

О. Хамдан (O. Hamdan; Лесной научно-исследовательский институт Малайзии)

Использование мультиспектральных данных WorldView-2

для выявления районов произрастания пород деревьев, пригодных для заготовки деловой древесины*

ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на развитие в последние десятилетия различных отраслей промышленности в Малайзии, лесная промышленность, включая заготовку деловой древесины, остается важным сектором экономики страны. Компании-поставщики, имеющие лицензию на заготовку леса, уделяют большое внимание идентификации пород деревьев. Представители деревообрабатывающей промышленности также заинтересованы в получении такой информации. В Малайзии в общей сложности произрастают 2650 пород деревьев, 408 из них считаются коммерческими. Цена древесины различных пород сильно различается в зависимости от ее качества. Информация о распределении и разновидностях пород очень важна для специалистов, занимающихся охраной лесов и исследованиями их биологического разнообразия. Однако идентификация древесных пород является непростой задачей, и в последние десятилетия ее пытаются решить как традиционными методами, так и с применением технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ).

Наиболее распространенный метод определения состава или классификации древостоя заключается в вы-

полнении полевых работ, дополняемых дешифрированием аэрофотоснимков или космических снимков с высоким пространственным разрешением. Однако при идентификации на основе космических снимков существуют определенные ограничения, так как в основном используются данные SPOT/HRV и Landsat/TM, а они не позволяют идентифицировать отдельные породы. Тем не менее было разработано несколько способов, позволяющих идентифицировать древесные породы с помощью мультиспектральных снимков, — использование вегетационных индексов, комбинирование данных, полученных от нескольких сенсоров, и т. д.

8-канальные мультиспектральные данные WorldView-2, включающие канал Red Edge (крайний красный), позволяющий эффективно отличать хвойные деревья от лиственных, позволяют картографировать леса, в отдельных случаях надежно выполнять идентификацию древесных пород. Пространственное разрешение 0,5 м позволяет выделять кроны отдельных деревьев, участки редколесья, зоны незаконной вырубki леса, наблюдать лесные пожары и т. п. Автоматическое выделение отдельных деревьев и различных древесных пород по мультиспектральным снимкам высокого разрешения — эффективное

*Сокращенный перевод с английского языка. Статья была представлена на конкурс «8-Band Research Challenge», проведенный компанией DigitalGlobe, и отмечена жюри как одна из лучших. Оригинал статьи опубликован на сайте компании DigitalGlobe. Перевод подготовлен к публикации Б.А. Дворкиным (Компания «Совзонд»).

средство для изучения лесов. Цель данной работы состоит в исследовании возможностей дешифрирования пород деревьев по снимкам, полученным со спутника WorldView-2.

Основная посылка к проведению этих исследований заключается в том, что поскольку каналы: желтый (Yellow), крайний красный (Red Edge), ближний инфракрасный 1 (NIR1) и ближний инфракрасный 2 (NIR2) характеризуются высокой чувствительностью к различным видам растительности, породы лесных деревьев можно идентифицировать с помощью космических снимков, полученных со спутника WorldView-2.

В качестве исследуемой области был выбран район Лесного научно-исследовательского института Малайзии (FRIM), который находится в Кепонге (штат Селангор) в 16 км к северо-западу от столицы страны Куала-Лумпура. Площадь территории примерно 485,2 га, она

окружена лесным заповедником Bukit Lagong. В исследуемой области произрастают несколько известных пород, относящихся к двум основным семействам – Dipterocarpacea и Non-Dipterocarpacea. Общая исследуемая площадь в 485,2 га покрыта лесом на 86,58% (рис. 1). Всего здесь произрастает примерно 2500 пород деревьев, характерных для различных мест земного шара, особенно для тропических лесов. Возраст большинства посаженных деревьев составляет около 80 лет, первые посадки существуют с 1929 г. Имеются также недавно посаженные деревья, включенные в кадастр. Несмотря на то что лес в исследуемой области является искусственно созданным, он в настоящее время близок к природному благодаря естественным экологическим процессам. Высота большинства деревьев варьируется в диапазоне от 25 до 45 м (для некоторых пород).

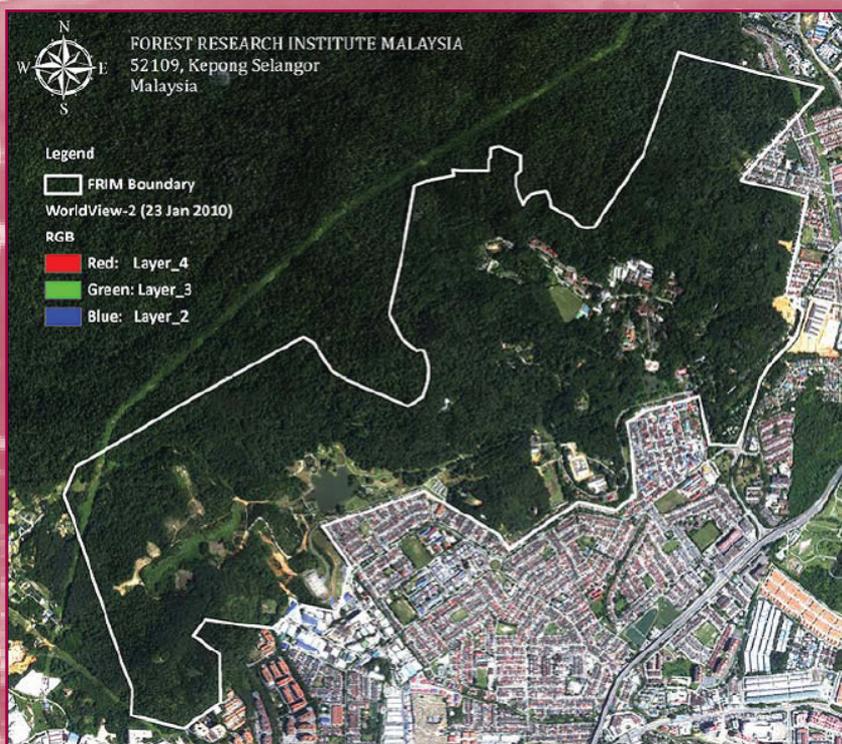


Рис. 1. Исследуемая область (оконтурена белой линией), показанная на снимке (в естественных цветах) WorldView-2

ИСТОЧНИКИ И МЕТОДОЛОГИЯ

Исследование было проведено на основе космического снимка WorldView-2, предоставленного компанией DigitalGlobe. Съемка была проведена 23 января 2010 г. Снимок был получен в двух режимах – панхроматическом и мультиспектральном, с пространственным разрешением соответственно около 0,5 и 2,0 м. Эти изображения обрабатывались отдельно с целью определения пространственного распределения 10 выбранных пород, а также очерчивания крон с последующей оценкой количества деревьев каждой породы. Пространственное разрешение 0,5 м позволяет анализировать характеристики леса на уровне отдельных деревьев.

Однако использование данных ДЗЗ для поставленных целей без полевой проверки не может обеспечить достоверные результаты. При полевых работах были использованы такие GPS-устройства, измерительные инструменты

для определения местоположения, диаметра, высоты деревьев, а также спектрорадиометр для измерения спектральных характеристик. На рис. 2 приведена схема методики исследования, на которой показаны основные этапы.

Сбор полевых данных был проведен 14 октября 2010 г. на всей исследуемой территории. Для исследования были выбраны 10 пород строевого леса, входящих в двадцатку лучших древесных пород на рынке. Эти 10 пород перечислены в табл. 1. Для каждой породы были определены наиболее важные параметры (обычно используемые в лесном кадастре), такие, как координаты, диаметр на высоте груди (ДВН) и высота деревьев. Также были собраны образцы листьев каждой древесной породы. Эти образцы были подвергнуты измерению с помощью спектрорадиометра. Результаты спектральных измерений показаны на рис. 3. Многие методы мультиспектрального анализа, такие, например, как использование вегетационного ин-



Рис. 2.
Схема методики исследования

Данные полевых обследований

Координаты		Код пробы	Породы деревьев	Местное название	ДВН (см)	Высота (м)
X	Y					
404226	357957	S001	<i>Dyera costulata</i>	Jelutong	98,0	32,0
404155	357837	S002	<i>Sindora spp.</i>	Sepetir	98,7	32,4
403738	357654	S003	<i>Shorea kunstleri</i>	Balau laut merah	97,5	26,8
404586	358072	S004	<i>Shorea leprosula</i>	Meranti tembaga	59,8	32,9
404635	357922	S005	<i>Neobalanocarpus heimii</i>	Chengal	62,7	32,0
403305	357940	S006	<i>Anisoptera scaphula</i>	Mersawa gajah	122,0	35,2
404410	358168	S007	<i>Dipterocarpus baudii</i>	Keruing bulu	110,7	40,1
403752	357574	S008	<i>Intsia palembanica</i>	Merbau	58,8	27,9
404098	357328	S009	<i>Dryobalanops aromatica</i>	Kapur	85,5	38,7
404617	358030	S010	<i>Palaquium rostratum</i>	Nyatoh	36,2	38

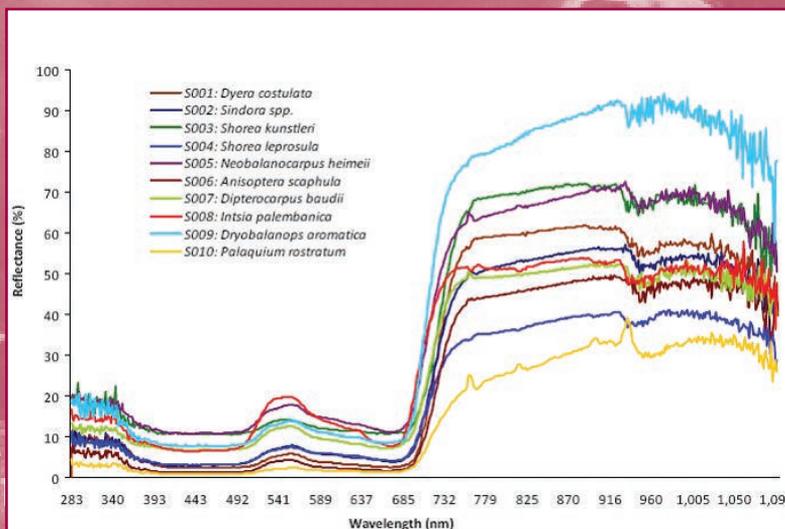


Рис. 3.

Спектральные параметры взятых образцов. По горизонтали – длина волны (нм), по вертикали – коэффициент отражения

декса (NDVI), предусматривают преобразование спектральных характеристик в коэффициенты отражения перед проведением анализа. Это преобразование играет важную роль при проведении классификации для определения пород.

В большинстве классификаций, основанных на спектральных характеристиках деревьев, используются традиционные методы, такие, как линейный дискриминантный анализ (LDA), метод максимального правдоподобия (ML) и метод спектрального угла (SAM). В данной работе предпринята попытка применить альтернативный современный подход к классификации на основе мультиспектрального изображения WorldView-2. Для этой цели использовалось бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом и алгоритм Random Forest, описанный в работе Liaw, A. & Wiener, M. (2002). Classification and Regression by Random Forest. R News. Vol. 2/3 Dec 2002.

С помощью этого алгоритма все точки отбора проб в полевых обследованиях были связаны с соответствующими пикселями на снимке. Классификация была проведена путем поиска наиболее важных переменных (в данном случае спектральных каналов) с использованием дерева решений. Алгоритм Random Forest предусматривает четыре способа оценки веса переменных. Панхроматический снимок WorldView-2 обрабатывался отдельно от мультиспектрального. Было выполнено оконтуривание крон деревьев с целью классификации для последующего подсчета деревьев. В этом процессе используется метод сегментации или объектно ориентированный метод клас-

сификации. Высокое пространственное разрешение позволило успешно выполнить задачу, в особенности для вида *Dryobalanops aromatica*.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Спектральный профиль каждой породы был определен по мультиспектральному снимку WorldView-2 в местах соответствующих точек отбора проб. Было выполнено сравнение спектральных параметров, полученных со снимка WorldView-2 и в результате измерения спектрорадиометров в полевых условиях, затем выделены спектральные интервалы, наиболее чувствительные для соответствующих пород. Сравнение выполнялось только в эффективной зоне для каждого канала, как показано в табл. 2. Сравнение показало, что между данными, полученными по снимку и в поле, существуют незначительные различия. Эти различия не превышали 2%, с учетом предположения, что показания спектрорадиометра не были абсолютно точными.

Для классификации использовался новый набор спектральных параметров всех пород, как показано на рис. 4. На рисунке видно, что наибольшее значение для идентификации рассмотренных 10 древесных пород имеют каналы NIR-2, NIR-1, крайний красный и зеленый. В этих каналах между указанными породами существуют значительные различия, что фактически доказывает высокую эффективность использования снимков WorldView-2. После классификации пород была выполнена оценка точ-

Таблица 2

Профили каналов на мультиспектральном снимке WorldView-2

Канал WorldView-2	Название канала (длина волны)	Эффективная зона пропускания, $\Delta\lambda$ [нм]
1	Фиолетовый (Coastal Blue) (400-450 нм)	473
2	Синий (Blue) (450-510 нм)	543
3	Зеленый (Green) (510-580 нм)	630
4	Желтый (Yellow) (585-625 нм)	374
5	Красный (Red) (630-690 нм)	574
6	Крайний красный (RedEdge) (705-745 нм)	393
7	Ближний инфракрасный 1 (NIR 1) (770-895 нм)	989
8	Ближний инфракрасный 2 (NIR 2) (860-1040 нм)	996

ности, которая составила около 90%. Полученные результаты показывают, что существуют сомнительные моменты, связанные с используемым методом классификации и качеством данных. Тем не менее данный уровень точности до-

статочно характерен для классификации по данным ДЗЗ. Это означает, что для повышения точности требуется больше данных полевых измерений. По результатам исследования была составлена карта распределения пород (рис. 5).

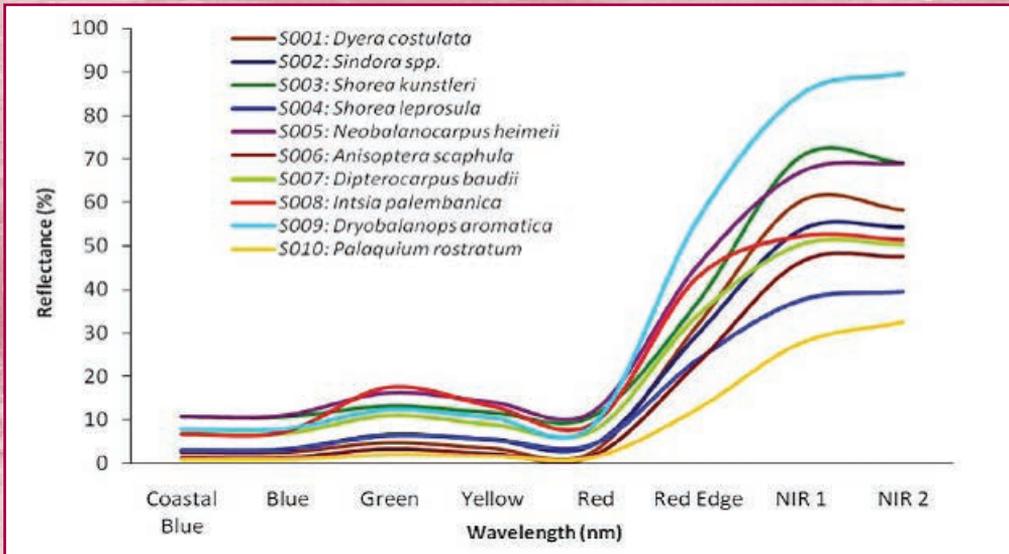


Рис. 4. Спектральные параметры, выделенные по снимку WorldView-2. По горизонтали – длина волны (нм), по вертикали – коэффициент отражения

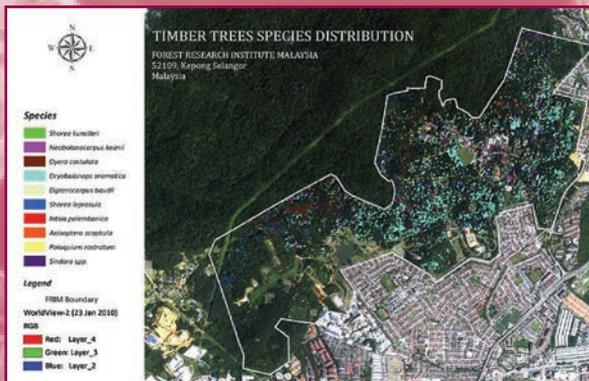


Рис. 5. Карта распределения древесных пород в исследуемой области

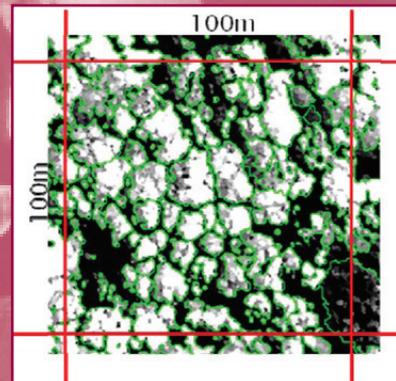


Рис. 6. Очерчивание крон деревьев породы *Dryobalanops aromatica*

Как было указано ранее, панхроматический снимок WorldView-2 использовался для расчета древесного полога и очерчивания крон. Метод сегментации, примененный к изображению, оказался эффективным (рис. 6). Полученные результаты были наложены на результаты клас-

сификации пород, что позволило определить положение и распределение всех пород и оценить количество деревьев соответствующих пород.

Объединенные результаты классификации и сегментации приведены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты классификации и сегментации

Породы деревьев	Количество деревьев	Площадь (га)
<i>Dyera costulata</i>	1 662	3,35
<i>Sindora spp.</i>	241	2,2
<i>Shorea kunstleri</i>	156	1,67
<i>Shorea leprosula</i>	854	7,68
<i>Neobalanocarpus heimii</i>	454	3,73
<i>Anisoptera scaphula</i>	256	2,25
<i>Dipterocarpus baudii</i>	131	1,33
<i>Intsia palembanica</i>	310	2,73
<i>Dryobalanops aromatica</i>	3 448	10,36
<i>Palaquium rostratum</i>	472	3,99

ВЫВОДЫ

Исследование позволило успешно идентифицировать 10 распространенных пород строевого дерева в Малайзии благодаря использованию мультиспектрального снимка, полученного со спутника WorldView-2. Также было рассчитано количество деревьев на основе панхроматического снимка WorldView-2.

Данные, получаемые со спутника WorldView-2, определенно могут быть полезны для организаций, занимающихся заготовкой древесины, охраной или изучением лесов, а именно для:

- подсчета доступных ресурсов;
- оценки качества леса;
- планирования лесозаготовок;
- оценки разнообразия пород в конкретной области;
- ведения лесовосстановительных работ.

Благодаря дополнительным каналам (желтый, крайний красный и NIR-2) спутника WorldView-2 улучшаются возможности разделения различных древесных пород.

Высокое пространственное разрешение снимков WorldView-2 позволяет достичь уровня точности, недостижимого при использовании других данных ДЗЗ. После идентификации и разграничения отдельных пород могут быть получены схемы распределения и может быть выполнено очерчивание крон для каждой породы. Таким образом, может быть получена ценная информация, например количество деревьев каждой породы. Эта информация имеет большое значение для современного лесного хозяйства.

Тем не менее по-прежнему существуют нерешенные задачи, связанные с использованием мультиспектральных снимков для анализа тропических лесов. Трудность классификации тропических пород может быть объяснена следующими факторами: огромное разнообразие пород на небольшой площади, вариативность спектральных параметров старых деревьев, здоровых деревьев и деревьев, частично или полностью затененных другими деревьями. Исследователи должны использовать новейшие методы обработки данных для достижения более высокой точности.