

### **7.2.5. Количественная оценка запасов стволовой древесины лесов заповедника «Брянский лес» по спутниковым данным**

*Ершов Д.В.<sup>1</sup>, Гаврилюк Е.А.<sup>1</sup>, Горнов А.В.<sup>1,2</sup>, Сочилова Е.Н.<sup>1</sup>*

*<sup>1</sup> – Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, <sup>2</sup> – заповедник «Брянский лес»*

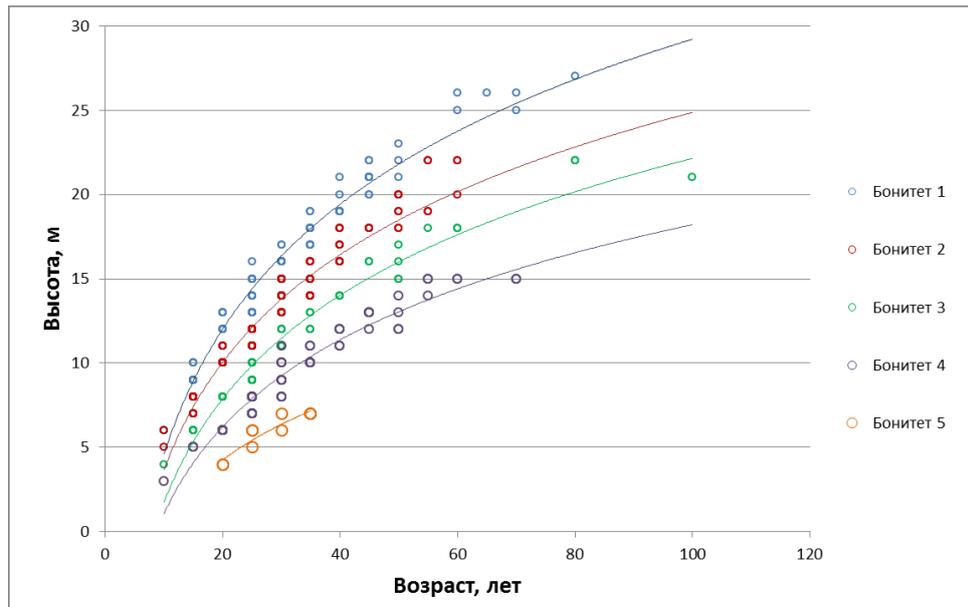
Цель исследований – изучить взаимосвязи спектрально-отражательных свойств лесного покрова и таксационных характеристик доминантов древесного полога и провести анализ возможности определения запасов стволовой древесины лесов с помощью спутниковых данных. Работы выполнялись на территории государственного биосферного заповедника «Брянский лес».

Методика подготовки данных для установления статистических взаимосвязей описана в работе (Сочилова, Ершов, 2012). В соответствии с методикой в качестве опорной и контрольной выборки используются таксационные данные с характеристиками лесов по выделам заповедника. В связи с тем, что часто наблюдаются пространственные несовпадения границ выделов с лесными участками на спутниковом изображении, нами, в рамках текущих исследований, доработана методика в части формирования опорной и контрольной выборки. Для повышения пространственной точности отобранных данных предварительно проводилась сегментация спутниковых изображений, границы которых использовались для формирования опорных спектрально однородных лесных участков внутри таксационных выделов. В границах отобранных сегментов рассчитывались средние значения и стандартное отклонение спектральных яркостей лесного участка в спектральном диапазоне 0,63-0,69 мкм («красный канал» прибора OLI спутника Landsat-8). Этот диапазон характеризуется максимальным поглощением 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 потока солнечной радиации в межкрупных пространствах. Наилучшим образом эти зависимости могут быть получены для листопадных древесных пород с минимальным составом хвойных вечнозеленых насаждений в пологе и под пологом древостоя.

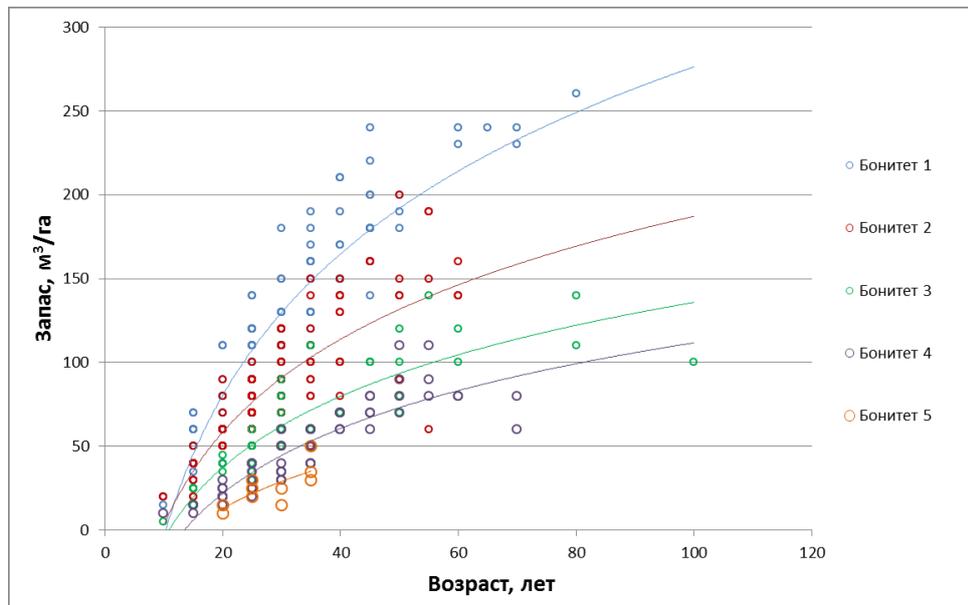
Для каждой породы модельного региона формировался набор выделов с характеристиками запаса и их спектральными характеристиками. Отбор выделов проводился на основе анализа распределения пород по полноте, возрасту и бонитету. По возможности выбирались выдела с преобладанием одной породы более 7 единиц в составе насаждения (70% преобладание породы по запасу), по возможности охватывающих весь диапазон полноты и возрастов исследуемой породы.

Дополнительные сложности при выборе опорных выделов были вызваны годом создания материалов лесной таксации (2006 год). За этот период могли произойти изменения в категории земель и породно-возрастной структуре лесного покрова. В связи с этим, по космическим снимкам выполнялся контроль перехода лесов в другие категории земель, связанных с вырубками, и другими деструктивными воздействиями. При выборе опорных и контрольных выделов также контролировались взаимосвязи таких таксационных показателей как возраст и высота, возраст и запас породы различного бонитета. Пример такого контроля приводится на рисунке 7.2.5.2.

В тех случаях, когда характеристики насаждения сильно отклонялись от известных взаимосвязей, указанных выше показателей, выдела исключались из последующего анализа. Так как бонитет, характеризующий условия местопроизрастания лесных пород, невозможно определить по спутниковым изображениям, то в анализе использовались выдела с доминирующими в заповеднике бонитетами. Для этого были определены площади выделов березы по каждому бонитету, на основе которых определено средневзвешенное значение бонитета. В результате расчетов средневзвешенный на площадь бонитет составил 2,1. Таким образом, все оценки запасов берёзы использовались выдела с бонитетом 2.



(а)



(б)

Рис. 7.2.5.2 Контроль зависимости (а) средней высоты и (б) относительного запаса березы на выделе по таксационным показателям для формирования опорной и контрольной выборки

Сформированный набор опорных выделов (сегментов) использовался для оценки связи запаса породы с ее спектрально-отражательными яркостями в выделе. В рамках исследований текущего года отобраны 135 выделов (сегментов) с преобладанием березы (более 9-ти ед. состава). Вид восстановленной связи

спектрально-отражательных яркостей их с характеристикой запаса представлен на рисунке 3.

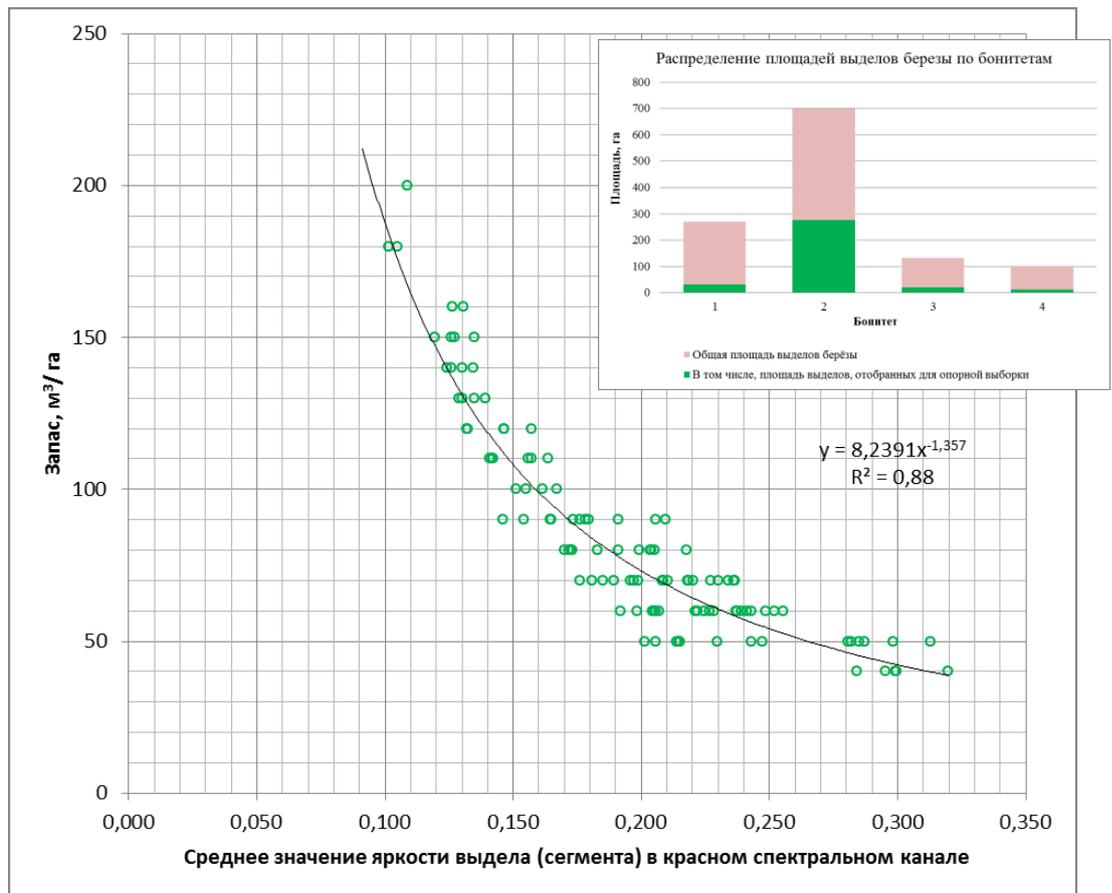


Рис. 7.2.5.3 Вид восстановленной связи спектрально-отражательных яркостей выделов с характеристикой запаса березы модельного региона

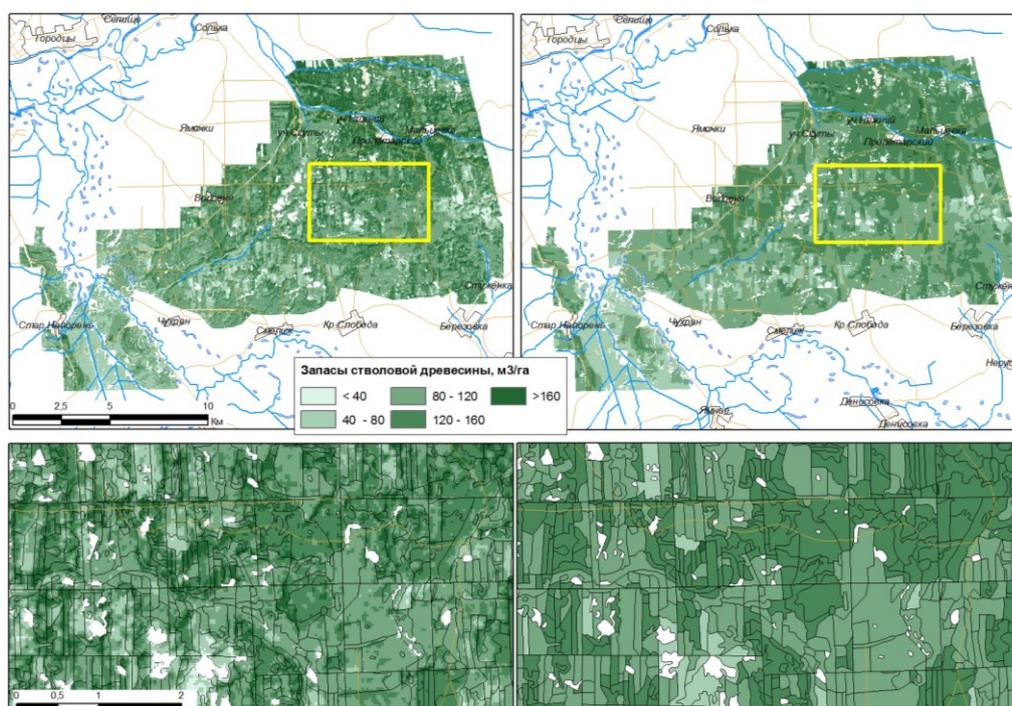
Вид взаимосвязи носит нелинейный (степенная функция) характер. По коэффициентам уравнений регрессии значения спектральной яркости пикселей спутникового изображения пересчитываются в запасы стволовой древесины березы. Полученная карта представлена на рисунке 7.2.5.4.

Экспресс анализ точности рассчитанных запасов березы по коэффициентам уравнения (рис. 7.2.5.4) показал следующее. При небольших значениях запасов (до 60 м³/га) модель приводит к занижению показателей запаса, что на наш взгляд, требует дополнительной проверки и вероятно связано с недостаточно хорошей настройкой модели взаимосвязи запаса со спектральными характеристиками березы на снимках. Для высоких значений запасов березы наблюдается обратная картина, а именно значительное завышение запаса. В абсолютных показателях отклонение запаса составляет ±18,36 м³/га, соответствующее свободному члену

регрессионного уравнения (рис. 7.2.5.5). В относительных значениях ошибка составляет около 20% для всего диапазона запасов.

На следующем этапе исследований планируется исследовать возможность оценки запасов других древесных пород с использованием спутниковых данных, а также протестировать регрессионные зависимости на уровне субъекта (Брянская область), чтобы понять степень универсальности и адаптивности предлагаемого подхода в целом по субъекту.

Исследована возможность оценки запаса стволовой древесины на основе комбинации спутниковых высокого пространственного разрешения и наземных (лесотаксационных) данных в лесах европейского модельного объекта (Заповедник «Брянский лес»). Анализ проводился методом восстановления регрессионных зависимостей между спектральными яркостями красного канала на изображениях и таксационными характеристиками материалов лесоустройства. Полученные результаты сравнивались с данными контрольной выборки из материалов таксации. Развитие метода будет направлена на настройку связей спектрально-отражательных характеристик всех доминирующих в регионе древесных пород, а также возможность оценки характеристики запаса на уровне субъекта.



(a)

(б)

Рис. 7.2.5.4 Карта запасов лесов заповедника «Брянский лес» по данным спутника Landsat-8 (а) и по материалам лесоустройства (б)

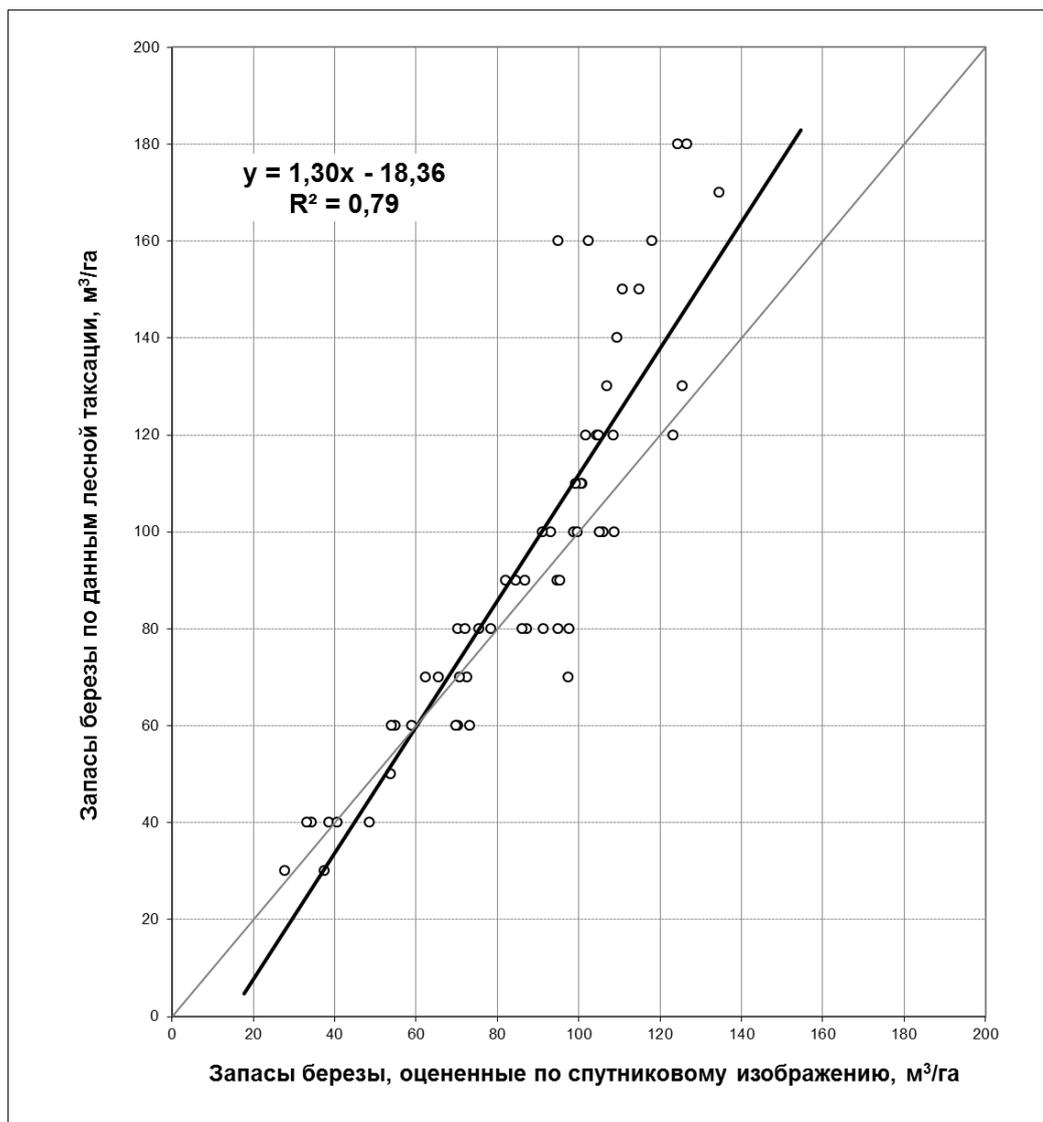


Рис. 7.2.5.5. Сравнение характеристик запаса, оцененный по спутниковому изображению и по данным таксации березы в заповеднике «Брянский лес»

### Литература

Сочилова Е.Н., Ершов Д.В. Анализ возможности определения запасов древесных пород по спутниковым данным Landsat ETM // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т.9 №3. С.277-282

Чистяков С.П. Случайные леса: обзор // Труды Карельского научного центра РАН. 2013. №1. С. 117–136

Breiman L. Random forests // Machine Learning. 2001. Vol. 45, N 1. P. 5–32.

Crisp D.J., Perry P., Redding N.J. Fast Segmentation of Large Images // Twenty-Sixth Australasian Computer Science Conference (ACSC2003), Adelaide, Australia. 2003. P. 87–93.

Drăgut L., Tiede D., Levick S.R. ESP: a tool to estimate scale parameter for multiresolution image segmentation of remotely sensed data // Int. J. Geogr. Inform. Sci. 2010. Vol. 24 (6). P. 859–871.

Ming D., Li J., Wang J., Zhang M. Scale parameter selection by spatial statistics for GeOBIA: Using mean-shift based multi-scale segmentation as an example // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2015. Vol. 106. P. 28–41.

Redding N.J., Crisp D.J., Tang D., Newsam G.N. An efficient algorithm for Mumford-Shah segmentation and its application to SAR imagery // Digital Image Computing: Techniques & Applications (DICTA'99), Perth, Australia. 1999. P. 35–41.