

TCVN

TIÊU CHUẨN QUỐC GIA

TCVN 9420 : 2012

Xuất bản lần 1

**ĐIỀU TRA, ĐÁNH GIÁ VÀ THĂM DÒ KHOÁNG SẢN –
PHƯƠNG PHÁP PHỔ GAMMA PHÔNG THẤP**

*Investigation, evaluation and exploration of minerals –
Low background gamma spectrometric method*

HÀ NỘI - 2012

MỤC LỤC

Lời nói đầu	4
TCVN 9420: 2012 Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản: Phương pháp phổ gamma phòng thấp	4
1. Phạm vi áp dụng	5
2. Đối tượng áp dụng	5
3. Giải thích thuật ngữ	5
4. Thiết bị, dụng-cụ, hóa chất	6
5. Công tác chuẩn bị và gia công mẫu	9
6. Thiết lập các đường chuẩn, đo mẫu và tính toán kết quả	10
7. Đánh giá chất lượng phân tích	11
8. Phụ lục A. Danh mục tài liệu tham khảo	14
9. Phụ lục B. Mẫu tham khảo kết quả phân tích bằng phần mềm GammaVision 32	15
10. Bảng hệ số K_T của một số đồng vị phát gamma	16

TCVN 9420 : 2012

Lời nói đầu

TCVN 9420 : 2012- Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản: Phương pháp phổ gamma phòng thấp
- do Tổng Cục Địa chất và Khoáng sản biên soạn,

Bộ Tài nguyên và Môi trường đề nghị,

Tổng Cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng thẩm định,

Bộ Khoa học và Công nghệ công bố.

Điều tra, đánh giá và thăm dò khoáng sản - Phương pháp phổ gamma phông thấp

*Investigation, Evaluation and Exploration of minerals-
Low background gamma Spectrometric method*

1. Phạm vi áp dụng

Tiêu chuẩn này quy định công tác đo phổ gamma trên hệ phổ kế gamma phân giải cao để xác định hoạt độ của các nhân phóng xạ phục vụ công tác phân tích mẫu vật địa chất và nghiên cứu môi trường.

Các mẫu được phân tích phổ gamma phân giải cao là một trong các loại mẫu sau: mẫu đất, mẫu nước, mẫu sol khí, mẫu lương thực, thực phẩm.

2. Đối tượng áp dụng

Tiêu chuẩn này áp dụng trong việc xác định hoạt độ các nhân phóng xạ trong các mẫu môi trường và mẫu vật địa chất.

Tham số xác định là hoạt độ phóng xạ của các hạt nhân phóng xạ riêng biệt có trong mẫu vật cần phân tích.

Các mẫu phân tích là các mẫu đất, mẫu nước, mẫu sol khí, mẫu lương thực, thực phẩm...

Các mẫu trước khi đưa vào phân tích phổ gamma phân giải cao phải được gia công, chế tạo tiêu bán phù hợp với từng loại hộp đo nhất định và theo quy trình riêng.

3. Giải thích thuật ngữ

3.1 Phổ kế gamma phân giải cao: là hệ thiết bị đo phổ gamma sử dụng Detector bán dẫn siêu tinh khiết (HPGe) kết hợp với máy phân tích biên độ đa kênh (MCA) 8192 kênh để đo năng lượng các hạt nhân phóng xạ phát bức xạ gamma có năng lượng khác nhau.

TCVN 9420 : 2012

3.2 Độ phân giải năng lượng: xác định đặc trưng cho sự khác nhau nhỏ nhất giữa hai năng lượng của hai tia gamma có năng lượng gần nhau mà có thể phân biệt được bằng Phổ kế gamma. Độ phân giải năng lượng được biểu diễn bằng tỷ số giữa độ rộng tại một nửa chiều cao của đỉnh năng lượng với năng lượng của nó. Độ phân giải năng lượng được tính bằng phần trăm: %.

3.3 Hoạt độ riêng: (hoạt độ trên 1 đơn vị khối lượng): là số phân rã hạt nhân trong một đơn vị thời gian và trên đơn vị khối lượng; hoạt độ riêng được sử dụng để miêu tả hàm lượng các nuclit phóng xạ trong đất đá, trong vật liệu xây dựng, trong nước, không khí .v.v. (đối với các chất rắn thường lấy đơn vị là Bq/kg, đối với chất lỏng và khí thường lấy đơn vị là Bq/l hoặc Bq/m³).

3.4 Hình học đo: thuật ngữ được dùng để chỉ một sự sắp xếp trong không gian các thành phần của hệ đo (hình dạng và kích thước mẫu đo, khoảng cách giữa mẫu và Detector).

3.5 Hiệu suất đếm: trong một dạng hình học đo nhất định, hiệu suất đếm là tỷ số giữa số các tia gamma mà thiết bị đo ghi được (số xung) và số các tia gamma phát ra từ nguồn với năng lượng tương ứng trong cùng một đơn vị thời gian. Hiệu suất đếm phụ thuộc vào năng lượng của các tia gamma, ký hiệu của hiệu suất đếm là $\epsilon_r(e)$; Đơn vị tính hiệu suất đếm là %.

3.6 Diện tích đỉnh năng lượng gamma: là số xung ghi được tại một đỉnh năng lượng xác định dưới dạng đỉnh phổ phân bố Gaus trong một khoảng thời gian xác định.

3.7 Phông bức xạ: bao gồm bức xạ tự nhiên, bức xạ nhân tạo và xung nhiễu điện từ mà ta cần làm giảm ảnh hưởng của chúng lên đối tượng khảo sát trong các phép đo phóng xạ. Phông bức xạ phụ thuộc vào môi trường xung quanh và độ ổn định của thiết bị đo.

4. Thiết bị, dụng cụ, hoá chất

4.1. Thiết bị gồm:

1). Phổ kế gamma phân giải cao.

2). Buồng chì giảm phông với lớp chì sạch phóng xạ chiều dày từ 70-100mm, lớp lót bên trong bằng đồng thau dày 2 mm. Số đếm phông tổng cộng trong vùng năng lượng bức xạ gamma từ 200 KeV đến 3000 KeV không lớn hơn 0,9 số đếm/giây.

3). Máy tính (01 bộ PC để bàn): Các máy tính thông thường hoặc những phiên bản cao hơn. Máy được cài đặt các phần mềm chuyên dụng Gammavision 32 để đo và tính toán hoạt độ các nhân phóng xạ trong mẫu.

4). Chương trình phần mềm phân tích phổ GAMMAVISION 32: Chương trình GAMMAVISION 32 được dùng để đo và phân tích tự động phổ năng lượng bức xạ gamma để xác định định tính và định lượng các đồng vị phóng xạ trong mẫu đo. Chương trình do hãng ORTEC (Mỹ) cung cấp đồng bộ với hệ phổ kế gamma phân giải cao.

4.2. Dụng cụ phân tích gồm:

1). Hộp chứa mẫu đo: Tùy thuộc vào loại mẫu cần đo, có thể có những loại hộp sau:

Hộp chứa mẫu hình giếng, bằng nhựa PE, đường kính 155mm, chiều cao 165mm, thể tích khoảng 1 lít để đo mẫu đất.

Hộp chứa mẫu đo hình trụ bằng PE, chiều dày thành 1 mm, đường kính trong $\Phi = 92\text{mm}$, chiều cao mẫu $h \geq 20\text{ mm}$ để đo mẫu nước và mẫu lương thực, thực vật.

Hộp hình trụ bằng PE, đường kính trong $\Phi = 105\text{mm}$, chiều cao mẫu $h \geq 20\text{ mm}$, để đo mẫu sol khí.

2). Dụng cụ phòng thí nghiệm:

- a) Chày cối mã não hoặc chày cối sứ;
- b) Chén nung thạch anh;
- c) Lò nung đến $500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$;
- d) Tủ sấy đến $250^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$;
- e) Cân phân tích có độ chính xác 0,01 mg;
- f) Khay bằng thép không gỉ (4 chiếc);
- g) Bát thạch anh $\phi 150 - 200\text{ mm}$; $\phi 100\text{ mm}$ (mỗi loại 5 chiếc);
- h) Cân đĩa 5 kg (01 chiếc);
- i) Cốc sứ (20 chiếc).

4.3 Hóa chất: Để thiết bị hoạt động ổn định và đảm bảo các tiêu chuẩn kỹ thuật, thiết bị phải luôn được bảo quản trong điều kiện nhiệt độ $\leq 20^{\circ}\text{C}$, độ ẩm $< 70\%$ (phòng đặt máy phải riêng biệt có máy lạnh và máy hút ẩm, nguồn điện ổn định và duy trì liên tục). Detector được đặt trong môi trường nito lỏng.

4.4. Bộ nguồn chuẩn định tính: Bộ nguồn chuẩn định tính là 1 bộ gồm từ 7 đến 10 nguồn phóng xạ phát tia gamma đơn năng phân bố trong dải năng lượng từ vài chục KeV đến 1600 KeV. Bộ nguồn chuẩn định tính cho máy phổ gồm các nguồn và mức năng lượng được liệt kê trong bảng 4.1 dưới đây:

Bảng 4.1. Bộ nguồn chuẩn định tính

TT	Tên nguồn	Chu kỳ bán rã T 1/2	Năng lượng bức xạ gamma E_{γ} (KeV)
1	Cd^{109}	464 ngày	88,03
2	Co^{57}	271.8 ngày	122,1
3	Sn^{113}	115 ngày	255,1
4	Cs^{137}	30.2 năm	661,66
5	Mn^{54}	312.3 ngày	834,8
6	Zn^{65}	245 ngày	1115,5

TCVN 9420 : 2012

7	Co ⁶⁰	5.37 năm	1173,24 và 1332,50
8	Na ²²	2.6 năm	511,00 và 1274,60
9	Ba ¹³³	10.5 năm	276,39 và 356,01

Ngoài ra có thể sử dụng, một nguồn chuẩn Ra²²⁶ cân bằng với các đồng vị con cháu của nó để chuẩn kênh - năng lượng. Các đặc trưng phổ năng lượng bức xạ gamma của nguồn Ra²²⁶ được chỉ ra trong bảng 4.2.

Bảng 4.2. Đặc trưng năng lượng của nguồn Ra²²⁶ cân bằng phóng xạ

TT	Tên đồng vị	Chu kỳ bán rã T 1/2	Năng lượng bức xạ gamma E _γ (KeV)
1	Ra ²²⁶	1600 năm	186,21
2	Pb ²¹⁴	28,6 phút	241,96
			295,21
			351,92
3	Bi ²¹⁴	19,9 phút	609,32
			1120,28
			1238,11
			1764,51

4.5. Bộ nguồn chuẩn định lượng: Các nguồn chuẩn định lượng cần có kích thước hình học và mật độ vật chất tương tự như mẫu đo. Hoạt độ phóng xạ trong chất chuẩn cần được xác định với sai số không lớn hơn ± 10 %. Có thể sử dụng 02 bộ nguồn chuẩn dưới đây để xây dựng chương trình tính định lượng các nhân phóng xạ cho mẫu đo

4.5.1. Bộ nguồn chuẩn dùng cho môi trường

1. Nguồn chuẩn U²³⁸ cân bằng, hàm lượng $5,667 \times 10^{-2} \text{g/g}$ với kích thước hình học như sau: hình trụ $\phi = 67 \text{ mm}$, chiều cao $h = 15 \text{ mm}$;
2. Nguồn chuẩn Th²³² cân bằng, hàm lượng $6,08 \cdot 10^{-4} \text{g/g}$ với kích thước hình học như sau: Hình trụ $\phi = 67 \text{ mm}$, chiều cao $h = 15 \text{ mm}$;
3. Nguồn chuẩn Cs¹³⁷, hoạt độ $5,9 \cdot 10^{-10} \text{ Ci}$ với kích thước hình học: hình trụ $\phi = 67 \text{ mm}$, chiều cao $h = 22 \text{ mm}$, khối lượng 27,916 g;

4. Nguồn chuẩn K^{40} hàm lượng 17,34 % với kích thước hình học như sau: Hình trụ $\phi = 67$ mm, chiều cao $h = 15$ mm, khối lượng 36,00 g;

4.5.2. Bộ nguồn chuẩn dùng cho phân tích các mẫu quặng:

1. Nguồn chuẩn Uran: IAEA -RGU-1 (quặng uran) với U^{238} ở trạng thái cân bằng phóng xạ với Ra^{226} . Chất nền là Silicat, hoạt độ nguồn chuẩn là:

- U^{238} : Hoạt độ 4940 Bq/kg;

- U^{235} : Hoạt độ 228 Bq/kg;

- Th^{232} : Hoạt độ < 4 Bq/kg;

Kích thước nguồn chuẩn: Hộp hình trụ $\Phi = 92$ mm, chiều cao chất dùng làm chuẩn $h \cong 20$ mm; khối lượng 150 gam.

2. Nguồn chuẩn Thori: IAEA- RGTh-1 (quặng thori) ở trạng thái cân bằng giữa Th^{232} với Ac^{228} . Chất nền là Silicat, hoạt độ nguồn chuẩn là:

- Th^{232} : Hoạt độ 3250 Bq/kg ;

- U^{238} : Hoạt độ 78 Bq/kg;

- U^{235} : Hoạt độ 3,6 Bq/kg;

Kích thước nguồn chuẩn: Hộp hình trụ $\Phi = 92$ mm, chiều cao chất dùng làm chuẩn $h \cong 20$ mm; khối lượng 150 gam.

3. Nguồn chuẩn Kali: IAEA-K-1 (sunphát Kali)

- K^{40} : Hoạt độ 14.000 Bq/kg

Kích thước nguồn chuẩn: Hộp hình trụ $\Phi = 92$ mm, chiều cao chất dùng làm chuẩn $h \cong 20$ mm; khối lượng 150 gam.

5. Công tác chuẩn bị và gia công mẫu

5.1 Chuẩn bị và gia công mẫu đất: trọng lượng mẫu trước khi gia công từ 2-3kg; trọng lượng tối thiểu phải $\geq 0,1$ kg (tùy theo loại mẫu phân tích). Mẫu được phơi hoặc sấy khô, sau đó nghiền nhỏ đến cỡ hạt 0,1mm, trộn đều. Cân và ghi lượng mẫu chính xác vào sổ theo dõi, lấy từ 0,3-0,5kg vào hộp đo (tùy thuộc loại hộp dùng đo mẫu).

Chú ý 1: các mẫu đất sau khi gia công, không đo ngay, phải đưa vào trong bình hút ẩm để bảo quản. Nếu dùng lò sấy để làm khô mẫu phải đặt nhiệt độ trong lò $< 50^{\circ}C$. Khi mẫu khô, để nguội dần xuống dưới $30^{\circ}C$ mới mang ra khỏi lò.

5.2 Chuẩn bị và gia công mẫu nước: mẫu nước được cho bay hơi bằng bộ cát quay chân không và làm khô bằng cách phơi hoặc dùng tủ sấy. Mẫu được nghiền nhỏ trên cối mã não, sau đó đưa mẫu vào sấy khô ở nhiệt độ $< 50^{\circ}C$, để nguội dần xuống dưới $30^{\circ}C$ thì mang mẫu ra, cân chính xác trọng lượng mẫu và đưa vào hộp đo chuyên dụng để đo.

TCVN 9420 : 2012

Chú ý 2: Trường hợp mẫu đã mang ra khỏi tủ sấy, không tiến hành đo ngay, cần đưa vào bình hút ẩm để bảo quản.

5.3 Chuẩn bị và gia công mẫu thực vật: mẫu thực vật được phơi khô dưới nắng hoặc sấy khô, cân trọng lượng mẫu khô. Đem tro hoá mẫu trong lò nung ở nhiệt độ < 450°C, để tránh sự thăng hoa của một số nhân phóng xạ. Chờ đến khi lượng mẫu được tro hóa hoàn toàn, lượng tro trong lò chuyển thành màu trắng hoặc hồng nhạt, tắt lò, chờ nhiệt độ trong lò giảm xuống dưới 200°C thì đưa mẫu ra ngoài, cân chính xác trọng lượng tro và nén chặt lượng tro cần đo vào hộp đo.

Chú ý 3: Khi không có điều kiện đo ngay, cần bảo quản tro trong bình hút ẩm.

5.4 Chuẩn bị và gia công mẫu Sol khí: cắt bỏ phần chòem ra ngoài của giấy lọc, gấp giấy hoặc cắt giấy thành các miếng hình tròn lọt trong hộp đo, xếp nhiều miếng giấy lọc liền nhau, nén chặt xuống cho bằng với hộp mẫu, dùng vải sạch lau kỹ xung quanh hộp rồi chuyển tới phòng đo.

Đo mẫu bằng các hộp hình trụ hoặc hình giếng tùy vào số lượng giấy lọc nhiều hay ít nhưng chủ yếu ta dùng các hộp hình trụ.

6 Thiết lập các đường chuẩn, đo mẫu và tính kết quả

6.1. Tính hiệu suất đếm của thiết bị:

Sử dụng chương trình GammaVision-32 để xác định diện tích các đỉnh năng lượng đặc trưng của các nguồn chuẩn và tính hiệu suất đếm của thiết bị tại mỗi đỉnh năng lượng xác định theo công thức sau:

$$\varepsilon(E) = \frac{R_s - R_o}{A_s} 100 [\%] \quad (2)$$

Trong đó :

$\varepsilon(E)$ là hiệu suất đếm tại năng lượng E (KeV), %

R_s là tốc độ đếm nguồn chuẩn tại đỉnh năng lượng E, xung/giây.

R_o là tốc độ đếm phông, xung/giây.

A_s là Hoạt độ bức xạ gamma của nguồn chuẩn tại năng lượng E, Bq.

6.2. Lập đường chuẩn định lượng:

Mở chức năng chuẩn hiệu suất trên thanh công cụ của chương trình GammaVision 32. Nhập các giá trị hiệu suất xác định được vào chương trình phân tích phổ. Chương trình sẽ tự động tính đường cong hiệu suất đo của máy phân tích phục vụ cho phân tích định lượng. Đường chuẩn hiệu suất được chương trình tính toán và lưu trên máy để tính hoạt độ cho từng mẫu đo.

Sau khi đã có các đường chuẩn kênh - năng lượng, đường chuẩn hiệu suất tương ứng với các hình học đo, ta bắt đầu tiến hành đo mẫu và sử dụng các đường chuẩn tương ứng để tính hoạt độ các nhân phóng xạ trong mẫu.

6.3. Đo mẫu:

Trước và sau mỗi khi đo một loạt mẫu nào đó, phải tiến hành đo phòng và lưu số liệu đo phòng vào máy tính.

Các file kết quả đo từng mẫu phải được lưu riêng biệt vào máy theo hướng dẫn phần mềm xử lý.

6.4. Tính hoạt độ phóng xạ của các đồng vị phóng xạ: do phần mềm tính toán điều khiển, người sử dụng cần nắm được thao tác cơ bản. Kết quả phân tích phổ, tính toán hoạt độ các đồng vị đo được hiển thị trên màn hình máy tính và lưu vào một file riêng biệt trong máy tính.

7. Đánh giá chất lượng phân tích

7.1 Các nguồn dẫn đến sai số phân tích hoạt độ phóng xạ trong mẫu bao gồm các nguồn sau:

- Sai số cân đo xác định khối lượng mẫu;
- Sai số xác định đường chuẩn hiệu suất đo;
 - Sai số thống kê của phép đo và tính toán phổ năng lượng.

Khi đo phổ năng lượng, sai số xác định các diện tích đỉnh năng lượng được hiển trên màn hình cửa sổ đo. Trong quá trình đo phổ, ta có thể kiểm tra sai số xác định diện tích các đỉnh năng lượng. Với thời gian đo đủ lớn, sai số này giảm dần xuống dưới 10% thì có thể dừng đo.

Sai số thống kê khi đo phổ năng lượng và xác định hoạt độ đồng vị từ phổ đo được chương trình GammaVision32 tính toán tự động khi tiến hành phân tích phổ. Kết quả tính sai số thống kê tuyệt đối của các đồng vị phân tích được thể hiện tại cột "+/-" trong bảng kết quả phân tích.

Thông thường trong quan trắc phóng xạ môi trường, các phép phân tích hoạt độ phóng xạ của các đồng vị có sai số thống kê $\leq 15\%$ có thể chấp nhận được.

7.2 Xác định giới hạn phát hiện: Hoạt độ nhỏ nhất có thể xác định được (MDA) hay gọi là giới hạn xác định là số đo hoạt độ nhỏ nhất có thể xác định được bằng phép phân tích phổ năng lượng của các đồng vị phóng xạ.

Có rất nhiều yếu tố ảnh hưởng đến Giới hạn xác định hoạt độ phóng xạ như: hình học mẫu đo, số đếm phòng (do độ ổn định của máy phân tích và nguồn phóng xạ), thời gian đo, các hạt nhân phóng xạ nhiều.

Phương pháp xác định MDA trong chương trình GammaVision 32 được xác định thông qua tốc độ đếm Peak (đỉnh).

Tốc độ đếm peak được xác định bằng công thức sau:

$$Toc\ do\ dem = \frac{\frac{100}{Sen} \times \sqrt{2xBKG + \frac{2500}{sen^2}} + \frac{50}{sen}}{LiveTime}$$

Trong đó:

TCVN 9420 : 2012

Sen = Độ nhạy (sensitivity); là một thông số được sử dụng trong chương trình phân tích để xác định các đỉnh năng lượng. Thường lấy Sen = 3

BKG là số đếm phông tại đỉnh năng lượng tương ứng.

LiveTime là thời gian sống của máy đo.

Phụ lục A**Danh mục tài liệu tham khảo**

- 1.1 Bộ Khoa học, Công nghệ và Môi trường (1996), *Tiêu chuẩn Việt Nam về môi trường*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ Thuật.
- 1.2 Bộ Khoa học, Công nghệ và môi trường (1998), *Văn bản qui phạm pháp luật về an toàn và kiểm soát bức xạ*, Ban An toàn Bức xạ và Hạt nhân, Hà Nội.
- 1.3 Nguyễn Văn Nam (2009), *Nghiên cứu cơ sở khoa học xác định mức độ ô nhiễm môi trường của các nguồn phóng xạ tự nhiên để xây dựng quy trình công nghệ đánh giá chi tiết các vùng ô nhiễm phóng xạ tự nhiên*, Lưu trữ Liên đoàn Địa chất xạ hiếm, Hà Nội.
- 1.4 Lê Khánh Phồn (2004), *Thăm dò phóng xạ*, Nhà xuất bản Giao thông Vận tải, Hà Nội.
- 1.5 TCVN 6053: 1995, *Chất lượng nước - đo tổng độ phóng xạ alpha trong nước không mặn - phương pháp nguồn dày*, Trung tâm Tiêu chuẩn - Chất lượng xuất bản.
- 1.6 TCVN 6219:1995, *Chất lượng nước - đo tổng độ phóng xạ beta trong nước không mặn*, Trung tâm Tiêu chuẩn - Chất lượng xuất bản.
- 1.7 IAEA Safety standards No.115 (1996), *International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources*, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- 1.8 ICRP - Publication 82, *Protection of the Public in situation of Prolonged Radiation Exposure*, Published by PERGAMON.
- 1.9 IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES No.295 (1989), *Measurement of radionuclide in food and the environment*, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- 1.10 IAEA Safety Reports Series No. 49 (2006), *Assessing the need for Radiation Protection Measures in Work Involving Minerals and Raw Materials*, International Atomic Energy Agency, Vienna.

Phụ lục B (Tham khảo)

Mẫu tham khảo kết quả đo đồng vị phóng xạ sau khi phân tích bằng phần mềm GammaVision 32

Detector #1 ACQ 13-îêð-2010 at 12:55:22 RT = 14869.4 LT = 14745.3

TUONG MCB 129

Mau_QTMT

ROI#	RANGE(keV)		GROSS	NET	+/-	CENTROID	FWHM	FW(1/3)M	LIBRARY (keV)	Bq	+/-
1	60.94	64.91	47385	15768	271	63.23	0.94	1.19	Pa-234 63.29	771.88	8.27
2	141.68	146.14	27974	5468	232	143.85	1.09	1.39	U-235 143.76	61.17	2.60
3	183.78	188.24	63581	43925	294	186.02	1.21	1.51	Ra-226 185.99 ^a	1664.19	9.14
4	240.00	244.21	47252	35888	242	242.03	1.09	1.38	Pb-214 241.92	702.45	4.74
5	292.75	297.45	87581	77934	316	295.39	1.13	1.43	Pb-214 295.32	699.82	2.84
6	349.96	353.92	140403	130152	385	351.99	1.19	1.50	Pb-214 351.99	709.47	2.10
7	607.27	611.73	98635	93701	323	609.51	1.37	1.74	Bi-214 609.32	696.64	2.40
8	908.42	914.37	3706	1077	96	911.58	1.64	2.02	Ac-228 911.07	16.67	1.49
9	998.32	1004.76	3652	1424	96	1001.50	1.57	1.98	Th-234 1001.00	766.39	1.67
10	1117.45	1123.89	21620	19460	164	1120.76	1.71	2.17	Bi-214 1120.28	691.35	5.83
11	1235.34	1242.27	8624	6884	116	1238.66	1.78	2.26	Bi-214 1238.11	663.53	9.18
12	1457.99	1465.42	4001	2435	94	1461.34	1.98	2.45	K-40 1460.75	140.35	5.42
13	1761.38	1769.06	16417	15729	136	1765.30	2.10	2.67	Bi-214 1764.51	680.65	5.89
