**Разработка новых технологических подходов к проведению разномасштабных геофизических исследований от подготовительного периода до производства ГСР с использованием экономичных носителей (легкомоторной авиации, беспилотных аппаратов), наземных методов заверочных геофизических работ на опорных и поисковых участках.**

В соответствии с Календарным планом работ для разработки *предложений по внедрению новых технологических подходов при проведении геофизических работ по объектам ГДП-200 для повышения эффективности планирования и прогнозной составляющей геофизического обеспечения геолого-съемочных работ* выполнен анализ материалов посвященных вопросам разномасштабных геофизических исследований с использованием различных воздушных носителей, от пилотируемых до беспилотных и выполнению наземных геофизических работ. В выполненном обзоре систематизированы и обобщены основные геолого-геофизические задачи периода производства ГСР-200, в том числе планирования работ и прогнозной составляющей геофизического обеспечения геолого-съемочных работ. Кроме этого, выполнен анализ сравнительных характеристик наземных геофизических и аэрогеофизических методов для решения различных геологических задач с оценкой их эффективности на стадии планирования и при выполнении работ с оценкой качества для решения геологических задач.

Разработана методика формирования рационального комплекса аэрогеофизических и наземных методов исследований, представляющая геологически и экономически обоснованное сочетание методов исследований с целью эффективного решения геологических задач, привязанных к определенным (не типовым) геологическим, геоморфологическим и геолого-экономическим условиям исследуемого объекта, с оценкой информативности и экономической эффективности используемых геофизических методов.

Во 3 квартале продолжена работа по *апробации программно-технологического геофизического комплекса* и сформирован состав комплекса в зависимости от используемого типа авиационного носителя.

Состав аэрогеофизического комплекса при использовании легкомоторной авиации:

- аэромагниторазведка (в модификации градиентометрии с использованием 2 – 3 магниточувствительных датчиков)

- аэрогамма-спектрометрия (объем детектора не менее 16 куб. дм.)

- система спутниковой навигации

- наземное обеспечение: магнитовариационная станция с навигационным каналом.

Состав беспилотного аэрогеофизического комплекса:

- аэромагниторазведка

- аэрогаммаспектрометрия (объем детектора 04 – 1,0 куб. дм. )

-аэроэлектроразведочный канал электромагнитных зондирований в частотной области и др.

- система спутниковой навигации

- наземное обеспечение: магнитовариационная станция с навигационным каналом.

Основные характеристики используемого геофизического и навигационного оборудования приведены в таблицах 1–6.

1. Аэромагнитометр квантовый

Чувствительность квантовых магнитометров при выполнении аэромагнитных съемок должна быть не хуже 1 нТл. В случае выполнения монометодной аэромагнитной съемки для исследования небольших участков экономически целесоообразно использование легких БПЛА, что возможно в связи с малым весом и небольшими габаритами используемой при этом аппаратуры и дополнительного оборудования. Средние и тяжелые БПЛА имеет смысл использовать при проведении комплексных аэрогеофизических съемках на площадях более 300 кв.км.

Магнитометрическая система жестко присоединяется к пилотируемому авиационному носителю или находится на подвесе в гондоле, буксируемой за воздушным судном или БПЛА на трос-кабеле. Измерения производятся в автоматическом режиме, результаты измерений записываются в память прибора вместе со значениями координат точки измерения и/или времени и (при наличии высотомера) сопровождаются записью значений высоты. Аэромагнитная съемка сопровождается измерением вариаций геомагнитного поля. Технические характеристики квантовых аэромагнитометров приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристикам квантовых аэромагнитометров.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование параметра | Ед. изм. | Значение | | |
| БПЛА легкий | БПЛА тяжелый | Легкомоторный самолет |
| 1 | Диапазон измеряемых магнитных полей | нТл | 20 000 ÷ 100 000 | | |
| 2 | Количество измерительных магниточувствительных датчиков | шт | 1 | 1 - 2 | 2 - 3 |
| 3 | Количество феррозондовых магниточувствительных датчиков | шт | - | 1 | 1 |
| 4 | Уровень собственного шума в полосе 1.0 Гц | нТл | не более 0,01 | | |
| 5 | Систематическая погрешность измерения магнитной индукции не более | нТл | 2,5 | 2,0 | 1,5 |
| 6 | Полоса пропускания | Гц | 30,0 | | |
| 7 | Диапазон углов наклонения вектора индукции магнитного поля Земли. | Град. | ± 40 | ± 60 | ± 60 |
| 8 | Макс. скорость изменения магнитного поля | нТл/сек | 3300 | | |
| 9 | Ориентационные ошибки при кренах ±10° не более, нТл | нТл | не более 0,05 | | |
| 10 | Количество измерений в секунду, не менее | изм. | не менее 1000 | | |
| 11 | Единица младшего разряда выходной информации. | нТл | 0,001 | | |
| 12 | Время выхода на режим не более | мин. | 20 | 20 | 30 |
| 13 | Питание от сети постоянного тока | В | 12 ÷ 27 | | |
| 14 | Пиковая потребляемая мощность при выходе на режим не более | Вт | 40 | 80 | 120 |
| 15 | Максимальная потребляемая мощность после выхода на режим | Вт | 20 | 40 | 60 |
| 16 | Масса датчиков | кг | 0,3 | 2,0 | 3,0 |
| 17 | Масса электронного блока | кг | 0,3 | 5,0 | 10,0 |
| 18 | Рабочая температура окружающей среды | °С | -40 ÷ +40 | | |

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |

Рис. 1. Аэромагнитометр, устанавливаемый на БПЛА:

а) магниточувствительный датчик с кабелем; б) блок управления магнитометром

1. Аэрогамма-спектрометр (аэрорадиометр) сцинтилляционный.

Технические характеристики аэрогамма-спектрометров (аэрорадиометра) сцинтилляционных представлены в таблица 2 и 3. Измерительный блок аэрогамма-спектрометра (аэрорадиометра) снабжен встроенным флэш-диском, на котором сохраняются все рабочие параметры системы и все исходные данные, полученные во время работы. Учитывая небольшую грузоподъемность легкого БПЛА, допускается возможность установки небольшого по объему чувствительного детектора, для работы в режиме радиометра.

Таблица 2

Основные технические характеристики аэрогамма-спектрометров (аэрорадиометра).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № п/п | Наименование параметра | Ед. изм. | Значение | | |
| БПЛА легкий | БПЛА  тяжелый | Легкомоторный самолет |
| 1 | Диапазон измерения энергии гамма-излучения | МэВ | 0,3—3,0 | | |
| 2 | Чувствительный объём детектора (кристалл NaJ(Tl), для радиометра | Куб. дм | 0,4 |  |  |
|  | Чувствительный объём детектора (полисцин NaJ(Tl), для гамма-спектрометра | Куб. дм | 1,0 | 6,0 - 12,0 | 18,0 - 36,0 |
| 3 | Энергетическое разрешение по линии 0,66 МэВ, для радиометра | % | Не более 15,0 |  |  |
|  | Энергетическое разрешение по линии 0,66 МэВ, для гамма-спектрометра | % | Не более 10,0 | Не более 9,0 | Не более 9,0 |
| 4 | Дифференциальная нелинейность | % | ≤0,4% | ≤0,2% | ≤0,2% |
| 5 | Интегральная нелинейность | % | ≤0,03 | ≤0,02 | ≤0,01 |
| 6 | Приведённая погрешность измерения энергии гамма-излучения | % | ≤2,5 | ≤1,5 | ≤1,5 |
| 7 | Количество каналов регистрируемого спектра | канал | Не менее 128 | Не менее 256 | Не менее 512 |
| 8 | Частота взятия отсчетов | с-1 | 1,0 – 10,0 | 0,1 – 5,0 | 0,1 – 2,0 |
| 9 | Питание от сети постоянного тока | В | 9 – 27 | 9 – 40 | 9 – 40 |
| 10 | Потребляемая мощность | Вт | 50 | 100 | 200 |
| 11 | Общая масса радиометра в зависимости от грузоподъемности БПЛА | кг | 2,0 – 6,0 | 46,0 | 92,0 |



Рис. 2. Блок детекторов аэрогамма-спектрометра объемом 16 дм3, устанавливаемый на легкомоторный самолет

|  |  |
| --- | --- |
| *D:\СНЕЖКО_ВСЕ\СНЕЖКО_2023 г\ОТЧЕТЫ\2 кв. 2023\СПЕКТРОМЕТР.jpg* | *D:\СНЕЖКО_ВСЕ\СНЕЖКО_2023 г\ОТЧЕТЫ\2 кв. 2023\Спекторометр_2.jpg* |
| *а)* | *б)* |

Рис. 3. Аэрогамма-спектрометр (радиометр) объемом 0,4 дм3, установленный на БПЛА: а) вид спереди; б) вид снизу

Таблица 3

**Технические характеристики гамма-спектрометра «GM-Gamma», устанавливаемый на БПЛА.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Наименование параметра** | **Значение** |
| 1 | Габариты прибора | |
| *1.1* | *Диаметр* | 141 мм |
| *1.2* | *Длина (высота)* | 364 мм |
| *1.3* | *Общий вес в стандартной комплектации (включая сменный АКБ)* | 5,97 кг |
| 2 | Характеристики детектора | |
| *2.1* | *Кристалл* | Монокристаллический сцинтиллятор NaI (Tl) |
| *2.2* | *Диаметр кристалла* | 100 мм |
| *2.3* | *Высота кристалла* | 125 мм |
| *2.4* | *Объём кристалла* | 1 литр (982 мл) |
| *2.5* | *Тип ФЭУ* | R1307 |
| *2.5* | *Энергетическое разрешение* | 7,5% |
| 3 | Особенности записи данных | |
| *3.1* | *Число каналов* | 4096 |
| *3.2* | *Разрядность каналов* | 16 бит |
| *3.3* | *Мёртвое время* | 10 мкс |
| 4 | Характеристики питания | |
| *4.1* | *Ёмкость штатного аккумулятора* | 2200 мАч |
| *4.2* | *Напряжение питания* | 12 В |
| *4.3* | *Время работы на штатном сменном*  *аккумуляторе* | 5,5 часов |
| *4.4* | *Потребляемая мощность* | 4,5 Вт |
| 5 | Хранение и передача данных | |
| *5.1* | *Устройство хранения* | Съёмный USB-флеш-накопитель |
| *5.2* | *Способ передачи данных* | Wi-Fi, USB-порт, флеш-карта |
| **6** | **Общие характеристики прибора** | |
| *6.1* | *Управление прибором* | Через специализированное ПО через Wi-Fi |
| *6.2* | *Встроенные модули* | Wi-Fi; GPS; Высокоточный барометрический высотомер; Термометр |
| 6.3 | *Класс защиты от пыли и влаги* | IP67 |
| 6.4 | *Рабочая температура* | -20 – +50 (°C) |
| 6.5 | *Стабилизация шкалы* | Аппаратная по пику Th-232 |
| 6.6 | *Индикация* | Светодиоды на корпусе |
| 6.7 | *Режимы работы:* | Тестовый – накопление и визуализация спектра. Рабочий режим – набор и запись спектра каждую секунду. Режим передачи данных. |

1. Аэроэлектроразведочный канал

Оборудование для проведения широкополосных электромагнитных исследований устанавливается на беспилотных воздушных носителях с приемлемым уровнем ЭМ помех. Длина подвеса буксируемой гондолы с измерительным оборудованием зависит от параметров используемого носителя и составляет от 5 до 25 м. Оптимальные параметры съемки (скорость полета, несущая частота, размер рабочего планшета и т.д.) определяются геологическими задачами (необходимым разрешением и глубинностью) и подбираются при рекогносцировочных работах перед началом съемки с учетом особенностей методики проведения работ. Изменения в конструкции оборудования позволяет минимизировать взаимное влияние компонент системы, оборудование обеспечивает корректное определение амплитудно-фазовых характеристик сигнала. Технические характеристики аэроэлектроразведочного канала приведены в таблице 4.

Таблица 4

**Технические характеристики аэроэлектроразведочного канала.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Наименование параметра** | **Ед. изм.** | **Значение** |
| **1** | **Регистратор** | | |
| 1.1 | Частота дискретизации | кГц | Не менее 312 |
| 1.2 | Количество каналов и их назначение | Шт. | 3 магнитных канала. Канал записи данных инклинометра и компаса. |
| 1.3 | АЦП | бит | 16 |
| 1.4 | Динамический диапазон | дБ | Не менее 100 |
| 1.5 | Питание | В | Внешнее 12 |
| 1.6 | Синхронизация по времени |  | Встроенная GPS антенна |
| **2** | **Индукционные магнитные датчики НВ1106** | | |
| 2.1 | Частотный диапазон | кГц | 1 ÷ 300 |
| 2.2 | Коэффициент преобразования, не менее |  | 20мВ/нТл |
| 2.3 | Уровень шумов | фТл/√Гц | F = 1 кГц не более, 100  F = 100 кГц, не более10 |
| 2.4 | Масса, не более | кг | 0.3 |
| 2.5 | Габариты, не более | мм | 350 х 40 |
| **3** | **Модуль цифрового компаса HMR3300** | | |
| 3.1 | Точность | градус | 1° |
| 3.2 | Разрешение | градус | 0,1° |
| 3.3 | Повторяемость | градус | 0,5° |
| 3.4 | Чувствительность | мГс | 6,0 |
| 3.5 | Частота обмена данными | Гц | 15 |
| 3.6 | Рабочая температура | °С | -40 ÷ +85 °С |
| 3.7 | Напряжение питания | В | 5 |
| 3.8 | Потребляемый ток | мА | 24 |
| 3.9 | Вес | г | 7,5 |

1. Бортовое навигационное оборудование.

Характеристики бортового навигационного оборудования, адаптированного для проведение аэрогеофизических работ, приведены в таблице 5.

Бортовое навигационное оборудование и радиовысотомер сопряжены со всеми измерительными геофизическими каналами. При установке бортового навигационного оборудования на пилотируемый легкомоторный самолет данные навигационного канала и бортового радиовысотомера выводятся в кабину пилотов и отображаются на встроенном навигационном оборудовании самолета или на дополнительно установленном электронном планшете (рис. 4) и поступают в единый блок системы сбора измеренных цифровых данных, в котором сохраняются все рабочие параметры системы и все исходные геофизические данные, полученные во время работы.

Таблица 5

**Технические характеристики бортового навигационного оборудования.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **№ п/п** | **Параметр** | **Величина** | |
| 1 | Точность измерений (СКО) | | |
| 1.1 | *- Измерения по фазе кода* | *20 см* | |
| 1.2 | *- Измерения по фазе несущей* | *0.8 мм* | |
| 2 | Точностные параметры (СКО) | Горизонтально | Вертикально |
| 2.1 | *- Автономный режим* | *1.5 м* | *2 м* |
| 2.2 | *- DGPS режим* | *0.25 м* | *0.5 м* |
| 2.3 | *- RTK режим* | *5 мм + 0.5 мм/км* | *8 мм + 1.0 мм/км* |
| 2.4 | - Скорость | 0.1 м/сек | 0.15 м/сек |
| 3 | Измерение углов ориентации (СКО) | | |
| 3.1 | *- Курс* | *0.1°* | |
| 3.2 | *- Тангаж* | *0.2°* | |
| 3.3 | *- Крен* | *1°* | |
| 4 | Темп выдачи данных | | |
| 4.1 | *- Автономный режим* | *1 Гц* | |
| 4.2 | *- RTK режим* | *1, 5, 10 Гц* | |
| 4.3 | *- ИНС режим* | *до 100 Гц* | |
| 5 | Темп выдачи сырых данных | до 100 Гц | |
| 6 | Интерфейсы | 3 x UART (or 2 x UART + 1 x CAN), 1 x Ethernet, 1 x USB | |
| 7 | Протоколы | RTCM 3, NovAtel OEM, NMEA-0183, NTL Binary | |
| 8 | Рабочая температура | –40 ÷ +80 °C | |
| 9 | Напряжение питания | 3.3 В или 5 В ±5% | |
| 10 | Потребляемая мощность | 1.6 Вт | |
| 11 | Габариты (ДхШхВ) | 71 х 46 х 10 мм | |
| 12 | Вес | 1,75 кг | |

|  |
| --- |
| экран |

Рис. 4. Курсоуказатель в кабине пилота легкомоторного самолёта.

1. Дополнительное навигационное оборудование для инерциальных измерений.

Комплекс оборудования для инерциальных измерений предназначен для определения координат (широта, долгота и высота), горизонтальной и вертикальной составляющей скорости, параметров ориентации (курс, крен и тангаж) в автономном и корректируемом режимах.

Комплекс состоит из следующих блоков:

- Инерциального блока «UIMU-LCI» собранного на волоконно-оптических гироскопах (рис.5);

- Антенного спутникового приемника NovAtel FlexPak6 ГЛОНАСС/GPS «SPAN-SE» (рис.6);

- Приемника SPAN-SE, который обеспечивает интерфейс пользователя SPAN. Он выводит необработанные данные измерений или данные решения по нескольким протоколам связи или на съемную SD-карту (рис.7);

- Активных антенн GPS-702-GG, GPS-701-GG и GPS-702-GG-N, работают на следующих частотах (в МГц): GPS L1 (1575,42) и L2 (1227,60); Glonass L1 (1598 - 1611,5) и L2 (1242,5 - 1254,3) (рис.8).

Таблица 6

**Состав дополнительного навигационного оборудования, используемого при проведении комплексных аэрогеофизических съемок**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Название и внешний вид блока | Технические характеристики |
| 1 | **Инерциальный блок «UIMU-LCI»**    **Рис.5** | - Питание: внешнее, от 12 В до 28 В, постоянного тока  **-** Потребляемая мощность: 16,0 Вт  - Рабочая температура: -40°С – +60°С  - Допустимая влажность: 95% без конденсата  - Вес с аккумулятором: 4.25 кг  - Габаритные размеры: 168 x 195 x 146 mm  - Объем: 4,78 дм3 |
| 2 | **Антенный спутниковый приемник**  **NovAtel FlexPak6**  http://geo-otziv.ru/uploaded_files/1472545538.png**Рис. 6** | - Коммуникационные порты:  RS-232, RS-422, USB  - Частота записи данных до 100 Гц  - Количество каналов: 120  - Отслеживаемые спутники: GPS, ГЛОНАСС, SBAS, Galileo, BeiDou  - Питание: внешнее, от 6 В до 36 В, постоянного тока  **-** Потребляемая мощность: 1,80 Вт  - Рабочая температура: -40°С – +85°С  - Пыле- и влагозащищенность: IPX7  - Вес с аккумулятором: 0,34 кг  - Габаритные размеры: 147 х 113 х 45 мм  - Объем: 0,75 дм3 |
| 3 | **Приемник SPAN-SE**  http://geo-otziv.ru/uploaded_files/1471943307.png  **Рис. 7** | - Коммуникационные порты:  RS-232, RS-422, USB  - Частота записи данных до 200 Гц  - Питание: внешнее, от 9 В до 30В, постоянного тока  **-** Потребляемая мощность: 10,0 Вт  - Рабочая температура: -40°С – +65°С  - Пыле- и влагозащищенность: IPX7  - Вес с аккумулятором: 3,4 кг  - Габаритные размеры: 200 х 248 х 76 мм  - Объем: 3,77 дм3 |
| 4 | **Активная антенна**    **Рис. 8** | - Питание: внешнее, от 4,5 В до 18 В, постоянного тока  - Ток (типичный): 35 мА  **-** Потребляемая мощность (максимальная): 0,60 Вт  - Рабочая температура: -40°С – +85°С  - Пыле- и влагозащищенность: IPX7  - Вес: 0,5 кг  - Диаметр: 185 мм  - Объем – 5,37 дм3  Антенна крепиться на верхней плоскости фюзеляжа |

В 3 квартале продолжена работа по*апробации технологии проведения геофизических работ с использованием экономичных пилотируемых и беспилотных носителей.*

В рамках решения этой задачи разработана методика проведения комплексной аэрогеофизической (аэромагнитной и аэрогамма-спектрометрической) съемки площади в пределах листов Q-36-XXXIII, XXXIV (Лехтинская площадь) с учетом геологических задач, априорной информации о картируемых объектах, степени закрытости местности, развития рыхлого покрова и кор выветривания, рельефе местности, обводненности и применимости геофизических методов и их сочетаний (Приложение 1).

Для решения этой задачи проанализированы карты и схемы геологического содержания, геоморфологические карты, сведения о физических свойствах пород и руд, материалы ранее проведенных аэрогеофизических съемок, физико-геологические модели известных минерагенических таксонов соответствующего ранга.

Разработана технология проведения аэрогеофизической съемки, включающая проектирование (выбор масштаба, выбор высоты полетов, составление схемы линий полетов, в том числе по рядовым, опорным секущим и др. маршрутам), метрологическое обеспечение бортовых и наземных средств измерения, проведение контрольно-настроечных операций, методику полевых наблюдений, текущий контроль качества выполнения съемки, полевую и камеральную обработку полученных результатов.

В 3 квартале выполнена полевая апробации технологии проведения геофизических работ с использованием экономичного пилотируемого носителя. Летно-технические характеристики авиационных носителей, состав и размещение аэрогеофизического комплекса, состав наземного оборудования и результаты апробации приведены в Приложении 2.

В 3 квартале выполнены работы по апробации технологии проведения беспилотных аэрогамма-спектрометрических работ (Приложение 2, часть IV).

В качестве беспилотных воздушных носителей для малообъемных детекторов (0,4, 1.0 дм3) используются квадро- или гексакоптеры (рис 21, 22) для детекторов объема 4,0 дм3, могут быть использованы легкие беспилотные вертолеты (рис. 23). Технические характеристики легкого квадрокоптера приведены в таблице 7.

В качестве воздушного носителя может выступать надёжные носители, способные поднять в воздух массу более 5,97 кг.

|  |  |
| --- | --- |
| D:\СНЕЖКО_ВСЕ\СНЕЖКО_2023 г\ОТЧЕТЫ\2 кв. 2023\СПЕКТРОМЕТР.jpg | D:\СНЕЖКО_ВСЕ\СНЕЖКО_2023 г\ОТЧЕТЫ\2 кв. 2023\Спекторометр_2.jpg |
| а) | б) |

Рис. 21 Аэрогамма-спектрометр (радиометр) с объемом сцинтилляционного датчика 0,4 дм3, установленный на БПЛА: а) вид сверху; б) вид снизу

Таблица 7

**Основные летно-технические характеристики БПЛА коптерного типа**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | **Летно-технический параметр** | Значение параметра |
|  | Длительность полета | до 60 мин. |
|  | Продолжительность полета | до 22 пог. км |
|  | Горизонтальная скорость | до 50 км/ч |
|  | Вертикальная скорость | до 5 км/ч |
|  | Высота | 500 м |
|  | Запуск/посадка | площадка 5х5м |
|  | Подготовка к старту | 5 мин. |
|  | Макс. скорость ветра | до 10 м/с |
|  | Масса полезной нагрузки | 2 кг |
|  | Макс. взлетная масса | 9.5 кг |
|  | Двигатели | электрические (4 шт.) |
|  | Рабочие температуры | от -20°С до +40°С |

|  |  |
| --- | --- |
| D:\СНЕЖКО_ВСЕ\СНЕЖКО_2023 г\ОТЧЕТЫ\Материалы к отчету 3 кв. 2023\Спектрометр на БПЛА\a811c5b8-37c4-4dc4-b28b-da05766c575b.jpg |  |

Рис. 22. Аэрогамма-спектрометр с объемом сцинтилляционного датчика 1,0 дм3:



Рис. 23 Аэрогамма-спектрометр с объемом сцинтилляционного датчика 4,0 дм3 установленный на легкий беспилотный вертолет.

На рисунке 24 представлены 0,4 и 1,0 дм3 использованные при работах малообъемные аэрогамма-спектрометры, а в таблицах 8 и 9 приведены их технические характеристики

|  |  |
| --- | --- |
|  | D:\СНЕЖКО_ВСЕ\СНЕЖКО_2023 г\ОТЧЕТЫ\Материалы к отчету 3 кв. 2023\Спектрометр для БПЛА\IMG_20230823_093346.jpg |
| а) | б) |

Рис. 24 Гамма-спектрометры, устанавливаемые на БПЛА с объемом сцинтилляционного датчика: а) 0,4 дм3 и б) 1,0 дм3

В таблице 8 представлены основные характеристики гамма-спектрометра с объемом сцинтилляционного датчика 0,4 дм3; характеристики гамма-спектрометра с объемом сцинтилляционного датчика 1,0 дм3, представлены в таблице 9.

Таблица 8

**Технические характеристики гамма-спектрометра с объемом сцинтилляционного датчика 0,4 дм3, устанавливаемый на БПЛА**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Технический параметр | Значение параметра |
|  | Детектор | Монокристаллический сцинтиллятор CsI(Tl) |
|  | Форма, размер детектора | Цилиндр, 80х80мм (0.4 л) |
|  | Энергетическое разрешение | Не хуже 8% по Cs137 |
|  | Форма, размер спектрометра | Цилиндр 100мм, L = 330мм. |
|  | Класс защиты | IP60 |
|  | Диапазон рабочих температур | -20+50 °С |
|  | Напряжение питания | 5 В |
|  | Потребляемая мощность | 1 Вт |
|  | Система сбора данных | На флэш карту |

Таблица 9

**Технические характеристики гамма-спектрометра с объемом сцинтилляционного датчика 1,0 дм3, устанавливаемый на БПЛА.**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| № п/п | Технический параметр | Значение параметра |
| 1 | Габариты прибора | |
| *1.1* | *Диаметр* | 141 мм |
| *1.2* | *Длина (высота)* | 364 мм |
| *1.3* | *Общий вес в стандартной комплектации (включая сменный АКБ)* | 5,97 кг |
| 2 | Характеристики детектора | |
| *2.1* | *Кристалл* | Монокристаллический сцинтиллятор NaI (Tl) |
| *2.2* | *Диаметр кристалла* | 100 мм |
| *2.3* | *Высота кристалла* | 125 мм |
| *2.4* | *Объём кристалла* | 1 литр (982 мл) |
| *2.5* | *Тип ФЭУ* | R1307 |
| *2.5* | *Энергетическое разрешение* | 7,5% |
| 3 | Особенности записи данных | |
| *3.1* | *Число каналов* | 4096 |
| *3.2* | *Разрядность каналов* | 16 бит |
| *3.3* | *Мёртвое время* | 10 мкс |
| 4 | Характеристики питания | |
| *4.1* | *Ёмкость штатного аккумулятора* | 2200 мАч |
| *4.2* | *Напряжение питания* | 12 В |
| *4.3* | *Время работы на штатном сменном*  *аккумуляторе* | 5,5 часов |
| *4.4* | *Потребляемая мощность* | 4,5 Вт |
| 5 | Хранение и передача данных | |
| *5.1* | *Устройство хранения* | Съёмный USB-флеш-накопитель |
| *5.2* | *Способ передачи данных* | Wi-Fi, USB-порт, флеш-карта |
| **6** | **Общие характеристики прибора** | |
| *6.1* | *Управление прибором* | Через специализированное ПО через Wi-Fi |
| *6.2* | *Встроенные модули* | Wi-Fi; GPS; Высокоточный барометрический высотомер; Термометр |
| 6.3 | *Класс защиты от пыли и влаги* | IP67 |
| 6.4 | *Рабочая температура* | -20 – +50 (°C) |
| 6.5 | *Стабилизация шкалы* | Аппаратная по пику Th-232 |
| 6.6 | *Индикация* | Светодиоды на корпусе |
| 6.7 | *Режимы работы:* | Тестовый – накопление и визуализация спектра. Рабочий режим – набор и запись спектра каждую секунду. Режим передачи данных. |

Для оценки параметров гамма-спектрометров с малообъемными датчиками были выполнены измерения на малых рудных моделях. По результатам измерений на рудных моделях гамма-спектрометрами с объемом кристаллического сцинтилляционного датчика 0,4 дм3 1,0 дм3 и 4,0 дм3, рассчитаны спектральные коэффициенты (табл. 8). Порядок расчета спектральных коэффициентов приведен в Приложении 5. Разрешения по Cs-эталону, 137Cs (линия 0, 66 МэВ), составило 7,23% - 10%.

|  |  |
| --- | --- |
|  | а |
|  | б |

Рис 25 Энергетический спектр (а) и сглаженный спектр (б), построенный по результатам измерений источника 137Cs (линия 0, 66 МэВ), аэрогамма-спектрометром с объемом сцинтилляционного датчика 0,4 дм3.

На рис. 25 приведен увеличенный фрагмент пика от 137Cs. Энергия пика равна 661,7 кэВ. Энергетическое разрешение ≈ 9%. Время накопления 5 мин. Спектр по 1024 каналам. Ось Y – кол-во импульсов, ось X - энергия, кэВ. Применен сглаживающий фильтр.

|  |  |
| --- | --- |
|  | а |
|  | б |

Рис 26 Энергетический спектр (а) и сглаженный спектр (б), построенный по результатам измерений источника 60Cо (линии 1,17 и 1,33 МэВ), аэрогамма-спектрометром с объемом сцинтилляционного датчика 0,4 дм3.

На рис. 26 приведен увеличенный фрагмент фотопиков от изотопа 60Cо. Энергия пиков равна 1,17 и 1,33 МэВ кэВ.

На рис. 27 показаны три спектра, набранные каждый за один час измеренные спектрометром с датчиком объемом 1,0 дм3. Два спектра (a’ и k) набраны с промежутком по времени 10 часов и измерены в присутствии образца Th, спектр h набран отдельным измерением за час и измерен без образца Th, то есть представляет из себя излучение фона. Видно, что стабилизация энергетической шкалы в процессе работы позволяет получить практически идентичные спектры в одинаковых условиях. Стабилизация проводится с помощью бортового сигнального процессора. В результате наличия стабилизации спектр стабилен при изменении температуры кристалла и направления магнитного поля Земли.



**Рисунок 27.** Три спектра, набранные за час; зеленая линия - фон, красная и черная – образец Th, даны линии тренда (скользящее среднее по 11 точкам); желтая линия – энергетическая шкала с пиками Th, U, K (238, 336, 580, 609, 907, 1460, 1760, 2620 кэВ).

На рис. 28 представлен реальный спектр гамма излучения, построенный по результатам измерений малых рудных моделей (без вычета фона), гамма-спектрометром, с детектором объемом 1,0 дм3.

|  |  |
| --- | --- |
| D:\СНЕЖКО_ВСЕ\СНЕЖКО_2023 г\ОТЧЕТЫ\3 кв. 2023\Модели от 1,0 л_15.09\K.jpg | **K** |
| D:\СНЕЖКО_ВСЕ\СНЕЖКО_2023 г\ОТЧЕТЫ\3 кв. 2023\Модели от 1,0 л_15.09\U.jpg | **U** |
| D:\СНЕЖКО_ВСЕ\СНЕЖКО_2023 г\ОТЧЕТЫ\3 кв. 2023\Модели от 1,0 л_15.09\Th.jpg | **Th** |
| D:\СНЕЖКО_ВСЕ\СНЕЖКО_2023 г\ОТЧЕТЫ\3 кв. 2023\Модели от 1,0 л_15.09\Cs.jpg | **Cs** |

Рис. 28 Энергетический спектр, построенный по результатам измерений рудных моделей и источника 137Cs (линия 0, 66 МэВ), аэрогамма-спектрометром с объемом сцинтилляционного датчика 1,0 дм3.

Результаты выполненных измерений на рудных моделях показывают, что все спектрометры гамма-спектрометры по своим параметрам удовлетворяют техническим требованиям съемки.

Для оценки качества кристаллических детекторов, определен параметр эффективность детектора (Табл. 10).

Эффективность детектора, это отношение числа измеренных гамма-квантов, к числу излучаемых измеряемого источника, и зависит от энергии гамма-квантов (с увеличением энергии гамма-квантов, уменьшается эффективность детектора), типа детектора, его размеров, конфигурации геометрии измерения и, в какой-то мере, от материала источника.

Таблица 10

Эффективность гамма-спектрометра в зависимости от размера детектора

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Марка гамма-спектрометрами | Тип кристалла | Объем кристалла (детектора) | Эффективность регистрации спектрометра в пике полного поглощения гамма-излучения радионуклида 137Cs с энергией 662 кэВ, % |
| **БДЕГ-63** | NaI(Tl) | ***63 дм3*** | ***6%*** |
| **БДЕГ- 80** | NaI(Tl) | ***80 дм3*** | ***10%*** |

Для энергий гамма-квантов 0,662 мэВ: при увеличении объема детектора (кристалла) в 1,27 раза, эффективность вырастает в 1,67 раза, что говорит о том, что:

- изменение объема кристалла, не пропорционально изменению эффективности.

- больший по объему кристалл эффективней меньшего.

- один большой кристалл эффективнее, чем несколько маленьких, в сумме объемов равным объему большого

В настоящее время аэрогамма-спектрометрическая съемка, выполняемая с использованием малообъемных кристаллических сцинтилляционных детекторов, устанавливаемых на БПЛА, носит в основном опытно-методических характер.

В связи с малой грузоподъемностью БПЛА на них не могут устанавливаться детекторы гамма-излучения большого объема.

В зависимости от грузоподъемности БПЛА на нем может быть установлен гамма-спектрометр (объем кристалла от 0,4 дм3 до 4,0 дм3.

Выбор скорости и высоты полёта беспилотного летательного аппарата, время экспозиции при проведении аэрогамма-спектрометрической съемки представлено в Приложении 6.

В текущем квартале продолжены работы по подзадаче *«Разработка предложений по внедрению новых технологических подходов при проведении геофизических работ по объектам ГДП-200 для повышения эффективности планирования и прогнозной составляющей геофизического обеспечения геолого-съемочных работ» п*одготовлены предложения по формированию прогнозно-поисковых физико-геологических моделей для установления геофизических прогнозных критериев и поисковых признаков. В предложениях обобщены представления о прогнозно-поисковых физико-геологических моделях минерагенических объектов как основы прогнозно-поисковых работ и обоснования комплекса и методики выполнения геофизических работ при ГСР-200, о классификациях и процессе конструирования физико-геологических моделей.