

Лекция 4: Применение аэрокосмических методов в лесном хозяйстве

- 1. Особенности космической съемки**
- 2. Дистанционное зондирование лесов**
- 3. Диапазоны аэрокосмической съемки при ДЗЗ**
- 4. Картографирование лесов**
- 5. Дистанционный мониторинг использования лесов (ГИЛ)**

1. Особенности космической съемки

Основные отличительные особенности получения космических снимков:

- большая скорость и сложность траектории движения КЛА относительно земной поверхности;
- значительная высота съемки (высота полета КЛА), исчисляемая сотнями и тысячами километров над земной поверхностью;
- влияние всего слоя атмосферы на геометрическое и энергетическое искажение отраженного или собственного излучения объектами земной поверхности, поступающего на вход съемочных систем.

По пространственному разрешению различают космические снимки:

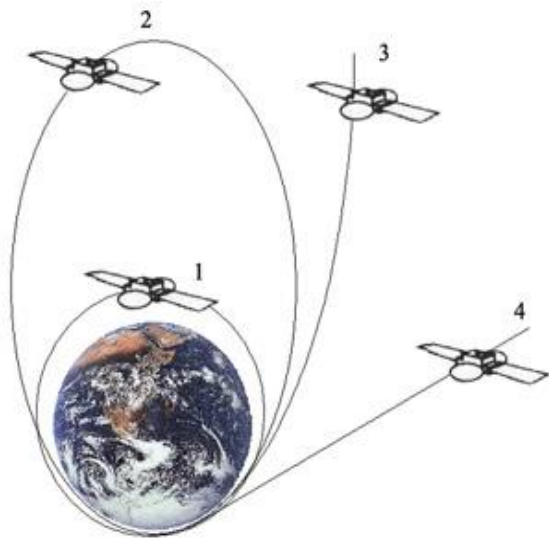
низкого разрешения - $R = n * 1000 \text{ м}$

среднего разрешения - $R = n * 100 \text{ м}$

высокого разрешения – $R = n * 10 \text{ м}$ (30-100 м — относительно высокого;
10-30 м — высокого разрешения)

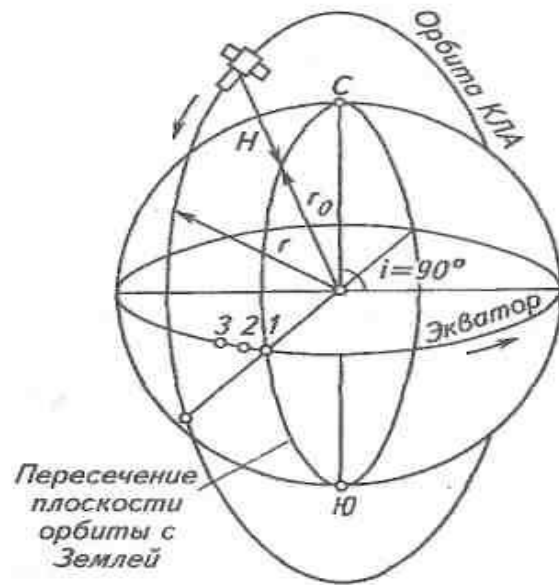
очень высокого разрешения - $R = n * 1 \text{ м}$

сверхвысокого разрешения – $R < 1 \text{ м}$

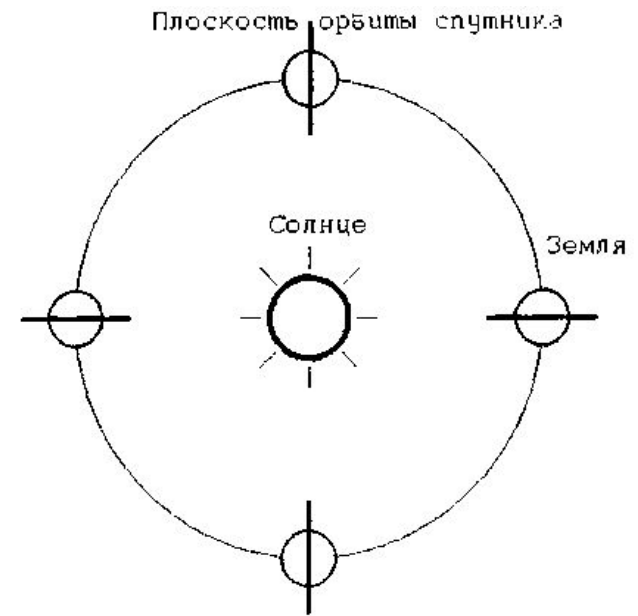


Форма орбит

- 1 – круговая
- 2 – эллиптическая
- 3 – параболическая
- 4 – гиперболическая



Элементы круговой орбиты



Солнечно-синхронная орбита

2. Дистанционное зондирование лесов

Дистанционное зондирование (ДЗ)- процесс, посредством которого собирается информация об объекте, территории или явлении без непосредственного контакта с ними.

ДЗ применяется для решения задач лесного хозяйства:

- 1) изучение, инвентаризация и картографирование лесов;
- 2) оценка состояния (мониторинг) лесов, включая охрану лесов от пожаров

Преимущества космической съемки по сравнению с аэросъемкой:

- доступность снимков на разные даты в течение нескольких лет, что обеспечивается возможностью регулярной съемки любого участка Земли, хранение изображений в базе данных;
- оперативность получения информации (от нескольких часов до нескольких дней), что важно при контроле за очагами развития лесных вредителей и пожаров;
- доступность снимков разного пространственного разрешения и масштаба сразу в цифровом виде, геопривязанных и приведенных к выбранной картографической проекции, что позволяет быстро подключать их к базам данных и лесохозяйственным ГИС;
- возможность получения обзорных снимков низкого разрешения бесплатно, невысокий уровень цен на снимки среднего и высокого разрешения.

Основные задачи лесоустройства и лесного хозяйства, решаемые на основе аэрокосмической съемки

Задачи, решаемые методами ДЗЗ	Масштаб карт и других материалов	Требуемая периодичность / оперативность	Используемые методы							
			Аэросъемка (тип)			Космическая съемка (диапазон)				
			Видимый диапазон	Лидарная	Тепловая	Видимый и БИК	Тепловой	Микроволновой	Радио	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Государственная (национальная) инвентаризация лесов										
Актуализация карт, учет площадей, качественных и количественных характеристик леса	1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000	8-10 лет	◆			◆				◆
Выявление мест и площадей незаконных рубок, других нарушений лесопользования	1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000	Учет текущих изменений	◆	◆		◆				◆
Учет текущих изменений лесного фонда, в т.ч. уменьшения площади лесов вследствие рубок, других антропогенных воздействий, стихийных бедствий (пожары, ветровалы, снеголомы) и увеличения площади лесов	1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000	Учет текущих изменений	◆	◆		◆				◆
Оценка эффективности мероприятий по охране, защите, воспроизводству и использованию лесов		5 лет	◆			◆				◆
Лесоустройство										
Лесоустройство в районе интенсивного ведения лесного хозяйства и лесопользования, с составлением карт 1 : 10 000	1 : 10 000	10 лет	◆	◆						
Лесоустройство в районе интенсивного ведения лесного хозяйства и лесопользования, с составлением карт 1 : 25 000 и мельче	1 : 25 000, 1 : 50 000	10-15 лет	◆	◆		◆				◆
Лесоустройство в экстенсивной (малоосвоенной) зоне с составлением карт	1 : 50 000, 1 : 100 000	20 лет	◆	◆		◆				◆
Тематическое картографирование (карты лесных горючих материалов, повреждаемости вредителями и болезнями, ландшафтные и т.п.)	1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000	15-20 лет	◆			◆			◆	◆

Задачи, решаемые методами ДЗЗ	Масштаб карт и других материалов	Требуемая периодичность / оперативность	Используемые методы						
			Аэросъемка (тип)			Космическая съемка (диапазон)			
			Видимый диапазон	Лидарная	Тепловая	Видимый и БИК	Тепловой	Микроволновой	Радио
Контроль за предпожарной обстановкой по лесу									
Определение границ снежного покрова, фенологическое состояние	1 : 500 000 1 : 1 000 000	Оперативно, сезонно, зависит от региона			◆	◆	◆		
Установление степени увлажнения лесных горючих материалов	1 : 500 000, 1 : 1 000 000	Еженедельно в течение пожароопасного сезона	◆		◆	◆	◆	◆	
Мониторинг синоптической обстановки и гроз		Оперативно				◆	◆		
Охрана лесов от пожара									
Выявление участков возгорания и оперативный мониторинг пожаров в масштабах страны, крупного региона	1 : 200 000, 1 : 500 000, 1 : 1 000 000	Оперативно				◆	◆		
Выявление участков возгорания и оперативный мониторинг пожаров в масштабах области, района	1 : 50 000, 1 : 100 000, 1 : 200 000	Оперативно	◆		◆	◆	◆		
Наблюдение за пожарами, прогноз их распространения, контроль эффективности тушения		Оперативно	◆		◆	◆	◆		
Выявление и картирование гарей. Оценка потеря лес	1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000	После крупных пожаров	◆	◆	◆	◆	◆	◆	

Задачи, решаемые методами ДЗЗ	Масштаб карт и других материалов	Требуемая периодичность / оперативность	Используемые методы						
			Аэросъемка (тип)			Космическая съемка (диапазон)			
			Видимый диапазон	Лидарная	Тепловая	Видимый и БИК	Тепловой	Микроволновой	Радио
Контроль за порядком лесопользования и лесовосстановлением. Охрана лесов									
Контроль за размещением, порядком проведения и объемом сплошно-лесосечных рубок главного пользования	1 : 5 000 1 : 10 000, 1 : 25 000	Ежегодно (в зонах рубок)	◆	◆		◆			◆
Контроль за порядком организации рубок на лесосеках, использованием древесины, сохранением подроста, почвенного покрова	1 : 5 000, 1 : 10 000	Ежегодно (в зонах рубок)	◆						
Контроль за динамикой восстановительных процессов на вырубках	1 : 10 000, 1 : 25 000	5 лет	◆			◆			
Контроль за использованием и воспроизводством кедровых лесов	1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000	1-2 года	◆			◆			
Выявление лесозаготовок, других нарушений в пределах охраняемых территорий (заповедники, природные парки, водоохранные зоны и т.п.)	1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000 1 : 100 000 1 : 200 000	Оперативно	◆\$	◆		◆			◆
Мониторинг защитных лесов, зеленых зон городов, а также лесозащитных полос	1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000	Оперативно	◆\$	◆		◆		◆	◆
Лесопатологический мониторинг. Экологические исследования									
Определение зон лесопатологической угрозы. Лесопатологическая таксация	1 : 10 000, 1 : 25 000, 1 : 50 000	1 год	◆			◆		◆	
Экологический мониторинг лесов в зоне промышленных загрязнений	1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000	5 лет	◆\$		◆	◆	◆	◆	
Мониторинг лесов на территориях радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС	1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000	5 лет	◆\$			◆		◆	◆

◆ – основной метод ◆\$ – также основной, но дорогой в использовании, метод ◆ – вспомогательный метод

Выводы из табл. 1

1) Космическую съемку выгоднее применять для решения задач, требующих оперативности и регулярности выполнения:

-ГИЛ;

-лесоустройство в трудно доступных и удаленных районах;

-наблюдение за пожарной обстановкой и очагами пожаров;

-мониторинг незаконных рубок и нарушений в пределах охраняемых территорий.

2) Аэросъемка имеет преимущества при составлении детальных крупномасштабных карт (планов) на относительно небольшие территории в районах интенсивного использования лесов.

Космические снимки высокого разрешения, пригодные для ведения мониторинга лесохозяйственной деятельности

Спутник — режим съемки	Разрешение, м	Примерный размер «кадра» при съёмке в надир, км	Повторяемость, сутки*
GeoEye-1 - панхром / 4 канала	0,5 / 1,65	15 x 15	2-3
WorldView-1 - панхром	0,5	18 x 18	2-6
WorldView-2 - панхром/8 каналов	0,5 / 1,8	16,5 x 16,5	1-4
QuickBird-2 - панхром / 4 канала	0,6 / 2,5	16,5 x 16,5	1-5
IKONOS - панхром / 4 канала	1,0 / 4,0	11 x 11	3
ALOS - AVNIR (4 канала)	10	70 x 70	2
ALOS — PRISM (панхром) 2	2,5	35 x 35	2
Cartosat-1 (IRS-P5) - панхром	2,5	27 x 27	5
SPOT 5 - панхром / 4 канала	2,5 / 10	60 x 60	5

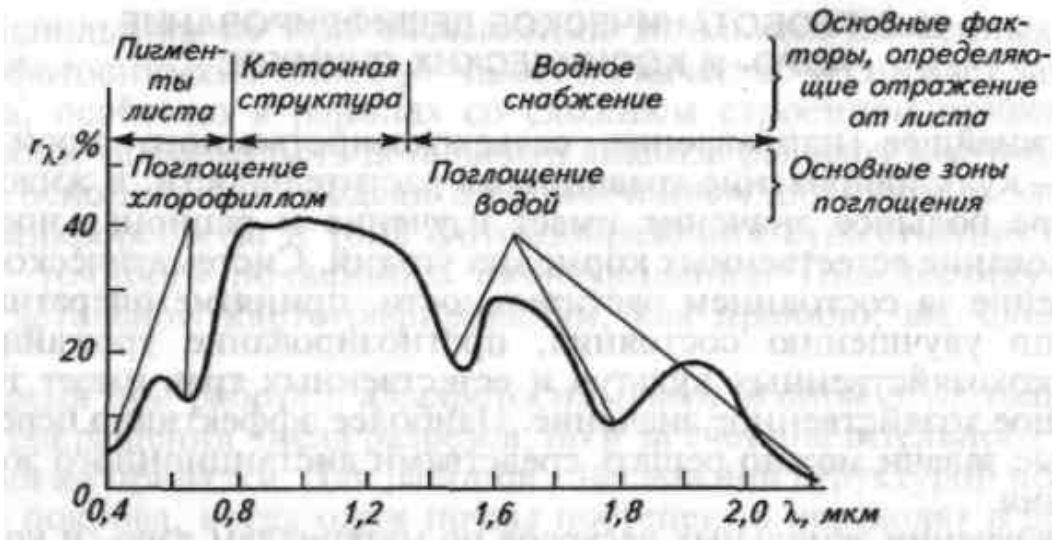
Космические снимки высокого разрешения (10–30 м), пригодные для создания карт лесов и изменений лесного покрова

Спутник – камера/режим	Разрешение, м	Примерный размер «кадра», км	Повторяемость, сутки	Примерная стоимость за кв. км, руб.*
ALOS – AVNIR, 4 канала	10	70 x 70	2	3
SPOT 5 – 4 канала	10 (20)	60 x 60	5	68
TERRA – Aster, 3 канала	15	60 x 60	4-16	1
SPOT 2/4 – 3/4 канала	20	60 x 60	5	21
IRS- 1C/1D – LISS, 3 канала	23	142 x 142	24-25	2
Resourcesat (IRS-P6) – LISS, 4 канала	23.5	140 x 140	24	4
Landsat-5/7 – TM/ETM+, 6 каналов	30	185 x 185	16	0

3. Диапазоны аэрокосмической съемки при ДЗЗ

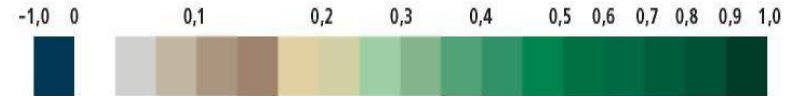
Ультрафиолетовый диапазон (0,1-0,38 мкм) - для оценки состояния растений и водоемов, распространения малых газовых примесей и озона в атмосфере.

Видимый диапазон (0,38-0,74 мкм) и **ближний инфракрасный диапазон (0,74-2,50 мкм)** широко используют для съемок лесных массивов как в панхроматическом, так и мультиспектральном



Нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

$$NDVI = (r_{\text{БИК}} - r_{\text{К}}) / (r_{\text{БИК}} + r_{\text{К}})$$

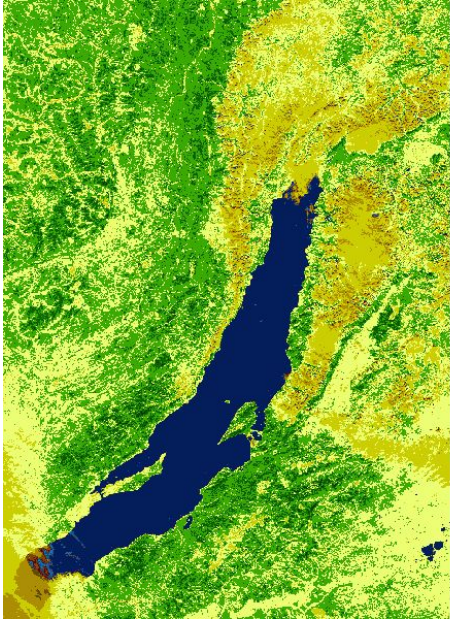


Тепловой диапазон (2,5 мкм — 1 мм) дает информацию о тепловом поле ландшафта (для выявления больных, поврежденных и сухостойных деревьев; лесных и торфяных пожаров)

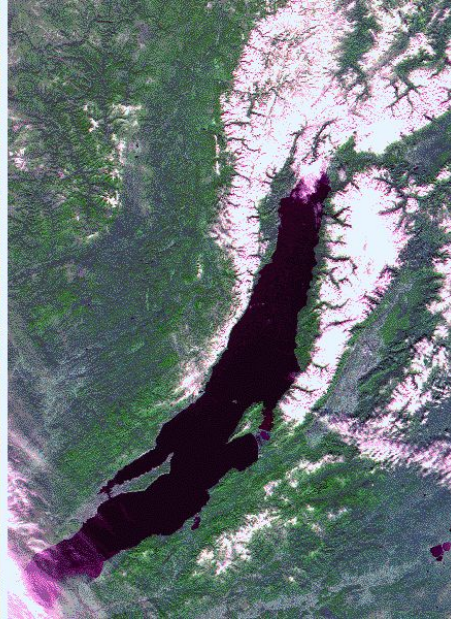
Микроволновый, СВЧ (1 мм — 1 м) диапазон дает информацию о топографических характеристиках территорий и акваторий, запасах влаги в почве и листе растений, воздействии на растения промышленных выбросов.

Радиодиапазон (3 – 30мм) предоставляет специфическую информацию о подстилающей поверхности и о пологе леса.

Фитопатологический мониторинг



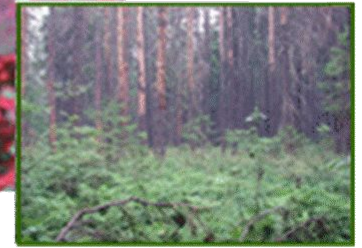
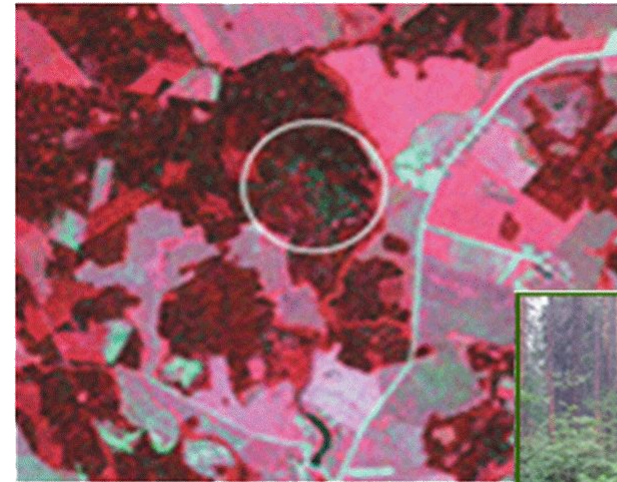
а



б

Оценка продуктивности лесов по данным MODIS

- А) изображение индексов NDVI (темнозеленые – хвойные породы)
- Б) исходный снимок



Очаги усыхания ельников в результате вспышки размножения короеда

Алгоритмы детектирования участков неудовлетворительного состояния лесов, ослабления и гибели лесов основаны на сравнительной оценке изменения значения индекса (NDVI) со значением в предыдущий месяц/год в тот же сезон.

Падение индекса свидетельствует о существенном уменьшении сомкнутости крон.

Лазерная (лидарная) съемка

Основной принцип воздушного лазерного сканирования - формирование трехмерного облака точек, образующегося вследствие отражения лазерного луча от поверхности земли и объектов, на ней расположенных (крон деревьев).

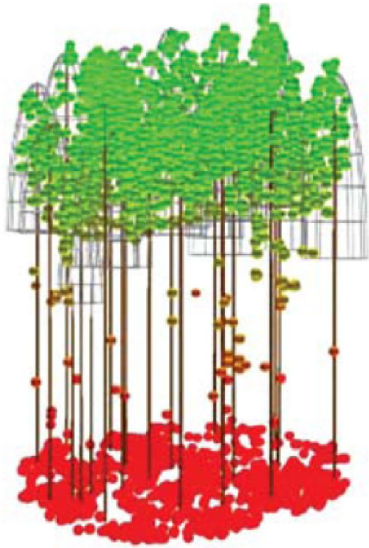
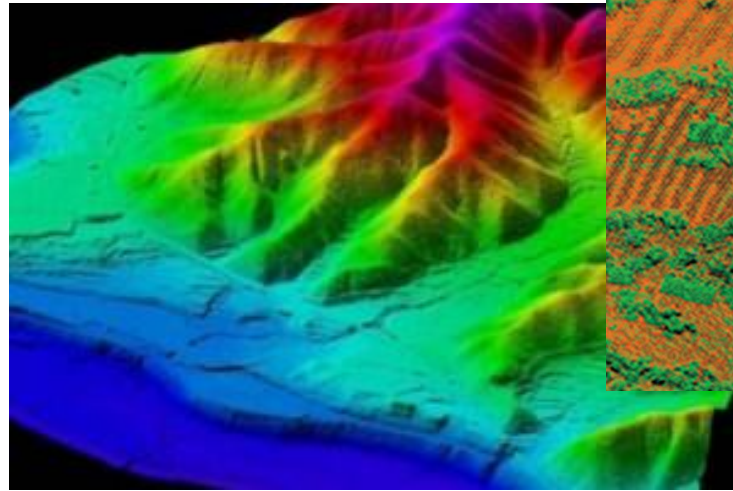
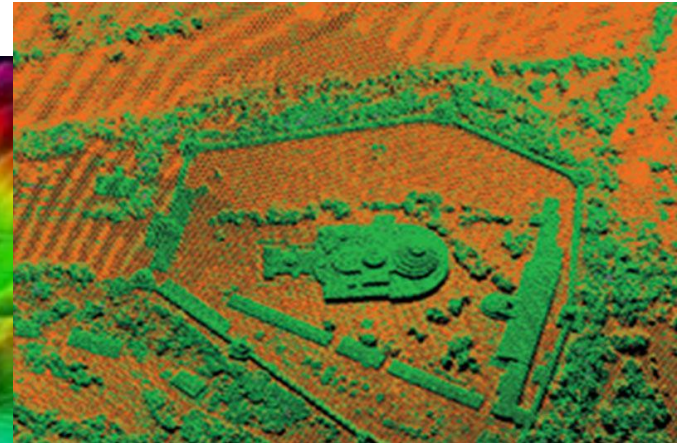


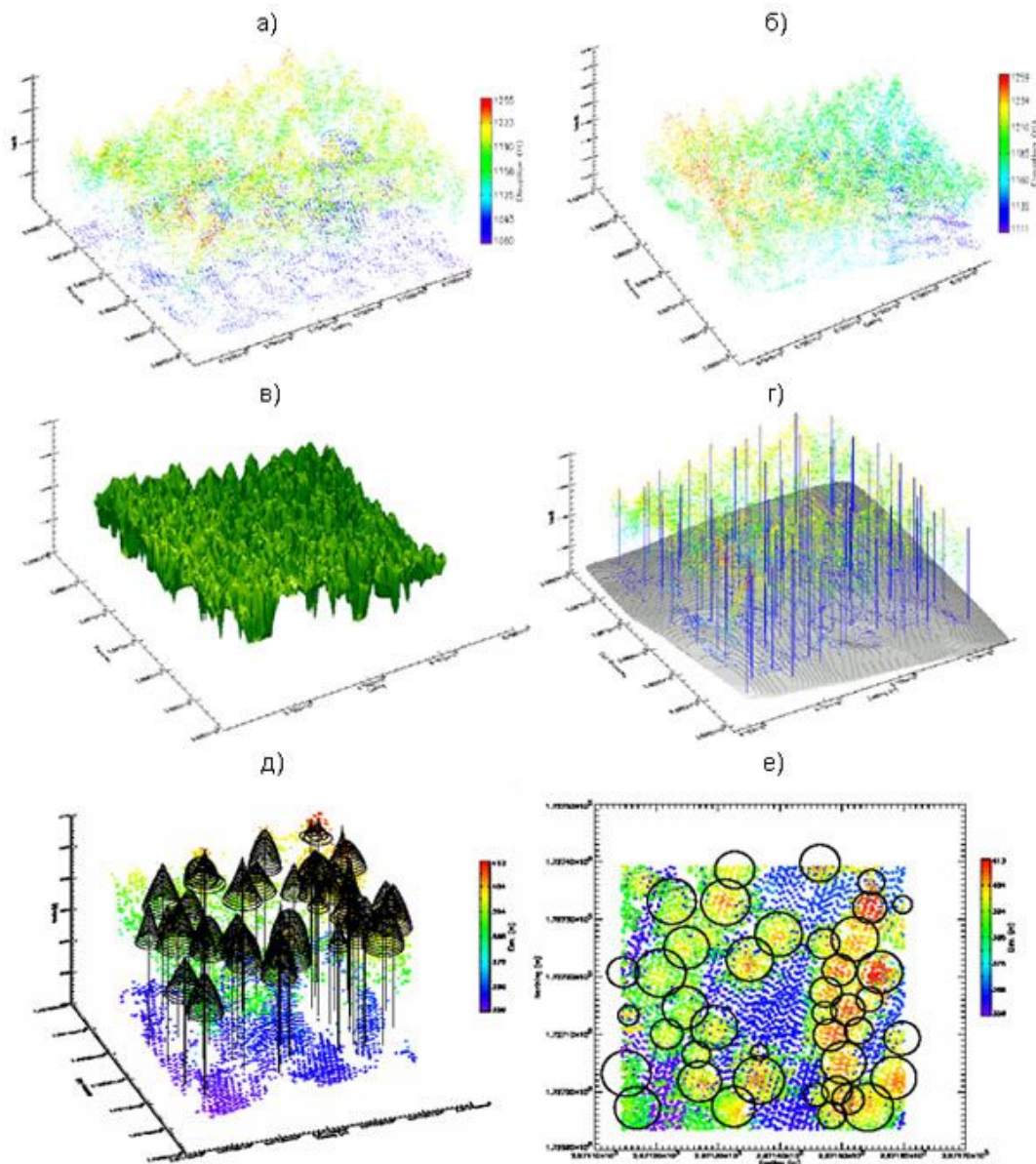
Рис. Трехмерная модель леса, полученная обработкой облака точек лазерной съемки.



ЦМР по результатам воздушного лазерного сканирования



ЦММ по результатам воздушного лазерного сканирования

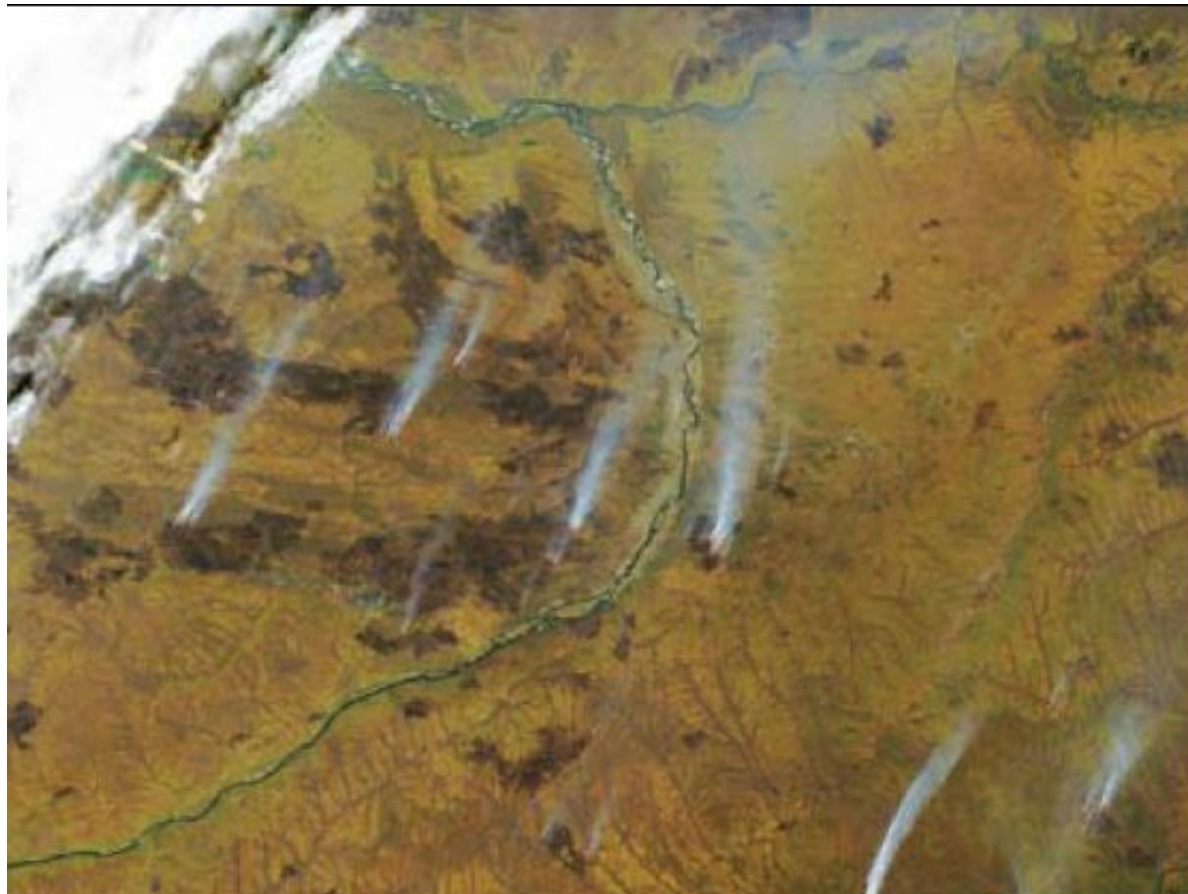


Трёхмерная цифровая реконструкция и визуализация массива точек лазерного сканирования лесного участка площадью 0.4 га:

а) – исходный массив точек лазерной локации,
 б) – тот же массив, после процедуры фильтрации,
 в) – цифровая модель лесного полога,
 г) – цифровая модель стволов и крон деревьев, интегрированная с цифровой моделью рельефа,
 д) – полная трёхмерная реконструкция древостоя,
 е) – плановая проекция полога древостоя с оконтуренными кронами деревьев основного яруса.

Точки, кодированные цветом, соответствуют различным элементам рельефа

Мониторинг лесных пожаров



Космический снимок низкого разрешения ENVISAT.
Лесные пожары на Дальнем Востоке

4. Картографирование лесов

Лесоинвентаризационные работы ведутся методом наземной таксации в сочетании с дешифрированием цветных спектрональных аэрофотоснимков масштабов 1:10 000 — 1:15 000.

Для инвентаризации лесов относительно простых по составу, однородных по структуре и строению разработан *фотостатистический* метод инвентаризации.

Он основан на сплошном визуальном или человеко-машинном дешифрировании цветных спектрональных или многозональных космических снимков с разрешением на местности 5—10 м и дешифрировании выборочных фотопроб по аэрофотоснимкам с разрешением на местности 0,5—1 м. Метод строится на ландшафтно-типологической основе.

В процессе лесоустройства и фотостатистической инвентаризации составляется серия тематических лесных карт в масштабах от 1:10 000 до 1:200 000—1:500 000. **Основными базовыми картами лесов** являются лесоустроительные планшеты, создаваемые в основном в масштабах 1:10 000 и 1:25 000 (реже 1:50 000).

Карты более мелких масштабов составляются на основе генерализации географической и тематической информации.

При картографировании применяют трехступенчатый метод получения информации:

Первая, основная ступень — космическая (составление топографической основы карт, сплошное дешифрирование территории с целью определения генерализованных границ картографируемых объектов и основной нагрузки, предусмотренной легендой карт).

Вторая ступень — самолетная (для выборочных аэровизуальных обследований с целью уточнения результатов дешифрирования космических снимков и получения недостающих данных).

Третья ступень — наземная: проводятся изучение закономерностей в структуре лесного фонда, дешифрирование особенностей космических снимков, а также контроль точности картографирования.

Параметры материалов аэрокосмических съемок для лесоустроительных работ

Способы таксации лесов	Таксационный разряд		
	I	II	III
Глазомерно-измерительный, глазомерный	<u>Аэроснимки - 0,5-1 м</u> 1:10 000 _± 20%	<u>Аэроснимки - 1-1,5 м</u> 1:15 000 _± 20%	
Дешифровочный, актуализации	<u>Аэроснимки - 0,5-1 м</u> <u>Космические снимки - 1-3 м</u> 1:10 000 _± 20%	<u>Аэроснимки - 1,5-2 м,</u> <u>Космические снимки - 3-5 м</u> 1:25 000 _± 20%	<u>Космические снимки - 5 -10 м</u> 1: 40 000 _± 20%

Примечание: в числителе - предельно допустимое минимальное пространственное разрешение на местности, в знаменателе - масштаб используемых при полевых и камеральных работах контактных или увеличенных снимков (изображений).

Технологическая схема создания цифровых карт по космическим снимкам



5. Дистанционный мониторинг использования лесов

1. Лесной кодекс РФ;
2. Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов (Приказ Рослесхоза от 10.11.2011 № 472);
3. Порядком проведения государственной инвентаризации лесов (приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 06.06.2011 № 207).

Дистанционный мониторинг использования лесов - систематическое слежение за состоянием использования лесов для выявления случаев нарушения лесного законодательства при использовании земель лесного фонда на основе контурного и аналитического дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли.

При мониторинге решаются следующие задачи:

- оценка соблюдения лесного законодательства при использовании лесных участков;
- выявление лесных участков с незаконным использованием лесов, определение их площади и запасов древесины, расчет ориентировочного размера ущерба.

При мониторинге подлежат учету следующие виды использования лесов:

- заготовка древесины;
- разработка месторождений полезных ископаемых;
- строительство и эксплуатация водохранилищ;
- строительство линейных объектов.

Технология мониторинга использования лесов:

- получение и анализ исходных данных на лесничество;
- подготовка на объект работ цифровой картографической основы ;
- контурное и аналитическое дешифрирование по материалам АКС мест использования лесов;
- выборочная натурная проверка результатов дешифрирования материалов АКС (не менее 5% лесных участков с выявленными нарушениями);
- анализ и обобщение результатов, подготовка ежегодных отчетов по результатам работ.

Подготовка цифровой картографической основы:

Используют материалы АКС (сканерных, радарных, лазерных съемок) с техническими требованиями:

- материалы АКС для объектов со сложными лесорастительными условиями должны быть спектрональными, мультиспектральными, в естественных цветах и стереоскопическими;
- в простых лесорастительных условиях могут применяться черно-белые космические снимки;
- пространственное разрешение не ниже 5 м;
- снимки текущего года и за год, предшествующий году мониторинга (мультивременные композиты);
- съемка выполняется в вегетационный период, облачность не более 5%.

Для обработки материалов используются программные средства: MapInfo, ArcGIS, ScanMagic, ScanEx Image Processor, ENVI и другие.

На подготовленную цифровую картографическую основу наносятся границы отводов лесных участков по видам использования лесов на основе данных лесных деклараций, геоданных материалов отводов.

Выполняется контурное дешифрирование использования лесов, нанесение границ обнаруженных изменений по материалам АКС.

Минимальные участки отдельно взятой вырубки или иного лесного участка, не покрытого лесной растительностью, составляют:

- не менее 0,5 га (пространственное разрешение не ниже 2,5 м);
- не менее 1,0 га (пространственное разрешение изображений не ниже 5,0 м), при допустимой погрешности определения площади - 10%.

В процессе аналитического дешифрирования :

- сопоставляются обнаруженные изменения на землях лесного фонда и материалов отвода,
- устанавливается соответствие границ участка использования лесов нормативным документам,
- вычисляются площади контуров дешифрирования средствами ГИС.

При возникновении сложностей дешифрирования изменений на землях лесного фонда назначается натурная проверка участка с целью исключения ошибок дешифрирования и уточнения площади нарушения лесного законодательства.

Отчеты по мониторингу по субъектам РФ:

- карты-схемы формата А3 (М не мельче 1: 1 000 000).
- альбомы АК изображений лесных участков с выявленными нарушениями лесного законодательства формата А4 (М 1: 10 000).