

**М. А. Ильючик** (РУП «Белгослес»)

В 1999 г. окончил Белорусский государственный технологический университет по специальности «лесное хозяйство». С 1999 по 2002 г. обучался в аспирантуре БГТУ. С 2002 по 2005 г. работал инженером в РУП «Белгослес». С 2005 г. и по настоящее время — начальник отдела дистанционного зондирования и мониторинга лесов Лесостроительного республиканского унитарного предприятия «Белгослес». Кандидат сельскохозяйственных наук.

**С. С. Цай** (РУП «Белгослес»)

В 1994 г. окончил Белорусский государственный технологический университет по специальности «лесное хозяйство». С 1994 по 1997 г. обучался в аспирантуре БГТУ. С 1998 по 2008 г. преподавал в БГТУ. С 2008 г. и по настоящее время — ведущий инженер отдела дистанционного зондирования и мониторинга лесов Лесостроительного республиканского унитарного предприятия «Белгослес». Кандидат сельскохозяйственных наук.

## Использование материалов ДЗЗ в лесоустройстве

Важным условием повышения эффективности управления лесными ресурсами, ведения лесного хозяйства и лесопользования является наличие достоверной информации о лесном фонде. Инвентаризация лесов Республики Беларусь в соответствии со сложившейся традиционной технологией предусматривает наземную таксацию с использованием дешифрованных аэрофотоснимков (АФС). Для целей дешифрирования обычно используют спектрзональные аэрофотоснимки, на базе которых формируется цифровой ортофотоплан местности, а уже на его основе — выходные картографические материалы. Традиционная технология формирования лесоустроительных картографических материалов, построенная на основе использования АФС, отличается значительной трудоемкостью. Количество обрабатываемых снимков на территорию среднего лесхоза (около 100 тыс. га) приблизительно составляет около 500–700 шт. (при масштабе снимков 1:15 000, используемых в Беларуси при лесоустройстве). Выполнение операций только по трансформированию и привязке снимков требует значительных трудозатрат. Для получения цифровых картографических лесоустроительных материалов необходимо выполнить сканирование отдешифрованных

АФС для их дальнейшей векторизации.

С появлением спутников дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), оборудованных оптико-электронными сенсорами сверхвысокого разрешения, сканерные космические снимки смогли составить конкуренцию аэрофотоснимкам в качестве исходного материала для крупномасштабного картографирования. По техническим характеристикам современные сканерные снимки пригодны для создания карт масштабов 1:5000 и мельче.

Переход на использование материалов космической съемки, в том числе сверхвысокого разрешения (0,5–1 м), позволит повысить точность и сократить сроки и затраты на ортотрансформирование (геопривязку) снимков и их дальнейшую обработку вследствие отображения на космоснимках значительных по площади территорий (в сравнении с материалами АФС). Кроме того, стоимость материалов разовой космической съемки, как правило, ниже, чем АФС.

Существенный недостаток материалов космической съемки сверхвысокого разрешения на сегодняшний день — это отсутствие стереоизображений по приемлемой цене, что ограничивает возможности выполнения дешифрирования насаждений,

различающихся по высоте. В связи с интенсивным развитием рынка материалов ДЗЗ и вводом в действие новых спутниковых систем цены, надо полагать, будут снижаться и на данный вид материалов.

На сегодняшний день материалы дистанционного зондирования (WorldView-2, GeoEye, QuickBird, Pleiades и др.) уже используются при устройстве лесов Республики Беларусь. До сих пор практическое использование материалов космической съемки для целей лесоустройства происходило в незначительном масштабе (как правило, снималась территория, которая по каким-либо причинам не закрыта материалами АФС). В 2014 г. запланировано использование материалов космической съемки сверхвысокого разрешения (спутниковая система Pleiades) на территории свыше 15,7 тыс. кв. км.

Большой интерес для целей лесоустройства вызвали данные дистанционного зондирования со спутниковой системы WorldView-2 (полный пакет — 8 каналов), поскольку 8-канальная съемка предположительно будет обладать лучшими дешифровочными свойствами в сравнении с 4-канальными материалами этой же системы, которые уже использовались нами ранее.

Компания «Совзонд» любезно предоставила материалы съемки со спутниковой системы WorldView-2 на часть территории Барановичского лесхоза, которые мы использовали для выполнения контурного дешифрирования. Дополнительно были использованы лесостроительные картографические материалы по этой территории (в цифровом виде) с целью сопоставления результатов контурного дешифрирования.

Качество привязки материалов съемки WorldView-2 к топооснове можно охарактеризовать как очень хорошее (для целей лесного хозяйства), поскольку корректировать эти материалы не было необходимости. Контуры цифровых лесостроительных карт

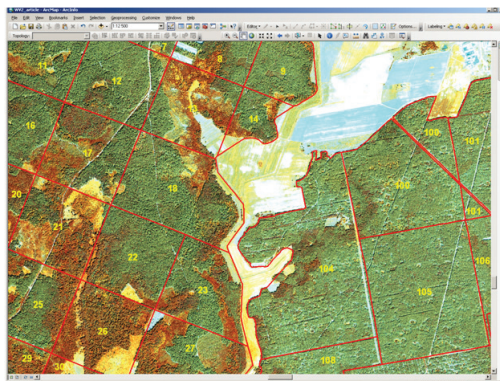


Рис. 1. Совмещение векторного слоя границ кварталов (Малаховское лесничество, Барановичский лесхоз) с материалами космической съемки WorldView-2

с границами кварталов достаточно хорошо легли на снимок (рис. 1).

В процессе обработки материалов выполнялась процедура «паншарпинга» с целью улучшения пространственного разрешения мультиспектральных материалов до 0,5 м. Полученные материалы в дальнейшем использовались для формирования цветных синтезированных композитов.

С целью выявления комбинации каналов, позволяющей получить наиболее выразительные и информационно наполненные (для целей визуального контурного дешифрирования) изображения, формировался целый ряд композитных изображений, состоящий из различных комбинаций каналов снимка. Полученные изображения дополнительно обрабатывались, визуально отбирались наиболее удовлетворяющие целям дешифрирования.

Наиболее полезным, на наш взгляд, оказалось использование каналов 3, 5, 6, 7 и 8, причем использование 8-го и 7-го каналов вместо 6-го не привело к существенным изменениям в получаемых изображениях. На наш взгляд,  $6 * 3 * 5$  — наилучшая комбинация каналов (вместо 6-го можно также использовать 7-й или 8-й, рис. 2).

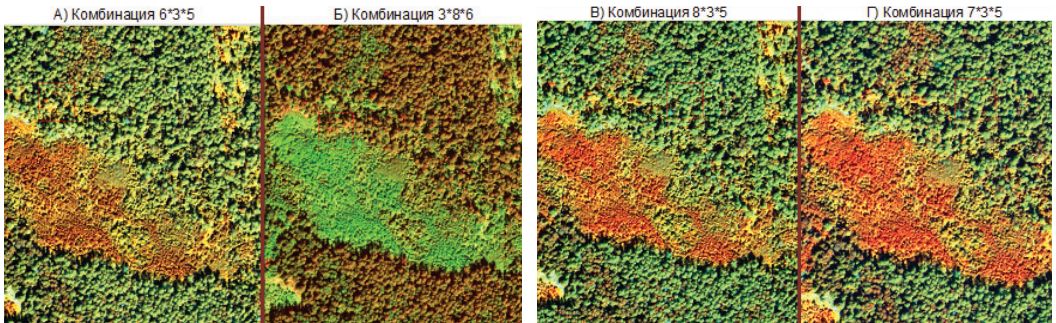


Рис. 2. Космические изображения WorldView-2, полученные при различных комбинациях каналов на территорию Барановичского лесхоза (июль 2012 г.)

Отобранные изображения использовались для выполнения контурного лесотаксационного дешифрирования, которое выполнялось визуально. Использование для этих целей методов автоматизированной классификации не позволяет с достаточной точностью выявлять границы лесотаксационных выделов.

Кроме спектрально-яркостных характеристик, существенное влияние при контурном дешифрировании имеют текстура изображения, степень смешения различных пород, размер крон, плотность стояния деревьев в древостое и ряд других, для учета которых недостаточно спектральных признаков и необходим комплексный объектный анализ указанных факторов. Теоретически проведение такого анализа в автоматизированном режиме возможно с использованием дорогостоящего программного обеспечения, которое на сегодняшний день для нас недоступно.

В соответствии со сложившейся на сегодняшний день технологией в лесоустройстве в задачу специалистов по обработке данных дистанционного зондирования входит подготовка космических изображений для ее дальнейшего визуального дешифрирования инженерами-таксаторами на персональных компьютерах в геоинформационных системах или же на бумажных носителях после распечатки. Бумажный вариант также

используется для внесения изменений в лесном фонде непосредственно в процессе полевых работ, произошедших после выполнения космосъемки.

Результаты контурного дешифрирования материалов космической съемки анализировались в ГИС и представлены на рис. 3.

Сравнение полученных границ выделов, дешифрированных по материалам космической съемки WorldView-2, с границами на карте-схеме лесонасаждений (прошлого лесоустройство, которое проводилось по материалам АФС) показало, что подавляющая часть лесотаксационных выделов (более 90%) была выделена верно. В ряде случаев имели место расхождения за счет появления свежих вырубков, которые отражены на космосъемке, а на карте-схеме их нет.

Проводился визуальный сравнительный анализ изображений, формируемых из 4 каналов, которые стандартно поставляются при закупке материалов съемки WorldView-2 (R, G, B, NIR), с изображениями, получаемыми из каналов расширенной поставки (8 каналов, где дополнительно присутствуют еще каналы: фиолетовый (или coastal), желтый, крайний красный (red-edge) и 2-й ближний инфракрасный). Для этого формировались и сравнивались между собой изображения с различными комбинациями каналов. Визуальное сравнение не выявило сколько-нибудь

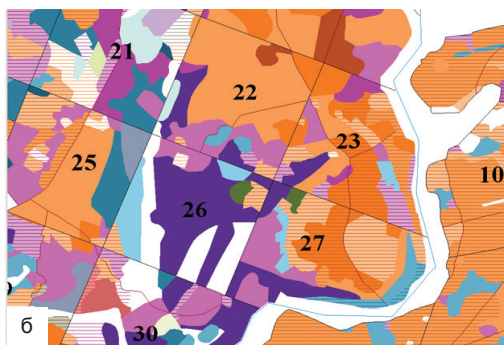
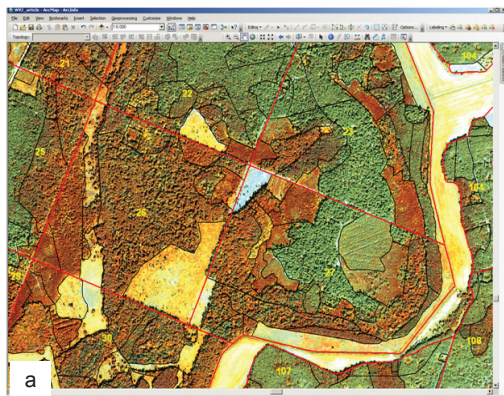


Рис. 3. Сравнение границ лесотаксационных выделов, полученных в результате контурного дешифрирования, с данными прошлого лесоустройства:  
а) дешифрованный космический снимок (WorldView-2);  
б) фрагмент карты-схемы лесонасаждений (материалы прошлого лесоустройства)

существенного различия между изображениями, получаемыми из каналов расширенной и обычной поставки. Поэтому, на наш взгляд, для целей визуального дешифрирования обычной поставки из 4 каналов вполне достаточно. Однако полученный вывод не следует распространять на другие методы анализа изображений, например автоматизированные алгоритмы классификации и т. д., где результат может быть совершенно иным.

В заключение можно отметить, что дешифровочные свойства мультиспектральных спутниковых изображений со спутниковой системы WorldView-2 (после проведения операций

по улучшению пространственного разрешения и спектрально-яркостных характеристик) практически не уступают материалам АФС и позволяют выделять участки лесных насаждений, различающиеся по целому ряду параметров:

- ✦ основные виды земель лесного фонда, не покрытые лесом, такие, как вырубки, буреломы, болота, свежие гари, земли сельскохозяйственного пользования, карьеры и др;
- ✦ земли, покрытые лесом, с разделением по группам пород (с выделением участков хвойных и лиственных насаждений);
- ✦ для хвойных насаждений (приспевающих и спелых) по отдельности сосновые и еловые древостои;
- ✦ примесь лиственных (хвойных) внутри хвойного (лиственного) насаждения;
- ✦ поврежденные участки лесных насаждений (ветровалы, буреломы, массовые усыхающие насаждения, очаги повреждений корневой губки, вырубки, гари и т. д.);
- ✦ лесные участки, различающиеся по степени сомкнутости крон, размеру и форме крон деревьев верхнего яруса и т. д.

Стандартной поставки из 4 каналов вполне достаточно для целей визуального лесотаксационного дешифрирования.

К недостаткам материалов космической съемки можно отнести отсутствие стереоэффекта (за приемлемую цену), поскольку стереопара космических изображений на сегодняшний день стоит значительно дороже, чем аэрофотосъемка. В свою очередь, это усложняет выделение лесных участков, различающихся по высоте. Частично этот недостаток можно компенсировать при выполнении дешифрирования в геоинформационных системах, позволяющих манипулировать масштабом изображения в широком диапазоне (зависит от пространственного разрешения снимка). При масштабе 1:5000 и крупнее появляется возможность рассмотреть ширину крон, плотность стояния деревьев в древостое, что косвенно определяет и высоту деревьев.