

**ОПИСАНИЕ ФОРМАТА ВЫХОДНЫХ ДАННЫХ
ИКФС-2 ДЛЯ КА «МЕТЕОР-М»**

СОДЕРЖАНИЕ

| | | |
|---|--|----|
| 1 | ВВЕДЕНИЕ..... | 3 |
| 2 | ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ..... | 4 |
| 3 | ФОРМАТ ИМЕНИ ФАЙЛА..... | 5 |
| 4 | СТРУКТУРА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ | 6 |
| | 4.1 Структура корневой группы..... | 6 |
| | 4.2 Структура группы спектральных данных..... | 7 |
| | 4.3 Структура группы данных координатно-временной привязки | 8 |
| | 4.4 Структура группы параметров качества..... | 9 |
| | 4.5 Структура группы служебной информации..... | 11 |
| | ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ | 13 |

1 ВВЕДЕНИЕ

Выходные данные ИКФС-2 уровня 1С представляют собой калиброванные спектры излучения атмосферы Земли, обеспеченные координатно-временной привязкой и параметрами качества и предназначенные для проведения последующей тематической обработки.

2 ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Для представления выходных данных ИКФС-2 используется формат HDF версии 5 – универсальный иерархический формат представления данных, предназначенный для хранения большого объема научной информации.

Файлы HDF5 организованы иерархически и используют две основные структурные единицы: группы (groups) и наборы данных (datasets). Группы – структуры, являющиеся контейнерами для наборов данных и других групп. Наборы данных – многомерные массивы данных одного типа. Также любой объект HDF5 (группа, набор данных или именованный тип данных) может содержать связанный список атрибутов. Атрибуты – элементы метаданных (совокупность «имя – значение»), описывающие/аннотирующие объект. Исчерпывающая информация и полная документация по формату представлена на сайте разработчика¹.

Библиотеки для работы с форматом HDF5 и связанные с ним утилиты распространяются на условиях свободной лицензии и доступны на сайте разработчика.

¹ <http://www.hdfgroup.org/HDF5/>

3 ФОРМАТ ИМЕНИ ФАЙЛА

Имена файлов данных ИКФС-2, формируемых ПК «IKFSPrepSuite», имеют следующий вид:

<код КА>_<код прибора>_<дата начала съемки>_<время начала съемки>_<номер витка съемки>_<номер витка сброса>_<код ППИ>_<номер файла>.h5

Здесь:

<код КА> – идентификатор информации КА; для КА «Метеор-М» № 2 принят M02;

<код прибора> – имя соответствующего приборному файлу датчика; для прибора ИКФС-2 КА «Метеор-М» № 2 принято значение IKFS2;

<дата начала измерений> – дата начала съемки в формате YYYYMMDD, где YYYY – год, MM – месяц, DD – день;

<время начала измерений> – время UTC начала съемки в формате hhmm, где hh - часы, mm – минуты;

<время окончания измерений> – время UTC окончания съемки в формате hhmm, где hh – часы, mm – минуты; время окончания съемки может быть меньше времени начала съемки в случае перехода через 00 часов 00 минут; в этом случае дата окончания съемки – следующая за датой её начала;

<номер витка съемки> – номер витка съемки информации или номер витка начала съемки (при съемке информации на нескольких витках), может принимать значение от 1 до 999999;

<номер витка сброса> – номер витка сброса космической информации, может принимать значение от 1 до 999999; всегда больше либо равен номеру витка съемки;

<код ППИ> – условный код пункта приема (приемного комплекса) космической информации; значение «0» зарезервировано под объединенные данным с двух (и более) приемных комплексов;

<номер файла > – порядковый номер файла выходных данных; по умолчанию принимает значение «0»; однако в случае смены режима работы прибора, смены комплектов или перезагрузки прибора для одного входного файла выделенных данных ИКФС-2 может быть сформировано два и более выходных h5-файлов (с индексами «0», «1», «2» и т.д.).

Пример имени файла, полученного в результате первичной обработки ПК «IKFSPrepSuite»:

M02_IKFS2_20161114_0719_1706_12206_12212_8_0.h5

4 СТРУКТУРА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

4.1 Структура корневой группы

Корневая группа (root, /) выходного файла содержит четыре подгруппы:

- группа *Info*, содержит служебную информацию;
- группа *QualityData*, содержит информацию о параметрах качества;
- группа *SpatioTemporalData*, содержит данные координатно-временной привязки;
- группа *SpectralData*, содержит калиброванные спектральные данные.

Кроме того, корневая группа содержит список атрибутов с метаданными, относящимися к файлу измерений в целом. Информация об атрибутах корневой группы приведена в таблице 1.

Таблица 1. Атрибуты корневой группы

| Название | Тип данных | Значение по умолчанию или формат | Описание |
|--|----------------|----------------------------------|--|
| FILE_ID | H5T_C_S1 | METM2-IKFS | Идентификатор файла данных ИКФС-2 |
| Model | H5T_C_S1 | Meteor_M2 | Сигнатура КА |
| DeviceName | H5T_C_S1 | IKFS-2 | Сигнатура прибора |
| IKFSPrepSuite-Version | H5T_C_S1 | vx.x.x YYYY-MM-DD | Версия программного комплекса IKFSPrepSuite |
| SensorFileName | H5T_C_S1 | xxxxx.rsm | Имя RSML-файла с данными ИКФС-2 |
| KKVOFileName | H5T_C_S1 | xxxxx.rsm | Имя RSML-файла с данными БСКВУ |
| Размерности гиперкуба спектральных данных | | | |
| NswathsInFile | H5T_NATIVE_INT | | число полос обзора в файле, S |
| NpointsInSwath | H5T_NATIVE_INT | 24, 21, 19 или 15 | число измерений (точек, пикселей) в полосе обзора, W |
| NspectralBins | H5T_NATIVE_INT | 2701 | число спектральных отсчетов, N |
| Дополнительные параметры | | | |
| NpointsInFile | H5T_NATIVE_INT | NswathsInFile * NpointsInSwath | общее число измерений атмосферы в файле |
| NcyclesInFile | H5T_NATIVE_INT | | число циклов калибровки в файле |
| NswathsInCycle | H5T_NATIVE_INT | 1, 30 или 60 | Число полос обзора в цикле калибровки |
| SwathWidth | H5T_C_S1 | «2500 km» | Ширина полосы обзора |

4.2 Структура группы спектральных данных

Группа спектральных данных *SpectralData* содержит в себе гиперкуб измеренных значений спектральной яркости атмосферы (*AtmSpRadiances*), определенных на сетке спектральных отсчетов *SpectralGrid*, а также оценки соответствующих значений пороговой спектральной яркости *NESR* (таблица 2). Атрибуты группы спектральных данных представлены в таблице 3.

Таблица 2. Описание группы спектральных данных

| Имя датасета | Тип данных | Описание |
|----------------|--------------------------|---|
| AtmSpRadiances | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W,N] | Трехмерный массив (гиперкуб) значений спектральной яркости атмосферы, $[Вт/(м^2 \cdot ср \cdot см^{-1})]$. S - число полос обзора; W - число спектров в полосе обзора; N - число спектральных отсчетов. |
| NESR | H5T_NATIVE_FLOAT [D,N] | Двумерный массив оценочных значений пороговой спектральной яркости $NESR(v)$, $[Вт/(м^2 \cdot ср \cdot см^{-1})]$. D - число оценок NESR; оценка NESR проводится каждые <i>NswathsInCycle</i> полос обзора ($D \leq S$) |
| NESR_ID | H5T_NATIVE_INT16 [S] | Ссылка на номер записи в массиве NESR, соответствующий данной полосе обзора |
| SpectralGrid | H5T_NATIVE_FLOAT [N] | Спектральная сетка шкалы волновых чисел |

(*) При обнаружении смены ширины полосы обзора создается новый hdf-файл

(**) Если начало (конец) данных приходится на середину полосы обзора, то недостающие элементы строки заполняются нулями.

Таблица 3. Описание атрибутов группы спектральных данных

| Имя атрибута | Тип данных | Значение по умолчанию | Описание |
|------------------|-------------------|-----------------------|---|
| NspectralBins_LW | H5T_NATIVE_INT | 1571 | Число спектральных отсчетов в длинноволновом поддиапазоне |
| NspectralBins_MW | H5T_NATIVE_INT | 1130 | Число спектральных отсчетов в средневолновом поддиапазоне |
| dnu_LW | H5T_NATIVE_DOUBLE | 0.35 | Шаг спектральной сетки в длинноволновом диапазоне, $см^{-1}$ |
| dnu_MW | H5T_NATIVE_DOUBLE | 0.7 | Шаг спектральной сетки в средневолновом диапазоне, $см^{-1}$ |
| FWHM_LW | H5T_NATIVE_DOUBLE | 0.7 | ширина аппаратной функции по уровню 0.5 в длинноволновом поддиапазоне |
| FWHM_MW | H5T_NATIVE_DOUBLE | 1.4 | ширина аппаратной функции по уровню 0.5 в средневолновом поддиапазоне |
| Apodization | H5T_C_S1[10] | gauss | функция аподизации |

4.3 Структура группы данных координатно-временной привязки

Группа *SpatioTemporalData* объединяет в себе всю информацию, относящуюся к координатно-временной привязке измерений. В первую очередь, это дата и время съемки каждого измерения (датасет *DateTime*), а также широта и долгота точки наблюдения (датасеты *Latitude* и *Longitude*). Описание структуры группы *SpatioTemporalData* представлено в таблице 4.

Таблица 4. Описание группы данных координатно-временной привязки

| Название | Тип данных | Описание |
|-----------------------|----------------------------|---|
| DateTime | H5T_NATIVE_SHORT [S,W,7] * | Временная привязка измеряемых спектров (ДМВ) <i>DateTime</i> [][][0-6] - год, месяц, день, часы, минуты, секунды, миллисекунды (декретное московское время) |
| ScanAngle ** | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W] | Угол поворота зеркала сканера в градусах |
| Latitude | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W] | Широта (северная - положительная, южная - отрицательная) в градусах |
| Longitude | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W] | Долгота (восточная - положительная, западная - отрицательная) в градусах |
| SolarZenithAngle | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W] | Зенитный угол Солнца в градусах |
| SolarAzimuthAngle | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W] | Азимутальный угол Солнца в градусах |
| SatelliteZenithAngle | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W] | Зенитный угол спутника в градусах |
| SatelliteAzimuthAngle | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W] | Азимутальный угол спутника в градусах |
| Height | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W] | Geoid-Ellipsoid Separation (м) |
| SatelliteRange | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W] | Расстояние (м) между спутником и точкой пересечения визирной оси с эллипсоидом Земли |
| SCPosition | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W,3] | Положение КА в гринвичской системе координат (X,Y,Z). <i>SCPosition</i> [][][0-2] - координаты КА по осям X,Y,Z соответственно. Размерность – [м] |
| SCVelocity | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W,3] | Скорость КА в гринвичской системе координат (dx/dt, dy/dt, dz/dt). Размерность - [м/с]. <i>SCVelocity</i> [][][0-2] - скорость КА по осям X,Y,Z |
| SCAttitude | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W,3] | Угловое положение КА в системе координат построителя местной вертикали (ПМВ) <i>SCAttitude</i> [][][0-2] – крен, тангаж, рыскание |

| Название | Тип данных | Описание |
|----------|------------|----------|
|----------|------------|----------|

| | | |
|------------------|--|--|
| PointsOfContours | H5T_NATIVE_FLOAT [S,W, CountOfContourPoints*2] *** | Координаты (широта и долгота) набора точек для каждого контура. Широта и долгота для каждой точки записываются последовательно. Размерность – градусы. CountOfContourPoints – число точек контура (атрибут) |
| time_utc | H5T_COMPOUND [S,W] | Временная привязка данных в системе UTC. Используется составной тип данных, включающий в себя два поля: <i>days</i> - число полных суток от 01.01.2000 г., тип H5T_NATIVE_USHORT; <i>milliseconds</i> – число миллисекунд от начала суток (H5T_NATIVE_UINT32). |

(*) S - число полос обзора; W - число спектров в полосе обзора.

(**) В качестве атрибута датасета ScanAngle указываются установочные углы прибора на КА (атрибут SettingAngles)

(***) CountOfContourPoints - число точек в контуре

4.4 Структура группы параметров качества данных ИКФС-2

Группа *QualityData* имеет набор атрибутов, позволяющий оценить качество файла измерений в целом (см. таблицу 5), а также содержит в себе набор датасетов, позволяющий оценить качество каждого отдельного измерения (см. таблицу 6). Для всех представленных в таблице 6 флагов качества значение «0» означает отсутствие ошибки (иначе – её наличие).

Таблица 5. Описание атрибутов группы *QualityData*

| Название | Тип данных | Описание |
|----------------------|-------------------|---|
| ValidDataPercentage | H5T_NATIVE_DOUBLE | процент неповрежденных измерений в файле (для которых пакеты ТЛМ и ИФГ не имеют ошибок) к общему числу измерений в файле; параметр учитывает возможное частичное повреждение данных при хранении в запоминающем устройстве БИС КА, при приеме и распаковке; вычисляется на основе значений датасета Q_TLM и Q_IFG |
| ValidGeoPercentage | H5T_NATIVE_DOUBLE | процент измерений атмосферы, для которых географическая привязка выполнена с учетом данных ориентации КА; вычисляется на основе значений датасета Q_GEO |
| UsefulDataPercentage | H5T_NATIVE_DOUBLE | процент измерений атмосферы, пригодных для дальнейшей тематической обработки, к общему числу измерений атмосферы в файле; вычисляется на основе значений датасета Q_OVERALL |

Таблица 6. Описание группы данных параметров качества

| Название | Тип данных / номер бита | Описание |
|-----------|-------------------------|---|
| Q_TLM | H5T_NATIVE_UINT8 [S,W] | флаг отсутствия/повреждения пакета телеметрии |
| Q_IFG | H5T_NATIVE_UINT8 [S,W] | флаг отсутствия/повреждения пакета(-ов) интерферограммы |
| Q_ANGLE | H5T_NATIVE_UINT8 [S,W] | флаг несоответствия угла сканера циклограмме |
| Q_TIME | H5T_NATIVE_UINT8 [S,W] | флаг отсутствия временной привязки; устанавливается для всех измерений с момента включения прибора до прихода первой суточной метки |
| Q_TDET | H5T_NATIVE_UINT8 [S,W] | флаг высокой температуры фотоприемника (устанавливается при дегазации PX и выходе на режим) |
| Q_ICE | H5T_NATIVE_UINT8 [S,W] | флаг криосадка; устанавливается при достижении существенного уровня криосадка, требующего дегазации PX; определяется по уровню NESR в центре поглощения пленки льда |
| Q_SPIKES | H5T_NATIVE_UINT8 [S,W] | флаг наличия наводок/ помех в интерферограмме |
| Q_CLBR | H5T_NATIVE_UINT8 [S,W] | флаг ошибки калибровки; устанавливается при несоответствии температуры БМК рабочему значению, отсутствии требуемого набора ИФГ опорных источников и др. |
| Q_GEO | H5T_NATIVE_UINT8 [S,W] | флаг ограниченной точности геопривязки; при геопривязке с учетом ориентации КА по данным БОКЗ равен «0», иначе «1» (орбитальный прогноз, интерполяция или данные ДУС) |
| Q_OVERALL | H5T_NATIVE_UINT8 [S,W] | флаг ограниченной годности спектра для дальнейшей тематической обработки; является обобщенным и учитывает значения флагов Q_TLM, Q_IFG, Q_ANGLE, Q_TIME, Q_TDET, Q_ICE, Q_SPIKES, Q_CLBR и Q_GEO (логическое ИЛИ) |

4.5 Структура группы служебной информации

Группа *Info* содержит в себе следующие группы:

- группа *RSML_header*; содержит копию информации из заголовка выделенного *RSML*-файла ИКФС-2, поступающего на обработку;
- группа *Settings*; содержит телеметрическую информацию о режиме работы прибора и используемых комплектах (таблица 7);
- группа *r2h_report*; содержит служебную информацию, формируемую подпрограммой *RSML2HDF* в процессе распаковки выделенного бинарного файл-потока данных ИКФС-2 (таблица 8);
- группа *i2s_report*; содержит служебную информацию, формируемую в процессе обработки интерферограмм в калиброванные спектры излучения атмосферы (таблица 9);
- группа *geo_report*; содержит служебную информацию, формируемую ПК *GeoSpectr* в процессе геопривязки излучения атмосферы (таблица 10).

Таблица 7. Описание атрибутов группы *Settings*

| Название | Тип данных | Описание |
|----------------|------------------|--|
| ChannelBfk | H5T_NATIVE_UINT8 | Комплект БФК (0 – осн. / 1 – рез.) |
| ChannelBpop | H5T_NATIVE_UINT8 | Комплект БПОП (0 – осн. / 1 – рез.) |
| ChannelBud | H5T_NATIVE_UINT8 | Комплект БУД (0 – осн. / 1 – рез.) |
| ChannelBustr | H5T_NATIVE_UINT8 | Комплект БУСТР (0 – осн. / 1 – рез.) |
| ChannelLaser | H5T_NATIVE_UINT8 | Комплект лазера (0 – осн. / 1 – рез.) |
| ChannelPpt | H5T_NATIVE_UINT8 | Комплект ППТ (0 – осн. / 1 – рез.) |
| ChannelSensors | H5T_NATIVE_UINT8 | Комплект оптопар (0 – осн. / 1 – рез.) |
| ChannelTmi | H5T_NATIVE_UINT8 | Номер датчика МИ для СТР (0 – ТМИ1 / 1 – ТМИ2) |
| ChannelUrf | H5T_NATIVE_UINT8 | Комплект УРФ (0 – осн. / 1 – рез.) |
| ChannelVip | H5T_NATIVE_UINT8 | Комплект ВИП (0 – осн. / 1 – рез.) |
| SettingsAct | H5T_NATIVE_UINT8 | Число измерений БМК |
| SettingsKos | H5T_NATIVE_UINT8 | Число измерений космоса |
| SettingsKu | H5T_NATIVE_UINT8 | Номер коэффициента усиления |
| SettingsMi | H5T_NATIVE_UINT8 | Код температуры МИ для СТР |
| SettingsPk | H5T_NATIVE_UINT8 | Номер периода калибровки |
| SettingsPo | H5T_NATIVE_UINT8 | Номер полосы обзора |

Таблица 8. Описание атрибутов группы r2h_report

| Название | Тип данных | Описание |
|--------------------------|-----------------------|--|
| r2h_version | H5T_NATIVE_UINT16 [3] | версия RSML2HDF |
| StatsFrameCount | H5T_NATIVE_INT | число кадров в файле |
| StatsBadFrameCount | H5T_NATIVE_INT | число битых кадров |
| StatsCorrectedFrameCount | H5T_NATIVE_INT | число скорректированных кадров * |
| StatsTotalPacketCount | H5T_NATIVE_INT | число пакетов данных в файле |
| StatsCrcErrorCount | H5T_NATIVE_INT | число пакетов с неверной контрольной суммой |
| StatsCycleCount | H5T_NATIVE_INT | число циклов измерений (циклов калибровки) в файле |
| StatsDayMarkerCount | H5T_NATIVE_INT | число принятых подтверждений приема суточной метки |
| StatsFkConfirmationCount | H5T_NATIVE_INT | число принятых подтверждений ФК |
| StatsFkWarningCount | H5T_NATIVE_INT | число принятых сообщений о приеме недопустимой ФК |
| StatsTestResultsCount | H5T_NATIVE_INT | число принятых результатов тестов |

Таблица 9. Описание атрибутов группы i2s_report

| Название | Тип данных | Описание |
|-----------------------|-----------------------|---|
| i2s_version | H5T_NATIVE_UINT16 [2] | версия ifg2spectrum |
| AtmPoints | H5T_NATIVE_INT | общее число измерений атмосферы в файле |
| CorruptedAtmPoints | H5T_NATIVE_INT | число измерений атмосферы, для которых хотя бы один из пакетов ИФГ и ТЛМ имеет неверную контрольную сумму; определяется как $\text{sum}(Q_TLM \parallel Q_IFG)$ |
| AtmScanAngleErrors | H5T_NATIVE_INT | число измерений атмосферы, для которых угол сканера не соответствует циклограмме; определяется как $\text{sum}(Q_ANGLE)$ |
| PointsWithoutTime | H5T_NATIVE_INT | число спектров атмосферы с отсутствующей временной привязкой; определяется как $\text{sum}(Q_TIME)$ |
| PointsWithIceDetected | H5T_NATIVE_INT | число спектров с высоким уровнем криоосадка; определяется как $\text{sum}(Q_ICE)$ |
| PointsWithHighTdet | H5T_NATIVE_INT | число спектров с высокой температурой фотоприемника; определяется как $\text{sum}(Q_TDET)$ |
| ice_growthrate | H5T_NATIVE_DOUBLE | скорость роста криоосадка на холодном защитном стекле фотоприемника, мкм/сутки |
| ice_thickness | H5T_NATIVE_DOUBLE | накопленная толщина криоосадка на холодном защитном стекле фотоприемника, мкм |
| lmb_ref | H5T_NATIVE_DOUBLE | текущее значения длины волны лазера референтного канала, нм |

Таблица 10. Описание атрибутов группы geo_report

| Название | Тип данных | Описание |
|-------------|-----------------------|------------------|
| geo_version | H5T_NATIVE_UINT16 [2] | версия GeoSpectr |

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ

БИС – бортовая информационная система

БМК – бортовой модуль калибровки ИКФС-2 (бортовое черное тело)

БСКВУ – бортовое синхронизирующее координатно-временное устройство

ИКФС-2 – бортовой инфракрасный фурье-спектрометр

ИФГ – интерферограмма

КА – космический аппарат

ОРХ – оптическая разность хода

ОС – операционная система

ПК – программный комплекс

ПТС – программно-технические средства

СПЭЯ – спектральная плотность энергетической яркости

ТЛМ – телеметрия

ЭК – электронный каталог

HDF – Hierarchical Data Format (универсальный формат данных)

NESR – Noise Equivalent Spectral Radiance (спектральная яркость, эквивалентная шуму)

RSML – Russian Satellite Markup Language (язык разметки данных российских КА)