

УДК 629.78

**МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМА ФОРМИРОВАНИЯ
РАДИОЛОКАЦИОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ ПРЕДСТАВЛЕННЫХ В ФОРМАТЕ
CEOS НЕОБРАБОТАННЫХ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

*кан. техн. наук, доц. Р.П. БОГУШ, С.А. ИГНАТЬЕВА
(Полоцкий государственный университет);*

*кан. техн. наук Н.М. НАУМОВИЧ, С.П. УРБАНОВИЧ
(Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники)*

Системы дистанционного зондирования Земли на основе радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны позволяют получать детальные радиолокационные изображения местности с качеством близким к оптическим системам при любых метеоусловиях и в любое время суток. Для представления необработанных радиолокационных данных применяется формат CEOS, предписывающий использование структуры из четырех файлов, включая файл каталога тома, файл заголовка, файл данных, файл нулевого тома. Выполнено моделирование процедуры формирования изображения с использованием пакета MatLab. Для этого применяется алгоритм быстрой свертки с компенсацией миграции дальности, который позволяет получить сфокусированное комплексное изображение. Приведены результаты моделирования и описаны основные используемые функции при реализации алгоритма в пакете MatLab.

Ключевые слова: синтезированная апертура, формат данных CEOS, радиолокационное изображение.

Введение. Одной из приоритетных задач мирового сообщества в настоящее время является обеспечение глобального мониторинга Земли при различных метеорологических условиях [1, 2]. Среди существующих систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) системы на основе радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны (РСА), установленные на космических аппаратах, позволяют получать детальные радиолокационные изображения местности с качеством близким к оптическим системам при любых метеоусловиях и в любое время суток. Преимущество радиолокационного зондирования состоит в том, что оно является средством выявления физических свойств объектов в СВЧ-диапазоне волн и измерительным инструментом с возможностями использования фазовой информации, применения широкого набора режимов съемки и алгоритмов обработки данных. Это позволяет существенно расширить круг решаемых прикладных задач в научных и хозяйственных сферах, мониторинге катастроф и чрезвычайных ситуаций, обеспечении государственной безопасности [1].

С момента появления коммерчески доступных систем обработки радиолокационных данных возникла необходимость их стандартизации, что привело к созданию Комитета по спутниковым наблюдениям Земли (Committee on Earth Observation Satellites – CEOS), в который вошли 28 космических агентств. Данным комитетом приняты стандарты по уровням обработки радиолокационных данных и форматам их представления [3]. Однако некоторые космические агентства, базируясь на принятых стандартах, используют свои представления и обозначения уровней обработки [4]. В основном выделяют следующие уровни представления радиолокационных данных космической съемки: необработанные данные, представляющие собой радиоголограмму (РГГ), и набор метаданных; предварительно обработанные данные, для которых выполнена радиометрическая и геометрическая коррекция; вторично обработанные данные, имеющие к тому же пространственную привязку в заданной системе координат [4, 5]. Известно, что чем ниже уровень обработки данных, тем меньше вероятность возникновения ошибок, достаточно просто организовать изменение алгоритмов при обработке, возможны максимальная автоматизация процесса и сокращение времени обработки и объема памяти [1, 6]. При этом определение состава и формата представления основных и вспомогательных данных при описании радиолокационной информации требует учета многих разнородных факторов процесса функционирования РСА и его носителя [5]. Комитетом CEOS рекомендован формат CEOS для набора метаданных РСА, который включает фиксированных записей, состоящих из смеси ASCII и бинарных записей [3]. Реализация РСА ставит ряд сложных задач при синтезе алгоритмов обработки, поэтому на первом этапе применяются методы математического моделирования процессов преобразования и обработки сигналов.

Представление данных в формате CEOS. Для представления радиолокационных данных ДЗЗ в формате CEOS используется структура из четырех файлов (рис. 1, а): файл каталога тома (Volume directory file), файл заголовка (Leader file), файл данных (Data set file), файл нулевого тома (Null volume file) [3]. Каждый файл содержит записи, первые 12 байт которых имеют одинаковую структуру и включают информацию о порядковом номере записи (с первого по четвертый байт), типе кода записи для ее

идентификации при обработке, расположенные с пятого по восьмой байт (CEOS-код), и длину записи (с девятого по двенадцатый байт). Каждая запись разделена на области, имеющие в зависимости от содержимого определенный формат, описание которого состоит из двух частей. Для первой части используется буквенное обозначение областей: А – буквенно-цифровая, В – код CEOS, I – целочисленные данные, F – числовая с плавающей точкой, E – числовая экспоненциальная область. Вторая часть описания представляется числом, указывающим количество байт, занимаемых данной областью. Если эта часть представлена дробным числом, то целая часть числа дает информацию об общем количестве байт области, а часть числа после запятой – информацию о количестве байт, отведенных для дробной составляющей.

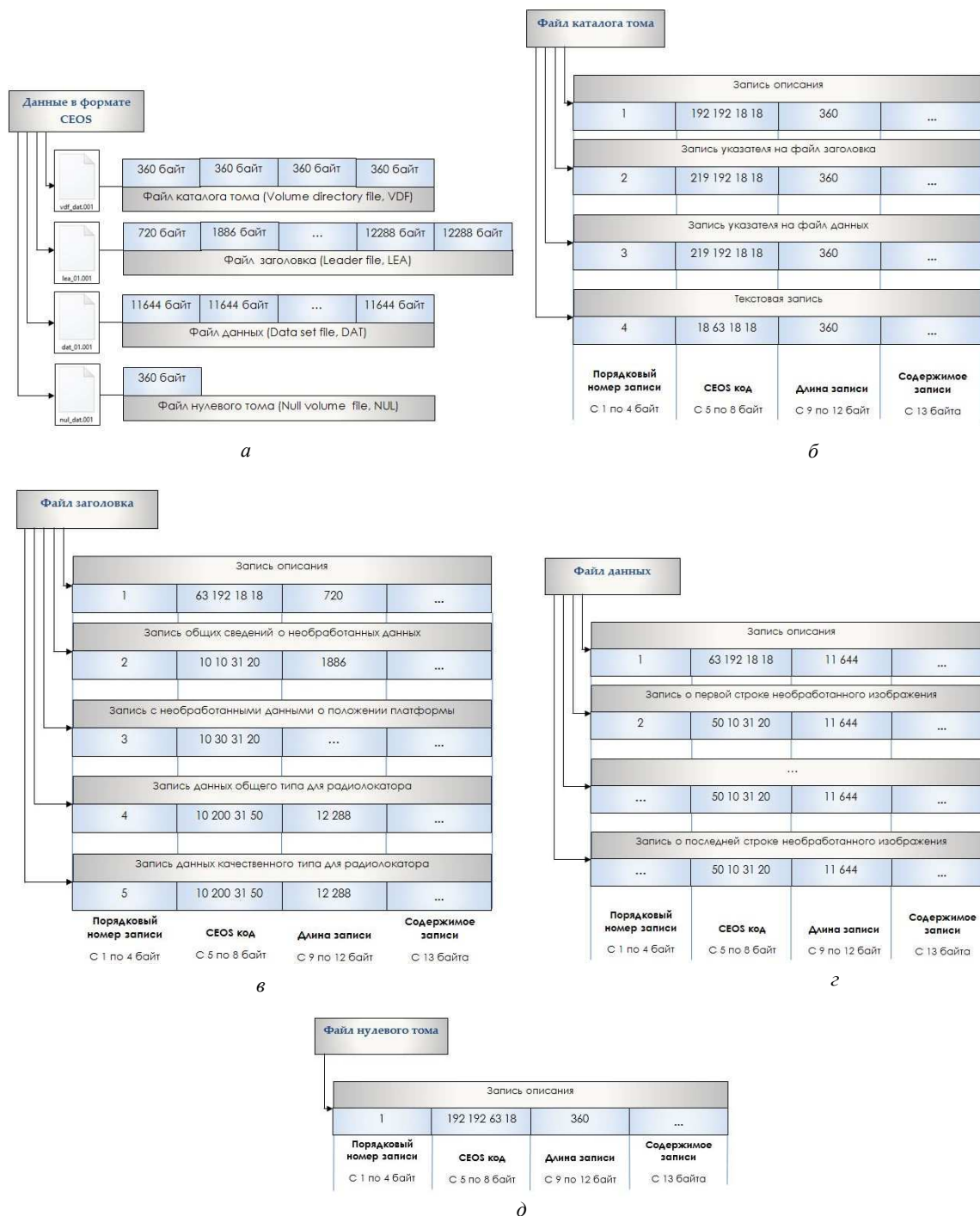


Рисунок 1. – Структура радиолокационных данных в формате CEOS: а – общая схема представления данных; б – структура файла каталога тома; в – структура заголовочного файла; г – структура файла данных; д – структура файла нулевого тома

Файл каталога тома содержит запись его описания, запись указателя на файл заголовка, запись указателя на файл данных, текстовую запись (рис. 1, б). Запись описания тома включает идентификаторы и количество томов, их порядковые номера, дату, время, страну, организацию создания тома и др. Запись указателя на файл заголовка содержит максимальную длину записи в файле и номер физического тома. Запись указателя на файл данных хранит тип данных, тип кода данных, количество записей и др. Текстовая запись содержит текстовую информацию о спецификации типа продукта, местоположение и дату создания продукта, идентификатор и местоположение сцены.

Файл заголовка включает запись описания, запись о необработанных данных, запись с необработанными данными о положении платформы, запись данных общего типа для радиолокатора, запись данных качественного типа для радиолокатора (рис. 1, в). Запись описания содержит идентификатор формата контрольного документа, номер и имя файла, сведения о локации и наборе данных, информацию о количестве и длине записи картографической проекции, положении платформы, пространственном положении, радиометрических данных, радиометрических коррекциях, спектральных диапазонах, корректировках параметров радара, типе длины записи. Запись о необработанных данных хранит основные параметры датчиков, точные параметры датчиков (кодирование времени), общие параметры для обработки, указатель диапазона сжатия, параметры сцены и особенности, характерные для рассматриваемого участка местности. Запись с необработанными данными о положении платформы включает информацию о позиционировании опорных точек кадра, точную дату получения каждой из точек, временной интервал между точками, справку о системе координат, ошибку позиционирования вдоль и перпендикулярно направлению движения платформы, вектора положения и скорости для каждой точки. Запись данных общего типа для радиолокатора содержит информацию о начальной длительности стробирующего импульса, об изменении частоты следования импульсов, о калибровочных коэффициентах, состоянии опорного ЛЧМ сигнала, входных данных статистики, достоверности среднего значения доплеровской частоты, степени достоверности неопределенности сдвига доплеровской частоты, количестве вышеперечисленных изменений, уровнях боковых лепестков кросс-корреляционной функции ЛЧМ, расчетных значениях квадратурной и синфазной составляющей входного сигнала, калибровке сигнала.

Файл данных включает запись описания файла и набор записей необработанных данных (рис. 1, г). Запись описания файла содержит идентификатор формата контрольного документа, номер и имя файла, данные о локации (номер, протяженность, код, флаг локации), информацию о количестве записей с необработанными данными, длине каждой записи, количестве строк и пикселей в каждом комплекте данных. Каждая запись с данными необработанного сигнала хранит описание, включающее количество строк, количество пикселей в строке, вспомогательную информацию о параметрах датчиков, счетчик пакетов, и представляет собой одну строку РГГ, т.е. отраженные сигналы для одного зондирующего импульса. Каждый элемент строки РГГ представлен двумя байтами, по одному байту на синфазную и квадратурную составляющие отраженного сигнала.

Файл нулевого тома содержит запись описания файла, которая включает идентификаторы физического и логического томов, количество томов, их порядковые номера, дату, время, страну, организацию создания тома (рис. 1, д).

Методика формирования радиолокационного изображения. В основе компьютерного моделирования используется метод формирования радиолокационного изображения на основе алгоритма быстрой свертки с компенсацией миграции дальности, который позволяет получить сфокусированное комплексное изображение [7]. Алгоритм требует выполнения сжатия по дальности и по азимуту с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). Для сжатия по дальности необходимо вычислить спектр, выполнить свертку полученного спектра с комплексно-сопряженной опорной функцией по дальности и к результату применить обратное БПФ. Сжатие по азимуту в данном алгоритме включает компенсацию миграции дальности. Выходные данные после завершения процедуры сжатия по дальности представляются в частотной области. Далее каждый столбец массива полученных значений складывается с соответствующим значением смещения частоты, затем выполняется свертка с опорной функцией по азимуту и к полученным данным применяется обратное БПФ. Таким образом, для формирования радиолокационного изображения с использованием представленных в формате CEOS необработанных данных ДЗЗ на основе алгоритма быстрой свертки с компенсацией миграции дальности необходимо решить следующие задачи:

- считать из файла заголовка метаданные, а из файла с данными получить квадратурные и синфазные значения сигнала;
- рассчитать параметры, необходимые для формирования опорных функций по дальности и по азимуту;

– рассчитать частотный сдвиг для каждого пикселя изображения для компенсации миграции дальности;

– выполнить процедуры сжатия по дальности и по азимуту.

На подготовительном этапе алгоритма необходимо получить следующие метаданные из файла заголовка: наименование спутника; длину волны радиолокатора λ ; частоту следования импульсов f_{PRF} ; частоту дискретизации импульсов $f_{дискр}$; длительность импульсов τ ; длительность строба дальности τ_{rgd} ; вектор скорости V_x , V_y и V_z по трем координатам X , Y и Z соответственно; количество отсчетов по дальности M ; количество отсчетов по азимуту N . Кроме этого, необходимо задать реальную длину антенны L , высоту спутника над поверхностью Земли h , оценку скорости изменения частоты ЛЧМ сигнала K_R .

Для формирования опорных функций по дальности и по азимуту необходимо рассчитать:

– параметры радиолокатора: несущую частоту (f_c) и ширину раскрыва антенны на уровне 3 дБ (B_a);

– характеристики скорости и времени: орбитальную скорость платформы (V), путевую скорость платформы (V_p), временные значения по дальности (t), период дискретизации по дальности Δt , временные значения по азимуту (η), период дискретизации по азимуту ($\Delta \eta$), интервал времени, в течение которого рассматриваемая точка находится в пределах диаграммы направленности антенны (τ_{az});

– характеристики отраженного сигнала: доплеровскую частоту (f_a), центральную доплеровскую частоту (f_{dc}), оценку доплеровской частоты (k_a), частотный сдвиг (Δf), фазу отраженного сигнала (φ_{avg});

– характеристики дальности: разрешение по дальности (ΔR), минимальную наклонную дальность от платформы до каждой точки целевой области (R_{min}), наклонную дальность, выраженную функцией от частотного сдвига ($R(\Delta f)$), наклонную дальность, выраженную функцией от доплеровской частоты ($R(f_a)$);

– параметры обработки: общее количество строк РГГ (M_{iines}); количество пикселей в строке (M_{pixei}), которое обусловлено дальностью; количество отсчетов по азимуту (M_{azimut}), определяющих размер малой апертуры; количество шагов алгоритма обработки (M_{step}); количество строк фрагмента РГГ (M_{part}).

Для усреднения мощности отраженного сигнала и повышения радиометрического разрешения изображения РГГ обрабатывается частями. При этом для эффективного применения алгоритма БПФ количество строк обрабатываемого фрагмента РГГ должно быть кратно степени числа 2. Данный подход реализуется путем деления всей азимутальной зоны наблюдения на малые апертуры, их обработкой и дальнейшим суммированием полученных РЛИ.

Количество шагов M_{step} алгоритма можно определить следующим образом:

$$M_{iter} = \frac{M_{iines}}{M_{azimut}}.$$

Следовательно, на первом шаге алгоритма из файла с данными формата CEOS необходимо считать M_{part} записей необработанных данных, в которых содержатся синфазные I и квадратурные Q составляющие отраженного сигнала. На каждой следующей итерации из файла с данными считывается M_{part} записей данных с учетом количества обработанных на предыдущих этапах фрагментов РГГ. Причем количество строк обработанного фрагмента РГГ определяется малой апертурой. Поскольку $M_{part} > M_{azimut}$, то фрагменты изображения на каждом этапе обработки перекрываются, что улучшает разрешение полученного РЛИ.

Число отсчетов по азимуту, определяющих размер малой апертуры может быть выражено как

$$M_{azimut} = M_{iines} - [\tau_{az} \cdot f_a],$$

здесь квадратные скобки означают, что полученное значение округляют до большего целого.

Количество пикселей в строке определяется с учетом представления синфазной и квадратурной составляющих для каждого дискретного отсчета отраженного сигнала:

$$M_{pixei} = \frac{K_{bytes} - K_{header}}{2} - \tau \cdot f_{дискр},$$

где K_{header} – количество байт, занимаемых префиксом каждой записи, является постоянным для необработанных данных в формате CEOS ($K_{header} = 412$ байт);

K_{bytes} – количество байт в каждой записи ($K_{bytes} = 11644$ байт).

В общем виде зондирующий импульс при использовании ЛЧМ-сигнала может быть описан формулой

$$s = e^{i\varphi},$$

где φ – фаза зондирующего ЛЧМ-сигнала [1].

Фаза зондирующего ЛЧМ-сигнала определяется согласно выражению

$$\varphi = 2\pi f_c t + \pi K_R t^2,$$

где f_c – несущая частота ($f_c = \frac{c}{\lambda}$);

c – скорость распространения электромагнитных волн.

При этом временной интервал определяется для $|t| \leq \frac{\tau}{2}$ по формуле [8]

$$-\frac{\tau}{2} \leq t[n_r] \leq \frac{\tau}{2}.$$

Если $t[n_r] = -\frac{\tau}{2}$ и $\Delta t = \frac{1}{f_{\text{дискр}}}$, то $t[n_r] = -t[n_r - 1] + \Delta t$, где $n_r = 1, 2, 3, \dots, M_{\text{pixel}}$ – номер отсчета

по дальности.

Разрешение по дальности $\Delta R = \frac{c}{2K_R\tau}$ не зависит от несущей частоты, следовательно при формировании опорной функции по дальности принимают $f_c = 0$, тогда

$$S_R = e^{i\pi K_R t^2}.$$

Движение летательного аппарата, вращение Земли и угол обзора приводят к тому, что центральная доплеровская частота принимает значения, отличные от нуля. Она характеризует сдвиг частоты отраженного сигнала от точки в центре диаграммы направленности антенны (ДНА), поэтому для обработки данных по азимуту необходимо определить доплеровскую частоту:

$$f_a = f_{dc} + K_a \eta.$$

Изменение доплеровской частоты приводит к такому явлению, как миграция дальности, и следовательно фаза отраженного сигнала также зависит от доплеровской частоты. Тогда при известной фазе отраженного сигнала для каждой точки можно вычислить значение центральной доплеровской частоты на основе данных, сжатых по дальности. Для каждого отсчета по дальности усредняется изменение фазы для двух соседних отсчетов по азимуту.

Среднее арифметическое всех средних значений изменения фаз позволяет получить центральную доплеровскую частоту:

$$f_{dc} = \frac{\text{mean}(\varphi_{\text{avg}})}{2\pi \cdot f_{PRF}},$$

где $\varphi_{\text{avg}} = \arctg\left(\frac{Q}{I}\right)$ фаза, где Q – квадратурная составляющая отраженного сигнала, I – синфазная составляющая отраженного сигнала.

Оценка доплеровской частоты рассчитывается как

$$k_a = -\frac{2V_p^2}{\lambda R_{\min}},$$

где $V_p = V \sqrt{\frac{r}{r+h}}$ – путевая скорость платформы, здесь $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$ – орбитальная скорость, r – радиус Земли;

$R_{\min} = n_r \cdot \Delta R$ – минимальная наклонная дальность от платформы до цели, которая рассчитывается для каждой точки.

Известно, что скорость изменения частоты влияет на фазу отраженного сигнала, а доплеровская частота влияет на характеристики отраженного сигнала по азимуту. Поэтому при формировании опорной функции по азимуту оценка ЛЧМ K_R заменяется на оценку доплеровской частоты k_a . Тогда опорная функция по азимуту формируется для каждого отсчета по дальности, по азимутальному времени $|\eta| < \frac{\tau_{az}}{2}$ и имеет вид

$$S_A = e^{i(2\pi f_c \eta + \pi k_a \eta^2)}.$$

При этом диапазон азимутального времени определяется как

$$-\frac{\tau_{az}}{2} \leq \eta[n_{az}] \leq \frac{\tau_{az}}{2},$$

где $n_{az} = 1, 2, 3, \dots, M_{azimut}$;

τ_{az} – значения медленного времени, в течение которого рассматриваемая точка находится в пределах ДНА.

Значения медленного времени определяются по формуле

$$\tau_{az} = \frac{B_a}{V_p},$$

где $B_a = \frac{0,8R(f_a)\lambda}{L}$ – ширина раскрыва антенны на уровне 3 дБ;

$R(f_a) = \frac{R_{\min}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda f_a}{2V_p}\right)^2}}$ – наклонная дальность как функция от доплеровской частоты;

$\Delta\eta = \frac{1}{f_{PRF}}$ – период дискретизации медленного времени.

Для компенсации миграции дальности необходимо учитывать миграцию дальности по всей ширине ДНА. Массив сжатых по дальности данных рассматривается в частотной области, т.е. в координатах наклонная дальность, доплеровская частота (R_a, f_a). При этом элементы каждого столбца массива складываются с соответствующим смещением частоты. Наклонная дальность рассматривается как функция от доплеровской частоты, поэтому миграция каждой точки также является функцией сдвига частоты Δf :

$$\Delta f = [0 : M_{azimut}]^T \cdot \frac{f_{PRF}}{M_{azimut}} + f_a.$$

Зависимость наклонной дальности от частотного сдвига определяется как

$$R(\Delta f) = \frac{R_{\min}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda \Delta f \eta}{2V_p}\right)^2}} - R_{\min}.$$

После свертки полученных данных с опорной функцией по азимуту формируются сжатые по азимуту данные или сфокусированное комплексное изображение. На рисунке 2 представлена общая схема алгоритма быстрой свертки с компенсацией миграции дальности на основе БПФ.

Результаты моделирования в пакете MatLab. В качестве исходных данных при моделировании алгоритма формирования радиолокационного изображения использованы представленные в формате SEOS необработанные данные, полученные со спутника ERS-2 [9]. Для данного спутника $L = 10$ м, $h = 790\,000$ м, $K_R = 4,19 \cdot 10^{11}$. Размер используемого для экспериментов РЛИ $M_{lines} = 29\,199$, количество пикселей в строке $M_{pixel} = 4912$. Количество отсчетов по апертуре $M_{azimut} = 1116$, тогда количество итераций будет $M_{step} = 26$. Количество строк по азимуту, для каждой итерации $M_{part} = 2048$, таким образом перекрытие между соседними частями РЛИ составляет около 45,5%.

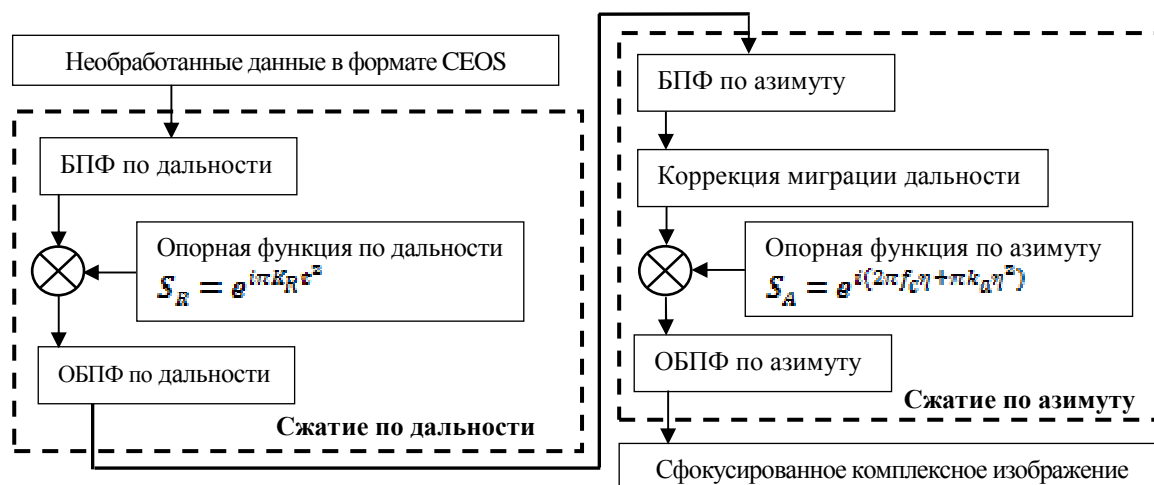


Рисунок 2. – Схема алгоритма быстрой свертки с компенсацией миграции дальности

Для реализации метода формирования радиолокационного изображения на основе алгоритма быстрой свертки с компенсацией миграции дальности в пакете MatLab реализованы и используются следующие основные функции: `ref_r` – формирование опорной функции по дальности; `comp_r` – сжатие данных по дальности; `dop_centr_fr` – определение центральной доплеровской частоты; `chirp_az` – расчет фазы переданного сигнала по азимуту и формирование опоры по азимуту; `ref_az` – формирование опорной функции по азимуту для каждого отсчета по дальности с использованием для этого функции `chirp_az`; `r_migr` – компенсация миграции дальности; `comp_az` – сжатие по азимуту; `fwrite` – используется для записи информации в бинарные файлы; `fread` – применяется для чтения информации из бинарных файлов; `fft` – предназначается для вычисления дискретного преобразования Фурье; `ifft` – выполнение обратного преобразования Фурье.

Наличие боковых лепестков в ДНА по азимуту приводит к такому явлению, как неоднозначность по азимуту, которое обуславливает появление на РЛИ «призрачных» объектов, возникающих из-за получения переотраженных сигналов [1]. Результаты моделирования демонстрируют появление такого эффекта для выделенной области фрагмента изображения (рис. 3, б) на соседних фрагментах РЛИ (рис. 3, а и рис. 3, в).

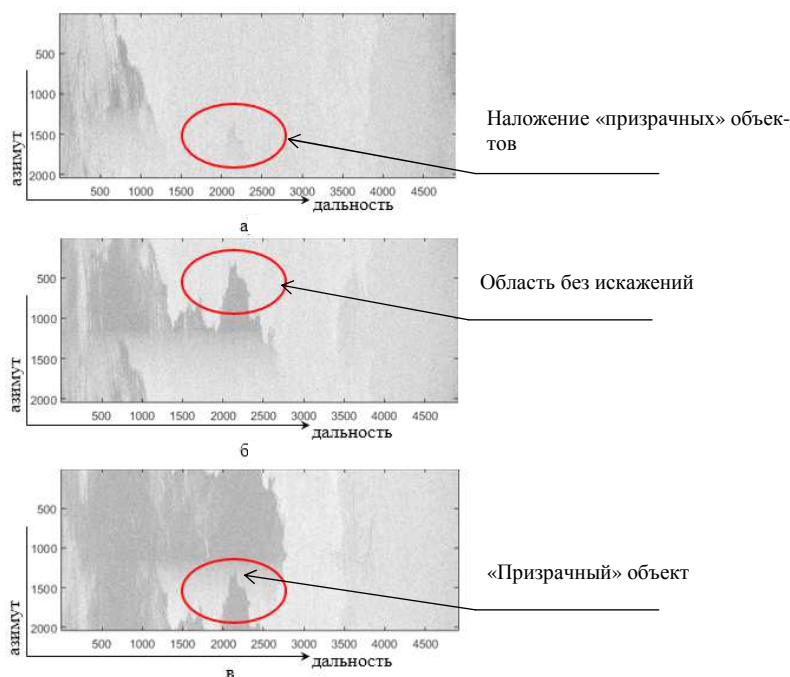


Рисунок 3. – Пример неоднозначности по азимуту:

а – фрагмент РЛИ со скрытием реального объекта «призрачными» при $M_{step} = 10$;
 б – фрагмент РЛИ при $M_{step} = 11$ без искажений; в – фрагмент РЛИ с «призрачным» объектом при $M_{step} = 12$

На рисунке 4 представлены первые части этапов формирования радиолокационного изображения в координатах наклонная дальность / азимут на основе необработанных данных, полученных со спутника ERS-2, которые представлены в формате CEOS.

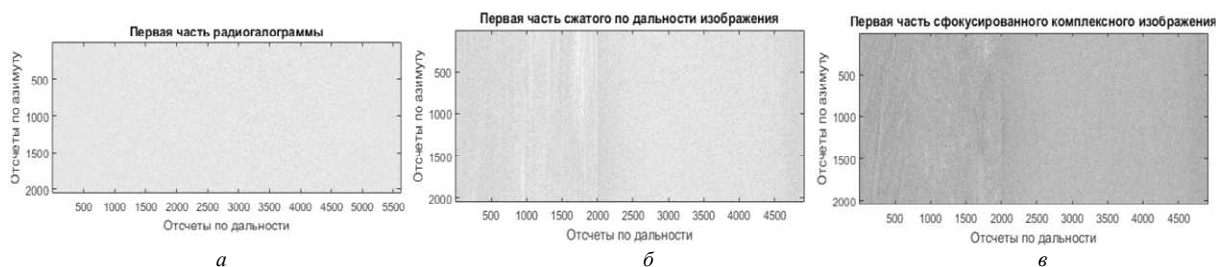


Рисунок 4. – Пример формирования первой части изображения:
***a* – необработанные входные данные; *b* – результат сжатия по дальности;**
***в* – сфокусированное комплексное изображение**

Следующим этапом обработки РЛИ является геометрическая коррекция, которая направлена на преобразование изображения из координат наклонная дальность/азимут в координаты горизонтальная дальность/азимут. В результате данной операции РЛИ принимает вид, показанный на рисунке 5. Изображения этого уровня характеризуются уменьшенной зернистостью и приводятся к приблизительно квадратным ячейкам разрешения. Для получения изображения с геометрической коррекцией усредняются значения между 20 отсчетами по азимуту и 4 отсчетами по дальности.

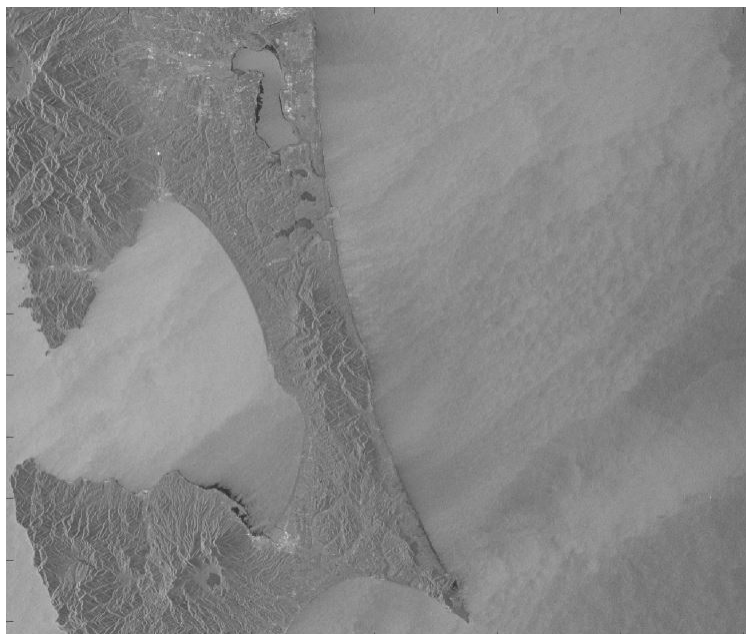


Рисунок 5. – Результат геометрической коррекции сфокусированного изображения

Заключение. Системы дистанционного зондирования Земли на основе радиолокаторов с синтезированной апертурой антенны позволяют получать детальные радиолокационные изображения местности с качеством близким к оптическим системам при любых метеоусловия и в любое время суток. Для представления необработанных радиолокационных данных применяется формат CEOS, предписывающий использование структуры из четырех файлов, включая файл каталога тома, файл заголовка, файл данных, файл нулевого тома. С учетом особенности записи в данном формате основных и вспомогательных радиолокационных данных выполнено моделирование процедуры формирования изображения с использованием пакета MatLab. Для этого применяется метод формирования радиолокационного изображения на основе алгоритма быстрой свертки с компенсацией миграции дальности на основе БПФ. При моделировании алгоритма формирования радиолокационного изображения используются хранимые в формате CEOS необработанные данные, полученные со спутника ERS-2.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования // В. С. Верба [и др.]. – М. : Радиотехника, 2010. – 680 с.
2. Шпенст, В. Радиолокационные станции дистанционного зондирования Земли космического базирования / В. Шпенст // Компоненты и технологии. – 2013. – № 3. – С. 154–58.
3. CEOS WGD on Synthetic Aperture Radar Data Product Format Standards issue 2 revision (CEOS-SAR-CCT) // Committee on Earth Observation Satellite (CEOS) Data Subgroup, 1989.
4. Беленов, А. В. Стандартные уровни обработки и форматы представления данных ДЗЗ из космоса. Мировой опыт / А. В. Беленов // Геоматика. – 2009. – № 4. – С. 18–202.
5. Полегаев, А. М. Стандартизация радиолокационных данных дистанционного зондирования Земли как процедура описания показателей их информативности / А. М. Полегаев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – № 5, Т. 1 – С. 303–310.
6. Федоткин, Д. И. Технологии предварительной обработки данных ДЗЗ: опыт ИТЦ «СканЭкс» в создании программного обеспечения и организации обработки данных в составе приемных комплексов / Д. И. Федоткин // Пространственные данные. – 2006. – № 1. – С. 40–43.
7. ESA. Earth Online. [Electronic resource]. – Mode of access: <https://earth.esa.int/handbooks/asar/toc.html>. – Date of access: 17.02.16.
8. Akliouat, H. Synthetic Aperture Radar Image Formation Process: Application to a Region of North Algeria / H. Akliouat, Y. Smara and L. Bouchemakh // Envisat Symposium 2007 : Proc., Montreux, April 2007 / Montreux, 2007.
9. Geohazard Supersites and Natural Laboratories. GEO – Group on Earth Observations [Electronic resource]. – Mode of access: http://eo-virtual-archive4.esa.int/search/ER02_SAR_IM__0P/html/?name=Franche-Comte. – Date of access: 22.03.16.

Поступила 05.09.2016

**SIMULATION OF ALGORITHM FOR FORMATION OF RADAR IMAGES BASED
ON RAW EARTH REMOTE SENSING DATA IN CEOS FORMAT**

R. BOHUSH, S. IHNATSYEVA, N. NAUMOVISH, S. URBANOVICH

Earth remote sensing systems based on synthetic aperture radar allow obtaining detailed radar images areas with a quality close to optical systems in all weather conditions and at any time of the day. To represent the raw radar data is used CEOS format, the structure of directing the use of the four files, including Volume Directory File, Leader File, Data Set File, Null Volume File. Radar images formation using MatLab package out taking into account the peculiarities of presentation primary and secondary radar data in this format is proposed. Fast Fourier transform algorithm with compensation range migration is applied. Experimental results are presented in the paper.

Keywords: *synthetic aperture radar, CEOS format, radar image.*