

переменным φ_2 и φ_1 и получим формулу для оценки допустимой величины $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$:

$$\Delta\varphi = \Delta l / 30,99 \sin \varphi,$$

где $\Delta l / 30,99 = 1 / T$ – относительная погрешность величины 30,99.

Отсюда получаем искомую оценочную формулу

$$\Delta\varphi = \rho'' / T \sin \varphi. \quad (11)$$

Здесь $\rho'' = 206265''$ – число секунд в радиане.

Если принять $1 / T = 1 / 1000$, то для широты места $\varphi = 540$ находим $\Delta\varphi = 351''$ и размер $L_{\text{дм}} = l_{\text{м}} \cdot \Delta\varphi \approx 10,9$ км. При допустимом значении $1 / T = 1 / 2000$ получаем $L_{\text{дм}} \approx 5,4$ км. Следовательно, коррекционные съемки границ и просек лесных массивов можно производить по описанной упрощенной методике с точностью, отвечающей требованиям ГИС к формированию их геодезической основы.

ЛИТЕРАТУРА

Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии. Изд.2, перераб. и доп. М., Недра, 1979.

УДК 630*587.5

О. А. Атрощенко, профессор;
 Б. И. Беляев, зав. лаб. НИИ ПФП БГУ;
 Ю. В. Беляев, н. с. НИИ ПФП БГУ;
 Л. В. Катковский, вед. н. с. НИИ ПФП БГУ;
 В. А. Сосенко, зав. лаб. НИИ ПФП БГУ;
 М. А. Ильючик, аспирант

МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ И СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ И ПОРОДНОГО СОСТАВА ЛЕСОВ

The methods of spectrometer and spectrozone data using for diagnostics of a condition and definition of species structure of woods are considered. Are described: structure of a hardware-software complex and results of natural researches of woods and laboratory measurements of vegetative objects.

К настоящему времени широкое распространение для оценки состояния лесных экосистем получили пассивные методы дистанци-

онного зондирования, основанные на изучении параметров отраженного от объекта электромагнитного излучения в диапазоне 0,4–2,5 мкм. Наиболее изученными являются спектральные отражательные характеристики и их зависимость от степени поражения как отдельных деревьев, так и насаждений в целом различными промышленными выбросами: химическими [1-4], пылевыми [5].

В процессе бокового переноса в атмосфере химических и механических частиц антропогенного происхождения около городов, промышленных агломераций и отдельных заводов образуются парагенетические экосистемы воздушного загрязнения [6]. Наиболее чувствительна к загрязнению воздуха растительность. Леса испытывают на себе ряд отрицательных антропогенных и стихийных воздействий: промышленные выбросы (химические, пылевые, тепловые), рубки, пожары, ветровалы, повреждение энто- и фитовредителями. В результате этих воздействий уменьшаются размеры листовых пластинок лиственных или игл хвойных деревьев, уменьшается биомасса, а в результате потери хлорофилла появляется специфическая окраска: пожелтение (хлороз), обесцвечивание, происходит потеря влаги и, наконец, наступает дефолиация (опадание листвы или хвои деревьев) [7]. Сокращение лесных массивов, в свою очередь, влечет за собой изменение содержания CO_2 в атмосфере, вызывает нарушение теплового баланса Земли, снижает воздухоочищающую и водоохранную способность лесов, уничтожает места обитания многих животных и растений.

В литературе имеются отдельные сообщения о том, что поляризационные характеристики, такие, как степень поляризации излучения, отраженного от растений, также зависят от экологического состояния последних [8, 9]. Однако для разработки методики оценки состояния растительности на основе измерений степени поляризации отраженного излучения необходимо более полное исследование поляризационных характеристик излучения, отраженного растительностью. Информация о состоянии растительных объектов извлекается из данных об энергетической яркости и поляризации излучения, отраженного и рассеянного лесными массивами [10, 11]. Таким образом, современные методы дистанционного зондирования позволяют перейти к новым технологиям оперативной оценки текущих изменений в лесных экосистемах.

В настоящее время для Минлесхоза Республики Беларусь НИИ прикладных физических проблем совместно с БГТУ, НПП «Космоаэрогеология», ГП «Беллесавиа» и ГП «Беллесозащита» разрабатывает

и создает авиационный аппаратно-программный комплекс и методы оперативного контроля за состоянием лесов. Основным назначением аппаратно-программного комплекса оперативного дистанционного контроля является высокоточное картирование пораженных лесных территорий (лесопатология, гари, усыхающие лесонасаждения, ветровалы) и оперативная оценка ущерба, нанесенного лесным насаждениям аномальными погодными явлениями и антропогенными воздействиями.

В состав аппаратно-программного комплекса входит бортовой комплекс аппаратуры, предназначенный для регистрации, накопления и оперативного анализа информации на борту различных авиационных носителей (вертолетов Ми-2 и самолетов Ан-2). В состав комплекса также входит стационарный комплект аппаратуры, предназначенный для тематической обработки информации.

Бортовой комплекс аппаратуры (рис. 1) включает: блок спектрально-поляризационной съемки БСПС-01 видимого и ближнего ИК-диапазонов (0,4–1,05 мкм), позволяющий получать оцифрованные изображения в различных зонах спектра (12 зон), анализировать яркость, степень и азимут поляризации излучения каждого элемента изображения; спектрополяриметр высокого разрешения МС-09 (1024 регистрируемые длины волны со спектральным разрешением 2 нм) на область 0,35–1,05 мкм; камеру обзорного телевизионного контроля для получения цветного цифрового изображения изучаемых участков; блок точного географического позиционирования для определения пространственного положения носителя; бортовой вычислительный комплекс БВК, предназначенный для управления всеми блоками системы, проведения оцифровки, предварительной обработки получаемых данных и записи на встроенный накопитель.

Стационарный комплект аппаратуры состоит из стандартных средств вычислительной техники: ПЭВМ для обработки изображений, сканера, плоттера, принтера, видеоманитофона. Это – центр обработки данных, полученных бортовым комплектом аппаратуры, позволяющий просматривать, анализировать и тематически обрабатывать и представлять видеоспектрополяризационные данные в виде тематических лесных карт.

Обработка данных дистанционного зондирования является специальной областью процесса обработки изображений и спектров. Сегодня существует отдельный класс специализированных программных

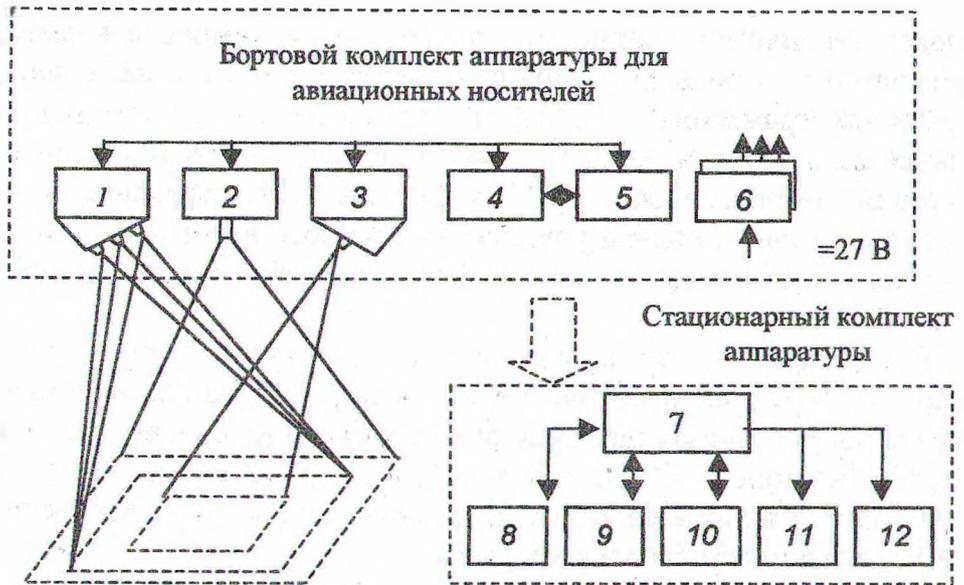


Рис. 1. Структурная схема аппаратно-программного комплекса оперативного контроля за состоянием лесов:

1 – блок спектрозонально-поляризационной съемки; 2 – камера обзорного телевизионного контроля; 3 – спектрополяриметр высокого разрешения; 4 – блок точного географического позиционирования (система GPS); 5 – бортовой вычислительный комплекс; 6 – блоки питания комплекса от бортовой сети; 7 – IBM PC; 8 – накопитель; 9 – сканер, 10 – плоттер; 11 – принтер; 12 – видеоманитофон

средств (отдельные пакеты или соответствующие разделы в ГИС-пакетах) для обработки данных дистанционного зондирования, четко отличающийся от систем обработки изображения общего назначения. Входной информацией является изображение, спектральный образ и поляризационные характеристики объекта, представленные в цифровом виде на магнитных или оптических носителях. Оцифровка производится непосредственно на борту, и в дальнейшем данные переносятся на компьютер стационарного центра обработки.

Для разрабатываемого аппаратно-программного комплекса, как и для большинства цифровых съемочных систем, методы первичной обработки реализуются программным обеспечением бортового комплекта аппаратуры, в котором решаются задачи выделения отдельных кадров, дополнения их необходимой информацией о пространственной привязке кадра по данным блока позиционирования и учет калибровочных данных аппаратуры.

На следующем этапе (если необходимо) производится вычисление основных статистических характеристик данных по каждому диа-

пазону съемки (среднее значение яркости по кадру, минимальное и максимальное значения яркости, мода и медиана, среднеквадратическое отклонение). Результаты этих вычислений записываются в отдельный файл для использования при последующей обработке изображения.

Для решения задач диагностики состояния и определения породного состава лесов применяются методы компьютерного распознавания и классификации на базе спектральных обучающих выборок. При этом возможно установление достаточно большого числа градаций состояния объекта. Решение этой задачи осуществляется как методом смешанного анализа спектральных и видеоданных, так и методами чисто спектрального анализа: линейного спектрального разделения, адаптивной фильтрации спектрального изображения, наименьших квадратов и т. п.

При тематической обработке спектральных видеоизображений выполняется их геометрическая коррекция, привязка изображений друг к другу и к карте (топографической основе), а также осуществляется мозаицирование, т. е. создание плоского изображения больших площадей из перекрывающихся изображений гораздо меньшего формата для дальнейшей обработки и хранения совместно с картографической информацией в виде слоев пространственно распределенной географически привязанной базы данных.

В октябре 1999 г. были проведены летные испытания макета комплекса и спектротелевизионные натурные измерения с борта вертолета Ми-2 ГП «Беллесавиа». В комплект спектротелевизионной аппаратуры входили: 1) оптический модуль спектрометра МС-08; 2) блок сопряжения и питания модуля спектрометра (27 В); 3) переносной портативный компьютер типа «KEYNOTE-486 SLC»; 4) видеокамера «НІТАСНІ».

Измерения проводились над территорией Молодечненского и Пуховичского лесхозов в различных погодных условиях и условиях освещения (дождь, солнце, сплошная облачность без осадков). Съемочные работы производились на высотах от 150 до 300 м в текущей точке надира при скорости вертолета от 120 до 150 км/ч. Пространственное разрешение полихроматора макета спектрометра на измеряемой поверхности с высоты 300 м составляло 3×10 м. Для каждого из условий освещенности выбиралась своя экспозиция (время интегрирования) регистрации спектра от 0,2 до 0,7 с. Управление работой макета оптического модуля МС-08, выбор объектов спектрометрирования и

запись полученных спектров осуществлялись оператором из кабины вертолета. Также производился визуальный контроль регистрации спектральных данных по экрану монитора компьютера "KEYNOTE-486 SLC" в реальном масштабе времени. Записанные в процессе летных измерений спектры пересчитывались из дискретов аналого-цифрового преобразователя в абсолютные единицы спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ), сравнивались с видеозаписью и анализировались с помощью пакета программ собственного программного обеспечения – ORS, CLAST.

Из проведенного анализа спектров видно, что интегральные значения спектральных кривых сильно зависят от освещенности земной поверхности (чистое небо, облачность, дождь), но соотношения между отдельными характерными интервалами в спектрах зависят в целом только от формы спектра регистрируемого объекта. Необходимо отметить, что полосы поглощения атмосферных газов O_2 и H_2O присутствуют во всех спектрах отражения на длинах волн: 762 нм – O_2 , 820 и 950 нм – пары воды.

Характерными спектральными полосами для растительности являются широкая полоса поглощения хлорофилла 640-690 нм и плато ИК-зоны отражения листовенного покрова – 740-900 нм. По соотношению регистрируемых сигналов в этих областях можно, в частности, отделить спектры листовенного леса от хвойного в любой период года. Осенняя же листва, почти не содержащая хлорофилла, обладает значительно большей отражательной способностью в полосе 640-690 нм и в области 740-900 нм в отличие от хвои (рис. 2).

Отсутствие растительности в поле зрения спектрометра приводит вообще к отсутствию полосы поглощения хлорофилла в спектрах гари, дороги, сухостойного леса, пашни и значительно меньшему отражению излучения в ближней ИК-области. Хорошо видны наиболее контрастные зоны спектра между хвойным лесом и участком леса, пройденного пожаром (гарь). Это зоны максимума отражения растительности в области 550 нм (зеленый максимум) и наибольшего контраста в ближней ИК-области спектра 740-900 нм. Промежуточным по яркости объектом является лесная поляна с меньшим, чем у леса, "индексом проективного покрытия" растительности.

Натурные эксперименты, в особенности с борта носителя, характеризуются большим разнообразием меняющихся параметров как самих объектов исследования, так и их условий освещения и наблюдения. Для более корректной оценки получаемых в натуральных условиях

спектрозонально-поляризационных данных необходимо проведение предварительных лабораторных экспериментов. Многие физические закономерности, связывающие спектральные и поляризационные характеристики излучения растительности с ее биологическими параметрами, могут быть получены в лабораторных условиях и затем адаптированы к условиям дистанционного эксперимента.

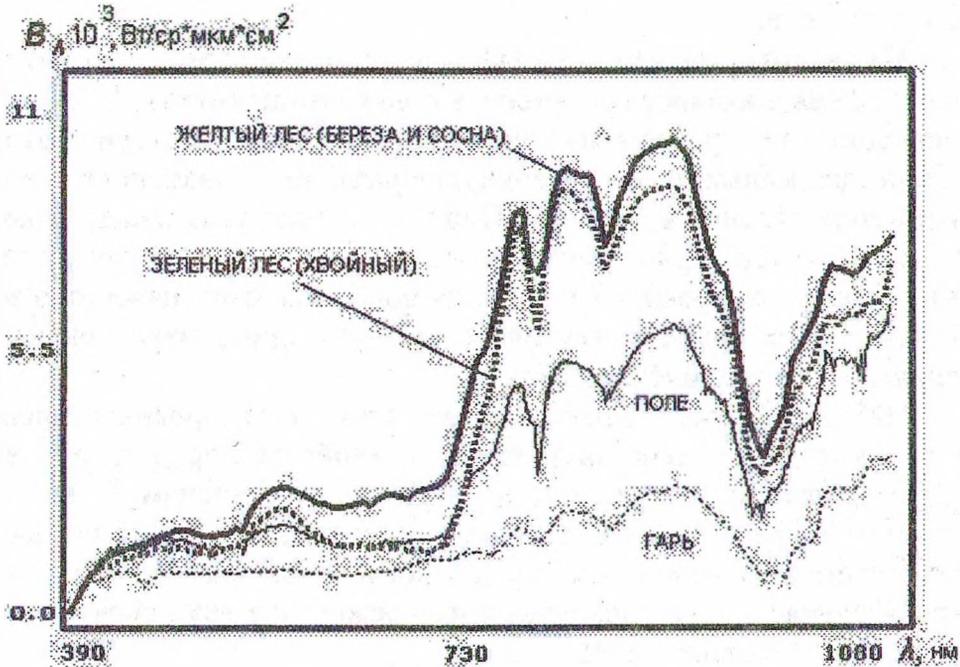


Рис. 2. СПЭЯ отраженного излучения осеннего лиственного и хвойного участков леса, поляны, гари (натурные измерения)

Для проведения лабораторных исследований растительных объектов использовалась установка на базе гониометра Г-5 и спектрополяриметра МС-08 [13]. На поворотном столике гониометра закреплялись поочередно образцы хвои сосны, ели и листьев дуба. Коллимированное излучение от осветителя падало на поворотный столик установки под различными фиксированными углами (30; 45; 60°). Углы визирования выбирались небольшими (0; 5; 10; 15; 20; 25°), с учетом натуральных условий измерений. Регистрация интенсивности отраженного излучения в области 0,4-1,1 мкм проводилась спектрополяриметром МС-08. Для получения значений степени и азимута поляризации отраженного излучения регистрировались спектры при трех положениях оси поляроида относительно входной щели: 0; 45; 90°. После калибровки спектрополяриметра отсчеты прибора переводились в абсолют-

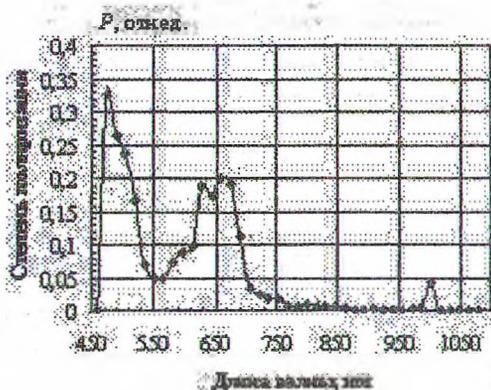
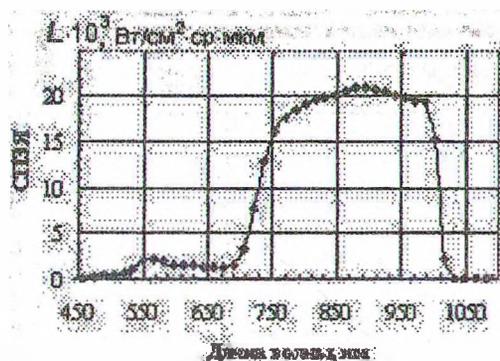
ные значения спектральной плотности энергетической яркости (СПЭЯ) с точностью не ниже $\pm 7\%$. Затем определялись значения степени поляризации в зависимости от угла падения, угла визирования и длины волны излучения по методике, изложенной в работе [14].

Некоторые результаты измерений приведены на рис. 3, где для отдельных углов падения и визирования изображены графики СПЭЯ и распределение степени поляризации по длинам волн для хвои сосны, ели и листа дуба.

Из анализа полученных графиков можно заметить, что для всех углов падения и визирования степень поляризации листа дуба в полосе поглощения хлорофилла выше, чем у ели или сосны. Особенно это характерно для малых углов падения, где различие в значениях степени поляризации достигает двух раз. При увеличении угла падения различия уменьшаются. При анализе графиков СПЭЯ для всех углов падения и визирования можно заметить их более высокие значения в зеленой области спектра 0,55 мкм для листа дуба, при близких значениях на «плато» в ближней ИК-области.

На основе лабораторных измерений была проанализирована возможность разделения лиственных и хвойных пород деревьев по спектральному изображению с небольшим числом (2-3) спектральных каналов. Ниже дается схема предлагаемой методики разделения лиственных и хвойных пород деревьев с использованием, в простейшем случае, спектрально-анализаторов в двух спектральных зонах: зеленой и ближней ИК.

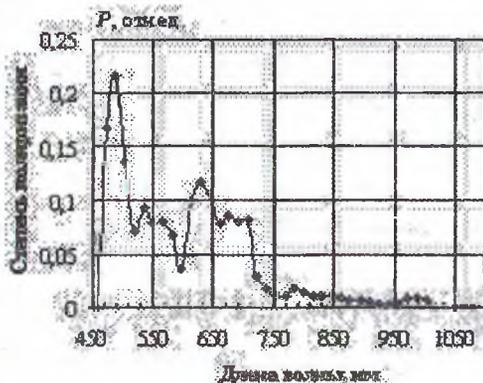
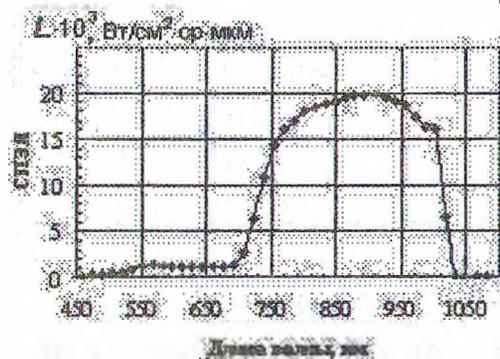
На рис. 4 приведены распределения точек плоскости, каждая из которых характеризует спектр отражения листьев (хвои) одной из трех пород (сосны, ели, дуба) в двумерном пространстве признаков. По оси ОХ отложены интегральные значения СПЭЯ в зеленой области спектра (канал 1 – 530-570 нм), а по оси ОУ – в ближней ИК-области (канал 2 – 810-870 нм). Результаты показывают, что спектры каждой из трех пород деревьев располагаются на плоскости вдоль «своей» прямой линии, т.е. достаточно четко разделяются в рассматриваемом двумерном пространстве. Следует отметить слабую зависимость значений СПЭЯ от угла наблюдения в обоих каналах 1 и 2 у сосны и ели: спектры, относящиеся к фиксированному углу падения α ($\alpha=60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$) и различным углам наблюдения ($0-25^\circ$), расположены компактными группами. Более сильная зависимость от угла наблюдения имеет место для дуба (и лиственных пород вообще), причем лишь для средних углов падения излучения $\approx 45^\circ$.



а)

б)

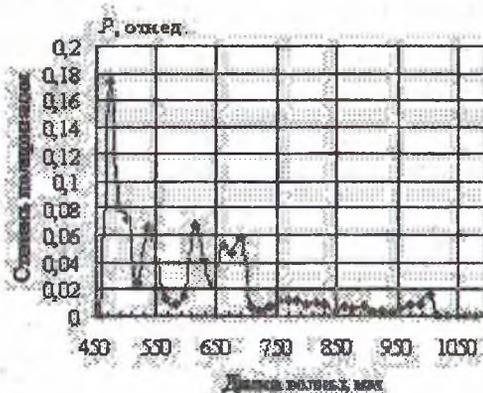
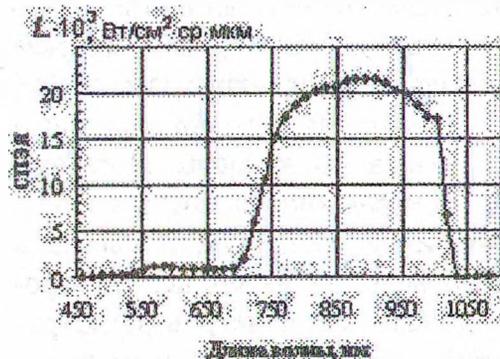
Дуб



в)

г)

Сосна



д)

е)

Ель

Рис. 3. СПЭЯ и степень поляризации излучения, отраженного листом дуба (а, б), ветками сосны (в, г) и ели (д, е). Лабораторные измерения: угол падения излучения – 30°, угол наблюдения – 20°

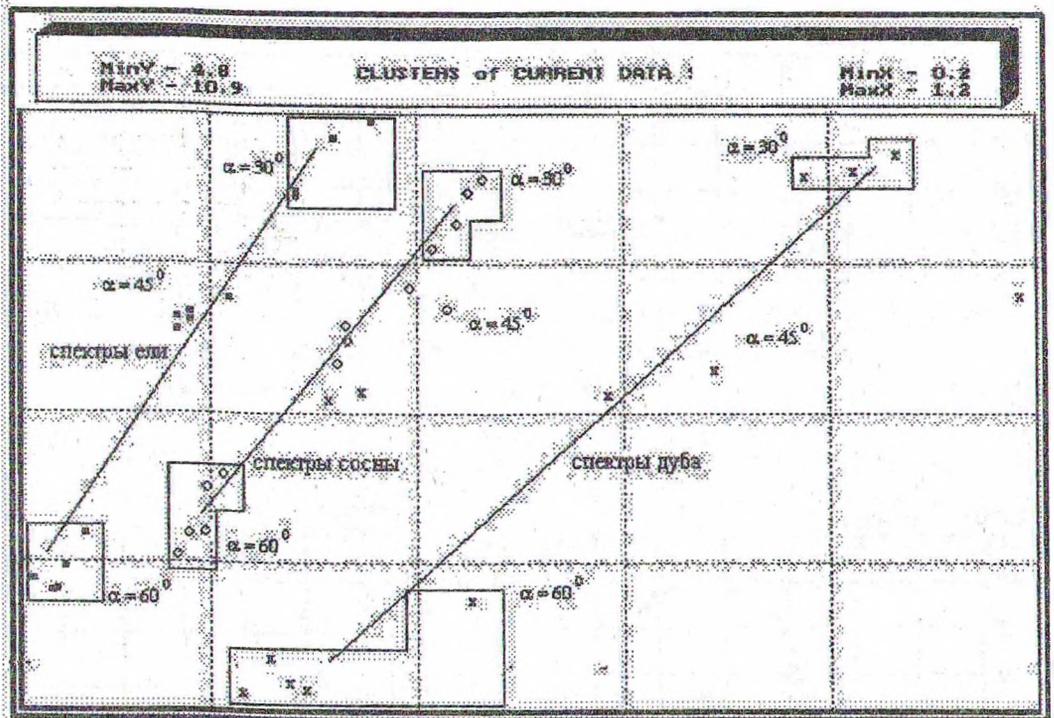


Рис. 4. Результаты кластерного анализа спектров различных пород деревьев в двумерном пространстве спектральных признаков

Разумеется, зависимость между яркостью пикселя изображения в том или ином канале и видовым составом не может быть строго функциональной. Возраст и запас лесных насаждений, строение полога и другие причины могут оказывать существенное влияние на яркость изображения и результаты интерпретации. Некоторые древесные породы, относящиеся к различным биологическим группам, могут иметь одинаковую яркость в отдельных каналах и в смешанных насаждениях создают сходную структуру полога по яркости. В пологе имеются значительные разрывы, и на спектральную яркость изображения существенно влияет фон, состоящий из подроста, подлеска и почвенного покрова. Кроме того, при проведении натурных спектрометрических измерений с высоты в несколько сотен метров регистрируются усредненные спектры отражения по углам освещения и наблюдения (из-за различной ориентации листьев, попадающих в поле зрения спектрометра). Это должно приводить к стягиванию указанных прямых почти в точку (компактную группу), что является еще одной причиной, приводящей к отклонению от линейных зависимостей.

Но так как лабораторные измерения спектров фитозлементов приводят к указанным линейным зависимостям между СПЭЯ в кана-

лах 1 и 2, то можно утверждать, что наблюдаемые в натуральных измерениях отклонения от линейности обусловлены указанными выше причинами. Поэтому по результатам натуральных измерений с борта вертолета спектров и зональных изображений тестовых участков (число которых может быть произвольным) в конкретной серии измерений «строятся» прямые регрессионных зависимостей для каждого вида (компоненты) насаждений (точнее, для совокупности тестовых участков (пикселей) с преобладанием определенного вида насаждений). При этом методом наименьших квадратов оцениваются параметры искомых прямых, возможно, с привлечением также данных лабораторных спектральных измерений (приведенных к условиям натуральных съемок).

Классификация каждого пикселя изображения, полученного в каналах 1 и 2, осуществляется путем нахождения расстояний от точки, соответствующей данному пикселю в плоскости рассматриваемого двумерного пространства, до каждой из построенных прямых. Пиксель относят к тому классу, для которого расстояние от первого до соответствующей этому классу прямой минимально.

С помощью аппаратно-программного комплекса оперативного дистанционного контроля и методов диагностики лесов решаются различные практические задачи: диагностика лесопатологического состояния лесов; определение площадей и границ хвойных и лиственных лесов; высокоточное картирование очагов массового размножения вредителей и болезней, лесных территорий, подверженных стихийным бедствиям (гари, вырубки, ветровалы, буреломы, усыхающие лесонасаждения); оперативная оценка ущерба, нанесенного лесным насаждениям аномальными погодными явлениями и антропогенным воздействием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Koch B., Ammer U., Sshnelder T., Wittmeier H. Spectroradiometer measurements in the laboratory and in the field to analyze the influence of different damage symptoms on the reflection spectra of forest trees: Pap. hit Forest Signature Workshop.—Ispra, 7-9 Sept., 1988// Int J. Remote Sens. 1990. 11. №7. P. 1145-1163.
2. Kirhhof W., Guttman S., Schraimn M., Zwenger I., Lamberty M. Spectral characterization of forest damage in beech, oak and pine stands. -IGARSS88: Int. Geosci. and Remote Sens. Symp.: Remote

- Sens.: Moving towards 21-st Century, -Edinburgh, 12-16 Sept. IS-88. V.1. - Paris, 1988. P. 623-624.
3. Харук В.И., Барахтенева Л.А. Дистанционное зондирование поврежденных древостоев / Докл. АН СССР. 1981. №2. С. 509-512.
 4. Ловчикова Л.П., Никоненко С.В., Плюта В.Е., Сергейчик С.А. Спектральные характеристики отражения хвои и листьев деревьев в зонах промышленного загрязнения воздуха // Журн. прикл. спектр. 1997. №6. С. 789-792.
 5. Харук В.И., Альшанский А.М., Егоров В.В. К дистанционной индикации растительного покрова, загрязненного пылевыми выбросами антропогенного происхождения. Иссл. Земли из космоса. 1989. №6. С. 54-57.
 6. Виноградов Б.В. Дистанционный мониторинг антропогенных экосистем // Итоги науки и техники. Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов / ВИНТИ АН СССР. - М., 1978. С. 75-150.
 7. Сергейчик С.А. Древесные растения и оптимизация внешней среды. - Мн.: Наука и техника, 1984.
 8. Sinclair T.K., Hoffer R.M., Schreiber M.M. Reflectance and internal structure of leaves from several crops during a growing season// Agron. J. 1971. V. 63. №6. P. 846-868.
 9. Брандт А.Б., Тагаева С.Б. Оптические параметры растительных организмов. - М.: Наука, 1967.
 10. Gausman H.W. Reflectance of leaf components. - Remote Sens. Environ, 1977. № 1. P. 1-9.
 11. Аэров И.А. Оптические свойства верхней и нижней стороны листьев // Физиол. и биохим. культур. растений. 1969. № 1-2. С. 191-196.
 12. Атрощенко О. А., Беляев Б. И., Ильючик М. А. Применение аппаратно-программного комплекса и спектрально-изобразительного лесного полога с летательных аппаратов для оценки и мониторинга лесов // Ресурсосберегающие технологии в лесном хозяйстве, лесной и деревообрабатывающей промышленности. Труды Междунар. конф. - Мн., 1999. С. 15-18.
 13. Беляев Б.И., Курикина Т.М., Некрасов В.П., Шупляк В.И., Беляев Ю.В. Лабораторная установка для измерения спектрополяризационных и угловых характеристик излучения природных объектов // Фотометрия и ее метрологическое обеспечение. Труды XI научно-технической конференции. - М., 1996.

14. Беляев Б. И., Комар П. В., Шупляк В. И. Метод учета свойств спектрометра-поляриметра при определении параметров излучения объектов дистанционного зондирования // Фотометрия и ее метрологическое обеспечение. Тез. докл. VIII Всесоюзн. науч.-техн. конф. – М., 1990. С. 140.

УДК 639.1

В. С. Романов, профессор

ИСТОРИЯ ОХОТНИЧЬЕГО ХОЗЯЙСТВА БЕЛАРУСИ

The history of hunting householding development on the territory of Belarus, Russia and Europe is exposed from position of good sense and European historical experience. Modern legislative foundation of hunting household activity is criticized.

Охотничьи хозяйства в современном понимании стали создаваться сравнительно недавно, хотя сама охота – одно из древнейших занятий человека.

Прототипами современных охотничьих хозяйств являлись "зверинцы", которые по своему назначению скорее были элементами естественных парков. В Европе зверинцы устраивались задолго до периода организации охотничьих хозяйств и паркового строительства и пришли на смену королевским охотничьим лесам, охота в которых была монопольным правом королей.

Сочетание зверинцев с естественными парками, а затем и специально устроенными позволяло эффективно проводить пышные охоты, скорее напоминавшие спектакли. Несколько позднее парки со зверинцами стали создавать у себя и богатые вельможи. Зверинцы стали своеобразной модой, и их организация находилась в тесной зависимости от развития права охоты.

В XIII веке монопольное право охоты королей частично угасло и распространилось на высшее дворянство и именитых светских особ. В XV веке право охоты вошло в перечень рыцарских прав и привилегий и постепенно приобрело тесную связь с собственностью на землю. С этого времени исключительное право охоты стало принадлежать владельцу земли.

Зверинцы представляли собой огороженные участки леса с полянами, ручьями и другими водоемами. Огораживались десятки и даже сотни гектаров. В загоны выпускались специально отловленные дикие звери и содержались там до определенного времени. Во время