

Использование индекса растительности (NDVI) как метода контроля за состоянием лесных ресурсов Пермского края

*Черепанова Е.С., Девятков С.Ю.
ГИС-центр ПГУ, ЕНИ ПГУ
Пермь*

Своевременное обеспечение актуальной, оперативной и статистической информацией о состоянии лесных ресурсов создает основу для принятия значимых и качественных решений в процессе устойчивого управления лесами.

Космические снимки в настоящее время являются относительно доступной, оперативной, наглядной и наиболее достоверной картографической информацией, отражающей постоянно изменяющиеся реальные условия. В связи с этим проблема создания системы космического мониторинга, контроля за состоянием лесных массивов и движением лесопродукции, является чрезвычайно важной и актуальной.

Одной из важнейших задач лесного хозяйства является государственный учет лесов. Данные такого учета используются при организации и ведении работ на лесных участках, при переводе земель лесного фонда в земли других категорий, при регистрации прав на лесные участки. Во всех указанных случаях потребители информации требуют предоставления объективных и самых последних данных об объектах лесного фонда, тогда как лесоустройство в лесах России ранее проводилось с интервалом 10–20 лет (сейчас оно во многих районах все больше отстает от этих сроков). В сложившихся обстоятельствах наиболее эффективным способом обновления данных о состоянии лесов является космическая съемка [3].

Основные преимущества космической съемки перед традиционной аэрофотосъемкой лесов:

1. Возможность оперативного получения информации в течение нескольких дней (или даже часов). Такая оперативность необходима, в частности, при контроле над очагами развития лесных вредителей для своевременного проведения истребительных мероприятий.

2. Доступность снимков на разные даты в течение нескольких лет, что обеспечивается автоматическим непрерывным «сбросом» снимков со спутников и их хранением в базе данных. Особую ценность при дешифрировании представляют зимние, летние и осенние цветные снимки одной и той же лесной территории.

3. Доступность снимков разного масштаба и разного пространственного разрешения сразу в цифровом формате, геопривязанных и приведенных к стандартной картографической проекции. Такие характеристики позволяют быстро «подключать» снимки к лесохозяйственным ГИС и базам данных.

4. Возможность бесплатного получения обзорных снимков низкого разрешения и невысокий уровень цен на снимки высокого разрешения вплоть до масштаба 1:25000.

В последнее время рынок космических снимков выгодно отличают снижение цен, обеспечение доступа к снимкам среднего и высокого разрешения сразу с нескольких спутников и не секретность, тогда как высокая стоимость аэрофотосъемки вынуждает лесоустройство заказывать снимки масштаба 1:40 000 (и даже 1:60 000) вместо необходимых снимков масштаба 1:10 000.

Действующая Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России (1994) предусматривает применение космических снимков при решении широкого круга задач, особенно при устройстве малоосвоенных лесов северных и восточных регионов России. За прошедшие 10 лет существенно возросли как технические возможности съемочной аппаратуры, так и возможности дешифрирования в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Все это позволяет эффективно использовать данные съемок из космоса – в том числе, при организации непрерывного лесоустройства с ежегодным внесением изменений в данные государственного учета лесов. Таким образом, космическая съемка в современных реалиях оказалась самым доступным и востребованным видом информации. Основные поставщики космоснимков в Российской Федерации: компания «Сканекс», компания «Совзонд», компания «Ракурс».

Существуют определенные характеристики космических снимков, позволяющие использовать их в мониторинге лесных ресурсов.

Первой и самой главной характеристикой любого космического качественного снимка является его объективность. Каждый космический снимок является документом. Он объективно отражает состояние местности на момент съёмки. Например, определяемые по снимку размер и направление лесосеки никак не зависят от материалов отвода в лесхозе. Подделать снимки практически невозможно, так как съёмку осуществляют различные компании-операторы, и попытки «изменения данных» будут легко обнаружены. По сути, съёмка из космоса даёт возможность независимого и перекрёстного контроля процессов в лесном хозяйстве со стороны различных российских и международных организаций, включая Росприроднадзор и сам Рослесхоз.

Следующей, не менее важной, характеристикой является актуальность космоснимка. Материалы космической съёмки можно получить на различные даты. Как правило, давность архивных снимков среднего разрешения (примерно, масштаба 1:25 000) на лесные районы России не превышает 1–2 года.

Съёмка по заказу со средним или высоким разрешением обычно осуществима в течение нескольких недель [2].

Стоит также отметить такую важную характеристику космоснимка, как его масштабность. Современная съёмка в обзорных масштабах позволяет одновременно снять огромные территории с довольно высокой детализацией. Например, чтобы полностью покрыть территорию Пермского края снимками 30-метрового разрешения со спутника Landsat5, имеющих размеры сцены 140*140 километров, необходимо всего 7-8 сцен.

Кроме этого, участки съёмки никак не привязаны к государственным или административным границам; для проведения съёмки не требуются какие-либо разрешения. Всё это позволяет получать унифицированные данные по состоянию лесов в различных лесхозах, субъектах федерации, «по ту» и «по эту» сторону границ.

В данной работе использовались космические снимки с двух спутников, основные характеристики этих снимков отображены в табл. № 1.

Таблица №1

Спутник/Режим	Спектральный диапазон	Пространственное разрешение	Ширина полосы охвата	Периодичность съёмки
IRS-1C-1D/LISS-3	Зеленый:0,52-0,59 Красный:0,62-0,68 БлижнийИК:0,77-0,86 Средний ИК:1,55-1,70	23,5 м	142 км	24-25 дней
IRS-1C-1D/ PAN	0,5-0,75	5,8 м	70 км	5 дней
LANDSAT-5	Синий 0,45-0,515 Зеленый 0,525-0,605 Красный 0,63-0,690 Ближний ИК 0,75-0,90	30 м	185 км	16 дней

С помощью космических снимков существует возможность решения задач мониторинга лесных ресурсов по следующим основным направлениям:

1. Обнаружение незаконных рубок. Огромный ущерб лесам и экономике России причиняется незаконными порубками леса. В последнее время незаконная заготовка древесины стала осуществляться мобильными группами лесонарушителей, оснащёнными современной лесозаготовительной техникой, радиосвязью и оружием. В борьбе с незаконными рубками решающее значение имеет их оперативное обнаружение. Многие незаконные сплошные рубки могут быть выявлены при сравнении материалов отводов с данными космической съёмки, сделанной за год до рубки и к моменту проверки. Таким образом, оперативная информация, получаемая с космических спутников, позволяет вовремя выявить случаи нарушений без привлечения дорогостоящих вертолётных облётов.

2. Контроль сплошных рубок на официально разрабатываемых участках. Основным видом рубок в России (примерно три четверти от общего объёма) являются сплошные рубки. Правила проведения рубок подробно регламентированы с учетом лесоводственных свойств древесных пород, лесохозяйственных районов и деления лесов на группы.

При проведении рубок должно обеспечиваться своевременное возобновление леса. Для этого новые лесосеки можно располагать сторонами вплотную к вырубленным участкам лишь через несколько лет (от 2 до 8 - так называемый срок примыкания), но допускается касание лесосек своими углами в один и тот же год. Поэтому в местах массовых рубок лесосеки часто располагаются подобно клеточкам шахматной доски [2]. Применение снимков из космоса позволяет быстро и эффективно контролировать виды рубок (выборочные, постепенные, сплошные), площади вырубок, размещение лесовозных дорог, волоков и погрузочных площадок в соответствии с технологической картой разработки лесосеки, выявлять недорубы и перерубы.

3. Рубки в местах запрещённых законодательством. Наличие официальных разрешительных документов на проведение рубки не всегда означает законность рубки как таковой. Примерами такого рода рубок являются многие сплошные рубки в водоохранной зоне рек и озёр, а также на охраняемых природных территориях (государственные природные заповедники, национальные парки, заповедные лесные участки, заказники со строгим режимом). Использование космических снимков позволяет органам охраны природы и общественным природоохранным организациям контролировать соблюдение установленных границ водоохранных зон, а также выявлять незаконные рубки на особо охраняемых природных территориях.

4. Охрана лесов от пожаров. Основной целью мониторинга лесных пожаров является прогнозирование развития горимости лесов и возможности возникновения чрезвычайных ситуаций, вызванных лесными пожарами. Использование космических снимков, их совмещение до и после пожаров дает возможность выявить гари, определить их площади и оценить ущерб, нанесённый лесному хозяйству.

5. Лесопатологический мониторинг представляет собой систему оперативного и постоянного слежения за состоянием лесов, нарушением их устойчивости, повреждением (поражением) вредными организмами, другими природными и антропогенными факторами и за динамикой этих процессов. Его результаты используются для обоснования принятия решений о необходимости проведения лесозащитных работ [6]. Мировой опыт свидетельствует о необходимости широкого применения технологий

дистанционного зондирования (как космических, так и авиационных), спутниковых навигационных систем и технологий ГИС в процессах сбора, обработки и анализа информации о лесных ресурсах. Естественно, в сочетании с данными аэровизуальных обследований и традиционными наземными методами лесопатологических исследований. Этот комплексный подход позволяет собрать большой массив актуальных данных и на его основе создавать точные достоверные карты, характеризующие состояние лесов, применять полученные результаты в процессах ведения государственного лесного кадастра, комплексного учёта и оценки природных ресурсов, управления лесопользованием, особо охраняемыми природными территориями и т.п. [1]

Кроме положительных моментов в использовании космических снимков для решений в лесном хозяйстве, существуют определенные проблемы в использовании данных ДЗЗ. Так, регулярную съёмку территории России производят несколько спутников, но это – спутники с низким пространственным разрешением (250 м и более). Для решения основных задач лесного хозяйства столь низкое разрешение неприемлемо (исключение – обнаружение лесных пожаров). Никакие операторы спутников не ведут в настоящее время сплошную съёмку территории России в среднем и высоком разрешении. Такая съёмка осуществляется на заказ, поэтому данные из архивов фрагментарны во времени и в пространстве. Кроме этого, качество снимков зависит от облачности, от погодных условий. Бывают такие ситуации, когда невозможно покрыть качественными снимками необходимую территорию вследствие того, что на снимках присутствуют облака (продаже подлежат снимки, имеющие 30% и менее процентов облачности), тени от облаков или дымка, что искажает результаты исследований, либо делают эти исследования невозможными на части территории. Также стоит отметить, что бесплатные данные в интернете (включая и проект Google Earth), представляют собой мелкие рекламные фрагменты или снимки значительной давности (более 3 лет).

Отражение растительного покрова в красной и ближней инфракрасной областях электромагнитного спектра тесно связано с его зеленой фитомассой. Для того чтобы количественно оценить состояние растительности, широко применяется так называемый вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). NDVI характеризует также плотность растительности, позволяет растениеводам оценить всхожесть и рост растений, продуктивность угодий. Индекс рассчитывается как разность значений отражения в ближней инфракрасной и красной областях спектра, деленная на их сумму. В результате значения NDVI меняются в диапазоне от -1 до 1. Для зеленой растительности отражение в красной области всегда меньше, чем в ближней инфракрасной, за счет поглощения света хлорофиллом, поэтому значения NDVI для растительности не могут быть меньше 0. NDVI - нормализованный относительный индекс растительности - простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы (обычно называемый вегетационным индексом). Один из самых распространенных и используемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова.

Вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

где, NIR - отражение в ближней инфракрасной области спектра,

RED - отражение в красной области спектра.

Согласно этой формуле, плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленной на сумму их интенсивностей.

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6-0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7-1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. То есть высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с густой растительностью) ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. Отношение этих показателей друг к другу позволяет отделять и анализировать растительные объекты от прочих природных объектов. Использование же не простого отношения, а нормализованной разности между минимумом и максимумом отражений увеличивает точность измерения, позволяет уменьшить влияние таких явлений как различия в освещенности снимка, облачности, дымки, поглощение радиации атмосферой и пр.

NDVI может быть рассчитан на основе любых снимков высокого, среднего или низкого разрешения, имеющим спектральные каналы в красном (0,55-0,75 мкм) и инфракрасном диапазоне (0,75-1,0 мкм).

Расчет индекса для каждого пикселя космического снимка по красной и ближней инфракрасной спектральным зонам позволяет получить производное изображение – карту NDVI, которая часто используется как один из промежуточных дополнительных слоев для проведения более сложных типов анализа. Облачность, снежный покров и водная поверхность имеют большую отражающую способность в видимом диапазоне, чем в ближнем ИК и имеют отрицательные значения NDVI. Обнаженная почва без растительности и различные породы примерно одинаково отражают в 1-м и 2-м каналах, и NDVI для таких

областей лежит вблизи нулевого значения. Площади с большими значениями покрытия растительностью имеют большие значения NDVI. Результатами использования карт NDVI могут являться карты продуктивности лесов и сельскохозяйственных земель, карты типов ландшафтов, растительности и природных зон, почвенные и другие эколого-климатические карты. Так же, на его основе возможно получение численных данных для использования в расчетах оценки и прогнозирования урожайности и продуктивности, биологического разнообразия, степени нарушенности и ущерба от различных естественных и антропогенных бедствий, аварий и т.д.

Для определения наличия изменений в растительном покрове используется процесс получения разностных изображений, который состоит в следующем: пусть имеются два снимка, имеющих одинаковые (или достаточно близкие) по длинам волн наборы спектральных каналов. Необходимо найти отличия путем вычитания значений из одного снимка значений другого, чтобы участки территории, не изменявшие с течением времени своих отражательных спектральных характеристик, имели как можно более значительный контраст по сравнению с участками, которые изменяли свои характеристики. Т.е. из изображения рассчитанного индекса NDVI для каждого пикселя за один год вычитается изображение рассчитанного индекса для каждого пикселя за следующий год. Таким образом, полученное разностное изображение дает возможность анализа изменений, произошедших за тот или иной период времени.

В 2007 году при выполнении проекта «Космический мониторинг состояния лесного фонда» (заказчик - Министерство природных ресурсов Пермского края), был разработан модуль автоматического дешифрирования данных дистанционного зондирования земли. В основе модуля лежит принцип расчета индекса NDVI. В качестве тестовой территории для автоматического дешифрирования был выбран ряд кварталов Вайского участкового лесничества (Вайское лесничество). Это лесничество расположено в северо-восточной части Пермского края в местах интенсивной эксплуатации лесного фонда. Его территория занимает площадь 576543 га. Для проведения исследований были выбраны кварталы, расположенные в южной части участкового лесничества (рис. 1), район населенного пункта Золотанка (Красновишерский район). Данная часть лесничества представляет собой типичный район лесозаготовок для северного Урала, где ярко выражен таежный тип растительности с преобладанием хвойных лесов, а на космоснимке этой территории практически отсутствует облачность и дымка, что значительно облегчает анализ ситуации.

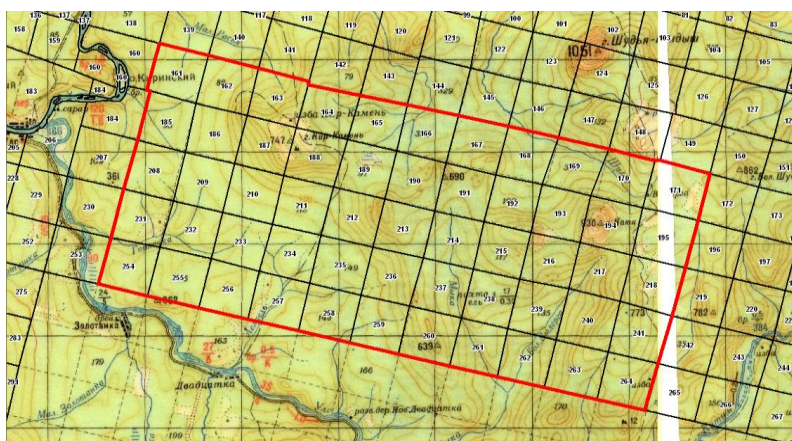


Рис. 1. Исследуемая часть Вайского участкового лесничества

Изменения лесного фонда, произошедшие на территории кварталов за 2006-2007 годы, выявлялись на основе ДДЗЗ полученных со спутников IRS-1C/1D и LANDSAT-5TM. Использовались снимки: RLISS_(D065_024.060627, 2006 г., разрешение – 23 м) и (L5TM_167018_070703, 2007 год, 30 м). Кроме этого, применялся снимок высокого разрешения (RPA_ND065_024A.060627, 2006 г., 6 м). С помощью программного модуля ArcToolbox (ArcGis 9.2), из целых сцен снимков были извлечены территории необходимые для тестового исследования, что позволило увеличить скорость обработки информации.

Разработанный модуль NDVI Calculator предназначен для вычисления масштабированного индекса NDVI для любых многоканальных растровых данных, имеющих информацию об отражении в красной и инфракрасной областях спектра. Расчет снимков разного разрешения возможен благодаря тому, что при вычислении нового растра берутся значения ячеек, ближайшие к центрам ячеек расчетных растров, и в конечном итоге получается растр, имеющий более низкое разрешение из двух представленных. На его расчетах были получены коэффициенты нормализованного разностного вегетационного индекса для 2006 и 2007 годов соответственно. В результате расчета индекса NDVI для снимка RLISS 2006 года получено изображение (Рис. 2), где спектр изображения меняется от светло-серого до темно-серого. Светло-серым оттенкам соответствуют низкие значения индекса, а темно-серым – высокие значения. Таким образом, темно-серые участки изображения соответствуют более густой растительности на местности.

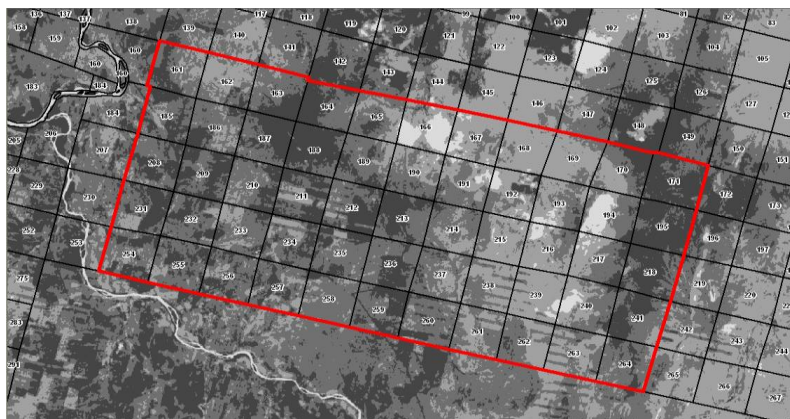


Рис. 2. Изображение рассчитанного индекса NDVI для снимка RLIS (NDVI RLIS)

Изображение расчета NDVI для снимка L5TM представлено на рисунке 3. Здесь же сразу обнаруживаются изменения, произошедшие на исследуемой территории, о чем говорят резкие колебания индекса NDVI в отличие от обработанного снимка 2006 года.

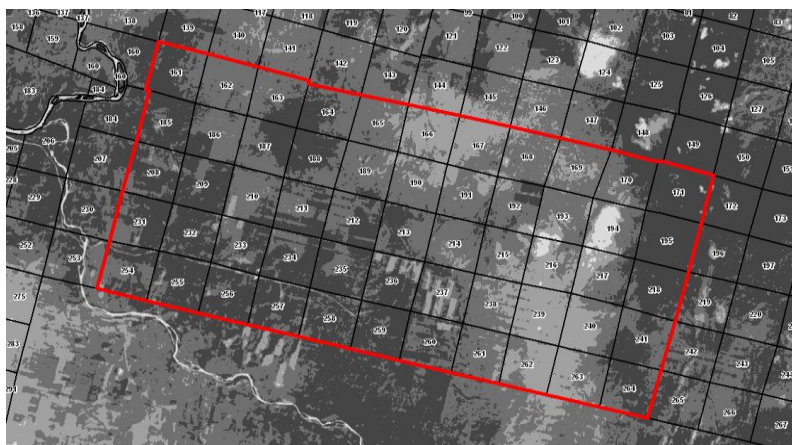


Рис. 3. Изображение рассчитанного индекса NDVI для снимка L5TM (NDVI L5TM)

Вычисление разностного изображения индексов с помощью модуля Spatial Analyst производится по формуле:

$$\Delta NDVI = NDVIRLIS - NDVIL5TM$$

Результат вычисления представлен на рис. 4.

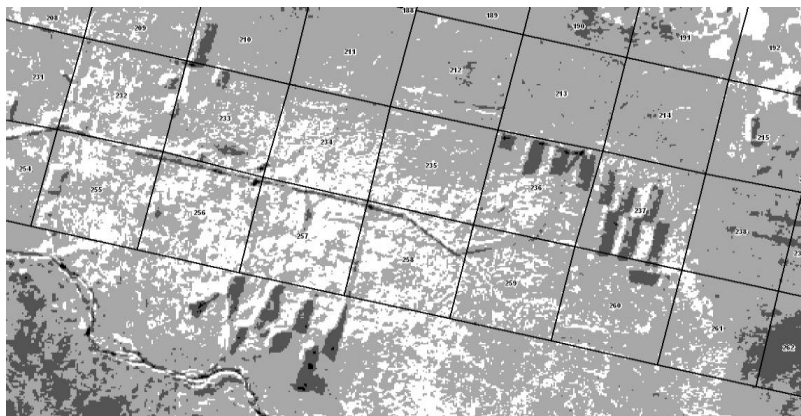


Рис. 4. Изображение подсчитанной разности $\Delta NDVI$

Таким образом, получены изображения изменений на территории Вайского участкового лесничества, произошедших за период с 27 июня 2006 года по 7 июля 2007 года. С помощью модуля Spatial Analyst

программного комплекса ArcGis ESRI растровое изображение измененных площадей преобразовано в векторное изображение и вычислены их основные характеристики.

В процессе исследований авторами сделаны следующие выводы:

В настоящее время основным доступным источником информации для мониторинга лесного фонда в частности и природной среды в целом, являются данные дистанционного зондирования Земли. Данные ДЗЗ являются на сегодняшний день относительно доступной, наглядной и наиболее достоверной картографической информацией, отражающей постоянно изменяющиеся реальные условия.

Для качественной оценки растительности того или иного участка местности применяется нормализованный вегетационный индекс NDVI. Несомненным плюсом использования индекса является его простота вычисления и особенность использования индекса для обработки снимков высокого, среднего или низкого разрешения при условии наличия спектральных каналов в красном и инфракрасном диапазоне. При всех достоинствах, выявляются и главные недостатки использования NDVI-индекса: невозможность использования данных, не прошедших этап радиометрической коррекции (калибровки); погрешности, вносимые погодными условиями, сильной облачностью и дымкой, а также сходства их значений NDVI со значениями NDVI искомым изменений (вырубок, выгоревших участков, участков жизнедеятельности вредителей леса), что увеличивает время отделения изменений, произошедших в результате влияния неблагоприятных факторов от других явлений. Кроме этого, необходимо сравнение полученных результатов с предварительно собранными данными тестовых участков (эталонов), в которых должны учитываться сезонные эколого-климатические показатели, как самого снимка, так и тестовых площадок на момент сбора данных. Особенно значимыми данные материалы становятся при расчетах продуктивности, запасах биомассы и прочих количественных показателях. Также стоит отметить как недостаток возможность использования съемки только времени сезона вегетации для исследуемого региона. В силу своей привязанности к количеству фотосинтезирующей биомассы, NDVI не эффективен на снимках полученных в сезон ослабленной или невегетирующей в этот период растительности.

Для выявления произошедших изменений за определенный промежуток времени существует возможность получения разностного изображения индексов NDVI за два периода. Для этого из изображения индекса NDVI, полученного за более ранний период вычитается изображение индекса за более поздний период. Таким образом, если значение разности между изображениями в определенной его части стремится к нулю, то, следовательно, на данной территории явные изменения растительного покрова отсутствуют. Если же значение разности больше или меньше нуля, то можно наблюдать территориальные изменения. Но чем больше значение разности, тем более резкие изменения произошли на исследуемой территории. Но у этого метода, кроме его очевидных достоинств, также существуют и существенные недостатки: для получения наиболее точных данных желательно иметь сходные условия освещенности и сходные условия съемки космическим аппаратом, а также на снимках должно быть полное отсутствие облаков и дымки и снимки должны быть более точно пространственно привязаны. Всем этим условиям невозможно удовлетворить полностью и одновременно. Кроме этого, разностные начальные изображения отягощены искажениями, присутствие которых устранить невозможно. Необходимо учитывать, что наиболее доступные в настоящий момент среднемасштабные снимки имеют пространственное разрешение 15-30 метров, в то время как часто встречающиеся объекты – лесные и лесовозные дороги имеют ширину 10-15 м, которая не выражается в масштабе снимка. Это приводит появлению «эффекта размывания»: вдоль изображения линейного объекта наблюдаются значительные колебания яркости пикселей. Кроме этого, точное пространственное совмещение снимков таким образом, чтобы два пикселя различных снимков отображали в точности один и тот же участок земной поверхности, недостижимо. Чем хуже пространственное разрешение снимка, тем большие искажения возникают в силу неточного совмещения. Попытка удаления этих погрешностей вручную предпринята авторами после получения конечного разностного изображения, полученного в результате вычитания индексов NDVI за два соседних года.

Таким образом, постоянно улучшаемая и отрабатываемая схема сбора и подготовки данных ДЗЗ к дальнейшему их использованию, позволит избежать множества ошибок при выявлении изменений, а также позволит автоматизировать процесс поиска изменений растительного покрова при минимальном участии человека.

Список литературы.

1. Куртеев В.В. ГИС и дистанционное зондирование в системе лесопатологического мониторинга России. ArcReview, №4 (43) 2007 г. (http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_43/17_Patolog.html)
2. Маслов А.А. Космический мониторинг лесов России: современное состояние, проблемы, перспективы. Лесной Бюллетень, № 31, март, 2006 г. (<http://www.forest.ru/rus/bulletin/31/3.html>)
3. Материалы сайта ИТЦ «Сканекс». www.scanex.ru
4. Материалы сайта <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>
5. Методика создания карт динамики природной среды. (http://www.agiks.ru/data/articles/ddzzsite/methods/index_frmset.htm)
6. Тихонов Н.Ф. Словарь терминов и понятий работника леса. Новосибирск, 2004 г., 608 стр.