

Министерство образования Республики Беларусь  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«ПОЛОЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(Полоцкий государственный университет)

УДК 621.396

№ госрегистрации 20191242

Инв №

Проректор по научной работе

~~к.т.н., доцент~~

Ю.П. Голубев

\_2020г.

ОТЧЕТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ  
«Состав данных и форматы представления  
синтезированных радиолокационных изображений»  
в рамках задания  
«Исследования по реализации алгоритмов синтеза радиолокационных  
изображений космических радиолокаторов с синтезом апертуры  
и представлению полученных данных»  
(заключительный)

ГПНИ «Информатика, космос и безопасность» 1.1.25

Начальник ОСНИ

\_\_\_ Т.В. Гончарова

« 22 » декабря 2020г.

Научный руководитель  
заведующий кафедрой ВСиС,  
к.т.н., доцент

Р.П. Богуш

« 22 » декабря 2020г.

Новополоцк 2020

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Научный руководитель,  
зав. каф. ВСиС, к.т.н., доцент

Богуш Р.П.  
(введение, гл.1, п.4.1,  
заключение,  
приложение А)

Старший преподаватель  
кафедры энергетики и  
электроники, к.т.н.

В.М. Чертков  
(п.3.2)

Аспирант кафедры ВСиС,  
м.т.н.

Е.Р. Адамовский  
(гл.2, п.3.1,  
приложения В, Г)

Аспирант кафедры ВСиС,  
м.т.н.

И.Ю. Захарова  
(п.4.2,4.3,  
приложение Г)

Нормоконтролер

Л.В. Ищенко

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ И МЕТАДААННЫХ В СИСТЕМАХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ	8
1.1 Форматы хранения данных	8
1.2 Представление радиолокационных данных в формате HDF5	9
1.2.1 Особенности представления необработанных данных	10
1.2.2 Особенности представления данных первого уровня	13
2 ФОКУСИРОВКА И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ И МЕТАДААННЫХ В СТАНДАРТИЗИРОВАННОМ ФОРМАТЕ	16
2.1 Фокусировка радиолокационных данных COSMO-SkyMed	16
2.2 Методика представления метаданных и сфокусированных радиолокационных данных в формат HDF5	16
2.3 Моделирование представления данных спутника ERS-1 в формат HDF5	19
2.4 Моделирование фокусировки необработанных данных системы COSMO-SkyMed и представления изображения и метаданных в формат HDF5	25
3 АЛГОРИТМЫ И МОДЕЛИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ВЫХОДНЫХ ПРОДУКТОВ ПЕРВОГО УРОВНЯ СИСТЕМ ДЗЗ В СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЙ ФОРМАТ	39
3.1 Преобразование данных SENTINEL-1	39
3.1.1 Структура продукта IW SLC Sentinel-1	39
3.1.2 Алгоритм представления данных IW SLC Sentinel-1 в формате HDF5	40
3.1.3 Результаты моделирования	47
3.2 Преобразование данных TerraSAR-X	49
3.2.1 Анализ соответствия структурной организации метаданных систем TerraSAR-X и COSMO-SkyMed	50
3.2.2 Модель преобразования радиолокационных и метаданных из формата выходного продукта TerraSAR-X в формат HDF5	58
3.2.3 Программная реализация и моделирование	61
4 СЖАТИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО БЛОЧНОГО АДАПТИВНОГО КВАНТОВАНИЯ	66
4.1 Алгоритм и определение уровней для сжатия и восстановления данных	66
4.2 Квантование функции плотности нормального распределения в метрике квадратичного отклонения	67
4.3 Результаты моделирования	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	78
ПРИЛОЖЕНИЕ А Перечень публикаций по заданию 1.1.25	82

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Состав и структура радиолокационных данных системы COSMO-SkyMed нулевого уровня	83
ПРИЛОЖЕНИЕ В Состав и структура радиолокационных данных системы COSMO-SkyMed уровня 1А	92
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Соответствие атрибутов продукта уровня 1А системы COSMO-SkyMed и переменных приложения NEST 5.1	104

### Список использованных источников

- 1 Hein, A. Processing of SAR data: fundamentals, signal processing, interferometry: Springer, Berlin, 2004, 292p.
- 2 Радиолокационные системы землеобзора космического базирования // В. С. Верба [и др.]. – М. : Радиотехника, 2010. – 680 с.
- 3 Беленов, А.В. Стандартные уровни обработки и форматы представления данных ДЗЗ из космоса. Мировой опыт /А.В. Беленов // Геоматика. - 2009. - № 4. - с. 18-20.
- 4 Asrar, G., and Greenstone, R., 1995. МТРЕ EOS Reference Handbook. NASA Goddard Space Flight Centre.
- 5 Характеристика GEOEYE-1 (США) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://scanex.ru/upload/iblock/d54/d54481b8fe2c771788b6945ef3d23382.pdf> - Дата доступа: 10.07.2019.
- 6 Лупян, Е. А. Базовые продукты обработки данных дистанционного зондирования Земли / Е. А. Лупян, В. П. Саворский // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли. 2012. Т.9. №2 С. 87-96.
- 6 HDF5 Documentation [Electronic resource]. – Mode of access: <https://portal.hdfgroup.org/display/HDF5/HDF5>- Date of access: 09.07.2019.
- 8 NEST 5.1 Released [Electronic resource]. – Mode of access: <https://earth.esa.int/web/nest/news/-/article/nest-5-1-released> - Date of access: 22.11.2020.
- 9 Geomatica Software Web Site [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.pcigeomatics.com/software/geomatica/professional> - Date of access: 22.11.2020.
- 10 Radarsat-2 Product Format Definition [Electronic resource]. – Mode of access: <https://mdacorporation.com/docs/default-source/technical-documents/geospatial-services/radarsat-2-product-format-definition.pdf?sfvrsn=4>- Date of access: 09.07.2019.
- 11 Landsat 8 (L8) Data users handbook [Electronic resource]. – Mode of access: [https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1574\\_L8\\_Data\\_Users\\_Handbook\\_v4.0.pdf](https://prd-wret.s3-us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook_v4.0.pdf) - Date of access: 09.07.2019.
- 12 Sentinel-2 MSI Data Formats [Electronic resource]. – Mode of access: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/data-formats>- Date of access: 09.07.2019.
- 13 TerraSAR-X Level 1B Product Format Specifications [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/public/r460\\_9\\_030201\\_level-1b-product-format-specification\\_1.3.pdf](https://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/public/r460_9_030201_level-1b-product-format-specification_1.3.pdf) - Date of access: 09.07.2019.
- 14 Чертков, В. М. Особенности структуры и формата представления радиолокационных данных спутником TerraSAR-X / В. М. Чертков, Р. П. Богуш, Н. М. Наумович // Вестник Полоцкого Государственного Университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2018. – №4. – С. 21.
- 15 COSMO-SkyMed Web Site [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.cosmo-skymed.it/en/index.htm> - Date of access: 28.06.2019.

16 Basic Envisat SAR Toolbox [Electronic resource]. – Mode of access: [http://nilerak.hatfieldgroup.com/French/NRAK/EO/BEST\\_SUM\\_vb402.pdf](http://nilerak.hatfieldgroup.com/French/NRAK/EO/BEST_SUM_vb402.pdf) - Date of access: 09.07.2019.

17 ALOS-2/PALSAR-2 Level 1.1/1.5/2.1/3.1 GeoTIFF Product Format Description [Electronic resource]. – Mode of access: [https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/doc/fdata/PALSAR-2\\_xx\\_Format\\_GeoTIFF\\_E\\_r.pdf](https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/doc/fdata/PALSAR-2_xx_Format_GeoTIFF_E_r.pdf)- Date of access: 09.07.2019.

18 COSMO SkyMed SAR PRODUCTS HANDBOOK [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.cosmo-skymed.it/docs/ASI-CSM-ENG-RS-092-A-CSKSARProductsHandbook.pdf> - Date of access: 22.11.2020.

19 Лукьянов А.О. Особенности представления радиолокационных данных группой спутников COSMO-SkyMed в формате HDF / А.О. Лукьянов, Р.П. Богуш // Информатика: проблемы, методология, технологии. Материалы XVII Междун. конф., 9-10 февраля 2017 г. – Воронеж: Воронежский гос. ун-т, 2017. –Т.4 - с. 42-47

20 GNU Operating System: Software GNU Tar [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.gnu.org/software/tar/> - Date of access: 22.11.2020.

21 Data elements and interchange formats. Information interchange. Representation of dates and times [Electronic resource]. – Mode of access: [http://dotat.at/tmp/ISO\\_8601-2004\\_E.pdf](http://dotat.at/tmp/ISO_8601-2004_E.pdf) - Date of access: 22.11.2020.

22 ERS-1 (European Remote-Sensing Satellite-1) [Electronic resource]. – <https://directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/e/ers-1> - Date of access: 22.11.2020.

23. В.А. Ушенкин, Анализ алгоритмов фокусировки радиоголограмм от космического радиолокатора с синтезированной апертурой антенны// Информатика и прикладная математика: сборник научных трудов./ Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина (Рязань) . – 2014г. - № 20. – с.95-100

24. Cumming, G. Digital Processing of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms and Implementation/ G. Cumming and F.H.Wong // Norwood, MA: Artech House, 2005. – 656р.

25 Богуш, Р.П. Моделирование алгоритма формирования радиолокационного изображения на основе представленных в формате CEOS необработанных данных дистанционного зондирования Земли / Р.П. Богуш и [и др.] // Вестник Полоцкого государственного университета, серия С. Фундаментальные науки. - 2016г. - №12. – с. 13-21

26 ERS-1 SAR Images Search [Electronic resource]. – [http://eo-virtual-archive4.esa.int/search/ER01\\_SAR\\_IM\\_0P/html/?name=Franche-Comte](http://eo-virtual-archive4.esa.int/search/ER01_SAR_IM_0P/html/?name=Franche-Comte) - Date of access: 10.10.2019.

27 ESA NEST 5.1 [Electronic resource]. – Mode of access: <https://earth.esa.int/web/nest/news/-/article/nest-5-1-released> - Date of access: 19.07.2019.

28 Copernicus Open Access Hub [Электронный ресурс] –Режим доступа: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home> [дата обращения: 22.10.2019]

29. Sentinel-1 Product Specification [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://earth.esa.int/documents/247904/349449/Sentinel-1-Product-Specification.pdf> [дата обращения: 24.07.2019]

30 Адамовский, Е. Р. Особенности представления радиолокационных данных ДЗЗ в формате HDF5 / Е.Р. Адамовский, Р.П. Богуш // Материалы XXIV Международной научно-технической конференции «Современные средства связи». – Минск: Белорусская государственная академия связи, 2019. – С. 117– 118

31 Sentinel Application Platform [Electronic resource]. – Mode of access: <https://step.esa.int/main/toolboxes/snap/> - Date of access: 12.08.2019.

32 Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст]. В 2 т. Т. 1. Монография / К.М. Антонович; ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». – М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. – 334 с.: ил.

33 Самые точные и детальные геопространственные данные. TerraSAR-X, TanDEM-X [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://innoter.com/satellites/931>. – Дата доступа: 05.08.2019.

34 Document specifying the format of delivery, data structure, metadata information of TerraSAR-X data products [Electronic resource]. – Mode of access: [http://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/public/r460\\_9\\_030201\\_level-1b-product-format-specification\\_1.3.pdf](http://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/public/r460_9_030201_level-1b-product-format-specification_1.3.pdf). – Date access: 05.08.2019.

35 Чертков, В.М. Особенности структуры и формата представления радиолокационных данных спутником TerraSAR-X / В.М. Чертков, Р.П. Богуш, Н.М. Наумович // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. С, Фундам. науки. – 2017. – № 4. – С. 21–27.

36 Чертков, В. М. Сравнительный анализ форматов и особенностей представления метаданных выходных продуктов систем COSMO-SKYMED и TERRA-SAR-X / В. М. Чертков, Р. П. Богуш // Современные средства связи : материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф., 17-18 окт. 2018 года, Минск, РБ; редкол.: А.О. Зеневич [и др.] / Белорусская государственная академия связи. – Минск, 2019. – С. 144-146.

37 Чертков, В. М. Преобразование выходного продукта TerraSAR-X в формат HDF5 / В. М. Чертков, Р. П. Богуш, Н. М. Наумович // Вестник полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2019. – № 12. – С. 78-85.

38 Нестеров, И.М. Влияние сжатия данных на качество радиолокационных изображений // Журнал радиоэлектроники. - 2016г. - №8.

39 Коберниченко, В. Г. Радиоэлектронные системы дистанционного зондирования Земли: [учеб. пособие] / В. Г. Коберниченко ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 220 с.

40 Benz, U. A Comparison of Several Algorithms for SAR Raw Data Compression/ U. Benz, K. Strodl, A. Moreira // IEEE Transactions on geoscience and remote sensing. – 1995. - V. 33. - №. – 5. – P. 1266-1276

41 Agrawal, N. SAR signal processing algorithms / N. Agrawal, K. Venugopalan // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2009. – V. 4. – № 9. – P. 40–45.

42 Peshkova, S. Analysis of Complex SAR RAW Data Compression/S. Peshkova, S. Vnotchenko// [Electronic resource]. – Mode of access: [http://adsbit.harvard.edu/cgi-bin/nph-article\\_query?bibcode=2000ESASP.450D..19F&db\\_key=AST&page\\_ind=555&plate\\_select=NO&data\\_type=GIF&type=SCREEN\\_GIF&classic=YES](http://adsbit.harvard.edu/cgi-bin/nph-article_query?bibcode=2000ESASP.450D..19F&db_key=AST&page_ind=555&plate_select=NO&data_type=GIF&type=SCREEN_GIF&classic=YES). – Date of access: 14.01.19

43 Пастухов Д.Ф. Аппроксимация уравнения Пуассона на прямоугольнике повышенной точности / Д.Ф. Пастухов, Ю.Ф. Пастухов // Вестник Полоцкого университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2017. – № 12. – С. 62–77.

44 Пастухов, Ю.Ф. Тензор обобщенной энергии / Ю.Ф. Пастухов, Д.Ф. Пастухов, С.В. Чернов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С, Фундаментальные науки. – 2017. – № 12. – С. 78–100

45 Богуш, Р.П. Формирование радиолокационного изображения на основе представленных в формате CEOS данных / Р.П. Богуш, С.А. Игнатьева, Н.М. Наумович, С.П. Урбанович // Новые информационные технологии и системы: сб. научн. ст. XIII Междун. науч.-техн. конф., 23-25 ноября 2016 г. – Пенза: Пензенский гос. ун-т, 2016. –с. 169-173

46 Technical Note: Envisat ASAR Data Decoding//[Electronic resource]. – Mode of access: <https://earth.esa.int/documents/10174/1592412/ENVTEC145F.pdf>. – Date of access: 20.01.19.

47 Сэломон, Д. Сжатие данных, изображений и звука. – М.: Техносфера, 2004. - 368с.

48 Мальцев, С.В. Обработка сигналов и изображений средствами векторно-матричных вычислений / С.В. Мальцев, С.В. Абламейко, Р.П. Богуш. - Новополюцк: ПГУ, 2011. – 212с.