

Анализ возможности определения запасов древесных пород по спутниковым данным Landsat ETM

Е.Н. Сочилова, Д.В. Ериков

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов Российской академии наук
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: elena@ifl.rssi.ru

В работе изучается возможность использования данных оптических спутниковых систем Landsat для определения запасов стволовой древесины лиственницы и осины. Анализ проводился методом восстановления регрессионных зависимостей между значениями спектральной яркости в красном канале изображений Landsat и таксационными характеристиками по данным лесоустройства. Уровень взаимосвязи между данными показателями составил, соответственно 0,83 (для лиственницы) и 0,79 (для осины).

Ключевые слова: запасы стволовой древесины, дистанционное зондирование, лесное хозяйство.

Краткий обзор состояния вопроса

В настоящее время важным условием успешного ведения лесного хозяйства является наличие актуальной информации о состоянии и динамике лесных ресурсов территории активного лесопользования. Спутниковые изображения используются для оценки площади лесов, лесистости территории, сомкнутости древесного полога, доли погибших насаждений от лесных пожаров, болезней леса, ветровалов и вырубок. На сегодняшний день в мире активно разрабатываются методы оценки высоты, диаметра, объема стволовой древесины по данным различных спутниковых систем в комбинации с наземными измерениями.

В зависимости от измеряемого параметра применяют разные методы тематической обработки изображений. Покрытую лесом площадь и лесистость территории оценивают с использованием методов тематической классификации спутниковых изображений. Метод подпиксельного анализа на основе декомпозиции спектральных смесей в комбинации с опорными наземными измерениями подходит для оценки количества деревьев на единицу площади (*Vohland et al.*, 2007). При комплексном использовании результатов спутникового картографирования лесов, материалов Государственного учета лесного фонда и конверсионных коэффициентов перерасчета таксационных запасов в фитомассу (Замолодчиков и др., 2003) возможна интегральная оценка запасов биомассы основных лесообразующих пород на федеральном уровне.

В последние годы активизировались работы по изучению возможности применения радарных спутниковых систем для оценки количественных характеристик лесов, и в частности, такого показателя как запас стволовой древесины основных лесообразующих пород. В рамках проектов SIBERIA („SAR Imaging for Boreal Ecology and Radar Interferometry Applications“) и ZAPAS („Assessment and Monitoring of Forest Resources“, программы Европейской Комиссии) проводились научно-исследовательские работы по использованию данных радара с синтезированной апертурой SAR. Снимки обрабатывались совместно с данными наземных обследований, материалов лесоустройства и оптических спутниковых систем для классификации запасов стволовой древесины лесов Центральной Сибири ([Электронный ресурс] // – Режим доступа: <http://www.siberia1.uni-jena.de/>). В результате была получена карта с пространственным распределением четырех классов запасов лесов на территории Центральной Сибири.

Оценка запасов древостоев с использованием оптических спутниковых систем основывается на комбинации наземных измерений запасов стволовой древесины, зеленых фракций древостоев и многовременных спутниковых измерений. Для оценки биомассы по космиче-

ским изображениям возможно использование различных методов моделирования, представляющих собой восстановление регрессионных зависимостей между спектральной яркостью породы в каналах спутникового изображения или их комбинации (NDVI и т.п.) и измерений на земле запасов биомассы зеленых фракций в кронах деревьев. Ведутся также работы по определению взаимосвязей между вегетационными индексами и запасами биомассы листвы/хвои, высотой, диаметром, объемом стволовой древесины породы (Foody *et al.*, 2003; Franklin, 1986; Jakubauskas, Price, 1997; Roy, Ravan, 1996).

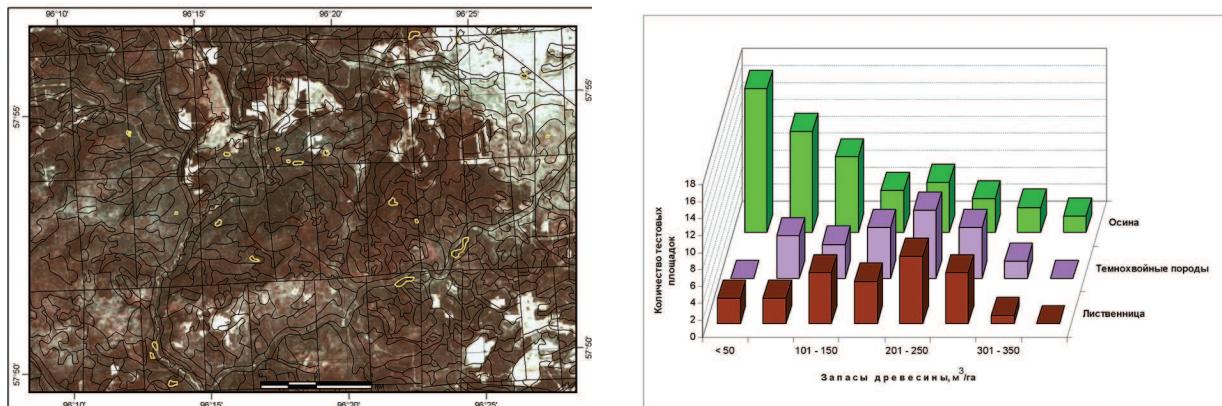


Рис. 1 (а) Участки опорных и контрольных площадок на космическом изображении Landsat 7/ETM+ (24 апреля 2010 г., Красноярский край, Чунское лесничество);
 (б) Гистограммы распределения запасов для трех пород

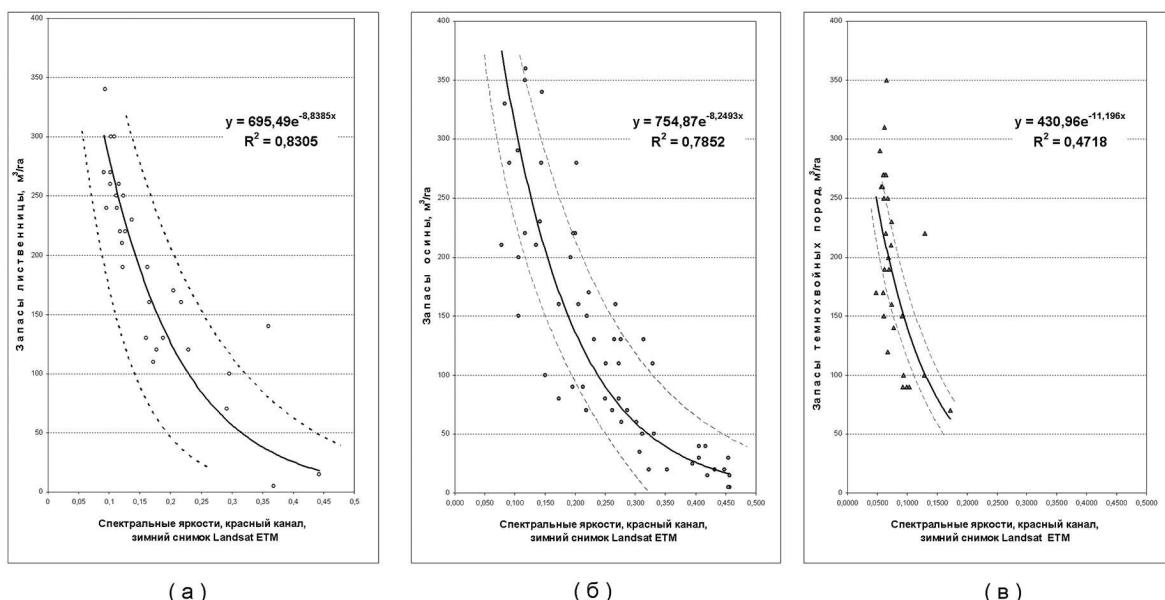
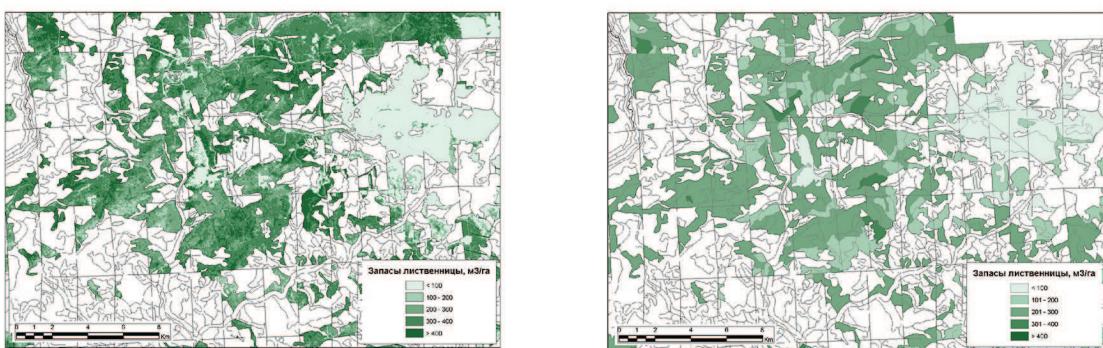


Рис. 2. Зависимость спектральной яркости красного канала Landsat ETM+ и таксационных запасов стволовой древесины для лиственницы (а), осины (б) и темнохвойных пород (в)

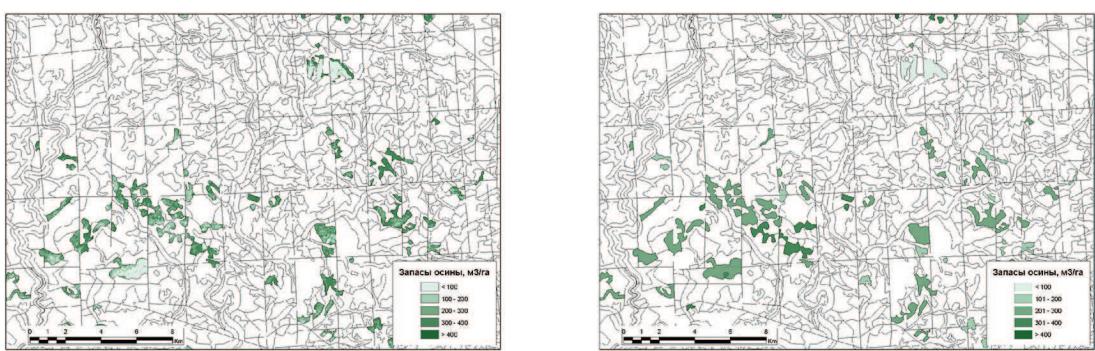
Методика исследований и анализ результатов

Цель нашей работы – изучить возможность оценки по изображениям Landsat запасов стволовой древесины листвопадных пород методом восстановления регрессионных зависимостей между спектральными яркостями на изображениях и таксационными характеристиками по данным лесоустройства. В качестве исходных материалов использовались зимние сцены Landsat-7/ETM+ (24 апреля 2010 г.) и база данных по выделам Чунского лесничества Красноярского края ($57,7^\circ$ с.ш., $96,5^\circ$ в.д.).

Лиственница



Осина



(а)

(б)

Рис.3. Карты запасов лиственницы и осины по данным дистанционного зондирования (а) и таксации (б)

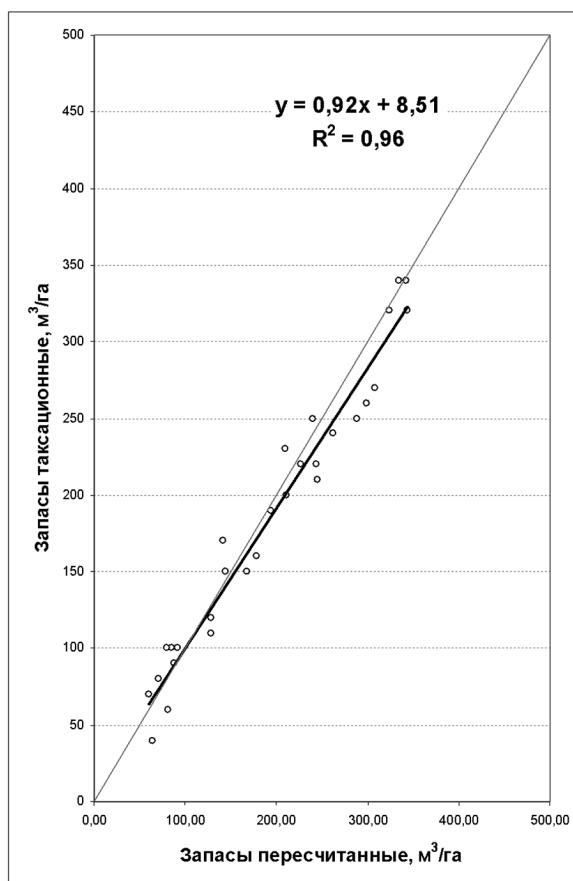


Рис. 4 а. Проверка соответствия запасов пересчитанных запасам таксационным для лиственницы

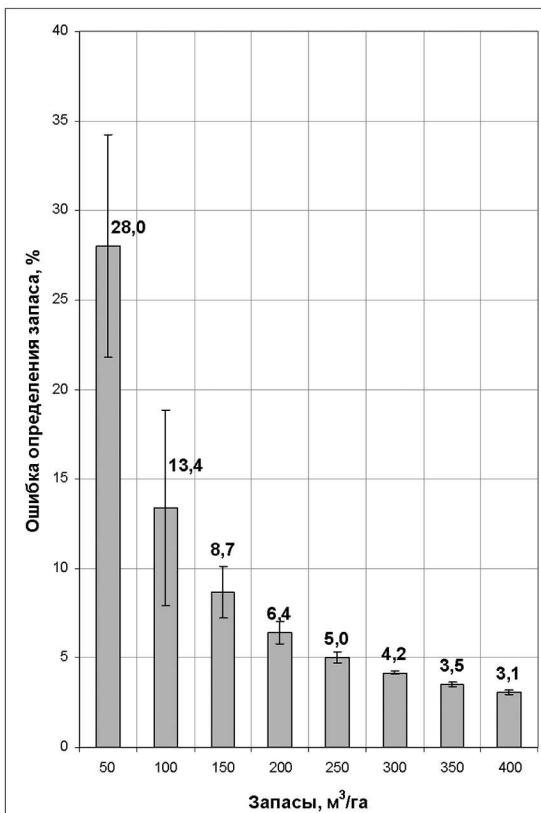


Рис. 4б. Относительная средняя ошибка оценки запасов лиственницы

Следует отметить, что данные дистанционного зондирования спутников серии Landsat, проходят первичную обработку, включающую радиометрическую коррекцию и масштабирование полученных значений на шкалу возможных значений яркости элемента изображения. Для камеры TM (ETM+) – это диапазон [0-255], т.е. 256 возможных значений. Для большинства методов тематического анализа данных дистанционного зондирования (например, при классификации изображения) используются масштабированные значения без радиометрической и атмосферной коррекции. Однако, при комплексной обработке данных различных спутниковых систем (например, Landsat TM-ETM+, SPOT и т.д.) для количественной оценки характеристик лесов необходимо привести значения к единым физическим характеристикам. Это достигается за счет преобразования данных в абсолютные безразмерные значения отражения (reflectance) в диапазоне от 0 до 1, которые характеризуют отношение количества поступившего на объект потока солнечных лучей и количество света им отраженного (Markham et al., 1986).

Исследования спектрально-отражательных яркостей лесов проводились в диапазоне 0,63 – 0,69 мкм, соответствующему линии поглощения света живой растительностью («хлорофилловая яма»). На этот диапазон приходится максимум поглощения хлорофилла – пигмента в листьях деревьев, определяющего процесс фотосинтеза. Однако в зимний период, когда листва / хвоя отсутствует в пологе древостоя, а земная поверхность покрыта снегом, этот диапазон может использоваться для оценки плотности стволов деревьев за счет интенсивности отраженных от снега солнечных лучей в межкроновых пространствах. Наилучшим образом эти зависимости могут быть получены для листопадных древесных пород с минимальным составом хвойных вечнозеленых насаждений в пологе и под пологом древостоя. Полученные нами результаты исследований для хвойных пород подтверждают вышеуказанные предположения. В связи с этим исследования были направлены в основном на анализ зависимости спектральной яркости красного канала и запаса стволовой древесины таких пород как лиственница и осина, доминирующие в лесах тестового участка.

Методика исследований базируется на этапах формирования по данным лесоустройства опорной и контрольной выборки участков лесных пород с различным запасом стволовой древесины, определения средних значений спектрально-отражательных яркостей лесных пород, восстановление и анализ регрессионных зависимостей значений спектральных яркостей лесных пород и их таксационных запасов.

Тестовые площадки на изображении в соответствии с таксационной базой данных для хвойных, лиственничных и осиновых насаждений выбирались таким образом, чтобы отразить наибольший диапазон значений запасов древесины (рис. 1). Для 32 тестовых площадок по хвойным породам (в большинстве случаях это смеси ели, пихты и кедра), 59 площадкам по лиственным (в основном присутствует осина с примесями березы) и 32 площадкам по лиственнице рассчитывались средние значения отраженного излучения. В среднем площади участков составляют $3 \pm 2,5$ га. Были получены уравнения связи между спектрально-отражательными яркостями деревьев каждой породы и таксационными запасами стволовой древесины для тестовых площадок внутри однородных участков леса (выделов). Уровень взаимосвязи между данными показателями составил, соответственно, 0,47 (для хвойных пород), 0,83 (для лиственницы) и 0,79 (для осины). Вид взаимосвязи носит экспоненциальный характер (рис. 2). На графиках пунктирной линией отражена область значений спектральных яркостей площадок с различными запасами древостоя в границах доверительного интервала 0,95.

По коэффициентам уравнений регрессии значения спектральной яркости были пересчитаны в запасы стволовой древесины лиственницы и осины для всего спутникового изображения (рис. 3). Проверка соответствия пересчитанных запасов лиственницы с таксационными данными показала хороший уровень сходимости результатов (рис. 4а).

Для оценки точности определения запаса лиственницы, была построена зависимость среднего отклонения запаса, рассчитанного по спутниковым изображениям Landsat, от ее фактического значения по данным таксации (рис. 4б). Полученная зависимость показывает, что при малых значениях запасов (до 50 м³/га) насаждения ошибки составляет $28\% \pm 6,2\%$, что может характеризовать предельные возможности красного канала съемочной системы. Оценка запасов от 50 до 100 м³/га производится с ошибкой $13,4\% \pm 5,4\%$. Точность определения запасов лиственницы в диапазоне от 100 до 150 м³/га по данным Landsat составляет $8,7\% \pm 1,4\%$. Для запасов более 150 м³/га ошибка не превышает 7%.

Таким образом, оценка запасов стволовой древесины лиственных пород и лиственницы от 100 м³/га и выше может проводиться с ошибкой не более 20% по оптическим спутниковым системам в сочетании с данными наземных обследований или материалов лесоустройства. Предпочтительным при этом является использование красного канала спутникового изображения Landsat, полученного до начала таяния снежного покрова.

Литература

1. Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Честных О.В. Коэффициенты конверсии запасов насаждений в фитомассу для основных лесообразующих пород России // Лесная таксация и лесоустройство. Сиб. государ. техн. ун-т. 2003. Вып. 1(32). С. 119 – 127.
2. Jakubauskas M.E., Price K.P. Empirical relationships between structural and spectral factors of Yellowstone lodgepole pine forests // Photogr. Eng. Remote Sen. 1997. 63 (12). P. 1375–1381.
3. Foody G.M., Boyd D.S., Cutler M.J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions // Remote Sens. Environ. 2003. 85. P. 463–474.
4. Franklin J. Thematic mapper analysis of coniferous forest structure and composition // Int. J. Remote Sens. 1986. 7 (10). P. 1287–1301.
5. Markham B.L. and Barker J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and at-satellite temperatures // Earth Observation Satellite Co., Lanham, MD Landsat Technical Notes, Volume 1, No. 1, August 1986, P. 3–8.

6. Roy P.S., Ravan S.A. Biomass estimation using satellite remote sensing data: an investigation on possible approaches for natural forest // *J. Biosc.* 1996. 21 (4). P. 535–561.
7. Vohland M., Stoffels J., Hau C., Schüller G. Remote sensing techniques for forest parameter assessment: multispectral classification and linear spectral mixture analysis // *Silva Fennica*. 2007. 41(3). P. 441–456.

Possibility analysis of stem volume of forests assessment using Landsat ETM data

E.N. Sochilova, D.V. Yershov

*Center for Problems of Forest Ecology and Productivity
117997 Moscow, 84/32 Profsoyuznaya str.
E-mail: elena@ift.rssi.ru*

We studied the Landsat data using possibilities for stem volume assessment of such species as larch and aspen. Analysis of relationship was based on correlation definition between forest specie reflectance in a red band of the winter imagery and its stem volume, derived from forest inventory data. The level of relationship between those parameters is 0.83 and 0.79 for larch and aspen, accordingly.

Keywords: forests stem volume, remote sensing, forestry.