

Понятие о цифровом снимке



Существует три основных способа передачи данных со спутника на Землю.

Первый способ - это прямая передача данных на наземную станцию которая находится в зоне прямой видимости спутника.

Второй способ - полученные данные сохраняются на спутнике, а затем передаются с некоторой задержкой по времени на Землю.

Третий способ передачи данных основан на использовании системы геостационарных спутников связи TDRSS (*Tracking and Data Relay Satellite System*). В этом случае данные передаются с одного спутника на другой до тех пор, пока в зоне прямой видимости одного из них не окажется наземная станция.



Цифровым снимком называют изображение земной поверхности, которое записано в виде цифровых значений на магнитном носителе и может быть визуализировано на экране монитора.

Цифровой снимок состоит из дискретных элементов изображения — **пикселей**.

Форматы записи данных

Формат записи данных должен быть удобен для их считывания и анализа. В дистанционном зондировании в основном применяют следующие три формата:

- ✦ **Формат BIP {*Band Interleaved by Pixel*).**
- ✦ **Формат BIL {*Band Interleaved by Line*).**
- ✦ **Формат BSQ {*Band Sequential*).**

B1

B2

B3

P1

P2

P1

P2

P1

P2

L1

L2

Пример схемы записи данных

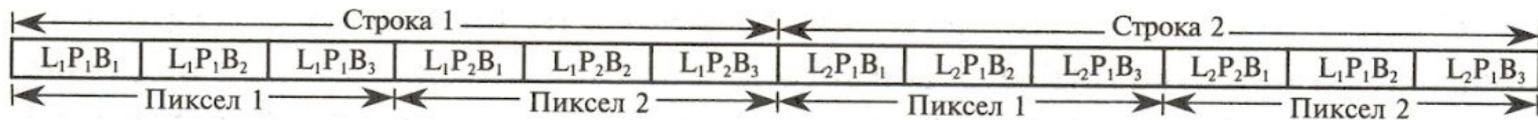


Рис. 4.4. Формат ВРР (L — строка, P — пиксел, В — канал)

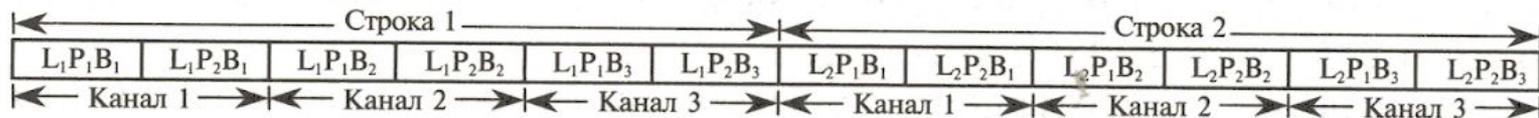


Рис. 4.5. Формат ВIL (L — строка, P — пиксел, В — канал)

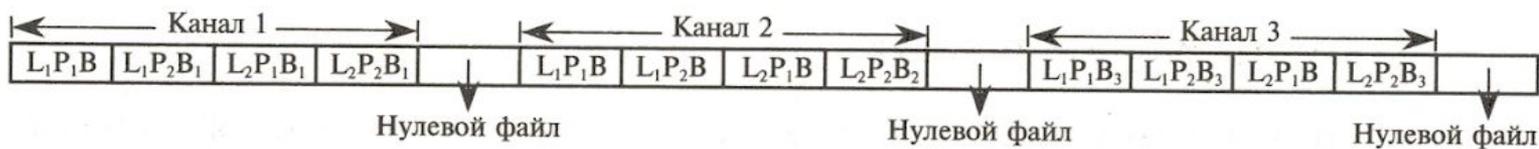


Рис. 4.6. Формат ВSQ (L — строка, P — пиксел, В — канал)

Форматы записи данных

Существует два формата, определяющих структуру файлов:

-  упрощенный формат - данные записывают в формате BSQ
-  формат LGSOWG — в формате BSQ или BIL.

Упрощенный формат.

Записываются два файла:

- Файл заголовка,
- и файл цифрового снимка.

Первым в каждом **логическом томе** располагается **файл заголовка** — текстовый файл ASCII-формата, в котором содержится информация о картографической проекции, параметрах дискретизации и расположении рисок. В файлах снимков содержатся только данные съемки — в каждой отдельной записи нет никакой дополнительной информации.

Формат LGSOWG. Этот формат, помимо данных самой съемки, содержит также информацию о сцене, ее местоположении, параметрах датчика и спутника, а также сведения, относящиеся к обработке данных.

В формате **LGSOWG** используется следующая структура записи:

-  **Логический том.**
-  **Ведущий файл.**
-  **Файл заголовка.**
-  **Файл данных съемки.**
-  **Вспомогательный файл.**
-  **Нулевой файл.**

Методы камерального дешифрования

визуальный

процесс, выполняемый исполнителем независимо от того, в каком виде представлен снимок: в виде фотоотпечатков или изображения на экране компьютера



автоматизированный

запрограммированная обработка снимков на компьютере или на специально предназначенных для этого приборах.

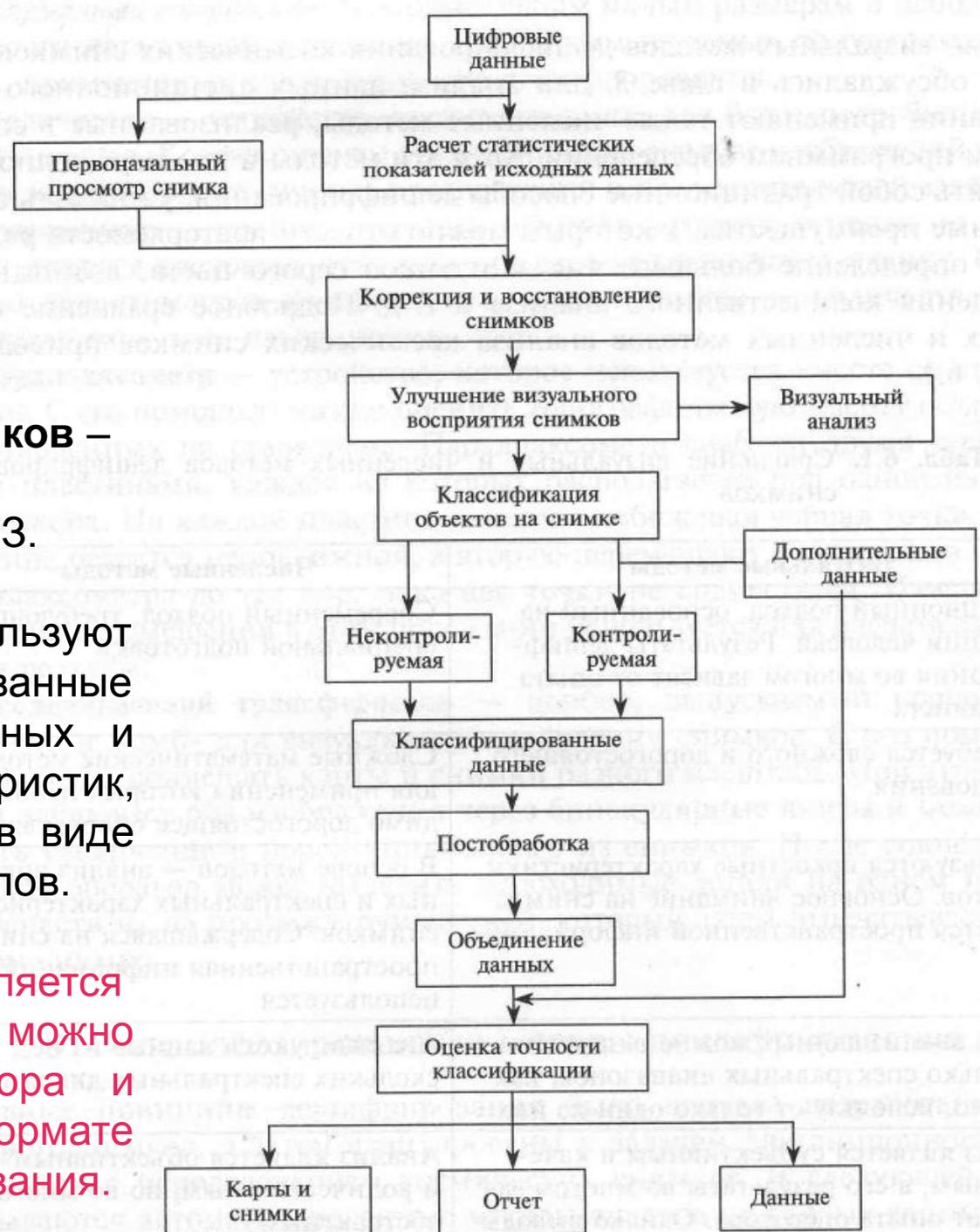


Обработка цифровых снимков –

важнейшая составляющая ДЗ.

В процессе обработки используют численные методы, основанные только на анализе яркостных и спектральных характеристик, проявляющихся на снимке в виде вариаций тона и цвета пикселей.

Результатом обработки является новый снимок, который можно вывести на экран монитора и сохранить в цифровом формате для последующего использования.



Сопоставление возможностей визуального и автоматизированного дешифрирования

Визуальное дешифрирование	Автоматизированное дешифрирование
Анализ изображения выполняется на уровне объектов, размеры которых, как правило, в несколько раз больше разрешения (пиксела)	Анализ изображения выполняется на уровне отдельных пикселов
Количественные оценки (площадей, длин и т.д.) могут быть получены лишь приближенно; для точного определения необходимы дополнительные действия и инструменты	Количественные оценки площадей, длин и т.д. могут быть получены с высокой точностью (с учетом размера пиксела)
Анализ яркостей (тона изображения) на черно-белых изображениях возможен в пределах 7-12 ступеней, при этом преобладают относительные оценки (сопоставление яркостей)	Детальный и точный анализ яркостных различий ограничен лишь свойствами цифрового снимка, возможны яркостные преобразования, направленные на улучшение дешифрируемости объектов (увеличение контраста, квантование, цветокодирование)

Визуальное дешифрирование	Автоматизированное дешифрирование
Традиционный подход, основанный на интуиции человека. Результаты дешифрирования во многом зависят от опыта специалиста	Современный подход, требующий специальной подготовки
Не требуется сложного и дорогостоящего оборудования	Сложные математические методы, для применения которых необходимо дорогостоящее оборудование
Используются яркостные характеристики объектов. Основное внимание на снимке уделяется пространственной информации	В основе методов — анализ яркостных и спектральных характеристик снимков. Содержащаяся на снимке пространственная информация не используется
Хотя в анализ данных можно включать несколько спектральных диапазонов, как правило, используют только один из них	Анализируются данные из нескольких спектральных диапазонов
Анализ является субъективным и качественным, а его результаты во многом зависят от опыта оператора. Однако выводы из этого анализа — вполне конкретные	Анализ является объективным и количественным, но во многом абстрактным

Уровни обработки данных дистанционного зондирования

Уро вень	Тип обработки
0	Необработанные (исходные) данные
1	Радиометрическая и геометрическая коррекция для целей быстрого просмотра
2	Радиометрическая и геометрическая коррекция (стандартная продукция)
3	Специальная обработка стандартной продукции уровня 2 (например, слияние снимков или улучшение их качества)

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Уровни обработки и стандартные продукты

- Сырые изображения (ROW) – уровень 0
- Радиометрическая коррекция – уровень 1
- Систематическая геометрическая коррекция – уровень 2
- Коррекция с использованием опорных точек – уровень 2 А
- Ортотрансформирование – уровень 2 В

Радиометрическая коррекция

Выделяют следующие причины появления радиометрических искажений:

- 😊 Неоднородность отклика детекторов и их различных элементов.
- 😐 Неисправность элементов детектора.
- 😊 Потеря данных при их передаче, архивировании или извлечении из архива.
- 😊 Узкий динамический диапазон.
- 😡 Непостоянство параметров съемки от снимка к снимку.

При радиометрической коррекции отклики всех элементов сенсора нормализуются с помощью специальной таблицы соответствия (LUT, *Look-Up-Table*), при построении которой опорным значением служит наименьшая интенсивность сигнала на снимке.

Пропуски в строках снимка устраняются путем усреднения значений соседних пикселей в той же строке.

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Радиометрическая коррекция

Радиометрическая коррекция материалов ДЗЗ это исправление на этапе их предварительной подготовки аппаратных радиометрических искажений, обусловленных характеристиками используемого съемочного прибора.

Для сканерных съемочных приборов такие дефекты наблюдаются визуально как модуляция изображения (полосы) в направлениях параллельно или перпендикулярно трассе полета спутника. При радиометрической коррекции сканерных данных также корректируются ошибки, наблюдаемые как сбойные пиксели изображения, а также тональная неравномерность участков изображений.

К радиометрической коррекции не относятся последующие процедуры улучшения изображения (преобразования гистограммы, фильтрации и т.п.), которые проводятся для улучшения изобразительных свойств снимка в процессе его анализа.

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Радиометрическая коррекция

Радиометрическая коррекция данных ДЗЗ выполняется, в основном, двумя методами:

- с использованием корректировочных параметров, определенных для конкретного съемочного прибора;
- статистически.

Материалы ДЗЗ съемочных систем LANDSAT TM и ETM+, SPOT HRV, HRVIR и HRG, Terra ASTER, IKONOS, QuickBird, поставляются не в формате первичных данных, а уже в радиометрически нормализованном виде.

Такие материалы, не нуждаются в радиометрической коррекции. Калибровочные коэффициенты для получения количественных характеристик, таких как альbedo и радиояркостьная температура, содержатся в поставляемых в комплекте с космическими снимками файлах метаданных.

Предварительная обработка материалов ДЗЗ



Фрагмент снимка IRS 1D PAN до и после проведения радиометрической коррекции методом устранения периодических шумов при помощи преобразований Фурье. Оренбургская область, окрестности г. Бузулук.

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Радиометрическая коррекция

Важной проблемой при применении процедур статистической радиометрической коррекции является то, что в некоторых ситуациях их использование, наравне с исправлением существующих дефектов, может привести к появлению новых. Поэтому при выполнении процедур статистической радиометрической коррекции следует соблюдать следующие рекомендации:

- обработку проводить только в интерактивном режиме, сравнивая исходное изображение с результатом обработки;
- корректировать нефрагментированные изображения, т.к. чем больше размер изображения, тем точнее измеряются параметры дефектов и тем лучше качество коррекции;
- не обрабатывать снимки с очень глубокими и резкими контрастами;
- выбирать только действительно необходимые опции коррекции. Какие из них действительно необходимы, всегда хорошо видно на исходном изображении.

Геометрическая коррекция

На всех КС присутствуют геометрические искажения, причинами которых могут быть:

- Ракурс съемки
- Движение сканирующей системы
- Движение спутника
- Вариации высоты, ориентации и скорости спутника
- Рельеф
- Кривизна поверхности Земли и ее вращения

Цель геометрической коррекции – устранить искажения, так чтобы характеристики объектов на снимке как можно точнее соответствовали их фактическим характеристикам.

В результате проведения геометрических преобразований координаты элементов цифрового снимка могут быть связаны с пространственными координатами – географическими и геодезическими, а снимок трансформирован в заданную проекцию.

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Геометрическая нормализация

Геометрическая нормализация (трансформация) материалов ДЗЗ выполняется для:

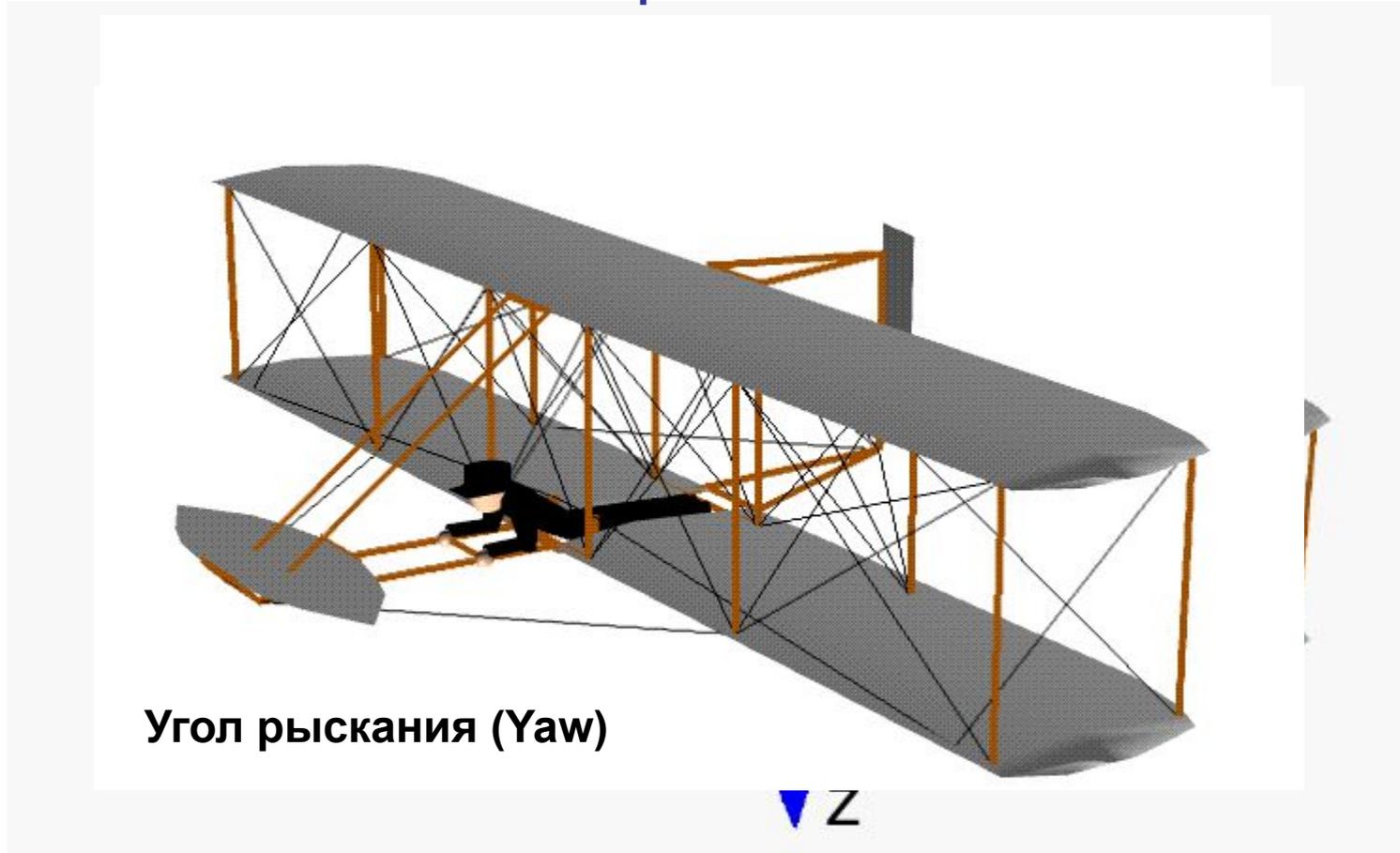
- устранения искажений, связанных с баллистическими параметрами съемки;
- топографической привязки и приведения снимка к картографической проекции;
- высокоточной пространственной привязки с учетом данных о рельефе (ортотрансформирование)

При нормализации трансформирование проводится с использованием следующих данных:

- орбитальные данные спутника в момент съемки;
- параметры съемочного прибора;
- корректировочные (опорные) точки, содержащие координаты известных объектов на местности.
- цифровая модель рельефа

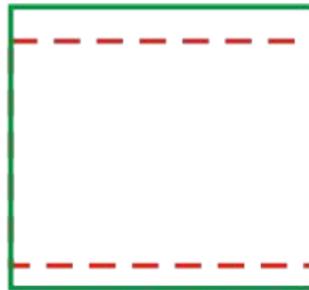
Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Типы геометрических искажений

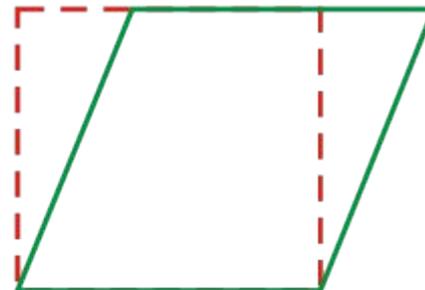


Предварительная обработка материалов ДЗЗ

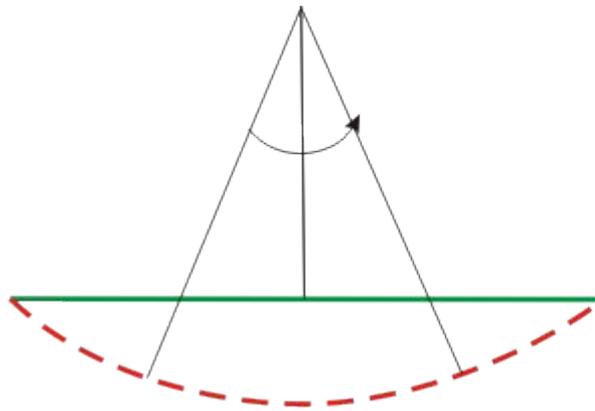
Типы геометрических искажений Систематические искажения



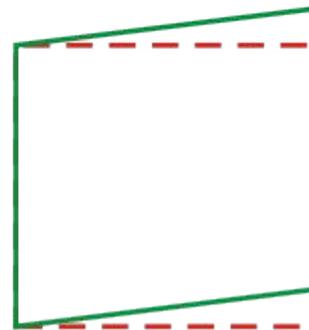
Время сканирования



Вращение Земли

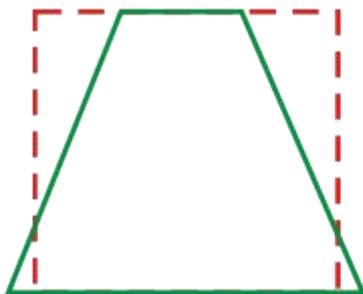


Дисторсия объектива

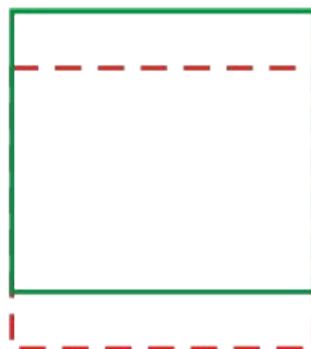


Скос сканера

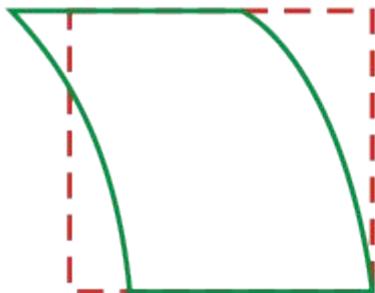
Несистематические искажения



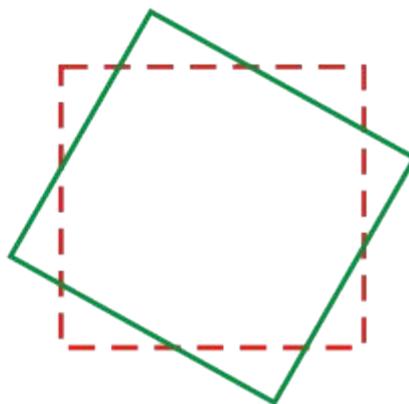
Изменение высоты



Ошибка Pitch



Ошибка Roll



Ошибка Yaw

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Геометрическая нормализация

При использовании корректировочных точек (GCP – Ground Control Points) необходимо соблюдать следующие основные правила:

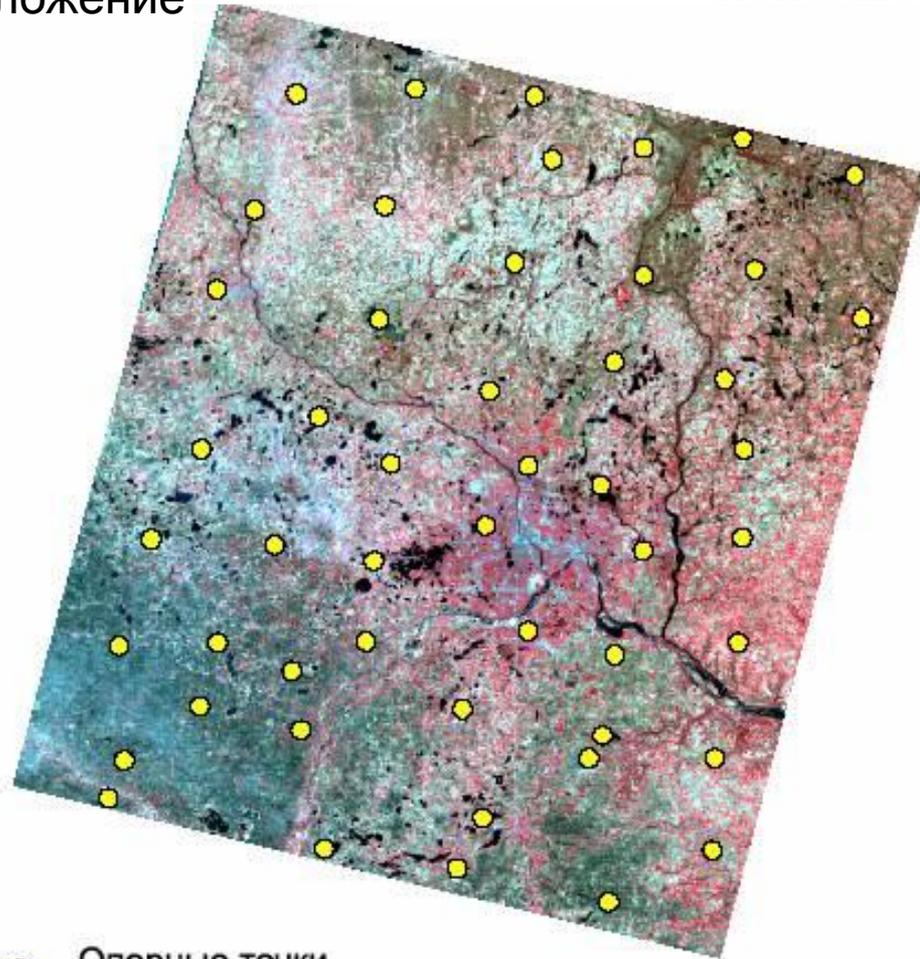
- количество GCP должно быть достаточным для выбранного способа трансформирования;
- корректировочные точки должны располагаться равномерно по всему изображению;
- при поиске и выборе объектов для установки корректировочных точек не использовать изменчивые объекты местности, такие как берега озер или других водоемов, границы растительного покрова и т.п.

Современные сканерные съемочные системы обеспечивают достаточно высокую точность совмещения изображений спектральных каналов и, в большинстве случаев, не требуют проведения процедур по их геометрическому сведению.

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Корректное расположение опорных точек

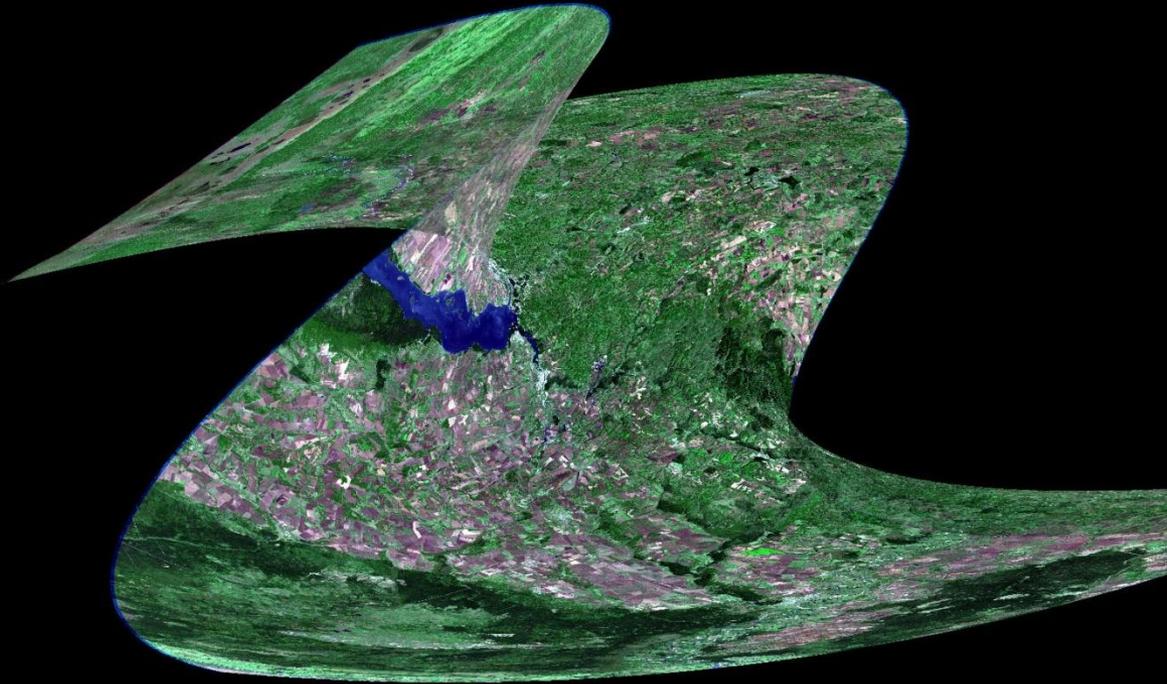
Использование GCP

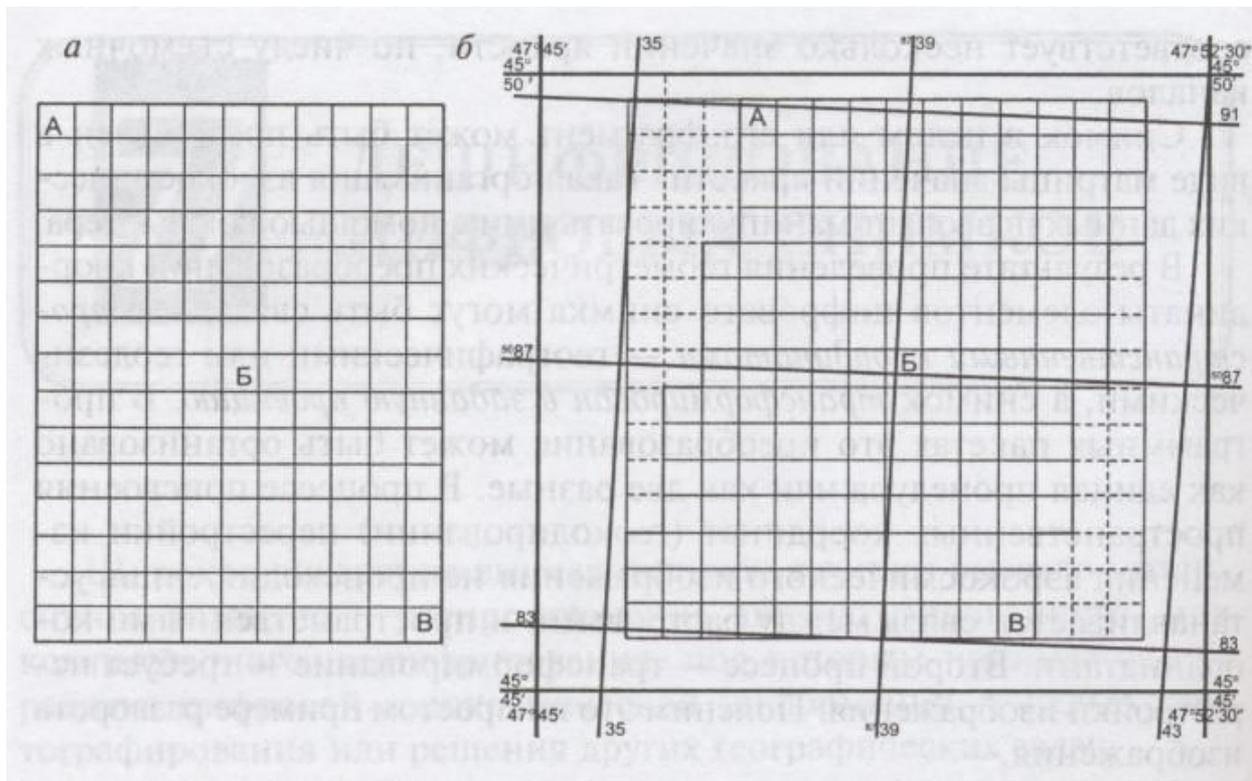


● Опорные точки

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Использование GCP





Система координат цифрового снимка

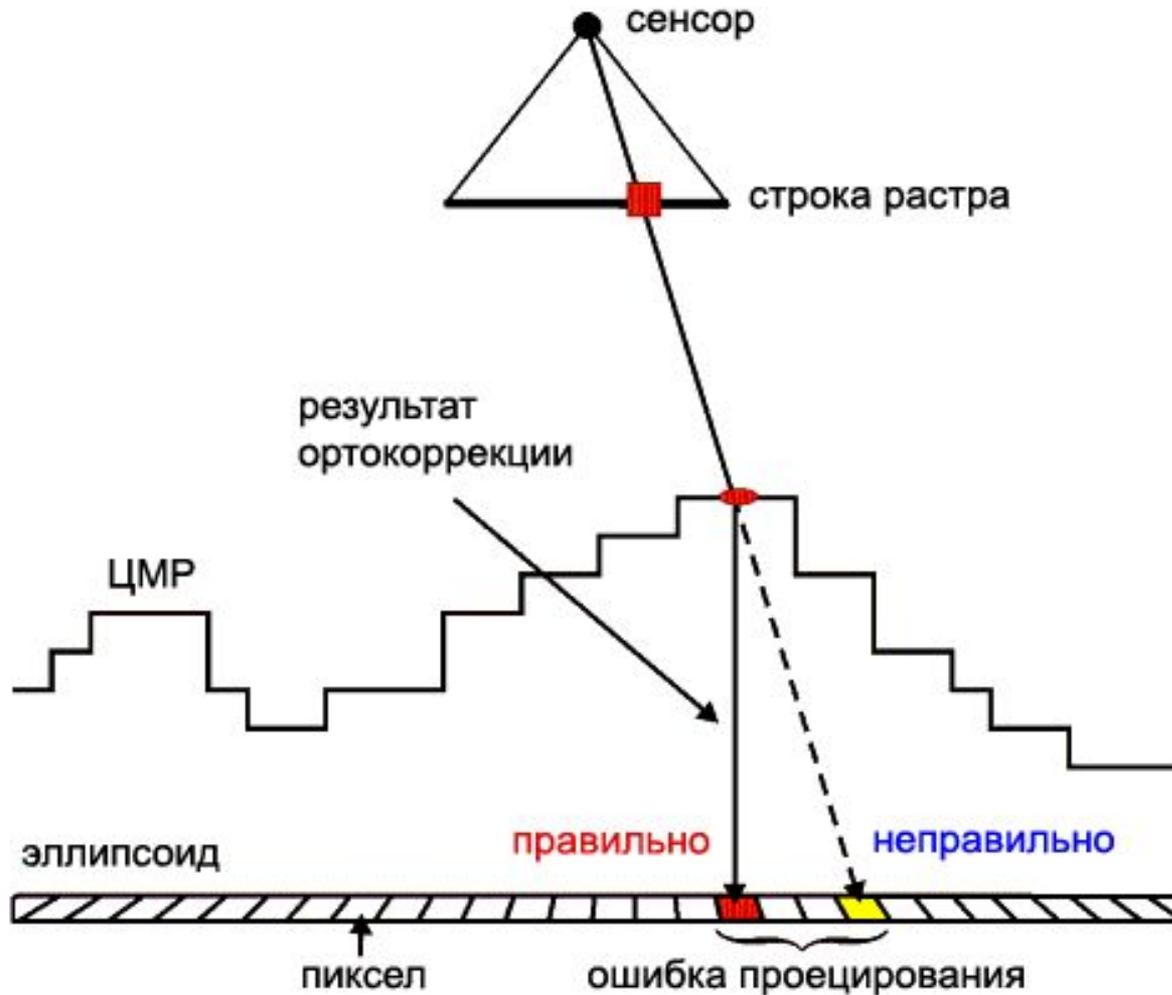
Пик-селы	Первичная цифровая запись		Трансформированный и координированный снимок					
			Цифровая запись		Прямоугольная, км		Географическая,	
	x	y	x	y	X	Y	φ	λ
А	1	1	4	1	8737,0	5091,0	45°49,8	47°47,5
Б	6	8	8	8	8739,0	5087,0	45°47,7	47°40,0
В	11	15	11	18	8741,0	5082,5	45°45,6	47°50,5

Координаты пикселей в первичной цифровой записи (а)
И после выполнения геометрических преобразований изображения (б)

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Рельеф местности

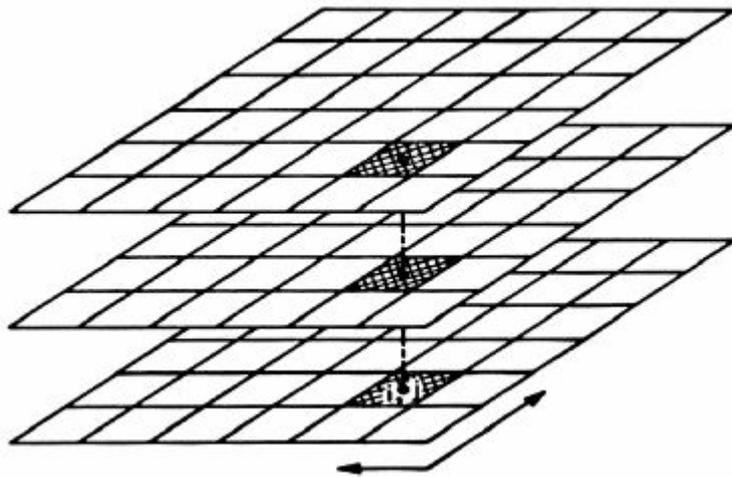
Ортотрансформирование



Предварительная обработка материалов ДЗЗ

материалов ДЗЗ

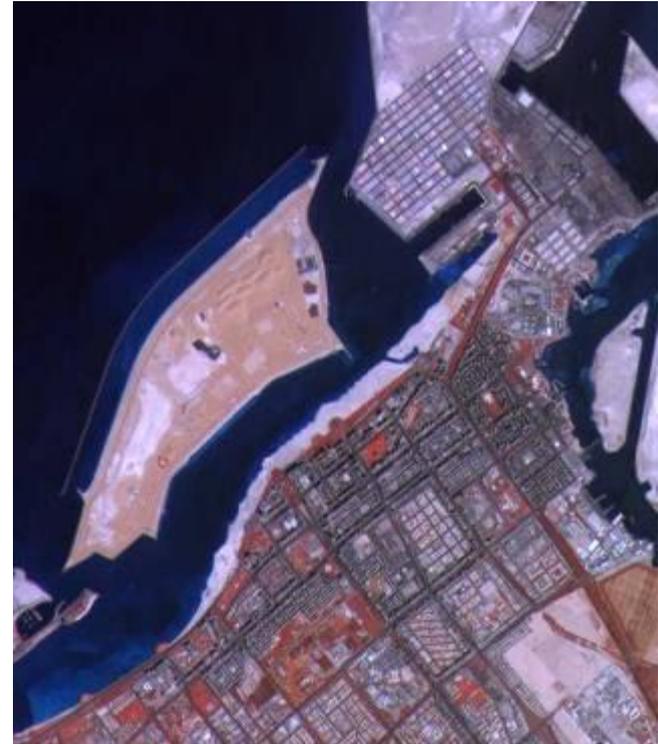
Ко-регистрация снимков



A

B

C



- Поиск характерных черт
- Вычисление смещений
- Выполнение полиномиальных преобразований

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Геометрическая нормализация

Процедура геометрической нормализации сканерных материалов ДЗЗ может включать следующие этапы обработки:

- начальная привязка первичных материалов ДЗЗ с использованием параметров ориентирования спутника и съемочного прибора. При этом возможны достаточно грубые систематические ошибки, связанные с точностью параметров ориентирования;
- коррекция систематических ошибок привязки на всем изображении, при необходимости - с использованием контрольных точек (GCP) или автоматизированных алгоритмов совмещения, приведение снимка к картографической проекции;
- исправление локальных искажений изображения с использованием корректировочных GCP или алгоритмов «резиновой плоскости»;
- ортотрансформирование для исправления искажений, связанных с особенностями рельефа. Для выполнения ортотрансформирования используется цифровая модель рельефа (ЦМР, англоязычный аналог DEM - digital elevation model).

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Геометрическая нормализация

При геометрической коррекции материалов ДЗЗ необходимо использовать следующие методы трансформации:

- Аффинные (перспективно-аффинные) преобразования (affine). При аффинных преобразованиях производятся поворот, сжатие и растяжение изображения по одному или двум направлениям. Аффинные преобразования дают наилучшие результаты при коррекции изображений имеющих систематические, примерно сонаправленные искажения.
- Полиномиальные преобразования (polynomial). Это универсальный метод для геометрической коррекции любых искажений изображения. Полиномиальная модель преобразования, обладая всеми достоинствами универсальности, изменяет прямолинейность линий. Точность коррекции прямо зависит от степени полинома и, соответственно, от количества используемых корректировочных точек - GCP. Существенным недостатком использования метода полинома при геометрической трансформации являются значительные искажения изображения при недостаточном количестве опорных точек и неравномерной их установке.
- Преобразование методом резиновой пленки (Rubber Sheet). Используются для исправления локальных искажений изображения. При проведении такой коррекции указываются радиус влияния точек коррекции в пикселях или единицах целевой системы координат, а также степень этого влияния. При подборе этих параметров и выполнении самой коррекции необходимо визуально оценивать полученный результат и не допускать дефектов (в виде неестественной локальной вытянутости) изображения.

Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Геометрическая нормализация

Для интерполяции яркостей пикселей при геометрической трансформации используются следующие методы:

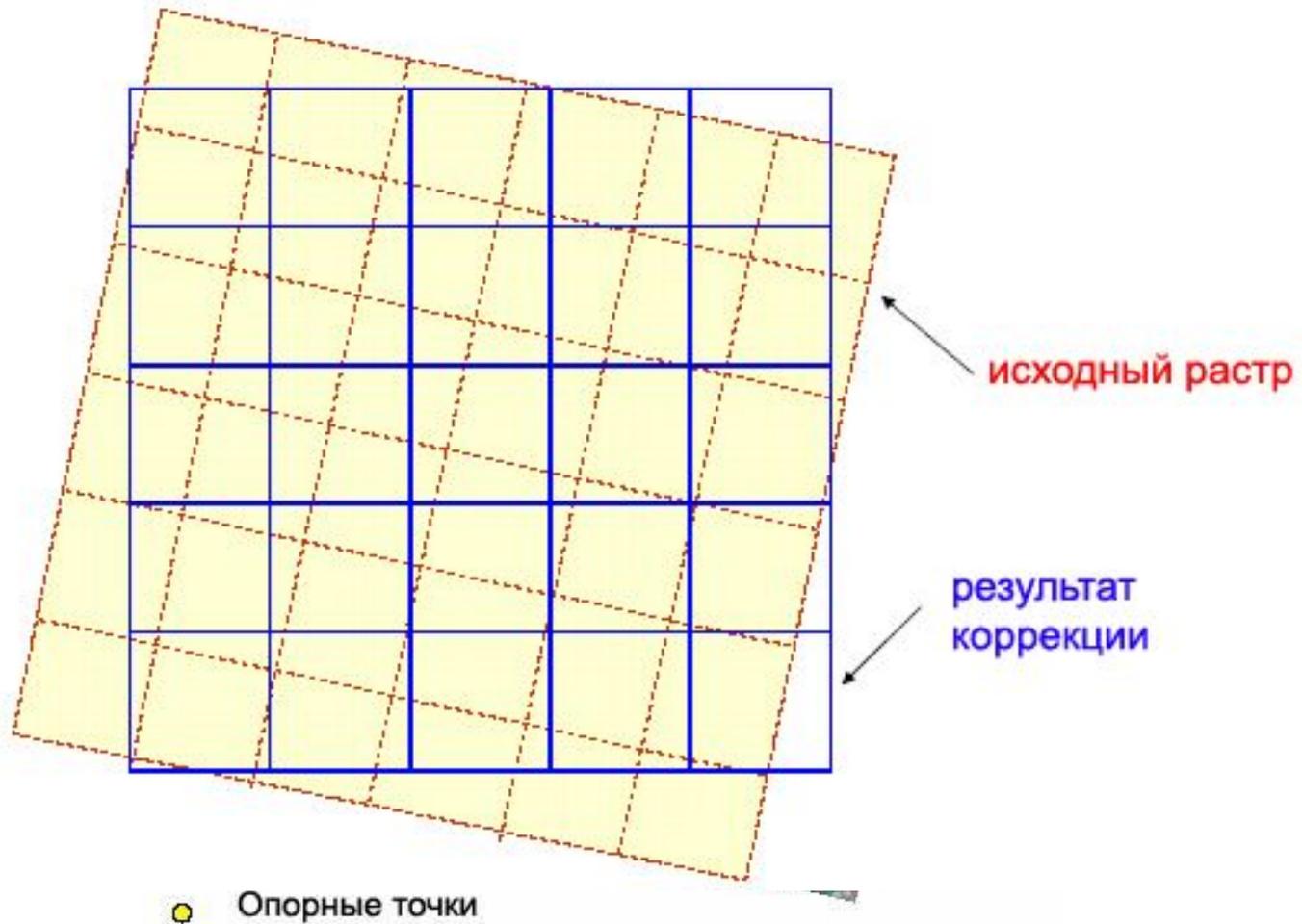
- Ближайшего соседа (nearest neighbor, BOX) – простейший и самый быстрый метод интерполяции яркости пикселей изображений. При обработке с использованием этого метода, значение яркости пикселю трансформированного изображения приписывается от пикселя исходного изображения с ближайшими координатами. Преимуществом этого метода является сохранение исходных значений яркости пикселя, благодаря чему не происходит потери экстремальных и мало различающихся значений. Однако метод имеет существенный недостаток, который при повороте и масштабировании на изображении обычно проявляется в виде эффекта «ступенчатости» линейных объектов. Этот метод интерполяции рекомендуется использовать только при трансформации с незначительными изменениями масштаба и поворота изображения.
- Билинейная (bilinear, LINEAR) интерполяция радиометрических характеристик производится с использованием яркостных свойств 4 пикселей исходного изображения, сохраняет его резкие яркостные и цветовые переходы и обеспечивает среднее качество результата.
- Бикубическая (bicubic, HERMIT) интерполяция радиометрических характеристик производится с использованием яркостных свойств 16 пикселей исходного изображения и обеспечивает наиболее качественный результат. Бикубическая интерполяция требует больше времени для выполнения обработки, чем перечисленные выше методы. В некоторых программных средствах реализован алгоритм интерполяции fast bicubic, который является в большинстве случаев наиболее оптимальным по соотношению затраченного на обработку времени и качества результата.

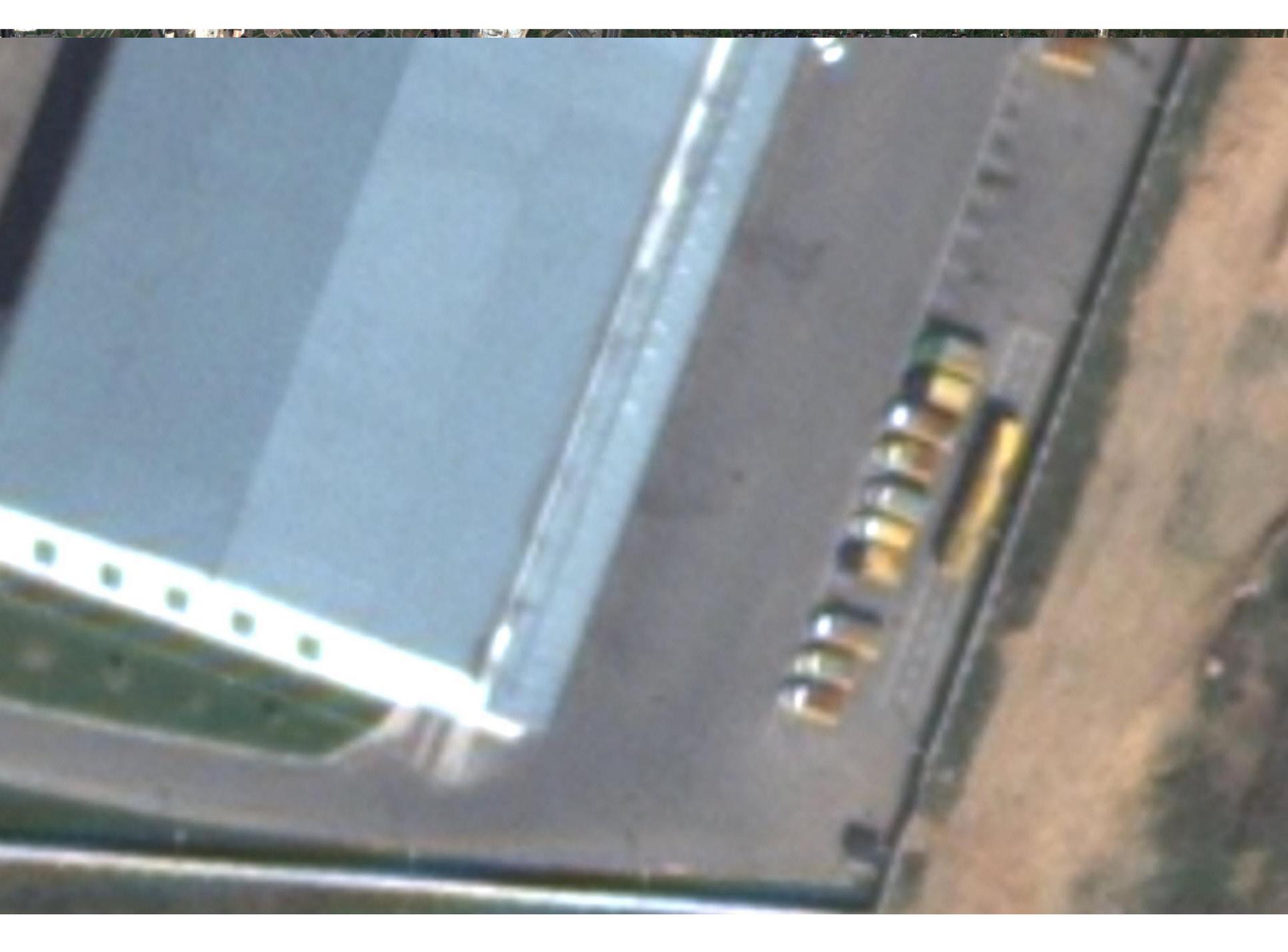
Предварительная обработка материалов ДЗЗ

Результат коррекции

Корректное расположение опорны

Использование GCP





Предварительная обработка материалов ДЗЗ

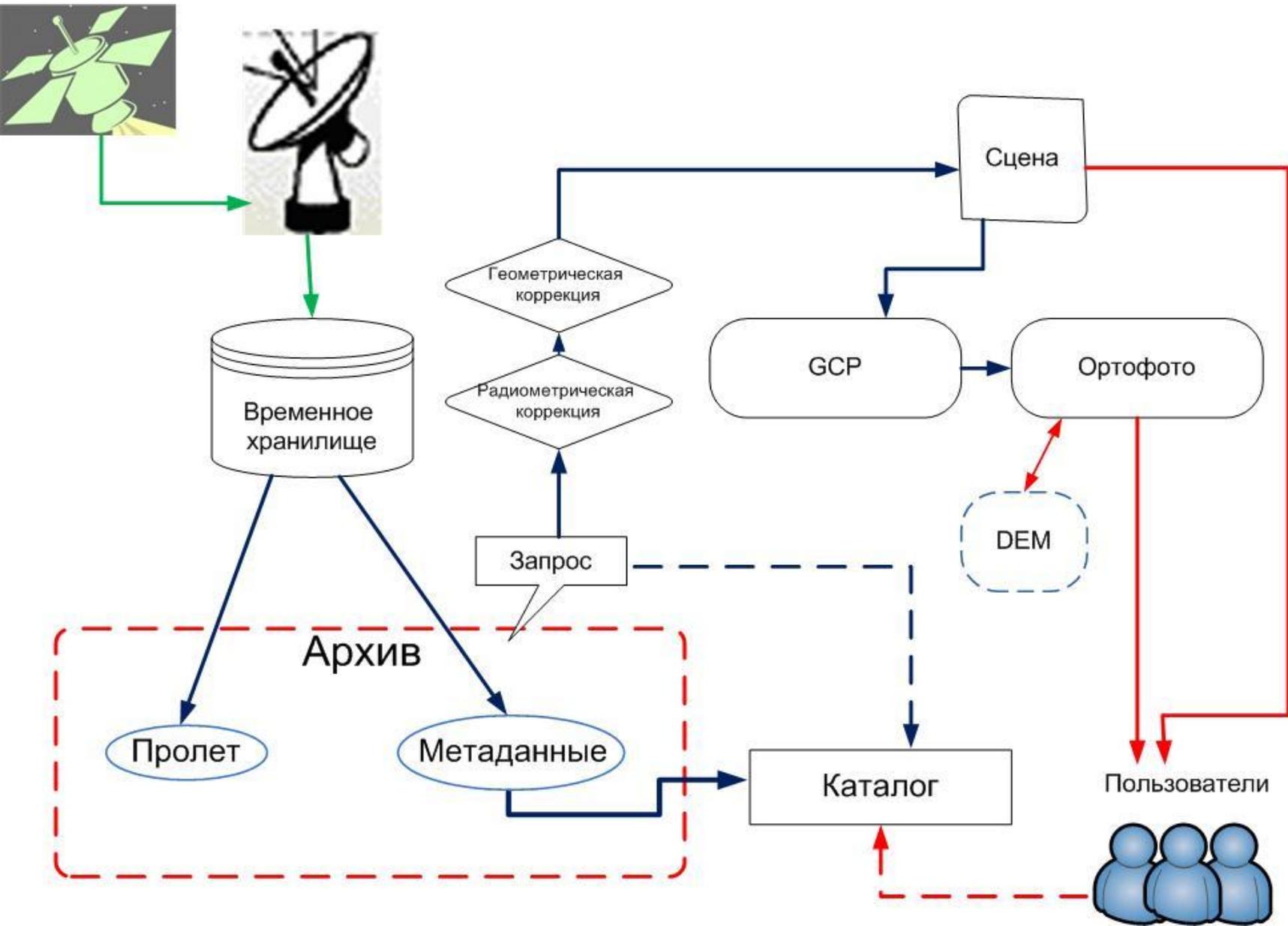
Геометрическая нормализация

Геометрическая нормализация



Фрагмент снимка Terra ASTER до и после проведения геометрической коррекции методом полиномиального преобразования с использованием набора GCP. Различные углы наклона границ сельскохозяйственных полей ясно показывают отличия первоначального и геометрически откорректированного фрагментов.

Предварительная обработка материалов ДЗЗ



Дополнительные методы обработки материалов ДЗЗ

Дополнительные уровни обработки

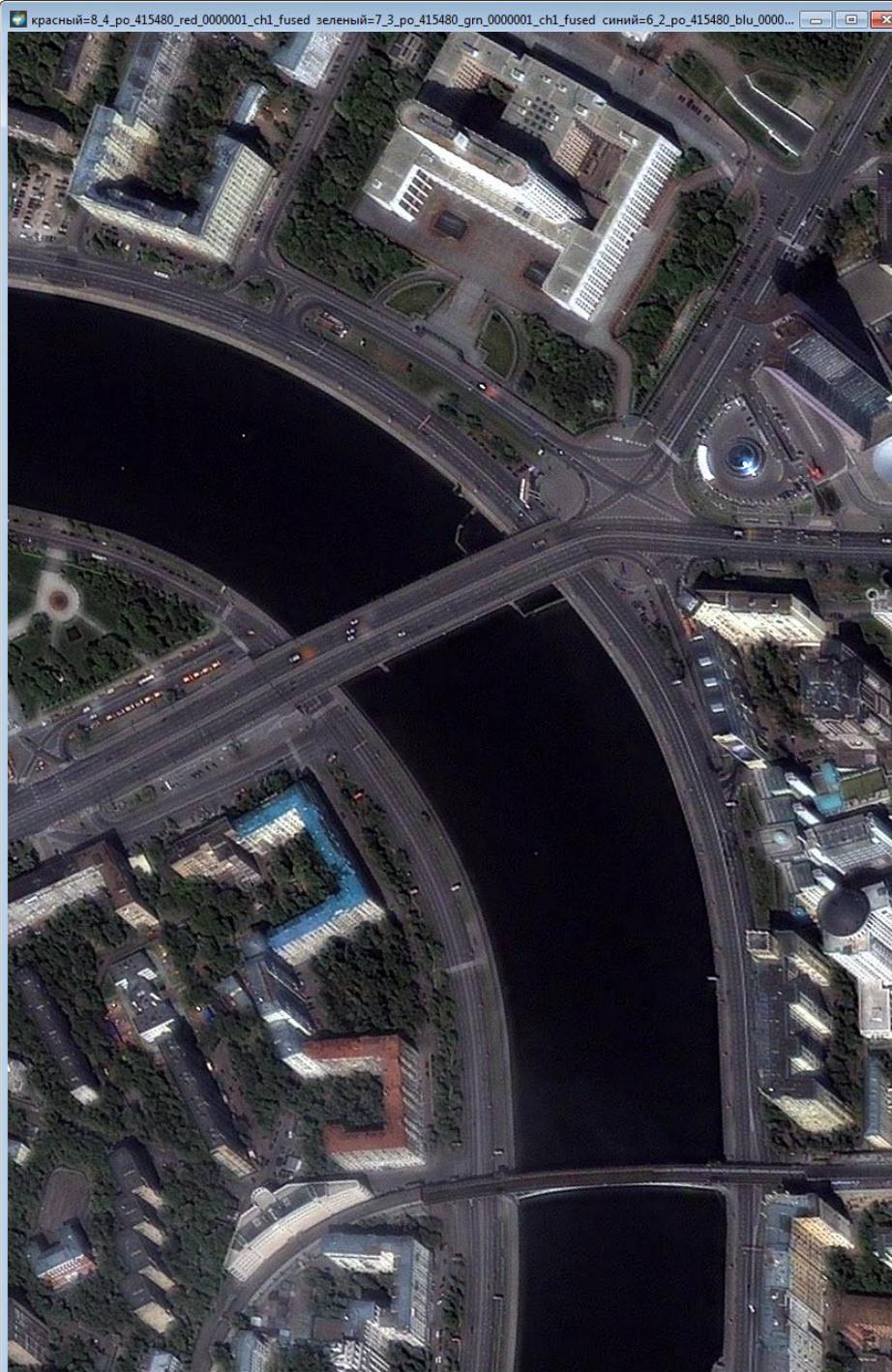
- Увеличение пространственного разрешения;
- Синтез дополнительных каналов;
- Создание цифровых моделей рельефа;
- 3D моделирование
- Спектральная калибровка

Улучшающие преобразования

- Фильтрация помех;
- Коррекция пропущенных строк;
- Коррекция различной чувствительности сенсоров
- Фильтрация изображений

Атмосферная коррекция

IKONOS
/ Центр г.Москвы
9 Мая 2011



**Дополнительные
уровни обработки**

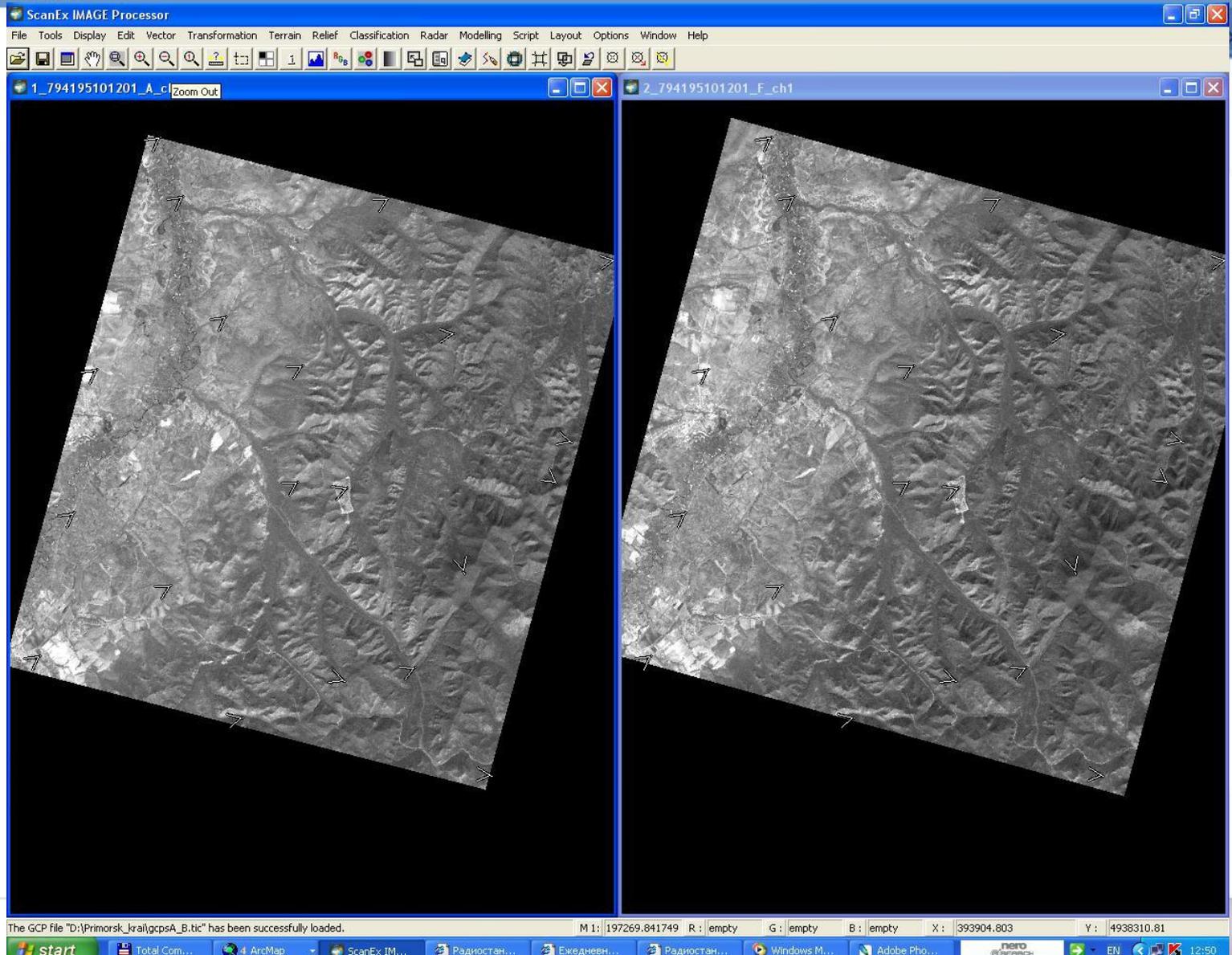
**Результат
алгоритма fusion**

**Мультиспектральное
изображение 3.2 м**

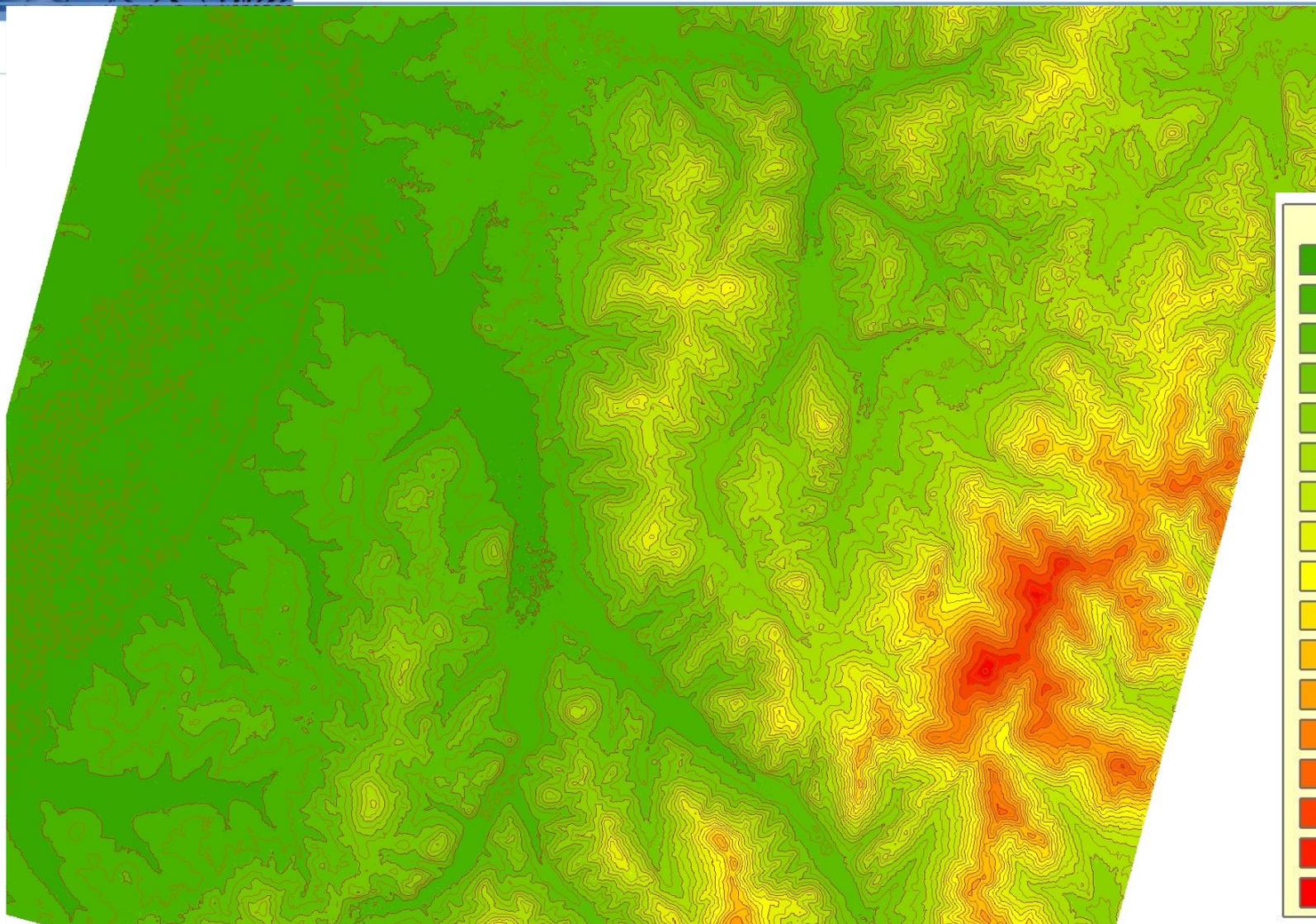
**Панхроматический
канал 0.8 м**

**Мультиспектральное
изображение 0.8 м**

Стереопара спутника IRS P-5 (Cartosat-1) дата съёмки 12 октября 2008 г



Фрагмент гипсометрическая карты, построенной в результате обработки Cartosat-1



Н абс., м

100 - 150
150 - 200
200 - 250
250 - 300
300 - 350
350 - 400
400 - 450
450 - 500
500 - 550
550 - 600
600 - 650
650 - 700
700 - 750
750 - 800
800 - 850
850 - 900
900 - 950

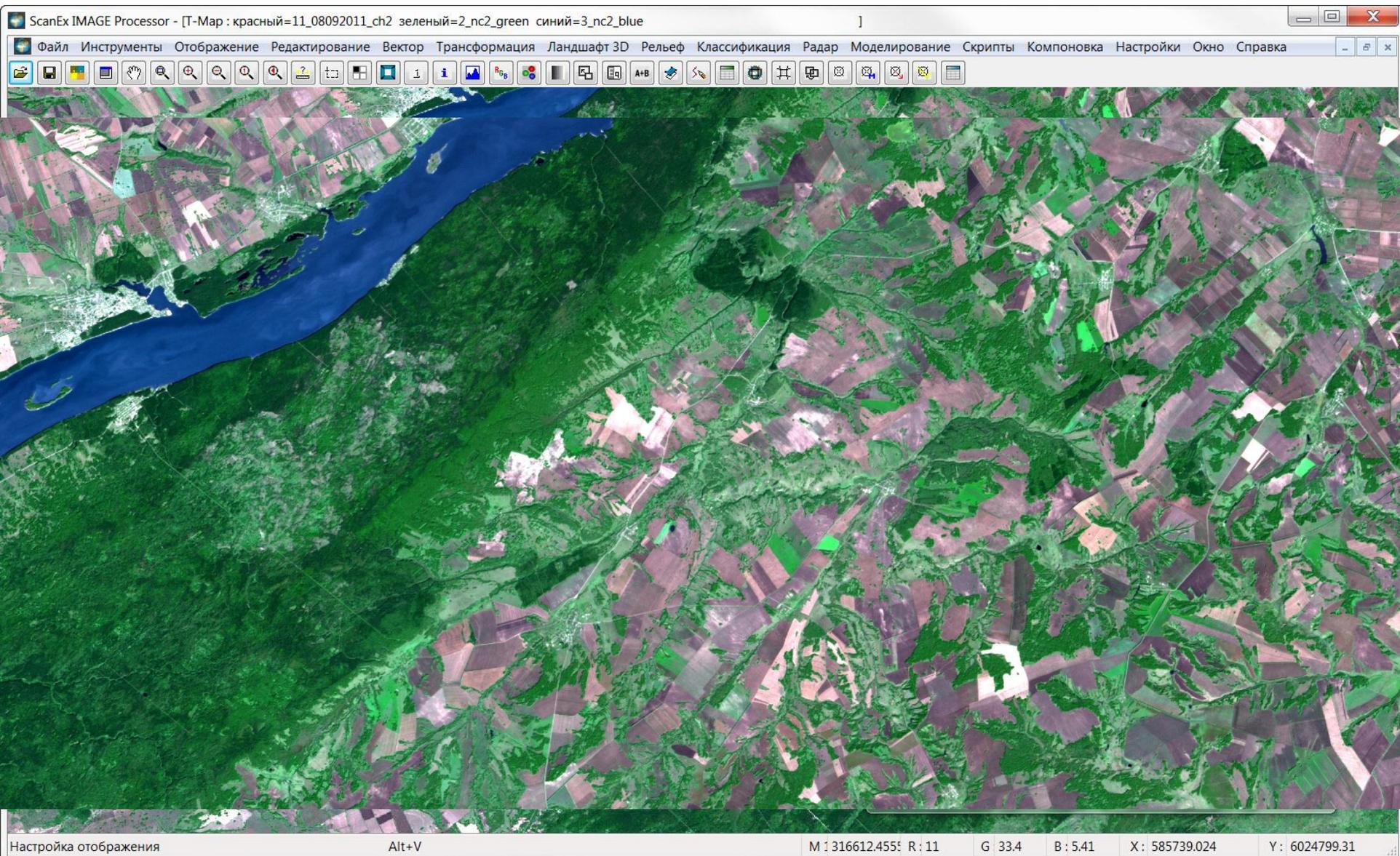
2 000 000 0 2 000 4 000 Meters



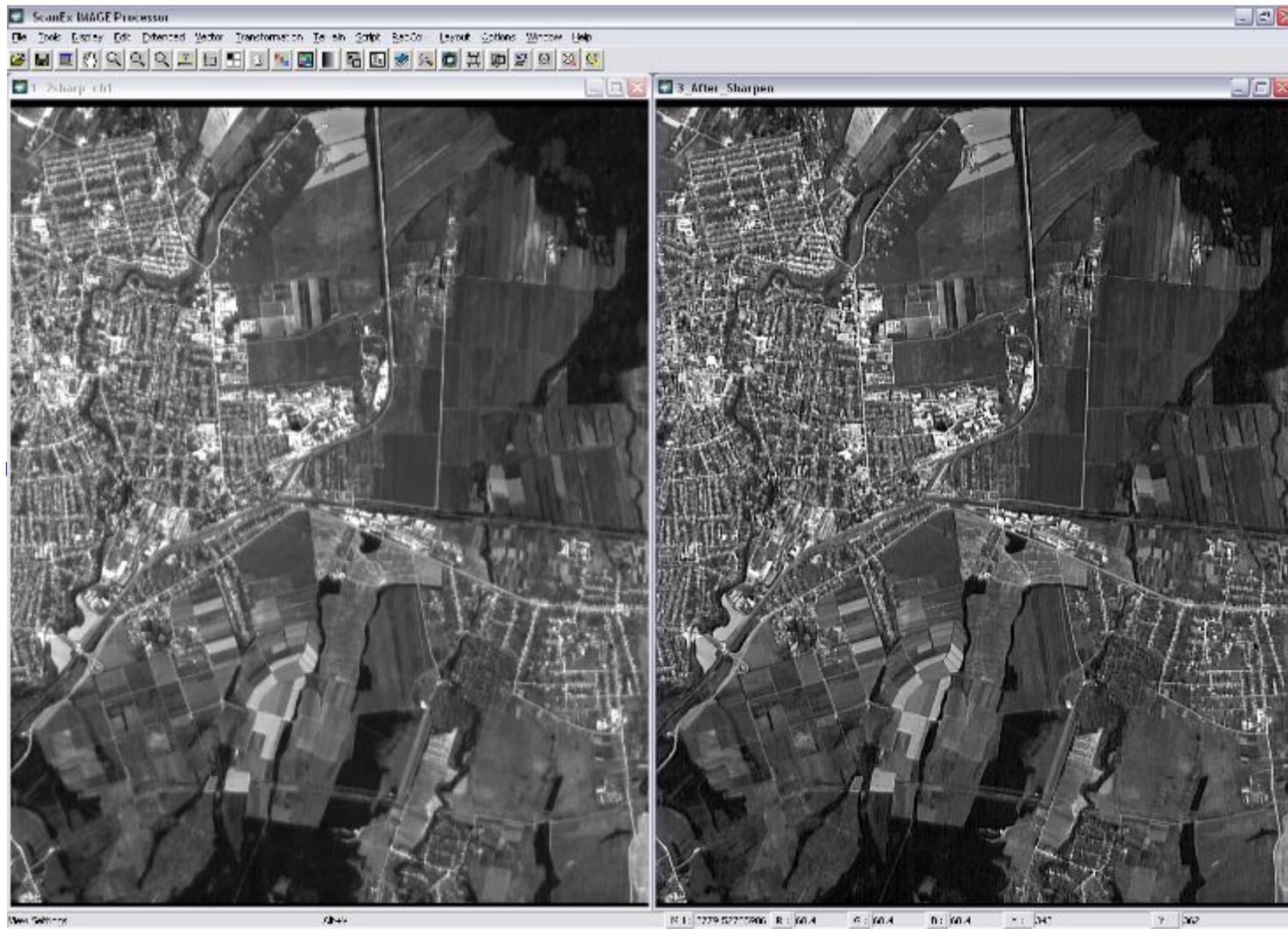
горизонталы проведены через 25 м

Дополнительные уровни обработки

Синтез недостающих каналов



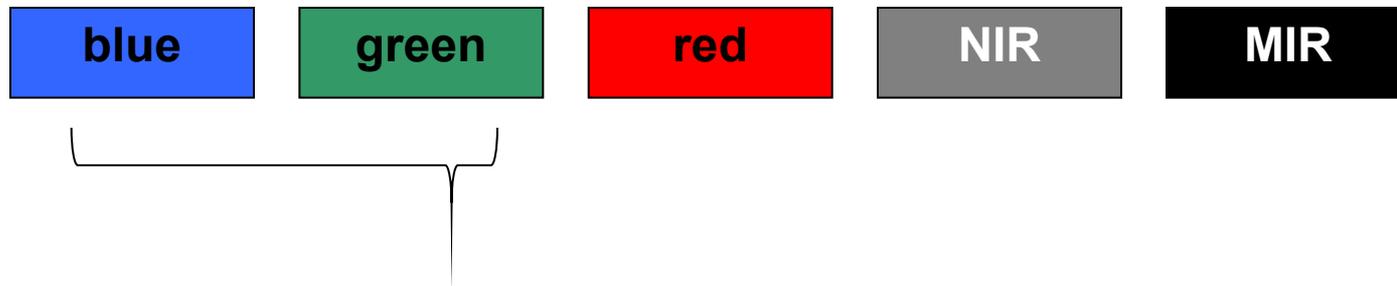
Улучшающие преобразования



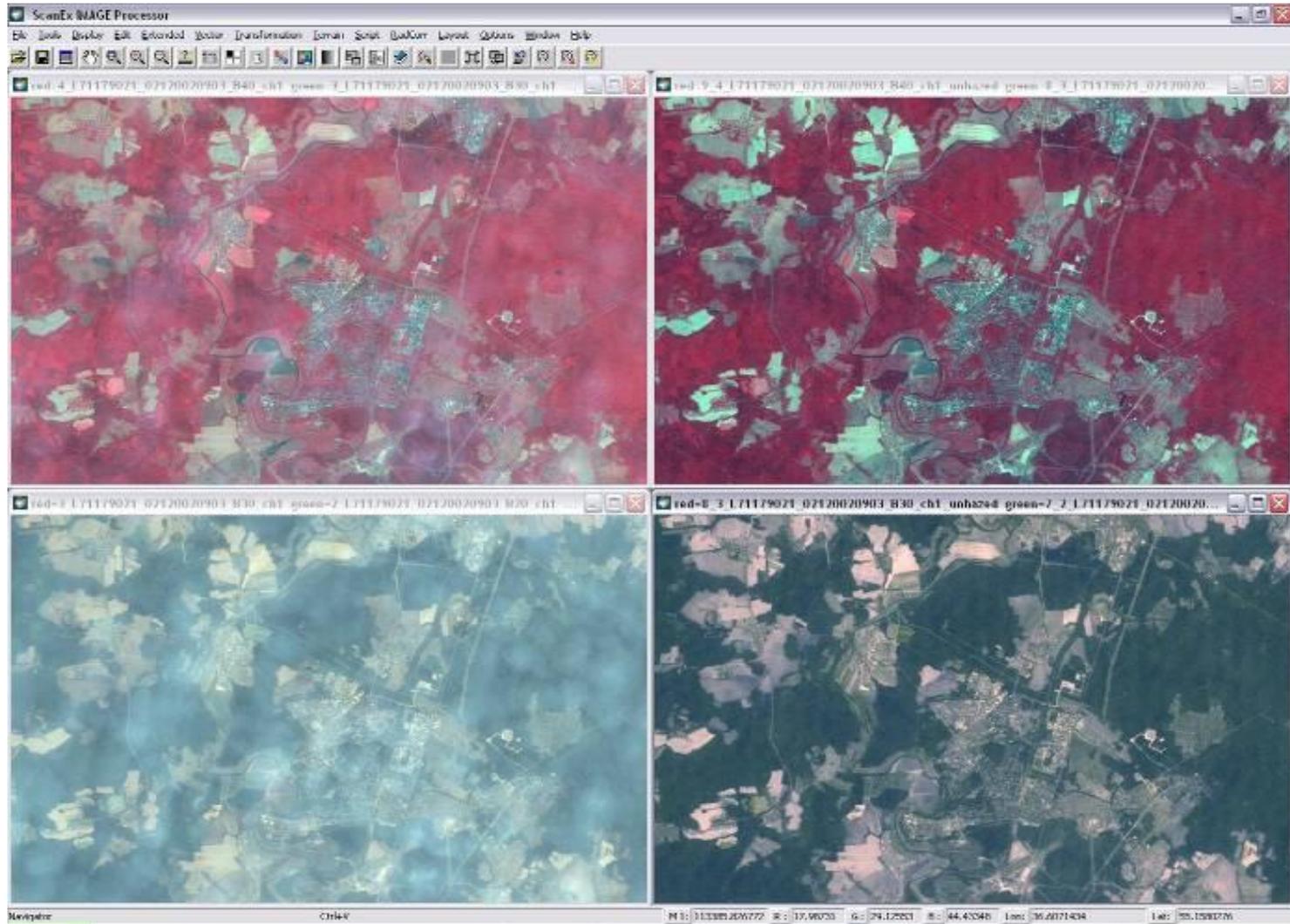
Атмосферная коррекция

- Уменьшение контрастности изображения. Темные объекты выглядят светлее, светлые – темнее.

Спектральные диапазоны, в которых наиболее сильно проявляется атмосферный эффект



Атмосферная коррекция



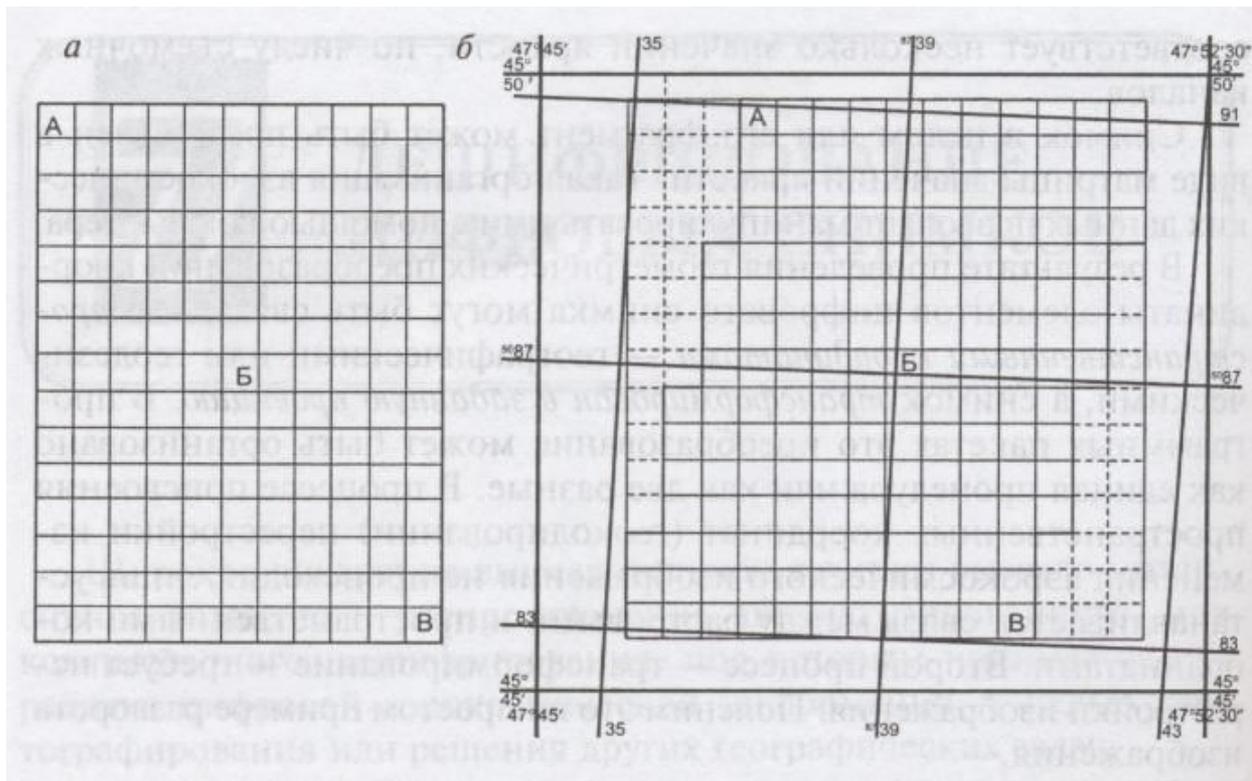
Геометрическая коррекция

На всех КС присутствуют геометрические искажения, причинами которых могут быть:

- Ракурс съемки
- Движение сканирующей системы
- Движение спутника
- Вариации высоты, ориентации и скорости спутника
- Рельеф
- Кривизна поверхности Земли и ее вращения

Цель геометрической коррекции – устранить искажения, так чтобы характеристики объектов на снимке как можно точнее соответствовали их фактическим характеристикам.

В результате проведения геометрических преобразований координаты элементов цифрового снимка могут быть связаны с пространственными координатами – географическими и геодезическими, а снимок трансформирован в заданную проекцию.



Система координат цифрового снимка

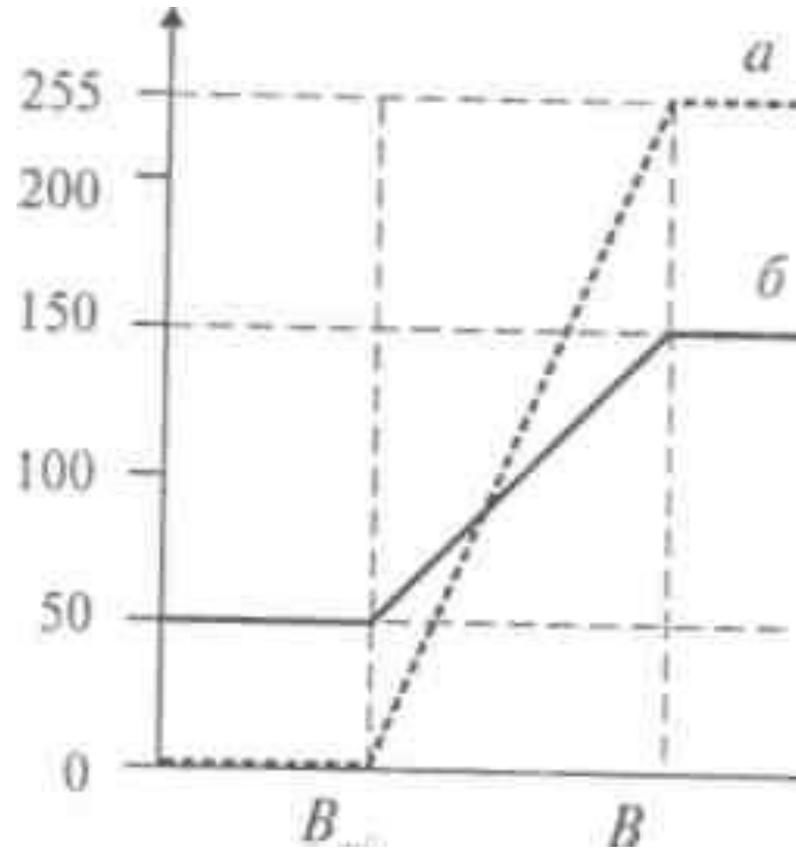
Пик-селы	Первичная цифровая запись		Трансформированный и координированный снимок					
			Цифровая запись		Прямоугольная, км		Географическая,	
	x	y	x	y	X	Y	φ	λ
А	1	1	4	1	8737,0	5091,0	45°49,8	47°47,5
Б	6	8	8	8	8739,0	5087,0	45°47,7	47°40,0
В	11	15	11	18	8741,0	5082,5	45°45,6	47°50,5

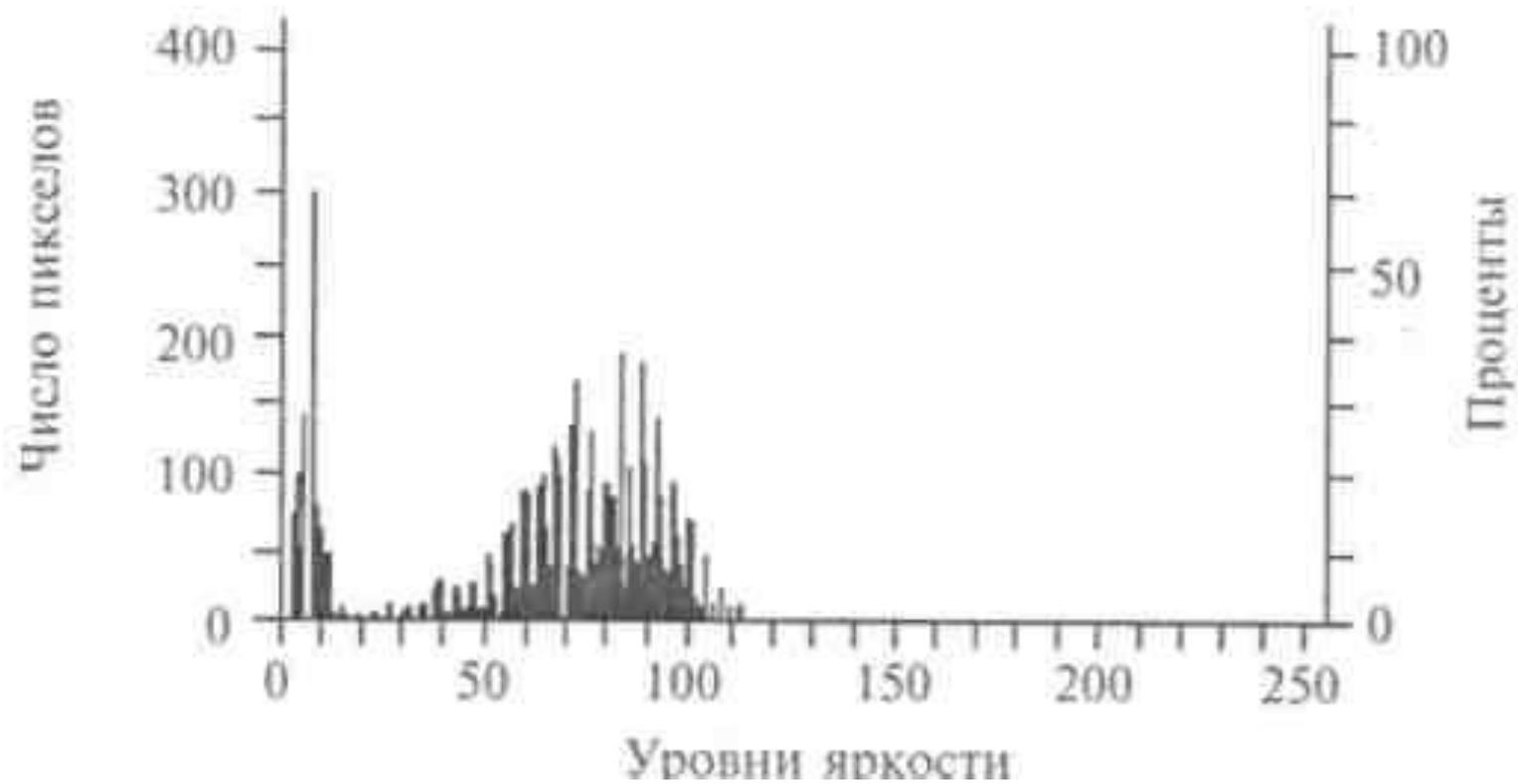
Координаты пикселей в первичной цифровой записи (а)
И после выполнения геометрических преобразований изображения (б)

Передаточная функция цифрового снимка:

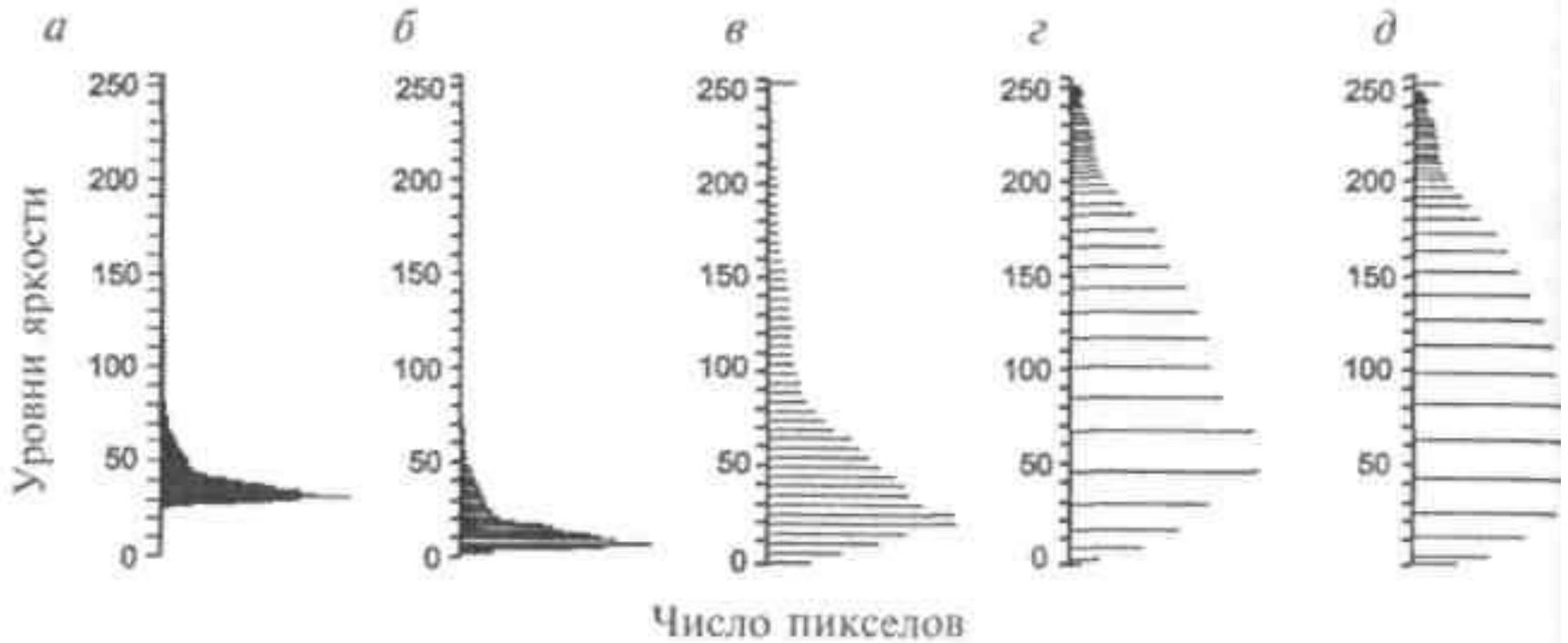
А – идеальная форма;

Б – частный случай





Гистограмма цифрового снимка



Виды преобразования гистограммы:

- а* — исходная гистограмма;
- б* — линейное преобразование;
- в* — то же с исключением 1% крайних значений;
- г* — эквализация;
- д* — то же с исключением 1% крайних значений

Яркостные преобразования цифрового снимка:

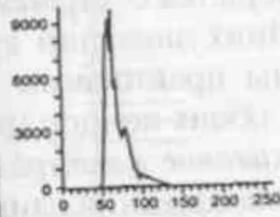
а - фрагмент оригинального снимка и его гистограмма; тот же фрагмент после контрастирования;

б - линейное преобразование гистограммы;

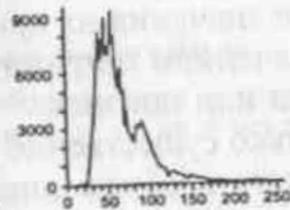
в - эквализация гистограммы;

г - тот же фрагмент после контрастирования и подчеркивания границ

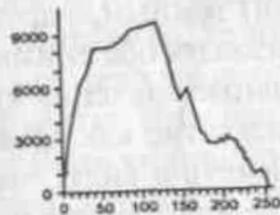
а



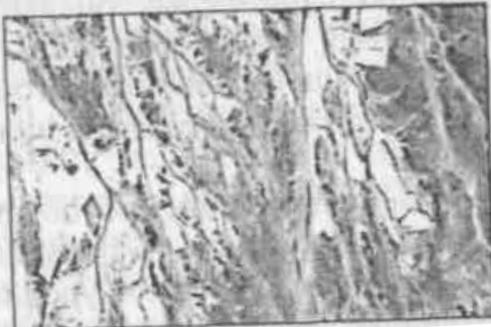
б

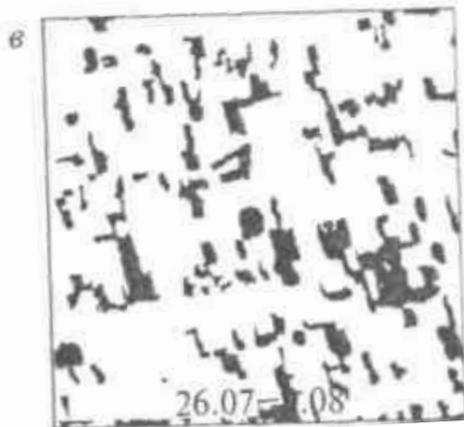
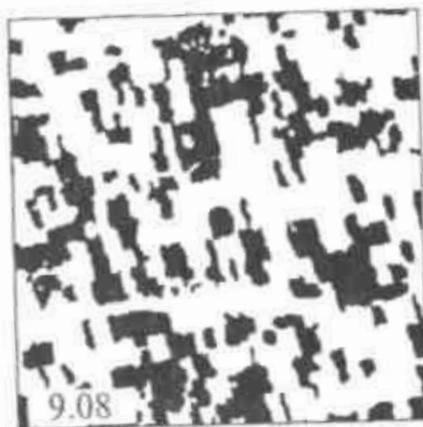
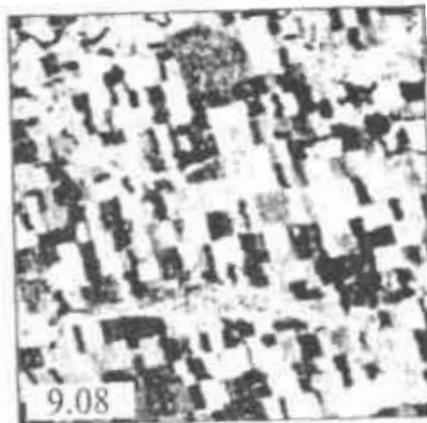


в



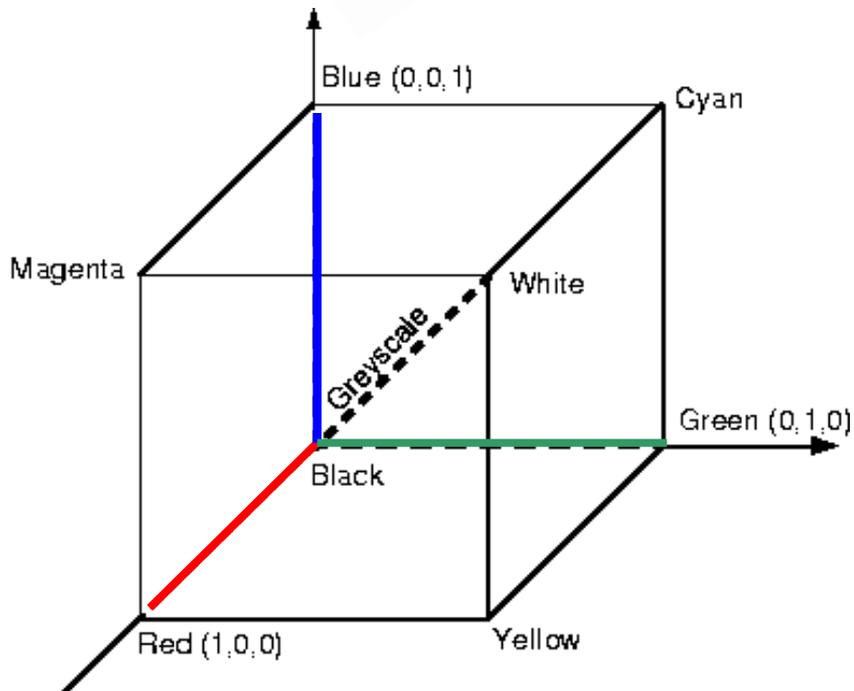
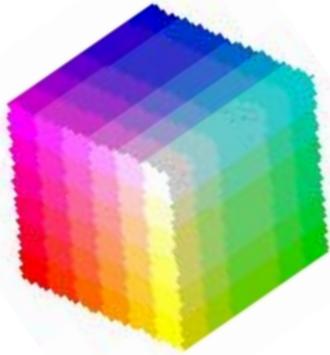
г





Квантование изображения:
а -фрагменты космических снимков двух сроков съемки;
б - одновременные изображения квантованные на два уровня яркости;
в - результат вычитания изображений

RGB цветовой куб



Цветовой куб позволяет рассчитать максимальное количество цифровых цветов модели RGB: на каждой оси можно отложить 256 значений.

В начале координат все составляющие равны нулю, излучение отсутствует, что соответствует точке чёрного цвета.

Точка, находящаяся в вершине куба, соответствует белому цвету: все составляющие имеют максимальное значение.

Серые оттенки представляют собой линию, соединяющую указанные две точки: чёрный и белый цвет. Этот диапазон называется серой шкалой (grayscale). Значения всех трёх составляющих одинаковы и располагаются в диапазоне от нуля до максимального значения.

Коэффициенты корреляции изображений, полученных в 4-х каналах сканирующей системы МСУ-СК Ресурс-О

Съемочные каналы	1	2	3	4
1	1,00	0,20	-0,07	0,00
2	0,20	1,00	-0,05	-0,07
3	-0,07	-0,05	1,00	0,74
4	0,00	-0,07	0,74	1,00

Соотношение значений яркости в двух спектральных зонах («простое соотношение»):

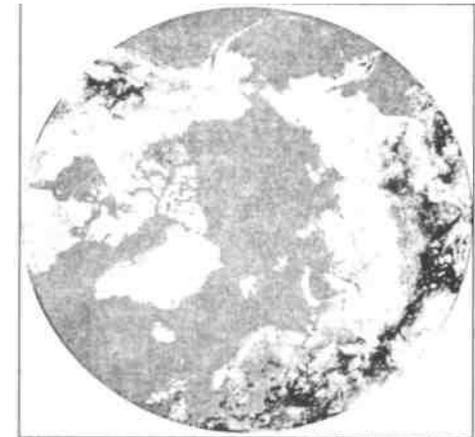
$$D = B_r / B_{ir}$$

Где B_r и B_{ir} – яркости соответственно в красной и ближней инфракрасной зонах, позволяет исключить или существенно уменьшить влияние неравномерностей освещенности склонов разной экспозиции при дешифрировании растительности

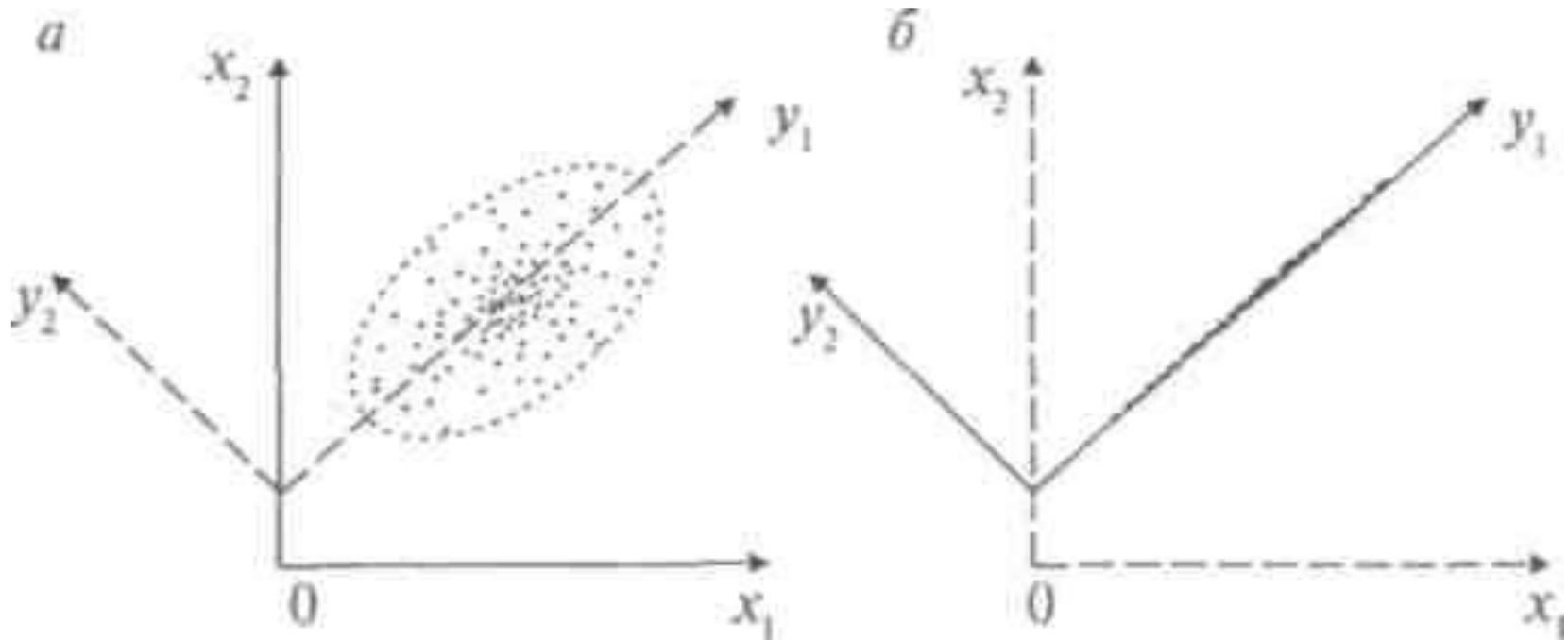
Вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index)

представляет собой нормированную разность уровней яркости на снимках в ближней инфракрасной и красной съемочных зонах:

$$NDVI = B_{ir} - B_r / B_{ir} + B_r$$



Распределение значений вегетационного индекса весной в северном полушарии



Преобразование двумерного поля признаков по методу главных компонент:

- а — эллипс рассеяния точек в исходном пространстве признаков x_1x_2 (умеренная корреляция);
- б — положение точек в новой системе координат y_1y_2 (корреляция отсутствует)



Изображения трех первых компонент, полученные в результате преобразования многозонального космического снимка по методу главных компонент