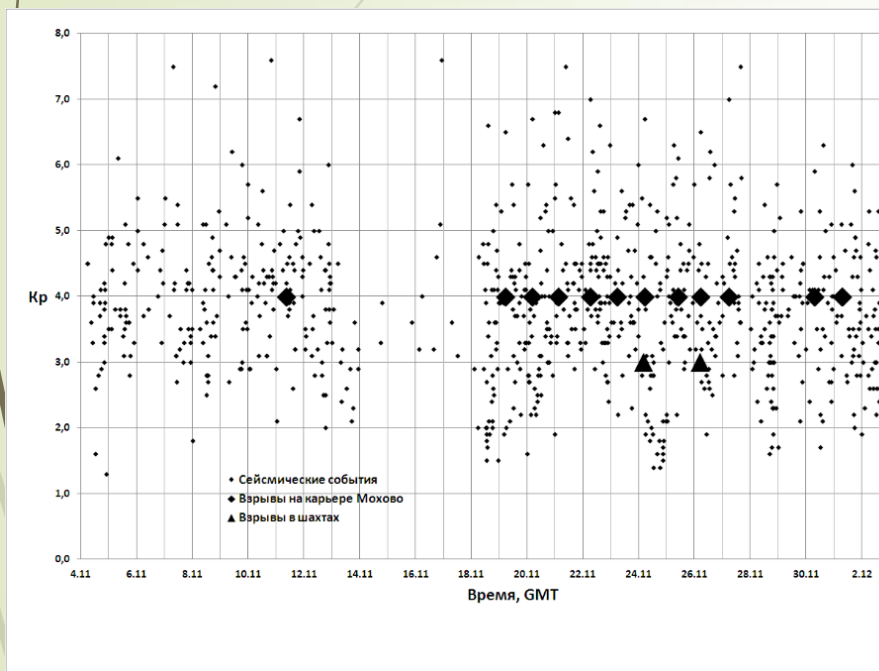
Схемы площадных наблюдений в Алтае-Саянском регионе

Разработана технология площадных сейсмологических исследований, позволяющая по данным землетрясений получать с высокой точностью распределение скоростей P- и S – волн в земной коре и верхней мантии.

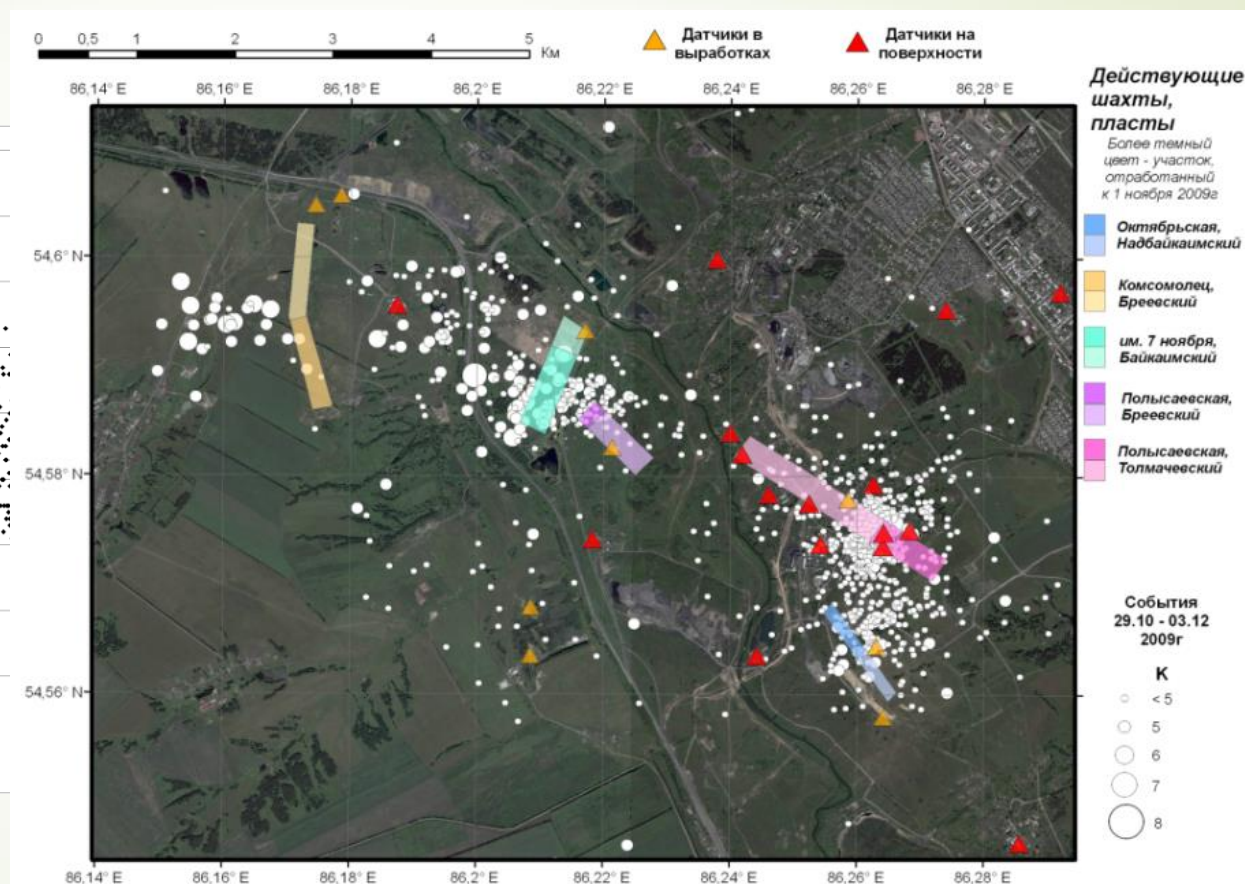
# Кемеровская область г. Полысаево

Регистрация сейсмических событий сетью из 22 временных станций за период 05.10.2009-03.05.2010 г.г.

## Развитие сейсмического процесса во времени (Полысаево, 2009)

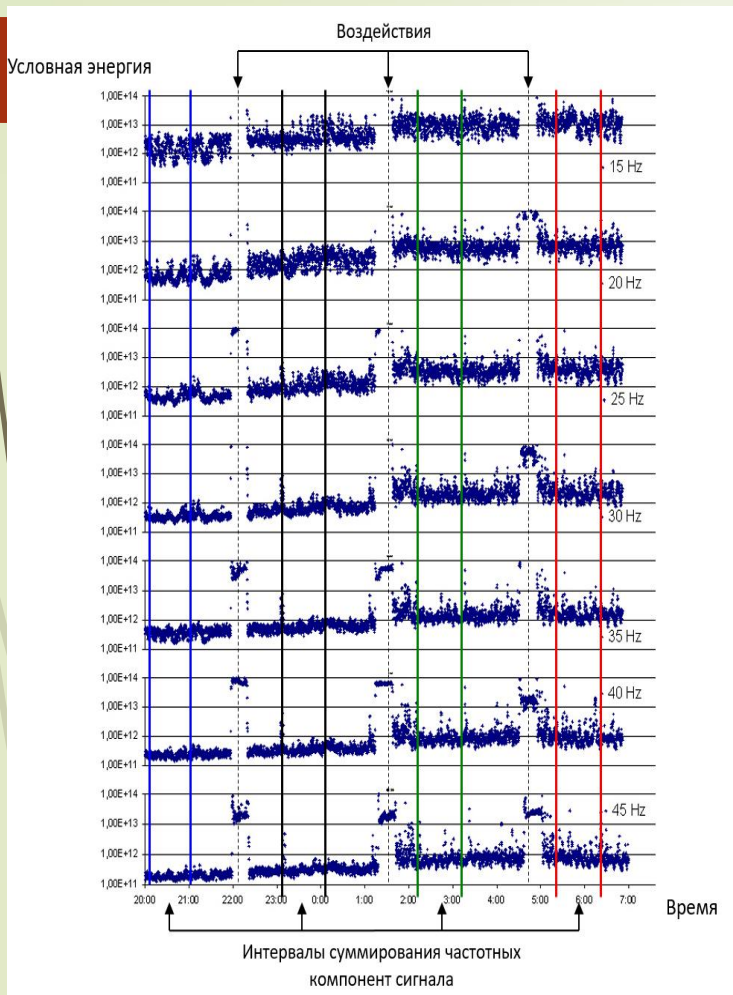


## Карта распределения эпицентров землетрясений

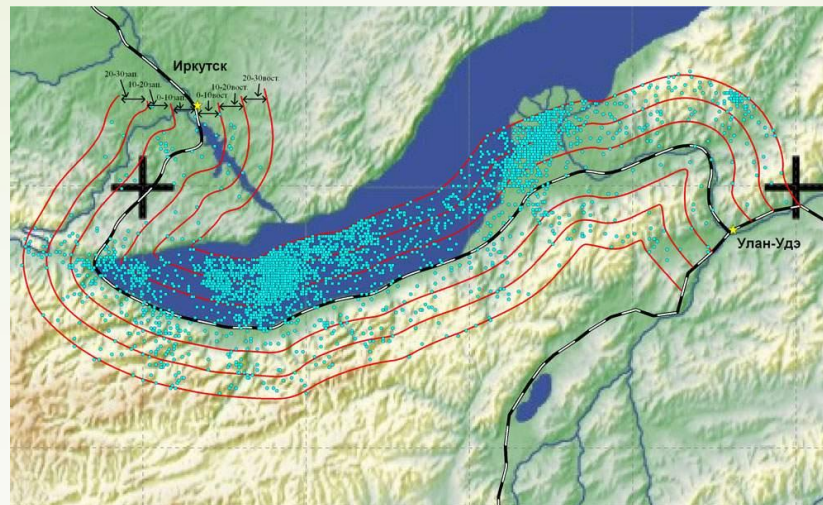


В 2009-2010 годах средняя плотность сейсмостанций в России составляла - одна на 50 000 км. В Полысаево на временных сетях - одна на 3.5 км<sup>2</sup>.

# Влияние техногенных факторов на сейсмичность



Изменение выделенной энергии по времени в различных полосах частот



Сейсмические события в период 1963 – 2004 гг. в зоне железной дороги

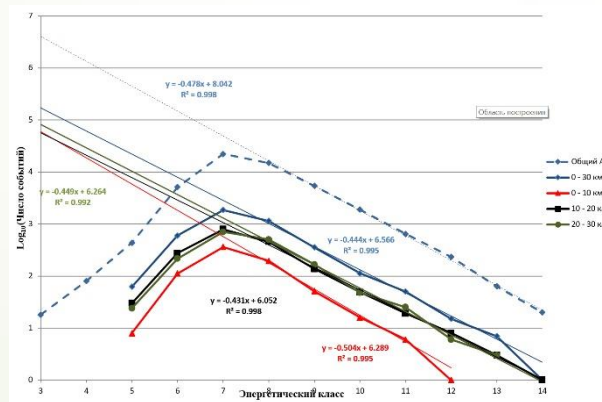
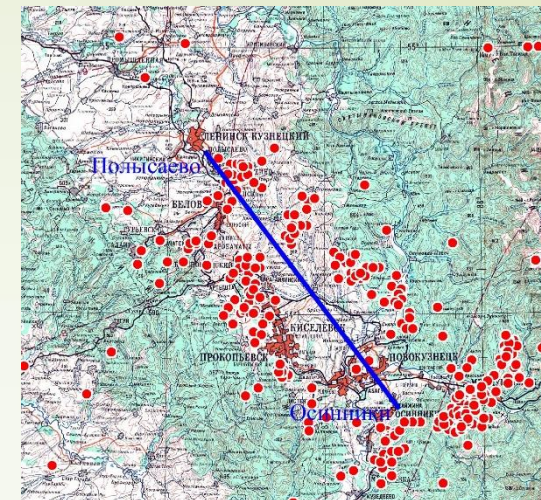


График повторяемости (о. Байкал)



Сейсмические события в период 1963 – 2004 гг. в районе Кузбасса

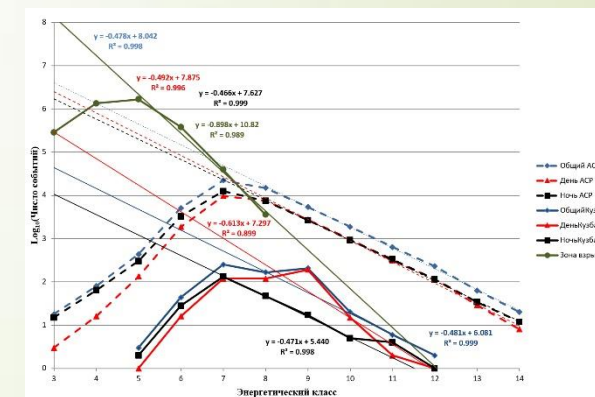


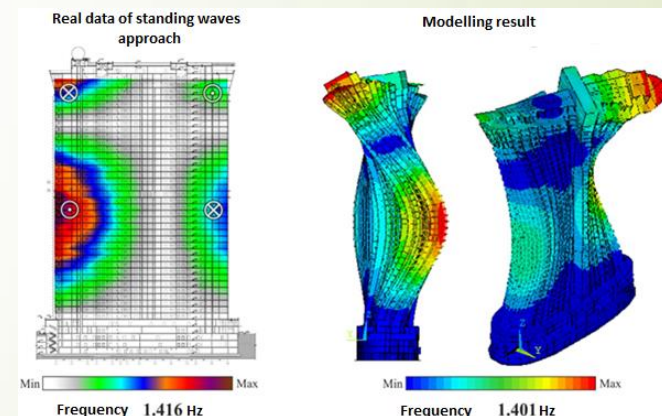
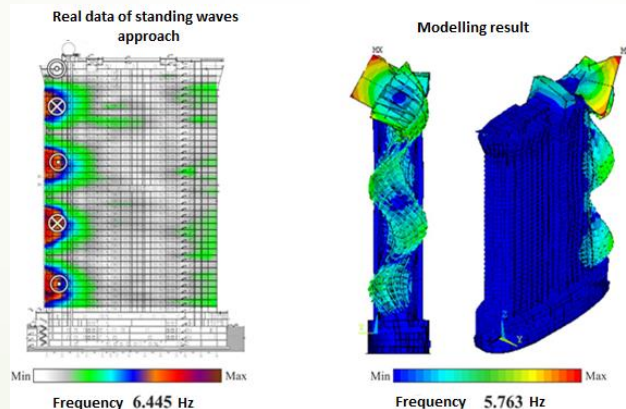
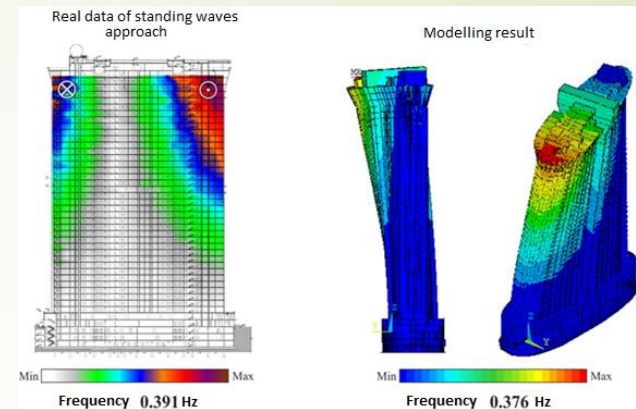
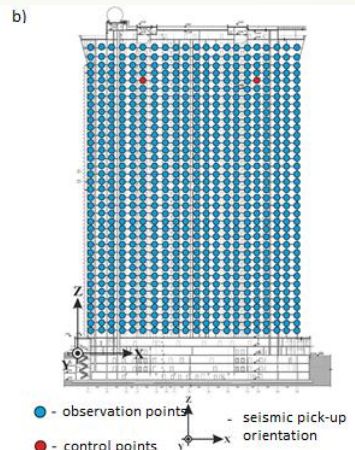
График повторяемости (Кузбасс)

Доказана возможность изменения характеристик протекания естественного сейсмического процесса путем воздействия на среду сильными вибрационными нагрузками.

# Технология определение физического состояния зданий и сооружений

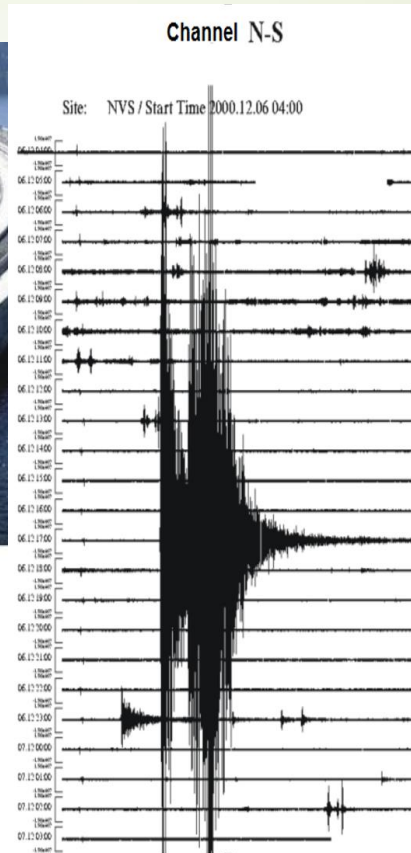
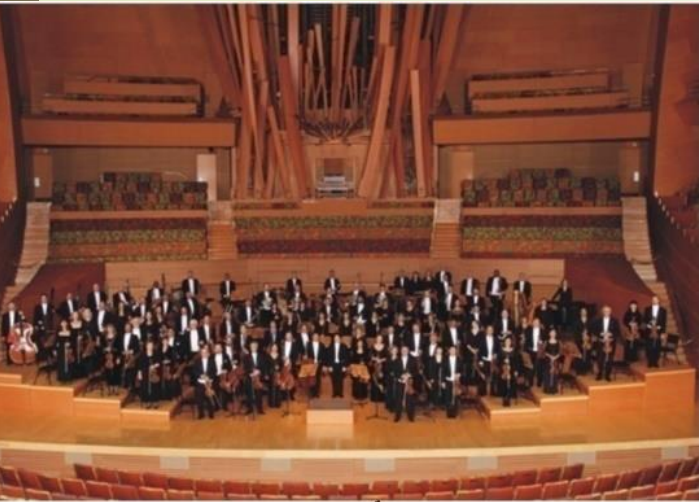


## Здание «Дирижабль» в Москве



Разработана технология определения собственных частот зданий и сооружений с целью определения их физического состояния. Обследованы все крупные сибирские гидростанции, сотни домов десятки мостов и других сооружений.

# Принципиальная возможность контроля работающего оборудования



Текущий спектр – двумерная функция, зависящая от времени и частоты, которая является модулем преобразования Фурье от сигнала, длительностью  $T$ , вычисленного в каждый момент времени  $t$ :

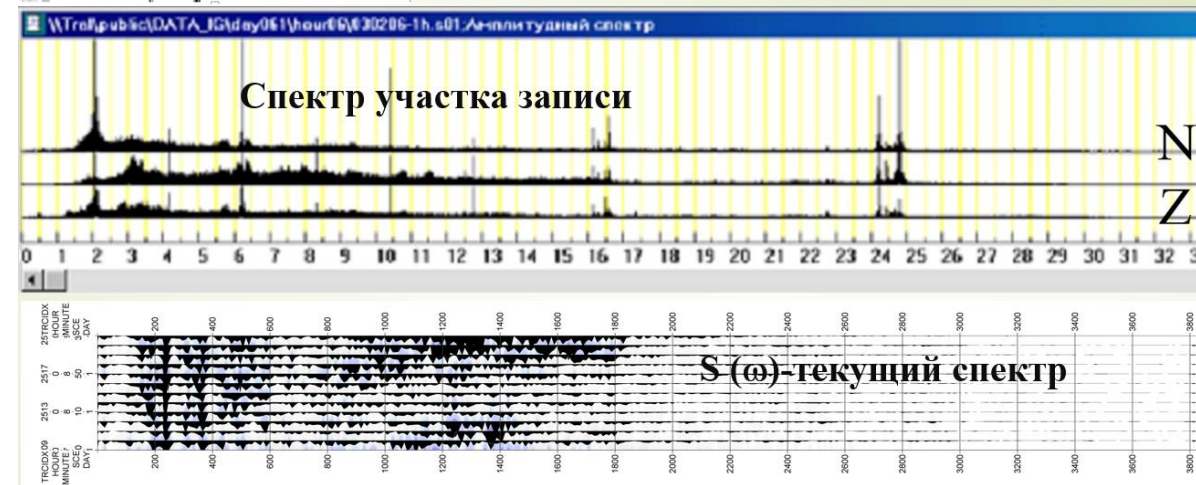
$$A(\omega, t) = \left| \int_{t-T/2}^{t+T/2} f(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \right|$$

Где  $f(t)$  – зарегистрированный сейсмический сигнал  $\omega$  – частота.

100 длин волн  
33 м  
1000 Hz



100 длин волн  
4 км  
100 Hz

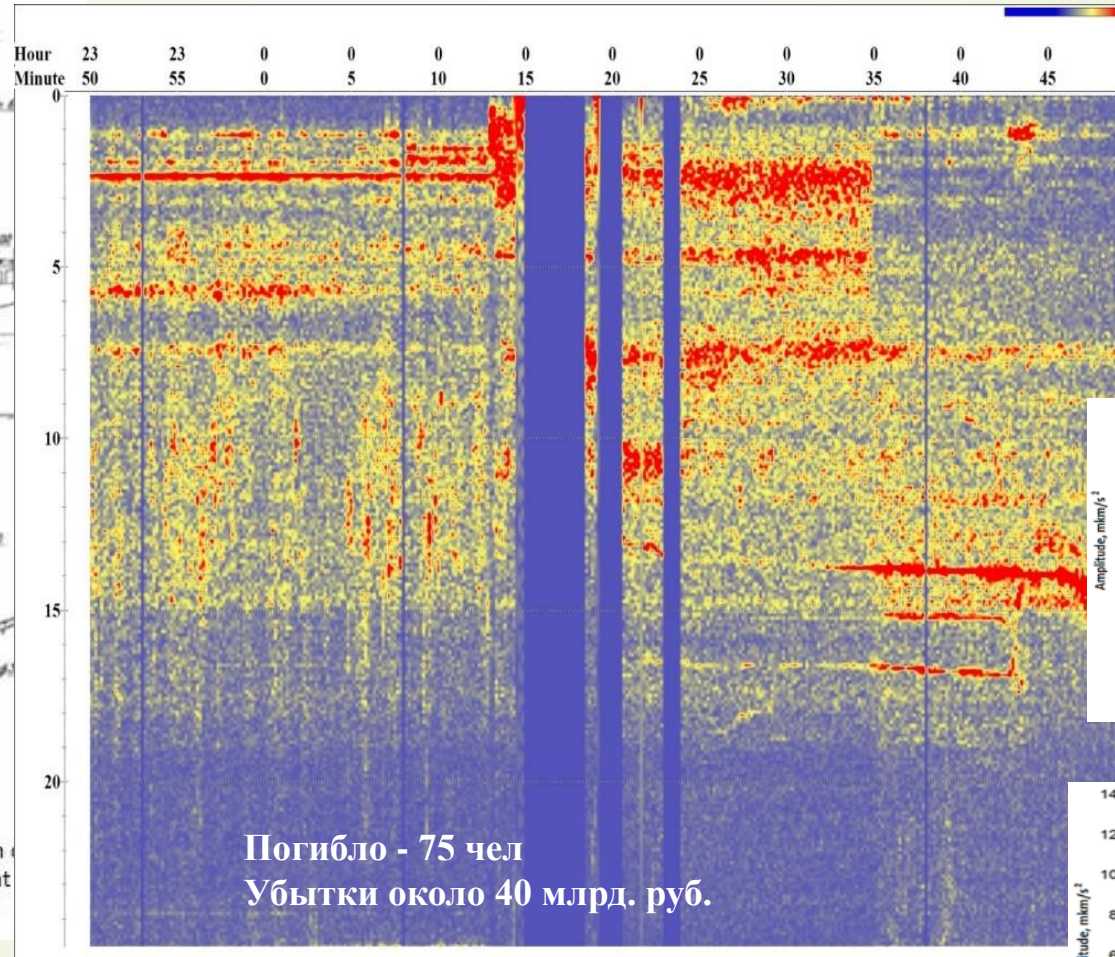
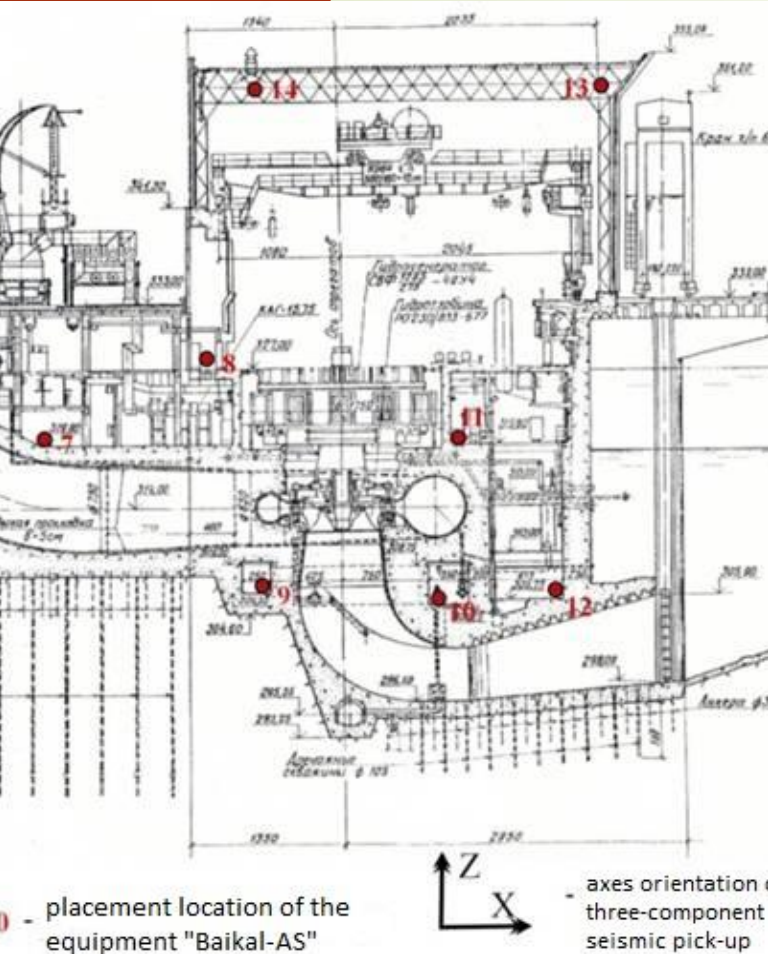




# Мониторинг оборудования СШ ГЭС

Схема расстановки сейсмостанций  
в теле плотины СШ ГЭС

Спектрограмма записи, полученной на станции  
«Черемушки» во время аварии



Причиной аварии на СШ ГЭС  
явились повышенные  
вибрации крышки турбины,  
связанные с нелинейным  
взаимодействием турбины  
гидроагрегата старой  
конструкции с водой.



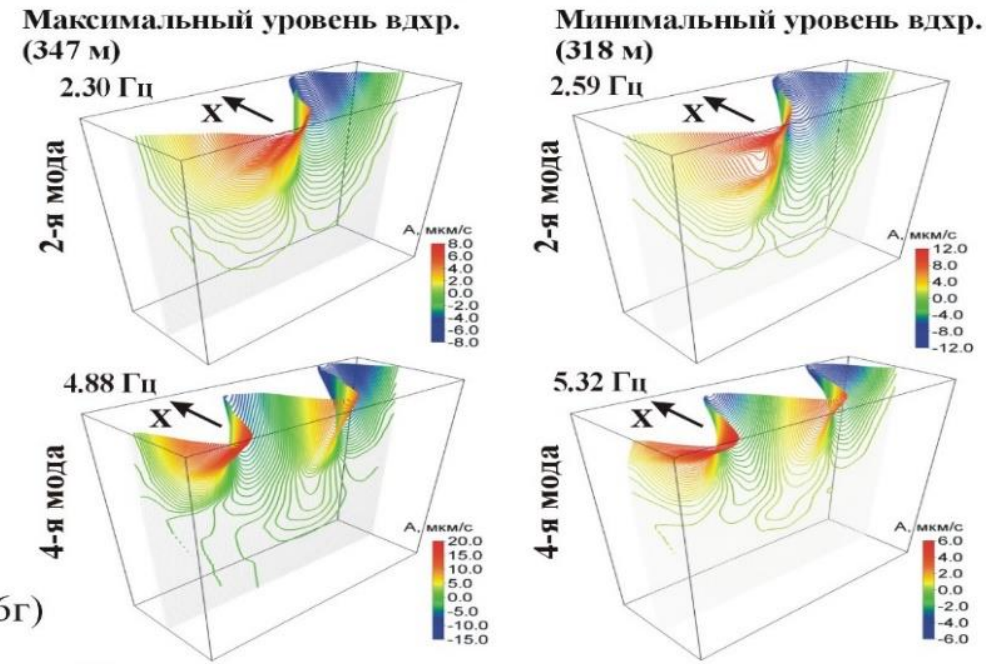
Через 5 лет проведения работ на СШ ГЭС и выполнении 15 договоров мы научились расшифровывать картины текущих спектров и проводить мониторинг работающего оборудования.

# Изучение изменений собственных колебаний плотины Чиркейской ГЭС

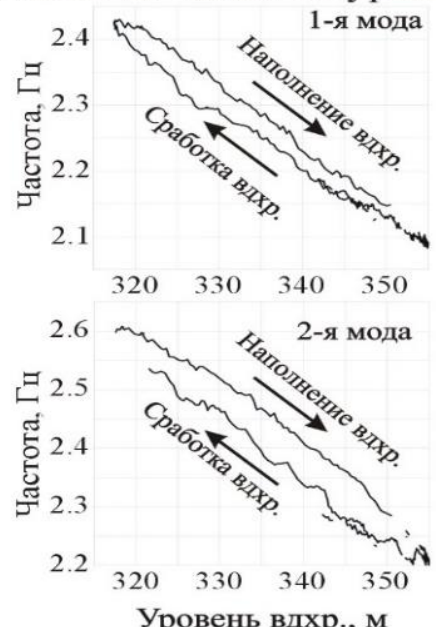
Плотина Чиркейской ГЭС



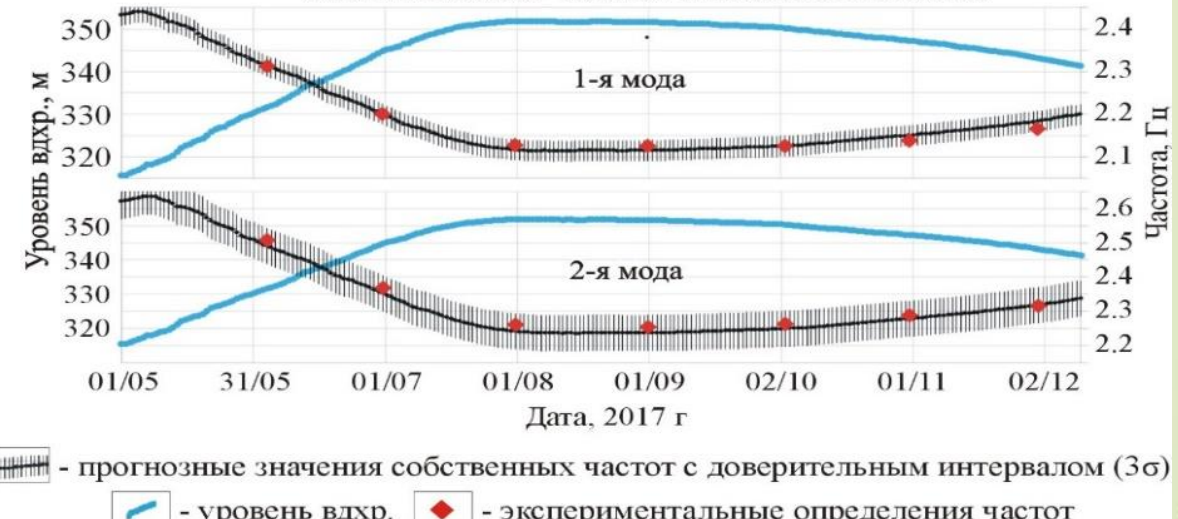
Стоячие волны в плотине



Значения частот от уровня вдхр. (2016г)



Прогнозные и экспериментальные значения собственных частот плотины в 2017г.



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ  
№ 2163009

Российским агентством по патентам и товарным знакам на основании Патентного закона Российской Федерации, введенного в действие 14 октября 1992 года, выдан настоящий патент на изобретение

**СПОСОБ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ФИЗИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

Патентообладатель(и):

*см. на обороте*

по заявке № 99100017, дата поступления: 06.01.1999

Приоритет от 06.01.1999

Автор(ы) изобретения:

*см. на обороте*

Патент действует на всей территории Российской Федерации в течение 20 лет с 6 января 1999 при условии своевременной уплаты пошлины поддержания патента в силе

Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Российской Федерации

г. Москва, 10 февраля 2001 г.

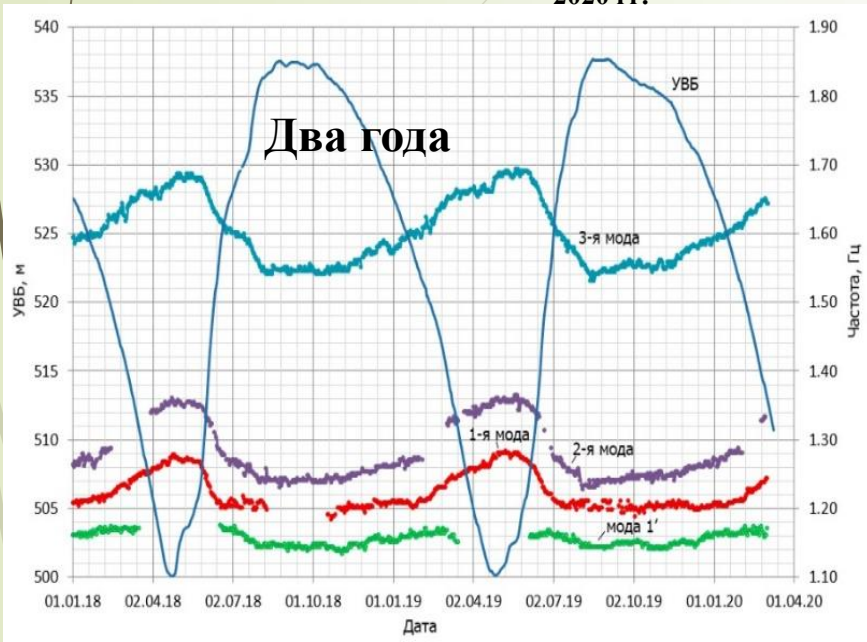
*Генеральный директор*

*А.И. Корчагин*

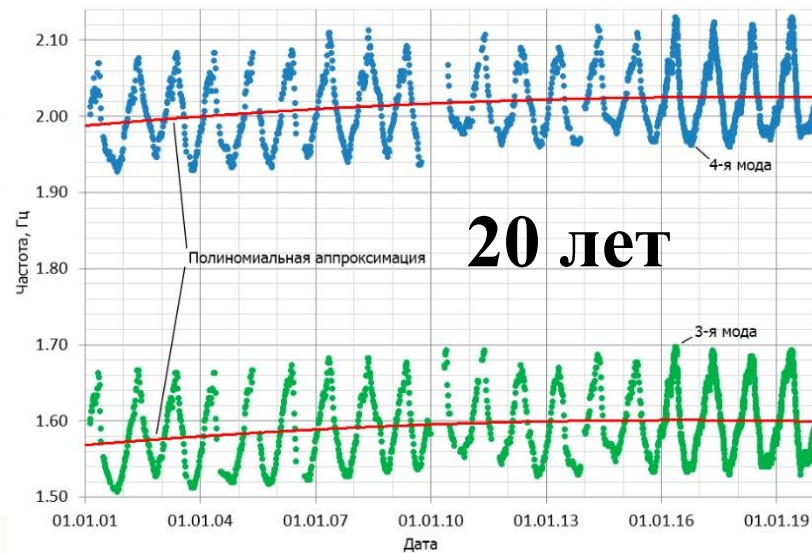


# Выявление аномальных изменений собственных частот, связанных с возникновением дефектов конструкций зданий и сооружений или их оснований

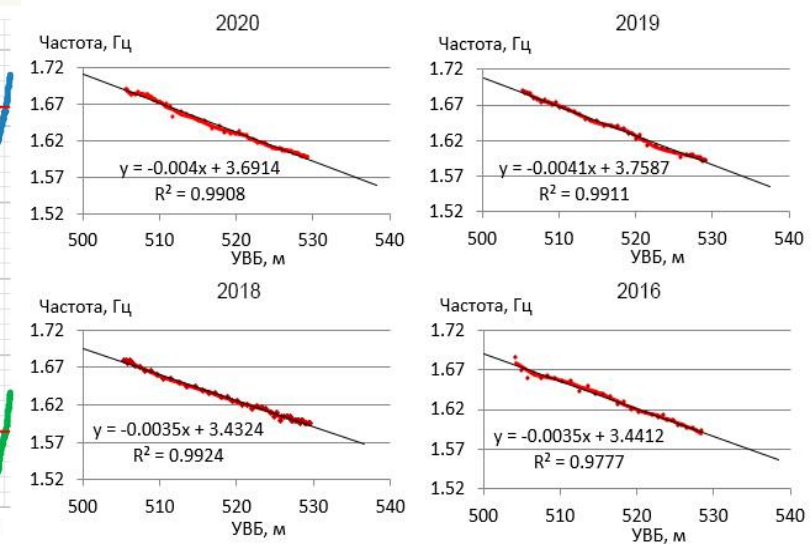
Изменение уровня Саяно-Шушенского водохранилища (УВБ) и значений частот первых трех мод собственных колебаний плотины в 2018-2020 гг.



Изменения частот собственных колебаний плотины 3-й и 4-й мод за весь период наблюдений и их полиномиальная аппроксимация 2-й степени



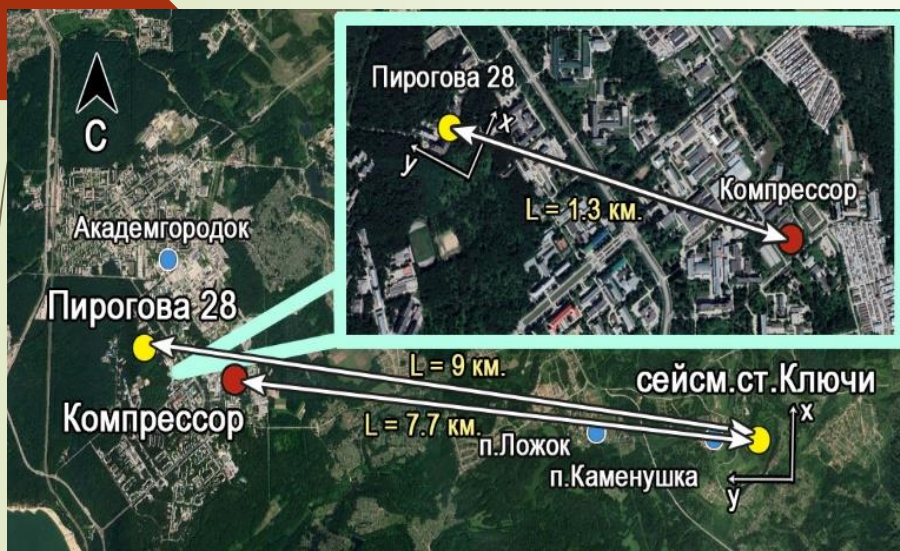
Линейная аппроксимация кривой зависимости 3-й моды от УВБ со сдвигом 3 суток в диапазоне УВБ 506 – 530 м за 2020, 2019, 2018 и 2016 годы в летние месяцы



Разработана технология, позволяющая по записям сейсмостанции «Черемушки» вести мониторинг физического состояния СШ ГЭС, ежедневно определяя собственные частоты плотины. Обнаружены долговременные (с 2001 по 2020 гг.) интегральные увеличения значений частот до 0.03-0.05 Гц, связанные не с возникновением дефектов, а с процессами упрочнения материалов плотины и/или основания.

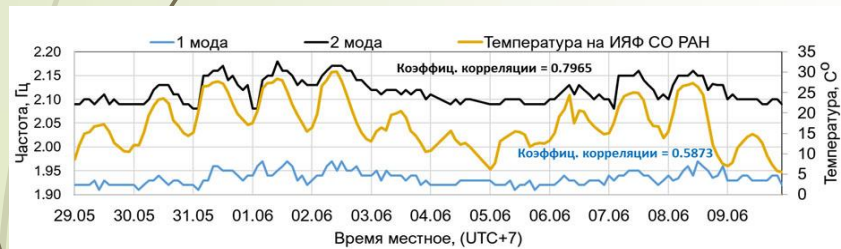
# Влияние промышленных установок на состояние жилых зданий

Схема расположения объектов наблюдений

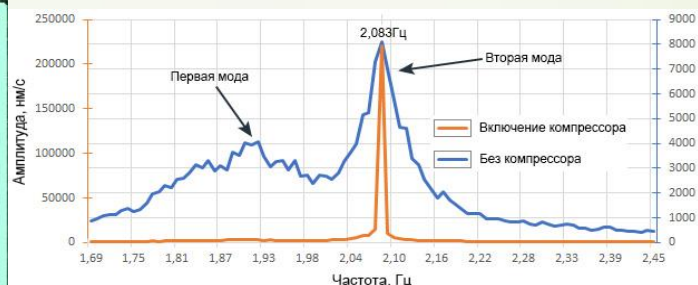


Изменение температуры и значений 1 и 2 мод собственных частот X-компонент колебаний.

Записи получены в верхней части жилого 10-ти этажного дома по адресу ул. Пирогова д. 28 в летний период с 29.05.2021 г. по 09.06.2021 г.

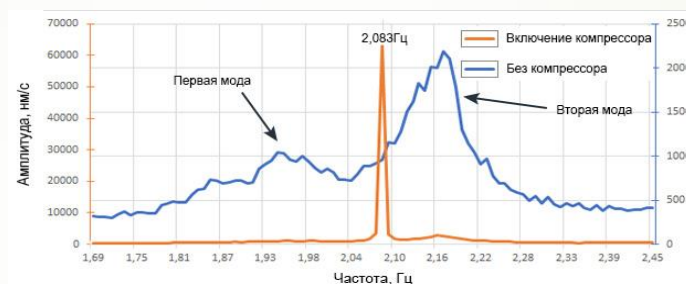


Предложен способ оценки реакции зданий и инженерных сооружений на сейсмические воздействия. Рассмотрен эффект совпадения и несовпадения частоты источника колебаний с одной из собственных частот здания. Последние меняются при вариациях температуры окружающей среды. На примере реакции жилого десятиэтажного дома на сейсмическое воздействие от мощного компрессора, работающего с частотой 2.083 Гц и расположенного на удалении в 1.3 км, показано, что резонансное усиление колебаний здания увеличивается более чем в 2 раза при совпадении собственной частоты 2-й моды с частотой источника по сравнению с ситуацией, когда частоты отличаются. Подобные явления необходимо учитывать для более корректной оценки сейсмостойкости зданий и сооружений.



оранжевый

синий

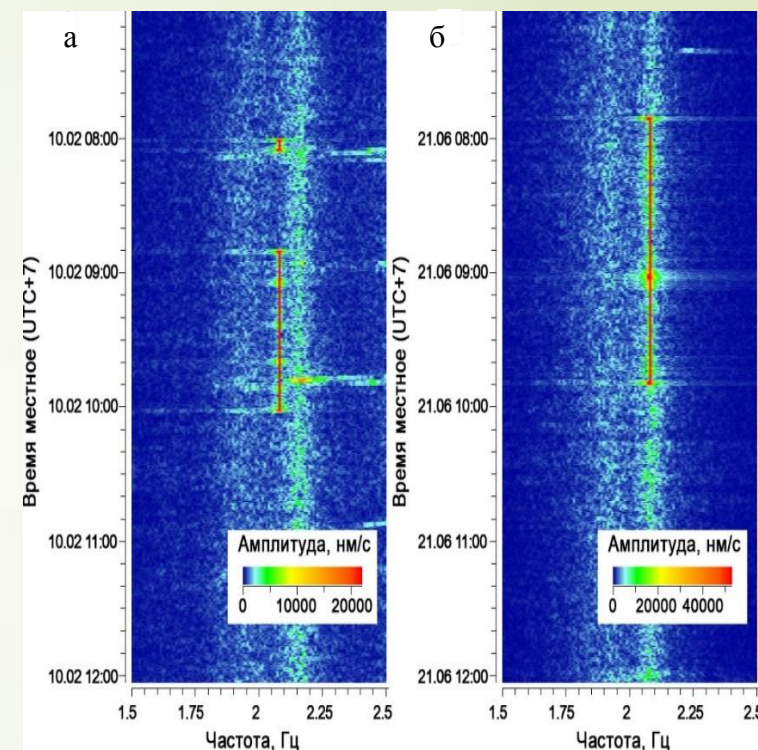


Графики изменения амплитуд собственных частот здания, при включении компрессора (оранжевый) и после выключения (синий)

(а) - излучаемая компрессором частота совпадает с собственной частотой здания, Y-компл.;  
(б) - частота не совпадает с собственной частотой здания, Y-комплента

Спектрограммы сигналов записей, полученных в здании по ул. Пирогова д. 28

(а) – излучаемая компрессором частота не совпадает с собственной частотой дома; (б) - частота совпадает



# Сейсмоэкология

изучает отношения между организмами (людьми, животными и растениями) и средой их обитания при сейсмических воздействиях

Текущий спектр записи, полученной в моем кабинете

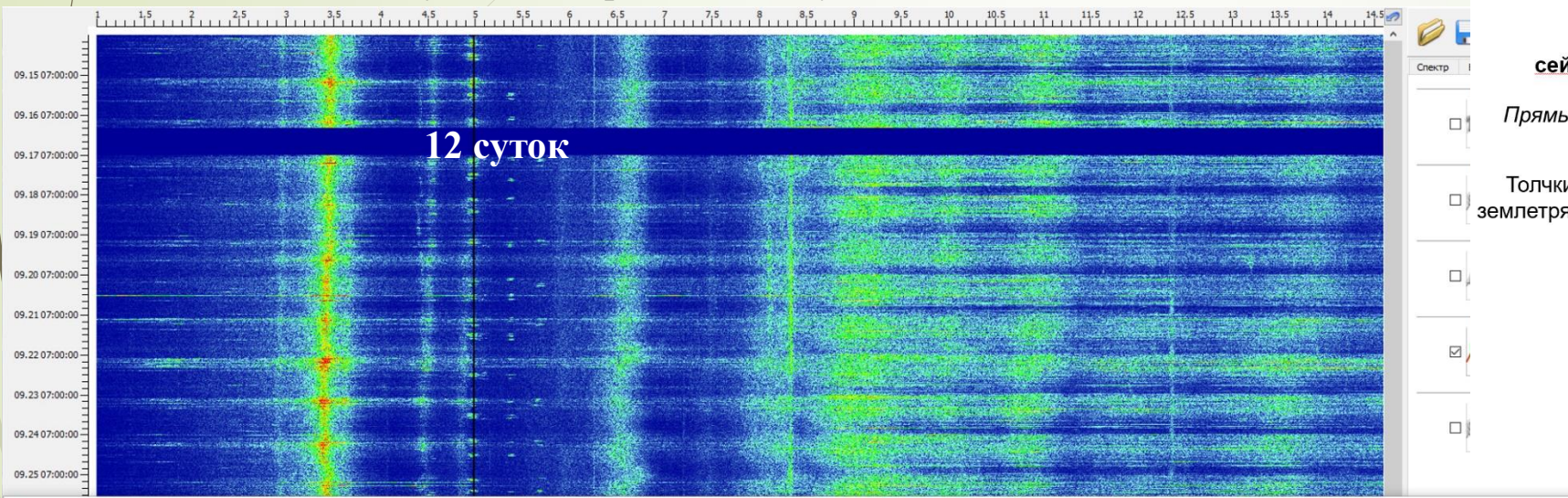
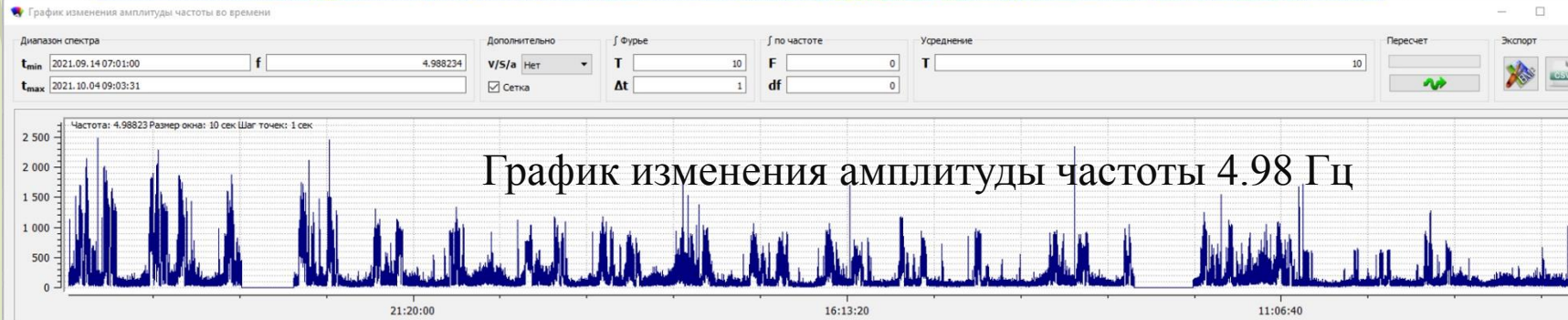


График изменения амплитуды частоты 4.98 Гц



## Сейсмические воздействия на человека

### Естественные сейсмические колебания

- Прямые: Толчки от землетрясений
- Косвенные: Разрушение зданий и сооружений. Оползни, лавины, камнепады.

### Техногенные сейсмические колебания

- Прямые: Толчки от взрывов. Длительные сейсмические воздействия.
- Косвенные: Разрушение зданий и сооружений. Оползни, лавины, камнепады.



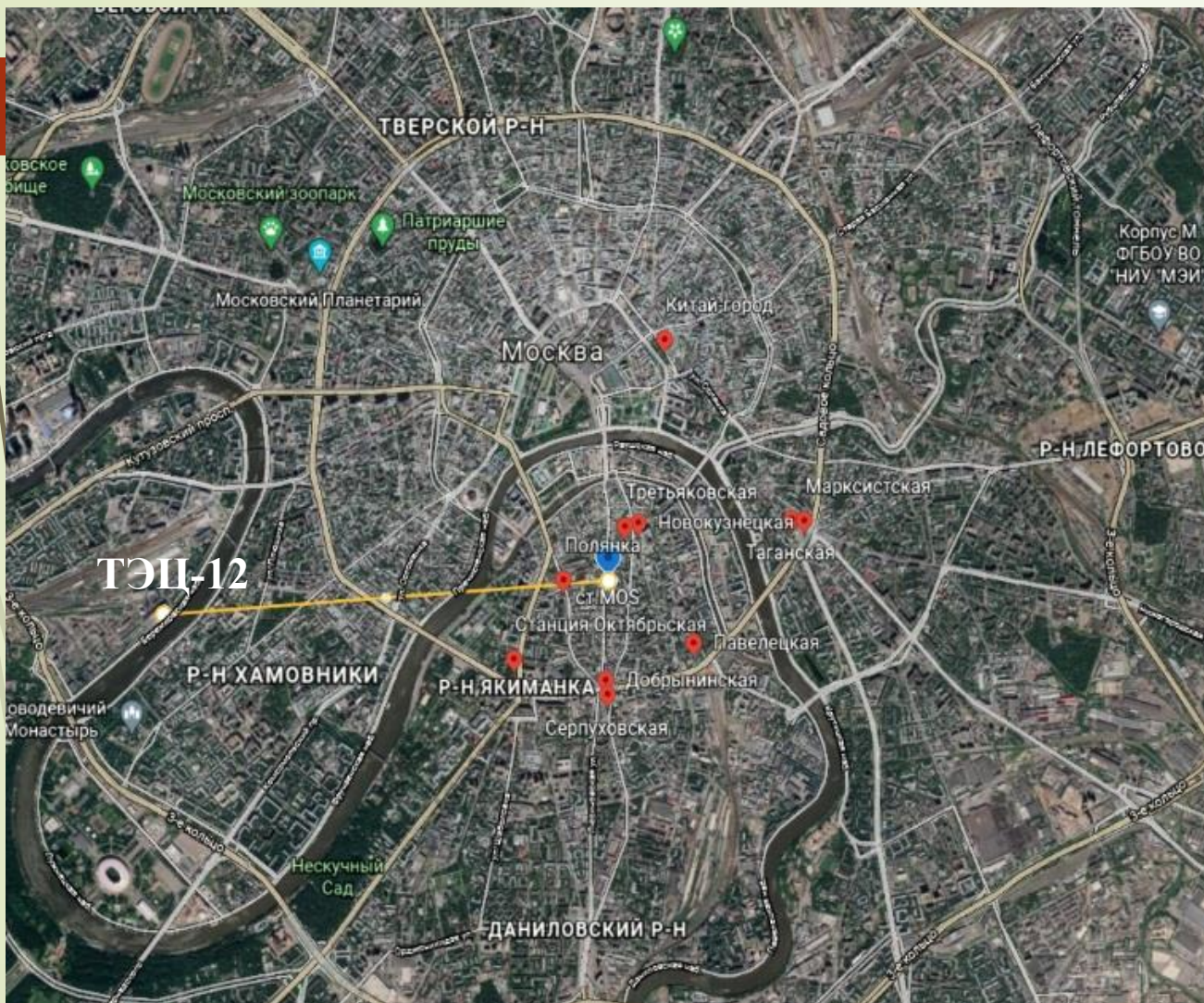
### Резонансные частоты внутренних органов человека: Гц

Орган	Частота (Гц)
• Голова	20–30
• Глаза	40–100
• Вестибулярный аппарат	0.5–13
• Сердце	4–6
• Желудок	2–3
• Кишечник	2–4
• Брюшная полость	4–8
• Почки	6–8
• Руки	2–5
• Позвоночник	6

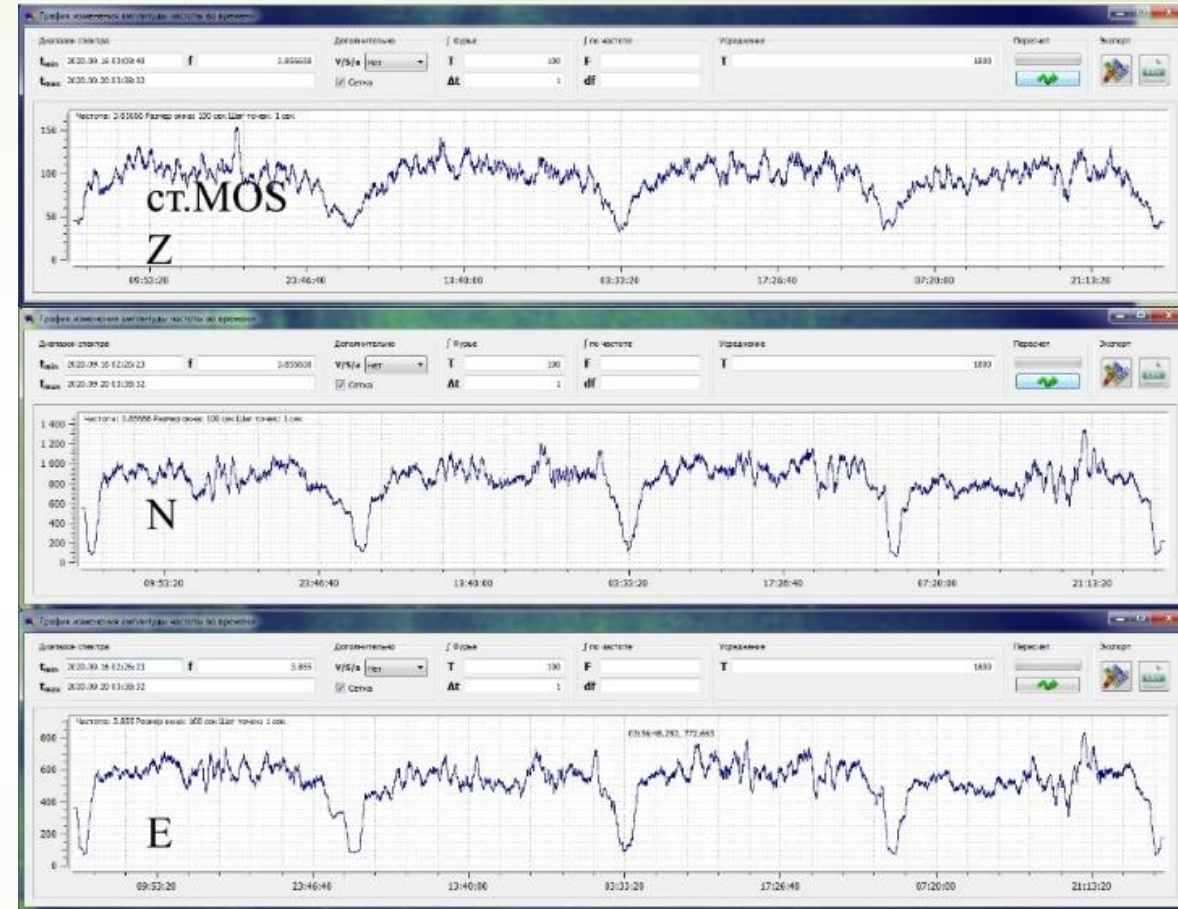
При совпадении частот внутренних органов и инфразвука, соответствующие органы начинают вибрировать, что может сопровождаться сильнейшими болевыми ощущениями.

Тело человека имеет несколько резонансных частот. Длительные, даже небольшие по амплитуде колебания, совпадающие по частоте с этими резонансными частотами, могут оказывать вредное воздействие на человека.

# Сейсмостанция «Москва»



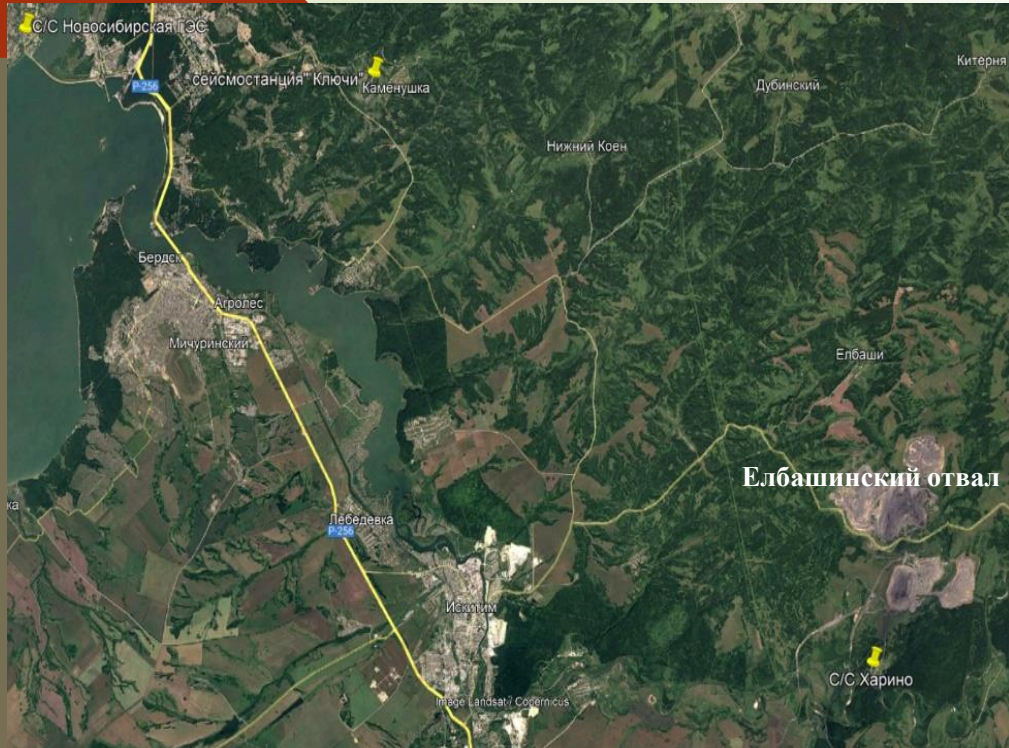
Графики изменения амплитуд частоты 3.85 Гц (частота вращения турбин электростанции ТЭЦ-12) во времени на трех компонентах



Данные, полученные станцией «Москва» за 15 лет, содержат в себе информацию о работе многих установок, работающих на расстояниях до 10 км, изменениях собственных частот мостов, зданий и сооружений и о многом другом.

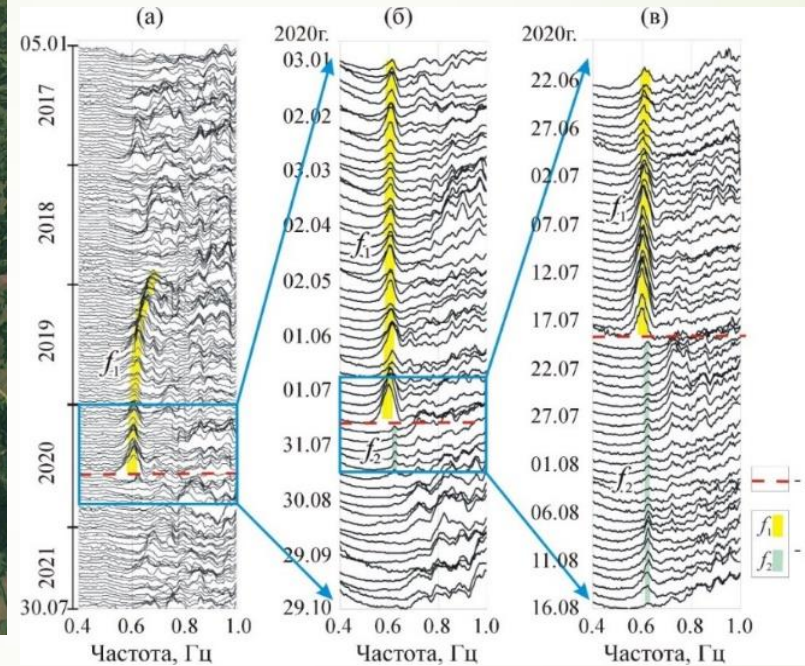
# Мониторинг угольных отвалов

## Спутниковые снимки Елбашинского отвала

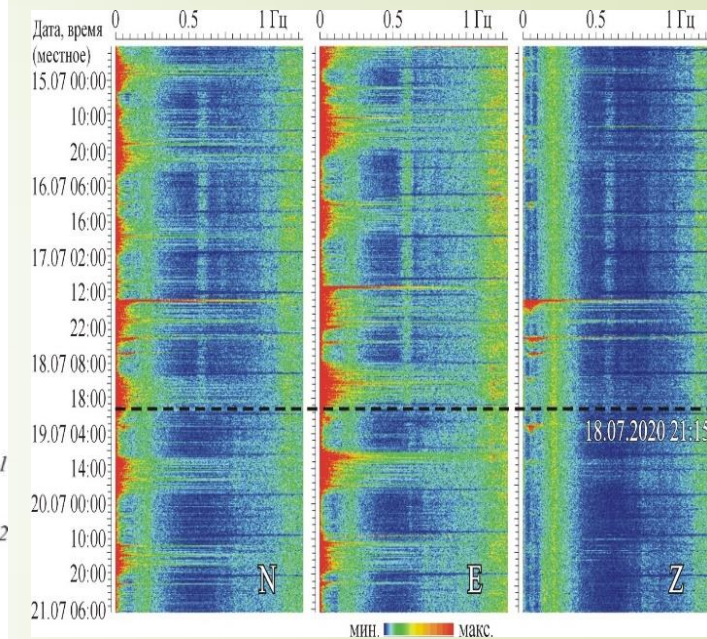


## Эволюция колебаний отвала по данным Е-компоненты сейсмостанции «Харино»

(а, б, в) – ряды усредненных амплитудных спектров десяти, пяти и односуточных записей, соответственно  
1 – отметка времени оползня (18.07.2020 21:15); 2 – выделенные колебания отвала



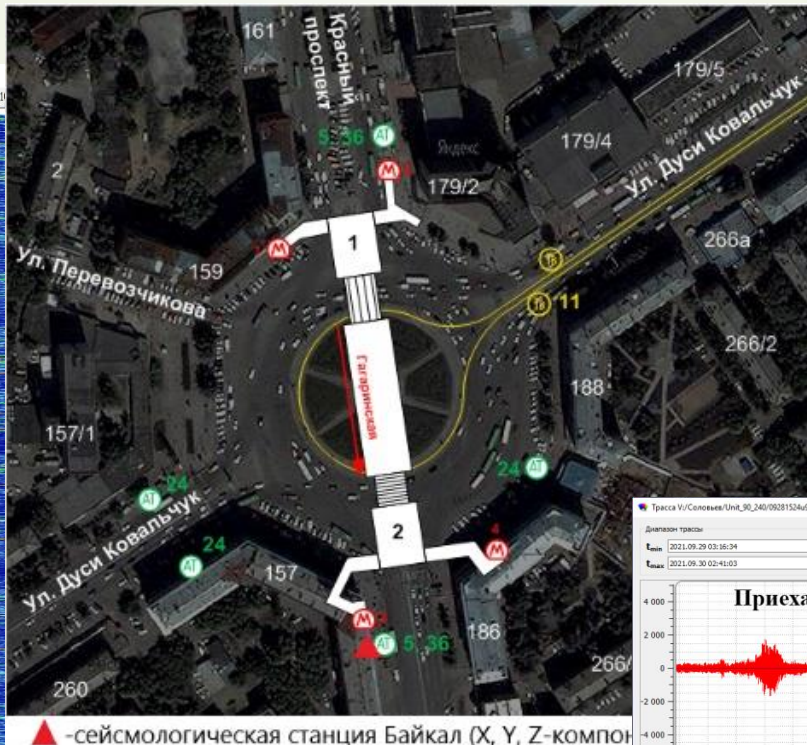
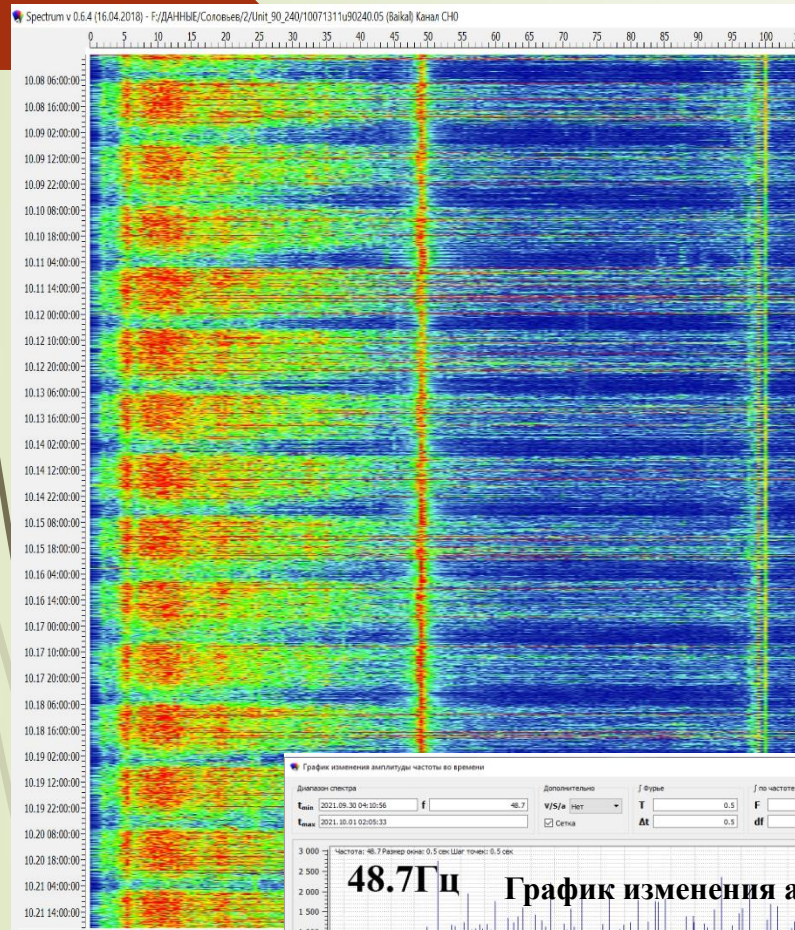
## Спектрограмма сейсмических данных станции «Харино»



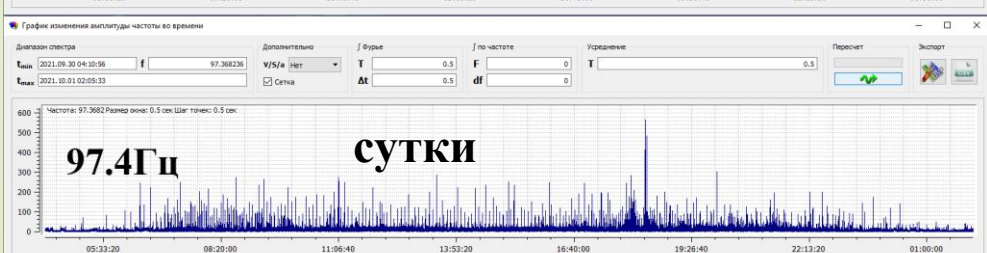
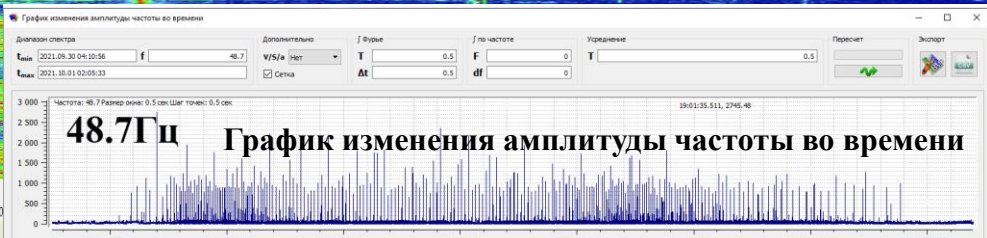
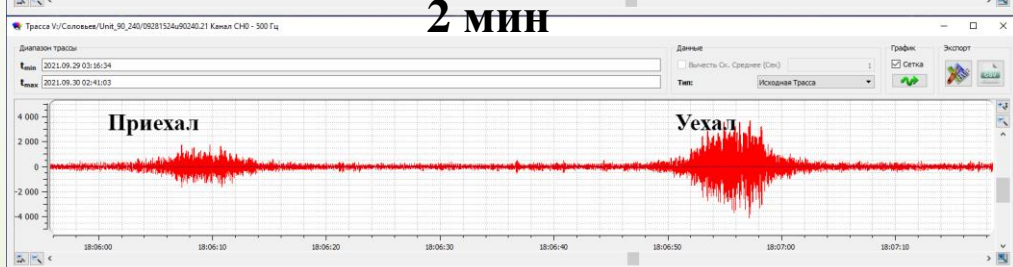
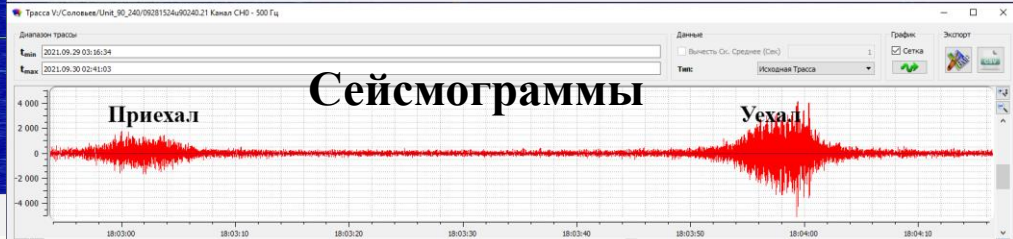
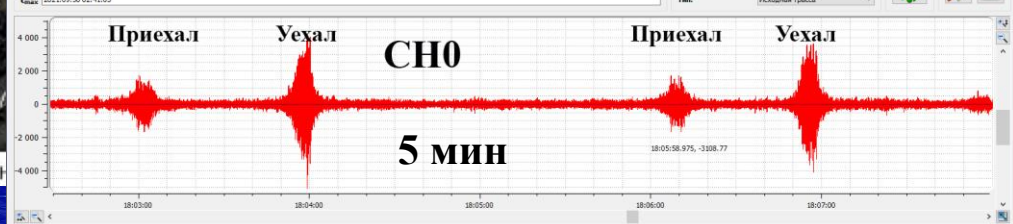
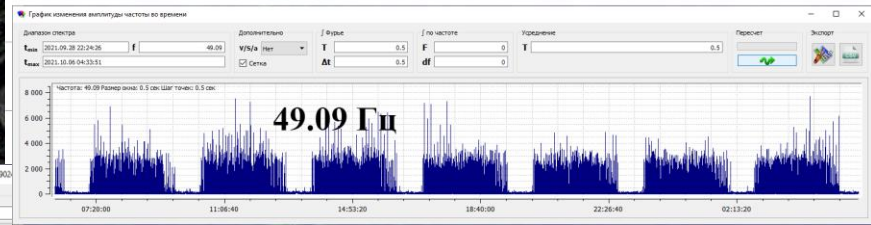
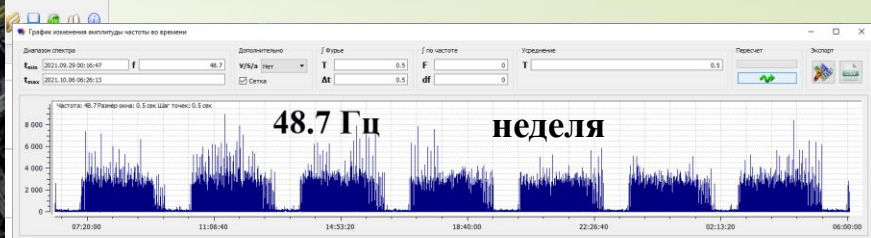
Детальный анализ сейсмологических записей со станций вблизи Колыванского месторождения антрацита за период с 2017 г. по настоящее время, позволил доказать предположение о причине возникновения и развития оползня на Елбашинском отвале вследствие формирования значительных горизонтальных колебаний в теле отвала, которые при сильном обводнении последнего спровоцировали сход оползня. Результаты исследований позволяют теперь ставить целенаправленные работы по регистрации сейсмических шумов на подобных объектах с целью контроля над опасными процессами, связанными с обводненностью отвалов горных пород.

# Контроль работы Новосибирского метро

## Двухнедельный текущий спектр



## График изменения амплитуды частоты во времени



Частота: 219.769 Гц. Время: 10.15 16:59:15.150 Амплитуда: 0.57710





Спасибо за внимание