

Влияние давления и вентиляции в экспериментальном зале на скорость счета фооновых событий в детекторе LVD

Агафонова Н.Ю.¹, Добрынина Е.А.¹, Еникеев Р.И.¹, Филимонова Н.А.², Шакирьянова И.Р.¹, Якушев В.Ф.¹
от имени коллаборации LVD

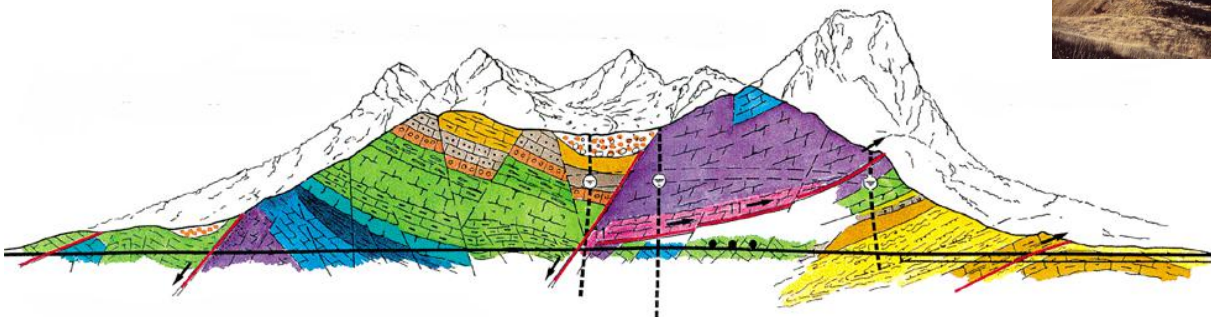
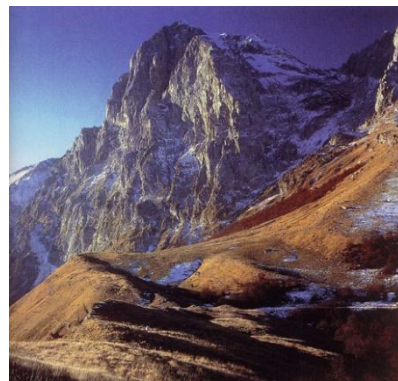
¹Институт Ядерных Исследований РАН, Россия, Москва, dobrynina@inr.ru

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Россия, Долгопрудный.

В эксперименте LVD (Гран Сассо, Италия) выявлены вариации темпа счета фооновых импульсов детектора, связанные с инъекцией радона из грунта в экспериментальный зал. Данная работа посвящена изучению долговременного поведения радоновых полей и их связи с давлением и вентиляцией в подземном экспериментальном зале, а также с атмосферным давлением.

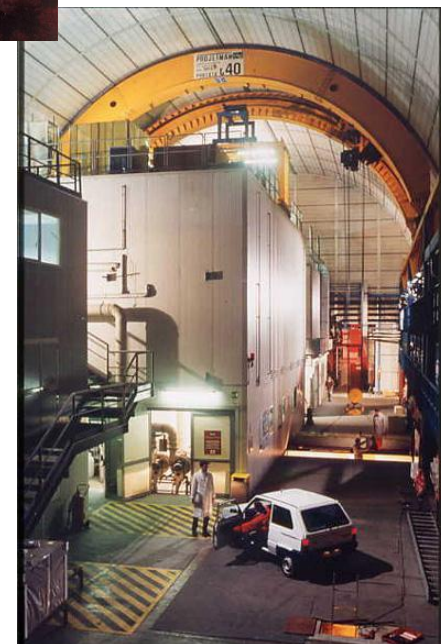
Подземная Лаборатория LNGS, Италия, Гран Сассо

Глубина подземной лаборатории 1400 м ~ 3600 м в.э.
Ослабление потока мюонов 10^{-6} .
Площадь лаборатории 18000 м².



Основные исследования

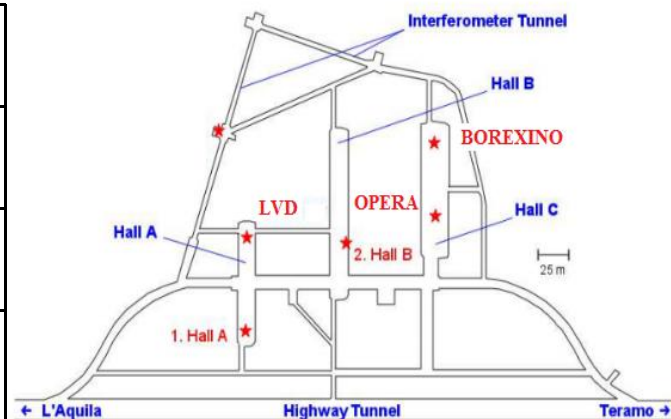
- **Физика нейтрино:**
 - Солнечные нейтрино
 - Атмосферные нейтрино
 - Исследование осцилляций ν из CERN'a
 - Поиск безнейтринного β -распада
- **Поиск темной материи**
- **Ядерная физика звезд**



LVD – Детектор Большого Объема



Длина × Ширина × Высота	22.7×13.2×10м
Масса C_nH_{2n} , Fe	1008 т, 1020 т
Число сцинт. счетчиков	840
порог: ϵ_{HET} , ϵ_{LET}	5 МэВ, 0.5 МэВ



Large Volume Detector



^{238}U and ^{232}Th activities in LNGS rock.

Hall	Activities (ppm)	
	^{238}U	^{232}Th
A	6.80 ± 0.67	2.167 ± 0.074
B	0.42 ± 0.10	0.062 ± 0.020
C	0.66 ± 0.14	0.066 ± 0.025

элемент	Масс.доля
H	0.03
C	12.17
O	50.77
Mg	8.32
Al	0.63
Si	1.05
K	0.1
Ca	26.89

Скальный грунт Гран Сассо содержит в основном CaCO_3 и MgCO_3 , плотность $2.71 \pm 0.05 \text{ г/см}^3$.

Концентрация радона в подземной лаборатории

Зал эксперимента LVD имеет объём 24000 м³. При закрытых воротах зал герметичен.

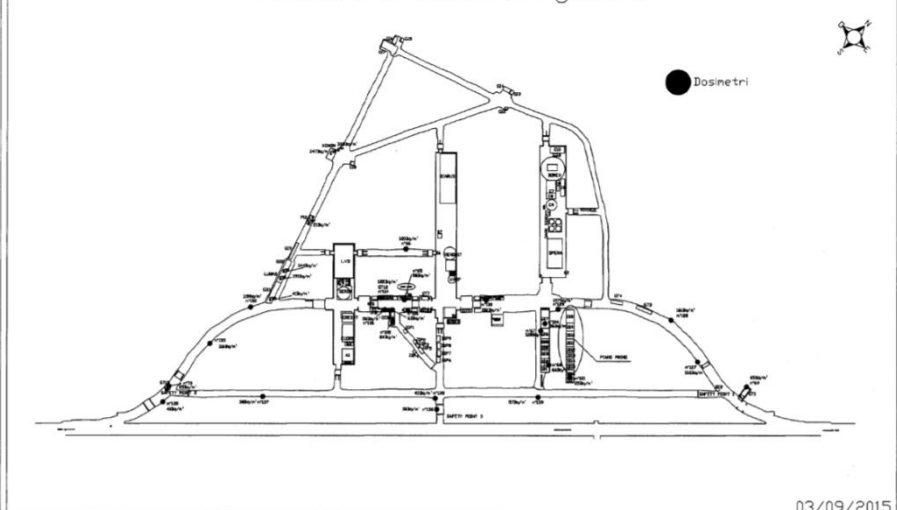
Приточная вентиляция создает в зале небольшое избыточное давление.

Температура в зале А находится в пределах от 17°C (у пола зимой) до 22°C (под потолком летом).

Средняя концентрация ²²²Rn

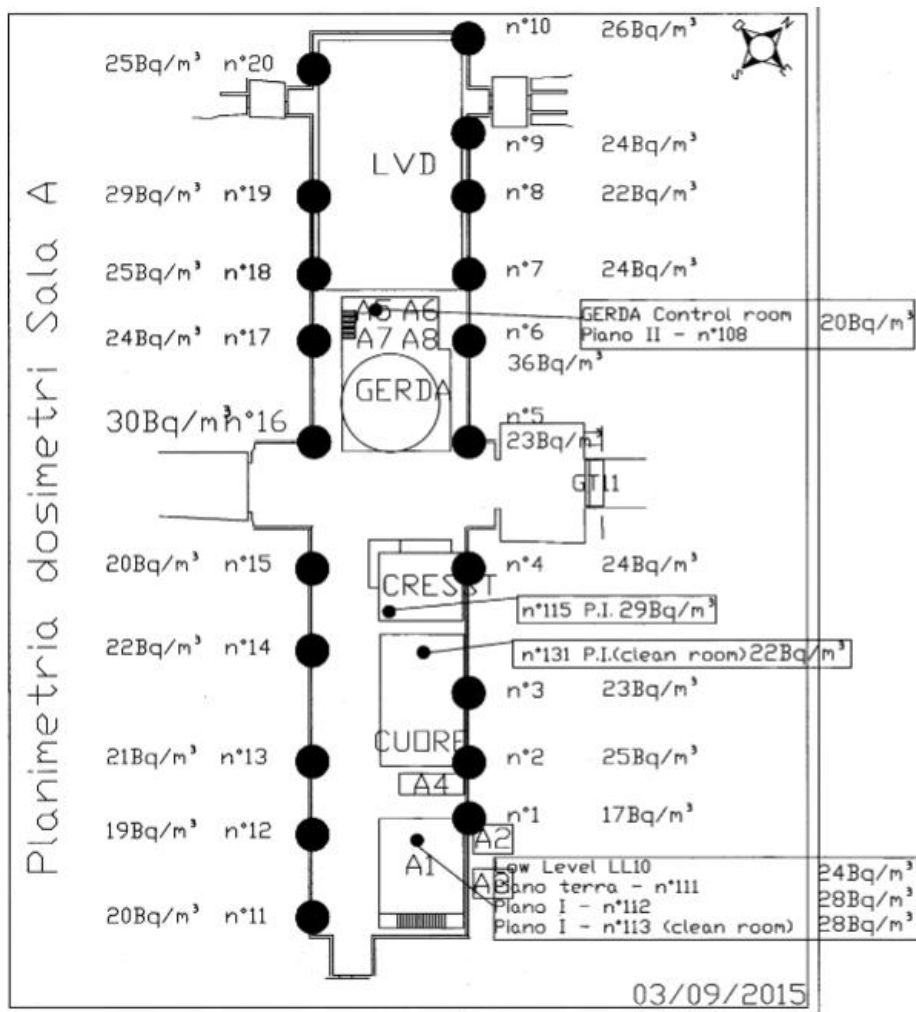
Hall A	26 Bq/m ³
Hall B	43 Bq/m ³
Hall C	104 Bq/m ³

Planimetria dosimetri gallerie

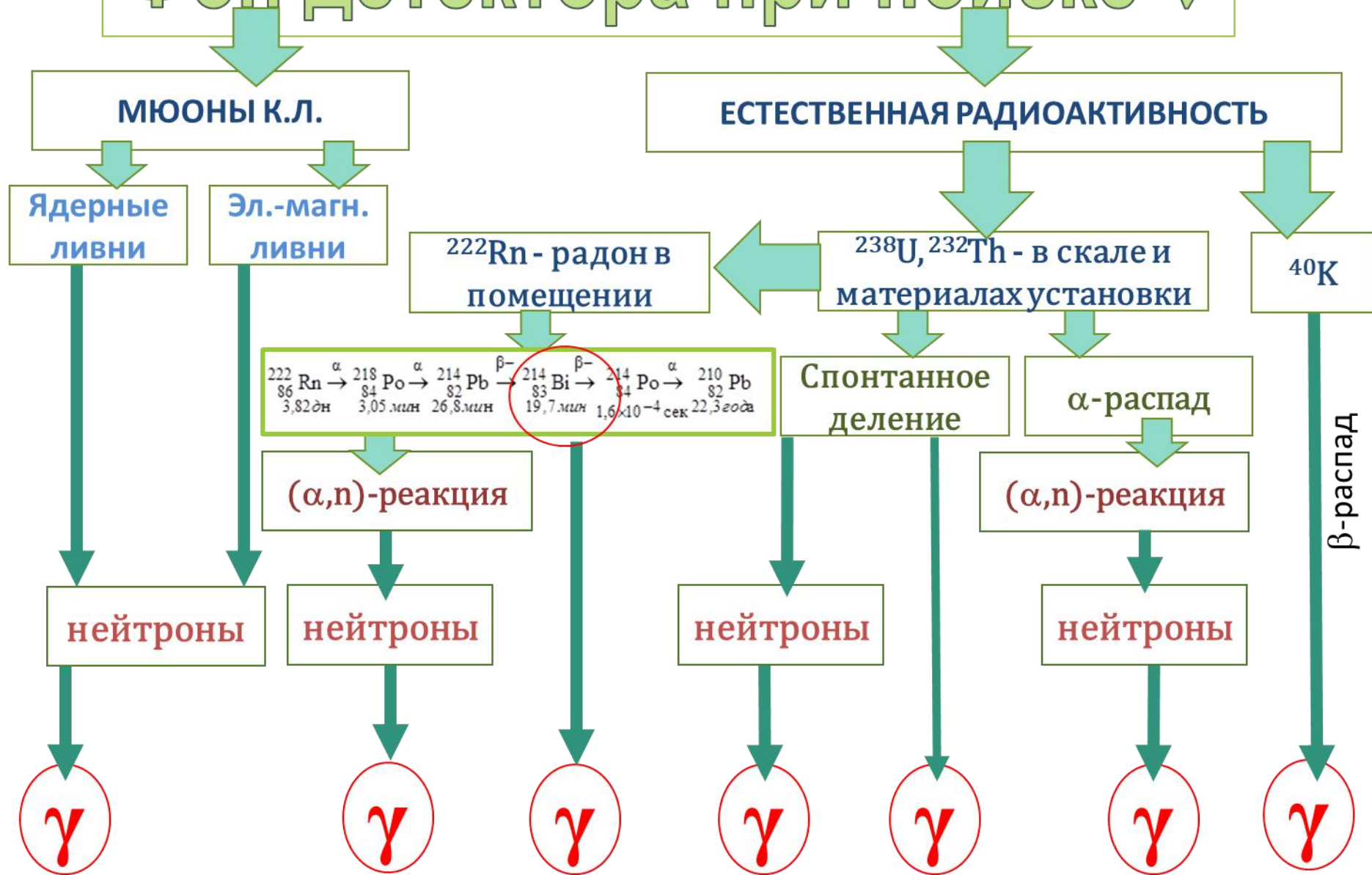


03/09/2015

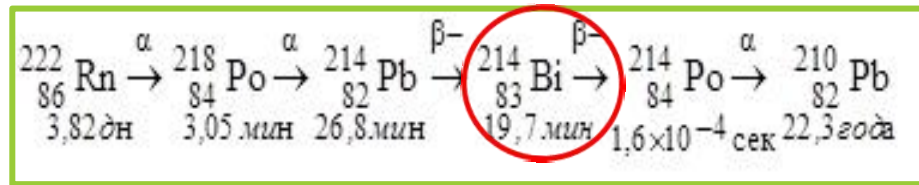
Замеры концентрации радона в 2015 году.



Фон детектора при поиске ν



Метод регистрации событий в LVD от естественной радиоактивности

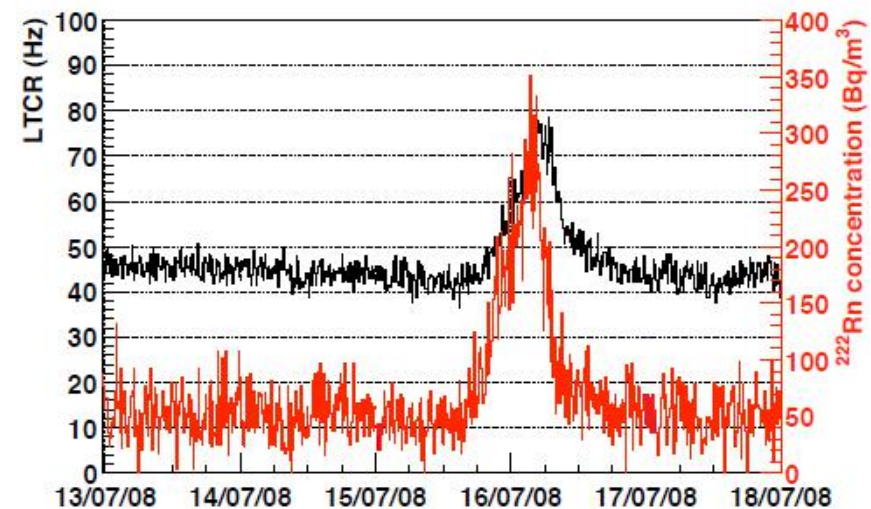
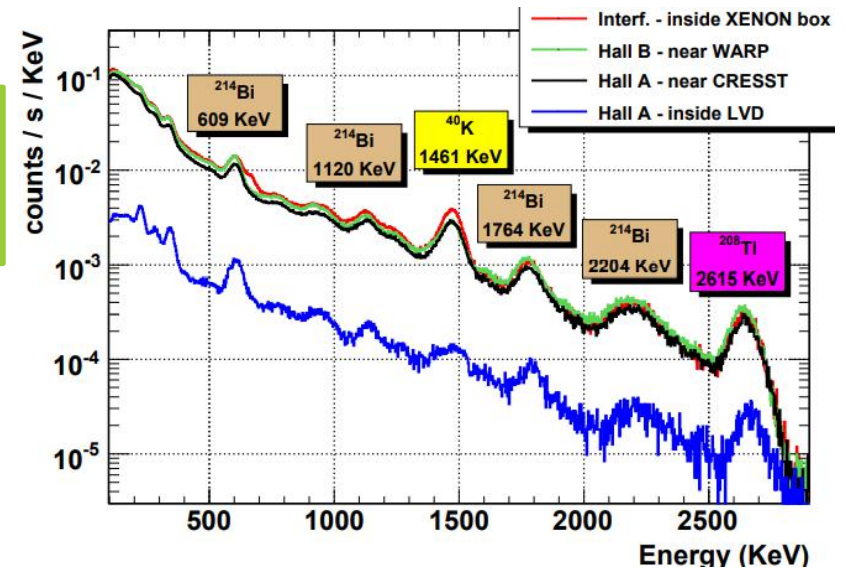


Основными источниками фона по низкому порогу в LVD являются естественная радиоактивность грунта и радон.

Энергия γ-кванта, МэВ	Количество γ- квантов на 100 ядер ${}^{214}\text{Bi}$
0,609	47
1,764	17
1,120	17
1,238	6
2,204	5
1,378	5
0,769	5
1,400	4
2,445	2

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

Система регистрации LVD содержит низкоэнергетичный канал, порог срабатывания которого 0,5 МэВ.



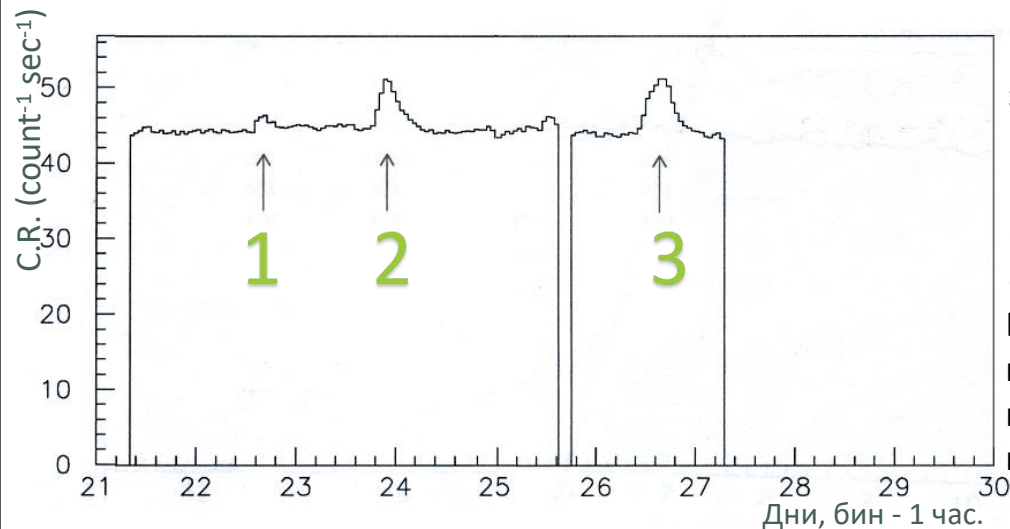
Темп счета LVD по низкому порогу, соотнесенный с показаниями радометра

Измерения с открыванием ворот в зале

“Радоновым пиком” называется быстрое изменение концентрации радона в подземном помещении, где находится установка LVD.

Спад концентрации радона в зале:

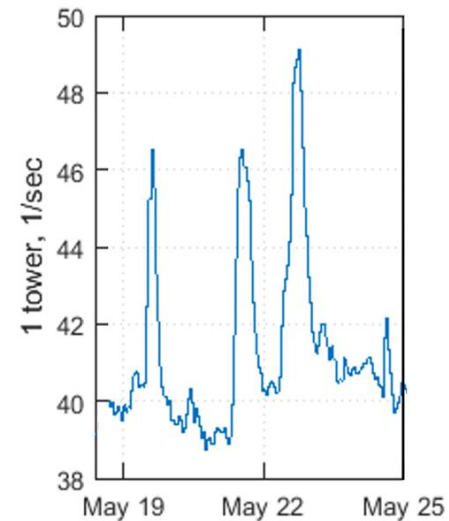
$C_{Rn}(t) = C_0 \exp(-t/\tau_{\text{вент}})$, где $\tau_{\text{вент}} = V_{\text{зала}}/F = 2.75$ часа, $V_{\text{зала}} = 22000 \text{ м}^3$, $F = 8000 \text{ м}^3 \cdot \text{час}^{-1}$



Мы открыли ворота в экспериментальном зале на фиксированное время:

- 1) 0.5 часа
- 2) 3 часа
- 3) 6 часов.

Были определены экспериментально: продолжительность нарастания пиков, время перемешивания воздуха в зале и время возвращения к равновесному состоянию.

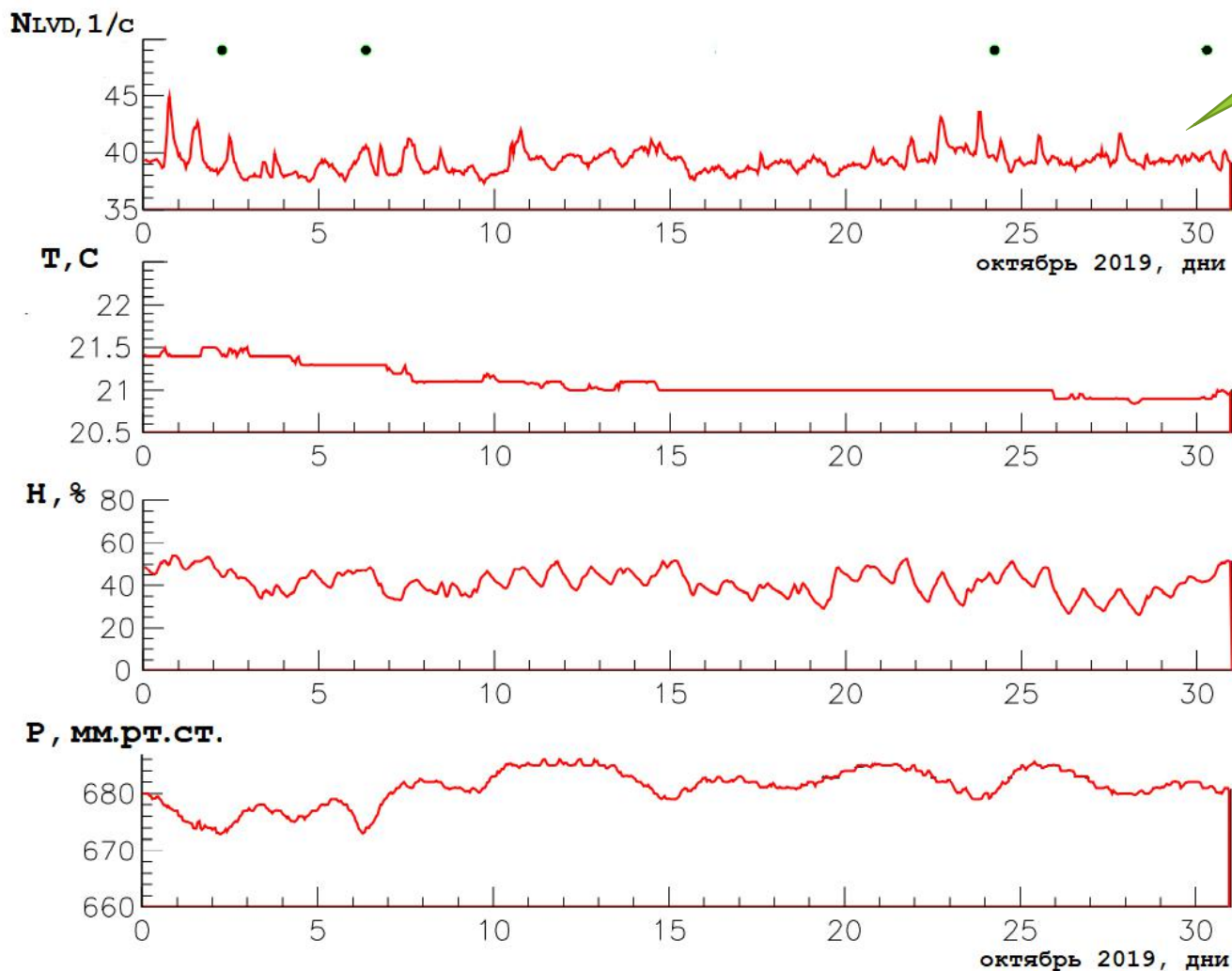


Время нарастания величины C_{Rn} при этом составило: 3 часа - в первых двух случаях и 6 часов - в последнем. Отсюда можно заключить, что **время перемешивания** воздуха в зале около 3 часов.

Выводы: форма пика обусловлена инжекцией радона в атмосферу зала и его выдувом вентиляцией. Определены параметры изменения величины C_{Rn} : **время нарастания** (фронт) от 3 до 10 часов и **экспоненциальный спад** длительностью до ~14 часов с показателем экспоненты $\tau \approx 3$ часа.

Измерения температуры, влажности и давления

Скорость счета
фоновых импульсов
в LVD



Кривые атмосферного давления и давления в зале А Лаборатории Гран-Сассо

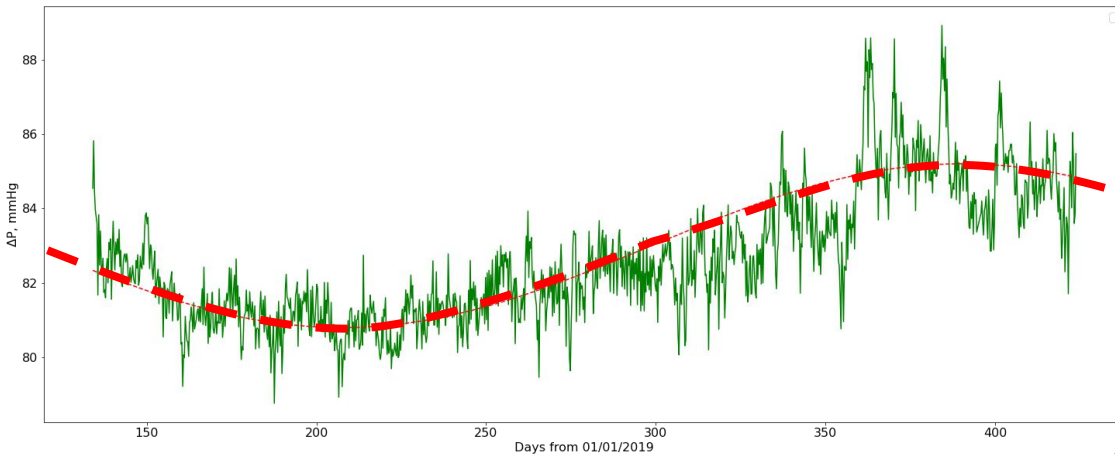
Атмосферное давление в точке рядом с лабораторией (около 10 км от входа) на поверхности в пересчете к уровню моря. Взято из базы данных Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF)*.



(*) <https://cds.climate.copernicus.eu>

Разница давлений (атмосферное давление – давление в зале А)

Разница давлений имеет сезонную зависимость (min – конец июля, max – конец января).



$$\delta = (85 - 81.5) / (85 + 81.5) = 0.02 = 2\%$$

$$f(t) = A \times \cos(2\pi(t - \phi)/T) + B$$

$$A = 2.2$$

$$\phi = 25(390)$$

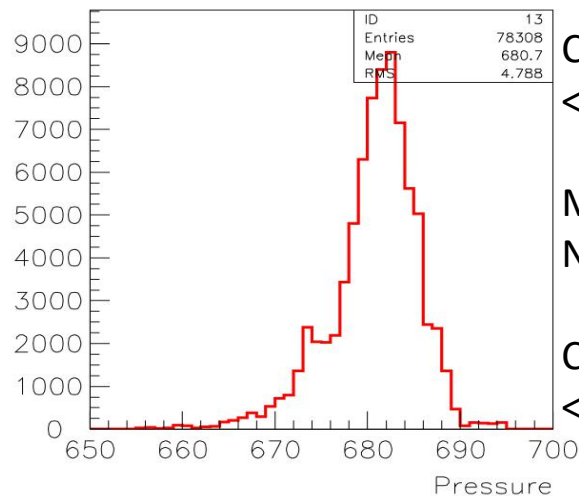
$$T = 365$$

$$B = 83$$

$$\phi_{\min} = 207 (27.07.2019)$$

$$\delta = 2.2 / 83 = 0.026$$

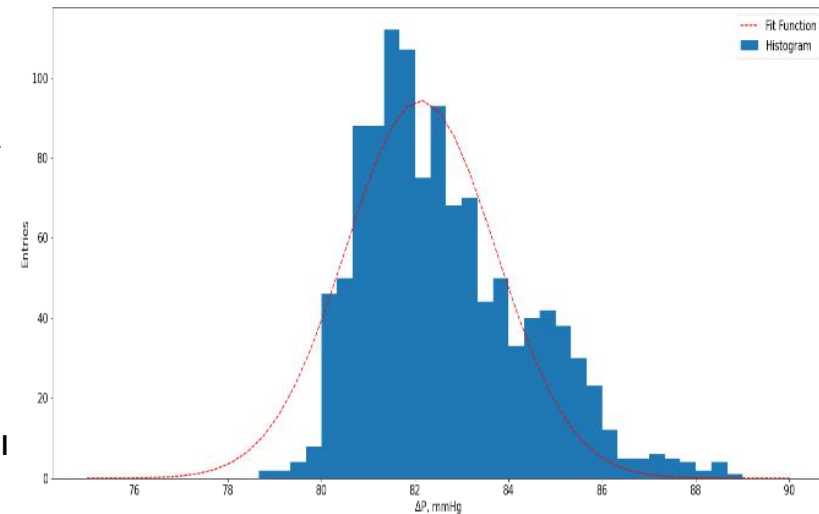
Распределение величины давления в экспериментальном зале
(по данным термогигрометра).



Среднее давление в зале А
 $\langle P \rangle = 680 \pm 5$ мм.рт.ст.

Максимальная разница
 $N_{\max} = 94,3$ мм.рт.ст.

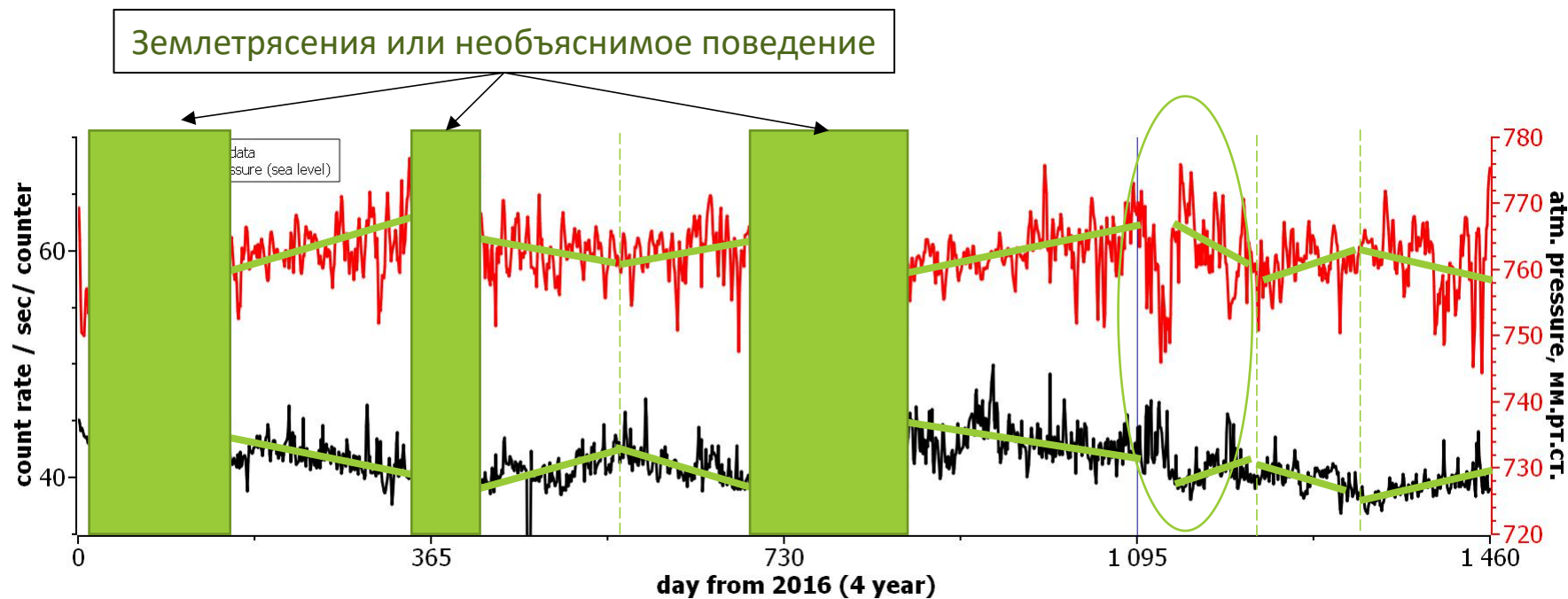
Средняя величина разницы
 $\langle N \rangle = 82,1 \pm 1,6$ мм.рт.ст.



Распределение разницы давлений

Антикорреляция с давлением

Антикорреляция во временных рядах атмосферного давления и «радоновых» данных LVD. Данные за 4 года (с 2016 по 2020).

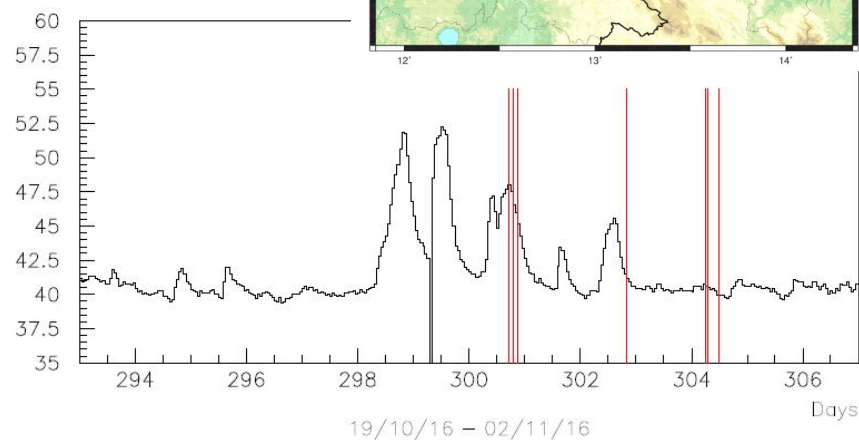


Заключение

1. Детектор LVD чувствителен к изменениям концентрации радона от естественной радиоактивности окружающего грунта.
2. Сравнение атмосферного давления на поверхности и давления в подземном зале, измеренного с помощью термогигрометра показали высокую корреляцию ($R=0.95$).
3. Разница давлений (на поверхности и в зале) имеет сезонных характер (минимум в конце июля, максимум в конце января) и составляет 2%.
4. Получена антикорреляция временных рядов фоновых событий LVD (от гамма-квантов естественной радиоактивности) и атмосферного давления.

Выявление радоновых полей от разных природных параметров поможет разработать методику предсказания землетрясений по радоновым предвестникам

26 октября 2016



Спасибо за внимание