

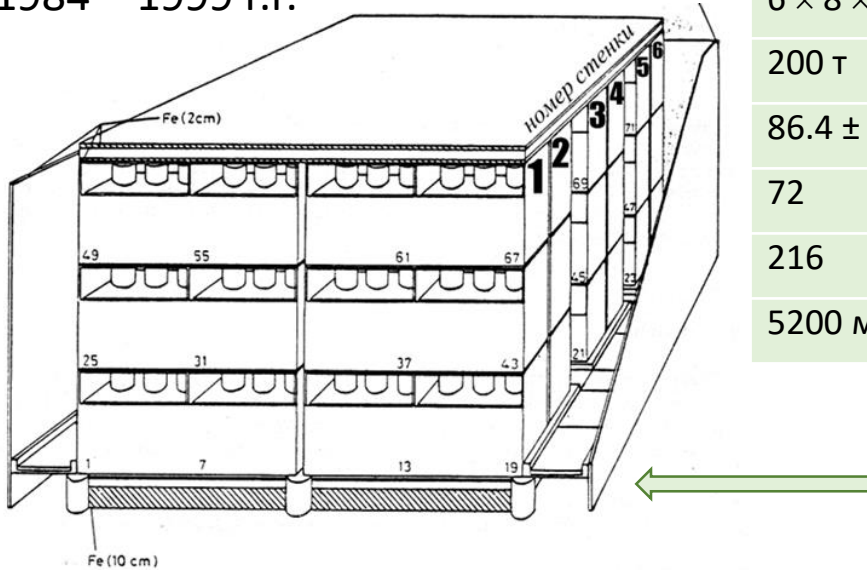
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ И СЕЙСМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СКОРОСТЬ СЧЕТА ФОНОВЫХ ГАММА-КВАНТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ LSD И LVD.

Е.А. Добрынина (ИЯИ РАН), Н.Ю. Агафонова, В.Ф. Якушев, Коллаборация LSD и LVD

В работе представлен сравнительный анализ данных по низкому порогу установок LSD (работала с 1984 г. по 1999 г.) и LVD (идет набор данных с 1992 г. по настоящее время). Эти детекторы одинаковые по структуре и имеют одинаковые счетчики. Они находятся в ~700 км друг от друга, в разных регионах Италии с разной сейсмической активностью, под разными горными массивами, а также отличаются системой вентилирования помещений. Приведены данные с обеих установок за 1997 год. Показано, что система вентиляции влияет на вариации концентрации радона в подземных помещениях. Сейсмическая активность в регионе также приводит к резкому нарастанию концентрации радона.

ПОДЗЕМНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ LSD И LVD

Liquid Scintillation Detector (LSD) 1984 – 1999 г.г.

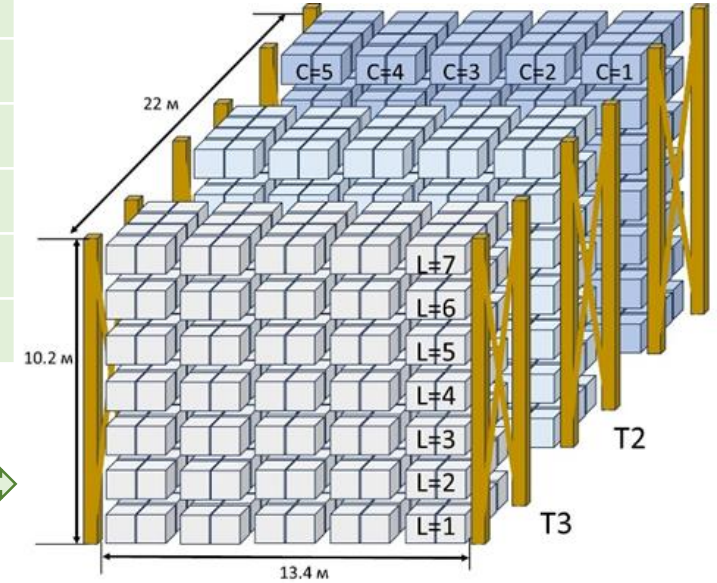


$6 \times 8 \times 5 \text{ м}^3$	Длина×Ширина×Высота	$22.7 \times 13.2 \times 10 \text{ м}^3$
200 т	Масса железа	1020 т
$86.4 \pm 0.5 \text{ т}$	Масса сцинтиллятора	1008 т
72	Число сцинт. счетчиков	840 (280 в 1997г.)
216	Число ФЭУ	2520
5200 м.в.э.	Средняя глубина	3620 м.в.э.

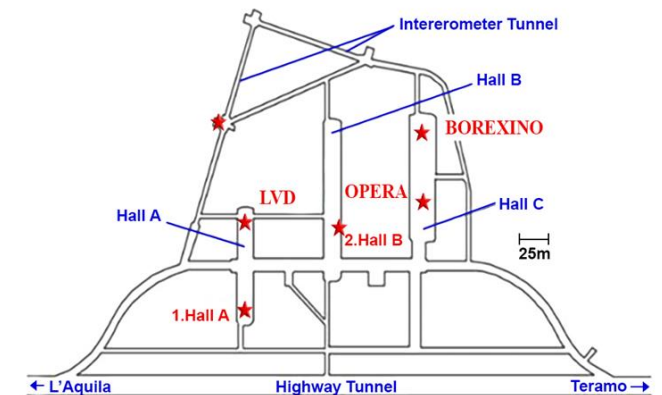
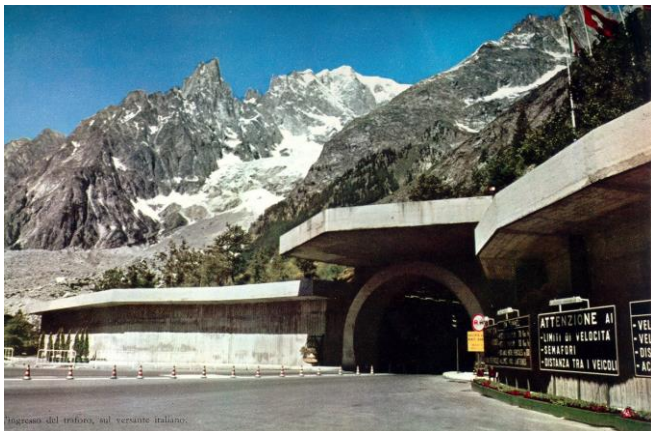


Счётчик из нержавеющей стали толщиной 4 мм размером $100 \times 100 \times 150 \text{ см}^3$ заполнен сцинтиллятором на основе уайт-спирита.

Large Volume Detector (LVD) с 1992 г. по настоящее время



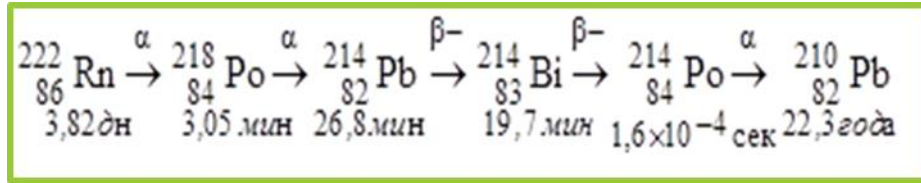
Расположен в Национальной Лаборатории Гран Сассо Института ядерной физики Италии (LNGS INFN).



ФОН В ПОДЗЕМНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Источники фона в подземных экспериментах:

1. Радиоактивность окружающих горных пород.
2. Присутствие радиоактивных примесей в материале детекторов и их защиты.
3. Мюоны космических лучей и их вторичные частицы.
4. Содержащийся в воздухе и воде радиоактивный газ радон ^{222}Rn и продукты его распада.

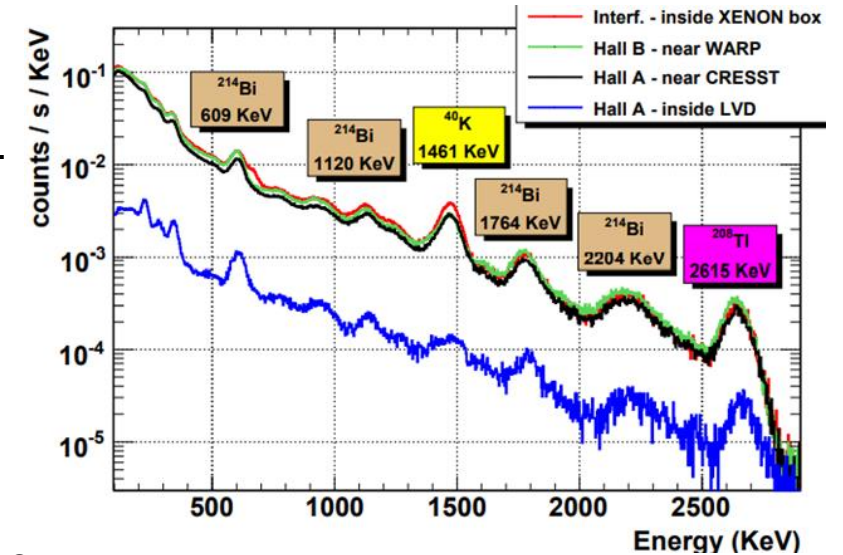


Мониторинг концентрации радона на установках LSD и LVD осуществляется с помощью регистрации γ -квантов от распадов дочерних ядер $^{222}_{86}\text{Rn}$, период полураспада которого 3,8 дня.

Энергетический спектр гамма-излучения охватывает диапазон от 0.6 до 2.5 МэВ.

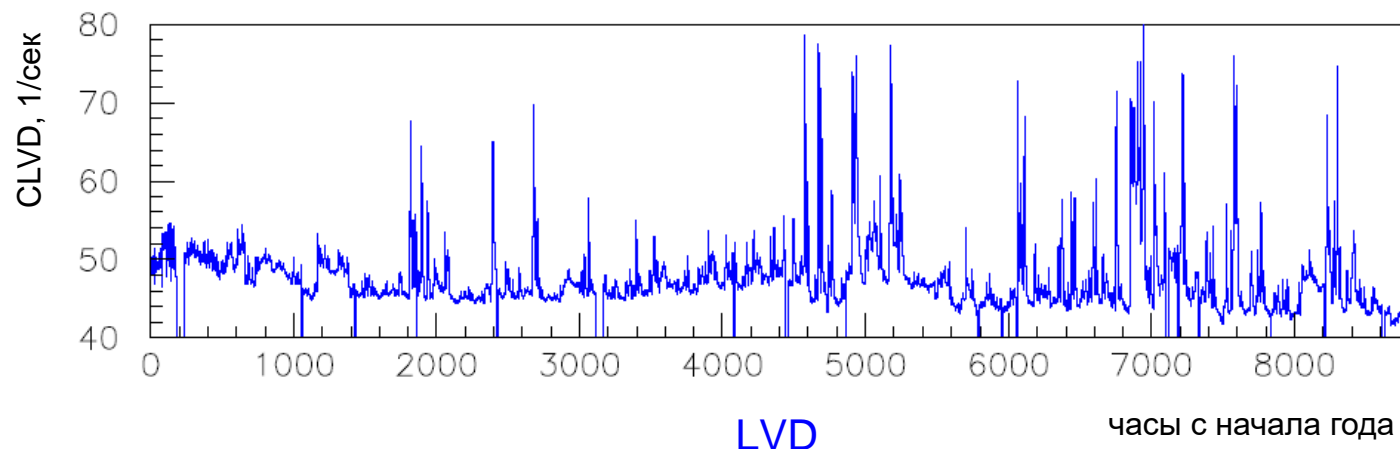
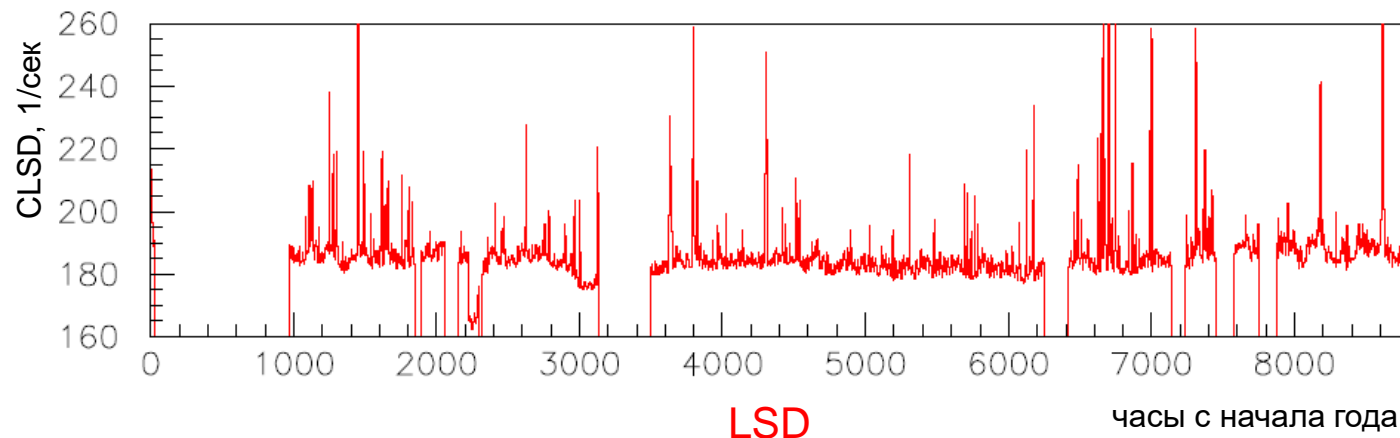
Факторы, влияющие на изменение концентрации радона в подземных помещениях:

1. Устройство и режим работы вентиляции.
2. Вибрация грунта (прохождение машин по транспортному туннелю, работа техники и т.д.).
3. Изменение насыщения водой скального грунта (при таянии снегов, обильных осадках).
4. Приливные силы, связанные с лунным циклом.
5. Сейсмическая активность, деформации земной коры, возникновение напряжений в грунте.



Спектр гамма-квантов, измеренный в разных точках лаборатории Гран Сассо группой эксперимента XENON.

СРАВНЕНИЕ ДАННЫХ LSD и LVD ЗА 1997 ГОД



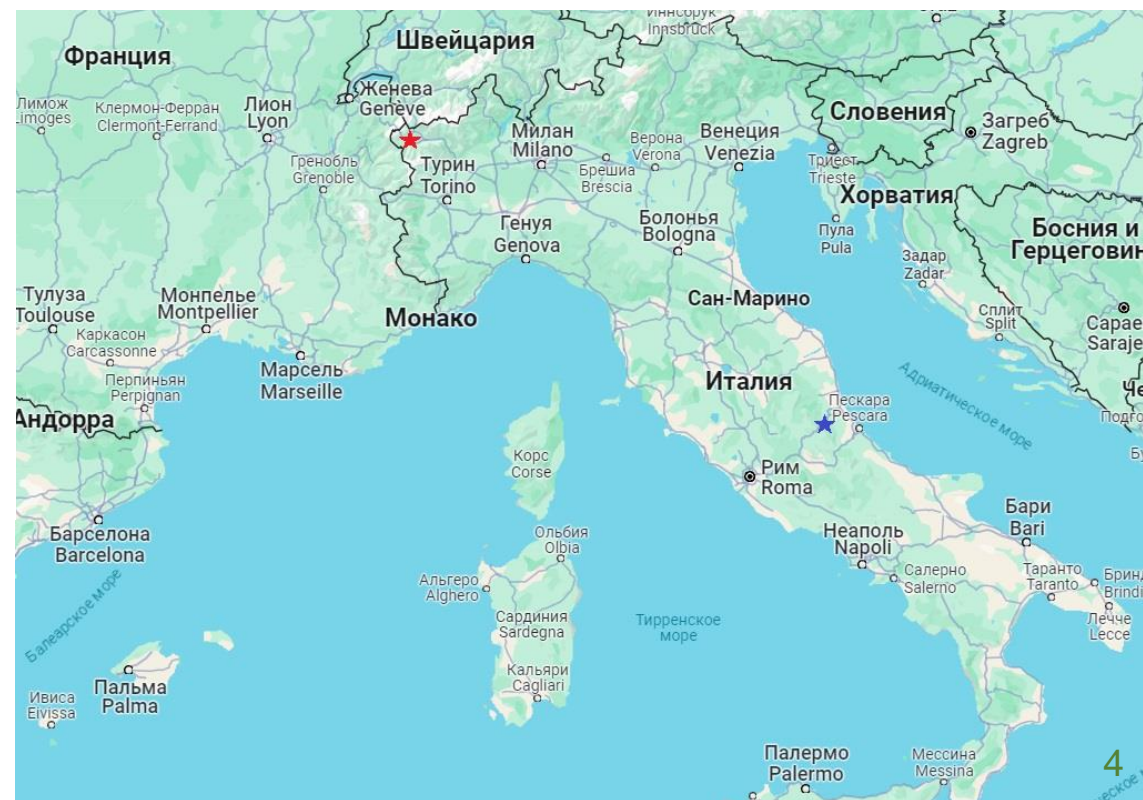
Скорость счета установок по нижнему порогу за 1997 год.

Переменная составляющая – гамма-кванты от дочерних ядер радона. Каждые 10 минут все сцинтилляционные счётчики запускаются импульсом от генератора на регистрацию сигналов ($E > 0.5$ МэВ) в течение 10 секунд (scaler data). Темп счета установки усредняется по часу и нормируется на один счетчик в герцах.

Установки LSD и LVD находятся в ~700 км друг от друга, в разных регионах Италии с разной сейсмической активностью, под разными горными массивами, а также отличаются системой вентилирования помещений.

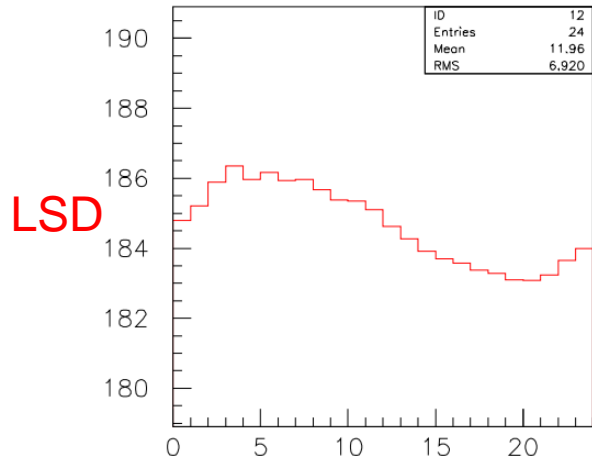
LSD (45.85° с.ш., 6.90° в.д.) – под горным массивом Монблан.

LVD (42.45° с.ш., 13.57° в.д.) – под горным массивом Гран Сассо.



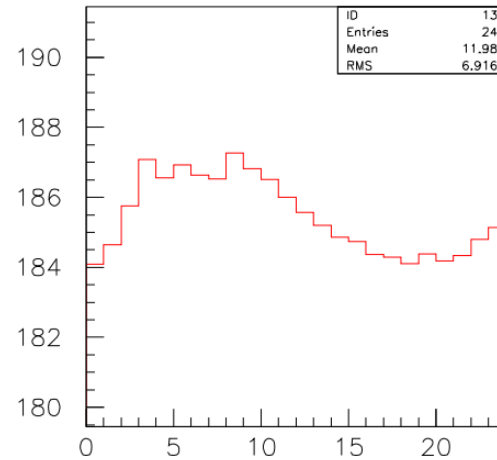
СУТОЧНЫЕ ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ПОМЕЩЕНИЯХ УСТАНОВОК LSD и LVD

Получены методом наложения эпох для рабочих дней с понедельника по пятницу и для выходных дней (суббота, воскресенье).



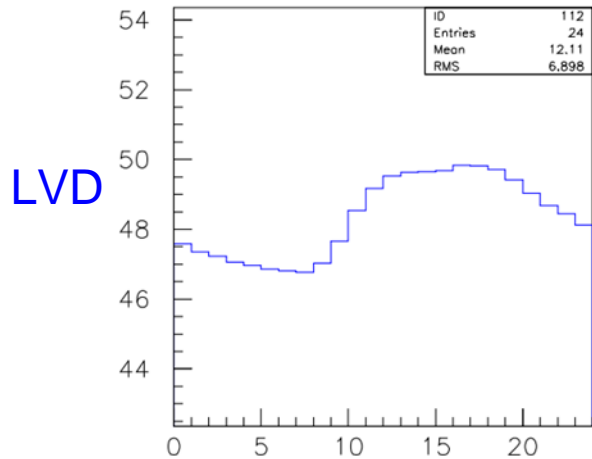
LSD 1–5 daily epoch folding

рабочие дни

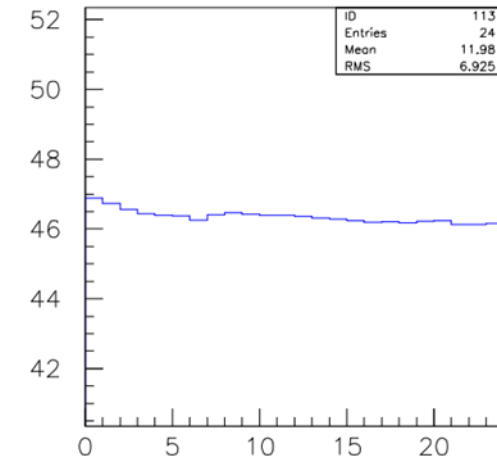


LSD 6–7 daily epoch folding

выходные дни



LVD 1–5 daily epoch folding

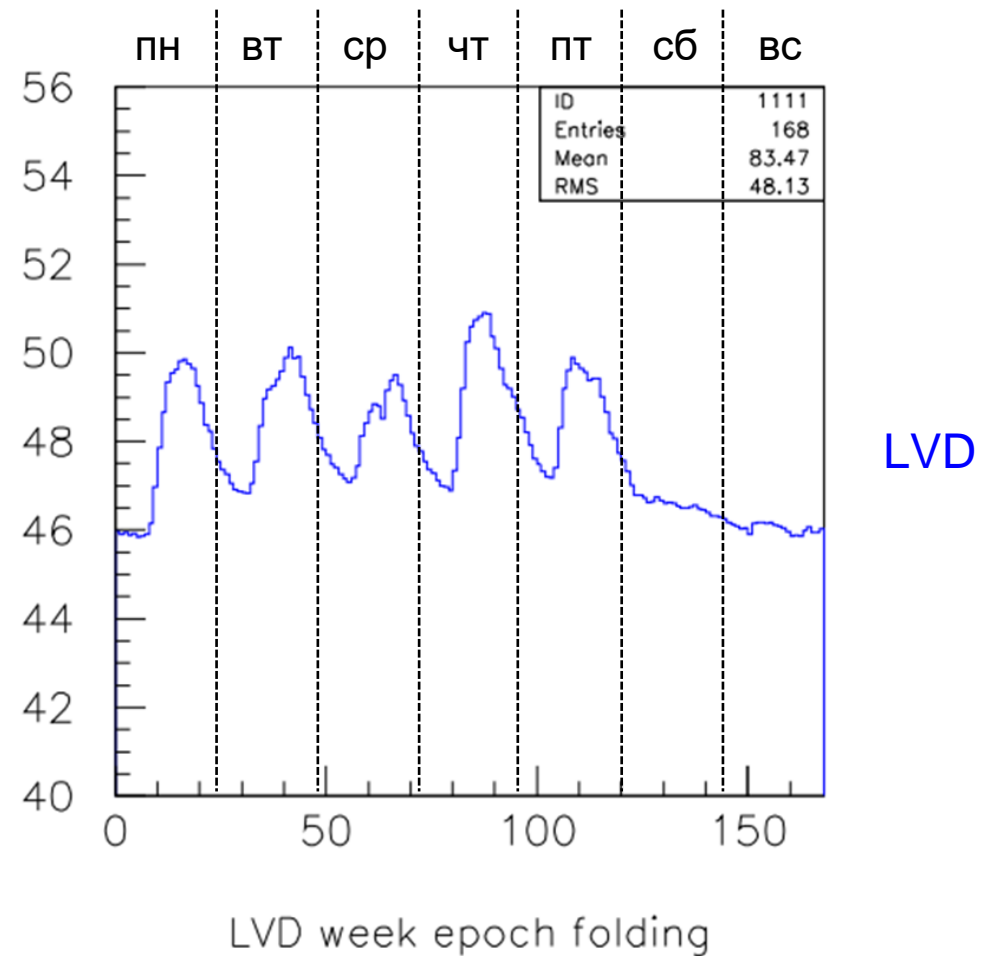
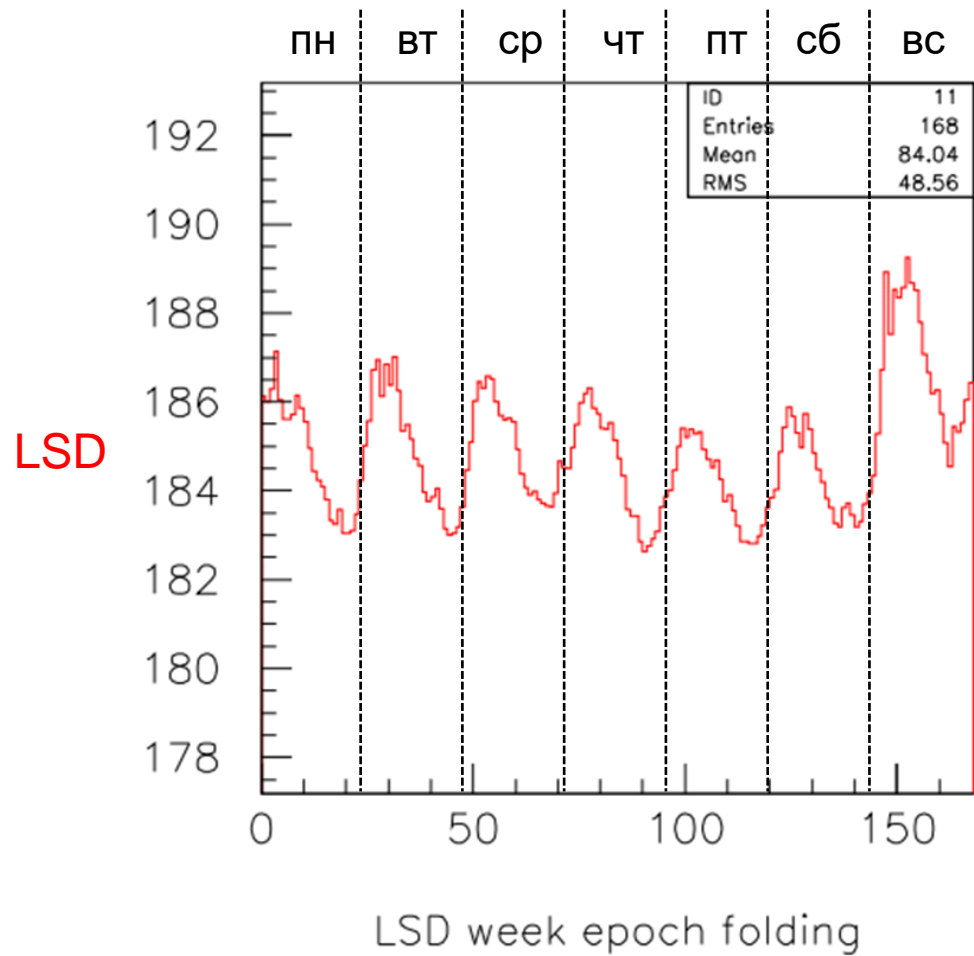


LVD 6–7 daily epoch folding

Воздух в помещение установки LSD подавался через фильтры мощным кондиционером напрямую из транспортного туннеля. Вентиляция в помещении LSD зависела от вентилирования транспортного туннеля, рядом с которым находилась установка. Мощность туннельной вентиляции не постоянна и зависит от интенсивности движения транспорта по туннелю (мало машин – минимум вентиляции).

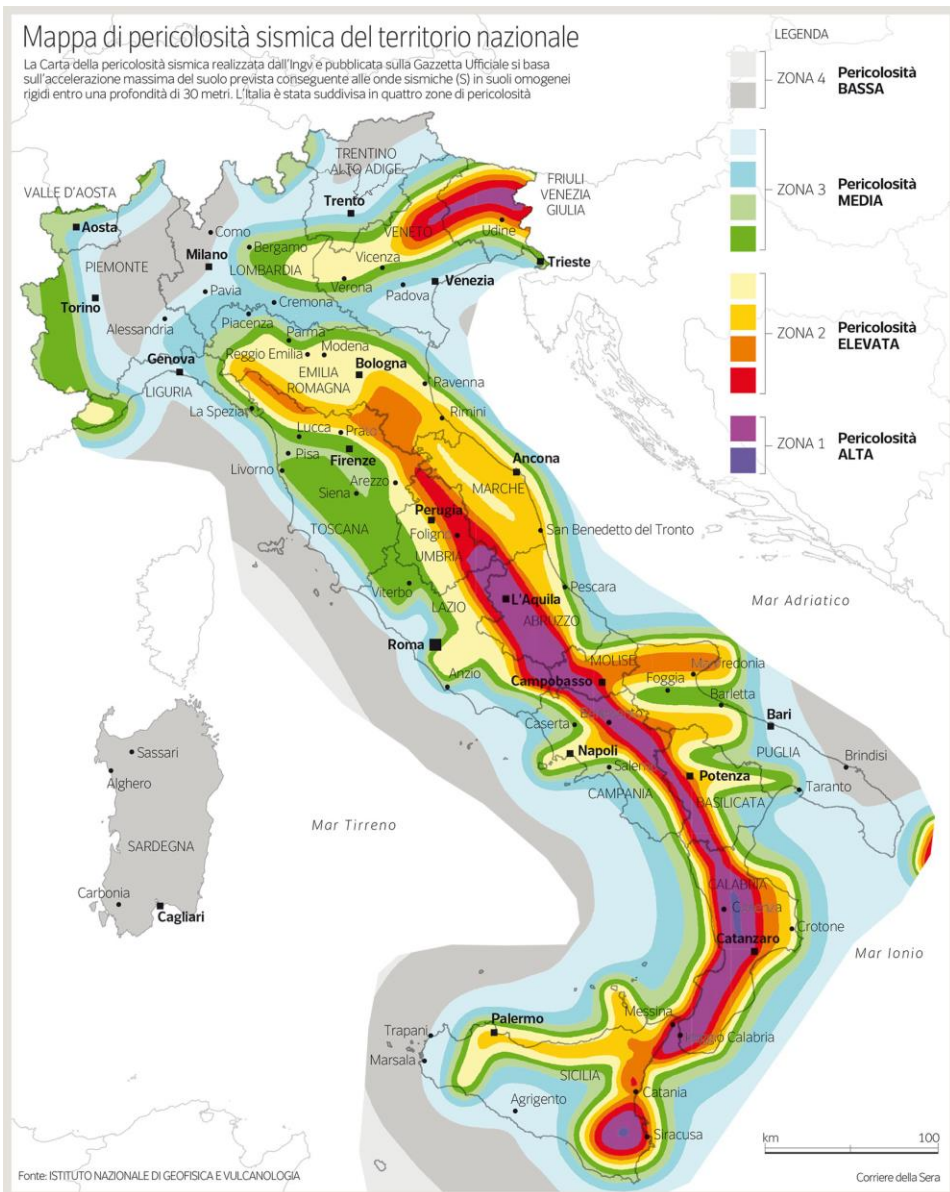
В зале эксперимента LVD работает отдельная принудительная вентиляция в непрерывном режиме, подающая чистый воздух с поверхности. Благодаря хорошей изоляции помещения и действию приточной вентиляции, при закрытых воротах концентрация радона в зале достаточно низкая и составляет ~ 26 Bq/m³. В прилегающих коридорах она больше в несколько раз. Днем в рабочее время открываются ворота, что приводит к увеличению концентрации радона в зале LVD, т.к. начинает поступать воздух из соседних помещений с повышенной концентрацией радона.

НЕДЕЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДОНА В ПОМЕЩЕНИЯХ УСТАНОВОК LSD и LVD

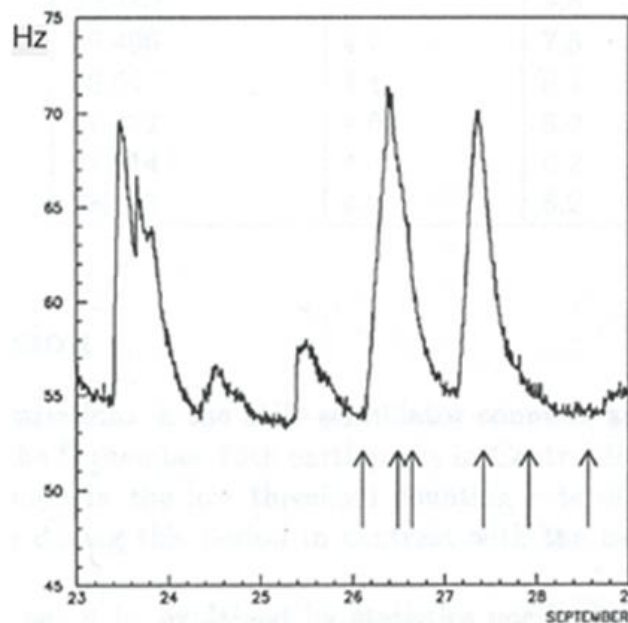


ОТКЛИК НА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Карта уровней сейсмо-опасности в Италии.

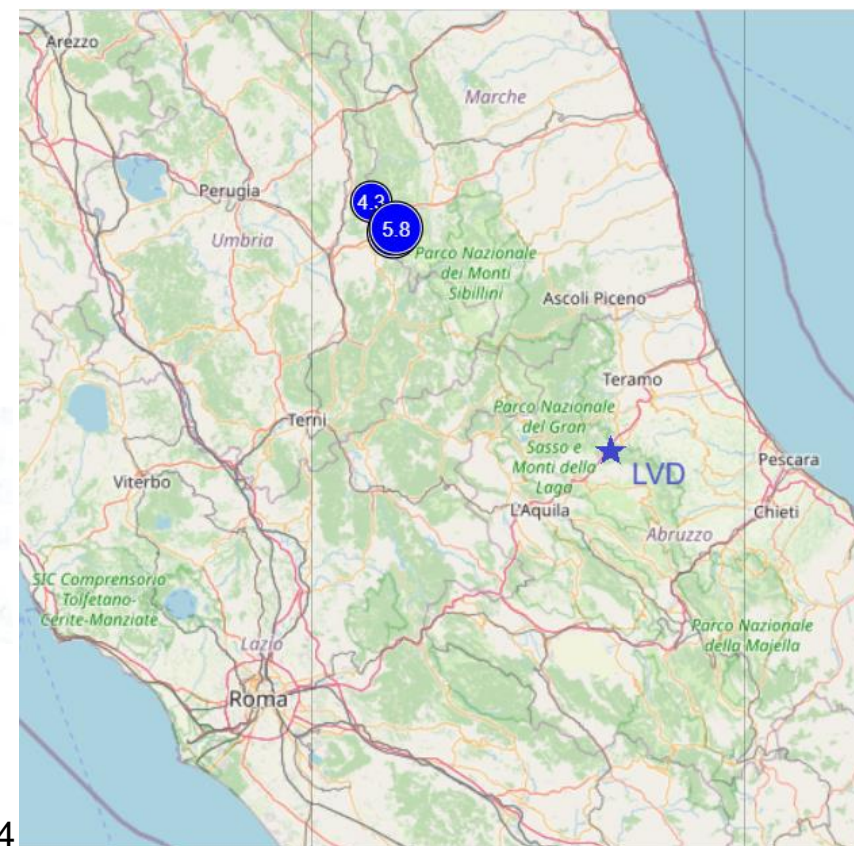


На возможности установки LVD для изучения вариаций концентрации радона под землей было обращено внимание сотрудниками коллаборации LVD Джовани Бадино и Вальтером Фуджионе после обнаружения аномального повышения фонового темпа счета детектора во время сильного землетрясения в Центральной Италии в сентябре 1997 года. Эпицентр толчков находился в Перуджи, примерно в 100 км от установки.



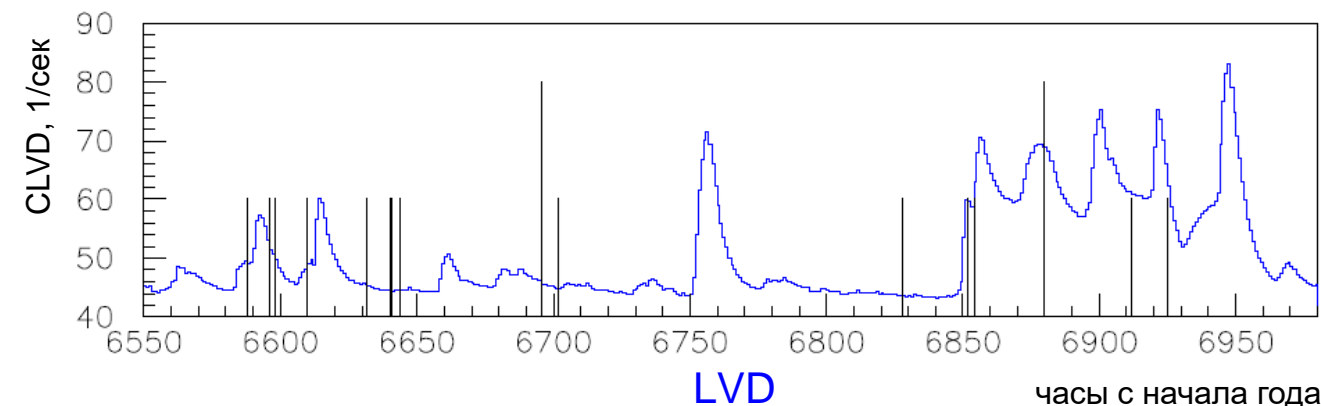
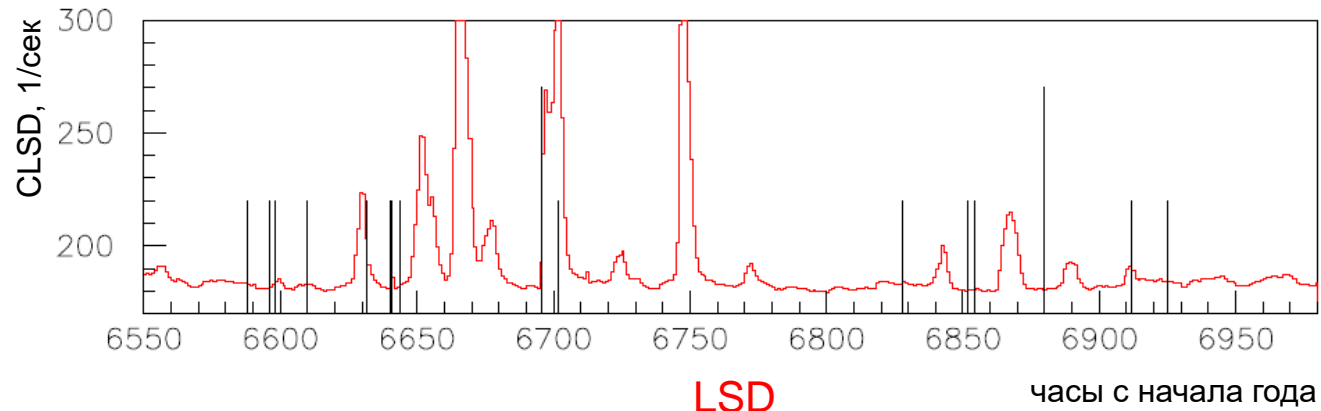
Темп счета установки LVD во время землетрясения в Италии (1997 г.).

Стрелками отмечены моменты сейсмических толчков с магнитудой >4



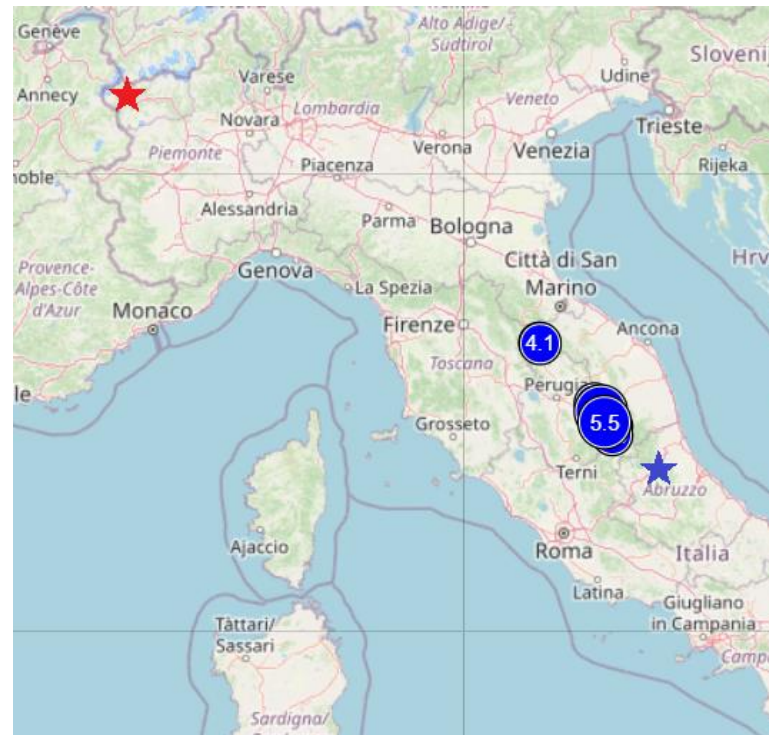
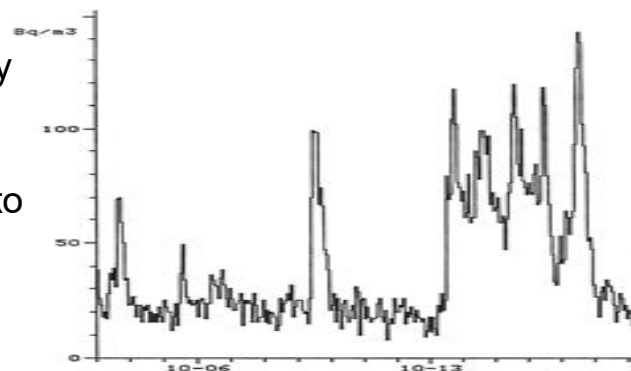
<http://cnt.rm.ingv.it/>

ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ В ОКТЯБРЕ 1997 ГОДА



Скорость счета установок по нижнему порогу с 01.10.97 по 18.10.97.

Показаны сейсмические толчки только с магнитудой > 4.



<http://cnt.rm.ingv.it/>

Дата и время (UTC)	M
1997-10-02 10:59:55	4.0
1997-10-02 19:38:01	4.1
1997-10-02 21:38:42	4.0
1997-10-03 08:55:20	4.7
1997-10-04 06:49:57	4.1
1997-10-04 15:07:19	4.1
1997-10-04 16:13:31	4.3
1997-10-04 18:47:46	4.3
1997-10-06 23:24:51	5.4
1997-10-07 05:09:55	4.1
1997-10-12 11:08:35	4.7
1997-10-13 11:01:44	4.0
1997-10-13 13:09:19	4.0
1997-10-14 15:23:09	5.5
1997-10-15 22:53:09	4.1
1997-10-16 12:00:30	4.1

При деформациях земной коры увеличивается количество микротрещин, возникает напряжение и усиливается вибрация грунта, что приводит к значительному повышению концентрации радона.

Данные радонметра, помещенного рядом с установкой LVD.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Были получены суточные и недельные вариации скорости счета для установок LSD и LVD за 1997 год. Являясь одинаковыми по методу регистрации, установки отличаются фоновыми условиями и количеством модулей – счетчиков, из которых они состоят: LSD содержит 72 счетчика, LVD – 280 (на 1997 год). Сравнительный анализ данных двух установок подтверждает, что суточные и недельные вариации концентрации радона в подземных помещениях имеют техногенное происхождение и в значительной мере обусловлены устройством системы вентиляции в помещении.

При анализе данных выявлено повышение скорости счета во время усиления сейсмической активности в регионе. Наблюдения показывают, что процесс подготовки сейсмических событий сопровождается изменением концентрации радона в атмосфере подпочв. Но прогноз землетрясения предполагает предсказание трёх характеристик: силы, времени и места очага землетрясения. К тому же на скорость выхода радона влияет много различных факторов. Изучение этих зависимостей может помочь разработать методику предсказания землетрясений по радоновым предвестникам.

Исследование выполнено при финансовой поддержке по гранту Российского научного фонда 23-22-00048, <https://rscf.ru/project/23-22-00048/>.