

## ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н.К. Крук<sup>1</sup>, Н.Т. Юшкевич<sup>1</sup>, В.Ф. Побирušко<sup>1</sup>, О.А. Атрощенко<sup>2</sup>,  
Н.И. Торчик<sup>3</sup>, А.П. Кулагин<sup>3</sup>, И.А. Тяшкевич<sup>3</sup>, Б.И. Беляев<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Комитет лесного хозяйства при Совете Министров  
Республики Беларусь, Минск; <sup>2</sup> БГТУ, Минск;

<sup>3</sup> УП “Белгослес”, Минск; <sup>4</sup> НИИ ПФП им. А.Н. Севченко БГУ, Минск

Применение аэрокосмической информации в интересах различных отраслей экономики является важной составляющей устойчивого развития государства. Анализ динамики этого процесса за рубежом показывает, что в развитых странах объем рынка данных дистанционного зондирования Земли и их применения ежегодно возрастает на 10–15%.

В системе лесного хозяйства Беларуси аэрокосмические технологии начали применяться с 1997 г. Это обусловлено необходимостью оперативной оценки последствий воздействий на леса природно-экологических и антропогенных факторов (массовое усыхание еловых насаждений, значительные ветровалы и буреломы, негативное влияние на лесные экосистемы промышленных районов).

В настоящее время создана многоуровневая система аэрокосмического мониторинга лесов. Она включает три уровня: космический, авиационный и наземный. Кроме того, система предусматривает обследование и оценку состояния лесов на пунктах постоянного учета мониторинга лесов и регулярно обновляется материалами непрерывного лесоустройства.

Космический уровень основан на использовании в целях лесного хозяйства многозональных космических снимков Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, Terra (система Aster), а также снимков, получаемых со станции УНИСКАН, установленной в УП “Белгослес”. Данный комплекс позволяет осуществлять ежедневный прием космических изображений с американского спутника Terra (сканер Modis с пространственным разрешением 250 и 500 м) и российского спутника Метеор 3М с разрешением 32 м.

Авиационный уровень базируется на разработанном по заказу Комитета лесного хозяйства при Совете Министров Республики Беларусь авиационном аппаратно-программном комплексе ВСК–2, основанном на методах дистанционной спектроскопии и спектрально-поляризационной съемке изображений. Комплекс ВСК–2 устанавливается в оперативном режиме на борт вертолета Ми–2 УП “Беллесавиа”.

Наземный уровень включает геоинформационную систему “Лесные ресурсы”, которая в сопряженном режиме адаптирована с аэрокосмической информацией.

Аэрокосмические технологии в лесном хозяйстве Беларуси направлены на решение таких актуальных проблем, как усыхание еловых насаждений, оценка последствий ветровалов, буреломов. В частности, в рамках Государственной научно-технической программы “Леса Беларуси” разработан технологический регламент диагностики кризисного состояния еловых насаждений на основе аэрокосмических и наземных данных. В пределах эталонно-калибровочных участков Воложинского, Молодечненского и Столбцовского лесхозов выполнены исследования в мониторинговом режиме по оценке состояния еловых насаждений на период 1999–2002 гг. Для этого применена компьютерная тематическая обработка космических снимков высокого разрешения Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, Aster и Метеор 3М, а также аэроснимков, полученных с помощью авиационного

аппаратно-программного комплекса ВСК-2. В результате построены тематические лесные карты, на которых выделены различные категории состояния еловых насаждений, а также свежие вырубki и вырубki прошлых лет. Кроме того, проведена ресурсная оценка ущерба от усыхания древостоев на основании космической информации и ГИС "Лесные ресурсы".

Установлено, что процесс усыхания еловых насаждений весьма динамичен. Так, в пределах трех кварталов Лебедевского лесничества Молодечненского лесхоза в 1999 г. было отмечено куртинное усыхание древостоев на незначительных площадях. Анализ аэрокосмических снимков показал, что в течение 2000–2001 гг. усыхание усилилось и в конце 2002 г. после сплошных санитарных рубок в этих кварталах осталось лишь 10% здоровых насаждений. Аналогичная ситуация отмечена и на других эталонно-калибровочных участках.

При подборе опытных участков и проведении на них рекогносцировочного и детального лесопатологического обследования использовались данные лесоустройства, материалы лесхозов и лесничеств, результаты феромонного лесопатологического мониторинга за короедом-типографом с помощью ловушек, а также натурального обследования и оценки лесопатологического состояния насаждений.

При компьютерной обработке многозональных космических снимков Landsat 7 ETM<sup>+</sup> и Terra (Aster) использовалась рабочая станция Celsius, стандартные программы работы с растровыми изображениями, такие как Corel 11, PhotoPaint 11, PhotoShop 6, а также специализированные лицензионные программы обработки изображений ERMapper-5.2, ENVI 3.5 и GeoMedia Professional. Для создания синтезированных изображений использовались исходные спектральные каналы различных диапазонов спектра, которые затем обрабатывались по специальным алгоритмам для получения тематической информации о состоянии лесов.

Весьма информативными для целей диагностики кризисного состояния лесных насаждений являются снимки Landsat 7 ETM<sup>+</sup>. При обработке этих снимков для оценки состояния лесов рекомендуется использовать цветовую модель СМУК (табл. 1).

Таблица 1

Цветовая модель СМУК

Каналы СМУК-модели	Комбинации диапазонов Landsat 7 ETM <sup>+</sup>
1-8	Difference
2-7	Difference с наложением маски band 4
3	Band 3
4-5	Ratio

Таким образом в обработке задействованы семь из восьми зон. Учитывая огромный объем информации, содержащийся в новейших снимках Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, их обработку необходимо производить на рабочих станциях.

Компьютерная обработка многозональных космических снимков Terra (система Aster) выполнялась по территории эталонно-калибровочных участков Воложинского, Столбцовского и Молодечненского лесхозов с использованием УАР-2 и сопряженной с ней двухпроцессорной рабочей станцией Celsius 400/600. Использовалась цветовая модель СМУК с различными комбинациями спектральных диапазонов (мкм): 0,52–0,60; 0,63–0,69; 0,76–0,86; 1,60–1,70; 2,36–2,43 и 10,25–10,95 (табл. 2).

Цветовая модель СМУК

Каналы СМУК-модели	Комбинации диапазонов Terra (Aster)
1-10	Difference
2-8	Ratio
3	
4	

Таким образом в компьютерной обработке задействованы только 6 спектральных зон из 14.

Для ведения аэрокосмического мониторинга ветровалов и буреломов использовались новейшие космические снимки высокого разрешения Ресурс-01, Метеор 3М, Landsat 7 ETM<sup>+</sup> и Terra (система Aster) за период 1997–2002 гг. Определение площадей ветровалов и буреломов в пределах Воложинского (Ивенецкое и Каменское лесничества) и Осиповичского (Цельское лесничество) лесхозов осуществлялось с помощью компьютерной обработки аэрокосмических изображений. Подобраны алгоритмы обработки для каждой космической системы в мониторинговом режиме. Опытно-производственная проверка показала, что закартированные площади ветровалов и буреломов, полученные с использованием аэрокосмических методов, на 95% совпадают с данными наземных лесоустроительных работ.

В пределах Воложинско-Столбцовского и Вилейско-Воложинского региональных тестовых полигонов разработана система прогноза площадей ветровалов и буреломов на основе сопряженного сопоставления данных с рельефом, геофизическими полями Земли, неогеодинамическими зонами и другими показателями [1,2]. Установлено, что площади массовых ветровалов и буреломов приурочены к переходной зоне от значительных по площади и мощности явных остаточных высот (восточная часть тестового полигона) и западной частью полигона с разреженными явными остаточными высотами. Аналогичная картина наблюдается на карте базисных поверхностей и скрытого остаточного рельефа. Просматривается закономерность в распределении площадей массовых ветровалов и буреломов, установленных по распределению форм рельефа: они приурочены к переходной зоне от моренных повышений к ложбинам стока, имеющим север и северо-восточную ориентировку.

Что касается геофизических полей Земли (магнитное, гравитационное), то общее плановое направление ветровалов и буреломов совпадает с осями аномалий магнитного и гравитационного полей. Установленная взаимосвязь является важным прогнозным показателем. При этом, почти все площади ветровалов и буреломов приурочены к изолиниям положительных значений магнитного поля. В гравитационном поле самые значительные площади буреломов и ветровалов приурочены к аномальным положительным значениям гравитационного поля.

Площадное распределение ветровалов и буреломов четко совпадает с распространением крупных разломных тектонических зон и определенного состава пород кристаллического фундамента (направление от севера до северо-востока). Карта неогеодинамических зон отражает только наиболее активные разломы и кольцевые структуры, т.е. не все разломы в кристаллическом фундаменте являются активными на новейшем и современном этапах тектогенеза. Наиболее активной в районе Воложинско-Столбцовского и Вилейско-Воложинского тестовых полигонов является Ивенецко-Першайская неогеодинамическая зона, которая “притянула” на себя радионуклидные осадки вследствие аварии на Чернобыльской АЭС при минимальной скорости юго-восточного ветра. Эта же зона приняла на себя все стихийные события урагана 23 ию-

ня 1997 г. (ветровалы и буреломы) при глубоко циклональном юго-западном ветре около 40 м/сек. При этом, максимальные площади ветровалов и буреломов приурочены к узлам пересечения субмеридиального Ивенецкого разлома с субширотными (Ислочским, Волмянским и Усавским). Южнее Усавского разлома, по-видимому, Ивенецкий разлом менее активен и незначительные площади ветровалов и буреломов распространены восточнее Ивенецкого разлома. Этот фактический материал еще раз доказывает тесную генетическую связь между глубинным геологическим и тектоническим строением, особенностями земной поверхности и околоземного воздушного пространства.

Таким образом, полученный фактический материал, теоретическая наработка и данные аэрокосмических съемок позволяют сделать прогноз приуроченности ветровальных и буреломных процессов к Ивенецко-Першайской неогеодинамической зоне и той зоне, которая расположена южнее Усавского разлома. Вероятность повторения природных катаклизмов в этих зонах максимальна.

Для обнаружения и оценки последствий пожаров в лесах и на торфяниках в Беларуси используется ряд методов: авиационный и наземный с использованием пожарно-наблюдательных вышек, оснащенных автоматизированной ИК-ТВ системой дистанционного обнаружения очагов возгорания. В мировой практике широко применяется эффективный и экономически обоснованный космический метод. Для этих целей обычно используется оперативная космическая информация со спутников NOAA. Однако разрешающая способность этих снимков довольно низкая (около 1 км), что не всегда позволяет выявить небольшие по площади пожары и оценить их последствия (закартировать гари, дать ресурсную оценку ущерба). Получаемые космические снимки с помощью станции УНИСКАН позволяют обнаруживать в оперативном режиме пожары в лесах и на торфяниках и давать ресурсную оценку ущерба.

Таким образом, в лесном хозяйстве Республики Беларусь на основе космических, авиационных и наземных методов создана система компьютерной обработки многозональных аэрокосмических снимков, адаптированная в ГИС "Лесные ресурсы". Эта система позволяет осуществлять мониторинг массового усыхания насаждений, ветровалов и буреломов. Имеющиеся наработки свидетельствуют о возможности ее применения для обнаружения и оценки последствий пожаров в лесах и на торфяниках. В настоящее время проводится внедрение системы в практику лесного хозяйства. Пятилетний опыт использования данных дистанционного зондирования Земли для мониторинга лесов Беларуси убеждает в перспективности и высокой экономической эффективности развития данного научно-прикладного направления.

## Литература

1. Мониторинг лесов Беларуси на основе региональной станции приема космической информации, авиационного аппаратно-программного комплекса ВСК-2 и ГИС "Лесные ресурсы" / Атрощенко О.А., Юшкевич Н.Т., Кулагин А.П. и др. // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Тез. докл. III Всероссийской конференции, посвященной памяти Г.Г. Самойловича. – Москва: Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2002. – С.27–29.

2. Тяшкевич И.А. Многоуровневая система надзора за состоянием леса // Лесное и охотничье хозяйство. – 2003. – №1. – С.62–65.