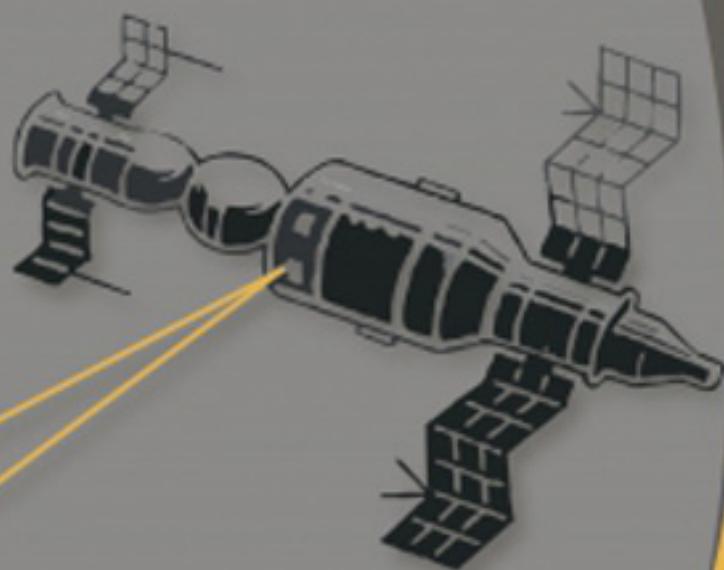
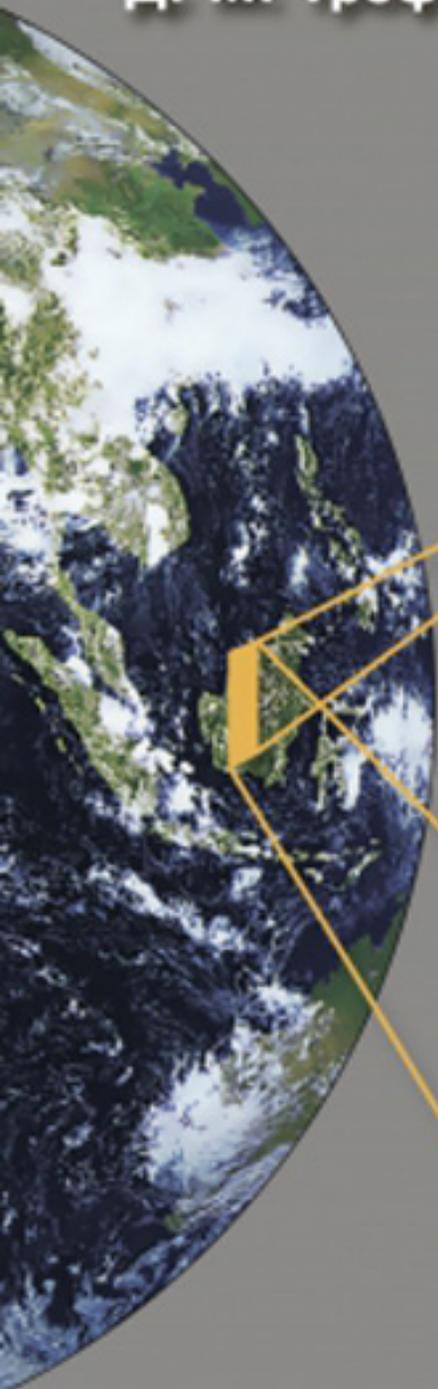


Д. М. Трофимов



# ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ

УДК 622.27  
ББК 33.36  
Т 76

ФЗ № 436-ФЗ	Издание не подлежит маркировке в соответствии с п. 1 ч. 4 ст. 11
----------------	---------------------------------------------------------------------

**Трофимов Д. М.**

Т76 Дистанционные методы в нефтегазовой геологии: монография / Д. М. Трофимов. – М.: Инфра-Инженерия, 2018. – 388 с.

ISBN 978-5-9729-0223-3

Монография посвящена популяризации редко используемых в России инновационных методов дистанционного зондирования среди специалистов нефтегазовой отрасли и содействию их внедрения в практику поисково-разведочных работ на нефть и газ. В ней приведены результаты применения апробированных методик и программ, позволяющих обосновать эффективность аэро- и космических съемок при прогнозировании ловушек углеводородов, оценку нефтегазоносности выявляемых структур и их локализованных ресурсов, а также целесообразность этого вида работ на поисковом и разведочном этапах. Доказательством высокой результативности дистанционных методов могут служить статистические данные по подтверждаемости сейсморазведкой многих сотен локальных структур в разных нефтегазоносных регионах и открытие месторождений нефти и газа в Тимано-Печорском, Западно-Сибирском и Волго-Уральском бассейнах. Опыт показал, что в комплексе с геофизическими методами сокращается время и объемы поисковых работ с повышением их эффективности при изменении традиционной этапности работ.

Предлагаемая читателям монография может быть использована в качестве учебного пособия для студентов геологических вузов.

© Трофимов Д. М., автор, 2018  
© Издательство «Инфра-Инженерия», 2018

ISBN 978-5-9729-0223-3

# ЧАСТЬ I.

## АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОМПЛЕКСЕ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ

### Глава 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О КОСМО- И АЭРОСЪЕМКАХ

Данный раздел носит ознакомительный характер для специалистов нефтегазовой отрасли, не знакомых с условиями и видами аэро- и космических съемок, а также с основными публикациями по данной тематике /1-21/.

Аэрокосмические методы, наиболее активно развивавшиеся на начальных этапах в СССР и США, ориентировались по двум различным направлениям. В СССР основной акцент был сделан на фотографические системы, что в конечном счёте привело к качественной интерпретации материалов дистанционных съемок. За рубежом, и в первую очередь в США, получили развитие нефотографические методы, ориентированные на оперативный сброс видеoinформации по радиоканалам и цифровую обработку получаемых данных. Эти два направления привели, с одной стороны, к совершенствованию методики визуального дешифрирования и качественной интерпретации аэрокосмических изображений, создававших серьезную основу для формализации этих процессов, а с другой – к совершенствованию формальных методов цифровой обработки видеоизображений на ЭВМ. Это выразилось в различии методик работ, при общности подхода к анализу наиболее физиономичных объектов – линейментов и реже кольцевых структур. Общим являлась геоморфологическая направленность, проявившаяся в СССР в развитии морфометрических методов в 1970-1980 гг., постепенно теряющих свое значение. Например, в США при нефтегазовых исследованиях составлялись карты дренажа (гидрографической сети) по аэро- и космическим снимкам /1/, а в Советском Союзе осуществлялись различные морфометрические построения, часто параллелизуемые с неотектоническими исследованиями /2/. В настоящее время эти два направления частично реализованы при создании структурных карт нефтегазоносных регионов /3/.

#### 1.1. Краткие сведения о носителях съемочной аппаратуры

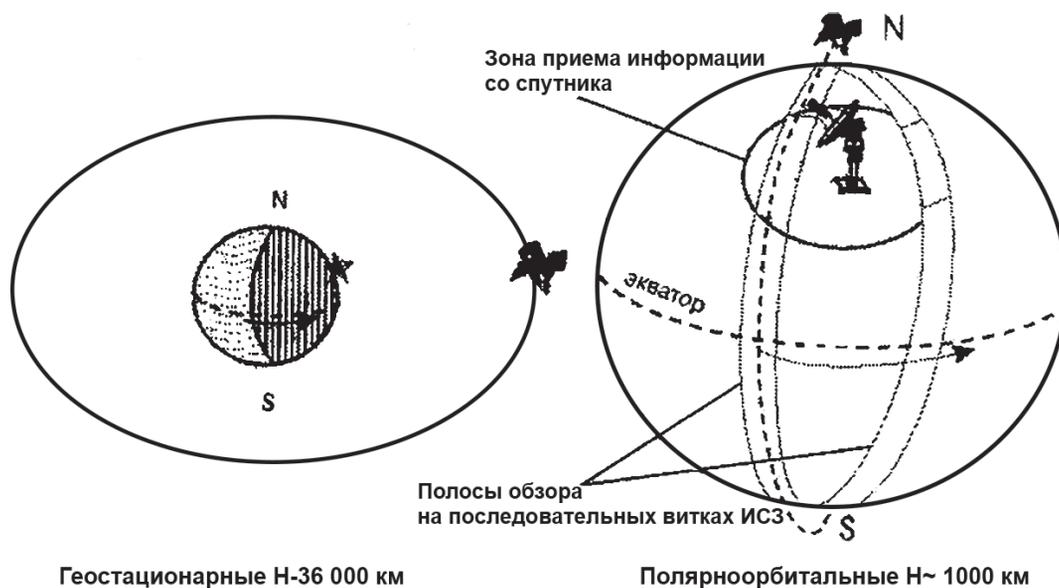
Краткое ознакомление с носителями аппаратуры необходимо для получения представлений об условиях проведения съемочных работ. В первую очередь это относится к высоте съемки и пространственному положению орбит относительно снимаемой территории. Они определяют ряд важнейших параметров получаемых аэрокосмических материалов: масштаб, разрешение на местности, обзорность, периодичность съемок, положение Солнца и искажающее влияние атмосферы на качество изображений.

Носители съемочной аппаратуры по степени автономности перемещения в пространстве и по высоте полета делятся на две группы: авиационные и космические. В группу авиационных носителей, помимо разновысотных самолетов и вертолетов, включают аэростаты, дирижабли, воздушные шары, ракеты и радиоуправляемые летающие устройства (БПЛА). Они различаются по высоте полета, возможностям перемещения, стоимости и могут использоваться в зависимости от решаемых задач. Самолеты и вертолеты, хотя и ограничены определенным потолком высоты, могут свободно перемещаться в пространстве в соответствии с условиями съемок. Однако, невыдержанность режимов полета (рыскание по маршруту, изменение высоты и ориентировки) влияет на качество съемки, приводя к геометрическим искажениям снимков, которые затем должны подвергаться корректировке.

В группу космических носителей входят автоматические спутники, пилотируемые корабли и орбитальные станции. Их движение по орбите относительно Земли определяется законами небесной механики и аэродинамики. Одним из основных параметров является

скорость перемещения носителя в космосе, составляющая около 8,0 тыс. км/сек. Условия перемещения носителя, ориентация оптических осей аппаратуры по отношению к Земле, характеристики съемочной техники, должны быть увязаны с освещенностью по трассе полета и прозрачностью атмосферы.

В настоящее время космические носители съемочной аппаратуры используют несколько видов орбит: геостационарную, геосинхронную и солнечносинхронную (рис. 1.1). Геостационарная орбита характеризуется высотой 36000 км, что позволяет проводить постоянную глобальную съёмку над одной половиной Земли.



Геостационарные Н-36 000 км

Полярноорбитальные Н~ 1000 км

**Рис. 1.1. Орбиты спутников дистанционного зондирования Земли /4/:**  
а – геостационарная, б – полярноорбитальная (геосинхронная и солнечно-синхронная)

Спутник, перемещающийся по наклонной орбите с периодом обращения 24 часа, имеет геосинхронную орбиту, что позволяет ему каждые сутки пролетать над одной и той же точкой. Периоды обращения орбиты не кратные суткам называются квазисинхронными и квазипериодическими, что ведет к смещению их трасс и постепенному покрытию съемкой земной поверхности.

Орбиты, обладающие способностью сохранять постоянную ориентацию на Солнце, называются солнечносинхронными. Они имеют околополярную ориентацию, и их преимущество заключается в том, что они обеспечивают получение снимков с незначительными по времени изменениями освещенности поверхности Земли вдоль трассы полета. Это особенно важно для проведения многократных съемок одних и тех же территорий. Высоты их обычно не превышают 1000 км. На этих орбитах находятся автоматические спутники, используемые для изучения природных ресурсов.

Оптимальным вариантом является движение космического носителя по круговым, околополярным, квазигеосинхронным и солнечносинхронным орбитам с суточным сдвигом около 200 км. В этих условиях глобальная съемка Земли выполняется оперативно. При обзоре порядка 200 км носитель за 18 суток обеспечивает съемку всей территории Земли. Эти орбиты обычно используются для спутников по изучению природных ресурсов: Landsat, Seasat, TerraAster, Ресурс и др. В настоящее время в космосе находятся сотни спутников различного назначения. Для примера приведем характеристики наиболее востребованных снимков, получаемых со спутников (табл. 1.1).

Сравнение эффективности использования снимков с космических и авиационных носителей может производиться в зависимости от конкретных решаемых задач. Для большой площади исследований снимки, получаемые из космоса, дешевле, обладают большой обзорностью, что позволяет проводить одновременно анализ положения изучаемых объектов в региональной структуре и особенностей их строения. С другой стороны, по своему

разрешению на местности они несколько уступают аэроснимкам. В случае необходимости выбора маршрута относительно изучаемой площади, высоты полета и оценки влияния атмосферы авиационные носители представляют определенный интерес. Необходимо отметить, что космические снимки в настоящее время обладают как высоким пространственным разрешением, так и необходимой обзорностью. В связи с этим аэросъемка используется в ограниченном объеме.

**Таблица 1.1**  
**Основные характеристики наиболее широко используемых снимков, получаемых природоресурсными спутниками**

Название носителя, аппаратуры и страна производитель	Ширина полосы обзора (км)	Спектральные диапазоны (мкм)	Пространственное разрешение (м)	Периодичность (сутки)	Орбита
Landsat-7 (США)	185	0,52-0,9 (панхром) 0,45-0,52 0,53-0,61 0,63-0,69 0,78-0,90 1,55-1,75 2,09-2,35 10,4-12,5	15 30 60	16	Солнечно-синхронная
Terra (аппаратура Aster) (США)	60	0,52-0,6 0,63-0,69 0,76-0,86 (nadir looking) 0,76-0,86 (backward looking) 1,600-1,700 2,145-2,185 2,185-2,225 2,235-2,285 2,295-2,365 2,360-2,430 8,125-8,475 8,475-8,825 8,925-9,275 10,25-10,95 10,95-11,65	15 30 90	16	Солнечно-синхронная
Spot (Франция)	60	0,48-0,71 0,50-0,59 0,61-0,68 0,78-0,89 1,58-1,75	5-2,5 8-10	3	Солнечно-синхронная
Alos (Япония) 3 камеры	35 70	0,52-0,77 (Prism) Avenir: 0,42-0,50 0,52-0,60 0,61-0,69 0,76-0,89 Palsar 23,5 см (L-диапазон)	2,5 10 7-88	46	Солнечно-синхронная

Продолжение таблицы 1.1

СВЕРС (Китай, Бразилия)	60	0,51-0,71 (панхром)	5	3-52	Солнечно- синхронная
	120	0,45-0,52 0,52-0,59 0,63-0,69 0,77-0,89	20	26	
	120	0,77-0,89 1,55-1,75 2,08-2,35 10,4-12,5	40/80	26	
Ресурс-ДК (Россия)	4,7-28,3	0,58-0,80 (панхром) 0,50-0,60 0,60-0,70 0,70-0,80	1-3 2-3/3-5	6	Солнечно- синхронная

Большое разнообразие условий съёмки с разных высот и в разное время обеспечивает уникальность каждого получаемого изображения, так что оптимальным является комплексирование снимков, получаемых с различных носителей.

К числу безконтактных относят лазерные и спектрометрические съёмки, производимые в приземном воздухе с высот от 1 до первых метров.

## 1.2. Виды аэрокосмических съёмок и получаемых материалов

В данном разделе даются общие технические характеристики основных материалов космических съёмок, пригодных для использования при геолого-разведочных работах на нефть и газ. При этом не ставится задача описания аппаратуры и условий получения изображений, которые подробно описаны во многих работах.

Физической основой аэрокосмических съёмок является способность объектов излучать и отражать электромагнитное излучение. Оно характеризуется следующими свойствами: направлением, интенсивностью, спектральным составом и поляризацией. Процесс регистрации излучения от природных объектов называется съёмкой, интерпретация которых осуществляется с помощью специализированных дистанционных методов. При этом, независимо от используемого диапазона спектра, подразумевается получение видеоизображений, которые являются пригодными для визуального анализа и цифровой обработки.

Современный этап развития аэро- и космических съёмок отражает переход от требований качественных снимков с картографической точностью, к получению их количественных характеристик в разнообразных и все более узких зонах спектра.

Развитие аэрокосмических съёмок и связанных с ними геологических исследований определяется возможностью получения таких материалов, которые позволяют оперативно, с сокращением сроков и объёмов полевых работ составлять на необходимой масштабированной основе результирующие карты.

### 1.2.1. Общая характеристика материалов аэро- и космических съёмок

Материалы аэро- и космических съёмок в настоящее время получают в необходимый временной интервал, с разных высот и с помощью разнообразной техники. Характеристика снимков определяется съёмочной техникой, условиями их получения (носители, аппаратура, высота съёмки и др.) и диапазоном спектра электромагнитных волн (табл. 1.1). Снимки и производные от них материалы характеризуются несколькими основными показателями: объективностью, естественной генерализацией, обзорностью, детальностью и разрешающими характеристиками.

**Объективность** обеспечивает достоверность отображения природных объектов в сравнении с топокартами в виде их образов в пределах параметров съёмочной аппаратуры на момент съёмки за счет передачи геометрического подобия геологических объектов через спектральные характеристики и их сравнительную контрастность.

**Генерализация** определяет степень интеграции спектральных и геометрических характеристик ландшафта и зависит в основном от разрешающей способности съемочной техники и условий съемки и воспроизводства снимков. Б. В. Виноградов выделяет спектральную, геометрическую и тематическую генерализации /5/.

**Спектральная генерализация** определяется изменением интенсивности, осреднением отражения и собственного излучения в пределах спектральных интервалов. Она связана с двумя группами факторов: влиянием передаточной функции атмосферы и интеграцией разнородных по отражательным и излучательным показателям элементов ландшафта в пределах пространственного разрешения съемочной аппаратуры.

**Геометрическая генерализация** обусловлена фильтрацией элементов ландшафта в пределах пространственного разрешения аппаратуры, являющейся основным критерием геометрической генерализации. Она определяет объединение дискретных ландшафтных признаков в виде единого структурного образа изучаемых геологических объектов посредством интеграции их индивидуальных особенностей.

**Тематическая генерализация** носит субъективный характер и имеет место при составлении спецкарт, определяя порядок выделяемых в ландшафте структур для каждого масштаба с учетом качественной обработки снимков.

**Обзорность** обусловлена в первую очередь площадью снимаемой территории в единых условиях. Она зависит от масштаба, размера кадра и позволяет одновременно наблюдать разнопорядковые структуры и разрывные нарушения в их пространственной взаимосвязи. Обзорность снимков связана с масштабом изображения, снятой площадью, размером кадра и возможностями человеческого зрения. Фактически она определяется полосой захвата

**Детальность** определяется возможностью аппаратуры при определенных условиях съемки воспроизводить и различать на снимках минимальные элементы ландшафта, распределение которых по его полю имеет дискретный характер. Детальность космоснимков зависит также от фильтрационных свойств атмосферы.

**Разрешающая способность** определяет возможность выявлять конкретные по размерности количественные спектральные и геометрические признаки изучаемых геологических объектов, обуславливающих ранг выделяемых структур. Именно этот показатель в наибольшей степени влияет на информативность аэрокосмических съемок, наряду с природными, метеорологическими и техническими условиями их проведения.

**Разрешение на местности** равно наименьшим размерам воспроизводимых на снимке объектов. Оно прямо влияет на объем получаемой на снимке информации и такой важный показатель как её плотность, обеспечивая детальность, объективность и генерализацию изображений.

Исходя из этого, целесообразно подразделять снимки по разрешению на местности, так как этим определяется размерность выявляемых на них структур. Деление снимков на четыре группы позволяет охватить основной диапазон структур, изучаемых в нефтегазовой геологии: I (<10 м), II (10-100 м), III (100-1000 м) и IV (>1000 м).

Высотное среднее стереоскопическое разрешение на космических снимках, полученных с высот 200 и более километров, составляет в среднем от первых до десятков метров. Стереоскопические изображения с космических носителей получаются со спутников «Spot», «ERS» и «Envisat» и др. С переходом к высокоразрешающим космическим и высотным аэроснимкам эта величина уменьшается до метра и менее. Поскольку подавляющее большинство структур характеризуется микро- и малоамплитудным проявлением в высотном поле рельефа, возможности их выявления путем стереоскопического изучения снимков имеют существенные ограничения, тем более что не для всех видов снимков можно получать стереопары. С целью оценки высотного поля рельефа строятся цифровые модели рельефа. Для этого могут быть использованы данные многих спутников, имеющих разное разрешение.

Таким образом, на снимках и производных от них материалах ландшафт в целом, его компоненты и элементы отображаются с высокой степенью детальности и достоверности, а наличие изображений разных уровней генерализации и обзорности обеспечивает

возможность восприятия и распознавания изучаемых объектов разного ранга в их взаимосвязи и соподчиненности. Этим обеспечивается высокая структурная информативность снимков по сравнению с одномасштабными тектоническими и структурными картами. Кроме того, ценность первых заключается в возможности мониторинга изучаемых площадей, то есть в оценке динамики геологических микропроцессов на рассматриваемых объектах.

Материалы аэрокосмических съемок по технике регистрации излучения традиционно делятся на две условные группы: фотографические и нефотографические, разделяясь и по диапазону регистрируемого электромагнитного излучения.

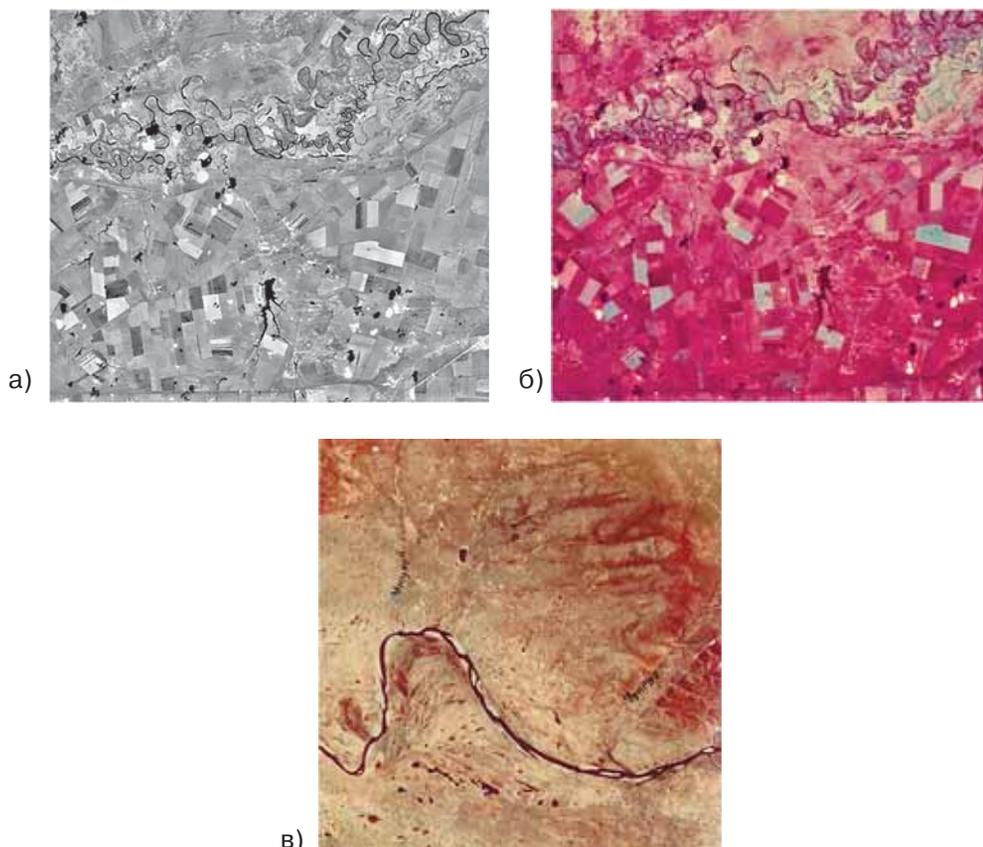
### 1.2.2. Аэро- и космические съемки

Аэро- и космическая техника позволяет проводить съемки в двух основных вариантах: широком – как традиционные съемки в одном диапазоне, так и в узких диапазонах спектра – многозональные или многоканальные и гиперспектральные съемки (табл. 1.1).

В настоящее время с аэро- и космических носителей аппаратуры производятся следующие виды съемок:

- в видимой и ближней инфракрасной зоне;
- средней и дальней инфракрасной зонах, производимые одновременно многоканальной техникой, и называемые много- и гиперспектральными в зависимости от количества каналов;
- радиолокационные в СВЧ-диапазоне, подразделяемые на активные и пассивные;
- лазерные.

В начале использовались черно-белые снимки, а затем цветные и спектрзональные, получаемые с помощью фотографической техники. Последние применялись с целью увеличения объема информации (рис. 1.2). Глаз человека способен различать до 150-180 цветных оттенков, что делает эти снимки количественно более информативными чем черно-белые.



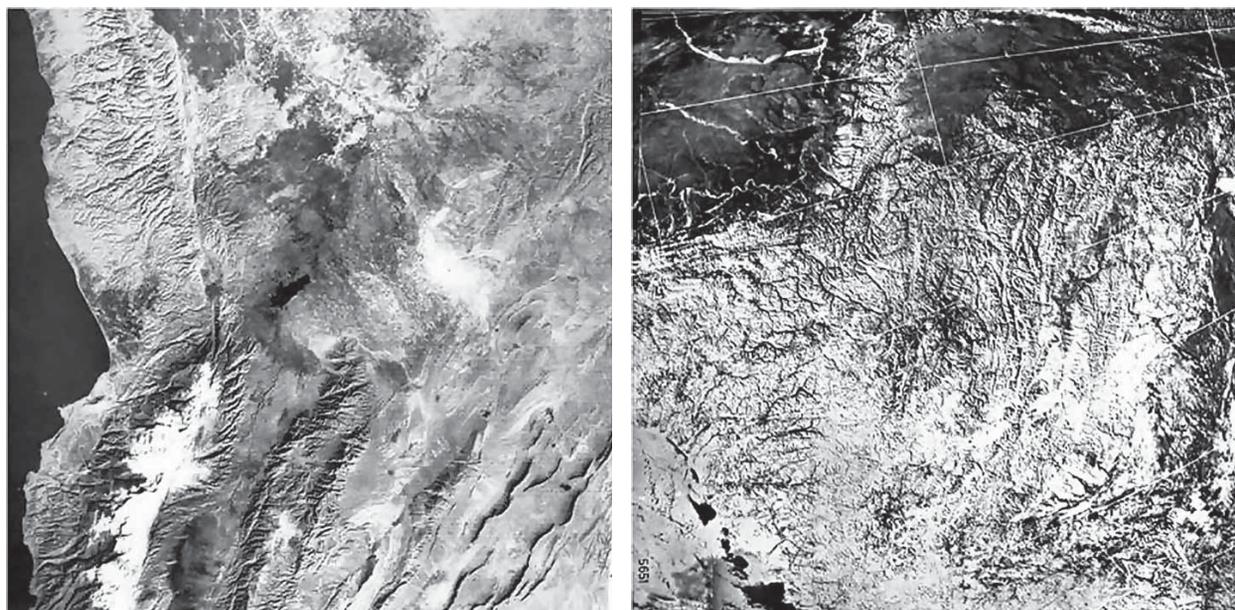
**Рис. 1.2. Космические фотоснимки:**  
а) черно-белый космический фотоснимок; б) спектрзональный снимок;  
в) цветной фотоснимок

Возможности распознавания, выделения, контрастирования и оконтуривания изучаемых объектов обеспечивались при этом виде съемки за счет комбинаций пленка-свето-фильтр.

### 1.2.2.1. Многоканальная оптико-электронная съемка

Оптико-электронные съемки проводятся с помощью специализированных электронных и оптико-механических систем сканерной и оптико-электронной с зарядовой связью – ПЗС. Их формирование осуществляется в виде центральной проекции. Пространственное разрешение или пиксель-размер различается у разных систем, так же, как и масштабы снимков, в зависимости от применения в аэро- или космическом вариантах.

**Сканерная (оптико-механическая) съемка** получила развитие с целью регистрации по сравнению с фотографической и видиконной аппаратурой более широкого диапазона спектра: от ультрафиолетовой его части до инфракрасной с получением цифровой записи изображений (рис. 1.3).



а)

б)

**Рис. 1.3. Космические снимки, полученные сканерной аппаратурой:**  
а – со спутника «Landsat»; б – со спутника «Метеор»

Её принцип основан на приеме излучения оптической системой сканера, которая формируется с помощью качающегося зеркала, передающего сигналы на детекторы. Они преобразуют регистрируемую радиацию в электрический сигнал, который записывается на магнитный носитель в цифровом виде. В многоканальной сканирующей системе регистрация осуществляется по всем зонам с одновременной записью на многополосную магнитную ленту. Подобная аппаратура, фиксирующая величину потока радиации, носит название сканирующих радиометров.

С целью расширения поля зрения сканеров используется зеркало, перемещающееся относительно своей оси, так что происходит построчное поперечное измерение излучения. Формирование двумерного изображения осуществляется за счет движения носителя аппаратуры. При этом частота колебаний зеркала синхронизируется со скоростью полета.

Элемент разрешения изображения отвечает размеру отраженной зеркалом площади в момент съемки и зависит от углового разрешения и высоты съемки. Поступивший с зеркала на детектор сигнал отражает мгновенное поле зрения. Каждая полоса сканирования разбивается на элементы изображения или пиксели, соответствующие размерам площади на Земле. Строки сканирования, осуществляемые без пропусков, формируют растровое изображение.

Излучение от сканирующего зеркала пропускается через фильтры для его разделения на спектральные зоны, имеющие различное спектральное разрешение. Электрический сигнал с детектора калибруется и сбрасывается на Землю по радиоканалам или записывается на бортовой магнитофон. Принимаемые наземной станцией данные регистрируются на магнитную ленту с высоким спектральным разрешением. Затем проводятся все виды коррекций и осуществляется запись (до 256 градаций) в числовом коде на компьютерносовместимую ленту.

Основными преимуществами сканерных снимков являются оперативность поступления на Землю, относительно высокое пространственное разрешение, широкий диапазон спектра и получение изображений в многозональном варианте. Негативной стороной является дискретность получения отдельных частей снимков, объединяемых в целое изображение с помощью технических устройств, и пониженная долговечность и надежность механической системы.

**Съемка приемниками зарядовой связи.** Приемник зарядовой связи характеризуется большим количеством детекторов, образующих линейки, располагающиеся поперек траектории полета, на которые фокусируется излучение через оптическую систему. Оптико-электронный сканер, таким образом, лишен механически движущихся частей и обеспечивает регистрацию максимального энергетического сигнала. В каждом датчике возбуждается электрический заряд, пропорциональный яркости излучения, получаемый с одного элемента разрешения наземной поверхности. Этот заряд соответствует аналоговым сигналам, суммирующимся за небольшой промежуток времени, что обеспечивает широту элемента разрешения на местности. Линейность расположения датчиков позволяет получать изображения с высокой геометрической точностью поперек направления полета. Определенный интервал времени включения детекторов дает возможность производить непрерывный переход от одной полосы сканирования к другой. Взаимосвязь соседних линеек датчиков, предназначенных для регистрации излучения в разных зонах спектра, обеспечивает точную регистрацию многозональной информации и корреляцию данных по зонам (рис. 1.4).



**Рис. 1.4. Космический снимок, полученный приемником зарядовой связи (ПЗС) по программе «Шаттл» /1/**

Электрические сигналы считываются сериями, преобразуются в цифровую форму и записываются на магнитную ленту с высокой плотностью записи, обеспечивающей изображение хорошего качества. Для получения изображения без пропусков скорость сканирования должна соответствовать скорости перемещения носителя аппаратуры. Пространственное разрешение на местности у этого типа сканера относительно высокое и составляет около 10 метров. Они используются на многофункциональных спутниках «Spot», «JRS», «Alos» и др.

Например, две сканерные системы на спутнике «Spot» функционируют в одно- и многозональном вариантах, давая возможность получать стереоскопические изображения при съемке с соседних орбит с разрешением 20 метров. В многозональном сканере используется зеркало для расширения полосы захвата, которая может быть получена съемкой двумя камерами соседних участков. При 26 дневном цикле обращения спутника обеспечивается периодичность съемок за этот период времени вблизи экватора 7 раз и на широте  $45^\circ$  – 11 раз. Высокая картографическая и фотометрическая точность получается за счет проведения следующих видов коррекций: радиометрической, компенсации оптической и телеметрической систем и геометрической (за счет отклонения направления и угла съемки, колебаний спутника, вращения и кривизны Земли).

Съемка с помощью данной техники обеспечивает, помимо вышеотмеченных положительных качеств изображений, высокое пространственное разрешение, соответственно крупный масштаб снимков, а также получение материалов в широком диапазоне электромагнитного спектра.

Таким образом, снимки, полученные сканерными системами и приемниками зарядовой связи, имеют следующие преимущества: оперативность сброса видеоинформации по радиоканалам, возможность её регистрации в цифровой форме с целью дальнейших преобразований и автоматизированной обработки на ЭВМ, удобства хранения, воспроизводства изображений и их совмещения.

### *1.2.2.2. Спектрометрическая съемка*

Спектрометрическая съемка предназначена для изучения спектров излучения природных объектов и использовалась в наземном, аэро- и космическом в вариантах для изучения промежуточной функции атмосферы. Она проводится в ультрафиолетовой, видимой, инфракрасной и микроволновой частях электромагнитного спектра. Сущность съемки заключается в измерении коэффициентов спектральной яркости природных образований относительно эталона. Яркость объектов зависит от его свойств, условий освещения и съемки [15, 16].

Излучение, проходя через объектив, разлагается оптической системой по диапазонам спектра, затем волны разной длины воспринимаются электронными приемниками. Приемник излучения выполняется в виде линейки, состоящей из детекторов, чувствительных к разным зонам спектра. Они выдают информацию на счетное устройство, которое регистрирует коэффициент спектральной яркости, являющийся отношением яркости изучаемого объекта к эталону.

Разница между наземным, аэро- и космическим спектрометрированием заключается в размере спектрометрирующей площадки. Для аэросъемок она составляет десятки квадратных метров, а для космосъемок – квадратные километры.

Переход дистанционных исследований от качественного этапа к измерительному определяет значимость спектрометрической съемки для распознавания земных ландшафтов, выбора информативных диапазонов и их комплексирования. Однако самостоятельного поискового значения спектрометрическая съемка до появления видеоспектрометров не имела. Она предназначалась в основном для получения количественных характеристик спектров природных образований в различных зонах, на основе которых осуществлялся выбор наиболее информативных диапазонов для дистанционного зондирования.

С появлением в середине 80-х годов многоканальных видеоспектрометров диапазон их практического применения существенно расширяется в связи с повышением чувствительности этих приборов. Эта аппаратура, используемая на аэро- и космических носителях,

обеспечивает решение специальных вопросов от глобального характера до локальных задач. В качестве последней представляет наибольший интерес регистрация и локализация тонких спектральных эффектов, порождаемых мигрирующими к поверхности углеводородами, и определяющих изменение окраски почв и растительности.

Использование видеоспектрометров открывает широкие возможности для регистрации на земной поверхности геоботанических, геохимических и гидрогеологических аномалий, структурных и вещественных неоднородностей, связанных с залежами нефти и газа.

### **1.2.3. Съёмки вне видимого диапазона спектра**

Аэровысотные и космические съёмки в инфракрасном, радио- и ультрафиолетовом диапазонах проводились частично по заявкам потребителей в пределах аэрокосмических полигонов, тестовых участков, отдельных территорий и для реализации программ специальных исследований.

Общетеоретически информативность этих видов съёмок дает возможность выявлять тепловые, геохимические, геоботанические и гидрогеологические аномалии, а также обуславливающие их процессы и явления геологического характера. Через эти взаимосвязи в процессе интерпретации прогнозируются ловушки углеводородов и их возможная нефтегазоносность.

#### **1.2.3.1. Инфракрасная тепловая съёмка (ИК)**

Она проводится одновременно со съёмкой в других диапазонах многоканальной или специальной аппаратурой и отражает в виде снимка или в цифровой форме собственное и отражённое тепловое излучение земной поверхности. Инфракрасная съёмка проводится в основном в трех диапазонах: ближнем (0,76-1,1 мкм), среднем (1,4-3,0 мкм) и дальнем (3,0-12,5 мкм), которые могут разделяться на более дробные подразделения ИК-спектра (табл. 1.2). Регистрация инфракрасного излучения производится с помощью сканирующих радиометров, преобразующих невидимое излучение в видимое, либо в сигнал. Радиометры имеют в своей системе калибровочное устройство или эталон, отвечающий температуре абсолютно черного тела. Величина и спектральное распределение теплового излучения земной поверхности зависят в основном от температуры тел и их излучающей способности /1, 6-9/.

Температурное разрешение радиометров колеблется от десятых долей до одного градуса. В результате преобразования сигналов детекторов в изображения получают карты радиационных температур, находящие широкое применение.

Информативность инфракрасной съёмки определяется техническими параметрами и природными условиями снимаемой территории. Технические условия включают: длину волны, характеристику радиометра (пространственное и температурное разрешения) и высоту носителя аппаратуры, а природные – поглощающую способность и излучательные свойства земной поверхности, рассеивание атмосферой теплового излучения эндогенных источников тепла, тепловую инерцию, теплоемкость поверхностных и близ поверхностных пород, экспозицию форм рельефа, степень увлажненности, наличие растительного покрова, глубинный тепловой поток, его интенсивность и др. С целью разделения внешнего и внутреннего теплового излучения съёмку проводят в дневные и ночные часы либо с более дробным интервалом. В связи с резкими изменениями температуры земной поверхности, зависящими от многих причин, важнейшими вопросами применения этого вида съёмки являются наземный контроль и корректировка исходных данных.

Диапазон применения инфракрасной съёмки определяется в первую очередь температурным и пространственным разрешениями. ИК съёмка характеризуется несколькими диапазонами, относительно мелкими масштабами и невысоким пространственным разрешением при относительно высоком температурном разрешении (0,2-0,4°C). В США в 1987 году для измерения температур больших территорий был запущен специальный спутник NSMM по программе картирования теплового потока (Heat Capacity Mapping Mission). Для измерения временных и пространственных контрастов температур съёмка

проводится дважды в сутки: в 13 часов 30 минут и 2 часа 30 минут по местному времени. Эти часы позволяют регистрировать временные и пространственные температурные контрасты поверхностных образований.

**Таблица 1.2**  
**Технические характеристики аппаратуры, установленной на некоторых зарубежных и спутниках, для съемок в инфракрасном диапазоне**

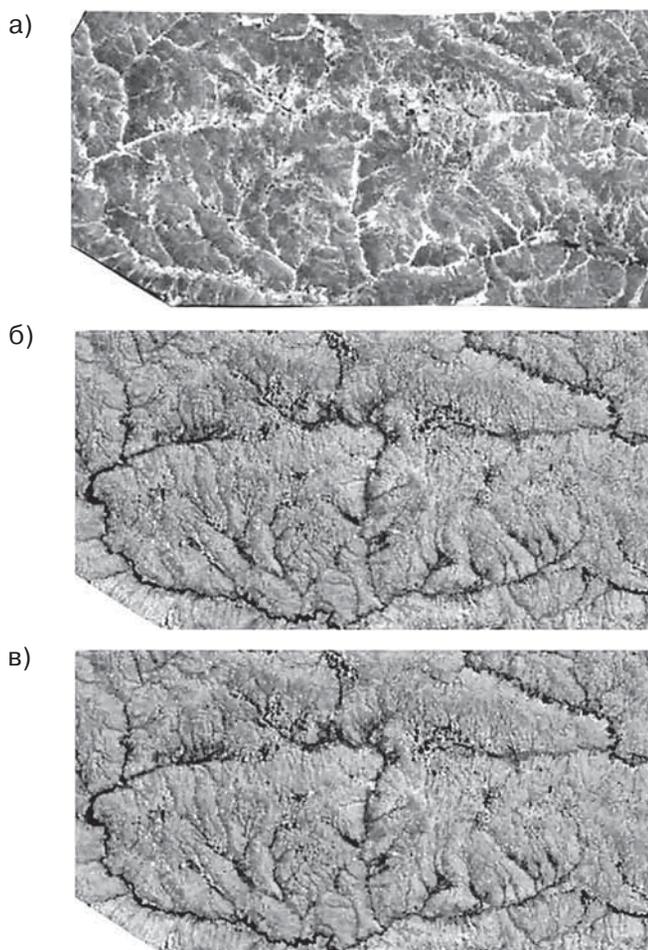
Название спутника, страна-изготовитель	Спектральные диапазоны, (мкм)	Полоса захвата, (км)	Пространственное разрешение, (метры)
Landsat-7 США	видимый 0,78-0,9 1,55-1,75 2,09-2,35 10,4-12,5	185	60
Terra ASTER США	видимый 1,6-2,5 8-12	60 9	15-90
Modis США	видимый 1,23-1,25 1,63-1,65 2,10-2,15 0,40-14,38	2300	90
MOS-1 Япония	0,8-1,1 1,5-10,5 11,5-12,5	1500	50
JERS-1 Япония	1,6-1,71 2,01-2,12 2,13-2,25 2,27-2,40	75	18-24
Gbers-1 Китай, Бразилия	10,4-12,5	120	160

Ряд многофункциональных спутников, предназначенных для комплексного изучения природных ресурсов («Landsat», «Spot» и др.) и проводящих многозональные съемки, имеют каналы для съемок в ИК-диапазоне. Они обеспечивают относительно высокое пространственное и тепловое разрешения, соответственно порядка десятков метров и 0,2-0,5°С (рис. 1.5, 1.6).

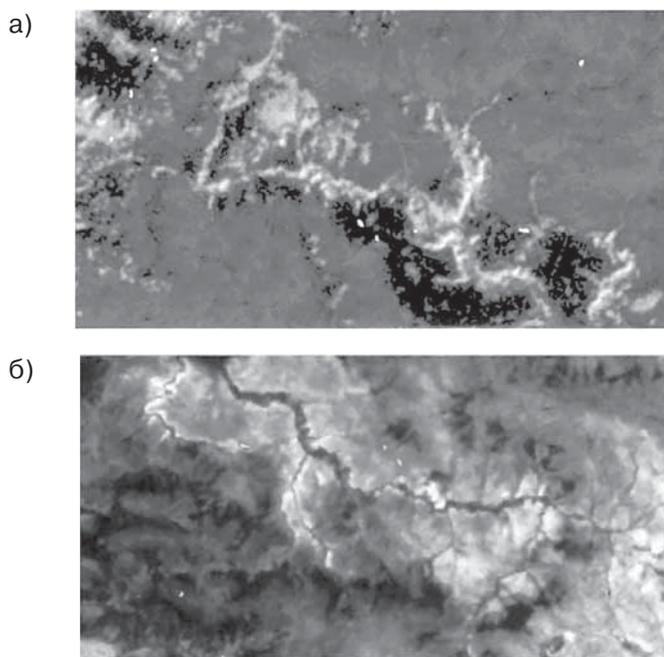
На их основе составляются средне- и крупномасштабные карты. ИК-съемки в самолетном варианте позволяют получать карты и снимки практически в любом среднем и крупном масштабах при высоком пространственном и тепловом разрешении.

Инфракрасная съемка из космоса используется при изучении нефтяных и газовых месторождений, подземных вод и геологических объектов с контрастной теплопроводностью. Картирование термально контрастных поверхностных образований позволяет решать следующие задачи:

- тектонические задачи;
- выявление через их обводненность зон трещиноватости и разломов, разделяемых ими блоков, складок и др.;
- литологические – через оценку различия теплоемкости пород;
- гидрогеологические – с помощью фиксирования областей питания, разгрузки грунтовых вод и дренажа. Возможность более широкого практического использования тепловой съемки в значительной степени сдерживается относительно низким уровнем теоретических разработок и возможностей геологической интерпретации в изменяющихся метеорологических условиях.



**Рис. 1.5. Космические снимки, полученные со спутника «Landsat» в инфракрасном диапазоне спектра:  
а – ближнем; б – среднем; в – дальнем**



**Рис. 1.6. Разносезонные космические снимки в дальнем инфракрасном диапазоне:  
а – весна; б – лето**

### 1.2.3.2. Съёмки в радиодиапазоне

Съёмка в радиодиапазоне (РЛ) проводится в 2 модификациях: пассивной и активной (табл. 1.3). Пассивная или радиотепловая съёмка иногда называется микроволновой.

**Радиотепловая съёмка** в микроволновом СВЧ-диапазоне от 0,3 до 10 см регистрирует собственное излучение с поверхности Земли и атмосферы, преобразуя его в снимок /10-14/.

Регистрируемая радиометрами яркостная температура фиксируется с очень высокой чувствительностью (до десятых долей градуса) и отражает интенсивность излучения. Съёмка проводится с аэро- и космических носителей и требует точной наземной привязки. Пространственное и тепловое разрешения СВЧ-радиометров в космическом варианте соответственно равны от сотен метров до 2-3 км и 0,4-3°. Помехами являются: коротковолновое излучение, фазовые переходы в грунтах, растительный покров, осадки и ветер.

Таблица 1.3

#### Технические характеристики аппаратуры, производящей съёмку в радиодиапазонах

Спутник, страна-производитель	Диапазоны, (см)	Максимальное пространственное разрешение, (м)	Полоса захвата, (км)
Alos Palsar Япония	2,35	7	30
Radarsat Канада	5,2 – 7,1 2,7 – 5,2	3	50 – 500
TerraSAR-X Германия	2,7 – 5,2	1	5 – 10
Cosmo-Skymed Италия	2,7 – 5,2	1	10
Kompsat Корея	2,7 – 5,2	3	16

Технические условия съёмки определяются положением луча или угла наблюдения относительно поверхности снимаемого объекта, длиной волны и поляризацией, а природные – шероховатостью и диэлектрическими свойствами поверхности, температурой и ее распределением по площади. Мощность излучаемого слоя зависит от длины волны и диэлектрических свойств грунтов или пород. Влажные породы характеризуются небольшим (в несколько сантиметров) излучающим слоем, а у сухих пород этот слой может достигать 1 и более метров. При регистрации излучения (в связи с техническими данными радиометров) фиксируется только его часть, поляризованная в плоскости, перпендикулярной ориентировке луча.

Применяемая при радиотепловой съёмке аппаратура позволяет проводить одномерные измерения вдоль профилей и получать двумерные изображения (рис. 1.7).

Возможность разделения природных объектов с аэро- или космических носителей по тепловым неоднородностям в радиодиапазоне зависит от температуры тела и коэффициента их излучения. Он меняется в широких пределах в зависимости от физических свойств излучающих тел. При изменении влажности, солёности и других параметров, влияющих на электромагнитное поле, а также вариациях состава пород на земной поверхности происходит изменение коэффициента излучения. В наибольшей степени он зависит от содержания воды в приповерхностных отложениях, так как её отражательная способность существенно больше, чем излучательная. Исходя из этого, данный вид съёмки используется в качестве влагомера почв и находит применение в инженерной геологии.



Рис. 1.7, а. Космический снимок Дальнего Востока в СВЧ-диапазоне, полученный методом пассивной локации

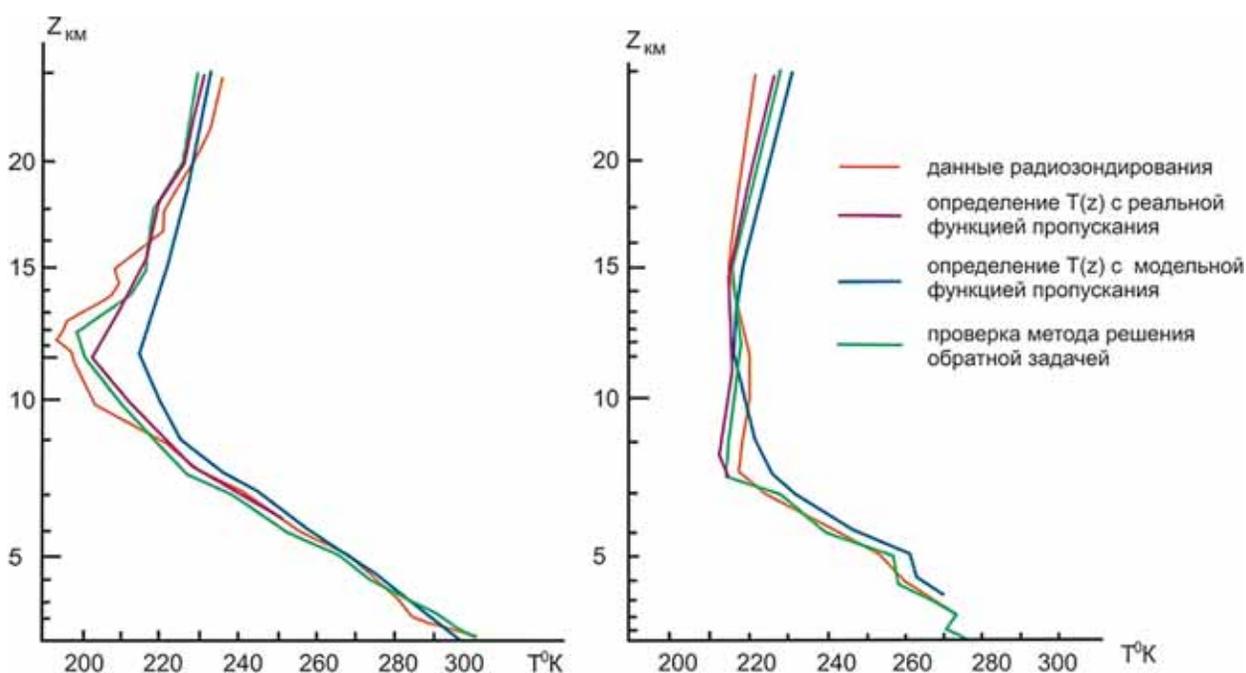
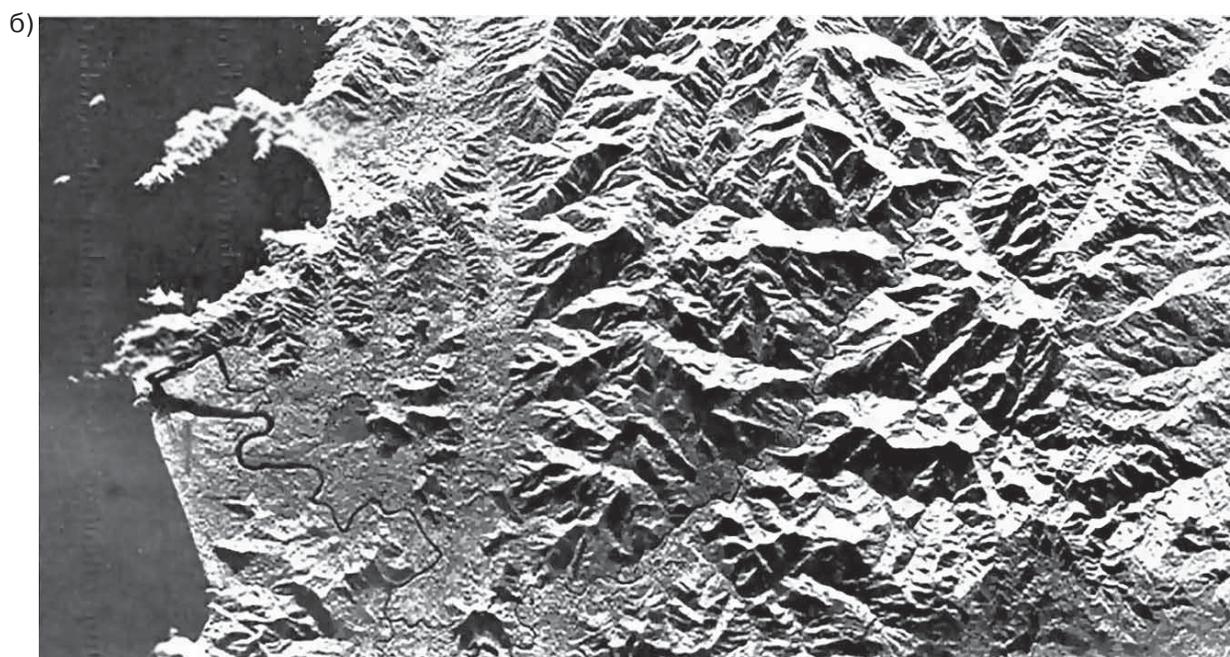
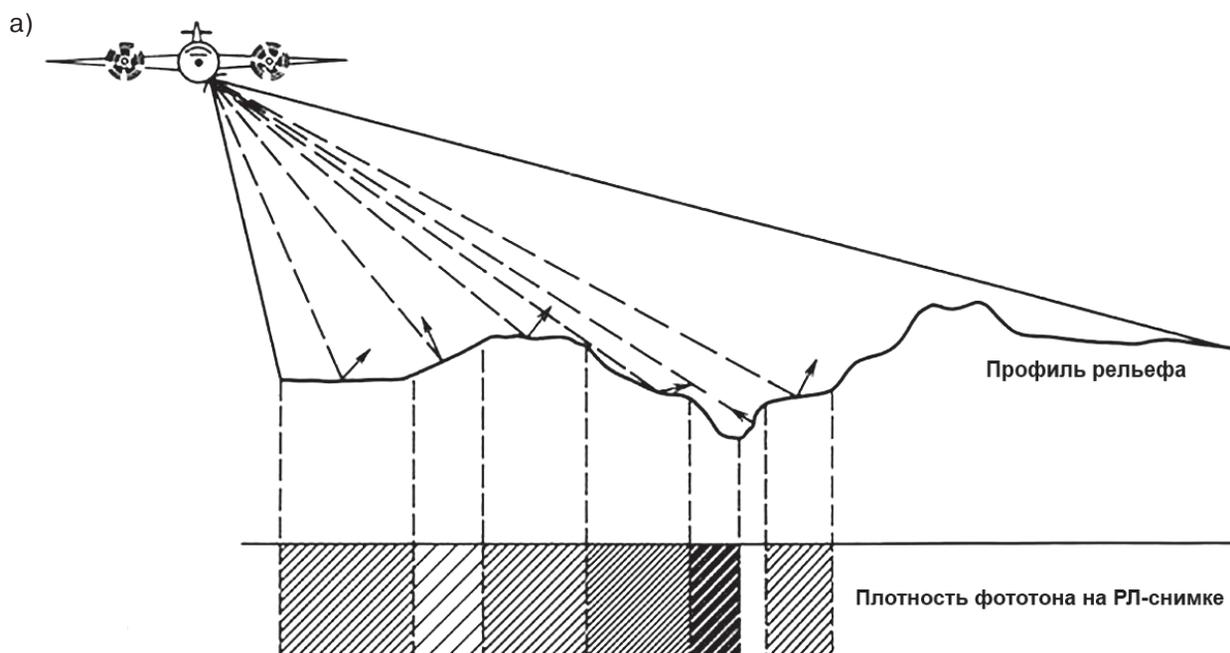


Рис. 1.7, б. Примеры определения профилей температуры по измерениям спектров излучения над различными географическими районами

**Радиолокационная съемка (РЛ).** Радиолокационная активная съемка проводится с авиационных и космических носителей с помощью двух съемочных систем с реальной и синтезированной апертурой. В связи с основной возможностью радиолокаторов определять расстояние и местонахождение изучаемых объектов, они используются с 70 -х годов для получения изображений рельефа земной поверхности. Однако специфика применяемой аппаратуры – радиолокаторов бокового обзора (РЛСБО) – определяет особенности геометрии получаемых снимков. Она заключается в зондировании с самолета или со спутника с помощью антенны, установленной вдоль продольной оси носителя. Излучение ориентировано перпендикулярно направлению полета (рис. 1.8).

В настоящее время радиолокационная съемка проводится в 10 диапазонах, называемых P, L, S, X, K, Ku, Ka, Q, V, W. Отраженное земной поверхностью излучение принимается антенной, преобразуется в видеосигналы и записывается на магнитную ленту. Интенсивность сигнала зависит от структуры земной поверхности и её вещественного состава, определяется длиной волны, углом ее падения и поляризацией, передаваясь через тоновые градации изображения /15/.

При геологических исследованиях применяются две радиолокационные системы, основанные на использовании некогерентных (SLAR) и когерентных (SAR) систем, соответственно различающиеся характеристикой антенн (табл. 1.3). Первые обеспечивают получение изображений с относительно невысоким пространственным разрешением, а вторые – с более высокими показателями, но требуют сложной обработки данных. Результаты съемок представляются в виде монтажа полос изображений, получаемых вдоль маршрутов полета. Качество изображения зависит от длины волны, поляризации, угла падения луча и ориентировки залета относительно рельефа земной поверхности, отражающего структуру изучаемой территории (рис. 1.8).



**Рис. 1.8. Зависимость фототона радиолокационного снимка от положения форм рельефа к излучению:**  
 а – взаимодействие излучения и форм рельефа;  
 б – радиолокационный снимок /1/

Эти данные могут определяться заказчиком с целью получения наиболее информативных карт при аэросъемках. Они корректируются для исправления масштабных искажений, вызванных особенностями получения изображений.

Радиолокационная съемка проводится в нескольких диапазонах (табл. 1.3). Однако в настоящее время создаются и многозональные радары. Длина волны определяет проникающую способность, которая возрастает с её увеличением.

Поляризация – это направление колебаний импульсов, излучаемых антенной. Сигнал может быть вертикально (В) или горизонтально (Г) поляризованным. Отражаясь от земной поверхности, часть излучения не изменяет свою поляризацию (ГГ или ВВ). Часть сигналов деполаризуется, особенно на участках с хорошо развитым растительным покровом.

Это особенно свойственно для коротко- и средневолновой зон радиоизлучения, что ведет к регистрации поперечно поляризованных сигналов (ГВ или ВГ). Оценка информативности изображений однородно- и неоднороднополяризованных излучений показывает, что первые обеспечивают получение новых данных в областях развития растительного покрова за счет большей контрастности, а вторые дают более широкий диапазон градаций.

Угол падения луча тесно связан с расчлененностью рельефа и ориентировкой его форм по отношению направления излучения (рис. 1.8). Когда поверхность рельефа обращена к антенне, то большая часть мощности падающих лучей отразится и обеспечит его изображение. Если излучение падает перпендикулярно рельефу, то коэффициент отражения максимален. Соответственно наклону и ориентировке по направлению к антенне склоны, обращенные к траектории полета, выглядят светлыми, а наклоненные от антенны отражают меньше энергии и выглядят серыми или темными. Площади, наклоненные от антенны под углами большими, чем угол падения, дают радиотень. Размер радиотени зависит от высоты полета, высоты объекта, соотношений между углом визирования и расстоянием от облучаемого участка местности до траектории полета. Длина радиотеней увеличивается по мере удаления от траектории полета.

При полого падающем луче отражаются все литологически и структурно обусловленные микроформы рельефа, особенно если они ориентированы параллельно траектории и перпендикулярно излучению. Формы рельефа, параллельные траектории, подчеркиваются, а перпендикулярные – подавляются. Это необходимо учитывать при монтаже изображений. Поэтому иногда на радиолокационных снимках есть то, чего не видно в видимом диапазоне. Съемка в оптимальных условиях должна проводиться параллельно простиранию форм рельефа, но для увязки целесообразно провести залеты и вкрест простирания. Это одно из основных преимуществ радиолокационных снимков перед другими снимками, для которых все зависит от освещенности местности.

При съемке радиолокатором бокового обзора производимые генератором импульсы и преобразуемые в высокочастотные сигналы излучаются антенной перпендикулярно траектории полета. Возвращенный сигнал принимается антенной, усиливается в приемнике и преобразуется в видеосигнал. На некорректированном РЛ-снимке масштаб изображения увеличивается перпендикулярно направлению полета, то есть, вблизи антенны сжимается, а на другом конце расширяется.

Используется также горизонтальный вид развертки изображения, при котором различия во времени пробега компенсируются корректирующими поправками, а получаемый снимок ближе к картографической проекции. Пространственное разрешение различно в направлениях излучения и полета. Размер облучаемой площади, поперечной к направлению полета, определяется длительностью импульса излучения, а в направлении полета – шириной радиолуча.

Радиолокатор с синтезированной апертурой создавался с целью увеличения разрешения и улучшения геометрических свойств изображений. Отличие от локатора бокового обзора заключается в лепестковой антенне, дающей широкий фронт излучения, в котором носитель аппаратуры получает непрерывно сигналы с разных позиций. Поступающий в приемник радиолуч изменяет свою частоту и фазу. Частота, амплитуда и фазовая характеристика за то время, что объект облучается, накапливаются в электронном устройстве.

Сигналы записываются на пленку или на магнитную ленту, а затем на Земле трансформируются в изображение. То есть, длиной антенны служит ширина облучаемой площади, которая в таком виде шире, чем антенна. Преобразование первичных данных в РЛ-снимок осуществляется в случае оптической записи с помощью когерентных оптических процессов, а в случае магнитной – с помощью ЭВМ и устройства воспроизведения изображений.

Разрешение на местности составляет приблизительно половину физической длины антенны, а в поперечном сечении зависит от длительности импульса. В настоящее время для некоторых систем оно достигает первых метров.

Наибольшие искажения за счет рельефа свойственны для горных районов, где имеют место разные длины склонов при изменении угла визирования. Геометрические искажения сильно зависят от соотношений между углом склона и углом визирования радиолуча. Эти ошибки трудно корректировать. Для получения масштабированных снимков проводится геометрическая коррекция.

Чтобы избежать геометрических искажений, необходимо точно выдерживать линию маршрута, высоту и скорость полета. Результирующие снимки монтируются из полос. Качественнее изображения даже не средней, а дальней зоны, потому что на них меньше искажений. Отбираются полосы параллельных залетов с одинаковым направлением визирования, чтобы радиотени имели одинаковую направленность. Средняя ошибка плановой привязки РЛ-изображений при съемке из космоса колеблется от первых до десятка метров.

Разработан вариант радиолокационной стереосъемки, дающий значительный прирост новой информации. Для получения стереомодели обеспечивается получение взаимного перекрытия полос при одном угле визирования и угле раствора радиолуча. Производятся два параллельных залета или съемка с разных высот /15/.

Основные преимущества РЛ-съемки перед другими видами заключаются в ее независимости от метео- и временных условий, получении детальных характеристик строения рельефа земной поверхности, несущего информацию о структуре изучаемой площади, ее литоморфном субстрате и тектонических движениях за современный этап. Негативной стороной снимков является их искаженность за счет специфики формирования радиолокационных изображений, которая частично устраняется в процессе их обработки.

Новый этап развития радиолокационных съемок начался с разработки метода радиолокационной интерферометрии, базирующегося на данных, получаемых со спутников с синтезированной апертурой /16/. Он используется для высокоточного картирования или построения трехмерных карт рельефа земной поверхности (с точностью до первых сантиметров), обеспечивает получение цифровых моделей рельефа и позволяет осуществлять мониторинг горизонтальных и вертикальных движений, соизмеримых с наземными геодезическими измерениями. Эти данные представляют большой интерес как для геологических исследований, так и для нефтегазовой геологии, так как позволяют перейти от статичной характеристики изучаемых объектов к их динамике на современном этапе /17/.

### *1.2.3.3. Лазерная съемка*

Лидар представляет собой прибор активного зондирования, в котором используется лазер в диапазоне от ультрафиолетовой до инфракрасной части электромагнитного спектра. Он применяется только в безоблачных условиях, так как в атмосфере происходит поглощение коротковолнового излучения. В настоящее время применяются в основном два типа лидаров: спектроскопы и высотомеры /18-20/.

Лидары для спектроскопирования используются с целью анализа содержания спектра элементов в воздухе. Высотомеры, называемые скаттерометрами, предназначены для измерения расстояния от носителя аппаратуры до земной поверхности. В США используется система аэропрофилирования (ARTS). Точность на местности обеспечивается  $\pm 3$  см (со спутника  $\pm 1$  м), среднеквадратичная ошибка  $\pm 2$  см на открытой местности и  $\pm 50$  см в залесенной. Точность привязки в плане  $\pm 60$  см. Инерционное устройство обеспечивает определение координат местности.

Основное положительное свойство лидарных съемок – высокая точность получаемых материалов. Большая детальность измерения превышений рельефа с координатной привязкой по сравнению с топокартами позволяет использовать эти данные для анализа проявления структурных ловушек нефти и газа в высотном поле рельефа. Достижимая высокая плотность информации является также существенным дополнением к качеству двумерных изображений.

Для сбора высокоточной информации по высотам земной поверхности и координатной привязки в США запущен геодинимический спутник «Lageos». Он предназначен для измерения скоростей и направления движения атмосферных плит и блоков земной коры.

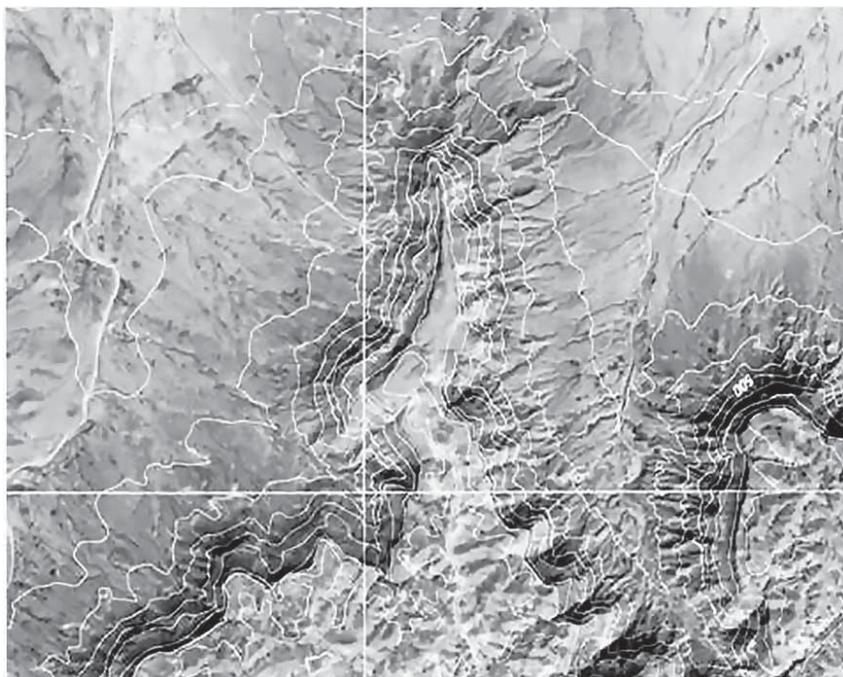
Лидарная съемка может быть использована для увязки структурных форм осадочного чехла с направлением и интенсивностью движений литосферных плит, оказывающих воздействие на напряженное состояние пород и процессы формирования и разрушения залежей нефти и газа.

#### **1.2.4. Производные материалы аэрокосмических съемок**

В качестве дополнительного материала к аэро- и космоснимкам могут быть использованы топо- и гипсометрические карты. В последние годы они составляются на основе аэро- и космоснимков. Достоинством таких топо- и гипсометрических карт являются:

- 1) отображение в системе координат таких компонентов ландшафта, как рельеф и гидрографическая сеть (отпадает необходимость топопривязки наблюдаемых объектов);
- 2) наличие информации о высотном поле рельефа (с обусловленной масштабом детальностью, измеряемой сечением изогипс и плотностью единичных высотных отметок).

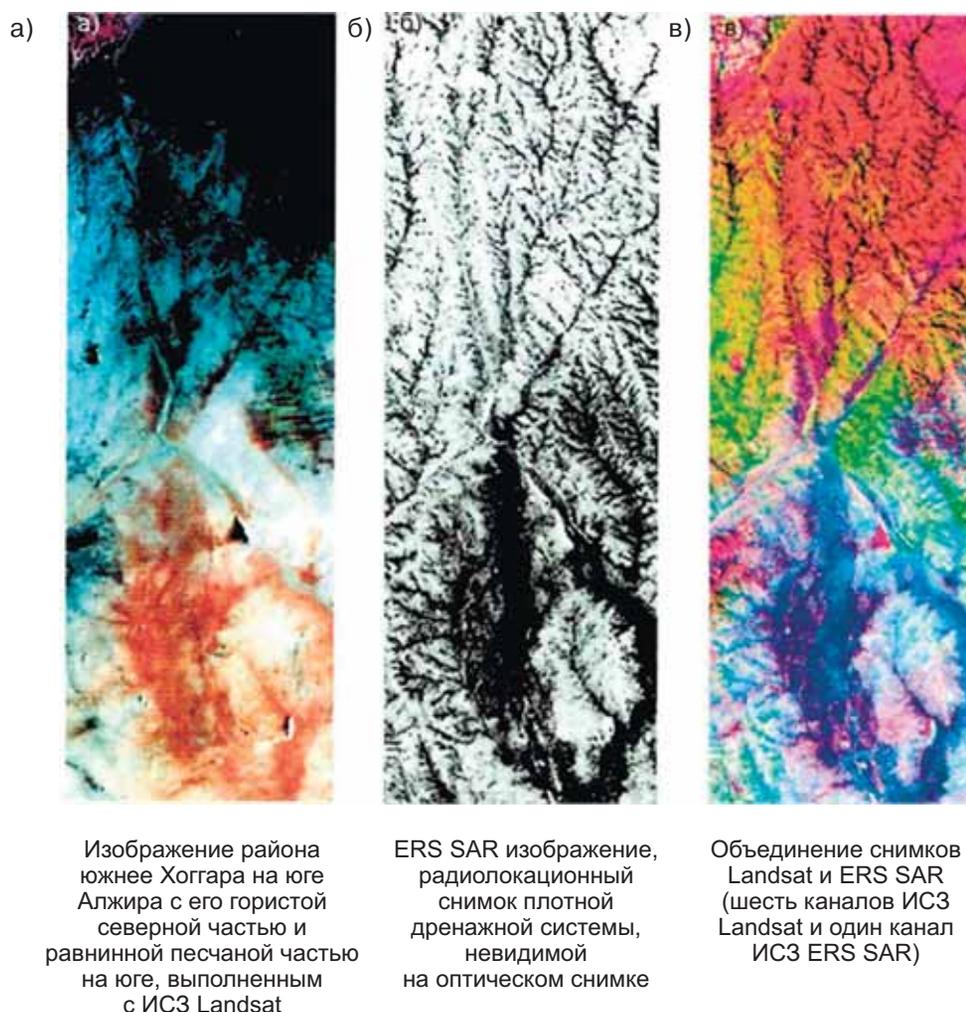
Таким образом, оба вида аэрокосмических материалов (снимки и топокарты), являясь основной исходной информацией по ландшафту и обладая различными достоинствами и недостатками, взаимно дополняют друг друга (рис. 1.9).



**Рис. 1.9. Космический снимок со спутника «Spot», совмещенный с изогипсами рельефа земной поверхности /21/**

Для детализации пространственного положения природных объектов и их высотного положения строятся цифровые модели рельефа на основе использования многозональных, радиолокационных и лидарных съемок (рис. 1.10) /15/.

Производными также являются синтезированные изображения на основе совмещения разноканальных снимков или полученных разными съемочными системами (рис. 1.10).



**Рис. 1.10. Снимки, полученные со спутников Landsat (а), ERS SAR (б), и интегрированное изображение (в) /15/**

### Краткие выводы

Появление и развитие дистанционных методов привело к созданию уникального инструмента по плотности получаемой разновременной информации, детальности, точности и оперативности изучения современного проявления микрогеологических процессов, отражающих пространственное положение скоплений углеводородов и путей их миграции. Получаемые материалы предназначены для дешифрирования или точнее распознавания геологических объектов и обеспечивают для проведения геолого-разведочных работ на нефть и газ:

- точные картографические основы с содержащейся на них спектральной информацией об отражательных свойствах природных объектов в широком диапазоне электромагнитного спектра;
- регистрацию планового положения скважин, пикетов, профилей и аномалий, установленных в разных зонах спектра и отражающих структурные, тепловые, гидрогеологические и геохимические неоднородности, отвечающие залежам нефти и газа;
- возможность получения и хранения огромных объемов интегрированной разнородной и разновременной информации на картографической основе любого масштаба;

- априорную информацию для комплексной интерпретации аэрокосмических, геологических, геофизических, геохимических и гидрогеологических данных, необходимых для проведения поисковых работ на нефть и газ;
- возможность стереоскопического изучения снимков или получение топокарт с впечатанными гипсометрическими и топографическими данными.

### **Литература к главе 1**

1. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. – М.: Изд. «Мир», 1988 г.
2. Основы методики структурно-геоморфологических исследований при нефтегазописковых работах. – М.: «Недра», 1978 г.
3. Лялько В. И., Митник М. М. Тепловая съемка. В сб. Космические методы в геологии. – М.: «Наука», 1983 г.
4. Гарбук С. В., Гершензон В. Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Изд. «А и Б», 1997 г.
5. Виноградов Б. В. Космические методы изучения природной среды. – М.: «Мысль», 1976 г.
6. Fagerlund E., Kleman B., Sellinl, Et al. Physical studies of nature by thermal mapping. Earth Science Revue, 1970.
7. Grass H. Extaction of surface temperature from satellite data. Appl. Remote Sensing. Jspra – Courses. Jspra, 1989.
8. Гранков А. А., Мишанин В. Г. Картирование температурно-влажностного режима лесных систем по данным самолетной фотосъемки, ИК-измерений, СВЧ-измерений в L-диапазоне. Исследования Земли из космоса, 1999, № 5.
9. Байков А. М. Изменчивость температурного поля на локальных объектах геологической среды. – М.: «Наука», 1992 г.
10. Ulaby F. T., Moore R. K., Fung A. K. Radar remote sensing and surface scattering and emission theory. Microwave Remote Sensing. Eng. Addison – Wesley, vol. 2, 1982.
11. Арманд Н. А., Поляков В. М., Шутко А. М. и др. Использование дистанционного СВЧ радиометрического метода для мониторинга гидрогеологического состояния почвогрунтов. В сб.: Космогеоинформатика. – М, 1989 г.
12. Dobson M. C. Diurnal and seasonal variations in microwawe dielectric constant of selected trees. "IGARSS" 88. Intern. Geos. and Remote Sens. Moving towards 21 st., vol. 3.
13. Реутов Е. Ф., Шутко А. М. Теоретические исследования СВЧ-излучения однородно увлажненных почв. Исследования Земли из космоса. 1990 г., №3.
14. Башаринов А. Е., Бутенко И. М., Реутов Е. И. и др. Применение метода сверхвысоко-частотной радиометрии для оперативного картографирования влажности почв и грунтов. В сб. Космическая съемка и тематическое картографирование. Изд. МГУ, 1979 г.
15. Spaceborn radar applications in geology. ESA, TM-17, 2005 г.
16. Захаров А. И., Яковлев О. Н., Смирнов В. К. Спутниковый мониторинг Земли. Радиолокационное зондирование поверхности. М, Красанд, 2012 г.
17. Давыдов А. В., Долгих Г. И. Физико-геологическая интерпретация лазерных интерферометрических измерений. Изв. ВУЗов, Геология и разведка, 1990 г., № 1.
18. Лялько В. И. Лидарная спектрометрическая съемка. В сб. Космическая информация в геологии. – М.: «Наука», 1983 г.
19. Бирюлин В. П., Голубев О. А., Миронов В. Д. и др. Геохимические поиски газонефтяных залежей методом дистанционной лазерной спектрометрии метана в приземном воздухе. Геология нефти и газа, 1979 г., № 4.
20. Макнелис Д. Н. Дистанционное измерение параметров окружающей среды с помощью лазеров. Труды V советско-американского симпозиума. – Л., 1988 г.
21. Rivereau J. C. Typical SPOT data and products – potential application. 1983, Proc. Remote Sensing. Alpbach, Summerschool, ESA SP., vol. 205.

## **Глава 2. КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК**

В данном разделе дается формулировка задач, решаемых с применением дистанционных методов, и приводятся сведения об используемых для этого программных продуктах.

В настоящее время обработка изображений - это отдельная область науки и практики, которая читается в американских учебных заведениях, например в университете штата Невада профессором П. Шовенгердтом /1/. Описание данной технологии приводится в специальной литературе /1-5/. Поэтому для качественного использования материалов дистанционных съемок при решении геологических задач необходим коллектив специалистов с соответствующими знаниями.

Получившие более широкое распространение во второй половине прошлого века аэро- и космическая съемки, применительно к изучению природных ресурсов Земли, прошли определенную трехстадийную эволюцию: переход от однозональных снимков к многозональным и затем гиперспектральным снимкам в узких и очень узких диапазонах спектра (от микро— к нанометрам). Несмотря на многолетнее использование различных видов аэро- и космических съемок они еще остаются недооцененными в связи с ограниченностью опытно-методических дистанционно-наземных исследований и относительно узким охватом областей, где можно было бы использовать новые методы.

### **2.1. Обзор методов обработки материалов аэро- и космических съемок**

Отрасль обработки дистанционных материалов возникла в 1972 году, когда был запущен американский спутник «Landsat», осуществивший сброс информации по радиоканалам в цифровой форме. С этой целью используется широкий диапазон математико-статистического анализа, позволивший создать серию программных продуктов, получивших быстрое распространение. При всем многообразии решение задач нефтегазовой геологии они требуют индивидуального подхода, особенно учитывая многообразие ландшафтно-геологических обстановок.

Таким образом, необходим переход от стандартизованных приемов обработки снимков к узкоспециализированным. В качестве основы для решения подобных задач были созданы библиотеки спектральных данных, полученных со спутников «Landsat», «Terra» (Aster) и отражающих конкретные природные объекты и явления. Однако, их использование в различных ландшафтно-метеорологических условиях, особенно районах закрытых густым растительным покровом, не всегда обеспечивает однозначный результат, требующий иногда наземной проверки.

В настоящее время существует условное подразделение методов обработки аэро- и космических съемок на предварительную и тематическую. Изначально первая предназначалась для качественного улучшения визуального восприятия изучаемых объектов на снимках и их сопоставления с геолого-геофизическими данными при экспертном дешифрировании и структурном анализе.

Тематическая обработка в значительной степени ориентирована на изучение и картирование физических полей, фиксируемых разными видами съемок, и их изменений и динамики вариаций в пространстве и времени. Исследования физических полей и их протекания на земной поверхности, не всегда воспринимаемых глазом специалиста, позволило выйти на изучение геологических микропроцессов, отражающих прямо или косвенно термогидродинамические явления в недрах, связанные со скоплениями нефти и газа в недрах.

Таблица 2.1

Виды предварительной обработки данных дистанционного зондирования (по В.Б. Серебрякову)

<b>Радиометрическая коррекция</b>	
<i>Вид коррекции</i>	<i>Цель обработки</i>
Коррекция уровня среднего сигнала	Обеспечение линейного резанга работы системы
Изменение динамического диапазона сигналов и изображений	Расширение возможностей анализа изображений
Радиометрическая калибровка	Осуществление абсолютных измерений
Ослабление шумов системы	Повышение качества формируемого изображения
Цветовая коррекция	Расширение палитры цветов, улучшение цветопередачи, коррекция спектральных характеристик изображения

<b>Геометрические преобразования</b>	
<i>Вид преобразований</i>	<i>Цель обработки</i>
Исправление систематических искажений	Повышение точности фотограмметрических измерений
Масштабирование	Обеспечение требуемого масштаба
Аффинные преобразования	Улучшение возможностей анализа
Преобразование проекций (геоуплощение)	Получение фотокарты в требуемой проекции
Геометрическое совмещение	Обеспечение геометрических условий синтеза комплексного многоканального изображения, корреляционная обработка, "сшивка" изображений
Геометрическая коррекция	Коррекция высокочастотных геометрических искажений, формируемых условиями съёмки

<b>Улучшение изображений</b>	
<i>Вид обработки</i>	<i>Цель обработки</i>
Пространственно-частотная фильтрация	Ослабление шумов и помех, повышение контраста и резкости
Непараметрическая (ранговая)	Устранение импульсных и строчных помех
Нелинейная	Гистограммные преобразования, бинаризация, сегментация по форме и яркости, текстуриал и контурная сегментация

<b>Представление данных</b>	
<i>Вид обработки</i>	<i>Цель обработки</i>
"Англо-цифра", "цифра-англ"	Адаптация к средствам хранения, обработки и отображения данных
Обработка шета	Цветовое кодирование и отображение
Конвертация формата файла изображения	Адаптация к средствам записи, хранения, обработки и отображения данных

<b>Сжатие данных</b>	
<i>Вид сжатия</i>	<i>Цель</i>
В частотной области	Сокращение полосы частот при передаче данных
В пространственной области	Упрощение анализа
Во временной области	Повышение скорости передачи

### Схема обработки КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Данный раздел не претендует на полноту изложения по данной проблеме и предназначен для ознакомления геологов с данным направлением работ и изложения некоторых используемых методов обработки. Обработка и преобразование аэрокосмических материалов на начальном этапе работ проводится с целью улучшения качества снимков по сравнению с исходными путем различного вида коррекций, калибровки и устранения всех помех, вызванных техническими и природными условиями съемки, приведение к определенному масштабу, картографической проекции, сглаживанию фотометрических искажений по всему кадру и по соседним снимкам, а также подготовке снимков к тематической обработке (табл. 2.1).

Практическое применение аэро- и космических снимков в геологии началось в конце 70-х годов. Низкое качество изображений, получаемых в первое время с помощью телевизионной аппаратуры, требовало повышения их качества, масштабирования, проведения различного вида коррекций и привязки к топографическим картам. По мере получения более высокоразрешающих снимков расширился диапазон их использования и появилась необходимость в узкоспециализированной обработке для решения различных задач. В связи с этим, наряду с постоянным совершенствованием техники для получения космической информации, совершенствуются и методы ее обработки.

Обработка видеоизображений представляет собой отдельную область, основанную на цифровом статистико-атематическом анализе /1-5/, и требует специальной подготовки, не обязательной для геологов, так как при заказе снимков можно предусмотреть их необходимый уровень качества.

Первичная тематическая обработка представляет основной интерес для закрытых регионов и предназначена для выявления геологической информации, отражающей, как правило, некоторые черты строения изучаемого участка. При этом задачей геолога является построение структурной модели на основе имеющихся данных. В случае невозможности распознавания на снимке даже элементов структуры, производится совмещение разных видов геологических и геофизических карт для получения априорной информации.

В настоящее время для обработки космической информации созданы многочисленные программы.

Наиболее распространенные программные продукты для обработки и преобразования аэро- и космических снимков основываются на стандартных методах: синтезировании, цветокодировании, квантовании или фильтрации мультиспектральных видеоизображений, то есть стремлении получить с них максимум данных, представляющих геологический интерес.

Известные программные продукты по обработке аэро- и космических материалов можно разделить на две группы:

- I. системы обработки изображений (ERDAS, ER Mapper, Envi и др.).
- II. системы сопряженной обработки аэрокосмической, геологической и геофизической и другой специализированной информации (Arcview, MapInfo др.). Они позволяют осуществлять:
  - изучение и анализ физических свойств исследуемых объектов, обнажающихся на земной поверхности;
  - построение трехмерных изображений;
  - линеаментный анализ;
  - геоботаническое картирование, несущее геохимическую и гидрогеологическую информацию;
  - геотемпературное картирование;
  - геоморфологическое картирование с построением 3-х мерных моделей местности;
  - построение гибридных карт, включающих космическую, геофизическую, геологическую и другую информацию.

Несмотря на прогресс в обработке снимков, возможности практических решений ограничиваются: различным уровнем технических средств и специализированными программными продуктами потребителей; различием программ, которые не полностью отвечают

запросам заказчиков; отсутствием геологов-нефтяников среди разработчиков тематически ориентированных программ; поверхностным решением геологических задач, в основе которых отсутствуют принципиально необходимые прогнозные критерии.

В целом упомянутые программы не претендуют на решение задач нефтегазовой геологии и предназначены для облегчения и упрощения работы нефтяников-дешифровщиков для выбора оптимальных вариантов визуализации, восприятия и распознавания современной геологической ситуации изучаемых участков.

В отличие от первичной тематической обработки снимков, завершающая ее стадия заключается в выявлении и картировании принципиально новой информации, в первую очередь неизвестных ранее поисковых объектов, в том числе разрывных нарушений, и определения их нефтегазоносности на основе авторских программ, созданных В. Б. Серебряковым, В. Н. Евдокименковым и В. Б. Константиновым /5/.

Обработка и преобразования космической информации проводилась с использованием двух основных методов: фотооптического для фотоснимков и электронного для цифровой съемки.

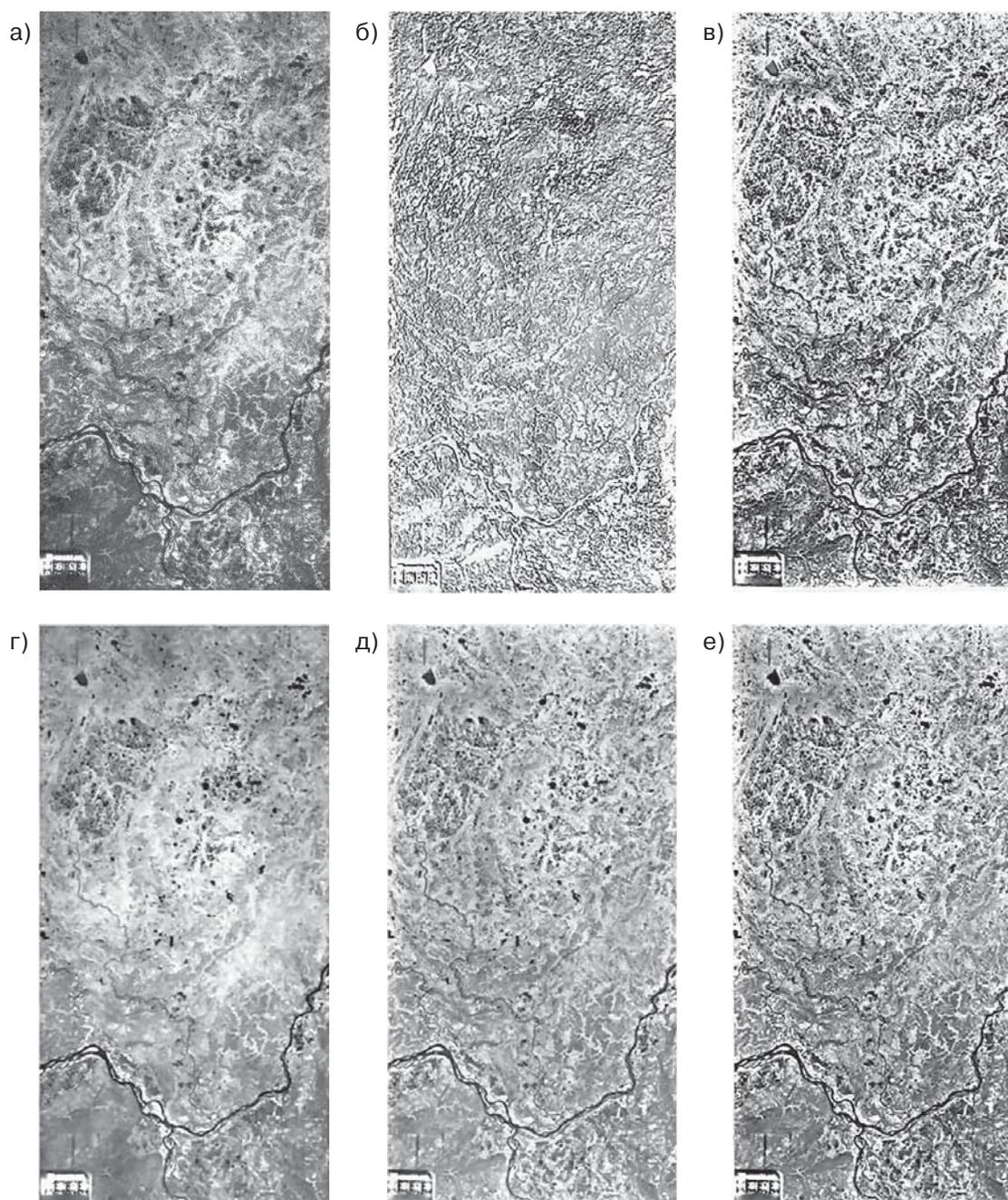
Фотооптические методы обработки и преобразования дистанционных материалов использовались в докомпьютерный период и в настоящее время имеют ограниченное распространение и представляют в основном исторический интерес. Они осуществляются с помощью ручных операций и использовались как для улучшения качества изображения, так и для фильтрации изучаемых элементов ландшафта. Для этой цели применялась когерентная оптическая установка, которая обеспечивала оперативное получение необходимых данных. Наиболее широкое применение она находила при фильтрации разнонаправленных линеаментов и выбора полей, характеризующихся однонаправленными дислокациями. Фотооптические методы, разрабатывались многие годы в объединении «Аэрогеология» Ю. В. Углевым, В. Ф. Номоковой и Е. А. Морозовой, – это сравнительно простые и эффективные способы обработки снимков /6/, по качеству иногда превосходящие электронные преобразования.

Электронные методы обработки снимков в настоящее время являются основными. Их количество увеличивается и постоянно совершенствуется. Эти стандартные процедуры не всегда повышают геологическую информативность, но основная их значимость заключается в возможности оперативного подбора необходимых космических и геолого-геофизических материалов (времени съемок, сезона и др.) и обработке больших массивов информации на основе существующих баз данных.

Возможности разработанных видов электронной обработки существенно различны для открытых и закрытых в геологическом отношении территорий. Если для первых представляется возможным проводить картирование ряда геологических объектов и осложняющих их разрывных нарушений, различающихся по своим спектральным характеристикам, то для последних, в связи с наличием почвенно-растительного покрова и большого количества помех, можно картировать только некоторые геоиндикаторы, по которым прогнозируются искомые объекты.

Существующие методы дают возможность проводить следующие основные преобразования изображений: различные виды фильтраций, квантование, эквализацию, сегментацию, синтезирование, контрастирование, цветокодирование, формирование псевдорельефа, подчеркивание границ, вычитание и сложение спектральных показателей разных снимков и другие преобразования /1-7/.

Фильтрация снимков осуществляется с целью вычисления низко- или высокочастотной составляющих, несущих информацию о различных по рангу геологических объектах или структурных поверхностях (рис. 2.1).



**Рис. 2.1. Исходный мелкомасштабный космический снимок Хорейверской впадины (а) и варианты его фотографических преобразований (по Ю. В. Углеву):**

б) высокочастотная фильтрация; в) фильтрация средних частот; г) фильтрация низких частот; д) градиентное преобразование; е) амплитудное выравнивание

Квантование - сокращение числа уровней плотности тона, позволяющее упростить его информационную структуру. Этот процесс сводится к генерализации изображений, приводящих к исключению мелких дискретных элементов, имеющих близкую плотность, и суммированию сближенных участков с изменением градаций снимка с целью выявления наиболее крупных структурных форм ландшафта или морфоаномалий (рис. 2.2). Квантование наиболее эффективно использовать при выделении и картировании региональных структур, нечетко проявляющихся через систему дискретных признаков, и целесообразно проводить в интерактивном режиме. В частности, на данном рисунке отчетливо визуализируются контуры и простираение Оренбургского вала, на котором расположено крупное одноименное газоконденсатное месторождение.

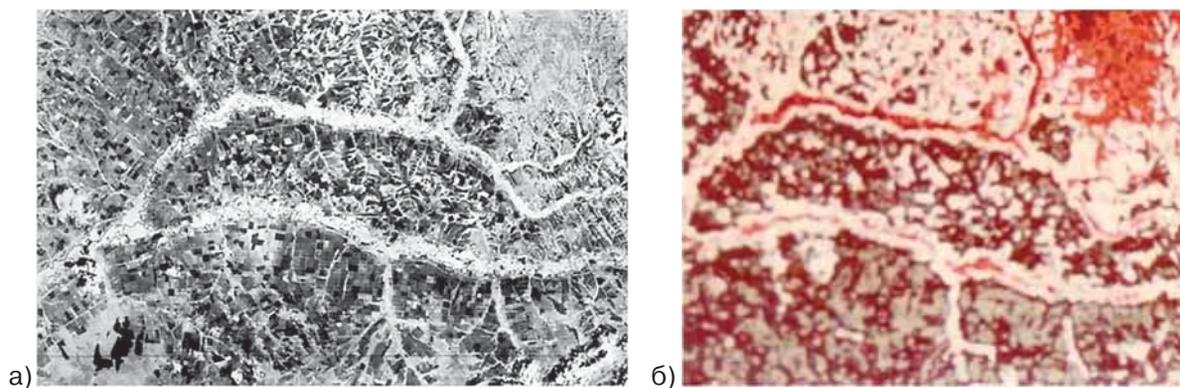


Рис. 2.2. Исходный космический снимок (а) и его квантованное изображение (б)

Эквализация - выравнивание распределения значений оптической плотности изображения по площади. Она позволяет повысить качество проработки деталей, облегчая восприятие и анализ малоcontrastных объектов за счет уменьшения дискретности проявления индикаторов. Этот вид преобразований приближает преобразованное изображение к тематической карте (рис. 2.3).

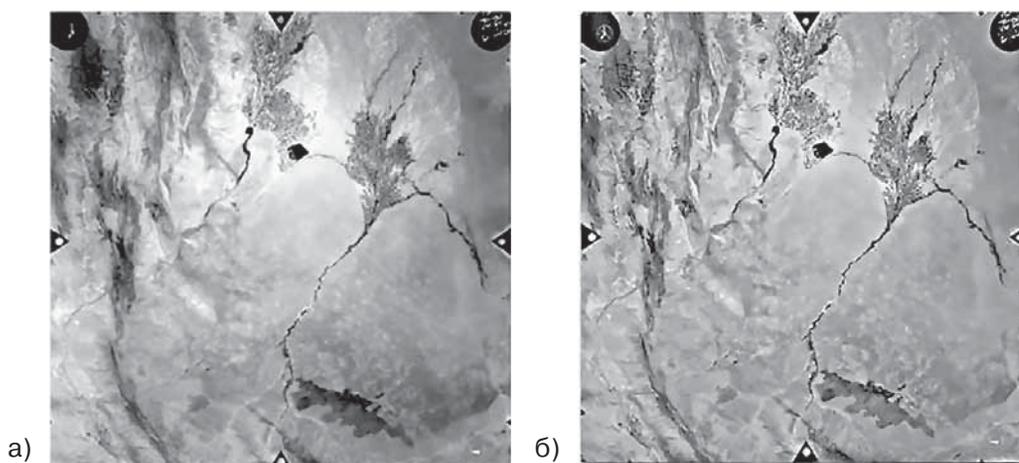


Рис. 2.3. Сопоставление исходного (а) и эквализованного (б) космических снимков

Сегментация - выделение границ участков с различными значениями оптической плотности (по максимальным величинам градиента), позволяющее проводить контурное ограничение прогнозируемых объектов (рис. 2.4).

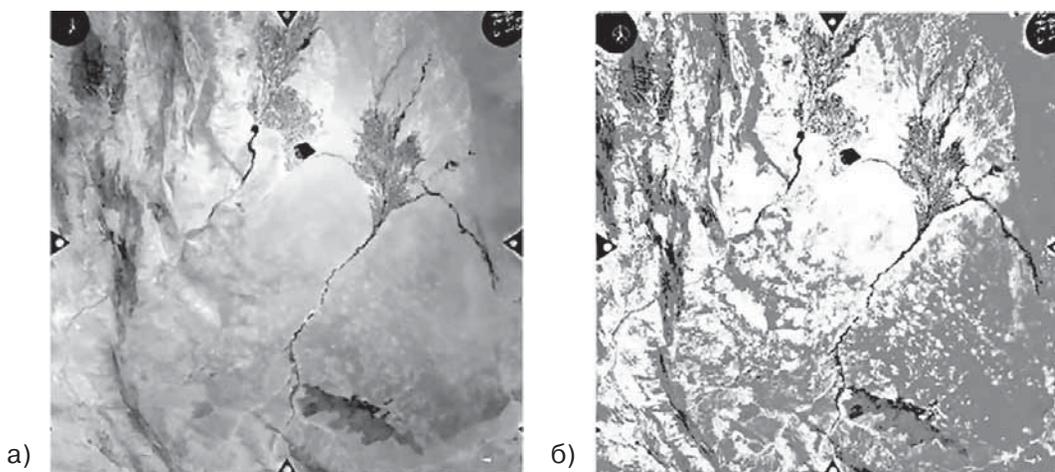
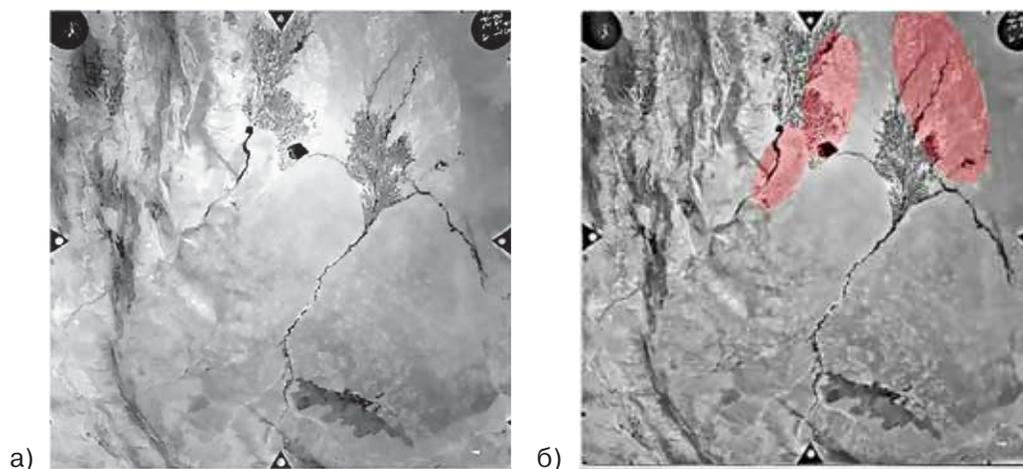


Рис. 2.4. Сопоставление исходного (а) и сегментированного (б) космических снимков

Цветокодирование - процесс выделения дискретных элементов исходных фотоснимков (дешифровочных или ландшафтных признаков) и представление их в виде маркирующих контрастных цветовых градаций с целью облегчения выделения и картирования изучаемых объектов. Цветовое кодирование изображений производится для придания градациям яркости, контурам или любым другим параметрам изображения определенных цветовых признаков. Его целесообразно использовать для увеличения достоверности распознавания фрагментов изображения (рис. 2.5). Сущность цветового кодирования заключается в том, что каждому уровню сигнала (следовательно, и каждому значению или интервалу значений полутонов) придается определенный цвет. Наиболее эффективно использовать цветокодирование при картировании открытых в геологическом отношении территорий, когда получаемый результат приближается к геологической карте.



**Рис. 2.5. Сопоставление исходного (а) и цветокодированного (б) космических снимков**

Главным ограничением метода цветового кодирования одиночных изображений при геологических исследованиях является его недостаточная информативность. Как правило, границы одноцветных участков не соответствуют очертаниям реальных геологических объектов за счет вариаций растительности, почв и других причин. Поэтому цветовое кодирование одиночного снимка целесообразно применять главным образом при анализе структуры изображения, то есть при структурном анализе.

Синтезирование - процесс представления спектральной информации об изучаемых объектах, содержащейся на многозональных снимках в виде цветового распределения по полю синтезированного изображения, и достижения его максимальной цветовой дифференциации. Оно заключается в преобразовании относительных градаций оптических плотностей в одних и тех же точках разных зон в цветовые различия. Цветовые характеристики синтезированного изображения (тон и насыщенность) отражают спектральную информацию об изучаемых объектах. Плотность тона пропорциональна спектральной информации об изучаемых объектах и пропорциональна спектральной яркости в пределах спектрального интервала каждой зоны. В то же время при синтезировании она определяет опорные цвета, в которые окрашивается снимок каждой зоны. Синтезирование производится для детализации дистанционных (спектральных) образов изучаемых объектов (рис. 2.6).

Контрастирование – усиление контрастов многозональных снимков для большей дифференциации спектральных показателей изображений.

Псевдорельефное преобразование – создание эффекта освещенности рассматриваемого объекта или площади и подчеркивание границ литологически различных комплексов пород, обеспечивающего более четкое восприятие форм рельефа земной поверхности [2]. Оно производится с целью улучшения возможностей тектонического районирования.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРЕДИСЛОВИЕ</b> .....	3	
<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	4	
<b>ЧАСТЬ I.</b>		
<b>АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ СЪЕМКИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В КОМПЛЕКСЕ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА НЕФТЬ И ГАЗ</b> .....		7
<b>Глава 1. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ О КОСМО- И АЭРОСЪЕМКАХ</b> .....	7	
1.1. Краткие сведения о носителях съемочной аппаратуры.....	7	
1.2. Виды аэрокосмических съемок и получаемых материалов .....	10	
1.2.1. Общая характеристика материалов аэро- и космических съемок.....	10	
1.2.2. Аэро- и космические съемки .....	12	
1.2.2.1. Многоканальная оптико-электронная съемка.....	13	
1.2.2.2. Спектрометрическая съемка .....	15	
1.2.3. Съемки вне видимого диапазона спектра.....	16	
1.2.3.1. Инфракрасная тепловая съемка (ИК).....	16	
1.2.3.2. Съемки в радиодиапазоне .....	19	
1.2.3.3. Лазерная съемка .....	23	
1.2.4. Производные материалы аэрокосмических съемок.....	24	
Краткие выводы .....	25	
Литература к главе 1 .....	26	
<b>Глава 2. КРАТКИЙ ОБЗОР МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК</b> .....	27	
2.1. Обзор методов обработки материалов аэро- и космических съемок.....	27	
2.2. Задачи и пути возможности тематической обработки многоспектральных снимков при прогнозе нефтегазоносности.....	35	
2.2.1. Анализ деформационного поля .....	36	
2.2.2. Тематическая обработка снимков в дальнем инфракрасном диапазоне для оценки распределения тепловых потоков.....	37	
2.2.3. Тематическая обработка многоспектральных снимков для картирования спектральных полей и оценке проявления в них поисковых объектов.....	39	
Краткие выводы .....	41	
Литература к главе 2 .....	41	
<b>Глава 3. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ</b> .....	42	
3.1. Источники и основные характеристики электромагнитного излучения.....	42	
3.2. Взаимодействие электромагнитного излучения с атмосферой .....	44	
3.3. Взаимодействие электромагнитного излучения с водными поверхностями .....	46	
3.4. Взаимодействие электромагнитного излучения с земной поверхностью .....	46	
3.5. Особенности взаимодействия электромагнитного излучения с земной поверхностью в разных диапазонах спектра .....	48	
3.5.1. Почвы и их спектральные свойства.....	51	
3.5.2. Горные породы и их спектральные свойства.....	55	
3.5.3. Растительность и ее спектральные свойства.....	57	
Краткие выводы .....	65	
Литература к главе 3 .....	65	
<b>Глава 4. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНФОРМАТИВНОСТЬ ЛАНДШАФТА И ЕГО ОТРАЖЕНИЕ НА АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ</b> .....	66	
4.1. Отражение структурных форм чехла и их признаков в ландшафте.....	66	
4.1.1. Обзор представлений по отражению в ландшафте геологических объектов .....	66	

4.1.2. Спектральные характеристики ландшафта и их связь с геологическими микропроцессами.....	68
4.1.3. Внутренние компоненты ландшафта .....	69
4.1.3.1. Геологический субстрат и литогенная основа.....	70
4.1.3.2. Обводненность .....	72
4.1.4. Внешние компоненты ландшафта .....	73
4.1.4.1. Рельеф и его развитие.....	73
4.1.4.2. Гидрографическая сеть.....	76
4.1.4.3. Растительность.....	78
4.1.4.4. Почвы .....	80
4.1.4.5. Хозяйственная деятельность человека.....	80
4.2. Признаки отражения ландшафтов на аэро- и космических снимках.....	81
Краткие выводы .....	82
Литература к главе 4 .....	83

<b>Глава 5. СОВРЕМЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ МИКРОПРОЦЕССЫ, РЕГИСТРИРУЕМЫЕ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ, КАК ПОКАЗАТЕЛИ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ .....</b>	<b>85</b>
5.1. Современные глубинные термогравитационные процессы .....	86
и их отражение на материалах космических съемок.....	86
5.2. Краткие сведения о современных геомеханических процессах в осадочном чехле, вызванных палеотектоническими и современными движениями.....	88
5.3. Термогидродинамические микропроцессы в осадочном чехле и их отражение на земной поверхности и космических материалах.....	92
5.4. Регистрация биогеохимических и миграционных микропроцессов .....	109
Краткие выводы .....	114
Литература к главе 5 .....	114

## ЧАСТЬ II.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРИ РЕШЕНИИ НЕФТЕГАЗОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ .....	116
-----------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<b>Глава 6. НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ: СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ .....</b>	<b>116</b>
6.1. Ловушки нефти и газа (типизация, морфология, генезис и формирование) .....	117
6.1.1. Структурные ловушки осадочного чехла (типизация и признаки).....	118
6.1.1.1. Морфологическая типизация структур .....	119
6.1.1.2. Типизация структур по их соотношению в разрезе.....	122
6.1.1.3. Типизация структур по истории их развития .....	125
6.1.1.4. Динамо-кинематическая типизация структур.....	125
6.1.1.5. Генетическая типизация структур .....	126
6.1.2. Ловушки в фундаменте.....	127
6.1.3. Литолого-фациальные неоднородности чехла и неструктурные ловушки.....	131
6.1.4. Разрывные нарушения осадочного чехла (типизация и признаки).....	135
6.1.4.1. Морфологические признаки тектонических нарушений.....	136
6.1.4.2. Типизация тектонических нарушений по положению в разрезе .....	138
6.1.4.3. Динамическая и кинематическая типизация тектонических разломов .....	138
6.1.4.4. Кинематические типы разрывных нарушений и особенности их морфологии .....	139
6.1.4.5. Некоторые закономерности соотношений разрывных и складчатых дислокаций .....	141
6.1.4.6. Узлы пересечения разрывных нарушений .....	141
6.2. Механизм проявления структур и разрывных нарушений осадочного чехла в ландшафте и их индикация.....	144

6.2.1. Основные факторы, определяющие формирование локальных структур.....	144
6.2.2. Основные факторы, определяющие образование разрывных нарушений.....	152
Краткие выводы .....	153
Литература к главе 6 .....	154

## **Глава 7. МЕТОДИКА И ТЕХНОЛОГИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ**

### **СТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК И РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ .....**

7.1. Эволюция и современное состояние методики дистанционных исследований при поисках структурных ловушек.....	157
7.2. Анализ геолого-геофизических и геоморфологических данных при распознавании структурных форм чехла .....	162
7.3. Оценка информативности исходных дистанционных и геолого-геофизических материалов при выявлении структурных ловушек .....	164
7.4. Прогнозирование ловушек углеводородов .....	165
7.4.1. Разбраковка выявленных аномалий и отбор дистанционных образов структурных форм чехла, оценка их точности и достоверности .....	174
7.4.2. Структурно-индицирующие показатели складчатых форм осадочного чехла .....	175
7.4.3. Оценка точности и достоверности выделения дистанционных образов структур чехла .....	180
7.5. Методика прогнозирования разрывных нарушений.....	182
7.6. Итоговые материалы результатов работ .....	183
7.7. Методические основы и программы автоматизации процесса структурного анализа.....	185
7.8. Автоматизированное прогнозирование локальных структур с помощью пакета программ «Станвид-2» .....	193
Краткие выводы .....	196
Литература к главе 7 .....	196

## **Глава 8. МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИСТОЛКОВАНИЯ ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ ЛОКАЛЬНЫХ СТРУКТУР И РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ .....**

8.1. Анализ проявления прогнозируемых структур и разрывных нарушений чехла в наблюдаемых полях .....	199
8.2. Анализ проявления прогнозируемых структур и разрывных нарушений чехла в трансформированных полях .....	204
8.3. Типизация структур и разрывных нарушений на основе комплексной интерпретации аэрокосмических и геофизических данных .....	211
Краткие выводы .....	221
Литература к главе 8 .....	222

## **Глава 9. МЕТОДЫ ПРОГНОЗА ПЕРСПЕКТИВ**

### **НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ .....**

9.1. Краткий обзор состояния и развития методов оценки перспектив нефтегазоносности ловушек углеводородов .....	224
9.2. Модель залежи углеводородов и ее отражение на разных уровнях чехла и земной поверхности.....	242
9.3. Краткий обзор геофизических методов прогноза нефтегазоносности.....	244
9.4. Краткий обзор геохимических методов прогноза нефтегазоносности .....	248
9.5. Дистанционные методы прогноза нефтегазоносности: возможности и перспективы .....	249
9.6. Примеры комплексного решения задачи прогноза нефтегазоносности ловушек углеводородов .....	266
Краткие выводы .....	278
Литература к главе 9 .....	279

<b>Глава 10. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ПРОГНОЗНЫХ ЛОКАЛИЗОВАННЫХ РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДОВ СТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК, ПРОГНОЗИРУЕМЫХ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ.....</b>	<b>284</b>
10.1. Особенности использования аэрокосмических съемок для изучения морфологии структурных ловушек нефти и газа .....	285
10.2. Оценка результативности применения аэрокосмических съемок.....	285
10.3. Оценка морфологии прогнозируемых структурных ловушек .....	287
10.4. Примеры сравнительной оценки прогнозных .....	
локализованных ресурсов структурных ловушек.....	289
10.5. Оценка ресурсов углеводородов прогнозируемых структур вероятностным методом с учетом геологических рисков .....	291
Краткие выводы .....	296
Литература к главе 10 .....	297
<b>Глава 11. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ НА СТАДИИ ВЫЯВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ ЛОВУШЕК УГЛЕВОДОРОДОВ .....</b>	<b>298</b>
Краткие выводы .....	302
Литература к главе 11 .....	302
<b>Глава 12. ПРИМЕРЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКОВЫХ РАБОТАХ НА НЕФТЬ И ГАЗ .....</b>	<b>303</b>
12.1. Древние платформы.....	303
12.1.1. Восточно-Европейская платформа .....	303
12.1.2. Мезенская потенциально нефтегазоносная провинция.....	303
12.1.3. Волго-Уральская антеклиза.....	307
12.1.4. Прикаспийская синеклиза .....	323
12.1.5. Тимано-Печорская плита.....	326
12.1.6. Сибирская платформа.....	338
12.1.6.1. Байкитская антеклиза .....	338
12.1.6.2. Вилюйская гемисинеклиза .....	341
12.2. Молодые платформы .....	342
12.2.1. Тургайская синеклиза .....	342
12.2.2. Западно-Сибирская плита.....	344
12.3. Предуральский краевой прогиб .....	348
12.4. Складчатые области.....	353
12.4.1. Нижнекуринская межгорная впадина Кавказской складчатой системы .....	353
12.4.2. Зее-Буреинская межгорная впадина .....	355
Краткие выводы .....	358
Литература к главе 12 .....	359
<b>Глава 13. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НЕФТИ И ГАЗА НА МОРСКИХ АКВАТОРИЯХ.....</b>	<b>360</b>
13.1. Дистанционные методы изучения перспектив нефтегазоносности акваторий .....	360
13.2. Дистанционные методы прогноза ловушек углеводородов.....	368
13.3. Методика поисковых работ .....	375
13.4. К экономической оценке применения дистанционных методов при поисках нефти и газа .....	377
Краткие выводы .....	378
Литература к главе 13 .....	378
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>380</b>