

ВИДЕОСПЕКТРАЛЬНАЯ АЭРОСЪЕМКА – ВЕДУЩЕЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

© 2004 г. Б. В. Шилин*, доктор геол.-мин. наук; В. В. Хотяков**

* Научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург

** ООО “Аэроэкология”, Санкт-Петербург

По результатам анализа последних зарубежных достижений и отечественных исследований показана высокая перспективность применения видеоспектральной съемки как метода дистанционного зондирования с качественно новым информационным уровнем.

Коды OCIS: 120.0280, 120.1880.

Поступила в редакцию 15.05.2003.

Ведущая роль видеоспектральной аэросъемки в развитии методов дистанционного зондирования в оптическом диапазоне обусловлена тем обстоятельством, что спектры отражения и излучения являются основным индикационным признаком, определяющим вещественный состав и состояние объектов земной поверхности, то есть имеется возможность их опознавания при интерпретации данных дистанционного зондирования. Структура данных видеоспектральной съемки – так называемый информационный параллелепипед [1] – позволяет использовать при интерпретации и очень большое количество узкоспектральных изображений, и спектр любого малого объекта земной поверхности, определяемого мгновенным полем зрения прибора (для авиационных видеоспектрометров около 1 мрад [1]).

Как в любом новом направлении использования дистанционного зондирования здесь возникает неясность в терминологии. За рубежом впервые появились термины *imaging spectrometer* – прибор и *hyperspectral sensing*, *hyperspectral airborne detection* и т. п. – метод дистанционного зондирования. Если первый термин представляется правильным и может быть переведен как видеоспектрометр, то вторые неоднозначны, так как гиперспектральные данные (большое количество изображений одного и того же участка местности в узких спектральных интервалах) могут быть получены и видеоспектрометрами (приборами матричного типа), и оптико-механическими сканерами с большим количеством спектральных каналов. Когда таких каналов не менее двадцати, они называются гиперспектральными сканерами (*hyperspectral scanner*). Поэтому следует различать соответственно видеоспектральную съемку и гиперспектральную съемку с авиационных космических носителей.

До появления видеоспектрометров спектры отражения мало использовались для решения практических задач при авиаработах, хотя изучались десятки лет и были хорошо известны [2]. Это было связано с тем, что авиационные спектрометры имели низкое геометрическое разрешение, давали информацию

только вдоль линии полета и позволяли судить о спектральных свойствах достаточно протяженных объектов – водная поверхность, лес и т. п. – хотя и они имеют заметные пространственные неоднородности.

Ранее разработанные системы дистанционного зондирования, формирующие различным способом изображения, – мнгозональные фотоаппараты, мнгоспектральные оптико-механические сканеры – использовали при интерпретации различные способы классификации большого количества изображений различных спектральных каналов. При очень большом количестве каналов – последний авиационный сканер фирмы GER имеет 211 каналов – начали также строиться спектры, но недостаточное количество точек на спектральной кривой затрудняло их использование для идентификации и разделения объектов по характерным изменениям спектров. Кроме того, гиперспектральные оптико-механические сканеры стоят на порядок дороже видеоспектрометров, что немаловажно для практических задач.

Спектральное разрешение видеоспектрометров достигает 1,8–2,0 нм, то есть построение спектральной кривой объектов малого размера осуществляется с высокой детальностью. Поясним это конкретным примером обработки результатов видеоспектральной аэросъемки, проведенной с видеоспектрометром СПбГИТМО в одном из северо-западных районов РФ в начале июня 2001 г. [1]. Разработанное для этого программное обеспечение предусматривает:

- преобразование результатов аэросъемки в цифровой вид (запись в полете велась на специально доработанный видеоманитофон);

- формирование информационного параллелепипеда [1];

- различные преобразования информационного параллелепипеда, позволяющие разносторонне и детально проанализировать результаты аэросъемки.

Основные из этих преобразований:

- формирование узкоспектральных (“монохромных”) или видеоспектральных изображений;

– формирование интегрированного изображения по всем длинам волн (аналог – панхроматическое изображение);

– формирование синтезированных изображений по нескольким длинам волн (например, RGB);

– формирование спектров уходящего излучения и кривых коэффициентов спектральной яркости объектов земной поверхности (вплоть до очень малых, размером с пиксел изображения).

Полеты выполнялись на высоте 900 м, то есть разрешение приводимых интегрированного по всем каналам (510–720 нм) снимка (рис. 1а) и видеоспектральных (рис. 1б, 1в, 1г) снимков некоторых выбранных каналов (510, 610 и 710 нм) составляет примерно 1 м. Ширина полосы захвата на местности около 300 м.

На снимках рис. 1 представлен типичный сельскохозяйственный ландшафт. В нижней части снимков у меандрирующей неширокой речки расположена небольшая деревня (ее продолжение в средней части снимка у левой рамки). Несколько выше – поля и лесные массивы, разделенные дорогами и просеками. Как и на обычных аэрофотоснимках, речка на рис. 1а выглядит очень темной, поля со стерней – светлыми, лесные массивы – серыми с неоднородным фоторисунком.

На видеоспектральных снимках рис. 1б, 1в, 1г различия в яркостях, а следовательно, и в спектраль-

ных характеристиках некоторых объектов заметны и “невооруженным” глазом. Это касается в первую очередь леса, полей и деревни. Аналогичные различия имеют место и при сравнении многоспектральных изображений, полученных с помощью фотоаппаратов или сканеров. Но только видеоспектральная съемка дает высокодетальные спектры, подобные представленным на рис. 2. В произвольных точках снимка рис. 1а вычислены спектры уходящего излучения для поля, леса, воды в речке. Вода имеет наименьшую интенсивность уходящего излучения по всем длинам волн, чуть более высокие отражательные характеристики у леса в желто-красном интервале и высокие – в зеленом. Высокие отражательные свойства с понижением в красной части имеет поле (светлое на всех видеоспектральных изображениях).

Так как нами пока только ведутся летные испытания видеоспектрометра, разрабатываются методика видеоспектральной аэросъемки и программы обработки видеоспектральных данных, конкретные практические реализации возьмем из зарубежных публикаций. Наиболее полной сводкой достижений в этом направлении являются “Труды 5-й международной выставки-конференции по авиационному дистанционному зондированию”, прошедшей в мае 2002 года в США [3]. Выставка должна была состояться в сентябре 2001 года, но из-за известных тра-

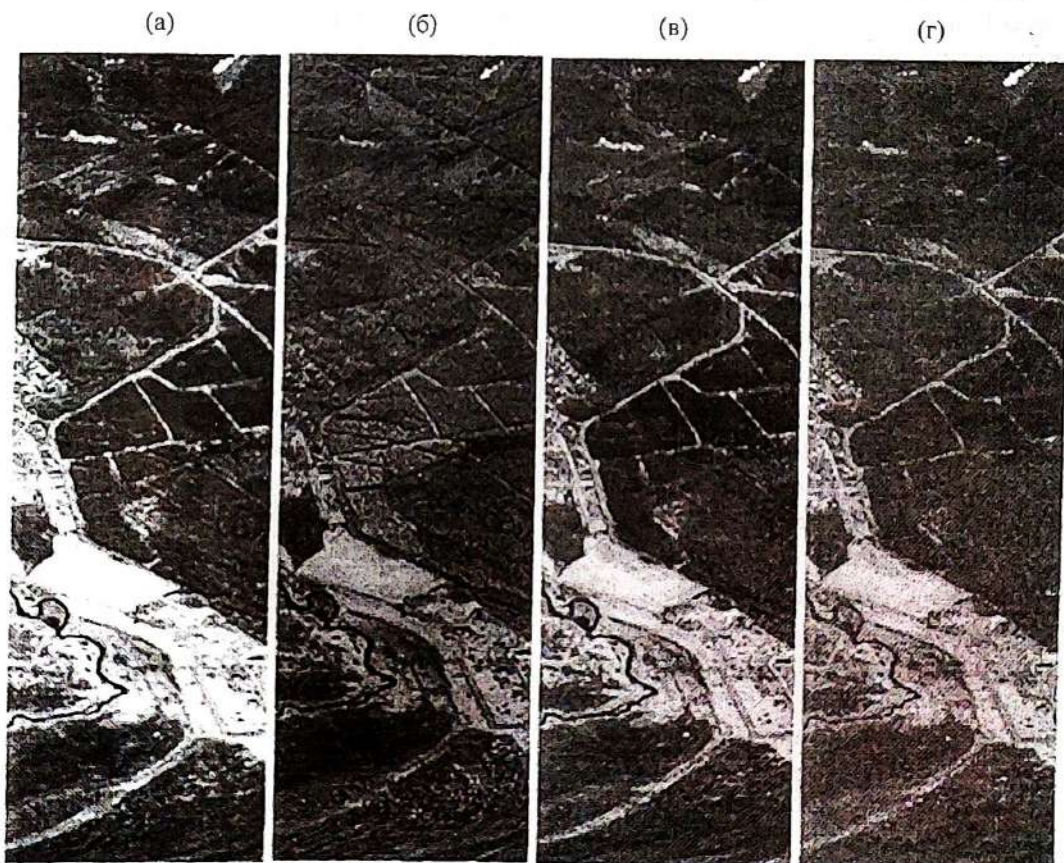


Рис. 1. Интегрированный по всем длинам волн снимок (а) и видеоспектральные снимки для некоторых длин волн: 510 нм (б), 610 нм (в), 710 нм (г).

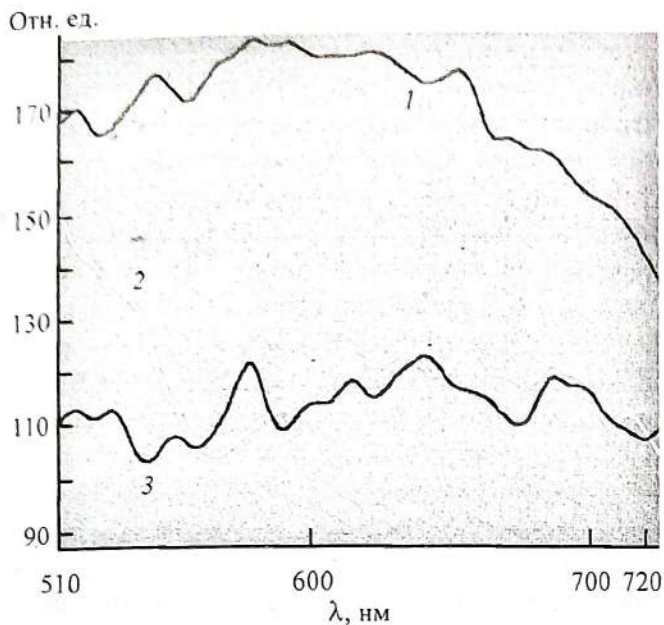


Рис. 2. Спектры некоторых объектов (на снимке 1а):
1 – поле, 2 – лес, 3 – река.

гических событий в США была перенесена на следующий год.

Из 157 докладов 67 посвящено видеоспектральной гиперспектральной съемке. Для сравнения укажем, что следующая по числу докладов группа по применению радиолокационной аэросъемки имела только 17 наименований.

Два доклада (J.M. Ellis и др., F.R. Colomb и др.) посвящены перспективам развития основных направлений применения видеоспектральной аэросъемки. Это оценка активности процесса жизнедеятельности растений, продуктивности сельскохозяйственных культур, стресса растительности за счет заболеваний, деятельности вредителей, недостатка влаги (по содержанию хлорофилла, “голубому сдвигу красного края”), почвенное картирование (по содержанию глинистых, железосодержащих и других почвообразующих минералов), минералогическое картирование рудоконтролирующих зон вторичных гидротермальных изменений, загрязнение водоемов. В последнем случае степень эвтрофикации оценивается по изменениям спектров в зависимости от содержания хлорофилла; по характерным спектральным линиям (1,75 и 2,30 мкм) определяется наличие на поверхности нефтепродуктов.

В исследованиях использовался новый австралийский видеоспектрометр НуМар с рабочим спектральным интервалом 0,45–2,50 мкм, спектральным разрешением 15 нм, мгновенным полем зрения 2 мрад и полем обзора 60° (самое большое значение для всех известных приборов).

Более детальному изучению акваторий посвящен целый ряд докладов. Так, при контроле состояния окружающей среды в зоне ответственности нефтеочистительного предприятия (A. Dekker и др.) по ха-

рактерным спектрам оценивались изменения в содержании хлорофилла, взвешенных продуктов разложения органики. Видеоспектральной аэросъемкой эффективно изучались быстрые изменения прибрежной зоны моря при приливно-отливной деятельности, состояние водоемов (озер) Берлина (J.M. Andersson и др., F.R. Colomb и др.), геохимический и гидрохимический режимы озер на месте открытых разработок бурого угля (C. Olbert и др.). Здесь источниками загрязнения были продукты окисления бурых углей.

Можно отметить, что видеоспектральная аэросъемка часто используется при контроле предприятий горной промышленности – крупных загрязнителей окружающей среды. Этому посвящены еще пять докладов (C.H. Ong и др. и т. д.). Определяется влияние на растительность пыли с вредными примесями, оценивается загрязнение подземных и поверхностных вод продуктами окисления отвалов (по вторичным минералам), эффективность рекультивации. Строятся карты степени влияния горнорудных предприятий на растительность, осуществляются наблюдения в режиме мониторинга. В Австралии, например, изучались мангровые леса.

Интересный проект, связанный с обнаружением и оценкой функционирования урановых рудников, реализован R.A. Newill с сотрудниками. Работа задумана как обоснование возможностей спутниковой съемки. Использовался видеоспектрометр SFSI ближнего инфракрасного диапазона 1,22–2,43 мкм. Полеты осуществлялись над рудными зонами и рудниками, обогатительными фабриками, отвалами и окружающей территорией, на которую распространяется влияние этих объектов. Получено большое количество их спектров, составлены минералогические карты. Показано, что задача спутниковых наблюдений в принципе решается, но необходимы дополнительные исследования. В геологии имеются примеры эффективного применения видеоспектральной аэросъемки в комплексе с аэрогеофизическими методами (A.J. Mauger и др.).

В ряде докладов сельскохозяйственной направленности (Yongchao Chao и др., Picton-Phillips и др. и т. д.) детально рассматривались различные частные задачи, например, выбор узких спектральных интервалов и их количество, геометрическое разрешение для оценки урожайности риса, конкретных сельскохозяйственных культур фермерских хозяйств, снижение продуктивности при неблагоприятных воздействиях. Отмечается перспективность ближнего инфракрасного диапазона, так как здесь небольшие изменения состояния растительности заметно влияют на ее спектр.

В лесном хозяйстве видеоспектральная аэросъемка помимо точного картирования видового состава успешно используется для обнаружения и окон-

турирования участков леса, пораженных различными заболеваниями (L.M. Moskal и др., S. Chevreil и др.).

C.M. Stellman и F.M. Olhovski описывают пример использования видеоспектрометра и цифрового фотоаппарата на беспилотном носителе военного назначения, где также имеется система предварительной обработки данных в реальном времени и передачи на наземную станцию. При разведывательном полете видеоспектрометр работает непрерывно, а при обнаружении известной спектральной аномалии включается цифровой аппарат высокого разрешения для увеличения достоверности интерпретации.

Много исследований посвящено "частным" задачам видеоспектральной аэросъемки. Это вопросы программного обеспечения при обработке гиперспектральных данных, их коррекции, улучшения качества оптики.

О высоких перспективах видеоспектральной аэросъемки говорит очень интересное сообщение об испытаниях опытного образца видеоспектрометра SEABASS теплового диапазона 3–14 мкм. В первую очередь изучались зоны гидротермальных изменений рудных полей, особенности сульфидной минерализации. Прибор имеет 128 спектральных каналов, геометрическое разрешение 1 мрад и поле обзора около 7°. При полетах над одним из рудных узлов Невады были получены высококачественные изображения в узких спектральных интервалах, на основе которых были созданы библиотеки спектров минералов рудных зон. Отмечается, что в тепловом диапазоне ряд минералов, например, алюмосиликаты и сульфиды, разделяются лучше, чем в ближнем инфракрасном, а комплекс видеоспектрометров этих диапазонов – наиболее эффективное средство дистанционного минералогического картирования. Это весьма важно при исследованиях Марса.

Приведенный краткий анализ зарубежных достижений (см. также [4]) и некоторый отечественный опыт показывают, что можно отметить основные тенденции развития и практического использования видеоспектральной аэросъемки:

1. Улучшение спектрального разрешения приборов с целью построения детальных спектров различных объектов земной поверхности (а также кривых коэффициентов спектральной яркости). Создание библиотек таких спектров по материалам видеоспектральных аэросъемок над тестовыми полигонами. Решение сложных обратных задач обнаружения и опознавания объектов по их спектрам путем сравнения с "библиотечными данными".

2. Решение наиболее простых задач обнаружения и опознавания объектов путем проведения видеоспектральной аэросъемки с регистрацией нескольких узких наиболее информативных спектральных каналов. Последние определяются по "библиотечным данным".

3. Использование при решении конкретных задач бортового комплекса видеоспектрометр–цифровой фотоаппарат высокого разрешения. Совместное использование данных этих приборов увеличивает достоверность интерпретации.

Следует констатировать, что в нашей стране исследования находятся на ранней стадии по всем пунктам. С существующим опытным образцом видеоспектрометра СПбГИТМО только начаты работы по созданию библиотек (банков) спектров. Этого, конечно, недостаточно.

Работа выполнена при частичной поддержке ФЦП "Интегрция", проект Б 0034.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шилин Б.В., Груздев В.Н., Марков А.В., Мочалов В.Ф. Использование видеоспектральной аэросъемки для экологического мониторинга. Оптический журнал. 2001. Т. 68. № 12. С. 41–49.
2. Чапурский Л.И. Отражательные свойства природных объектов в диапазоне 400–2500 нм. М.: Изд. МО СССР, 1986.
3. Proc. of the Fifth Intern. Airborne Remote Sensing Symp. and Exhibit. San Francisco, California, 17–20 Sept. 2001.
4. Шилин Б.В., Шубина М.А. Методы дистанционного зондирования Земли // Геодезия и картография. 2000. № 9. С. 50–57.