

## Лісогосподарські задачі

### Комплексирование космических снимков пространственного разрешения эффективности исследования (на примере Зоны отчуждения и районов Сибири)

### многозональных различного разрешения для повышения лесных массивов ЧАЭС

В. И. Лялько, А. И. Сахацкий, А. Я. Ходоровский,  
А. Т. Азимов, З. М. Шпортюк, О. Н. Сибирцева, И. Я. Буянова

Центр аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины, Киев

#### ВВЕДЕНИЕ

Леса играют важную роль в процессе стабилизации экологического состояния регионов, локализации токсикантов, сохранении водного баланса и т. д. Поэтому мониторинг состояния лесов необходим для контроля за устойчивым развитием территорий.

Как известно, наиболее экономичный метод исследования лесов основан на использовании материалов многозональной космической съемки, что позволяет проводить контроль состояния лесов в режиме мониторинга на локальном и региональном уровнях. В особенности эффективно применение космических снимков в районах стихийных бедствий, экологических катастроф, которые охватывают значительные площади, где присутствие людей должно быть ограничено. Это полностью относится к зоне влияния аварии на ЧАЭС.

Использование многозональных снимков для изучения растительности основывается на анализе изменений параметров отраженного солнечного излучения в разных диапазонах спектра электромагнитных волн в результате его взаимодействия с растениями. Спектры отражения в разных диапазонах длин волн дают принципиально разную информацию о растительности, и поэтому все они используются для классификации растительных сообществ и оценки их состояния.

При исследовании растительности по оптическим параметрам проводят как непосредственное сопоставление абсолютных значений отражения в разных спектральных каналах, так и анализ вегетационных индексов. Обе группы показателей имеют свои преимущества и недостатки, и их необходимо использовать совместно.

В основу изучения растительности дистанционными методами положен принцип распознавания образов, для чего необходимы сведения о характере и спектральных свойствах растительности в пределах тестовых участков на изучаемой территории. Сведения о характере растительности можно получить только в результате наземных исследований. По разным данным точность распознавания растительности по дистанционным данным составляет 70—80 %.

Повысить эффективность использования многозональной космической съемки позволяет применение различных методов обработки снимков, комплексирование разновременных снимков различного разрешения для решения поставленных задач и комплексное решение нескольких задач на основе имеющегося набора данных космической съемки.

На Украине с помощью многозональной космической съемки исследовались леса Чернобыльской зоны отчуждения. Леса Зоны преимущественно посажены после 1945 г., среди них преобладают основные. Принимая во внимание сравнительно не-

большой размер территории исследования и наличие на всю площадь лесотаксационных карт, исследования проводились в детальном масштабе с использованием многозональных снимков с высоким пространственным разрешением со спутников «Spot»-4 (20 м), «Landsat TM» (30 м) и «Океан-О МСУ-В» (50 м), полученные за период 1980—2000 гг. Результаты исследований подтверждены наземной заверкой.

Исследования лесов центральной части Сибири (преимущественно Красноярский край) были выполнены с целью оценки пространственного распространения различных растительных сообществ и определения ряда биосферных параметров. В отличие от лесов Украины это естественные леса, возраст которых колеблется в широких пределах, и занимают они несопоставимо большие площади. Поэтому для мониторинга пространственного распределения растительных сообществ нами использовались снимки «Spot» VGT продукт S10 (разрешение 1 км) за период апрель—сентябрь 1999 г., которые охватывают всю территорию исследований в комплексе с многозональными снимками «Landsat-7» за 1999 и 2000 гг. для отдельных регионов, обеспеченных лесотаксационными картами. Снимки и наземные данные для регионов Сибири любезно предоставлены Международным институтом прикладного системного анализа (IIASA, г. Лаксенбург, Австрия).

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ С ЦЕЛЬЮ ИЗУЧЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗОНЫ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧАЭС

Для анализа многозональных космических снимков используются разные методы, но все они не универсальны и требуют адаптации к условиям конкретного района и решаемых задач.

После аварии на ЧАЭС структура землепользования Зоны отчуждения сильно изменилась. Происходит залесение бывших сельхозугодий, леса Зоны испытали радиационное повреждение, ослаблены пожарами, ветровалами, буреломами, развитием очагов вредителей и болезней, отмечаются изменения в составе древостоев и т. п.

В последние 3—4 года наблюдались вспышки развития различных первичных вредителей сосны, прежде всего соснового шелкопряда. Для предупреждения поражения лесов вредителями проводится авиахимобработка, но и при этом возможность возникновения повторных вспышек вредителей остается высокой на протяжении 3—5 лет после их первого появления.

Прекращение на значительных площадях ухода за лесом, приведшее к накоплению сухостоя в силу

различных причин, значительно повысило риск возникновения пожаров. Как следствие, значительные площади лесных массивов были повреждены пожарами в 1992 году.

На основании вышеупомянутого, главными задачами, которые стоят при изучении растительности Зоны отчуждения, являются [4, 6]:

- уточнение границ растительных группировок;
- определение фитосанитарного состояния лесов;
- определение степени природной пожароопасности территории.

Для контроля за состоянием лесных массивов в Зоне отчуждения нами использовался многозональный космический снимок со спутника «Spot-4» (Франция), сделанный 14 июля 1998 г. в четырех каналах: зеленом с длиной волны 0.50—0.59 мкм, красном — 0.61—0.68 мкм, ближнем инфракрасном (БИК) — 0.79—0.89 мкм и среднем инфракрасном (СИК) — 1.6—1.75 мкм. Пространственное разрешение на местности составляет 20 м в пикселе. Снимок охватывает большую часть Зоны отчуждения 60×60 км. Кроме того, использовался снимок с КА «Океан-О» (сканер МСУ-В) 03.10.99 г., с достаточно высокой разрешающей способностью. Снимок сделан всего в двух спектральных диапазонах из восьми: ближнем инфракрасном (0.78—0.92 мкм, разрешающая способность 50 м) и в среднем инфракрасном (1.47—1.62 мкм, разрешающая способность 100 м). Качество снимка в ближнем инфракрасном диапазоне хорошее, облачность занимает менее 10 % площади. Снимок, сделанный в средней инфракрасной зоне, имел много недостатков и требовал предварительной обработки с целью повышения его качества. Это было сделано с использованием собственных программных продуктов и фильтров, которыми обеспечивает программа «ERDAS Imagine» [3].

С целью оценки возможностей снимков с КА «Океан-О» для изучения растительности была проведена классификация с обучением снимка от 03.10.99 г. Классификация проводилась по методу максимальной вероятности, как наиболее информативного, с использованием программного продукта «ERDAS Imagine». Объекты обучения включали все основные разновидности растительного покрова, которые были выбраны на основании материалов лесоустроительных работ и относительно равномерно распространены по всей изучаемой территории. Всего было использовано около 250 точек наблюдения. Кроме разновидностей растительности были учтены элементы ландшафта, которые занимают довольно значительную площадь — это водная поверхность, населенные пункты, промплощадка ЧАЭС и песчаные дамбы.

В результате установлено, что в пределах исследуемой территории уверенно выделяются все основ-

ные элементы ландшафта. Это сосновые леса, сосновые леса поврежденные сосновым шелкопрядом, лиственные леса с преобладанием ольхи или березы. Другие виды лиственных лесов выделить не удалось. Уверенно отделяются вырубки и дороги, хорошо видны участки бывших сельхозугодий, которые зарастают сосной и лиственными породами деревьев. Пойма отличается от залежных земель в первую очередь вследствие интенсивного зарастания ольхой и другими породами лиственных деревьев. Относительно хорошо отделяются места пожаров в лесах. По нашим данным в пределах гарей наблюдается интенсивное зарастание молодой сосной и лиственными деревьями, которые затрудняют их выделение. Практически не выделялись те виды растительности, которые занимают небольшие площади. Это касается древостоев с преобладанием дуба и осины, посадки акации, сады и т. п. Среди элементов ландшафта, которые не связаны с растительностью, наиболее четко выделяются естественные и техногенные объекты, которые сложены песками. Открытая водная поверхность обычно выделяется достаточно хорошо. Достоверность приведенной классификации, по данным наземной проверки, удовлетворительная.

Сопоставление результатов классификации ландшафтов по данным снимка с КА «Океан-О» с результатами аналогичной классификации ландшафтов по снимку с КА «Spot-4», показало, что на обоих снимках четко выделяются все основные виды растительности, естественные и техногенные элементы ландшафта, пространственное распространение которых идентично.

Однако значительно меньшая разрешающая способность снимка «Океан-О», неоптимальное время проведения съемки, низкое качество снимка и меньшее количество спектральных каналов послужило причиной выделения на нем меньшего количества классов ландшафтов (рис. 1), по сравнению со снимком с КА «Spot», где выделено более 25 классов.

На рис. 1 приведена классификация растительности Зоны отчуждения, составленная по результатам обработки двух снимков, но границу между ними установить тяжело, что свидетельствует о близости полученных результатов. Безусловно, если бы снимок с КА «Океан-О» был сделан в оптимальные сроки, во всех восьми спектральных диапазонах и был хорошего качества, то результаты классификации были бы значительно лучшими.

С целью усовершенствования приемов классификации растительности и повышения эффективности использования многозональных космических снимков были оценены возможности применения анализа состояния растительных сообществ по значениям позиции «красного края» сигналов отражения. Известно,

что позиция «красного края» (в дальнейшем REP) может служить показателем здоровья растительных сообществ, поскольку при повреждении растений этот показатель сдвигается в сторону коротких длин волн («голубой сдвиг»). По определению, позиция «красного края» — это длина волны, на которой скорость изменения спектра отражения на отрезке 670—760 нм максимальная. Особенностью предложенной методики есть то, что определение REP проводится по данным многозонального космического снимка, а не по данным спектрометрии, как делают остальные исследователи.

Верификация изложенной методики была осуществлена на участках с разнообразным растительным покровом при обработке данных космоснимка «Spot-4». Были отобраны участки соснового леса со здоровыми и поврежденными деревьями, для которых были построены кривые относительной спектральной яркости и их первых производных и определена REP. Как свидетельствуют результаты вычислений, для пикселей участка со здоровыми сосновыми деревьями REP = 719 нм, а для пикселей участка с поврежденными деревьями REP = 710 нм. Наличие «голубого сдвига» в спектральных кривых поврежденных деревьев величиной 9 нм совпадает с результатами, которые были получены с использованием спектрометра [1, 2]. Предложенная нами методика определения позиции «красного края» по данным космосъемки является новой. Поэтому нужно провести дальнейшие исследования относительно возможности ее усовершенствования и оптимизации вычислительного алгоритма.

Специальные методы обработки многозонального снимка «Spot-4» позволили также построить схему фитосанитарного состояния сосновых лесов Зоны отчуждения и схему природной пожароопасности района работ, которые были использованы ГП «Чернобыльлес» для проведения лесокультурных мероприятий в 1999 г. [4].

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ СНИМКОВ РАЗНОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ С КА «LANDSAT-7» И «SPOT» VGT ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ СИБИРИ

Исследуемая территория находится на юге Красноярского края и покрыта преимущественно хвойными лесами разного состава [5]. Леса играют важную роль в экологии всего региона и интенсивно эксплуатируются, особенно вблизи железных дорог и рек, по которым можно сплавлять древесину. Большие размеры территории, недостаточное освоение, труднодоступность многих районов, суровые климатические условия значительно усложняют ее

изучение наземными методами. В этих условиях решающее значение для оценки экологии региона, определения состава лесов, их возраста, запасов древесины, фитосанитарного состояния и пожароопасности приобретает использование материалов многозональной космической съемки высокого и низкого пространственного разрешения. С помощью этих материалов можно также осуществлять контроль за вырубкой лесов и их восстановлением, оценить транспортную инфраструктуру любого региона. Сравнительный анализ разновременных космических снимков разрешает проводить мониторинг изменений этой территории. Все исследования базируются на обязательном использовании наземных данных по отдельным тест-участкам.

На первом этапе выполнения работ основной задачей была отработка методических подходов к обработке имеющихся материалов космической съемки для проведения классификации лесных растительных сообществ регионов Сибири. работы велись на площадях, на которые имелись лесотаксационные карты, что позволяло оценить возможности космической съемки для решения поставленных задач. По этой территории в нашем распоряжении были такие космические снимки:

1. «Spot» VGT — 18 снимков (продукт S10), за период 01.04.99—30.09.99. Снимки покрывают площадь 2500×1600 км и охватывают всю территорию исследований. Снимки имеют разрешающую способность 1×1 км и представляют собой изображения, которые интегрируют спектральные яркости земных покровов в четырех спектральных каналах за десятидневный период. Съемка «Spot» VGT проводится в следующих четырех каналах: 1 — 430—470 нм (Blue); 2 — 610—680 нм (Red); 3 — 780—890 нм (NIR); 4 — 1580—1750 нм (SWIR).

2. «Landsat-7» — семь снимков в семи стандартных спектральных диапазонах. Снимки сделаны летом 1999 и 2000 года, на них расположены все тестовые участки.

Для дешифрирования по космоснимкам состава растительности лесных массивов использовалась созданная ранее база данных, включающая описание лесотехнических характеристик выделов в границах нескольких десятков лесничеств, которые относительно равномерно расположены по всей территории исследования. База данных была создана в формате ArcInfo.

Векторные изображения кварталов и выделов были совмещены с космоснимками с помощью программы «ERDAS Imagine» и таким образом была обеспечена возможность сопоставления данных космической съемки с лесотехническим описанием отдельных участков.

Используя установленные сигнатуры основных классов растительности, была проведена классифи-

кация с обучением космоснимков «Landsat-7» с помощью программного продукта «ERDAS Imagine». Классификация была выполнена методом максимальной вероятности, так как было доказано нами раньше, что этот метод позволяет получить более точную классификацию по сравнению с методом минимального расстояния и расстояния Махалонбиса [4]. По данным других исследователей при классификации лесной растительности метод наибольшей вероятности также показал удовлетворительные результаты.

Метод максимальной вероятности базируется на определении вероятности отнесения каждого пикселя к определенному классу. Мы допускаем, что эти вероятности одинаковы для всех классов и имеют нормальный закон распределения данных.

Суть работы заключалась в следующем. Программой опрашивались пиксели изображения в пределах значительного количества тестовых участков. По результатам замеров строились гистограммы распределения спектральных яркостей, вычислялись средние значения и статистические параметры распределения для различных видов растительных сообществ в каждом из каналов многозональных космических снимков «Landsat-7». Затем на основе анализа отдельных тестовых участков с помощью программы «ERDAS Imagine» были созданы суммарные сигнатуры, которые объединяли данные по отдельным растительным ассоциациям, таким образом были получены спектральные характеристики для всех групп древостоев, выделяемых на лесотаксационных картах, и для разных элементов ландшафта (водная поверхность, пески и т. д.). Всего первоначально было выделено 72 класса растительности и элементов ландшафта и определены их спектральные характеристики. Затем была проведена сравнительная оценка сигнатур всех выделенных классов объектов с целью прогноза надежности классификации растительности района по методу наибольшей вероятности. Создана матрица такой оценки. В результате часть классов, выделявшихся с низкой надежностью, была объединена, и в итоге из 72 классов осталось 40. По результатам проведенного анализа наиболее уверенно различаются сосновые, темнохвойные и лиственные леса, четко идентифицируется растительность лугов, вырубки разного возраста, водная поверхность, песчаные образования в пойме р. Енисей и другие. Хуже различаются между собой осиновые и березовые леса, площади, занятые молодой березой. Смешанные березово-осиновые леса часто относятся к классу берез или осины. Плохо различаются между собой дороги и свежие вырубки возрастом менее пяти лет. Поэтому эти классы были объединены, но в целом вырубки разного возраста выделяются достаточно хорошо, что по-



Рис. 1. Схема классификации растительности восточной части Зоны отчуждения ЧАЭС по типам растительных сообществ, выполненная с использованием многозональных космических снимков с КА «Spot-4» (14.07.98 г.) и «Океан-О» (03.10.99 г.): 1 — леса с преобладанием сосны; 2 — сосновые леса, поврежденные сосновым шелкопрядом; 3 — разреженные смешанные леса и площади, которые зарастают вербой; 4 — смешанные лиственные леса с преобладанием березы; 5 — залесение территорий преимущественно молодой березой; 6 — смешанные лиственные леса с преобладанием ольхи; 7 — акация; 8 — луга и пойменные участки; 9 — залежные земли; 10 — гари; 11 — открытый песчаный грунт с редкой травянистой и кустарниковой растительностью; 12 — вода; 13 — техногенные объекты; 14 — облака; 15 — тени от облаков. Классификация проведена с использованием программного продукта «ERDAS Imagine» по методу максимальной вероятности

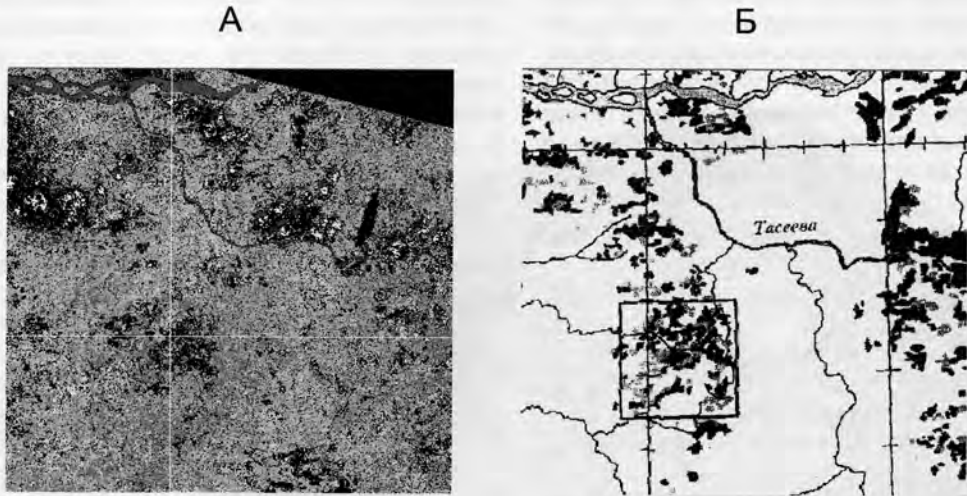
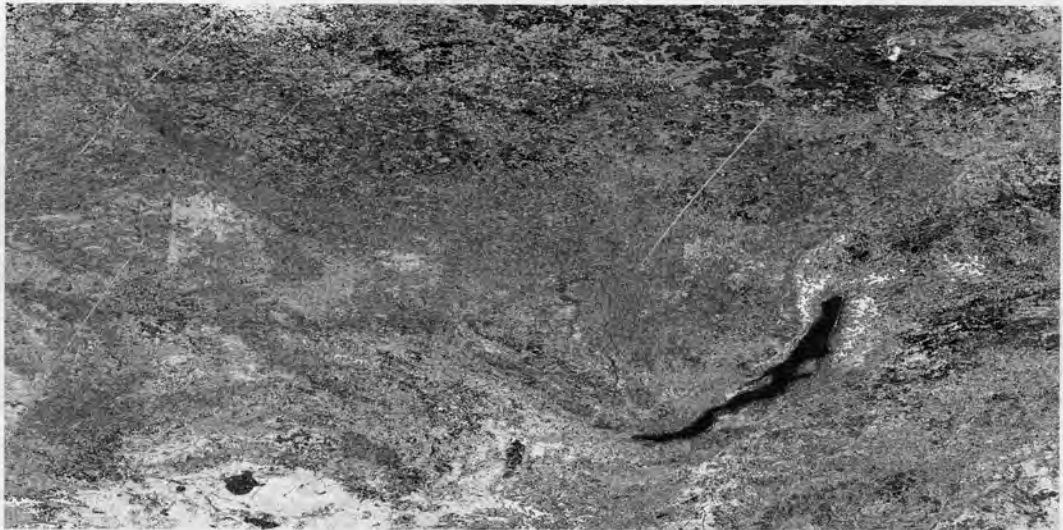


Рис. 2. Сравнение фрагмента классифицированного изображения снимка «Landsat-7» 22 июня 2000 г. (А) после пороговой обработки пикселей с результатами фитосанитарной карты, построенной с помощью авиационной съемки (Б). Черным цветом показано: на рис. А — пиксели, которые превысили пороговые значения при классификации, на рис. Б — участки леса, поврежденные сибирским шелкопрядом (*Dendrolimus sibiricus*) по данным авиационной съемки [7]



#### Условные обозначения














	Леса с преобладанием светлохвойных пород (сосна и лиственница)
	Темнохвойные леса с преобладанием пихты
	Темнохвойные леса с преобладанием ели
	Темнохвойные леса с преобладанием кедра
	Смешанные леса
	Леса с преобладанием березы
	Леса с преобладанием осины
	Вырубки, гари и луга, зарастающие молодой березой
	Вырубки, луга, пастбища
	Гари
	Горные луга
	Водная поверхность
	Ледники

Рис. 3. Классифицированное изображение снимка «Spot» VGT центральной Сибири (продукт S10 за первую декаду июня 1999 г.)



звояет использовать космические снимки для контроля за возобновлением растительности.

В результате проведенной классификации получено распределение растительных сообществ в пределах четырех полных сцен «Landsat-7».

Анализ результатов классификации прежде всего подтвердил высокую точность выделения основных разновидностей хвойных и лиственных лесов в пределах исследуемой территории. Контрольное сопоставление классифицированного изображения с описанием выделов почти полностью подтверждает предшествующий анализ сигнатур в отношении надежности установления классов лесов. Процент правильно расклассифицированных пикселей приблизительно совпадает с оценкой сигнатур. Только еловые и кедровые леса, согласно лесотехническому описанию в некоторых случаях были ошибочно отнесены к сосновым лесам. Возможно, дальнейший анализ позволит найти пути повышения точности классификации.

Дополнительно к проведенной классификации был выполнен анализ классифицированного изображения в отношении порогового расстояния пикселей, которые хотя и отнесены к определенному классу по методу наибольшей вероятности, но их спектральные яркости сильно отличаются от среднестатистических для данного класса. При анализе хвойных лесов установлено, что пиксели, которые превышают стандартные пороговые значения, обычно отвечают хвойным лесам, пораженным вредителями, главным образом сибирским шелкопрядом (*Dendrolimus Sibiricus*) (см. рис. 2).

Значительную сложность представляет проблема оценки точности проведенной классификации. Сопоставление данных по отдельным выделам лесотаксационных карт с результатами проведенной классификации показало, что данные дешифрирования дают значительно более детальную картину распределения растительности. Это и неудивительно: по материалам дешифрирования идет попиксельная оценка (30×30 м), тогда как по наземным данным такой единицей есть выдел, размеры которого порядка 1 га и более. Поэтому была предложена 12-бальная шкала точности оценки результатов классификации. Контрольные сопоставления с наземными данными указывают на точность классификации снимков «Landsat-7» на уровне 8–10 баллов, что соответствует хорошей точности классификации (в среднем 75–85 %). В ряде случаев расхождение наземных и дистанционных данных обусловлено значительно большей детальностью наблюдений на снимках, а также, вероятно, теми изменениями, которые произошли за время между проведением лесотаксационных работ и космической съемкой.

Данные классификации растительности по сним-

кам с «Landsat-7» были использованы для работы со снимками «Spot» VGT, которые имеют гораздо меньшее разрешение на местности, но охватывают значительно большие площади, проводятся с высокой периодичностью (ежедневно) и намного дешевле. Более того, использование снимков «Spot» VGT позволяет вести работы в режиме мониторинга, а это значительно повышает информативность исследования и расширяет круг решаемых задач. Однако при использовании этих снимков приходится сталкиваться с целым рядом трудностей. Прежде всего, это проблема выборов тест-участков. Площади выделов на лесотаксационных картах измеряются первыми гектарами, тогда как каждый пиксель «Spot» VGT охватывает площадь в 100 га. Поэтому для обучения выбирались наиболее однородные участки растительности. Это достигается и за счет обобщения отдельных классов растительности. Всего нами анализировалось около 20 классов растительности, но в результате были выделены 11 классов растительности — светлохвойные леса, темнохвойные леса с преобладанием пихты, ели или кедра, смешанные леса, лиственные леса с преобладанием березы или осины. Кроме того, выделились вырубки, зарастающие березой, свежие вырубки, заросшие травой, луга и пастбища, гари и элементы ландшафта. Результаты классификации растительности приведены на рис. 3.

По нашему мнению, полученные данные есть лишь первым шагом на пути проведения более детальной классификации с выделением разновидностей хвойных и лиственных пород деревьев разного возраста, их фитосанитарного состояния и пожароопасности.

В настоящее время изучаются возможности использования временных серий снимков «Spot» VGT для проведения классификации данной территории. Проведенные исследования изменений спектральных яркостей и вегетационных индексов на протяжении вегетационного цикла по данным снимков «Spot» VGT в пределах полигона Большое позволяют говорить о возможности использовать отличия в изменении, в частности, индекса NDVI у различных растительных сообществ, для выполнения классификации изображений с целью определения пространственного расположения основных растительных группировок в пределах рассматриваемой территории.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований были решены разнообразные вопросы методики классификации растительности Зоны отчуждения по типам растительных сообществ. Установлено, что для про-

ведення класифікації рослинності з допомогою програмного продукту «ERDAS Imagine» найбільш придатною є класифікація з навчанням, яка виконується за методом найбільшої ймовірності. Вона краще за все відповідає даним контрольних точок спостережень.

Предложена методика визначення позиції «червоного краю» за даними мультиспектрального космічного знімка. Верифікація цієї методики показала, що в межах соснових лісів значення REР можуть слугувати індикаторами фітосанітарного стану лісової рослинності.

Нові методичні розробки були використані для побудови схеми фітосанітарного стану лісової рослинності та оцінки природної пожегобезпеки лісової рослинності в її межах.

Виконано класифікацію лісів Сибіри за знімками «Landsat-7» та «Spot» VGT. Класифікація за знімками «Landsat-7» показала достатню високу точність виділення основних лісових рослинних угруповань та дозволила здійснити класифікацію значно більшої території за знімками «Spot» VGT, використання яких дозволяє вести роботи в режимі моніторингу, а це значно підвищує інформативність дослідження та розширює коло розв'язуваних завдань.

Методичні прийоми, використані при обробці знімків «Spot» VGT при вивченні лісів Сибіри, можуть бути застосовані та для вивчення лісів України як по аналогічним знімкам, так і по знімкам з AVHRR NOAA. Останні мають додатково теплові канали, мають

більш високу періодичність зйомки (кілька разів на добу), аналогічне просторове роздільне здатність (1.1 км) та поширюються безкоштовно.

Дослідження змін спектральних яркостей та вегетаційних індексів на протязі вегетаційного циклу за даними знімків «Spot» VGT дозволяють говорити про можливість використання знімків «Spot» VGT з метою визначення просторового розташування основних рослинних угруповань лісів Сибіри.

1. Buschmann C. Fernerkundung von Pflanzen // Naturwissenschaften.—1993.—80.—P. 439—453.
2. Buschmann C., Nagel E. Reflexionsspektren von Blettern und Nadeln als basis fer die physiologische Beurteilung von Baumscheden. — Karlsruhe: Kernforschungszentrum, 1992.—165 p.—PEF-Report Nr.90.
3. ERDAS Field Guide (1999) Fifth Edition, Revised and Expanded. ERDAS c Inc., Atlanta, Georgia.
4. Лялько В. І., Азімов О. Т., Сахацький О. І., Ходоровський А. Я. Оцінка тенденцій зміни екологічного стану зони впливу аварії на ЧАЕС за різночасовими багатозональними космічними знімками // Тез. доп. науково-практичної конф. «Наука. Чорнобиль-97». Київ, 11—12 лютого 1998.—С. 27—28.
5. Леса СССР. — М.: Наука, 1969.—Т. 4.—С. 350—387.
6. Сахацький А. І., Лялько В.І, Азімов О. Т. та ін. Використання багатозональних космічних знімків з метою вивчення рослинності Зони Відчуження ЧАЕС // Нові методи в аерокосмічному землезнавстві: Матер. науково-технічного семінару 27—28 травня 1999 р., Київ.—С. 105—113.
7. Харук В. І., Кожуховська А. Г., Пестунов І. А. і др. Зйомка NOAA/AVHRR в моніторингу вщипок сибірського шельку // Исслед. Земли из Космоса.—2001.—№ 1.—С. 80—86.

## Космічний моніторинг лісових пожеж за знімками NOAA

В. В. Дубровський, Я. В. Пархісенко, О. Ю. Петрученко,  
Л. С. Потапенко, О. Д. Рябоконтенко, Ю. Н. Штепа

Український центр менеджменту землі і ресурсів, Київ

Лісові пожежі руйнують ліси, фауну та ґрунти, забруднюють атмосферу і воду. В Україні лісові пожежі в деяких регіонах можуть привести і до поширення радіоактивного забруднення. Так, через забрудненість Полісся радіонуклідами пожежі на цих територіях можуть супроводжуватися підняттям радіоактивних речовин у повітря із подальшим перенесенням на значні території. Місця і час фіксації лісових пожеж, як показує практика, не

відповідають чітким закономірностям, а ступінь пожежонебезпечності лісів різко варіює по території країни і сезонах року. Тому своєчасне виявлення лісових пожеж та прийняття необхідних заходів з їхньої оперативної ліквідації є актуальною природоохоронною задачею. У зв'язку з цим необхідність залучення всіх доступних засобів оперативного виявлення пожеж на початковій стадії розвитку не викликає сумнівів. Традиційне викори-