

УДК 581.524.31

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ ЛЕСНОГО ПОКРОВА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

© 2016 О.Ю. Бунтова, С.С. Мухарамова

Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Институт экологии и
природопользования, г. Казань (Россия)

Поступила 11.06.2016

По данным космосъемки Landsat анализируются изменения в лесном покрове на заповедной территории, произошедшие за 20 лет. Вероятности изменений определялись тремя методами группы Change Detection. Для наземной заверки использовалась база геоданных лесотаксационных выделов. Наземные данные подтверждают наличие и направленность детектированных изменений.

Ключевые слова: Растительный покров, отражательная способность, вегетационные индексы, данные дистанционного зондирования, методы детектирования изменений.

Buntova O.Y., Mukharamova S.S. Detection of changes of forest cover by remote sensing data. – According to satellite images Landsat analyzes changes in forest cover in the protected area, occurred in 20 years. Probabilities of change is determined by three methods group Change Detection. For the certification of land used geodatabase inventory areas. Ground data confirm the presence and orientation of the detected changes.

Key words: the vegetation cover, reflectance, vegetation indices, remote sensing data, methods of detecting changes.

Лесные сообщества являются одними из сложнейших образований биоты. За счет постоянных процессов взаимовлияния всех компонентов лесного сообщества даже на короткий срок лесной биогеоценоз не остается неизменным. Следует отметить, что и среда, окружающая биогеоценоз, изменяясь сама, провоцирует изменения в сообществе. Для изучения таких изменений могут привлекаться данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗЗ). Основная цель работы – исследование возможности детектирования и оценки эндогенных процессов, проходящих в лесном покрове, по данным космосъемки.

Дистанционные методы исследования природных объектов базируются на анализе характерного признака растительности и ее состояния – спектральной отражательной способности, ее различиях для разных длин волн. Для работы со спектральной информацией, получаемой с помощью космосъемки, используют

Доклад представлен на III международной конференции «Инновационные подходы к обеспечению устойчивого развития социо-эколого-экономических систем» (Самара-Тольятти, 15-17 июня 2016 г.).

Бунтова Ольга Юрьевна, магистрант; *Мухарамова Светлана Саясовна*, кандидат биологических наук, доцент

«индексные» изображения. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, несущих информацию для выделения исследуемого объекта, и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов (Черепанов, 2011). Для большей части вегетационных индексов расчет основан на красной (0,62-0,75 мкм) и ближней инфракрасной (0,75-1,3 мкм) зонах спектра, как двух наиболее стабильных участках кривой спектральной отражательной способности растений. Говоря о вегетационных индексах, зачастую подразумевают индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Этот индекс использует контраст характеристик двух каналов – поглощения пигментом хлорофилла в красном канале и высокой отражательной способности растительного сырья в инфракрасном канале (NIR) (Clements, 1916).

Областью исследования в данной работе выбрано Раифское участковое лесничество Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника. Площадь заповедной территории около 6 000 га, более 90% которой занимают леса. Здесь встречаются все основные лесные экосистемы таежной, хвойно-широколиственной и широколиственной природных подзон, при этом их распространение создает имитацию широтной зональности лесной зоны Европейской части России.

В качестве данных наземного изучения лесной растительности нами были взяты лесотаксационные описания Раифского участка ВКГПБЗ от 1993 г. и от 2013 г. (Таксационное описание..., 2003, 2013)

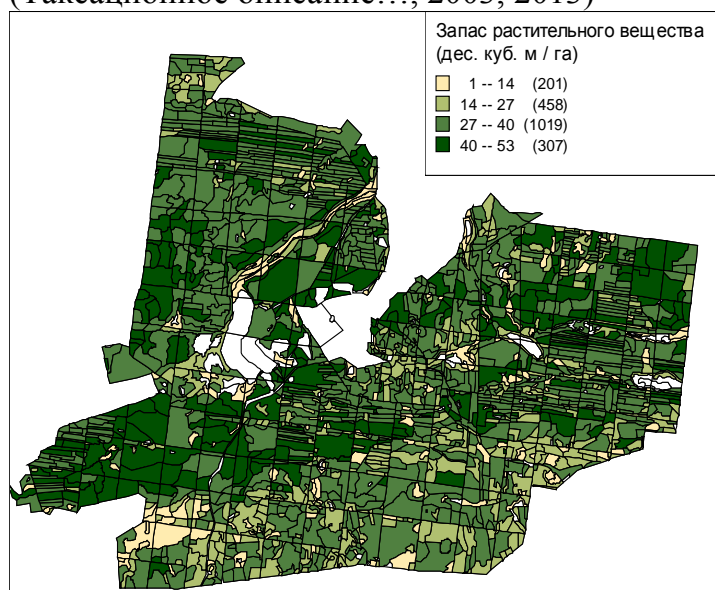


Рис. 1. Карта лесотаксационных выделов Раифского участка ВКГПБЗ за 2013 г.

Данные лесотаксации 1993 г. были представлены в виде базы геоданных, а для лесотаксации 2013 г. база геоданных создавалась автором. Был создан векторный слой лесотаксационных выделов 2013 г., который содержит 2133 полигональных объекта. Для каждого объекта слоя введена атрибутивная информация: номер квартала, номер выдела, запас сырой растительности (дес. м³/га). На рис. 1 показано распределение запаса растительного вещества на территории Раифского участка ВКГПБЗ.

Для оценки изменений лесного покрова по ДДЗЗ в качестве спутниковых данных были выбраны продукты съемки спутников Landsat 5 (TM) и Landsat 7 (ETM+). Для анализа было сформировано 3 пары снимков Landsat разных лет, одного сезона (полученных примерно в одну фенологическую дату) (табл.1). В каждой паре первый снимок приближен по дате к лесотаксации 1993 г., второй снимок – к лесотаксации 2013 г.

Даты пар анализируемых снимков Landsat

1	22 июня 1987 г.	21 июня 2010 г.
2	12 июня 1995 г.	8 июня 2014 г.
3	31 августа 1995 г.	6 сентября 2009 г.

Для выявления изменений лесного покрова на основе спутниковых изображений одной и той же территории за различные даты использовались методы группы Change Detection («вычитание», метод главных компонент (PCA), метод многоканального обнаружения изменений (MAD)) (Lillesand et al., 2004; Song, 2001). Для реализации обработки была создана программа на языке R. Программа в цикле загружает каждую пару снимков и их метаданные, пересчитывает значения Digital Numbers в значения коэффициентов отражения с использованием метаданных снимков, вычисляет значения NDVI в каждом пикселе снимков, применяет маску облаков, строит регрессию первого раstra на второй (для удаления возможного влияния фенологической составляющей) и последовательно применяет три метода Change Detection: «вычитание», PCA и MAD.

Для первых двух методов в каждом пикселе результаты пересчитывались в вероятность изменения с использованием формулы:

$$p = 2 \times \left| 0.5 - F\left(\frac{r - m_r}{s_r}\right) \right|,$$

где r – результат вычитания (для первого метода) или вторая главная компонента (для второго метода), m_r – среднее значение результата, s_r – среднее квадратическое отклонение, F – функция нормального распределения.

Для многоканального метода вероятность изменения в пикселе определялась с помощью функции распределения χ^2 :

$$p = \chi^2 \left(\sum_{i=1}^n \frac{MAD_i}{s_i} \right),$$

где n – число каналов, MAD_i – n компонент метода, s_i – среднее квадратические отклонения.

На картах с результатами детектирования различными методами отчетливо видны высокие значения вероятности изменений на границе неморальных и бореальных лесов (рис.2, d-f). При этом отрицательные значения разности NDVI между более ранним снимком и снимком, приближенным по дате к 2013 г., указывают на увеличение значений вегетационного индекса на выделах, находящихся на этой границе (рис.2, с).

Далее оценивалось согласие результатов детектирования по космоснимкам изменений лесного покрова Раифского заповедника и наземных данных (лесотаксационных описаний). Наземные данные подтверждают наличие и направленность изменений. Формула древостоя на выделах, попадающих на данную границу, изменилась в сторону увеличения доли липняков различных типов, происходит выпад ели, старых сосен, светолюбивых берез и осин (табл. 2). Липа подавляет другие виды деревьев за счет своей неприхотливости: она менее требовательна к влаге по сравнению с елью, а также менее чувствительна к почвенному плодородию в сравнении с другими широколиственными породами, такими как дуб (Рогова и др., 2005).

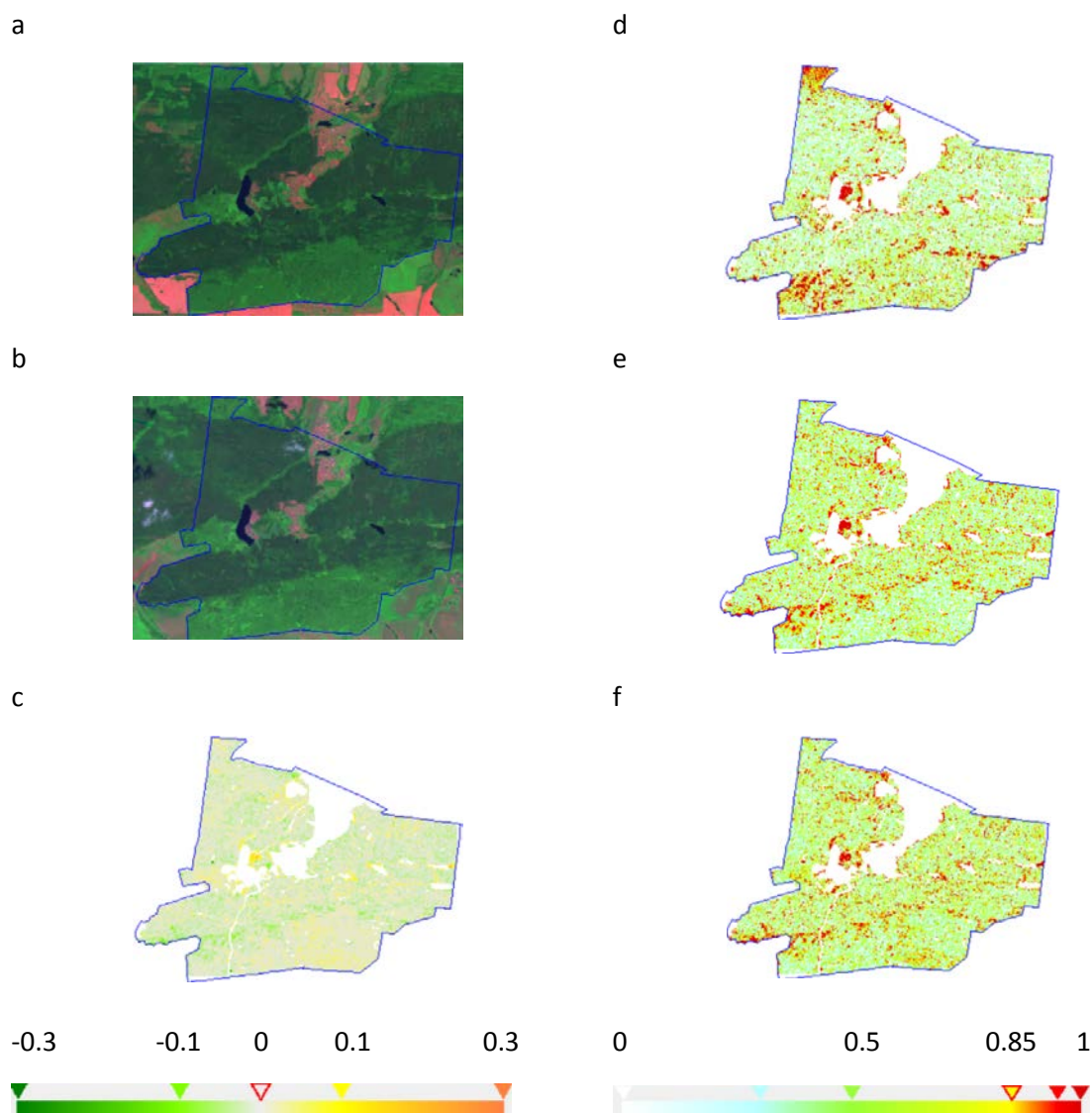


Рис. 2. Результаты детектирования изменения лесного покрова территории Раифского заповедника по данным Landsat от 12.06.1995 г. и 08.06.2014 г.:
 a – RGB-синтез снимка от 12.06.1995 г., b – RGB-синтез снимка от 08.06.2014 г., c – разность NDVI, d – вероятность изменений по методу MAD, e – вероятность изменений по методу PCA, f – вероятности изменений по методу «вычитание»

В целом, анализируя природно-территориальные комплексы Раифского участка ВКГПБЗ, можно проследить определенные тенденции динамики растительности. Еще в 1968 г. В.С. Порфирьев (1968) отмечал, что в Раифе идет процесс смены сосны елью, сложные сосняки постепенно превращаются в смешанные елово-широколиственные леса. Он писал, что дальше всего этот процесс продвинулся на верхней террасе, где произошло полное выпадение сосны и формирование липняков с елью. Это явление стали называть «неморализацией».

Граница неморальных и бореальных лесов располагается вдоль древней овражно-балочной сети. Поскольку балки являются элементарными ландшафтами аккумулятивного типа, то там происходит активное накопление вещества (лесного опада и проч.), что, соответственно, увеличивает количество гумуса и плодородие почв. Именно увеличение плодородия почв приводит к увеличению доли широколиственных видов. Таким образом, граница между неморальными и

бореальными лесами является самой динамичной частью Раифского заповедника, представляя собой экотонную зону.

Таблица 2

Формула древостоя для выделов, находящихся на границе неморальных и бореальных лесов, по данным лесотаксации 1993 г. и 2013 г.

ЛТО 1993		ЛТО 2013	
id выдела	формула древостоя	id выдела	формула древостоя
75004	5С1Е4Б	75003	4С2Е2ЛП1Б1ЛП+КЛ
75005	0.5С0.5Е8.5Б0.5ЛП	75007	5ЛП1КЛ1Я1ЛП1Б1С+Е 1
74006	1С0.5Е7.5Б0.5ЛП0.5В	74006	5Б2ЛП3С (1ярус), 6ЛП2КЛ2ЛП (2 ярус)
64003	8С1Е1ЛП	64002	6С1Е2ЛП1Б
64004	8С1Е1ЛП	64003	5С1Е3ЛП1Б
53003	0.5Е3Б3ОС3.5ЛП	53002	8ЛП2Е
43023	7С3Е	43021	10С+Е+ЛП
44007	9С1Е	44006	5ЛП2Б1Е2С
55004	5С2Е1Б1ЛП	55003	4С1Е5ЛП+Б
55010	2С4Е3.5Е0.5ЛП	55010	6ЛП2ЛП1Б1С+Е
128018	4С1Е4Б1ЛП	128016	6ЛП3С1Е+Б
56003	2С6Е1Б1ЛП	56003	6ЛП1ЛП1Б2С+Е

Для количественной оценки согласия результатов детектирования и наземных данных была построена многомерная выборка, где для каждого пикселя исследуемой территории содержится информация:

- вероятности изменений в пикселе, полученные тремя методами Change Detection по трем парам космоснимков;

- оценка изменения запаса растительного вещества на единицу площади за период с 1993 по 2013 гг.

В качестве меры согласия использовался коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Вероятности изменений, даваемые всеми тремя методами, для анализируемых пар снимков показывают слабую (но значимую, достигаемый уровень значимости <0.05) положительную корреляцию с приростом запаса сырой растительности. То есть можно сказать, что методы реагируют очень слабо на изменения продуктивности, а именно на изменение запаса сырой растительности.

Таким образом, по результатам анализа пар космоснимков на изучаемой территории выявляются определенные тенденции динамики растительности в зоне перехода от неморальных лесов к бореальным. Количественное подтверждение правильности такого вывода, а именно вывода о смене преобладающих на выделах в этой зоне древесных пород, будет возможно после доработки базы геоданных за 2013 г. – ввода данных по формулам древостоя на выделах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Порфирьев В.С. Растительность Раифы // Тр. Волжско-Камского гос. заповедника. Вып. 1. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1968. С. 106-136.

Рогова Т.В., Мангутова Л.А., Любина О.А., Фархутдинова С.С. Классификация растительного покрова Раифского участка Волжско-Камского заповедника на ландшафтно-экологической основе // Тр. Волжско-Камского гос. природного заповедника. Вып. 6. Казань, 2005. С. 213-240.

Таксационное описание Раифского участкового лесничества ВКГПБЗ / Казанский филиал ФГУП «Рослесинфорг». Казань, 2003. – **Таксационное описание** Раифского участкового лесничества ВКГПБЗ / Казанский филиал ФГУП «Рослесинфорг». Казань, 2013.

Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика, 2011 № 2. С. 98-102. URL:http://geomatika.ru/archives/2011_02.html (дата обращения: 02.2015).

Clements F.E. Plant succession: an analysis of the development of vegetation / Carnegie Inst. of Washington, Publ. No. 222. 1916. XIII+512 p.

Lillesand T.M., Klefer R.W., Chipman J.W. Remote sensing and image interpretation // New York: Wiley, 2004. 763 p.

Song C., Woodcock C.E., Seto K.C., Lenney M.P., Macomber S.A. Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? // Remote Sensing of Environment. 2011. Vol. 75. P. 230-244.