

КОРРЕКЦИЯ ЛЕСОТАКСАЦИОННЫХ ПЕРЕМЕННЫХ НА ОСНОВЕ LANDSAT
Пузаченко Ю.Г. , Кренке А.Н. , Котлов И.П
Институт проблеме экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Росгипролесхоз.

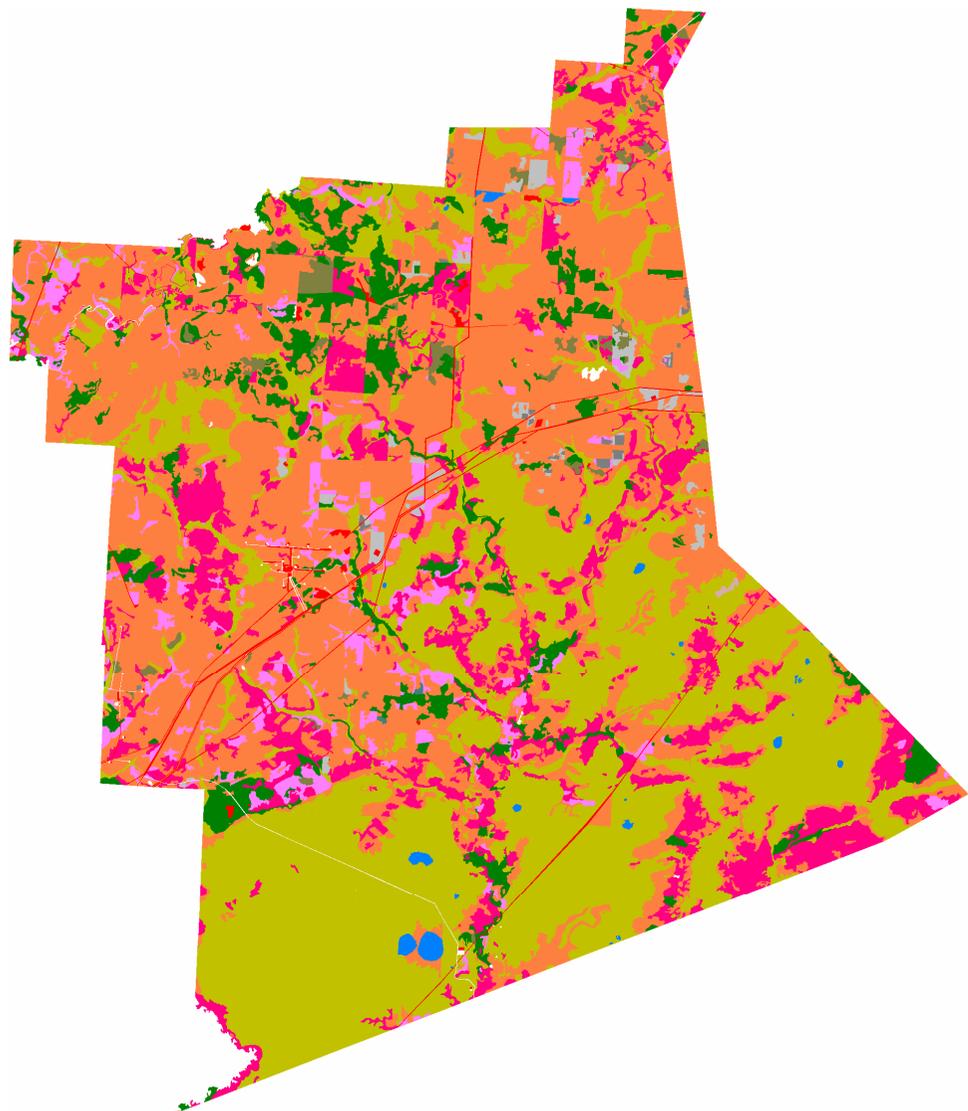
Информационное обеспечение современного ведения лесного хозяйства, добровольная лесная сертификация требует повышения качества оценки лесотаксационных переменных и более точного их картографического отображения. Основными методическими факторами, снижающими качество лесной таксации являются использование представлений о существовании однородного таксационного лесного выдела с однородными лесорастительными условиями и, соответственно, свойствами леса, с объективно выделяемыми границами на аэрофотоснимке и на местности и интерполяции измерений на пробных площадях на основе типологии лесной растительности. При этом принимается, что объективно существуют типы леса и типы местообитаний, объединяющие подобные лесотаксационные выделы. Эти представления прямо связаны с организменной концепцией организации растительного покрова Клементса и близкими к ним представлениями о биогеоценозе В.Н. Сукачева. Вместе с тем доказано, что реальная организация растительного покрова более отвечает индивидуалистической концепции Раменского-Глизона, подразумевающей континуальное изменение в пространстве его состояний. С другой стороны показано, что рельеф, определяющий во многом состояние растительного покрова фрактален. Это означает, что как рельеф, так и все компоненты ландшафта одновременно непрерывны и вместе с тем разрывны. Это определяет множественность и неопределенность сегментации на выделы растительного покрова и множественность уровней однородности.

До появления мультиспектральной спутниковой информации, трехмерных моделей рельефа, ГИС и разнообразных методов анализа изображений организменная концепция была единственно возможной основой лесной таксации и составления специальных карт ландшафта и его компонентов. Новые технологические возможности позволяют привести в соответствие технологию с теоретическими более реалистичными моделями организации ландшафтного и растительного покровов. Этому направлению посвящено большое количество общих и частных исследований [2,4,5,6,8,9].

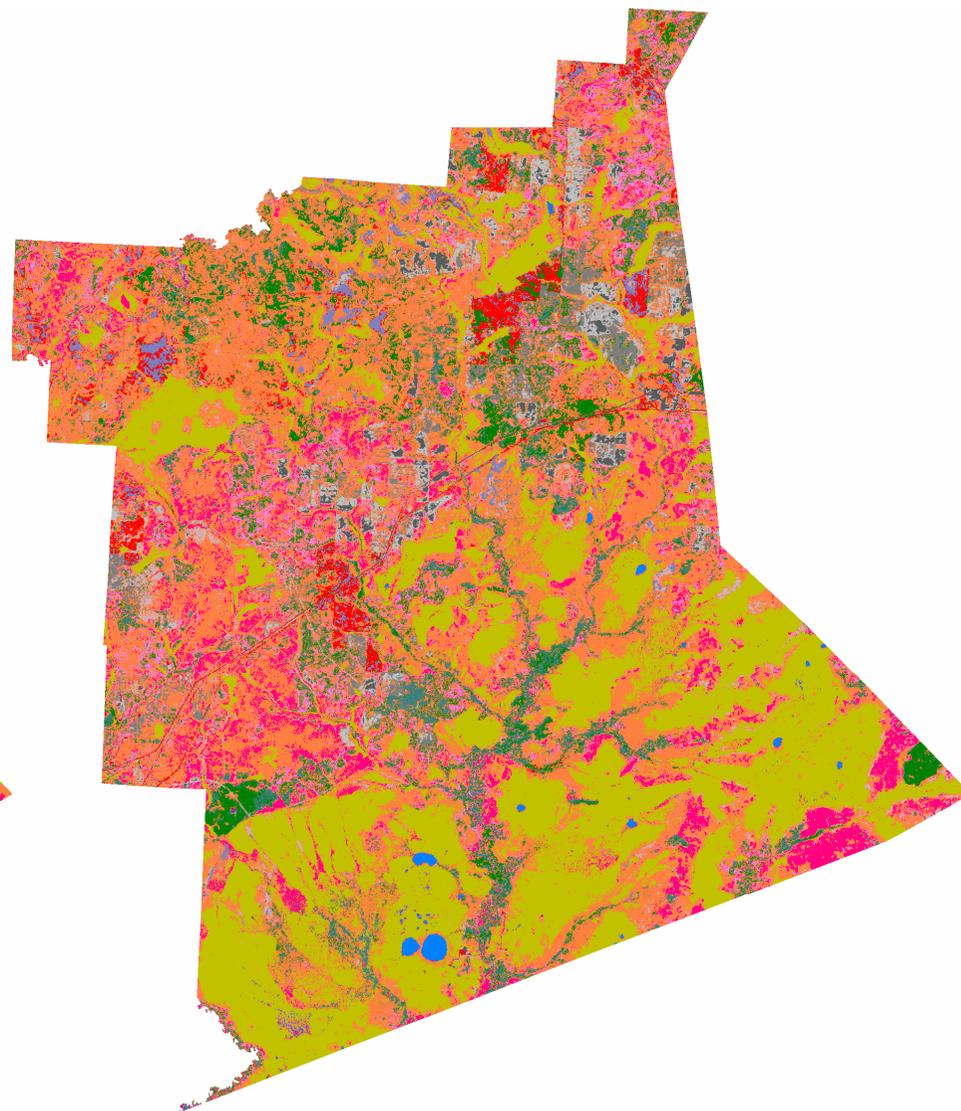
В предлагаемом подходе состояния переменных, включаемых в лесотаксацию, и измеряемых на пробных площадях рассматриваются как функции отраженной в различных спектральных каналах солнечной радиации, их соотношений выраженных через различные индексы (например NDVI) и общих энергетических показателей таких как сумма поглощенной энергии, энтропии Больцмана и Кульбака, эксергии, тепловой поток и связанная энергия [7, 3]. Информация, содержащаяся в этих внешних переменных прямо или косвенно отражает состояние лесной растительности и является естественной основой для интерполяции выборочных измерений на район исследования [1]. Используя статистические методы, можно получить для локальной территории соответствующей размеру пикселя мультиспектральной съемки не только наиболее вероятное значение состояний переменных, но и соответствующие доверительные интервалы. В результате получаем стандартную таксационную ведомость для каждого пикселя. Если существует необходимость, то соседствующие пиксели с помощью классификации могут быть по заданному уровню однородности объединены в выделы. Эта схема лесотаксации требует полного дорогостоящего полевого обследования. Существенное снижение трудозатрат может быть обеспечено на основе количественного анализа связи результатов лесотаксации, выполненных с использованием традиционных методов, и дистанционной информации. Если эта связь существует, то изменение состояний лесотаксационных переменных в пространстве может быть существенно уточнено и полевые работы оптимизированы. Для демонстрации этого подхода выбраны материалы с наименее точной лесотаксации третьего класса Салымского участкового лесничества Ханты-

Рис.1 Категория земель и господствующая порода: а) по лесотаксации, б) после коррекции на основе дистанционной информации

а



б



Легенда

Категории земель

1	Нарушенные
2	Вода
3	Болото
4	Вырубка
5	Насаждения погибшие
6	Гари
7	Культуры несомкнувшиеся
8	Лесные культуры
9	Осина
10	Сосна
11	Береза
12	Кедро
13	Лиственница
14	Ель

Категории земель и запас древесины

1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	2.93
10	5.04
11	9.90
12	17.00
13	28.79
14	48.80
15	82.30
16	144.03
17	234.08
18	338.08

Мансийского автономного округа 1998 года. Лесотаксационный план в системе Топол компилирован по характерным точкам со сценой спутника Landsat 7 от 2003 г.и фрагментами GECOVER за 1990 и 2000 г. Оценка статистической связи и коррекция переменных лесотаксации осуществляется на основе пошагового дискриминантного анализа. Классы, соответствующие каждой преобладающей породе, объединенные с категориями земель, образуют первую переменную. Данные по запасам насаждений, приведенные в таксации переводятся по логарифмической шкале в дискретные категории и объединяются в одну переменную с теми же категориями земель

На рис. 1а приведена исходная карта категорий земель и преобладающих пород, а на рис. 2а аналогичная карта для запасов. Дискриминантный анализ позволяет использовать несколько методов интерполяции. В данном случае реализована следующая процедура: 1) Оценки вероятности принадлежности пикселя каждому состоянию рассчитываются по двум моделям (для пропорциональной выборки и равномерностном распределении дискретных состояний). При пропорциональной выборке завышается вероятность доминирующих состояний дискриминируемой переменной, а при равномерностной - редких. 2) Запас древесины для двух вариантов оценивается как сумма средних для дискретных категорий, умноженных на соответствующие им вероятности. 3) Относительная ошибка оценивается по модели полиномиального распределения. В результате получаем максимальную и минимальную оценку запасов с соответствующей ошибкой для каждого пикселя. В качестве конечного результата принимается средняя оценка. Чем более однозначна оценка, тем меньше разность между максимальной и минимальной и меньше относительная ошибка. Эти оценки дают возможность определить качество интерполяции запасов древостоя для каждого пикселя.

Интерполяция категорий земель и преобладающей породы реализуется через дополнительную классификацию, осуществляемую на векторах вероятностей принадлежности пикселя соответствующим классам для двух моделей. Далее полученные классы через одновариантный дисперсионный анализ сравниваются с распределениями вероятностей для каждой породы и категорий земель и на этой основе определяется их содержание. Кроме того могут быть построены карты вероятности обнаружения в каждом пикселе каждой категории земель и каждой породы. Для каждого пикселя может быть определена ошибка вероятности и общая неопределенность интерполяции.

Приведем основные результаты анализа. Как следует из табл. 1 модели для двух тестируемых переменных статистически достоверны и дистанционная информация с высокой надежностью отражает изменение их состояний в пространстве.

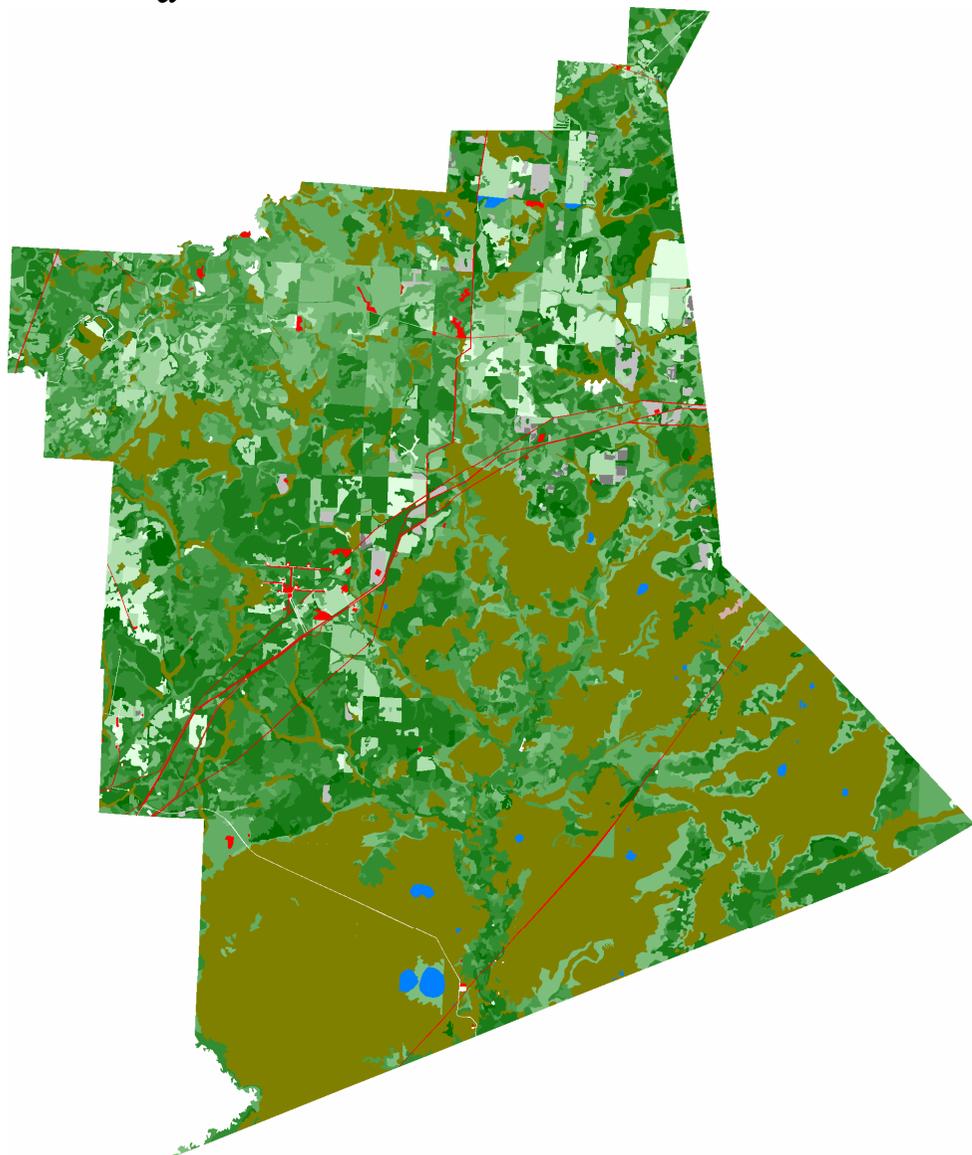
Табл. 1 Статистические параметры моделей

Детерминируемая переменная	Статистические параметры			
	Тест Вилкоксона	F-критерий	Коэффициент детерминации	Число степеней свободы
Категория земель, запас древесины	0.153715	15800.55	0.847	289
Категория земель, господствующая порода	0.229632	21269.67	0.782	169

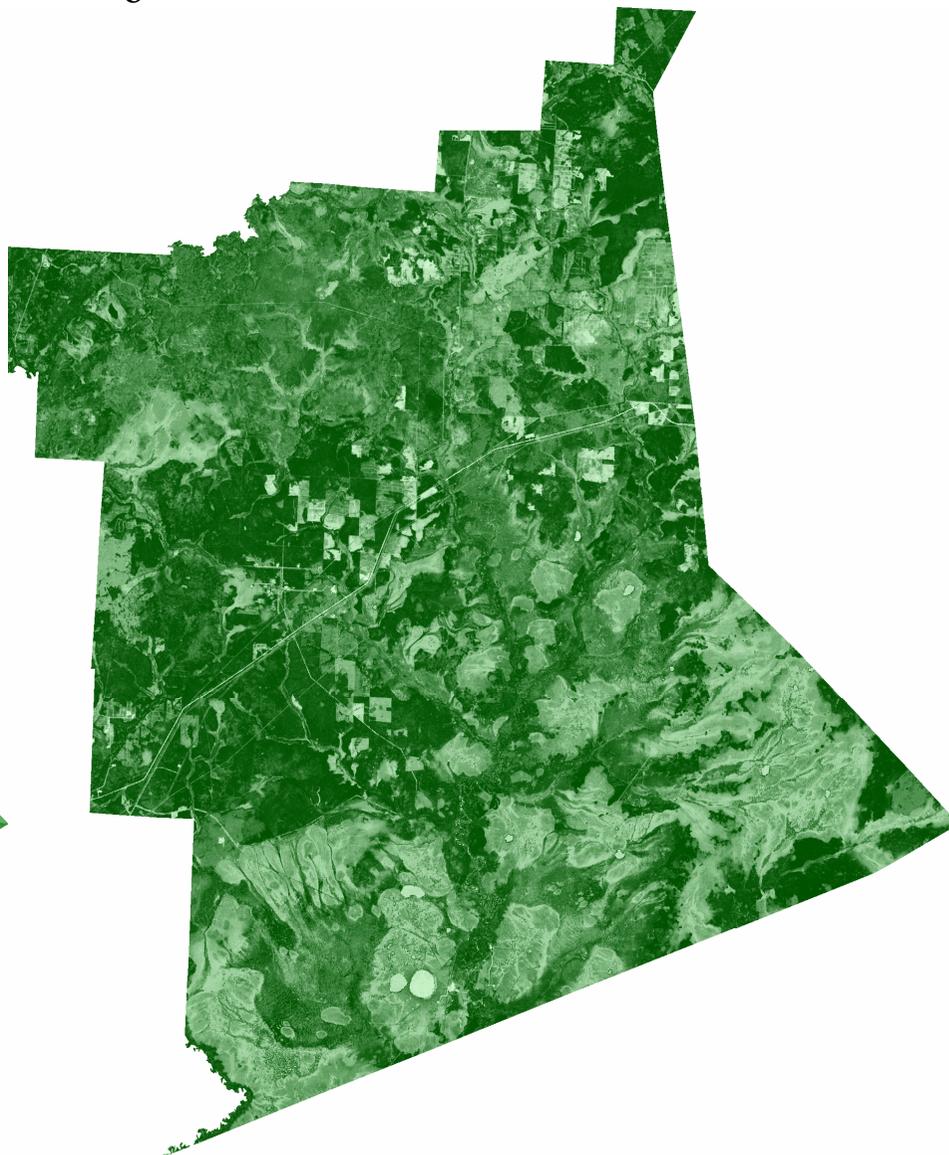
Такое хорошее статистическое соответствие существует, несмотря на явные искажения в данных лесотаксации. Так, например, в корректируемых лесотаксационных планах болото или озеро может существовать по одну сторону просеки и отсутствовать по другую, хотя вся конфигурация выдела требует его наличия в соседних кварталах. Вместе с тем,

Рис.2 Запас древесины в насаждении: а) для лесных категорий земель по таксации, б) для всей территории по интерполяции на основе дистанционной информации

а

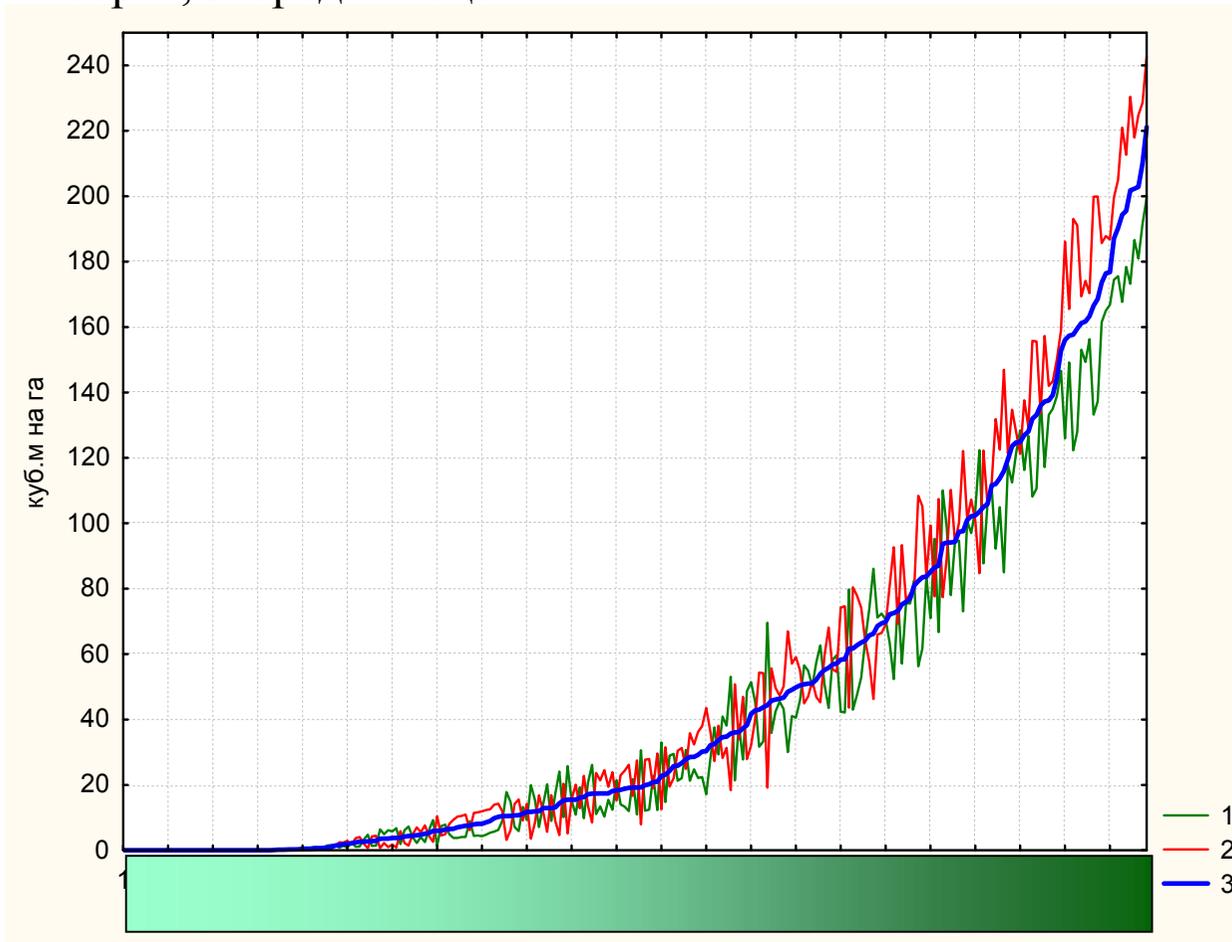


б



Запасы древесины для карты с скорректированной продукцией (рис.2 б)

1. Оценка по пропорциональной выборке, 2 Оценка по равновероятной выборке, 3 Средняя оценка



несмотря на множество подобных ошибок, общие закономерности изменения состояния растительного покрова по лесотаксации соответствуют изменениям в пространстве структуры спектра отраженной солнечной радиации измеренной со спутника.

Сопоставление исходных лесотаксационных данных для категорий земель и господствующих пород показывает (рис 1 а,б), что наиболее дискретные объекты «озера» воспроизводятся в дискриминантном анализе практически однозначно, но дополнительно анализ воспроизводит и реки с достаточно широкой открытой водой, отсутствующие в таксации. Существенно корректируются границы болота в нижней левой части рассматриваемой территории. Болото пересекает речка с осиновыми и березовыми лесами по долине и сосной в области ее дренирующего влияния. Кроме того болото пересекается грядами в основном с сосной и кедром. Выделяются и маленькие озера, отсутствующие в таксации. В правой нижней части снимка воспроизведение в дискриминантном анализе комплекса болот и суходолов практически тождественно лесотаксационному плану. В целом положение болот воспроизводится через дискриминантный анализ подобно лесотаксации, однако конфигурации их границ, особенно в верхней половине плана, существенно различны и более естественны в скорректированном варианте. В целом на рассматриваемой территории господствует сосна. Березовые леса в соответствии с анализом расположены в целом там же, где и на исходных данных. Однако они не образуют единых больших массивов, выделенных на таксации, а представляют собой мозаичные сочетания с сосновыми лесами. Аналогичная коррекция характерна для размещения лесов с господством кедра и ели. Вместе с тем большие прямоугольные участки с кедровыми лесами в верхней части рисунка вообще не воспроизводятся через дистанционную информацию, а конфигурация выделов, напоминающая лесные культуры, заставляет считать их ошибками лесной таксации. Наиболее сложное отражение в дискриминантном анализе нарушенных земель, вырубок, культур, погибших лесов и гарей. Последние две категории весьма редки. В качестве нарушенных земель, в полном соответствии с данными таксации, выделяются широкие нефтепроводы и буровые площадки. Вместе с тем часть дорог по своим спектральным характеристикам близка к вырубкам, гарям и культурам. Так как съемка Landsat проведена на пять лет позже времени проведения таксации, то за это время, очевидно, были проведены новые сплошные рубки, хорошо выделяемые ярким красным цветом соответствующим категории нарушенные земли. Так как зарастание вырубок и рост культур в пределах таксационного выдела неоднородны, то в дискриминантном анализе они имеют неоднородную структуру, состоящую из чередования категорий «вырубка» и двух категорий культур. Погибших лесов в анализе воспроизводится существенно больше, чем в таксации и практически всюду они связаны с лесами с господством кедра, а по конфигурации напоминая шелкопрядники. Пожары воспроизводятся на очень небольших участках и в том числе вдоль дорог, индицируя здесь, по-видимому, специфический вариант нарушения растительности.

Сопоставление исходных данных по запасу древесины (рис. 2 а) с детальной картой (рис. 2 б) воспроизведенный через дискриминантный анализ показывает их принципиальное подобие. Однако карта, полученная на основе дискриминантного анализа, воспроизводит множество деталей, отсутствующих в исходных данных. Этот эффект можно продемонстрировать на уровне реального разрешения на местности для верхнего правого угла рисунка (рис.3). Здесь существует широкий комплекс разновозрастных культур, вырубок, широких просек, болота (в центре), долин ручьев и коренных лесов с максимальным запасом. Очевидно, что дистанционная информация хорошо отражает степень восстановления леса на вырубках и варьирование запасов в нетронутых лесах.

Подводя итог, можно утверждать, что коррекция исходной лесотаксации третьего класса на основе дистанционной информации существенно улучшает качество отображения лесотаксационных переменных и повышает класс лесоустройства. Наряду с

Рис. 5 Фрагмент карты оценки запасов древесины в реальном масштабе (верхний левый угол рис. 2б)



уточнением запаса и состава лесов анализ дает оценки неопределенности в воспроизведении состояния переменных. Используя эти оценки, можно существенно оптимизировать полевое обследование. Растровые карты при единице таксации 28.5x28.5 м могут быть векторизованы и с потерей деталей переведены в традиционные карты выделов. Использование выдела как единицы лесотаксации скорее вопрос традиции, чем целесообразности. Организацию лесного хозяйства с не меньшим успехом можно вести и по растровой основе.

В заключение обратим внимание на то, что рассмотренная технология применима для коррекции любых специальных тематических карт в любом масштабе.

Список литературы.

1. Козлов Д.Н. Инвентаризация ландшафтного покрова методами пространственного анализа для целей ландшафтного планирования. Труды Международной школы-конференции "Ландшафтное планирование. Общие основания. Методология. Технология" 2006 стр. 22;
- 2 Пузаченко М.Ю., Черненко Т.В. ГИС-технологии в мониторинге биоразнообразия лесов ,ARCREVIEW ВЫПУСК № 4 (39) 2006;
- 3 Сандлерский Р.Б, Ю.Г Пузаченко. Энергетические характеристики геосистем Центрально-лесного заповедника по данным дистанционного зондирования. Труды Центрально-Лесного государственного природного биосферного зап. Вып. 5. Великие Луки. 2007г Стр 429-440;
- 4 Erkki Tomppo, Raymond L. Czaplewski and Kai Mäkisara. THE ROLE OF REMOTE SENSING IN GLOBAL FOREST ASSESSMENT. A remote sensing background paper for Kotka IV expert consultation 01.07-05.07.2002, Kotka, Finland. Forest Resources Assessment - WP n.61, Rome, 2002;
- 5 Frescino, T. S., G. G. Moisen, and T. C. Edwards, Jr. Development and use of Forest Inventory and Analysis (FIA) map products. In Remote Sensing and Geospatial Technologies for the New Millennium: Proceedings of the 8th Biennial Remote Sensing Applications Conference. 2001;
- 6 George Mallinis; Nikos Koutsias; Apostolos Makras; Michael Karteris. Forest Parameters Estimation in a European Mediterranean Landscape Using Remotely Sensed Data, Forest Science, Volume 50, Number 4, August 2004 , pp. 450-460;
- 7 Jorgensen S.E., Svirezhev Y.M. Towards a Thermodynamic Theory for Ecological Systems. Amsterdam. 2004;
- 8 L. Scheer, R. Sitko. Assessment of some forest characteristics employing ikonos satellite data. JOURNAL OF FOREST SCIENCE, 53, 2007 (8): 345–351;
- 9 Steen Magnussen, Paul Boudewyn, Mike Wulder and David Seemann Magnussen, Boudewyn, Predictions of Forest Inventory Cover Type Proportions Using Landsat TM Silva Fennica 34(4) research articles. 2000;