

Опыт применения спектрометрических комплексов группы предприятий "ГРИН СТАР" при контроле донных отложений.

Дорин А.Б., Ельцин В.Ф.
ООО НИИП «Грин Стар Инструментс»
Изместьев К.М., Сеелев И.Н.
ФГУП «СХК»

Спектрометрические комплексы специализированные (СКС), производимые группой предприятий «Грин Стар», нашли широкий спектр применения в различных отраслях России: атомная, научная, обучающая, таможенная, военная и т.д.

Спектрометрические комплексы используются при спектрометрическом анализе как отдельные измерительные средства регистрации альфа-, бета-, рентгеновского и гамма-излучения, так и в составе многочисленных стационарных и переносных устройств измерения (рентген-флюорисцентные анализаторы состава веществ, системы радиационного и технологического контроля, поисковые системы).

Довольно интересное использование мобильных спектрометрических комплексов СКС было реализовано при решении задачи контроля донных отложений на АЭС и химических комбинатах в атомной отрасли.

Из-за сложного изотопного состава продуктов деления и коррозионных элементов в донных отложениях АЭС и химических комбинатов контроль можно осуществить, используя полупроводниковые детекторы ионизирующих излучений (ППД). Уникальное энергетическое разрешение имеют ППД на основе германия, однако для работы с ним необходимо охлаждение ППД до температуры жидкого азота. Вес и габариты ППД с небольшим сосудом Дьюара, заполненным жидким азотом, позволяют пользователю перемещаться и выполнять необходимые измерения.

В связи с этим, поместили ППД с сосудом Дьюара в корпус из нержавеющей стали, имеющий герметичный шланг с внутренним диаметром, достаточным для расположения внутри шланга комплекта кабелей, предназначенных для съема сигнала с детектора и подачи на него питающего напряжения.

В комплект мобильного спектрометрического комплекса СКС вошел процессор импульсных сигналов SBS-75, который был установлен в слот расширения PCI переносного, защищенного от воздействия окружающей среды в соответствии с IP54 исполнения ноутбука Dolch с питанием от автономных источников (аккумуляторов) (см. рис.1). Наличие в комплексе специализированного программного обеспечения «GammaPro» позволило реализовать функцию определения активности счетных образцов в геометрии протяженного источника: куб (прямоугольные контейнеры), плоские источники (пластина, поверхность), цилиндр (бочка, труба), сфера с учетом поглощения излучения в материале образца и защитном слое воды с использованием моделирования по методу Монте-Карло.



Рис.1

При проведении испытаний мобильного погружного спектрометрического комплекса проводилась экспериментальная проверка соблюдения требований к составу, конструктивному устройству, геометрии измерений и правильности определения нуклидного состава и активности радиоактивных веществ в геометрии протяженного источника (цилиндр, прямоугольник), погруженного в воду. Для этого использовалась 200 литровая бочка в которую погружались источники различной геометрической формы и заливалась вода.

Вид спектра одного из источников с радионуклидами Ва-133 и Eu-152, размещенных на дне бочки с водой, представлен на рис. 2.

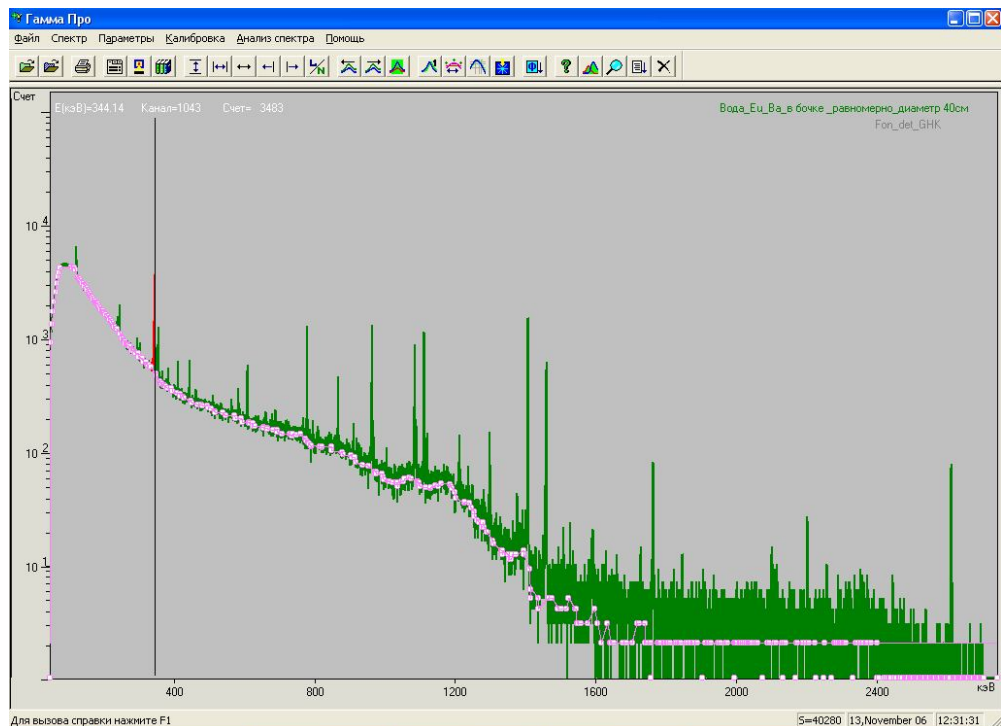


Рис.2

На основании проведенных измерений, расчета активности и сравнения экспериментальных данных с паспортными значениями активности образцовых источников, можно сделать вывод, что при измерении активности различных источников находящихся под водой, отклонение от паспортного значения менее 50% не превышает значение расширенной неопределенности измерений составляющее 60%.

В настоящее время производятся ППД, где в качестве детекторов ионизирующих излучений используется теллурид кадмия. Из-за более широкой запрещенной зоны тепловая генерация носителей зарядов в теллуриде кадмия на несколько порядков ниже, чем у германия и кремния. Поэтому, такие детекторы можно эксплуатировать при комнатной и повышенной температуре.

С точки зрения поглощения гамма излучения теллурид кадмия имеет преимущества по сравнению с германием. В связи с тем, что у теллурида кадмия эффективный атомный номер ($Z_{\text{эф}} \approx 52$) существенно больше, чем у германия ($Z=32$), теллурид кадмия обладает способностью поглощать гамма-излучение значительно больше, чем германий.

Учитывая, что объемы чувствительных областей детекторов из теллурида кадмия не превышают двух кубических сантиметров, эти детекторы нашли преимущественное применение для регистрации гамма- квантов с энергией до 1,5 МэВ при повышенных входных нагрузках спектрометрического тракта.

Для обработки сигналов ППД на основе теллурида кадмия, формирования питающего и высокого напряжения ППД, использовался процессор импульсных сигналов из спектрометрического комплекса СКС-08П «Колибри». Сигнал с выхода ППД подавался на вход процессора импульсных сигналов "Колибри", в котором усиливался, формировался специальным образом для получения оптимального отношения сигнал/шум и преобразовывался в цифровой код, пропорциональный поглощённой энергии. Получаемые коды накапливались в памяти процессора и образовывали энергетический спектр излучения.

Наряду с ППД, широко используются сцинтилляционные детекторы, имеющие большую эффективность регистрации. Однако для более стабильной работы в блоках детектирования, базирующихся на сцинтилляционных кристаллах из NaI(Tl) использовался ФЭУ фирмы «Hamamatsu».

Для проведения натурных испытаний был использован аппаратно-программный комплекс «Нырок-2», базирующийся на спектрометрическом комплексе СКС-08П-Г53 и включающий в себя:

- процессор импульсных сигналов «Колибри» (модель КС-003 «Т») с внутренней программой;
- блок детектирования на основе кристалла CdZnTe объемом 0.5 см^3 с сигнальным кабелем длиной 1.5 м;
- блок детектирования БДЭГ-50(50)Н с сигнальным кабелем длиной 1.5 м;
- выносную штангу длиной 3 м;
- герметичный водонепроницаемый корпус для установки любого из блоков детектирования и процессора импульсных сигналов «Колибри» с выходом связи на Notebook через порт связи RS-232;
- ЭВМ «Notebook»;

- комплект сигнальных кабелей в герметичном исполнении для связи процессора импульсных сигналов «Колибри» с компьютером «Notebook» 10 м длиной;
- герметичную транспортную упаковку (пластиковый чемодан);
- комплект специализированного программного обеспечения получения спектров - эмулятор анализатора «Esbs» и обработки спектров - «ScintBasic»;
- комплект образцовых источников ОСГИ;
- лебедка.

Так как измерения необходимо было проводить под водой, то блоки детекторования помещались в герметичный пенал (рис.3). Блоки детекторования располагали в нижней части пенала. Нижний торец пенала из нержавеющей стали имел толщину 0,8 мм. В пенал также помещался процессор импульсных сигналов «Колибри» с выходом связи на Notebook через порт связи RS. Управление процессом измерения происходило от ЭВМ типа Notebook.



Рис.3

Пенал имел сверху скобу для крепления к штанге или лебедке (см. рис.4).



Рис.4

Подготовка к испытаниям заключалась в проведении калибровки аппаратно-программного комплекса с процессором импульсных сигналов «Колибри» с каждым из двух блоков детектирования (на основе кристаллов CdZnTe и NaI(Tl)) по энергии и эффективности регистрации в геометрии «точечный источник в воде».

Проведение испытаний спектрометрического комплекса СКС с процессором импульсных сигналов «Колибри» проводилось в два этапа:

1. Натурные испытания счётных образцов с образцовыми источниками ОСГИ, размещёнными в пластиковых кюветах на дне бочки с водой.
2. Натурные испытания комплекса при измерении серии аппаратурных спектров гамма - излучения в донных отложениях на одном из предприятий атомной отрасли.

Для анализа каждого счетного образца (источника ОСГИ), размещенного в пластиковой кювете на дне бочки с водой:

- опускали герметичный водонепроницаемый корпус с одним из блоков детектирования и процессором импульсных сигналов «Колибри» в бочку с водой, используя выносную штангу;
- производили набор спектра в течение времени Δt на специализированном программном обеспечении эмулятор анализатора «Esbs»;
- автоматически происходила идентификация гамма - излучающих радионуклидов и расчет активности счетного образца программой обработки спектров «ScintBasic».

Результаты проведения натурных испытаний гамма- спектрометрического комплекса «Нырок-2» с образцовыми источниками ОСГИ и рабочим источником U-235, размещёнными в пластиковых кюветах на дне бочки с водой сведены в таблицы.

Таблица 1

Результаты проведения натуральных испытаний комплекса «Нырок-2» с блоком детектирования на основе кристалла CdZnTe.

| Радионуклид | Активность, Бк | | $\frac{(A_o - A_p)}{A_o}$, % | Расширенная неопределенность, % (P=0.95) |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|--|
| | Паспортная A_o | Расчетная A_p | | |
| Cs-137 | $4.79 \cdot 10^4$ | $4.85 \cdot 10^4$ | 1.3 | 57.3 |
| Ba-133 | $1.79 \cdot 10^4$ | $2.36 \cdot 10^4$ | 24.2 | 57.1 |
| Eu-152 | $2.86 \cdot 10^4$ | $2.32 \cdot 10^4$ | 18.9 | 57 |
| Am-241 | $3.24 \cdot 10^4$ | $1.26 \cdot 10^4$ | 61 | 56.9 |
| U-235 | - | $1.4 \cdot 10^4$ | - | 58.9 |

Результаты проведения натуральных испытаний комплекса «Нырок-2» с блоком детектирования на основе кристалла NaI(Tl).

Таблица 2

| Радионуклид | Активность, Бк | | $\frac{(A_o - A_p)}{A_o}$ % | Расширенная неопределенность, % (P=0.95) |
|-------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|--|
| | Паспортная A_o | Расчетная A_p | | |
| Cs-137 | $4.79 \cdot 10^4$ | $4.75 \cdot 10^4$ | 0.8 | 25 |
| Eu-152 | $2.86 \cdot 10^4$ | $2.99 \cdot 10^4$ | 4.3 | 24.6 |
| Co-60 | $2.27 \cdot 10^4$ | $2.20 \cdot 10^4$ | 3.1 | 24.6 |

Вид спектра образцовых источников Am-241, Cs-137 и Co-60, размещенных в пластиковых кюветах на дне бочки с водой, снятый на гамма-спектрометрическом комплексе «Нырок-2» с блоком детектирования на основе кристалла CdZnTe представлен на рис. 5.

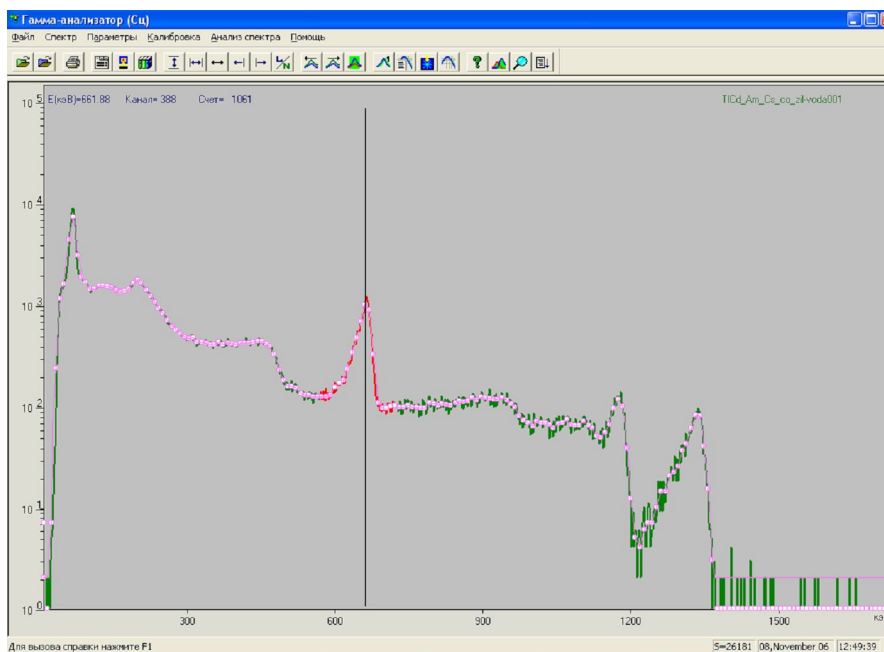


Рис.5

В области малых энергий квантов (до нескольких десятков кэВ) преобладающим видом взаимодействия является фотоэффект. При таких энергиях образование фотоэлектронов происходит в тонких приповерхностных слоях полупроводникового

материала ППД. Созданные носители заряда практически собираются в одинаковых условиях. Поэтому пики полного поглощения хорошо соответствуют форме распределения Гаусса.

По мере увеличения энергии регистрируемого кванта его взаимодействие с полупроводниковым материалом происходит в более глубоких слоях материала. Поэтому на форме пика полного поглощения начинает сказываться двухкомпонентный характер импульса тока. Этот эффект носит выраженный характер у «толстых» детекторов с протяженной чувствительной областью (более нескольких миллиметров). При сборе заряда его часть, обусловленная в основном относительно медленным движением носителей, теряется (как из-за малого времени жизни носителей, так и из-за захвата их ловушками и их потерями на центрах рекомбинации). Это приводит к появлению у пика полного поглощения с левой стороны затянутой части («хвоста»), которая наблюдается практически у всех пиков при энергиях квантов свыше 100 кэВ.

Вид спектра образцовых источников Am-241, Cs-137 и Co-60, размещенных в пластиковых кюветах на дне бочки с водой, снятый на гамма-спектрометрическом комплексе «Нырок-2» с блоком детектирования на основе кристалла NaI(Tl) представлен на рис. 6.

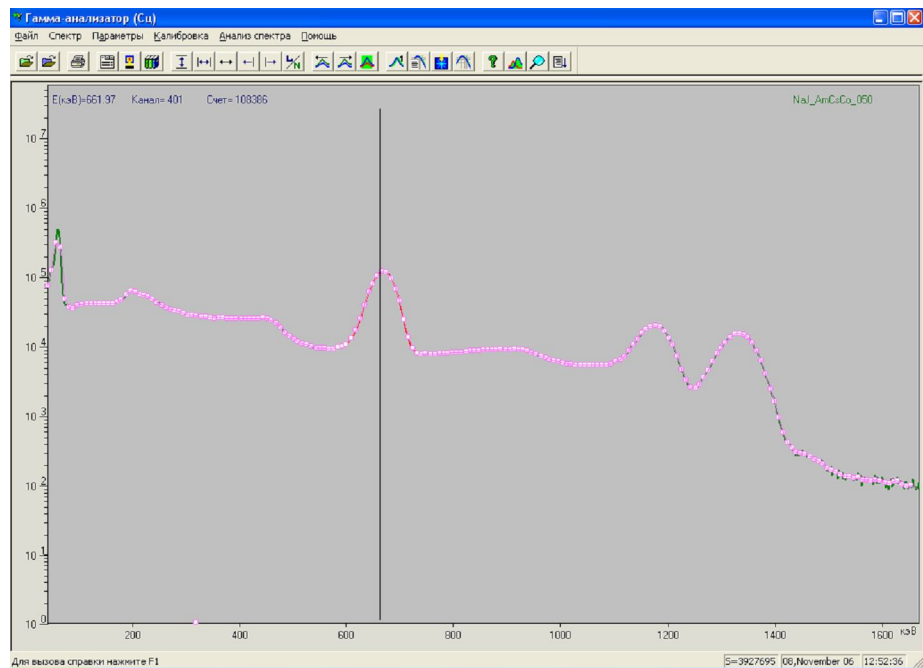


Рис.6

Расширенная неопределённость расчета активности счетных образцов с образцовыми источниками ОСГИ и рабочим источником U-235, размещенными в пластиковых кюветах на дне бочки с водой, не превышает 60% с блоком детектирования на основе кристалла CdZnTe при времени экспозиции от 1000 до 2000 с и не превышает 25% с блоком детектирования на основе кристалла NaI(Tl) при времени экспозиции от 8000 до 15000 с.

Опытный образец спектрометрического комплекса СКС с блоком детектирования на основе кристалла CdZnTe уверенно идентифицировал наличие источника U-235 в ампуле, помещенной в бочку с водой.

Результаты проведения натуральных испытаний гамма-спектрометрического комплекса «Нырок-2» с образцовыми источниками типа ОСГИ и рабочим источником U-235 подтверждают, что спектрометрического комплекса СКС является

работоспособным и может решить задачи по идентификации продуктов деления и коррозионных элементов в донных отложениях АЭС и химических комбинатов.

Натурные испытания комплекса при измерении серии аппаратурных спектров гамма - излучения в донных отложениях на ФГУП «СХК» проводили следующим образом:

- Используя лебёдку, опускали герметичный водонепроницаемый корпус с блоком детектирования CdZnTe и процессором импульсных сигналов «Колибри» в бассейн, фиксируя в журнале место спуска.
- Производили набор спектра в течение времени Δt . Длительность набора от 100 до 300 с специализированным программным обеспечением «Esbs», установленный в ЭВМ «Notebook».
- Программа обработки спектров «ScintBasic» автоматически проводила идентификацию гамма - излучающих радионуклидов. После чего на экране появлялся итоговый протокол обработки.

Результаты проведения натурных испытаний гамма- спектрометрического комплекса «Нырок-2» в донных отложениях показали, что основным радионуклидом, который приносит всю входную загрузку спектрометрического тракта является Cs-137. В спектрах наблюдается присутствие радионуклидов Eu-152 и Co-60 (см. рис.7).

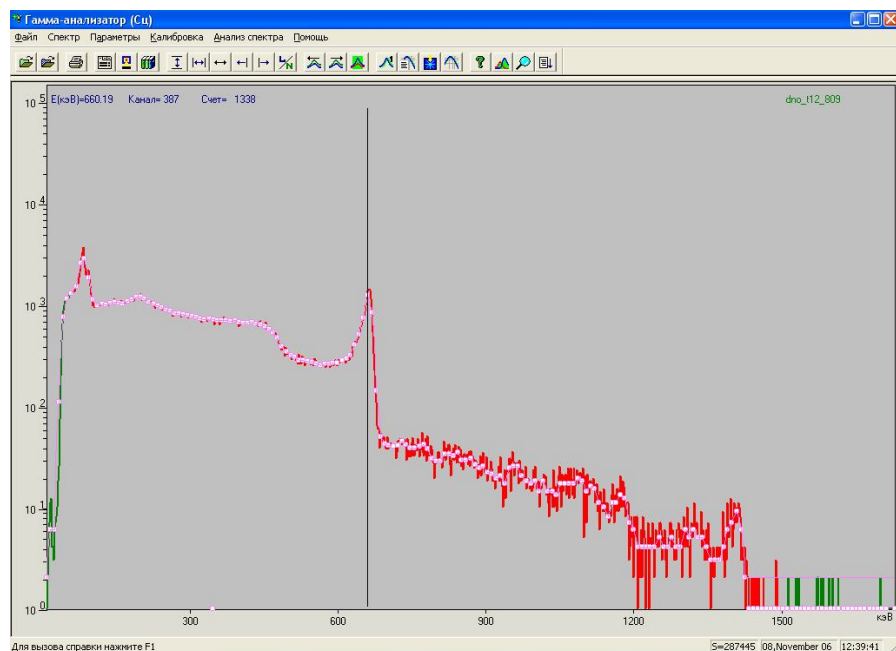


Рис.7

В результате обработки спектров, полученных при измерениях донных отложений во ФГУП «СХК», сделаны выводы, что скорость счёта пика полного поглощения 662 кэВ радионуклида Cs-137, можно соотнести с массой ядерного топлива, а наличие счёта в энергетическом диапазоне выше 1500 кэВ, являющееся показателем наличия интенсивного спонтанного деления радионуклида Pu-240, подтверждает присутствие вблизи детектора облученного ядерного топлива.

Вид спектра на гамма- спектрометрическом комплексе «Нырок-2» с блоком детектирования на основе кристалла CdZnTe при отсутствии вблизи блока ОЯТ (см. рис.8).

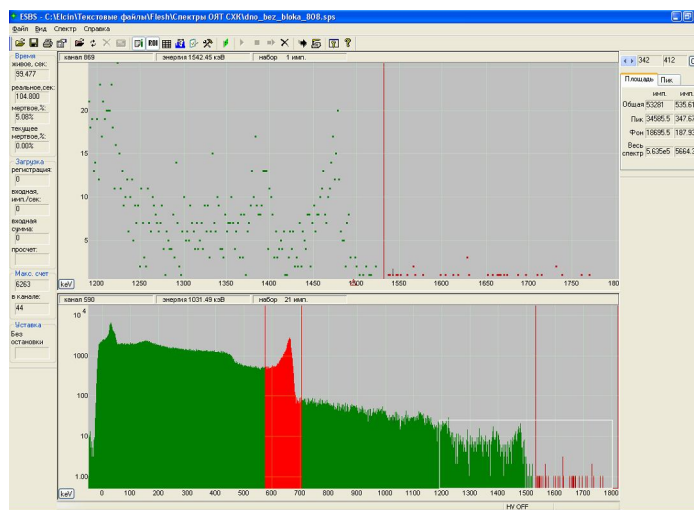


Рис.8

Вид спектра на гамма- спектрометрическом комплексе «Нырок-2» с блоком детектирования на основе кристалла CdZnTe в присутствии вблизи блока ОЯТ (см. рис.9).

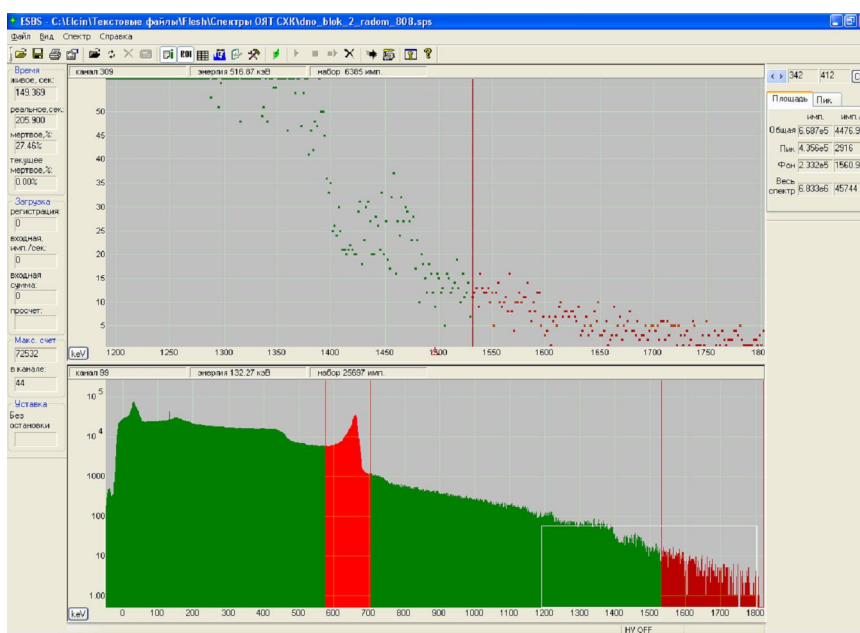


Рис.9

Гамма- спектрометрические комплексы «Нырок-1» и «Нырок-2» апробированы для выполнения поставленной перед ними задачи и могут быть поставлены Заказчику в минимальные сроки.