

## GM-GAMMA-1000

*Полевой гамма-спектрометр для проведения наземной и аэросъемки*



### Область применения

Гамма-спектрометрия решает следующие задачи:

- геологическое картирование местности при поиске твердых полезных ископаемых;

- выявление повышенных содержаний радиоактивных элементов при поиске месторождений урана и приуроченных к ним месторождений золота и других полезных ископаемых [1,2];

- экологические исследования при выяснении наличия загрязнений радиоактивными веществами, например, Cs-137, выпавшего с радиоактивными осадками после аварии на Чернобыльской АЭС.

Обследование больших площадей целесообразно проводить с помощью аэросъемки, в настоящее время для таких целей широко применяются беспилотные летательные аппараты.

Прибор **GM-GAMMA-1000** позволяет проводить как аэро, так и пешеходную спектрометрическую гамма-съемку.

## Технические характеристики

<b>Габариты прибора</b>	
Диаметр	141 мм
Длина (высота)	364 мм
Общий вес в стандартной комплектации для наземной съёмки (включая сменный АКБ)	5,8 кг
<b>Характеристики детектора</b>	
Кристалл	Монокристаллический сцинтиллятор NaI (Tl)
Диаметр кристалла	100 мм
Высота кристалла	125 мм
Объём кристалла	1 литр (982 мл)
Тип ФЭУ	R1307
Энергетическое разрешение	7,5%
<b>Особенности записи данных</b>	
Число каналов	4096
Разрядность каналов	16 бит
Мёртвое время	10 мкс
<b>Характеристики питания</b>	
Ёмкость штатного аккумулятора	2200 мАч
Напряжение питания	12 В
Время работы на штатном сменном аккумуляторе	8 часов
Потребляемая мощность	4,5 Вт
<b>Хранение и передача данных</b>	
Устройство хранения	Съёмный SD-флеш-накопитель
Способ передачи данных	Wi-Fi, флеш-карта
<b>Общие характеристики прибора</b>	
Управление прибором	Через Wi-Fi, через страницу, открываемую любым браузером
Встроенные модули	Wi-Fi GPS Высокоточный барометрический высотомер Термометр
Класс защиты от пыли и влаги	IP67
Рабочая температура	-20 – +50 (°C)
Стабилизация шкалы	Аппаратная по пику Th-232
Индикация	Светодиоды на корпусе
Режимы работы	Тестовый – накопление и визуализация спектра Рабочий режим – набор и запись спектра каждую секунду Режим передачи данных

Учитывая, что масса самого кристалла-детектора NaI(Tl) без учета корпуса составляет 3,6 кг, а масса прибора 5,8 кг, можно отметить, что достигнуто высокое соотношение массы кристалла к массе всего прибора.

Большой объем кристалла позволяет получить большой счет в энергетических окнах и хорошую статистическую точность измерений при непрерывном движении. Также хорошей статистической точности способствует небольшое «мертвое время» (время обработки одного импульса ФЭУ).

Управление прибором производится по местной сети Wi-Fi и возможно с любого устройства, имеющего Wi-Fi и интернет-браузер (с ноутбука, мобильного телефона и т.д.). Прибор формирует страницу в сети, которая может открываться любым устройством без специальных требований к его параметрам.



Рис.1. Фото верхней панели прибора GM-GAMMA-1000

Полевые данные записываются на SD – карту, откуда они могут быть скачаны по Wi-Fi или непосредственно с карты после извлечения из прибора.

Прибор содержит модуль GPS, работающий в том числе со спутниками ГЛОНАСС. Спектры измеряются каждую секунду и записываются в текстовый файл в виде строчек, в каждой из которых кроме самого спектра записано время и координаты по GPS, служебная информация (параметры работы системы стабилизации, напряжение питания и пр.). Также имеется датчик атмосферного давления, помогающий определять высоту полета при аэросъемке.

Внутренний термометр позволяет оценить условия работы аппаратуры.

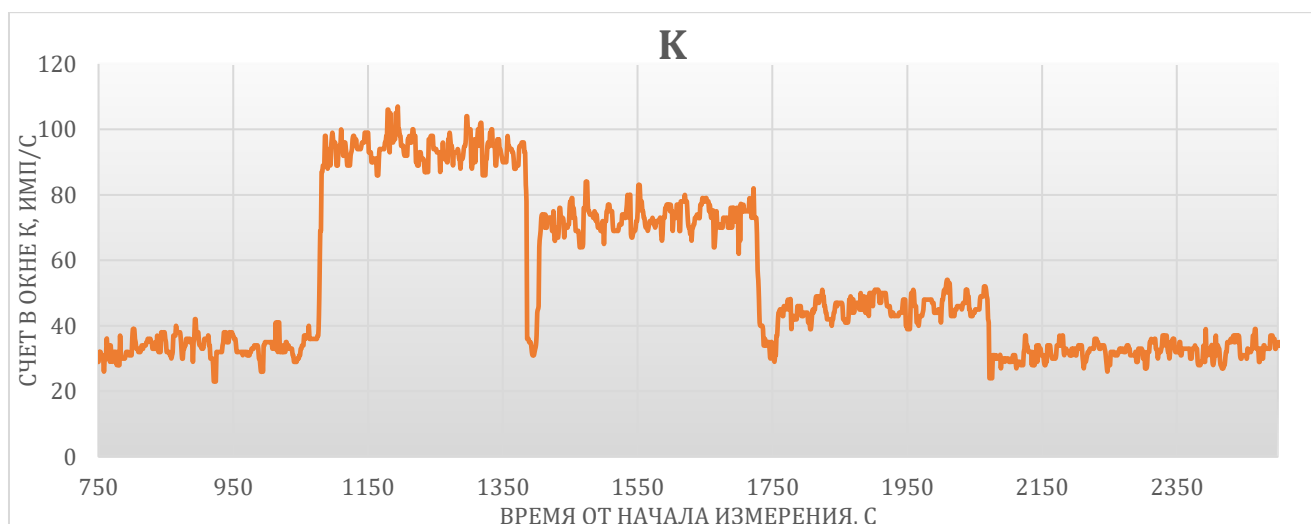
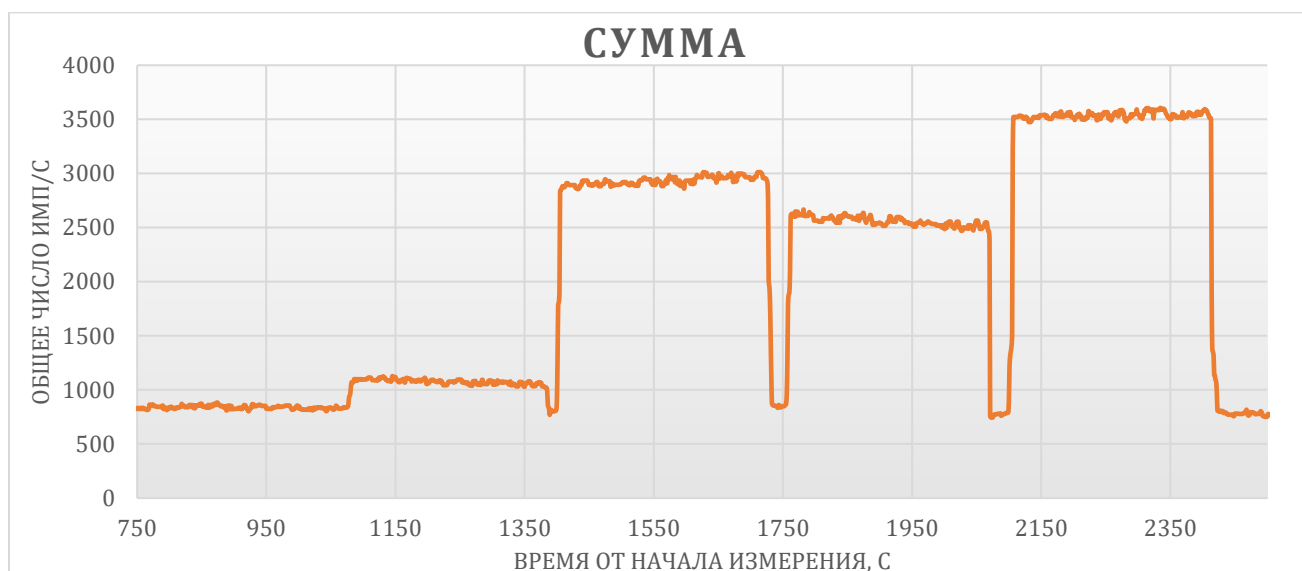
Светодиодная индикация на верхней панели прибора показывает заряд батареи, запись во флэш-память, наличие решения по координатам приемника GPS.

Система аппаратной стабилизации непрерывно отслеживает положение пиков Th (2,62 МэВ) и K-40 (1,46 МэВ) и поддерживает их положение в фиксированных аппаратных каналах.

## Результаты измерений на полевых калибровочных устройствах с повышенными содержаниями U, Th, K, Cs

Для определения спектральных коэффициентов (вклада одних элементов в число импульсов в окне других элементов) были проведены измерения на полевых калибровочных устройствах, которые предоставлены ВСЕГЕИ.

Спектрометр непрерывно производил запись и последовательно перемещался на полевые калибровочные устройства (ПКУ) с повышенным содержанием K, U, Th, Cs. До и после записи спектров на ПКУ записывался фон в помещении. Результат в виде счета в энергетических окнах элементов и суммарного счета показан ниже.



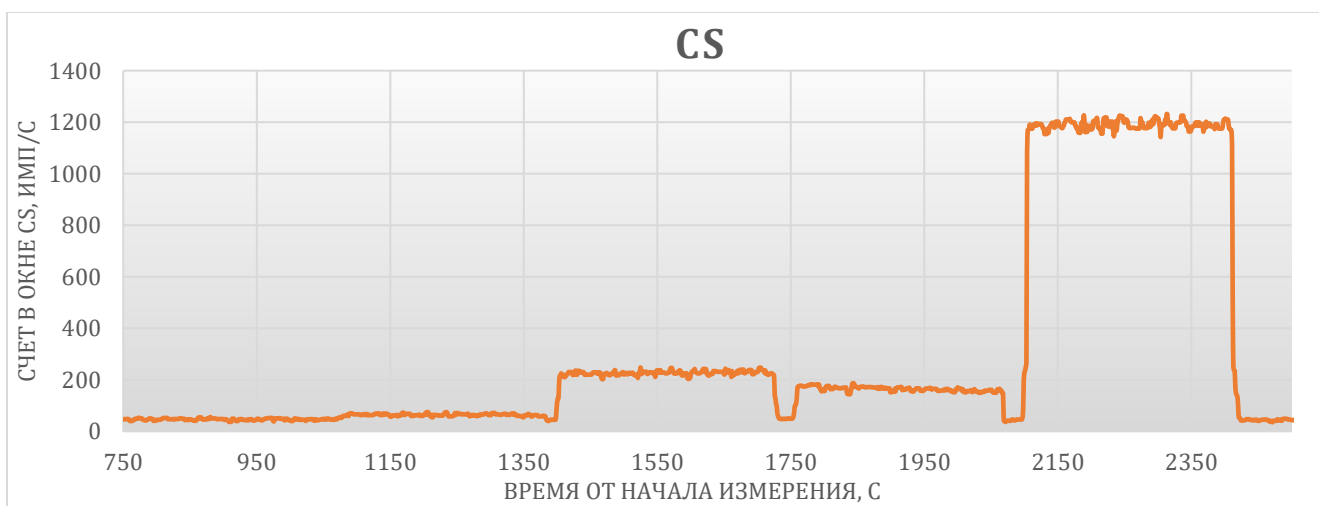
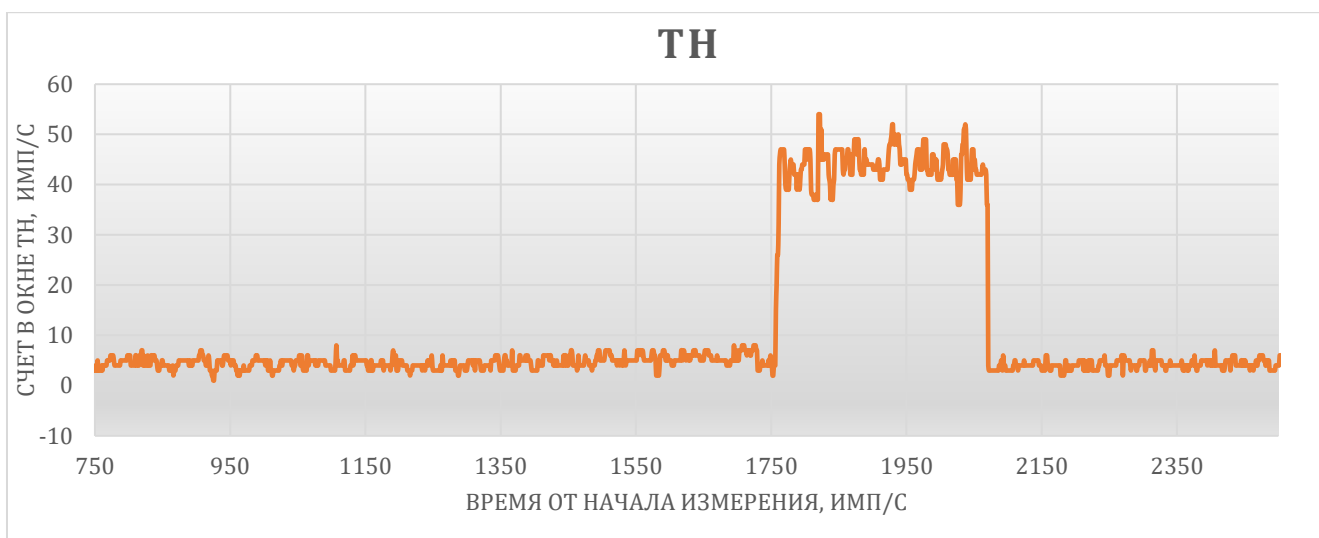
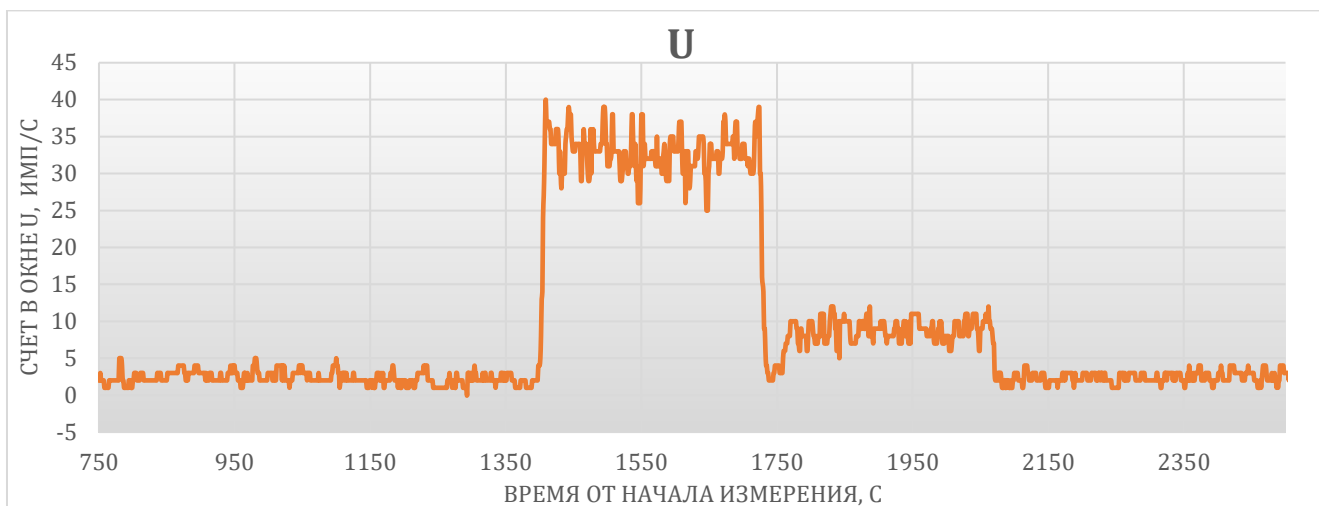


Рис.2. Счет в окнах различных элементов и общая сумма импульсов при последовательном помещении спектрометра на ПКУ с повышенным содержанием К (от 1094 до 1382 с), U (от 1409 до 1722 с), Th (от 1766 до 2067 с), Cs (от 2118 до 2410 с).

Большой объем кристалла, кроме улучшения статистической точности, позволяет более уверенно разделять различные радиоактивные элементы, так как уменьшается относительный вклад комптоновского эффекта от расположенных выше по энергии элементов. Также этому способствует хорошее спектрометрическое разрешение спектрометра GM-GAMMA-1000.

На рис. 3 показаны спектры, полученные на ПКУ, соответствующие замерам на рис. 2.

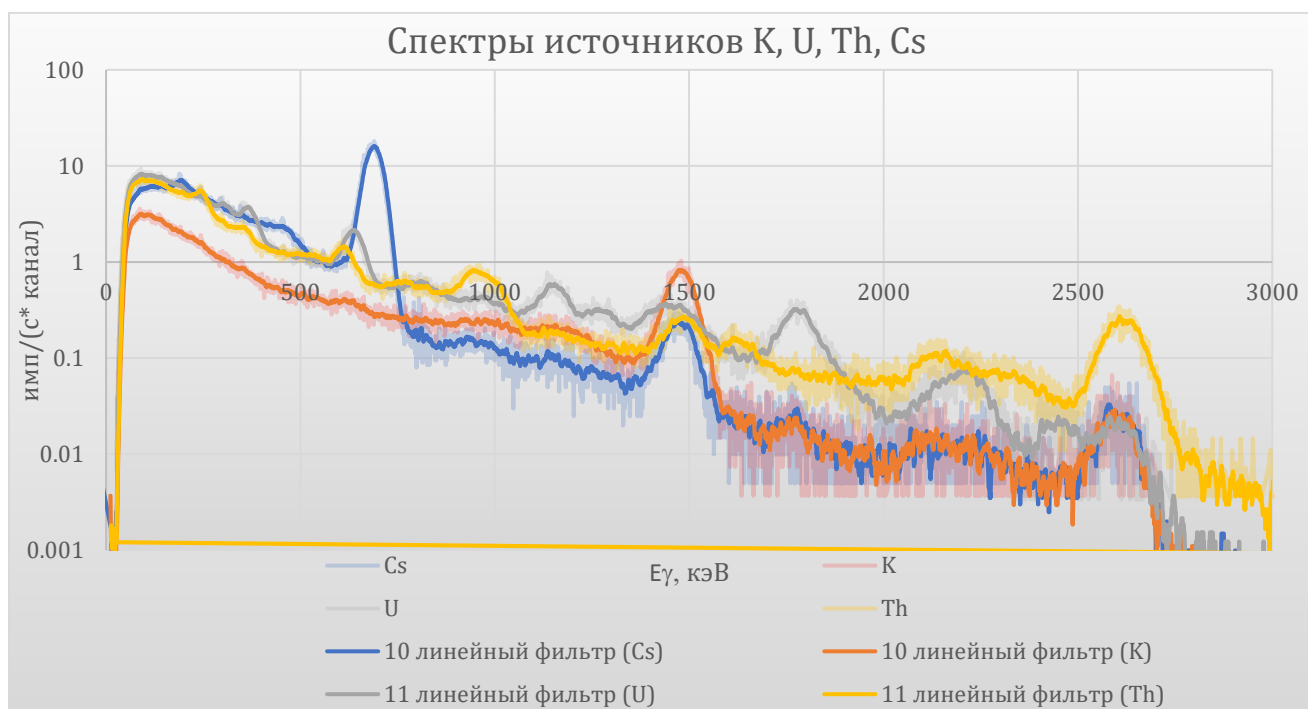


Рис.3. Спектры, полученные при измерениях на ПКУ, в логарифмическом масштабе по вертикальной оси число импульсов в секунду на канал, по горизонтальной оси – энергия гамма-квантов в КэВ.

Относительно высокий вклад других элементов в окно К при данных измерениях объясняется относительно малой активностью конкретного ПКУ, что можно наблюдать на графике общей суммы импульсов.

### Особенности методики измерений полевым спектрометром

## GM-GAMMA-1000

---

Поскольку прибор содержит приемник GPS и ведет непрерывную запись координат для каждого секундного спектра, это позволяет вести измерения в движении, не разбивая профили заранее. Затем полученные данные усредняются по временным интервалам с учетом скорости движения.

Как известно, относительная статистическая (то есть обусловленная статистической природой гамма-излучения) погрешность, например, для измерений в энергетическом окне равна:

$$\Delta = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

, где  $\Delta$  - относительная погрешность измерений,

$N$  - общее число импульсов в окне за время измерения.

Исходя из этой формулы и задаваясь требуемой точностью измерений (обычно 0,15, или 15%), можно определить нужное число импульсов, которое нужно накопить за временной интервал осреднения. Из этих соображений можно определить, что для пешеходной съемки интервал осреднения по расстоянию должен составлять примерно 10 – 15 м.

То есть можно непрерывно передвигаться по профилю и получать данные с дискретностью 10 м.

В то же время при обработке нельзя пренебрегать локальными аномалиями увеличенной гамма-активности. Нужно принимать в расчет, что гамма-излучение от нижележащих пород практически полностью экранируется слоем породы около 0,5 м. В то же время локальные максимумы активности могут быть обусловлены выносом радиоактивных элементов с помощью корневой системы растений, нор животных и т. д.

В итоге методика измерений сводится к следующему: после включения прибора и выхода его на режим начинается непрерывное движение (пешеходное или аэросъемка), затем записанные данные с координатами по GPS используются для построения карт по нерегулярной сетке. Осреднение по профилю выбирается с учетом скорости движения.

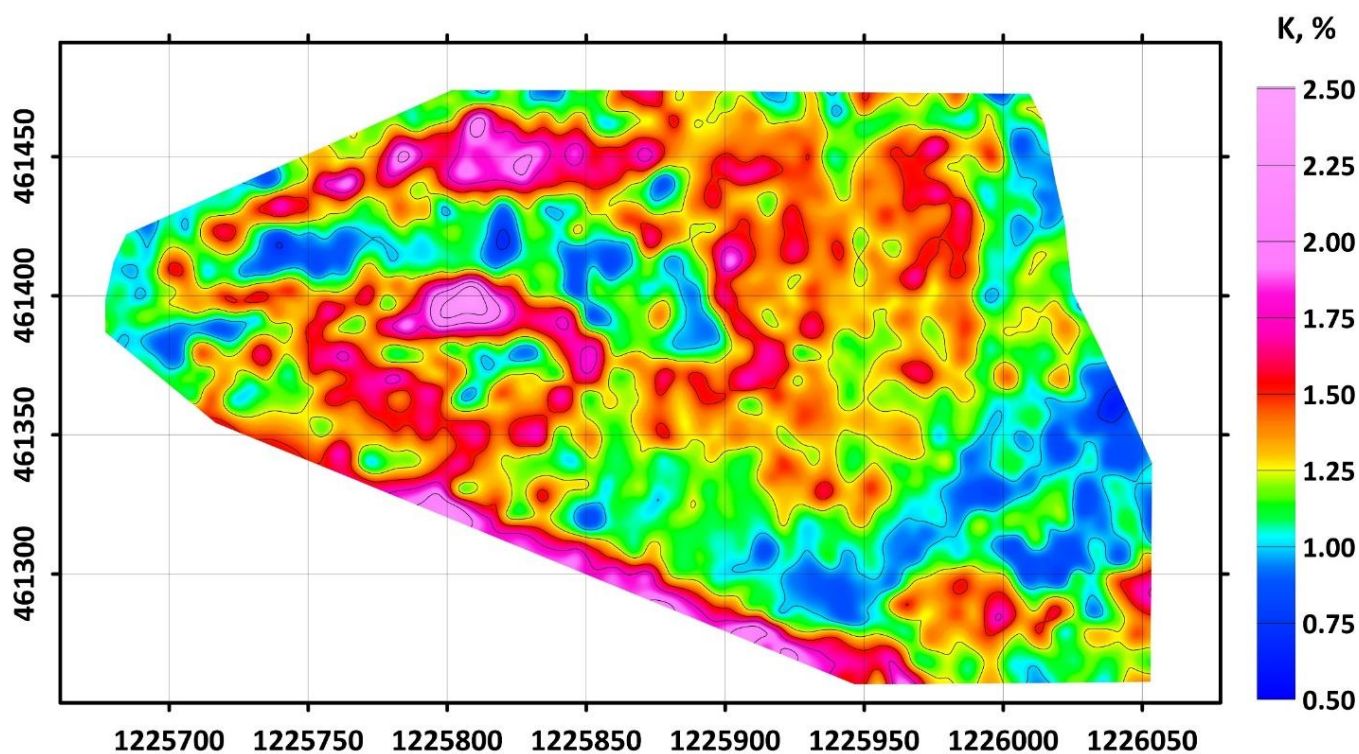
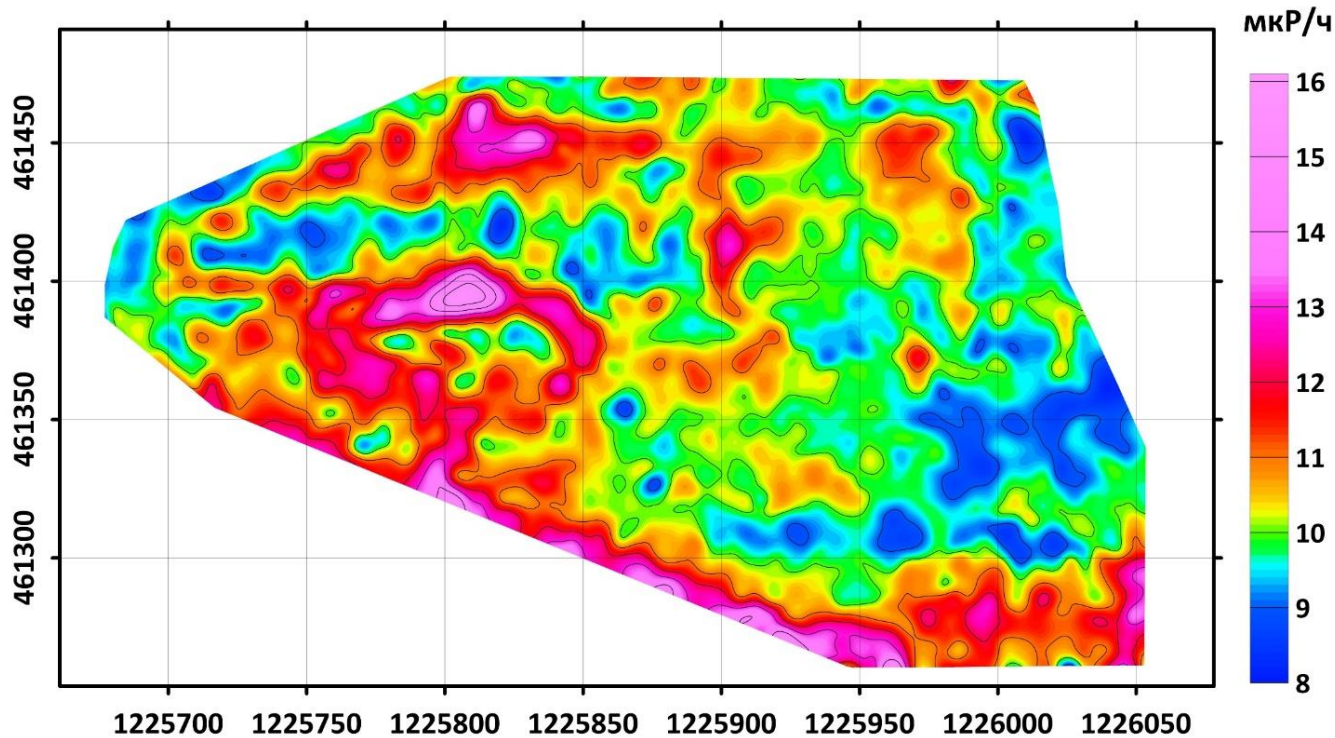
Если необходимо накопление спектра за длительное время в отдельной выбранной точке, прибор ставится в эту точку, записывается время начала и конца измерения, затем по времени измерения, записанного прибором от приемника GPS, производится привязка измерений.

### Пример полевых измерений

---

Были проведены экологические исследования полигона твердых бытовых отходов в г. Смоленске с составлением карт содержания U, Th, K. Использовалась собственная программа обработки полевых данных, разработанная сотрудниками компании GM-Service. На рис. 4 показаны полученные после обработки карты общей мощности экспозиционной дозы и содержания радиоактивных элементов.





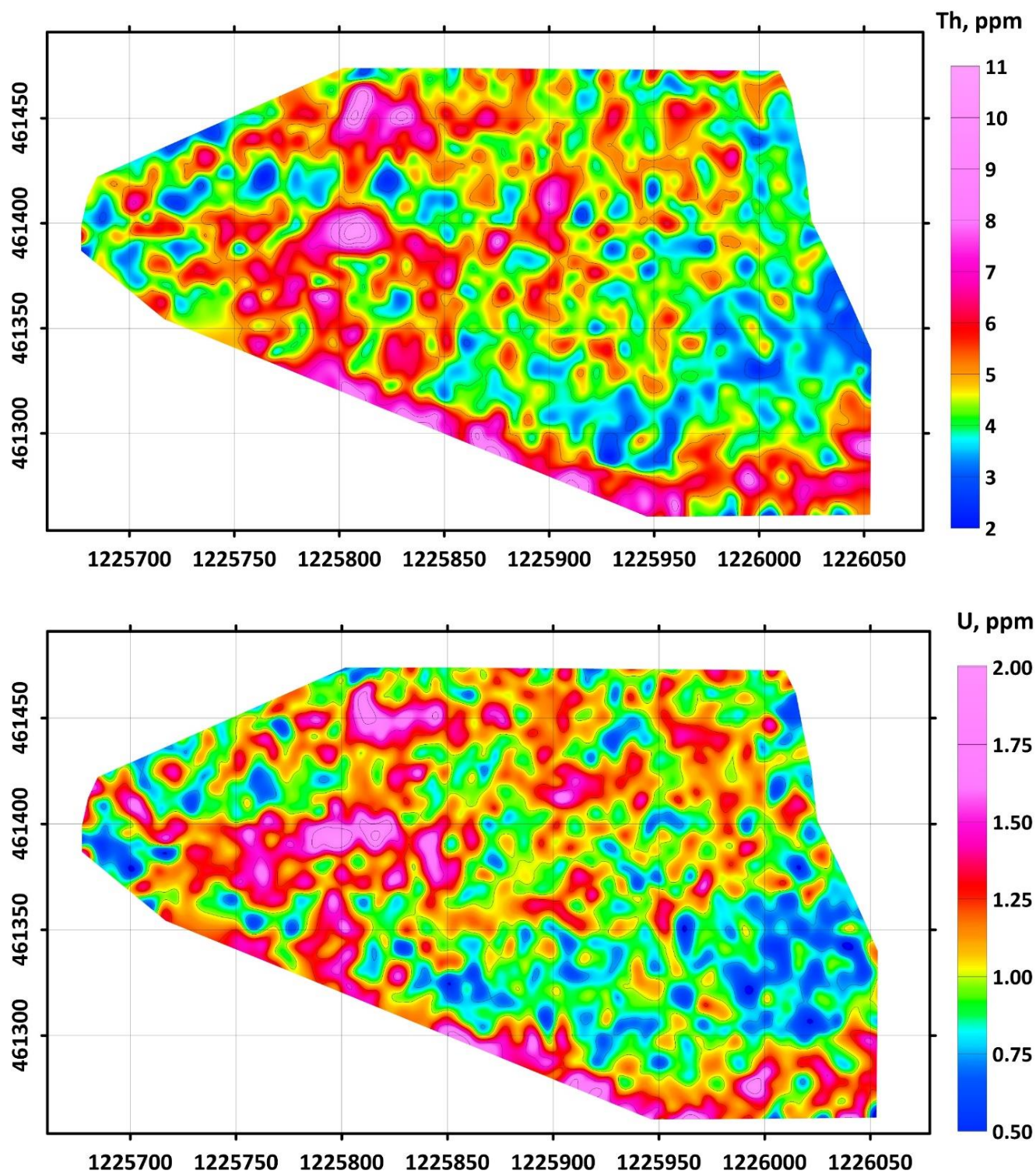


Рис. 4. Результат полевых измерений на полигоне твердых бытовых отходов в г. Смоленск

## Возможности применения GM-GAMMA-1000 на БПЛА

---

Использование GM-GAMMA-1000 в комплексе с беспилотными летательными аппаратами даёт возможность выполнения гамма-спектрометрической съёмки и построения на её основе карт содержания U, Th, K и мощности экспозиционной дозы.



### Основные преимущества

---

- Универсальность – возможность применения в ограниченном пространстве;
- Точность – получение данных по содержанию радиоактивных элементов с высокой точностью;
- Удобство использования – удобный и быстрый интерфейс специализированного ПО;
- Эффективность – быстрая и недорогая возможность проведения гамма-спектрометрической съёмки, в отличие от использования самолёта или вертолёта.

## Литература

1. Кулешевич Л. В., Лавров О. Б. Минерально-геохимические особенности золото-медно-сульфидных, благороднометалльно-медно-урановых и благороднометалльно-медно-уран-ванадиевых палеопротерозойских месторождений и рудопроявлений Карелии. Геология рудных месторождений, 2022, т. 64, № 3, стр. 296-318

2. Колядина А. И. Структурно-вещественные закономерности размещения золото-урановой минерализации куолаярвинской структуры (Северная Карелия). Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук «Санкт-Петербургский горный университет» На правах рукописи.