

УДК 528.46:711.14; 528.46:630; 528.46:566.18

И.А. Тяшкевич¹, А.Р. Понтус¹, Б.И. Беляев²

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОСЪЕМОК В БЕЛАРУСИ ДЛЯ ГЕОЛОГО-ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Приводятся данные первых аэросъемок с воздушных шаров (Франция, Россия) и штатных аэросъемок в бывшем СССР. Рассматриваются современные методы проведения и обработки материалов новых видов аэросъемок: спектрозональной, многозональной камерой МКФ-6, самолетных радиолокационной и тепловой. Представляются результаты практического применения современных съемочных камер (РС-30, Гемма, Гемма2-видео и ВСК-2) в геологии, лесном хозяйстве, при изучении горно-рудных районов, тепловом мониторинге городских агломераций.

Введение

Первые воздушные съемки с воздушных шаров были выполнены в 1855 г. Французский энтузиаст авиации Надар сфотографировал Париж, по этим фотографиям был составлен точный план города.

В России первые опыты по воздушному фотографированию были проведены в 1886 г. начальником воздухоплавательной команды А.М. Кованько в районе Санкт-Петербурга и крепости Кронштадт с воздушного шара, свободно летающего на высоте 600–1000 м. Были получены удачные фотоснимки Петропавловской и Кронштадской крепостей, стрелки Васильевского острова в Санкт-Петербурге, которые давали полезную информацию о снятой местности с мельчайшими ее подробностями. Считается, что гражданская аэросъемка в СССР возникла в 1925 г., когда акционерным обществом «Добролет» были начаты планомерные аэросъемки в интересах сельского, лесного и водного хозяйства.

В 1929 г. был создан Научно-исследовательский институт аэросъемки в Ленинграде, директором которого стал академик А.Е. Ферсман. Именно по его инициативе в 1929–1935 гг. были проведены обширные исследования по изучению природных ресурсов методами аэросъемки. Одним из направлений таких исследований было решение ряда геологических задач. Опыт этих исследований обобщен А.В. Гавеманом в 1937 г.

В середине 1940-х гг. были образованы Лаборатория аэрометодов (ЛАЭМ) АН СССР (ныне Всероссийский научно-исследовательский институт космоаэрогеологических методов – ВНИИКАМ) и Аэрогеологическая экспедиция (ныне федеральное государственное унитарное научно-производственное предприятие «Аэрогеология» – ФГУНПП «Аэрогеология»), которые в основном и определили историю развития аэрокосмических методов геологических исследований.

ЛАЭМ АН СССР была создана на базе Постоянной комиссии по применению аэросъемок АН СССР, председателем которой был академик А.Е. Ферсман, и группы маскировки Комиссии по геолого-географическому обслуживанию Красной Армии.

Первым директором ЛАЭМ стал академик П.И. Степанов. Опыт применения аэрометодов в области геологии обобщен В.П. Мирошниченко в монографии «Аэрогеосъемка», подготовленной к изданию в 1941 г. и опубликованной только в 1946 г. Эта монография представляет собой первый в стране опыт систематического изложения методики геологического дешифрирования аэроснимков. С 1947 по 1962 гг. ЛАЭМ возглавлял член-корреспондент АН СССР Н.Г. Келль, и именно под его руководством лаборатория превратилась в ведущую научную организацию страны в области развития методов аэросъемки для изучения природных ресурсов.

До Великой Отечественной войны в пределах современной Беларуси аэросъемка не проводилась. Однако необходимо отметить, что анализ архивных данных показывает наличие аэросъемок бывшей западной части Беларуси, которая до сентября 1939 г. входила в состав Польши. В 1931 г. польский ученый Роман Григлашевский опубликовал научную работу о применении аэрометодов, в которой приведены фрагменты аэрофотоснимков и указаны маршруты съемок по

долинам рек Припяти, Горыни, Ясельды. При этом указана имевшаяся на то время специальная аппаратура, которая использовалась при обработке аэрофотоснимков [1].

Планомерное проведение аэросъемок в пределах Беларуси для составления топографических карт и особенно для изучения природных ресурсов началось в 1947 г. Аэрофотосъемка проводилась как отечественными аэрофотоаппаратами (АФА), так и трофейными. В частности, широко применялись АФА фирм «Карл Цейс – Йена», «Кодак Эстман» и др. Эти аэрофотоснимки используются по настоящее время при изучении геолого-географических особенностей природной среды. Отмечаются высокие качество и разрешающая способность снимков.

1. Спектрональная аэрофотосъемка

Значительный технологический скачок летно-съёмочных работ произошел в связи с созданием АФА 41/20 и 42/20. Так, с помощью АФА 41/20 можно выполнять аэрофотосъемку на черно-белую пленку в интервале высот от 100 до 2000 м, что позволяет получать аэрофотоснимки в масштабах от 1:500 до 1:10 000. Данный АФА обеспечивает также проведение спектрональной и специализированной спектрональной аэрофотосъемок земной поверхности в основном для геологических и лесоустроительных целей. При съемке этой камерой используется спектрональная аэрофотопленка СН-6М. Обычно для указанных целей съемка проводилась синхронно двумя АФА с фокусными расстояниями 100 и 200 мм. В результате съемки были получены спектрональные аэрофотоснимки масштаба 1:25 000 и 1:50 000, причем снимки масштаба 1:25 000 получались как в цветном, так и в черно-белом вариантах.

С 1967 г. спектрональные аэрофотоснимки использовались в следующих областях:

- изучение и выделение локальных нефтеперспективных структур в пределах Припятского прогиба;
- изучение тектоники и неотектоники Старобинского месторождения калийных солей;
- оценка экологического состояния Солигорского промышленного района: изучение состояния солеотвалов, шламохранилищ; оценка сдвижения (просадок) земной поверхности в результате разработки второго и третьего калийных горизонтов и др.;
- выполнение комплекса лесоустроительных работ.

В пределах восточной части Припятского прогиба по результатам дешифрирования спектрональных аэрофотоснимков в комплексе со структурно-геоморфологическими, морфометрическими и картометрическими исследованиями выделено свыше 70 локальных положительных структур, местоположение которых впоследствии было подтверждено геофизическими и буровыми работами. Кроме того, на уже открытых нефтяных месторождениях (Речицком, Осташковичском, Тишковском, Давыдовском, Сосновском и др.) на стадии эксплуатации изучены отдельные неотектонические блоки, что способствовало эффективной эксплуатации месторождений.

Аналогичные исследования в 1968–1969 гг. были проведены в пределах юго-западной части Припятского прогиба (Туровской депрессии). Этот регион в то время был практически не изучен геолого-геофизическими методами. Здесь были выполнены только региональные электроразведочные работы и пробурены две параметрические скважины. В результате исследований были выделены структурные валы, отдельные локальные структуры и, самое главное, разрывные нарушения субширотного и поперечного (северо-восточного) простираний. Неотектонический структурный план территории Туровской депрессии широко использовался при последующих геолого-геофизических работах, которые подтвердили наличие некоторых неотектонических структур.

В течение 1970–1972 гг. спектрональные аэрофотоснимки использовались совместно со структурно-геоморфологическими, морфометрическими и картометрическими исследованиями лабораторией аэрогеологического и морфометрического методов Белорусского научно-исследовательского геологоразведочного института (ныне УП «Космоаэрогеология»). Выполнено неотектоническое изучение территории шахтных полей Старобинского месторождения калийных солей. В результате исследований впервые были выделены зоны разрывных нарушений поперечного (северо-восточного) простираний: Случанская, Чепельская, Краснослободская и др. Впоследствии эти зоны были подтверждены горнопроходческими, геофизическими и бу-

ровыми работами. Необходимо отметить, что Чепельское разрывное нарушение «отрезало» 1/3 территории второго шахтного поля. С целью отработки заразломной зоны в настоящее время РУП ПО «Беларуськалий» ведет проходку отдельного шахтного ствола.

На основе ретроспективных спектрозональных аэрофотоснимков в комплексе с другими видами дистанционных съемок изучены состояние и динамика солеотвалов, шламоохранилищ и процесса сдвижения земной поверхности в пределах шахтных полей. По данным дешифрирования аэрофотоснимков установлены ареалы засоления почвогрунтов вокруг солеотвалов и шламоохранилищ. Кроме того, изучена динамика кристаллизации водных акваторий шламоохранилищ всех четырех шахтных полей РУП ПО «Беларуськалий». Детальная информация получена по Зажевичской просадке, находящейся на левобережье Солигорского водохранилища. Учитывая тот факт, что гипсометрический уровень территории просадки ниже зеркала водохранилища, создались гидрогеологические условия образования искусственного водоема. Для рекультивации площади просадки была построена польдерная система, предусматривающая откачку избыточных вод в Солигорское водохранилище.

2. Самолетная радиолокационная аэросъемка

Впервые в пределах Беларуси самолетная радиолокационная (РЛ) аэросъемка была выполнена в 1971–1978 гг. системами «Торос» и «Нить» Ленинградской ЛАЭМ.

Характерной особенностью РЛ-съемки является ее всепогодность, что позволяет получать изображение земной поверхности в любое время суток и в любую погоду, за исключением грозовой облачности.

При построении РЛ-изображения обзор подстилающей поверхности осуществляется боковыми лучами, направленными перпендикулярно оси самолета и формируемыми неподвижными антеннами, расположенными вдоль фюзеляжа. Прием отраженного сигнала осуществляется путем регистрации его в виде отдельных строк на электронно-лучевой трубке, которая разворачивается по дальности, что означает последовательное расположение отраженных от объектов сигналов в одном направлении в зависимости от их расстояния до самолета. Изображение с электронно-лучевой трубки регистрируется на движущуюся пленку, скорость протяжки которой зависит от путевой скорости самолета и от масштаба съемки. Как правило, на самолете устанавливаются две РЛ-системы, которые позволяют получать при полете изображение двух полос местности по обеим сторонам от линии пути, а полоса местности, расположенная под самолетом, имеет плохое качество изображения и исключается из обзора, для чего в приемном устройстве устанавливается приспособление для «задержки изображения по дальности». При съемке системами «Торос» и «Нить» осуществляется задержка сигнала в обеих системах, что обеспечивает «мертвую зону» на местности не менее двух высот полета. В результате получается интегральное фотографическое изображение местности, плотность которого в каждой точке зависит от мощности отраженного радиосигнала и является функцией отраженных свойств различных природных объектов в радиоволновом диапазоне.

Минским отделом ЛАЭМ [2–4] оценена геолого-экологическая информативность РЛ-снимков в условиях Припятского прогиба. Выполнены специальные исследования по оценке информативности снимков для изучения разломных и пликативных структур с целью прогнозирования нефтеперспективных объектов. В результате исследований доказана высокая информативность снимков. Выделены новые разломные структуры субширотного и северо-восточного простираний, не установленные геолого-геофизическими работами. Наличие части разломных структур впоследствии было подтверждено сейсморазведочными работами. Кроме того, в пределах Старобинской центриклинали было выделено 28 локальных структур, наличие 8 из которых также подтвердилось в процессе геофизических и буровых работ.

По материалам РЛ-съемок 1974 г. были изучены и закартированы события осеннего паводка, одного из самых значимых за последние 50 лет, выполнено картографирование площадей затопления, в том числе населенных пунктов, пахотных земель и сельскохозяйственных строений, а также детально изучены техногенные просадки Солигорского промышленного района. Над подработанными калийными горизонтами в пределах просадок отмечается повышенная влаж-

ность почвогрунтов. Этот процесс с учетом физических основ РЛ-съемки взаимодействий электромагнитной энергии с подстилающей земной поверхностью (отражение, поглощение и рассеяние) позволил не только закартировать площади просадок, но и дать прогноз их развития на ближайшую перспективу.

Таким образом, материалы РЛ-съемки позволили решать геолого-экологические задачи Беларуси на новом технологическом уровне. Штатные аэросъемки, в том числе спектрозональные, эти специфические задачи не могли решать в полном объеме.

3. Многозональная аэросъемка камерой МКФ-6

В начале 70-х гг. прошлого столетия фирмой «Карл Цейс – Йена» (ГДР) по техническому заданию специалистов СССР была создана уникальная съемочная камера – МКФ-6. Одновременно был создан многозональный синтезирующий проектор (МСП-4) для обработки многозональных снимков. Проектор обеспечивает синтезирование нескольких (до четырех) спектральных аэроснимков.

МКФ-6 имеет шесть самостоятельных спектральных каналов, работающих в сравнительно узких зонах спектра с эффективными длинами волн, близкими к следующим значениям: 480, 540, 600, 660, 720, 820 нм. Впервые МКФ-6 использовалась в 1976 г. на борту пилотируемого космического корабля «Союз-22».

При измерениях на оптической скамье по мере абсолютного контраста разрешающая способность системы «объектив – светофильтр – выравнивающее стекло – фотопленка (тип 18)» в диапазоне длин волн 500–700 нм составляет 160–180 линий на 1 мм в центре кадра и не менее 100 линий на 1 мм на краях кадра. Реальное же разрешение снимков МКФ-6 в Припятском прогибе значительно выше.

Отдельно следует остановиться на дешифрировании многозональных аэрофотоснимков, полученных МКФ-6. Для обработки этих снимков создан многозональный синтезирующий проектор (МСП-4), обеспечивающий получение, наблюдение и фотографическую регистрацию цветных синтезированных изображений. Исходные снимки отображаются на экране с пятикратным увеличением (350x455 мм). Для лучшего высвечивания экрана непосредственно перед ним расположена линза Френеля. Галогенные лампы расположены так, чтобы равномерно высвечивать плоскость изображения. Для этого они могут перемещаться в трех направлениях, перпендикулярных друг к другу, и вращаться вокруг своей продольной оси. Пленка закладывается между двумя стеклянными пластинками. Поднимаемая верхняя пластинка снабжена прижимной пружиной. Положение изображений, полученных в разных каналах, достигается совмещением координатных меток на каждом негативе с выгравированными бисекторными крестами на экране проектора. Юстировка с помощью этих меток ускоряет и упрощает получение полного совпадения изображений во всех каналах. Аналогичную работу можно проводить и по контурам изображения местности.

При обработке на МСП-4 многозональных снимков (вводимых в проектор исходных материалов на негативах) возможно получение позитивного изображения на прозрачных основах размером 33 × 44 и 275 × 400 мм. Использование в качестве первичного материала черно-белых позитивов позволяет получать на прозрачной подложке негативы размером 275 × 400 мм. Возможны и другие варианты: негативы размером 33 × 48 мм, позитивы размером 275 × 400 мм на прозрачной основе и негативы того же размера на непрозрачной основе.

Совмещением трех основных цветов (красного, синего и зеленого) в различных пропорциях можно получить практически все цвета, за исключением немногих, очень насыщенных. Важно отметить, что это утверждение относится к аддитивному синтезу цветов, т. е. к сложению трех окрашенных световых потоков. Изменяя интенсивность того или иного окрашенного основным цветом потока, можно варьировать цветовыми оттенками. Например, смешивая зеленый и красный пучки, можно получить не только желтый, но и оранжевый, и желто-зеленый цвета, а смешивая красный и синий – различные оттенки пурпурного. Таким образом, для получения изображения местности в естественных цветах достаточно ввести в проектор три черно-белых диапозитива с негативов, снятых с помощью синего, зеленого и красного фильтров, и

окрасить проецирующий свет в соответствующие цвета. Однако следует заметить, что МСП-4 не позволяет одновременно изучать снимки в шести спектральных диапазонах. Кроме того, этот прибор не обеспечивает объективного анализа распределения спектральных яркостей снятых объектов. При визуальном дешифрировании как отдельных зональных снимков, так и цветных изображений достаточно хорошо видны слабые спектральные различия объектов, расположенных в различных частях снимка, а тем более на разных снимках, когда визуальная оценка слабых спектральных отличий становится ненадежной.

Впервые для изучения инженерно-геологических и экологических процессов территории Беларуси Минским отделом ЛАЭМ в 1980–1989 гг. опробованы аэроснимки, полученные МКФ-6 с шестью спектральными каналами в пределах Солигорского промышленного района. При визуальном дешифрировании многозональных аэроснимков наиболее результативными оказались пятый и шестой каналы, синтезирование же показало эффективность аддитивного сочетания второго, третьего, пятого и шестого каналов.

Различные комбинации аддитивного сочетания цветов показали, что комбинация второго, третьего и пятого каналов окрашена в красные цвета, а зона шестого осталась без окраски. Этот вариант позволил выявить очаги загрязнения грунтов отходами животноводческих комплексов (д. Чепели). Эти каналы, окрашенные соответственно в красный, желтый, пурпурный, а также неокрашенный дают возможность в пределах Солигорского водохранилища выделять полосы различной тональности, связанные с разной степенью загрязнения. Информативной оказалась комбинация тех же зон, окрашенных в пурпурный, желтый, зеленый цвета, шестой канал не окрашен – выделена полоса подтопления. Кроме того, вокруг шламохранилищ и солеотвалов второго и третьего рудоуправлений выделены полосы, связанные с разной степенью засоленности почв и грунтов.

Ретроспективный анализ аэроснимков, в том числе и сделанных МКФ-6, в пределах 37 лет (1951–1988 гг.) позволил в условиях Солигорского промышленного района выявить и проследить развитие некоторых техногенных просадок над подработанными калийными горизонтами, условия складирования и динамику солеотвалов, развевания песков и другие основные техно- и экзогенные процессы.

Техногенные просадки занимают значительную площадь подработанных территорий, причем они распространены в различных ландшафтных условиях. Наиболее представительной из просадок является Зажевичская. Она наиболее четко дешифрируется на материалах дистанционных съемок, так как ее площадь находится в зоне влияния Центрального разлома.

Синтезирование многозональных снимков МКФ-6 [5] позволило проследить зарождение и процесс развития Зажевичской техногенной просадки. Земли, подвергшиеся проседанию, начинают уверенно выделяться на материалах аэросъемки, выполненной в конце 1970-х гг. Ретроспективный анализ аэроснимков данного участка, его геоморфологические особенности, а также анализ отработанных площадей по третьему калийному горизонту дали возможность прогнозировать развитие Зажевичской техногенной просадки по площади на ближайшее время.

Кроме вопросов сдвижения земной поверхности подработанных площадей, Минским отделом ВНИИКАМ изучались вопросы динамики солеотвалов и развевания песков над южной тектонической зоной.

Таким образом, сведения о разновременных съемках позволяют уверенно выделять техногенные процессы и давать их прогноз во временном и пространственном аспектах.

4. Тепловая аэросъемка

В технической литературе принято в известной степени условное деление инфракрасного (ИК) излучения на три поддиапазона: ближний (0,78–1,4 мкм), средний (1,4–10,0 мкм), дальний (10,0–42,0 мкм). Отдельно стоит интервал 0,78–1,4 мкм, поскольку в этом диапазоне для регистрации отраженного от земной поверхности солнечного излучения используются электронно-оптические преобразователи, а также специальные фотопленки и обычные АФА. Поэтому следует различать ИК-аэросъемку и тепловую, о которой и идет речь в публикации [6].

Разнообразие исследуемых тепловой аэросъемкой нагретых и холодных фонов настоятельно требует одновременной регистрации теплового излучения в нескольких узких интервалах в пределах обоих окон прозрачности атмосферы (3–5 и 8–13 мкм). Это может быть реализовано в двухканальном тепловизоре «Вулкан».

Основные параметры тепловизора «Вулкан»

Спектральные рабочие интервалы: 1,8–5,3; 3,2–5,3; 3,6–5,3; 4,2–5,3 мкм.

Мгновенное поле зрения: первый тракт – 5', второй тракт – 70'.

Порог чувствительности на уровне 20 °С по каждому тракту – 0,5 и 0,3°.

Поле обзора – 54°.

Максимальное быстродействие тепловизора – 0,4 1/с.

Масса аппаратуры – 300 кг.

Потребляемая мощность – 1 кВт.

В СССР первые работы по оценке возможностей тепловой аэросъемки при изучении вулканов и термальных вод (гейзеров) были проведены в 1966 г. на Камчатке с помощью макетного варианта тепловизора «Вулкан» Ю.К. Юцевичем и Б.В. Шилиным.

В 1989 г. Минским отделом ВНИИКАМ (ныне УП «Космоаэрогеология») впервые выполнена тепловая аэросъемка территорий Солигорского промышленного района, Минска и той территории Беларуси, которая граничит с районом Игналинской АЭС в Литве.

Условия тепловой съемки Солигорского промышленного района (ночные часы 3 июня 1989 г.) способствовали тому, что температура поверхности суши была ниже водных поверхностей. Поэтому пришлось подходить дифференцированно к обработке и интерпретации съемочного материала. Было установлено несколько тепловых аномалий в пределах Солигорского водохранилища, что связано, по-видимому, с техногенным загрязнением. Легко идентифицировано тепловое поле солевых отвалов и шламохранилищ, что может быть связано с развитием карстовых процессов и пустот в теле солевых отвалов. Различные температурные характеристики шламохранилищ связаны с разной степенью концентрации и кристаллизации солей. Кроме того, выделен ряд аномалий невыясненного генезиса в пределах мелиорированных торфяников, пойм рек, лесных массивов, твердых бытовых отходов Солигорска и других объектов.

На территории Минска 9–10 декабря 1989 г. были проведены работы по созданию системы дистанционного теплового мониторинга, основной задачей которого являлся контроль состояния подземных тепловых сетей. Для этой цели была проведена крупномасштабная (1:5 000) тепловая ИК-аэросъемка на площади около 50 км². Съемка проводилась по системе параллельных прямолинейных маршрутов с межмаршрутным расстоянием и высотой 250 м. Получено восемь тепловых аэрофильмов. Аэросъемка производилась аэросъемочным комплексом «Тимур», разработанным комплексной аэрогеологической экспедицией «Аэрогеология» для выполнения крупномасштабных качественных съемок больших городов. Основой комплекса является тепловизор. Главная особенность комплекса – гиросtabilизирующая платформа, применение которой позволяет свести к минимуму геометрические искажения тепловых изображений, связанные с эволюцией летательного аппарата. Комплекс был установлен на борту вертолета МИ-8.

При дешифрировании тепловых изображений основными критериями для оценки состояния тепловых сетей являются контраст теплового следа трассы с фоном и результаты сравнительного анализа теплового следа трассы на всем ее протяжении, а также анализа ландшафтно-техногенных характеристик площадей съемок (особенностей грунтов, наличия асфальта или растительного покрова). При этом должны учитываться и конструктивные параметры (глубина заложения, диаметр, способ прокладки и т. п.). Поэтому весьма важно, чтобы все эти данные были нанесены на исходные схемы, представляемые эксплуатационными службами. Отсутствие такой информации снижает достоверность дешифрирования.

По материалам дешифрирования составлены схемы состояния тепловых сетей отдельных районов Минска в трех градациях. Следует пояснить, что во время проведения съемки высота снежного покрова составляла 5–8 см, температура воздуха – 5–7 °С. На полученных тепловых изображениях слабоконтрастные элементы тепловых сетей не фиксируются, что свидетельствует об их удовлетворительном (нормальном) состоянии. При интерпретации тепловых изо-

бражений нормальное состояние условно принято за уровень сглаживания теплового поля, поэтому на схемах показаны только участки теплотрасс с повышенной (зеленый цвет) и максимальной (красный цвет) утечкой тепла, так как именно они представляют интерес для эксплуатационных служб.

Состояние повышенной утечки тепла может свидетельствовать о наличии в канале воды, поступающей из самой трассы либо просачивающейся в канал извне (грунтовые воды), что приводит сначала к коррозии, а в дальнейшем к разрушению трассы.

Состояние максимальной утечки тепла, как правило, связано с нарушением изоляции, утечкой воды из трассы, активными коррозионными процессами, наличием небольших, но долгоживущих свищей.

В некоторых случаях тепловой контраст участка теплотрассы с фоном выходит за пределы верхней градации, а тепловой след имеет расплывчатые широкие очертания. По опыту предыдущих работ это свидетельствует о разрыве теплотрассы, наличии свища и просачивании воды до поверхности. Такие участки показаны на схемах красным цветом с восклицательным знаком, что требует оперативной наземной проверки. Всего по данным тепловой съемки составлено 16 схем (листов) состояния тепловых сетей Минска, на которых выделено около 300 участков максимальной утечки тепла [7].

Аэросъемка позволила выявить в пределах заснятой части Минска зоны утечки тепла из других водонесущих коммуникаций и тепловые шлейфы выбросов многих промышленных предприятий, тяготеющих к р. Свислочь, а также предприятий-гигантов машиностроительного профиля.

Дешифрирование и обработка тепловых самолетных снимков позволили выделить тепловые аномалии оз. Дрисвяты – своеобразного охладителя воды работающих атомных реакторов Игналинской АЭС. Было оценено влияние техногенных (тепловых) аномалий на природные комплексы севера Беларуси. Результаты техногенного влияния в этом пограничном районе своевременно были переданы правительству Беларуси.

В течение последних 15 лет в Беларуси для целей земле- и лесоустройства широко используется аэросъемочная камера РС-30 производства швейцарской фирмы «Leica». Выполнен большой объем летносьемочных работ на территории многих районов Беларуси. Одним из последних объектов летносьемочных работ и лесоустройства явилась территория Национального парка «Беловежская пуща».

В авиационных съемках природных образований широко использовались модульные спектрометрические системы «Гемма», «Гемма2-видео» и авиационный видеоспектральный комплекс (ВСК-2), созданные в Научно-исследовательском институте прикладных физических проблем им. А.Н. Севченко БГУ [8].

Система «Гемма» представляет собой отдельные спектральные модули (МС): шесть модификаций спектрометрических модулей (МС-02-07), бортовой вычислительный комплекс (БВК-1) либо его модификацию. Спектральное разрешение МС – от 7,0 до 3,0 нм в диапазонах 0,4–0,8 мкм и 0,38–0,84 мкм (МС-03 – МС-07).

Система «Гемма2-видео» предназначена для исследования оптических характеристик различных образований природной среды методами дистанционного зондирования. Система одновременно регистрирует пространственно-угловые, спектрально-энергетические и поляризационные характеристики оптического поля исследуемого объекта с синхронной сюжетной видеопривязкой. Развитое программное обеспечение позволяет непосредственно на борту летательного аппарата выполнять экспресс-анализ потока первичных данных.

В состав системы «Гемма2-видео» входят: спектрометрический модуль МС-03, персональная ЭВМ, контроллер управления поляроидами, съемный блок поляризационных фильтров, ТВ-камера сюжетной видеопривязки, электронный и оптический визиры наведения, видеомагнитофон, комплект кронштейнов для установки на иллюминаторах различных летательных аппаратов. Техническими характеристиками системы являются: спектральный диапазон 0,38–0,84 мкм, спектральное разрешение 3 нм, скорость развертки спектра $2 \cdot 10^9$ нм/с, чувствительность $5 \cdot 10^{-5}$ Вт/(см²·мкм·ср), динамический диапазон 50 дБ, фокусное расстояние объектива 80–200 мм [8].

В последние годы коллективом специалистов Белорусского государственного университета по заказу Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь разработан авиационный видео-спектральный комплекс (ВСК-2), который предназначен для дистанционного контроля за состоянием лесных насаждений.

ВСК-2 осуществляет регистрацию, обработку и представление пространственной и спектрополяризационной информации в виде телевизионных, спектрозональных и спектрополяризационных изображений контролируемого участка территории, а также в виде спектров высокого разрешения объектов, которые повышают информативность получаемых данных.

ВСК-2 (рис. 1) состоит из блока оптических модулей (БОМ) и бортового управляющего вычислительного комплекса (БУВК). В состав БОМ входят: блок спектрозонально-поляризационной съемки (БСПС-1), спектрорадиометр МС-09 и цветная обзорная видеокамера (ТВ-камера). Комплекс ВСК-2 снабжен блоком точной географической привязки с помощью глобальной системы позиционирования (GPS).

На схеме проведения авиационных измерений (рис. 2) схематично показаны поля зрения трех регистрирующих блоков комплекса ВСК-2. Размер кадра каждого из каналов БСПС-01 зависит от высоты съемки H и равен $0,66 \times 0,54H$ м.



Рис. 1. Внешний вид ВСК-2

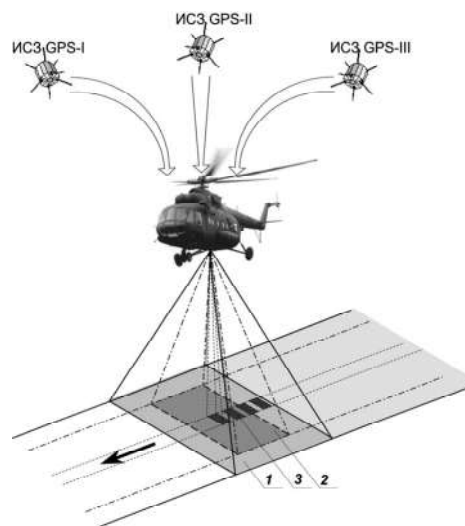


Рис. 2. Схема съемки ВСК-2 с борта вертолета:
1 – поле зрения обзорной ТВ-камеры ($39^\circ \times 31^\circ$);
2 – поле зрения спектрозональной камеры БСПС ($34^\circ \times 28^\circ$);
3 – поле зрения спектрорадиометра МС-09 (9°)

Природные объекты имеют отличающиеся спектральные коэффициенты отражения, которые в общем случае зависят как от углов освещения, так и наблюдения. Спектральные различия составляют основу идентификации объектов методами спектрозонального дистанционного зондирования.

Система ВСК-2 позволяет решать задачи мониторинга лесов на уровне как отдельных деревьев, куртин и выделов, так и кварталов, лесничеств и лесхозов в целом. При этом получаемое пространственное разрешение спектрозональных изображений порядка $0,38-1,9$ м с высоты вертолетной съемки $\sim 0,2-1$ км достаточно для использования подходов, основанных на попиксельной классификации изображений. Методы диагностики строятся на основе анализа как лабораторных спектрополяризационных измерений фитоэлементов (листьев, веток) здоровых и пораженных деревьев, так и натуральных измерений групп деревьев. Результаты этих измерений используются для формирования обучающих спектральных выборок при классификации данных вертолетных видеоспектральных съемок.

Тематическая обработка данных авиационных съемок состоит в сегментации (выделении однородных по своим спектральным свойствам) объектов изображения (групп пикселей) и отнесении их к тому или иному заранее определенному классу.

Исходными (подлежащими классификации) данными являются площадные «геопривязанные» мозаики изображений и отдельные изображения, полученные с помощью обзорной телекамеры, площадные мозаики спектрзональных изображений, полученные с помощью БСПС, или поляризационные изображения в одном спектральном канале. Для осуществления тематической классификации изображений используется следующая совокупность данных, на основе которой задаются искомые классы лесной растительности и формируются эталонные данные для этих классов (обучающие выборки):

- спектры высокого разрешения, получаемые с борта вертолета спектрометром МС-09;
- таксационные описания выделов, содержащиеся в базе данных геоинформационной системы (ГИС) «Лесные ресурсы».

Хорошие результаты классификации дает метод максимального правдоподобия (рис. 3).

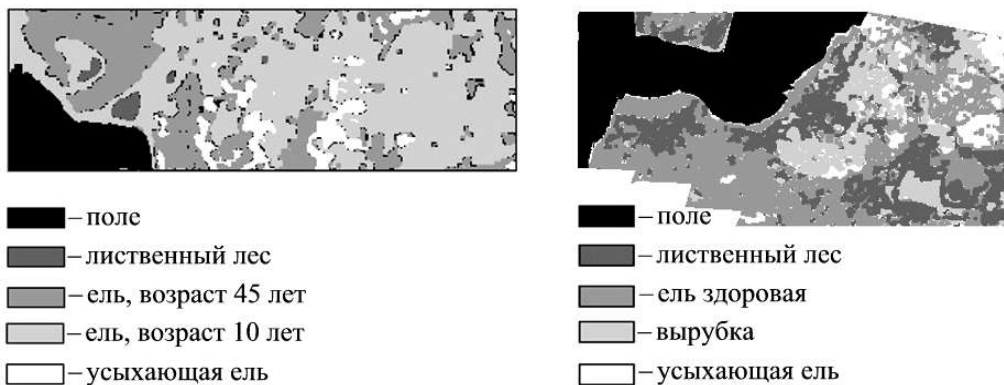
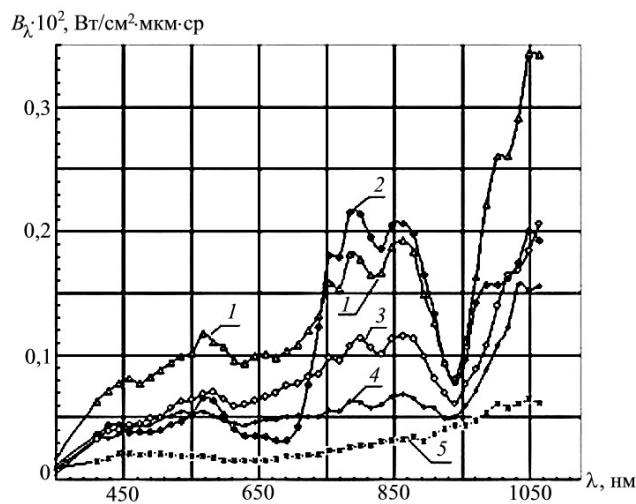


Рис. 3. Результаты классификации с обучением методом максимального правдоподобия

Для задания областей на изображениях, по которым вычислялись обучающие выборки, были выбраны выделы с достаточно однородным видовым составом в соответствии с базой данных ГИС «Лесные ресурсы». Локализация участков различных пород осуществлялась по цветовым характеристикам спектрзонального изображения, а также по характерным спектрам.

Анализ сопутствующих спектров (рис. 4) позволяет отбраковать ненужные классы объектов, полученные на первом этапе классификации (без обучения), и выбрать наиболее надежно установленные небольшие участки гарей в качестве обучающих выборок для последующей классификации с обучением.



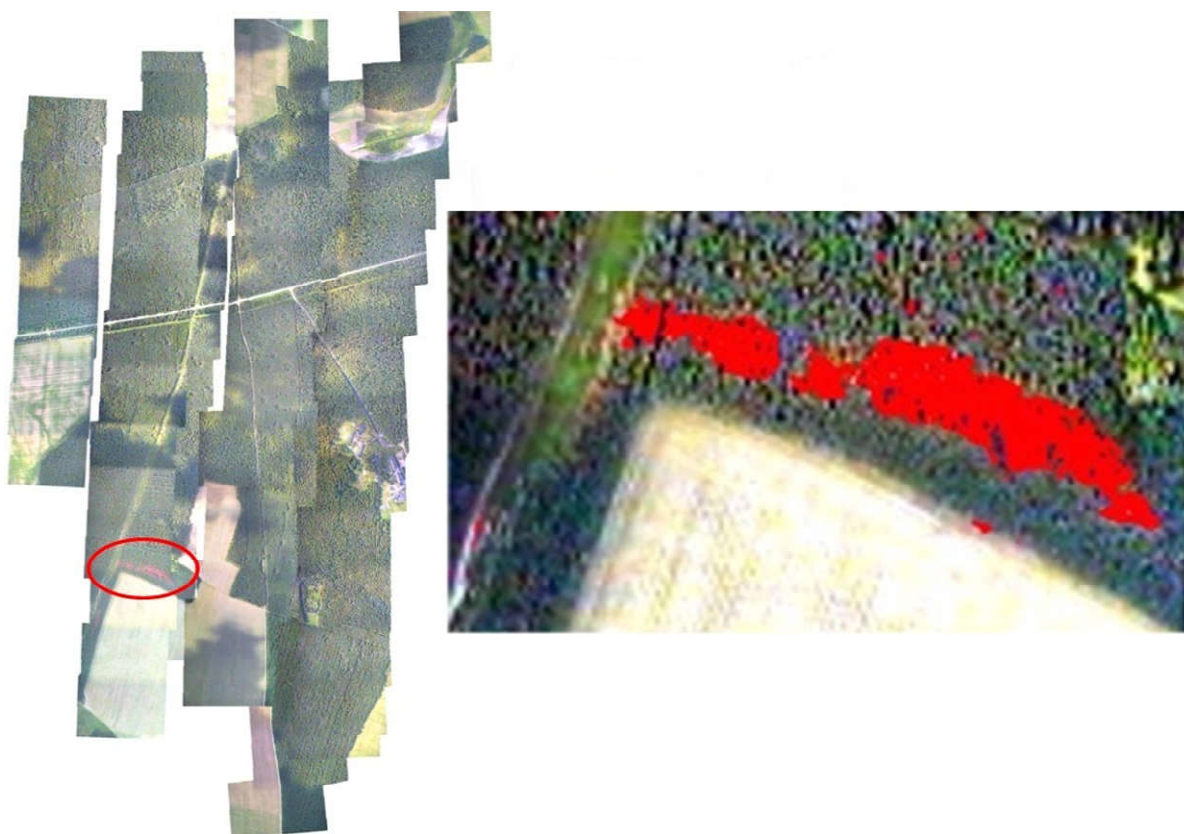


Рис. 5. Участок выгоревшего леса (1,18 га) Негорельского учебно-опытного лесхоза

Спектрзональные изображения так же, как и при решении вышеописанных задач, получены с использованием в основном трех спектральных фильтров с центрами полос пропускания 560, 820, 655 нм. При этом лучше различаются гари в ближнем ИК-канале (820 нм), где они имеют почти черный тон в отличие от лесов, которые выглядят значительно более серыми. Другие два спектральные канала необходимы для уверенного отделения гарей от других природных объектов, таких, как редколесья, торфяники, вырубки и болота. Следует заметить, что кроме цветовых различий указанные объекты в большинстве случаев заметно отличаются от гарей и по своим геометрическим характеристикам. Свежие лесные гари чаще всего имеют ломанные, клиновидные границы, в то время как редколесья, торфяники имеют более правильные, плавные границы.

Заключение

Необходимо отметить, что аэросъемки, в том числе и аэросъемки с воздушных шаров в XIX в., были тесно связаны с развитием техники и авиации и представляли интерес определенный период времени. В настоящее время аэросъемки практически себя исчерпали в связи с широким развитием многозональных космических съемок высокого разрешения, которые приравняются по всем параметрам к современным аэросъемочным системам. Поэтому для изучения геоэкологического состояния территории в настоящее время наиболее целесообразно применение многозональных космических снимков высокого разрешения, например Ikonos, Quick Bird и др.

Список литературы

1. Gryglaszewski, R. Zdjecia sytuacyjne rzek Polecia metoda aerofotogrametryczna / R. Gryglaszewski. – Brzesc nad Bugiem: Naktadem Biura Meljoracji Polesia, 1931. – 76 s.

2. Тяшкевич, И.А. Первый опыт применения материалов радиолокационной аэросъемки для геологических целей в условиях Белоруссии / И.А. Тяшкевич // Геодезия и аэрофотосъемка. – М., 1977. – № 4. – С. 184–187.

3. Тяшкевич, И.А. Изучение тектоники Припятского прогиба по материалам радиолокационной съемки / И.А. Тяшкевич, Н.А. Капельщиков, А.М. Михунов // Теория и методика аэрокосмогеологических исследований: сб. науч. тр. – Л.: ВСЕГЕИ, 1981. – С. 147–154.

4. Капельщиков, Н.А. Дешифровочные признаки основных разломов Припятского прогиба по материалам радиолокационной съемки / Н.А. Капельщиков, И.А. Тяшкевич // Тектонические исследования Белоруссии / Под ред. Р.Г. Гарецкого. – Минск: Наука и техника, 1983. – С. 155–162.

5. Михунов, А.М. Использование материалов многозональной съемки при геолого-географических исследованиях / А.М. Михунов, И.А. Тяшкевич, Н.А. Капельщиков // Актуальные проблемы охраны, рационального использования и воспроизводства природных ресурсов. – Минск: Изд-во БГУ, 1985. – С. 71–72.

6. Шилин, Б.В. Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов / Б.В. Шилин. – Л.: Гидрометеоздат, 1980. – С. 246.

7. Тяшкевич, И.А. Первый опыт применения материалов тепловой съемки для геолого-географических целей в условиях Белоруссии / И.А. Тяшкевич // Проблемы экологической геологии в Прибалтике и Белоруссии: тез. докл. совещ., Вильнюс, ноябрь 1990 г. – Вильнюс: ЛитНИГРИ, 1990. – С. 163–166.

8. Беляев, Б.И. Оптическое дистанционное зондирование / Б.И. Беляев, Л.В. Катковский. – Минск: Изд-во БГУ, 2006. – 455 с.

Поступила 04.06.07

¹Научно-производственное республиканское
унитарное предприятие «Космоаэрогеология»
НАН Беларуси,
Минск, Революционная, 6
e-mail: Kosmoaerogeology@tut.by

²Научно-исследовательский институт
прикладных физических проблем
им. А.Н. Севченко БГУ,
Минск, Курчатова, 7
e-mail: Remfens@niks.by

I.A. Tyashkevich, A.R. Pontus, B.I. Belyaev

APPLICATION OF VARIOUS KINDS OF AERIAL PHOTOGRAPHS FOR GEOLOGO-ECOLOGICAL RESEARCH IN BELARUS

The historical data of the first aerial photographs from balloons (France, Russia), regular aerial photographs in USSR, new kinds of aerophotographs (multizonals and hyperzonals by camera MKF-6, plane radar-tracking and thermal infrared (IR) are discussed. The contemporary methods of aerial photoshooting and data processing for geology-ecological purposes are also considered. Results of application of contemporary film chambers are presented for Gema, Gema2-video and VSK-2. Practical results of application of new kinds of aerial photographs in geology, forestry, in studying mining areas, thermal monitoring of city agglomerations are considered.