

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ВАЛИДАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИБОРА МТВЗА-ГЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ СЕРИИ «МЕТЕОР-М»

Евгений Владимирович Русин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории обработки изображений, тел. (383)330-73-32, e-mail rev@ooi.sccc.ru

Владимир Викторович Голомолзин

Сибирский центр Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская, 30, кандидат технических наук, зав. отделом НИР, тел. (383)363-46-05, e-mail: vvg@rcpod.ru

Описывается программный комплекс MTVZA-GY внешней калибровки и валидации информационных продуктов аппаратуры МТВЗА-ГЯ, устанавливаемой на космические аппараты серии «Метеор-М».

Ключевые слова: программное обеспечение, дистанционное зондирование, калибровка спутниковых измерений, валидация спутниковых измерений, «Метеор-М», МТВЗА-ГЯ.

SOFTWARE FOR VALIDATION OF MTVZA-GY INSTRUMENT OF METEOR-M SATELLITE SERIES

Evgeny V. Rusin

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 6, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Scientific Researcher of Image Processing Laboratory, phone: (383)330-73-32, e-mail: rev@ooi.sccc.ru

Vladimir V. Golomolzin

Siberian Centre of State Research Center «Planeta», 30, Sovietskaya St., Novosibirsk, 630099, Russia, Ph. D., Head of Department of Scientific Research, phone: (383)363-46-05, e-mail: vvg@rcpod.ru

The software is described for external calibration and validation of informational products of MTVZA-GY onboard instrument of Meteor-M satellites.

Key words: software, remote sensing, satellite data calibration, satellite data validation, Meteor-M, MTVZA-GY.

Введение

В период эксплуатации измерительного прибора на орбите характеристики самого прибора и бортовых калибровочных устройств изменяются. Для обеспечения надежного соответствия между интенсивностью изображений поверхности Земли и характеристиками измеренного прибором излучения необходима компенсация этих изменений [1], для чего выполняется «внешняя калибровка» прибора, то есть сравнение текущих результатов измерений с эталонными данными с последующей коррекцией пересчета шкалы прибора в физические характеристики. В качестве эталонных можно использовать соответствующие данные, полученные другими, близкими по характеристикам, приборами, либо модельные значения.

Устанавливаемый на полярно-орбитальные космические аппараты серии «Метеор-М» [2] микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ [3] предназначен для температурно-влажностного профилирования атмосферы, а также определения ряда интегральных параметров атмосферы и поверхности.

В настоящей работе рассматривается реализация комплекса MTVZA-GY, разработанного совместно ИВМиМГ СО РАН и НИЦ «Планета» и предназначенного для автоматизации процесса проведения внешней калибровки аппаратуры МТВЗА-ГЯ, а также валидации информационных продуктов для обеспечения характеристик, требуемых для решения целевых задач. В частности, комплекс позволяет выполнять:

- 1) расчет текущей величины систематического отклонения результатов измерений МТВЗА-ГЯ от эталонных;
- 2) обнаружение сбоев в работе аппаратуры МТВЗА-ГЯ;
- 3) контроль точности, исследование области применимости и обнаружение сбоев в работе программного комплекса ТВЗА-МКВ тематической обработки измерений МТВЗА-ГЯ для получения данных температурно-влажностного зондирования атмосферы.

Программный комплекс MTVZA-GY

Комплекс MTVZA-GY состоит из рабочего модуля и графического интерфейса конфигурирования. Он реализован на языке Python версии 3, что обеспечивает простоту интеграции в систему различных информационных и технологических ресурсов.

Рабочий модуль mtvzagyvalidate

Рабочий модуль комплекса mtvzagyvalidate выполняет калибровочные и валидационные операции для заданных периода времени и областей поверхности Земли («тестовых полигонов»). «Представительный» набор полигонов, определенный при разработке для обеспечения полноты покрытия валидационным процессом многообразия условий измерения, представлен в таблице.

Представительный набор тестовых полигонов

Полигон	Координаты границ (градусы широты и долготы)			
	юг	север	запад	восток
«Петергоф»	58.0,	+62.0	+28.0	+32.0
«Валдай»	+56.0	+60.0	+31.5	+35.5
«Арктика»	+67.0	+77.0	+45.0	+75.0
«Антарктика»	-85.0	-75.0	+60.0	+120.0
«Амазонка»	-4.0	0.0	-70.0	-50.0
«Сахара»	+19.0	+31.0	+12.0	+24.0
«Оклахома»	+31.5	+41.5	-102.5	-92.5
«Науру»	-4.5	+5.5	+161.5	+171.5
«Аляска»	+66.5	+76.5	-161.5	-151.5

Последовательно выполняется:

1. *Определение элементов орбиты КА «Метеор-М» для заданного периода времени.* Элементы орбиты позволяют рассчитать необходимые на последующих шагах параметры (номер витка, положение) космического аппарата в требуемый момент времени. Для их получения используется Web-сервис www.space-track.org, позволяющий получить элементы орбиты в формате TLE (Two-Line Element set).

2. *Получение соответствующих заданным периоду времени и областям результатов измерений МТВЗА-ГЯ.* Данные в виде битовых потоков, полученных на станции приема спутниковых данных с аппарата «Метеор-М», загружаются с FTP-сервера НИЦ «Планета», после чего выполняется их предварительная обработка: контроль целостности и достоверности, географическая и временная привязка, калибровка измерений. Предварительная обработка выполняется посредством использования программного комплекса предварительной обработки спутниковых данных МТВЗА-ГЯ КА «Метеор-М» № 2, № 2-1, № 2-2 (децимальный номер НБГК.00021).

3. *Выделение измерений, выполненных в условиях отсутствия облачности.* Для повышения достоверности калибровочно-валидационного процесса, осуществляется отбор измерений, выполненных в условиях минимального поглощения и рассеяния атмосферой исходящего от поверхности Земли излучения – то есть в безоблачных условиях в программе реализован следующий алгоритм поиска «безоблачных» измерений. Для этого реализован следующий эвристический алгоритм:

– Размер тестового полигона предполагается достаточно большим, чтобы в любой момент времени содержать области без облачности.

– Выделяется канал-детектор облачности c .

– Для каждого пролета f_p КА Метеор-М над тестовым полигоном P определяется максимум значения яркостной температуры, $\max_{i \in f_p} BT_c(i)$ измеренной в c .

– Измерение obs , выполненное при полете f_p над тестовым полигоном P , считается выполненным при отсутствии облачности, если измеренная яркостная температура в канале c меньше максимальной при этом полете не более чем на определенную величину δ : $\max_{i \in f_p} BT_c(i) - BT_c(obs) \leq \delta$.

4. *Получение прогнозных данных, соответствующих выделенным измерениям.* Операция является необходимой для последующего выполнения контрольного моделирования измерений и контроля качества температурно-влажностного зондирования. В качестве источника данных о состоянии атмосферы использует открытую модель NCEP GFS (Global Forecast System), генерирующую прогнозные данные на широтно-меридиональной сетке. Получение данных NCEP GFS выполняется посредством использования Web-приложения Grib Filter (http://nomads.ncep.noaa.gov/cgi-bin/filter_gfs_0p25.pl), предоставляющего данные с пространственным разрешением 0,25 градусов, генерирующиеся каждые 6 часов с заблаговременностью:

– от 0 до 120 часов: с шагом 1 час,

– от 120 до 240 часов: с шагом 3 часа,

– от 240 до 384 часов: с шагом 12 часов.

5. *Контрольное моделирование измерений для условий, соответствующих выделенным измерениям.* Моделирование измерений МТВЗА-ГЯ выполняется с помощью разработанного ранее авторами программного комплекса ускоренных радиационных расчетов SatRaS [4], использование которого позволяет существенно сократить время калибровочно-валидационного процесса по сравнению с применением традиционных полинейных моделей переноса излучения типа LBLRTM.

6. *Сравнение результатов измерений и модельных данных.* Для дальнейшего анализа важными являются статистические характеристики различия результатов модельных измерений относительно действительных результатов измерений в каждом канале:

– средняя величина соответствующих яркостных температур, характеризующая систематическое смещение результатов измерений прибора на орбите относительно ожидаемых: резкое ее увеличение (по сравнению с историческими значениями) может свидетельствовать о нарушении штатного режима работы аппаратуры;

– дисперсия разности соответствующих яркостных температур: большая ее величина также свидетельствует о сбое в работе соответствующего канала прибора.

7. *Внешняя калибровка прибора.* Данная операция необходима для использования результатов измерений в алгоритмах тематической обработки и усвоения данных: реальные данные измерений приводятся к данным «идеального» прибора. Фактически, выполняется компенсация систематического смещения действительных от модельных данных, рассчитанного на предыдущем шаге.

8. *Тематическая обработка: восстановление температурно-влажностных профилей атмосферы.* Скорректированные результаты измерений используются для получения оценок вертикальных профилей температуры и влажности атмосферы, реализуемого предоставленным НИЦ «Планета» программным комплексом ТВЗА-МКВ.

9. *Сравнение модельных профилей с прогнозными.* Для валидации программного комплекса ТВЗА-МКВ выполняется расчет статистических характеристик отличия полученных им оценок вертикальных температурно-влажностных профилей атмосферы с прогнозными данными NCEP GFS. Важной в данном случае является величина среднеквадратичного отклонения оценки ТВЗА-МКВ от прогноза GFS.

10. *Построение отчета о выполненной валидации и отправка его по электронной почте.* На основании выполненных расчетов модуль составляет отчет в текстовой форме, в который включает результаты калибровки, выводы о штатном/нештатном функционировании аппаратуры на орбите и оценку качества функционирования комплекса ТВЗА-МКВ. Отчет направляется по ответственным пользователям по электронной почте.

Полная диаграмма потоков данных модуля представлена на рис. 1.

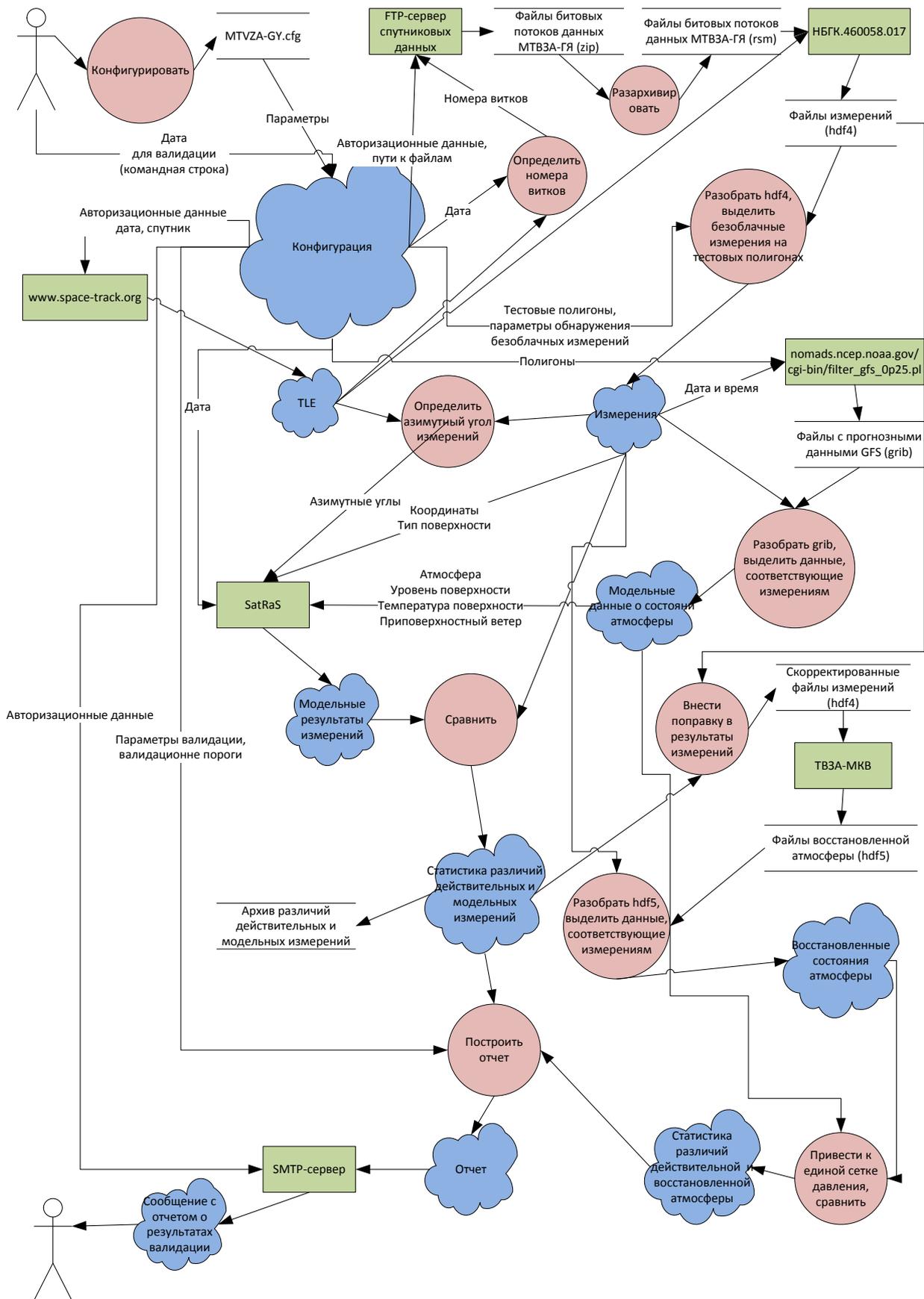


Рис. 1. Диаграмма потоков данных модуля `mtvzagyvalidate`

В типовом сценарии выполнения калибровки и валидации на полигонах, представленных в таблице, время работы программы на ПК с центральным процессором Intel Core i5 650 с тактовой частотой 3,3 ГГц составляет порядка получаса.

Интерфейс конфигурирования mtvzaguconfigure

Модуль конфигурирования комплекса mtvzaguconfigure предназначена для конфигурирования процесса выполнения внешней калибровки и валидации и обеспечивает графический интерфейс для просмотра и изменения конфигурационного файла модуля mtvzaguvalidate. Скриншоты рабочего окна интерфейса представлены на рис. 2.

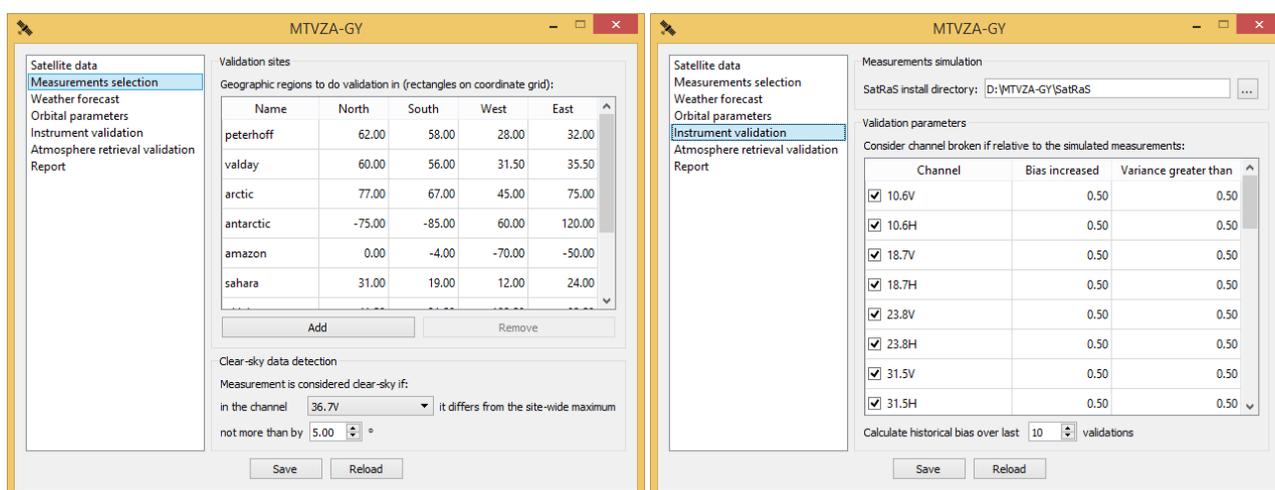


Рис. 2. Скриншоты окон интерфейса mtvzaguconfigure

Заключение

Разработанный программный комплекс MTVZA-GY обеспечивает автоматизацию процесса внешней калибровки и валидации информационных продуктов аппаратуры МТВЗА-ГЯ. В планах разработчиков системы на ближайшее будущее стоит ее апробации на архивных данных спутника «Метеор-М» №2, экземпляр прибора МТВЗА-ГЯ которого вышел из строя в августе 2017 г.; опытная эксплуатация в Сибирском Центре НИЦ «Планета»; и дальнейшее использование в оперативной практике обработки данных космического аппарата «Метеор-М» №2-2, запуск которого намечен на лето 2019 года.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ИВМиМГ СО РАН (проект 0315-2016-0003).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митник Л.М., Митник М.Л. Калибровка и валидация – необходимые составляющие микроволновых радиометрических измерений со спутников серии «Метеор-М» № 2 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2016. – Т. 13, № 1. – С. 95–104.

2. Асмус В.В., Загребаев В.А., Макриденко Л.А., Милехин О.Е., Соловьев В.И., Успенский А.Б., Фролов А.В., Хайлов М.Н. Система полярно-орбитальных метеорологических спутников серии «Метеор-М» // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 6. – С. 5-16.

3. Болдырев В.В., Горобец Н.Н., Ильгасов П.А., Никитин О.В., Панцов В.Ю., Прохоров Ю.Н., Стрельников Н.И., Стрельцов А.М., Черный И.В., Чернявский Г.М., Яковлев В.В. Микроволновый сканер/зондировщик МТВЗА-ГЯ КА «Метеор-М» № 1 // Вопросы электромеханики. – 2008. – Т. 107. – С. 22-25.

4. Успенский А.Б., Рублев А.Н., Русин Е.В., Пяткин В.П. Быстрая радиационная модель для анализа данных гиперспектрального ИК-зондировщика спутников серии «Метеор-М» // Исследование Земли из космоса. – 2013. – № 6. – С. 16-24.

© Е. В. Русин, В. В. Голомолзин, 2019