

DOI 10.37882/2223–2966.2022.02.19

# ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ. СРАВНЕНИЕ ОБРАБОТКИ САМОЛЁТНОГО И СПУТНИКОВОГО СКАНЕРА. ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ПОСТРОЕНИЮ НЕЗЕМНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

REMOTE SENSING OF THE EARTH.  
COMPARISON OF AIRCRAFT  
AND SATELLITE SCANNER PROCESSING.  
FORMATION OF REQUIREMENTS  
FOR CONSTRUCTION OF UNTERRESTRIAL  
DATA PROCESSING

*F. Kovalev*

*Summary.* The paper considers the analysis and justification of the requirements for the construction of ground-based data processing of an aircraft scanner, taking into account various types of disturbances. There is also the task of comparing the filming of the aircraft and satellite systems in order to substantiate the principle of constructing a ground-based complex for processing data from an aircraft remote sensing system. The result of the comparison of the processing of aerial imagery and the satellite remote sensing system will be presented in the form of a table and a diagram of the ground data processing complex.

*Keywords:* remote sensing of the earth (ERS), processing, geological survey, survey, map, scheme, distortion.

**Ковалев Фёдор Алексеевич**

*Инженер-программист, Компания ОАО "Центр  
Наукоемких Технологий"  
f9060341129@gmail.com*

*Аннотация.* В работе рассматривается анализ и обоснование требований к построению наземной обработки данных самолетного сканера с учетом различного типа возмущений. Также стоит задача сравнения съемки самолетной и спутниковой системы с тем, чтобы обосновать принцип построения наземного комплекса обработки данных самолетной системы ДЗЗ. Итог сравнения обработки самолетной съемки и спутниковой системы ДЗЗ будет представлен в виде таблицы и схемы комплекса наземной обработки данных.

*Ключевые слова:* дистанционное зондирование земли (ДЗЗ), обработка, геологическое исследование, съемка, карта, схема, искажение.

## Введение

**Н**а сегодняшний день существует множество объектов, требующих мониторинга. Проводить наблюдения за ними можно разными способами, что сказывается на качестве изображения. Однако существуют ряд задач, для которых не подходят космические исследования. К таким задачам можно отнести наблюдение за неисправностью линий электропередач (ЛЭП), геологоразведка углеводородов и т.д. Для решения этих задач есть несколько разных вариантов решения, но наиболее актуальным является использование систем ДЗЗ, элементами которых являются различные ЛА. После съемки проводится дальнейшая обработка.

Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) являются эффективным инструментом, позволяющим оперативно и детально исследовать состояние окружающей среды, использование природных ресурсов и получать объективную картину мира. Съемка может

осуществляться двумя типами наблюдения: космическими и самолетными.

В данной работе стоит задача их сравнения с тем, чтобы обосновать принцип построения наземного комплекса обработки данных самолетной системы ДЗЗ. Самолетный сканер позволяет проводить съемку подстилающей поверхности для поиска залежей углеводорода (УВ). Благодаря возможности снимать изображение с высоты порядка 6–7 м, можно получать изображение высокого разрешения в отличии от Космической системы. Съемка осуществляется сканером Eagle. Полученные изображения подвергаются первичной и тематической обработке. [9],[10]

Самолетная система ДЗЗ оснащается сканером и цифровым фотоаппаратом, которые имеют совмещенные поля зрения. Фотоаппарат обладает более узкой полосой обзора и позволяет формировать цветные кадры с пространственным разрешением, в 20–30 раз превосходящим разрешение сканерного изображения.

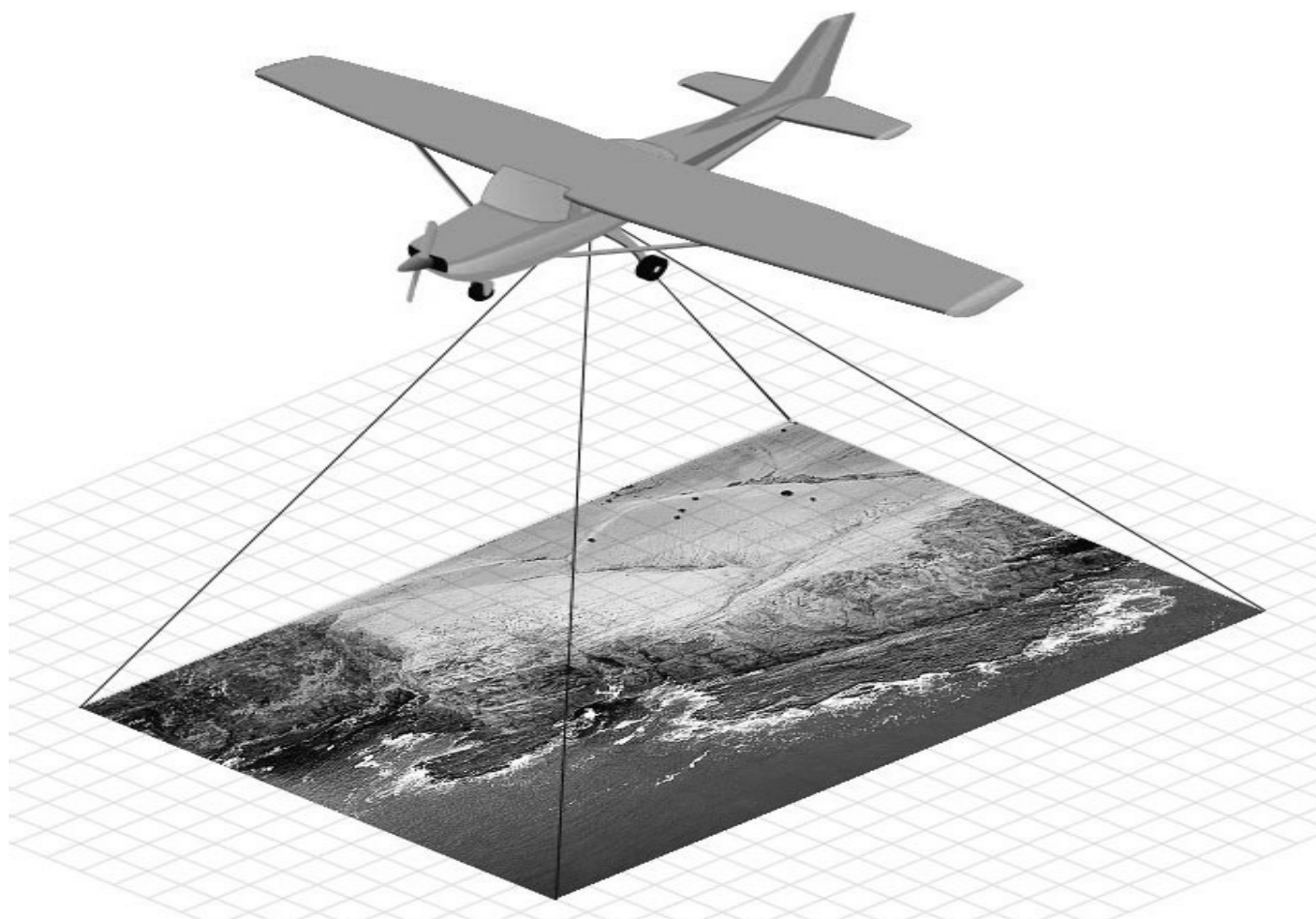


Рис. 1. Наблюдение земной поверхности при помощи сканера

Съемка земной поверхности выполняется одновременно сканером и цифровым фотоаппаратом. В служебную часть строки сканерного изображения заносятся данные о пространственном положении самолета, поступающие от GPS-приемника, а также данные о текущих углах крена и тангажа рис. 1 [20]

Принцип воздушной съемки наземных объектов при помощи сканера проиллюстрирован на рис. 1 [1]

Космические аппараты также позволяют получать изображения высокого пространственного разрешения. Космические аппараты в зависимости от наклона оптической оси позволяют получать плановые и перспективные снимки земной поверхности. (Рис. 1)

К спутниковой съемке можно отнести Ресурс-П, Канопус, Pleiades, Rapid eye, Landsat. [2], [3]

Спутник Ресурс-П — имеет возможности объектовой и маршрутной съёмки. Возможна съемка марш-

рутов протяжённостью до 115 км, съёмка площадок до 100x300 км, пространственное разрешение 0,7 м.

Координатная привязка снимков имеет среднеквадратическую ошибку не более 10–15 м [4]

Канопус — спутник с полосой захвата 20–23 км с пространственным разрешением 2,1; 10,5 м

Pleiades — французский спутник, высота орбиты 705 км, разрешение изображения 0,7 м [3]

Rapid eye — группировка спутников, высота орбиты 630 км, пространственное разрешение 6,5 м [2]

Программа Landsat — наиболее продолжительный проект по получению фотоснимков планеты Земля.

Первый из спутников в рамках программы был запущен в 1972; последний,

на настоящий момент, Landsat 7–15 апреля 1999.

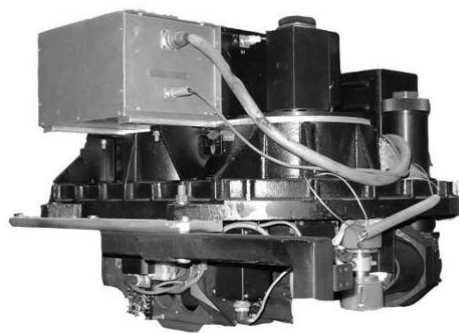


Рис. 2. Изображение сканера EAGLE, устанавливаемого на самолет; Рис. 3. Рисунок самолета Ан-30 на который устанавливается сканер

В момент создания в 1966 году программа называлась Earth Resources

Observation Satellites (Спутники наблюдения за ресурсами Земли), но в 1975 программу переименовали.

Оборудование, установленное на спутниках Landsat, сделало миллиарды снимков. Снимки, полученные в США и на станциях получения данных со спутников по всему миру, являются уникальным ресурсом для проведения множества научных исследований в области сельского хозяйства, картографии, геологии, лесоводства, разведки, образования и национальной безопасности.

Съемочные системы спутников этой серии основаны на использовании сканирующих устройств.

Орбита этих спутников солнечно-синхронная, имеет наклон к плоскости экватора (наклонение)  $98,2^\circ$ , при высоте 705 км (первые три спутника этой серии имели высоту 917 км). При таких параметрах орбиты возможна съемка территорий от  $82^\circ$  северной широты до  $82^\circ$  южной широты. Повторяемость съемки составляет 16 дней.

Одной из основных характеристик спутникового снимка является его пространственное разрешение. Оно выражается в размере самых мелких объектов, различимых на изображении. Изображение состоит из отдельных цветных точек — пикселей. Чем меньше метров на местности укладывается в один пиксель, тем выше разрешение и тем более детальное изображение на снимке можно получить. Съемка проводится с высоты 500–700 км.

Спутник Landsat 8 имеет следующие технические характеристики:

Наименование съемочной аппаратуры	OLI и TIRS
Число элементов линейки	6000 (OLI; 18000 PAN), 1500 (TIRS)
Динамический диапазон, бит	12
Разрешение на местности, м	15 (PAN), 30 (VNIR, SWIR), 100 (TIR)
Ширина полосы съемки, км	185
Скорость передачи данных, Мбит/сек	265 (OLI), 26,2 (TIRS)

Статус: функционирует с отклонениями в работе камеры

Высота орбиты (перигей-апогей), 669–705 км

Наклонение орбиты,  $98,2^\circ$  гр

Период повторного просмотра, 16 суток (233 орбиты)

Основная задача, которую выполняет наземный комплекс — это прием и обработка информации на базе Наземного центра оперативного мониторинга Земли на базе Роскосмоса. [5]

Рассмотрим более подробно принцип получения изображения.

#### Сравнительный анализ материалов спутниковой и самолетной съемки

#### Получение данных с самолетного сканера

Для съемки лицензионных участков используется одноэлементный многозональный сканер, формирующий

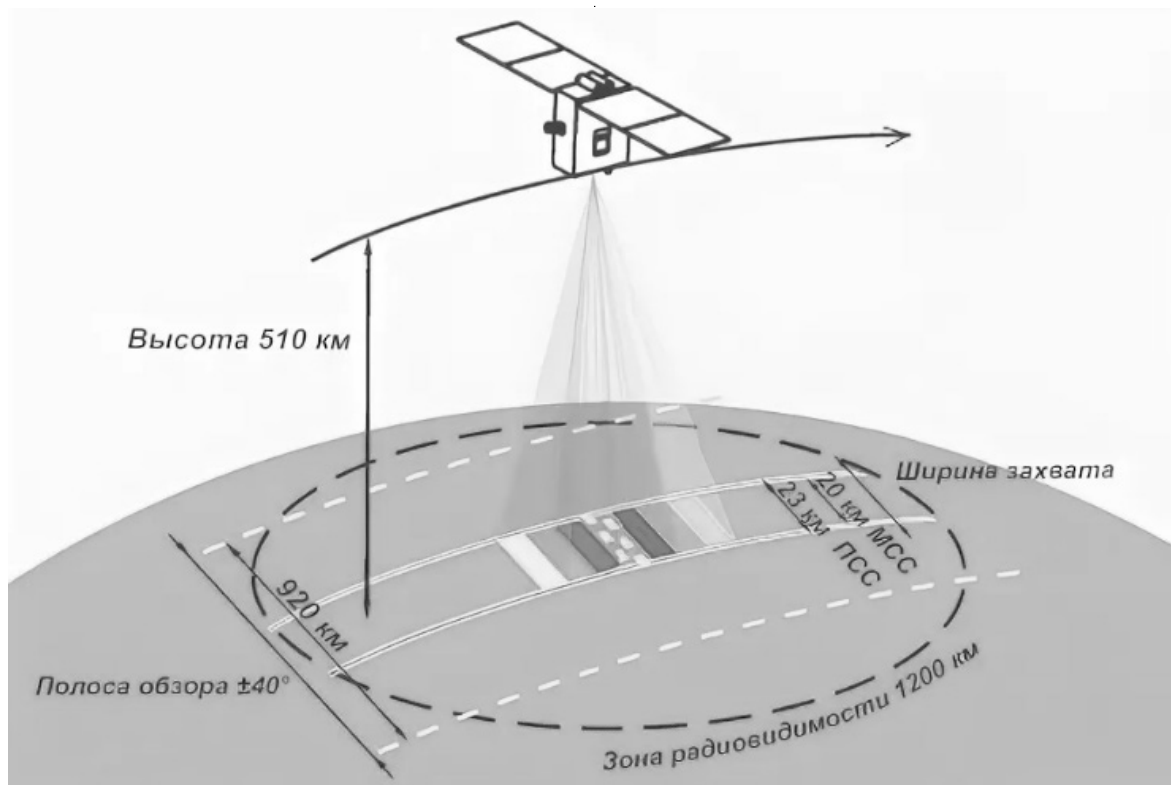


Рис. 4. Схема воздушной съемки наземных объектов



Рис. 5. Передача данных съемки на считывающее устройство

щий изображение земной поверхности в шести спектральных диапазонах (рис. 3). Сканер устанавливается на самолет, который последовательно облетает анализируемый участок местности и формирует набор перекрывающихся маршрутов съемки рис. 4

Для геодезической привязки получаемых изображений сканер сопряжен с приемником GPS и аппарату-

рой определения углового положения — “Компонавт”. Информация от этих приборов заносится в служебную часть строки видеоданных.

Сканер имеет линейную по углу развёртку с углом обзора  $70^\circ$  и обеспечивает съемку подстилающей поверхности в шести спектральных диапазонах: 0,43–0,46 мкм; 0,5–0,59 мкм; 0,6–0,68 мкм; 0,7–0,8 мкм; 1,5–2,5 мкм;

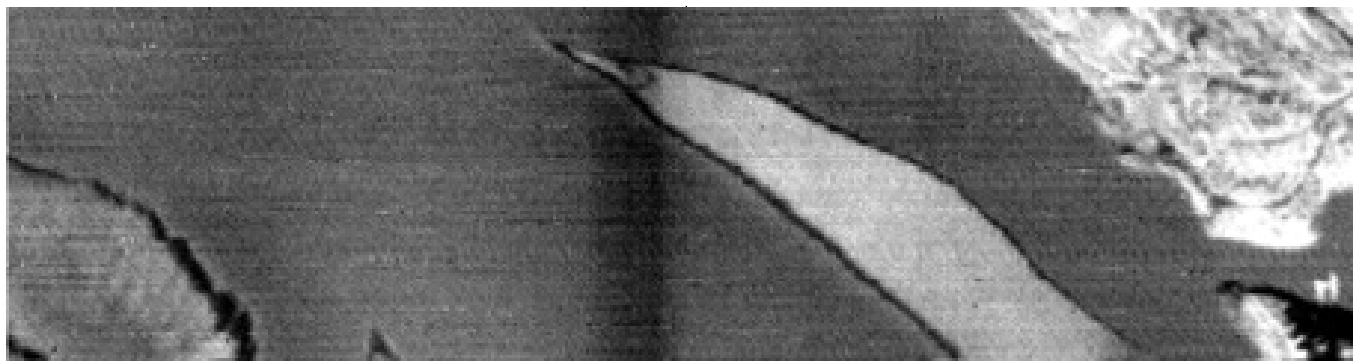
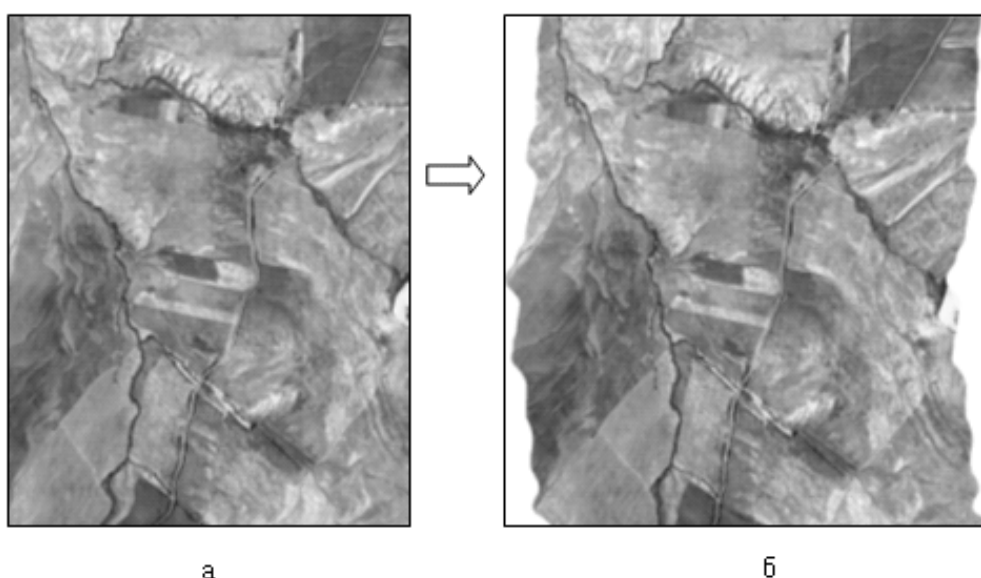


Рис. 6. Радиометрическое искажение в виде вертикальной “полосатости” на ИК-снимке



Пример геометрической коррекции сканерного снимка:  
а - исходное изображение ; б - скорректированный снимок  
в проекции Меркатора

Рис. 7. Исходное и откорректированное изображение

8,0–12,5 мкм. Число элементов в каждом спектральном канале — 1000 при радиометрическом разрешении 8 бит на пиксел. Изображения, формируемые в 6-м спектральном канале, откалиброваны, что позволяет измерять температуру подстилающей поверхности. [11],[12]

Съёмку обследуемой территории выполняют одновременно перекрывающимися маршрутами (рис. 5) с высоты 6–7 км с тем, чтобы пространственное разрешение изображений находилось в пределах 7–10 м, при этом хотя бы один из маршрутов должен захватить опорную территорию, подтверждающую наличие залежей УВ. [5], [6]

Схема воздушной съёмки представлена на рис. 4

После проведения съёмки данные записываются на носитель и передаются на считывающее устройство (компьютер). Затем перенесенные данные подвергаются дальнейшей обработке. Принцип передачи данных со съёмочного устройства на компьютер представлена на рис. 5

Во время съёмки изображения, формирующегося сканером, могут проявляться различного типа искажения [7]:

- 1) Радиометрическое искажение

Пример радиометрического изображения земной поверхности с “полосатостью” показан на рис. 6

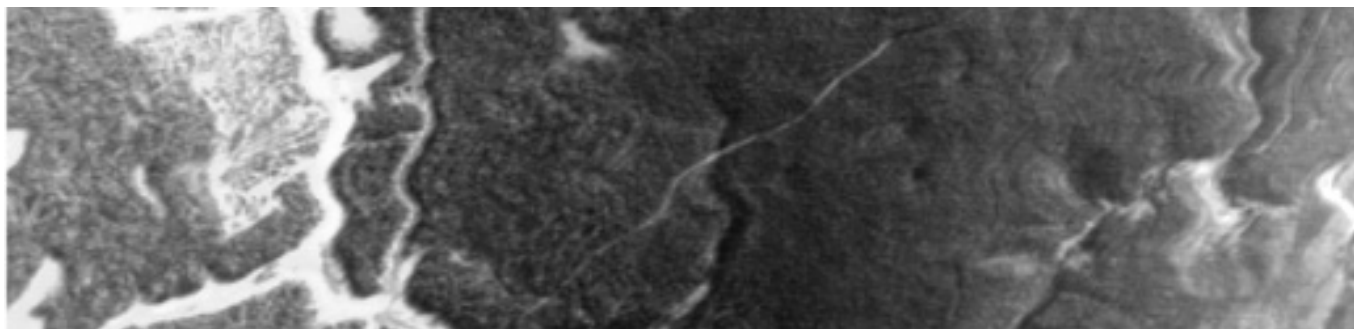
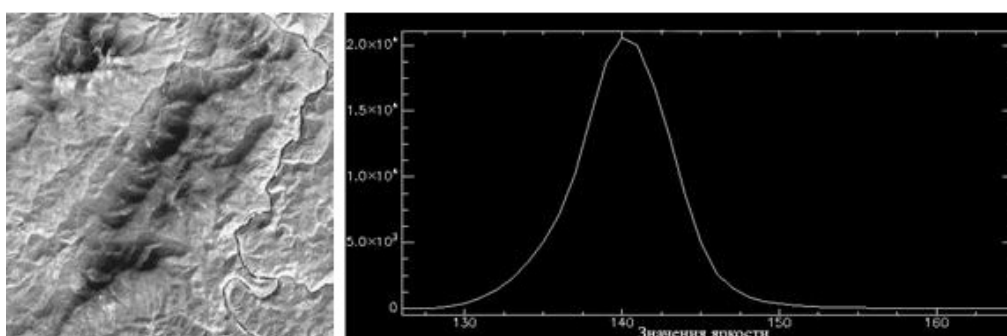
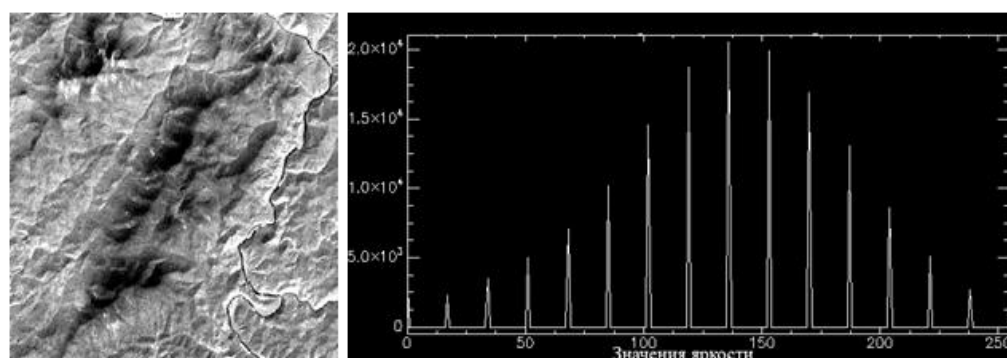


Рис. 8. Пример коррекции средней яркости на изображениях в видимых каналах



Исходный снимок

диапазон значений яркости от 126 до 165, среднее = 140



Снимок после линейного растягивания гистограммы

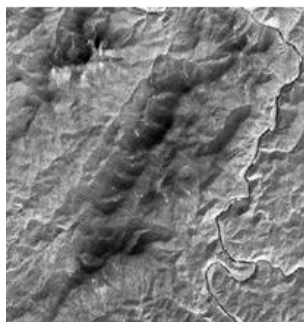
диапазон значений яркости от 0 до 255, среднее = 136.7

Радиометрическая коррекция — исправление на этапе предварительной подготовки снимков 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 оси изображения. При радиометрической коррекции также удаляются дефекты изображения, наблюдаемые как сбойные пиксели изображения или вы-

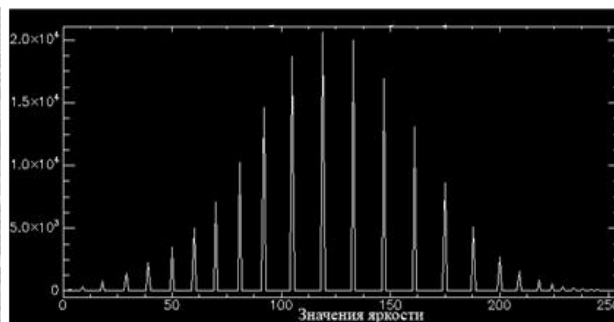
падающие строки. Во время съемки может возникнуть искажение в виде черной полосы рис. 6;

## 2) Геометрическое искажение

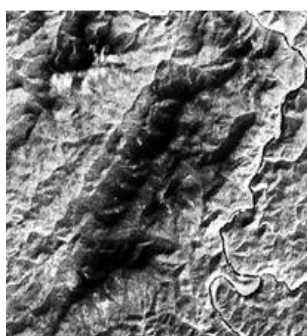
Геометрическими искажениями изображения называются различия между координатами и размерами реального изображения и идеального, которое может быть теоретически получено с помощью идеального сенсора в идеальных условиях работы. Причиной



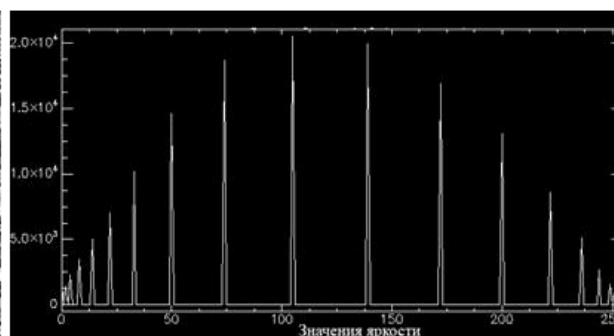
Снимок после нормализации гистограммы



диапазон значений яркости от 0 до 255, среднее = 121.5. Причем растянута средняя, наиболее информативная часть гистограммы



Снимок после выравнивания гистограммы



диапазон значений яркости от 0 до 255, среднее = 115.9

искажений может быть кривизна поверхности Земли, неровности рельефа, особенности движения летательного аппарата (ЛА). Пример исходного и откорректированного изображения представлен на рис. 7;

### 3) Контрастирование изображений

Контраст изображения — это разность между максимальным и минимальным значениями яркости. Рис. 8

Проблема заключается в том, что при перенесении данных со сканера, с размерностью 10 бит/пиксель на считывающее устройство (компьютер) с размерностью 8 бит/пиксель присутствует существенная разница. Следовательно, при обработке данных часть пикселей примут другое значение яркости. Есть несколько вариантов повышения контраста путем цифровой обработки:

1. Линейное растягивание гистограммы. Всем значениям яркости присваиваются новые значения с целью охватить весь возможный интервал изменения яркости.
2. Нормализация гистограммы. На весь возможный интервал изменения яркости растягивается

не вся гистограмма, а ее наиболее интенсивный участок.

3. Выравнивание гистограммы. В процессе выравнивания происходит изменение значений яркости пикселей таким образом, чтобы для каждого уровня яркости было одинаковое или близкое количество пикселей. [7]

При обработке данных с самолетного сканера необходимо решить три задачи: радиометрическое искажение, геометрическое искажение, контраст изображения.

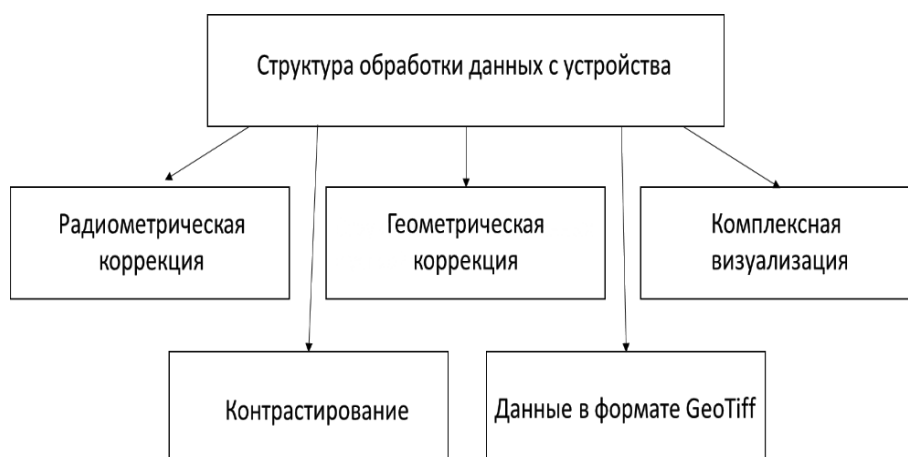
### Получение данных со спутниковой съемки

Проанализируем данные со спутникового изображения с научной точки зрения. Одной из основных характеристик спутникового снимка является его пространственное разрешение. Оно выражается в размере самых мелких объектов, различимых на изображении. В космических аппаратах съемка изображений формируется матрицами. Изображение состоит из отдельных цветных точек — пикселей. Чем меньше метров на мест-

Таблица 1. Сравнение самолетной съемки и спутниковой системы ДЗЗ

	Самолетная съемка	Спутниковая система ДЗЗ	Обработка
1) Геометрическая коррекция	с учетом особенностей самолетной съемки	присутствует	Одинаковая
2) Импульсные помехи	с учетом особенностей съемки	отсутствует	Одинаковая
3) Формат изображения	arg, bmp, esd, jpg, tiff	Geotiff, jpg	
4) Радиометрическая коррекция	удаление дефектов изображения, наблюдаемых как сбойные пиксели изображения или выпадающие строки	присутствует	Одинаковая
5) Контрастирование	коррекция средней яркости на изображениях в видимых каналах	присутствует	Одинаковая
6) Комплексная визуализация	присутствует	присутствует	Одинаковая
7) Алгебраическая обработка	присутствует	отсутствует	Одинаковая

Таблица 2. Схема комплекса наземной обработки



ности укладывается в один пиксель, тем выше разрешение и тем более детальное изображение на снимке можно получить. [13–19]

Однако у съемки со спутника есть свои недостатки. Основным недостатком спутниковых снимков является глобальность охвата. Практически невозможно получить спутниковый снимок в видимом диапазоне спектра на обширный участок местности без того, чтобы какая-то часть изображения была без дефектов, например, высокая облачность. Также существуют районы с высокой облачностью, например, горные вершины, покрытые облаками большую часть времени года. Решением этой проблемы является составление нужного мозаичного снимка из фрагментов других снимков, сделанных в разное время, на которых тот или иной участок местности не покрыт облачностью, или же съёмка в другом диапазоне спектра, для которого облака — прозрачны. [8]

Съемка происходит на высоте 500–700 км

Сравнение обработки данных с Самолетной съемки и Спутниковой системы ДЗЗ представлено в табл. 1.

### ВЫВОДЫ

В ходе сравнительного анализа самолётной и спутниковой съемки можно сказать, что искажения, присутствующие в самолетной съемке могут отсутствовать в спутниковой.

Для съемки со спутника и с самолёта процедуры: контрастирование, радиометрическая и геометрическая коррекция изображения являются общими и осуществляются по схожим алгоритмам, для материалов, полученных со спутника процедуры: восстановление пропущенных пикселей, контрастирование, фильтрация дополнительные, что вносит дополнительные изменения в снимок. Процесс первичной обработки это в любом случае изменение параметров исходного снимка.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев Ф.А. Комплекс обработки авиационных изображений земной поверхности для картографирования углеводородных аномалий // Научный деловой журнал "Neftegaz.RU" 2018. С. 52...55.
2. Захаров М.А. Исследование условий измерения вращательных и нестационарных производных бокового движения летательных аппаратов // Труды МАИ. — М., 2004. — № 15.
3. 3) Захаров М.А. Анализ методики измерения комплексов аэродинамических производных в условиях требуемых углов атаки и скольжения // Труды МАИ. — М., 2004. — № 17.
4. Захаров М.А. Выбор параметров динамических составляющих аэродинамических характеристик для моделирования продольного движения самолетов на больших углах атаки // Труды МАИ. — М., 2005. — № 20.
5. Ковалев Ф.А. Влияние типа данных дистанционного зондирования земли на прогнозирование залежей углеводорода // Научный журнал "Авиакосмическое приборостроение" 2019. С. 9...13.
6. Кузнецов А.Е., Новоселов В.Г. Получение непрерывных изображений из отдельно взятых кадров // ЭВМ и информационные технологии: Межвуз. сб. науч. тр. Рязань: РГРТА, 1998. С. 54...58.
7. Тишков В.В., Фирсанов В.В. Расчетный метод для прогнозирования безопасности авиационных объектов при внештатных ситуациях // Труды МАИ. — М., 2007. — № 26.
8. Дорогов А.В. Особенности расчёта массовых характеристик фюзеляжа беспилотного транспортного самолёта вертикального взлёта и посадки // Труды МАИ. — М., 2008. — № 31. [8]
9. Лебедев А.А. Введение в анализ и синтез систем // Москва Издательство МАИ, 2001. [9]
10. Малышев В.В. Методы оптимизации в задачах системного анализа и управления // Москва Издательство МАИ-ПРИНТ, 2010.
11. Чистяков В.А. Система мониторинга угловых координат источников радиоизлучения для космических аппаратов спутниковой связи // Труды МАИ. 2019. № 109.
12. Карелин А.В., Скрипачев В.О., Туманов М.В., Жуков А.О. Методика формирования состава бортовой научной аппаратуры малых космических аппаратов для мониторинга радиоактивного загрязнения Земли // Труды МАИ. 2018. № 103
13. Малышев В.В. Проблема оптимизации построения орбитальных группировок космических систем наблюдения и связи на основе оперативного планирования их целевого функционирования и ее формализация [Текст] / В.В. Дарных // Вестник московского авиационного института. — Москва, 2013. — Т. 20; № 3. — С. 50–60.
14. Малышев В.В. Методика разработки программно-моделирующего комплекса для отработки средств проведения динамических операций космических аппаратов [Текст] / А.В. Старков, А.В. Федоров // Труды МАИ. — М., 2012. — № 57.
15. Оптимизация наблюдения и управления летательных аппаратов [Текст] / В.В. Малышев, М.Н. Красильщиков, В.И. Карлов. — М.: Машиностроение, 1989. — 311 с.: ил. — Библиогр.: с. 306–310 (112 назв.). — ISBN5–217–00591–2: Б. ц.
16. Ковалев Ф.А. Эффективность работы алгоритма прогнозирования залежей углеводородов в зависимости от различных типов данных дистанционного зондирования земли // 18-я Международная конференция "Авиация и космонавтика" МАИ, сборник тезисов стр. 138, 443, ноябрь 2019.
17. Ковалев Ф.А. Поиск оптимального алгоритма тематической обработки при низкочастотной фильтрации данных одноэлементного самолетного сканера // 23 Международная научная конференция «Системный анализ, управление и навигация» Крым, Евпатория, тезисы в журнале: секция "анализ и синтез систем" стр.11 пункт 3.27, июль 2018.
18. Малышев В.В., Дарных В.В. Оперативное планирование целевого функционирования космических систем наблюдения // Москва Издательство МАИ, 2017.
19. Талалаев А.А., Хачумов М.В., Хачумов В.М. Анализ и систематизация методов интеллектуального управления беспилотными летательными аппаратами // Научный журнал "Авиакосмическое приборостроение" май 2018
20. Ю.С. Сагдуллаев, А.И. Смирнов Алгоритмическое обеспечение и оценка достоверности распознавания символьной ТМ информации в ТВ изображениях космических аппаратов // Научный журнал "Авиакосмическое приборостроение" октябрь 2018.

© Ковалев Фёдор Алексеевич ( f9060341129@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»