

ISSN 0869-7175

Отечественная ГЕОЛОГИЯ



ВНИИКАМ

50 ЛЕТ

ВСЕРОССИЙСКОМУ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМУ
ИНСТИТУТУ КОСМОАЭРОМЕТОДОВ

6/1994



Поздравляю коллектив Всероссийского научно-исследовательского института космоаэрометодов с 50-летним юбилеем!

Дорогие коллеги! Ваш институт в течение многих лет успешно выполняет большую и очень важную работу по разработке и применению дистанционных методов изучения минерально-сырьевых и других природных ресурсов.

Деятельность ВНИИКАМ всегда отличалась новизной идей и комплексностью исследований. ВНИИКАМ является пионером в области исследований и применения материалов высотной и многозональной съемок, космических снимков, дистанционного зондирования в тепловом и микроволновом диапазонах.

Вашим коллективом исследованы возможности и разработаны методики использования материалов различных аэро- и космических съемок при изучении регионального геологического строения, геологическом картировании районов активной вулканической и геотермальной деятельности шельфовых областей, при поисках полезных ископаемых.

Большое значение имеют теоретические и методологические разработки ВНИИКАМ по ландшафтному и геоиндикационному анализу аэрокосмической информации, ее комплексному использованию совместно с наземными геолого-геофизическими данными.

Большая роль принадлежит ВНИИКАМ в подготовке научных кадров в области современных технологий геологических исследований.

В настоящее время ВНИИКАМ продолжает развивать перспективные направления дистанционного зондирования Земли для решения широкого круга геологических, геоэкологических и других народнохозяйственных задач.

Желаю коллективу института достижения поставленных целей, новых творческих успехов, всем сотрудникам — крепкого здоровья и благополучия.

*Председатель
Комитета Российской Федерации
по геологии и использованию недр*

В.Л. Орлов



Отечественная ГЕОЛОГИЯ

Ежемесячный научный журнал

Основан в марте 1933 года

Учредители:

Комитет по геологии
и использованию недр РФ
Российское геологическое общество
Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов
Геолбанк

6/1994

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор А. И. Кривцов

Бюро: Э. К. Буренков, Р. В. Добровольская (зам. главного редактора), А. В. Дурандин, А. Н. Еремеев, А. Н. Золотов, А. Б. Каждан, В. И. Казанский, Н. В. Милетенко, Л. Д. Овчининская (отв. секретарь), Д. А. Родионов, А. Ю. Розанов, Г. В. Ручкин (зам. главного редактора), Е. И. Семенов, В. В. Семенович, А. А. Шпак, А. Д. Щеглов (зам. главного редактора), В. А. Ярмолюк

Ю. И. Бакулин, А. Н. Барышев, Г. Р. Бекжанов, В. С. Быкадоров, Н. Н. Ведерников, И. Ф. Глумов, И. С. Грамберг, Т. В. Джанелидзе, В. А. Ерхов, А. И. Жамойда, Е. Н. Исаев, М. М. Константинов, Л. И. Красный, Н. К. Курбинов, Н. В. Межеловский, И. Ф. Мигачев, В. А. Нарсеев, В. А. Петров, В. М. Питерский, В. Ф. Рогов, В. И. Старостин, В. С. Сурков, В. П. Федорчук

Содержание

<i>Перцов А.В.</i> Развитие аэрокосмических методов в ЛАЭМ-ВНИИКАМ	3	<i>Перцов А.В., Гальперов Г.В., Брусничкина Н.А.</i> Дистанционное зондирование при прогнозировании и поисках рудных полезных ископаемых в работах сотрудников ВНИИКАМ	45
<i>Можаев Б.Н.</i> Место дистанционных методов в отечественных геологических исследованиях	12	<i>Кирсанов А.А.</i> Применение материалов аэро- и космических съемок в геоэкологических исследованиях (состояние и перспективы)	50
<i>Шилин Б.В., Горный В.И.</i> Тепловая аэрокосмическая съемка — достижения и перспективы	22	<i>Попова Т.А.</i> Становление экологического направления в исследованиях ВНИИКАМ	55
<i>Слуцкая С.Г., Сурин В.Г.</i> Спектрометрические исследования во ВНИИКАМ	27	<i>Рогов А.Н.</i> Особенности интеграции технологий географических информационных систем и дистанционного зондирования при изучении природных ресурсов	60
<i>Кирсанов А.А.</i> Развитие дистанционных методов изучения нефтегазоносных территорий в ЛАЭМ-ВНИИКАМ	34	<i>Кильдюшевский Е.И., Сорокин А.Л., Петров К.М.</i> Комплексное картирование морских побережий как основа рационального природопользования	69
<i>Гололобов Ю.Н., Смирнова И.О.</i> Изучение и прогноз по дистанционным данным вещественноструктурных неоднородностей — ловушек нефти и газа	39		

Редакция: Р.В.Добровольская, Л.Д.Овчининская, Г.В.Вавилова, М.В.Розачева

Сдано в набор 15.06.94. Подписано в печать 01.09.94. Формат 185×270. Бумага мелованная.
Печать офсетная. Тираж 1000 экз.

Адрес редакции: 113545, Москва, Варшавское шоссе, 1296.
Телефон: 315—28—47

Отпечатано Государственным картографо-геодезическим предприятием

Развитие аэрокосмических методов в ЛАЭМ-ВНИИКАМ

А.В.ПЕРЦОВ

В феврале 1944 г. по инициативе академика А.Е.Ферсмана при отделении геолого-географических наук АН СССР была образована специализированная научная организация — Лаборатория аэрометодов, на которую возлагались задачи разработки теоретических основ аэрометодов и координация работ по их использованию в народном хозяйстве. Эта новая научно-исследовательская организация принимала эстафету исследований от созданного в 1929 г. Научно-исследовательского института аэросъемки (Ленинград), директором которого был академик А.Е.Ферсман. С 1929 по 1935 г. в рамках этого института проводились исследования по изучению природных ресурсов методами аэросъемки, в частности, была организована экспедиция в Среднюю Азию, результаты работы которой показали большие возможности и перспективы использования аэросъемки для решения геологических, гидрогеологических и ряда других задач. Опыт этих исследований был обобщен А.В. Гавеманом в монографии «Аэросъемка и исследования природных ресурсов» (1937 г.). Однако после перевода этого института в 1935 г. в Москву и реорганизации его в Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэрофотосъемки и картографии, работы по развитию аэрометодов изучения природных ресурсов были приостановлены. Возобновление работ в этом направлении и возлагалось на Лабораторию аэрометодов, которая создавалась на базе Постоянной комиссии по применению аэросъемок АН СССР (председатель А.Е.Ферсман) и группы маскировки Комиссии по геолого-географическому обслуживанию Красной Армии. Первым директором Лаборатории аэрометодов (ЛАЭМ) был академик П.И. Степанов, первоначальный штат сотрудников — 12 человек. Опыт применения аэрометодов в области геологии был обобщен В.П.Мирошниченко в монографии «Аэрогеосъемка», подготовленной к изданию в 1941 г. и опубликованной только в 1946 г., в связи с условиями блокады Ленинграда. Эта монография представляла собой первый в стране опыт систематического изложения методики геологического дешифрирования аэроснимков.

С 1947 по 1962 г. ЛАЭМ возглавлял член-корреспондент АН СССР Н.Г.Келль и имен-

но под его руководством Лаборатория аэрометодов превратилась в ведущую научную организацию страны в области развития методов аэросъемки для изучения природных ресурсов. В этот период были заложены основы научных школ по применению аэрометодов при изучении дна морских мелководий (В.В.Шарков), природных ландшафтов (В.П.Мирошниченко), неотектонических процессов (С.С.Шульц), почв, четвертичной геологии, переформирования берегов водохранилищ (Н.Н. Соколов), а также в области научной фотографии (К.С.Ляликов) и математических методов в геологии (А.Б.Вистелиус). В ходе научных исследований сотрудники ЛАЭМ в эти годы разработали оригинальные методики использования различных материалов аэрофотосъемки при изучении геологического строения дна морских мелководий (В.В.Шарков, З.И.Гурьева), действующих вулканов (Е.А.Святловский), лесов (С.В.Белов, Н.Г.Харин, Д.М.Киреев), переформирования берегов водохранилищ (Н.Н.Соколов, А.И.Баранова, Ф.С.Зубенко), почв (А.С.Преображенский, Ю.С.Толчельников, Н.Н.Семенова), закрытых дренажных систем (Г.Я.Мейер), целинных и залежных земель Северного Казахстана (Л.И.Березкина, Леонтьева Е.В.), поисках грунтовых вод (Г.Я.Мейер, К.Е.Нефедов, Т.А.Попова, Е.С.Арцыбашев), поисках коренных месторождений алмазов (В.М.Барыгин, Н.В.Кобец, В.Б.Комаров), прогнозировании нефтегазоперспективных структур на акваториях (В.П.Мирошниченко, В.В.Шарков, Н.В.Кобец), изучении регионального геологического строения и геологическом картографировании (В.М.Будько, Н.В.Кобец, А.Б.Вистелиус). Проводились исследования в области фотограмметрии (Н.Г.Келль, Е.В.Пономарев, М.П.Махина, В.Г.Зданович, Ф.М.Хаджетлаше, В.Б.Комаров, В.И.Павлов, Н.С.Рамм), фотографической обработки аэрофотоснимков (К.С.Ляликов, Г.Н.Калько, А.Я.Смирнов, З.Л.Петрушкина, Д.А.Янутш, Ю.В.Углев, В.Ф.Номоконова), математических методов в геологии (А.Б.Вистелиус, М.А.Романова), диффракционных методов изучения морских волнений (Ю.Д.Шариков, И.А.Черкасов). Разрабатывались методика самолетовождения при аэрофотосъемочных работах (С.В.Бе-

лов, О.А.Юрковский, В.П.Алексеев-Шемякин, Н.В.Мишурицкий), аппаратура и методика изучения спектральных характеристик природных объектов, проводились работы по измерению этих характеристик (В.В.Кольцов, И.В.Семенченко, К.Е.Мелешко, С.Г.Слущкая). Исследовались вопросы комплексного применения аэрогеофизики и аэрофотосъемки для целей геологического картирования (Н.Д.Палицин, А.В.Доливо-Добровольский, Б.В.Шилин). Результаты такого рода исследований были обобщены в ряде монографий, сборников научных работ, методических рекомендаций и руководств, которые послужили основой для использования и развития аэрометодов во многих организациях различных отраслей народного хозяйства страны. В аспирантуре ЛАЭМ под руководством ведущих специалистов готовились кадры высшей квалификации — кандидаты наук в различных областях применения аэрометодов.

В 1962 г. в связи с реорганизацией Академии наук СССР Лаборатория аэрометодов была передана в состав Министерства геологии СССР. Ее директором назначен ученик Н.Г.Келля — В.Б.Комаров. С этого времени научно-исследовательские работы ЛАЭМ направлялись на развитие методов аэрогеологических исследований, а с появлением материалов космических съемок — космоаэрогеологических исследований. Методологическая и теоретическая база использования материалов дистанционного зондирования при геологических исследованиях, основанная на ландшафтно-индикационном анализе аэрокосмической информации, была создана работами В.П.Мирошниченко. Результаты этих разработок были использованы в методических рекомендациях по использованию материалов аэрофотосъемок при изучении регионального геологического строения, геологическом картировании мелкого, среднего и крупного масштабов, прогнозировании и поисках месторождений полезных ископаемых (руды, алмазы, нефть и газ, подземные воды) в различных ландшафтных и геологических условиях Советского Союза.

Большое развитие в этот период получили исследования по изучению мелководных зон морей, результаты которых были обобщены коллективом авторов под руководством В.В.Шаркова в ряде монографий — «Аэрогеологическая съемка мелководных зон Каспийского моря», «Геология подводного склона западного берега Каспийского моря» и др.

В 60-х годах в ЛАЭМ были начаты исследования по разработке новых методов дистанционного зондирования — радиолокаци-

онной (В.Б.Комаров) и тепловой аэросъемки (Б.В.Шилин), существенно расширяющих возможности дистанционного зондирования природных ресурсов. Проводились экспериментальные работы по использованию в геологических целях материалов высотной аэрофотосъемки (Г.Б.Гонин, Н.А.Яковлев). С появлением материалов космических съемок начинается качественно новый этап развития дистанционных методов. В ЛАЭМ впервые в стране велись исследования по созданию методов геологического дешифрирования материалов космической фотосъемки (А.В.Доливо-Добровольский, С.И.Стрельников). С развитием технических средств обработки информации (ЭВМ) начаты работы по автоматизации процессов геологического дешифрирования материалов аэро- и космической съемки (Д.А.Янутш, Н.Ф.Афанасьев, Б.Н.Можаев, А.А.Чигирев).

Исследования по применению материалов радиолокационной аэросъемки были начаты в ЛАЭМ по инициативе В.Б.Комарова. На первом этапе работы проводились на Полярном Урале С.И.Стрельниковым, на Камчатке Н.А.Гусевым и Б.В.Шилиным, в Туркмении и Казахстане В.А.Старостиным и В.Г.Можаевой с использованием материалов, полученных радиолокационной станцией бокового обзора «Торос» (разработка НПО «Ленинец» под руководством В.М.Глушкова). По результатам работ было составлено «Временное методическое руководство по использованию радиолокационной аэросъемки при геологических исследованиях», которое позволило геологическим организациям страны начать использование материалов радиолокационной аэросъемки в производственных работах. В порядке внедрения аэрорадиолокационного метода в производственные организации геологической отрасли силами ЛАЭМ были выполнены аэросъемки на площади более 10 млн км² по заказам более 30 организаций. На основе полученных в ходе этих опытно-методических работ результатов было выполнено техническое задание на разработку радиолокационной станции нового поколения, которая и была создана в НПО «Ленинец» (РЛСБО «Нить»).

Исследования по применению метода аэросъемки в инфракрасном диапазоне (3—14 мкм) были начаты в ЛАЭМ по инициативе Н.Г.Келля и Ю.К. Юцевича. Как в нашей стране, так и за рубежом первые оптико-электронные сканирующие системы для аэросъемки в инфракрасном диапазоне создавались для целей военной воздушной разведки, поэтому первые эксперименталь-

ные аэросъемочные работы выполнялись именно на такого рода аппаратуре. Первоначальной задачей было изучение высокотемпературных объектов типа действующих вулканов и парогидротерм, работы проводились на Камчатке с макетом ИК-сканера «Тепло М» под руководством Б.В.Шилина. Успешные результаты этих работ позволили поставить широкие исследования по следующим трем направлениям.

По первому направлению велись разработки технических средств аэросъемки, которые завершились созданием на Азовском оптико-механическом заводе первого отечественного серийного самолетного тепловизора «Вулкан». В рамках работ по второму направлению была создана теплоинерционная модель расчета температурного поля земной поверхности под воздействием солнечной радиации путем решения уравнения теплопроводности в виде уравнений теплового баланса, построены суточные кривые температуры объектов с различными теплофизическими свойствами для различных природных условий, что позволило оценивать эффективности тепловой аэросъемки и, соответственно, определять круг задач, эффективно решаемых этим методом дистанционного зондирования. По третьему направлению были разработаны методические рекомендации по выполнению тепловой аэросъемки и интерпретации получаемых материалов при изучении районов действующих вулканов и активной гидротермальной деятельности, при решении задач гидрогеологии и инженерной геологии, гидрологии, мелиорации, исследования особенностей строения ледово-снежного покрова моря и суши, контроля состояния природной среды.

В этот же период в ЛАЭМ начали проводиться исследования в области многоспектральной аэросъемки, в ходе которых были разработаны теоретические положения изучения природных объектов по их спектральным характеристикам, созданы технические средства для измерения спектральных характеристик объектов (полевой спектрофотометр — по ТЗ ЛАЭМ в Сибирском ОКБ НПО «Нефтегеофизика», спектрограф, подводный люксометр, фотоэлектронная аэросъемочная камера ФАСК-4 с одновременной фотографической регистрацией данных по двум каналам, серия аэроспектрометров — С-8, С-9, С-12 с синфазной системой сканирования и регистрации и изменяющимся углом зрения, летный спектрозональный телефотометр ТЗ-2, многоспектральная 16-канальная аэросъемочная камера МАСК-1, автоматический полевой спек-

трофотометр СПА-1 и др.), подготовлено методическое пособие по спектрофотометрическим исследованиям природных объектов (В.В.Кольцов, К.Е.Мелешко, С.Г.Слущкая).

Первые высотные аэрофотосъемки для геологических целей были выполнены в Центральном Казахстане под руководством Г.Б.Гонина и Н.А.Яковлева. Результаты геологического дешифрирования полученных материалов показали их высокую информативность в отношении возможности изучения геологических объектов, требующих большой обзорности.

Появление материалов космических съемок вывело методы дистанционного зондирования природных ресурсов на новый информационный уровень. Исследования по использованию космических снимков для решения задач геологического картирования, прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых были поставлены в ЛАЭМ с начала 60-х годов. В процессе выполнения этих исследований были разработаны вопросы теории дешифрирования по материалам съемок из космоса геологических объектов, в том числе — прогнозирования глубинных геологических структур, разработана методика использования космических снимков при структурно-геологических и геоморфологических исследованиях, геологическом картировании, обоснована эффективность использования космических изображений при металлогенических исследованиях и прогнозировании месторождений полезных ископаемых. Результаты этих разработок были обобщены в виде ряда монографий, общетраслевых методических пособий и руководств.

В области разработки технических средств, технологических процессов и математического обеспечения автоматизированной обработки материалов аэро- и космических съемок были разработаны основы агрегирования средств обработки информации, создан прототип системы обработки такой информации на базе ЭВМ Днепр-1, разработано ТЗ на создание единой автоматизированной системы на базе ЭВМ ЕС-1020 и специализированного периферийного оборудования, в том числе автоматизированного рабочего места дешифровщика (А.А.Чигирев).

В начале 70-х годов с целью концентрации работ аэрогеологического направления в системе Министерства геологии на базе Всесоюзного аэрогеологического треста (ВАГТ) и ЛАЭМ было создано научно-производственное объединение «Аэрогеология». Специалисты этого объединения, в том чис-

ле научные работники ЛАЭМ, ведут исследовательские, опытно-конструкторские, методические и опытно-методические разработки по созданию и внедрению новых дистанционных методов в геологической отрасли, осуществляют руководство и курирование деятельности 52 производственных аэрокосмогеологических партий во всех регионах страны, а также 11 отделов и лабораторий отраслевых научно-исследовательских институтов. В этот период аэрокосмогеологические исследования стали обязательной составной частью единого геолого-разведочного процесса, способствуют существенному повышению эффективности изучения регионального геологического строения и геологического картирования, решения задач тектоники и структурной геологии, гидрогеологии и инженерной геологии, четвертичной геологии и геоморфологии, прогнозирования и поисков полезных ископаемых.

Наиболее полно теоретические и методические вопросы использования материалов аэросъемок в геологии были обобщены в первой в стране коллективной работе сотрудников ЛАЭМ, состоящей из двух томов: «Физические основы и технические средства аэрометодов» (1967 г.) и «Аэрометоды геологических исследований» (1971 г.). В этой монографии, подготовленной под редакцией А.И.Виноградовой, рассмотрены теоретические основы геологической интерпретации материалов аэрофотосъемки, аэромагнитной, аэrorадиометрической съемки и аэроэлектроразведки; освещена методика и техника выполнения работ при средне- и крупномасштабной геологических съемках и поисках полезных ископаемых с изложением принципов комплексирования различных аэрометодов. Охарактеризованы особенности использования аэрометодов при геологической съемке и поисках полезных ископаемых и даны примеры применения их в различных геолого-структурных и ландшафтных условиях Советского Союза, а также перспективы использования новых аэрометодов. К составлению монографии был привлечен большой коллектив авторов из числа сотрудников геологических учреждений. Наряду с отечественным учтен также и опыт зарубежных работ. В монографию был помещен соответствующий иллюстративный материал по основным геолого-структурным и ландшафтным зонам нашей страны.

Вопросы использования материалов космических съемок несколько позднее были обобщены специалистами Лаборатории аэрометодов в монографии «Космофотосъ-

емка и геологические исследования» (1975 г.) под редакцией Г.Б.Гонина и С.И.Стрельникова.

В этот же период в ЛАЭМ проводились исследования по комплексированию аэрокосмической информации с геофизическими данными. На примере Кольского полуострова коллективом специалистов под руководством В.М.Будько и А.В.Доливо-Добровольского была разработана методика комплексной интерпретации материалов аэрофотосъемки и геофизических данных при изучении структуры интрузивных массивов (1972 г.). На примере района Приенисейской Сибири коллективом специалистов под руководством В.И.Астахова было подготовлено методическое пособие по использованию при геологическом картировании среднего масштаба в таежных условиях комплекса материалов дистанционного зондирования совместно с геофизическими данными. Основой разработанной методики явились следующие принципиальные положения: проведение ландшафтного районирования, геоиндикационный анализ аэрокосмической информации, оптимизация выбора материалов съемок разного типа и масштабов. Методические рекомендации были обобщены в работе «Комплекс дистанционных методов при геологическом картировании таежных районов».

Значительный опыт использования материалов радиолокационной аэросъемки был обобщен В.Г.Можасовой в работе «Изучение рельефа по материалам радиолокационной аэросъемки», в которой на примере отдельных районов, расположенных в различных геоструктурных областях (Балтийский щит, платформенные области Казахстана, районы Альпийского пояса), детально показаны возможности применения радиолокационных снимков при геоморфологическом картировании, структурно-геоморфологическом анализе, изучении регионального геологического строения и новейшей тектоники.

В 1979 г. в работе «Аэрометоды геологического изучения районов двухъярусного строения» коллективом специалистов ЛАЭМ (Г.В.Гальперов, А.В.Перцов, Н.А.Брусничкина) были обобщены результаты исследований по разработке методики использования материалов аэросъемки при глубинном геологическом картировании и прогнозировании месторождений полезных ископаемых. По результатам этих работ были созданы также методические рекомендации и пособия, позволившие повысить качество работ по изучению геологического строения территорий, перекрытых чехлом рыхлых отложений.

В 1973 г. был образован Московский отдел ЛАЭМ, который просуществовал до 1977 г., начальником отдела все эти годы был С.М.Богородский. Под его руководством сотрудники отдела работали по двум основным направлениям:

1) организация и проведение исследований на комплексных полигонах с целью выработки оптимальных технологических схем использования материалов дистанционного зондирования;

2) проведение геолого-экономических исследований по оценке и повышению эффективности аэро- и космических методов.

Основные объемы работ Московского отдела выполнялись на Устьюртском и Среднеазиатском (Ферганском) полигонах. Важным элементом этих работ было проведение синхронных и субсинхронных съемок, оценка информативности получаемых материалов, разработка геоиндикационных методов дешифрирования снимков и комплексирование получаемых результатов с геолого-геофизическими данными.

В 1974 г. в Минске на базе Лаборатории аэрогеологического и морфометрического методов был образован отдел «Аэроморфометрический», который просуществовал до 1992 г. Все эти годы отдел возглавлял О.И.Карасев, под руководством которого коллектив проводил исследования по разработке и внедрению аэрокосмических методов геологических исследований в условиях запада европейской части СССР.

В 80-е годы основными направления деятельности ЛАЭМ-ВНИИКАМ были:

1) разработка теории, методики и технологий использования материалов аэро- и космических съемок при геологических исследованиях, изучении состояния природной среды и динамики ее изменения;

2) создание и совершенствование технических средств и методов получения аэрокосмической информации;

3) создание и совершенствование технических средств, математического обеспечения, методики и технологических процессов обработки материалов различных видов аэро- и космических съемок, в первую очередь, путем создания автоматизированных систем на базе различных ЭВМ для решения геологических задач.

В этот период времени, а именно в 1986 г., Лаборатория аэрометодов по инициативе Министерства геологии СССР решением правительства была преобразована во Всесоюзный научно-исследовательский институт космоаэрогеологических методов (ВНИИКАМ), ныне — Всероссийский НИИ космоаэрогеологических методов.

В эти годы в рамках исследований по *первому направлению* дальнейшее развитие получил геоиндикационный подход к анализу материалов аэро- и космических съемок. Работами коллектива специалистов ВНИИКАМ под руководством Б.Н.Можаева и Н.Ф.Афанасьева оформился метод геоиндикационного моделирования как основа геологического дешифрирования материалов аэро- и космических съемок в различных ландшафтных и геологических условиях. Данный метод предполагает изучение взаимосвязей элементов геологического строения с элементами и компонентами ландшафта и использование выявленных закономерностей при анализе аэрокосмической информации. Реализация метода геоиндикационного моделирования заключается в построении математических моделей на основе гипотезы о характере связей элементов и компонентов ландшафта (в том числе особенностей их пространственного распределения) с геологическими объектами. При получении положительного результата после апробации такой модели выявленные закономерности (геоиндикационные модели) используются для прогнозирования геологического строения на неизученных участках. Применение метода геоиндикационного моделирования предполагает автоматизированную обработку данных в силу значительных объемов используемой информации. Опыт работ в данном направлении был обобщен в ряде методических руководств и монографии «Геоиндикационное моделирование».

Методика применения материалов аэро- и космических съемок при изучении новейшей тектоники и прогнозировании нефтегазоперспективных структур в различных природных условиях — традиционная тема многих коллективов ВНИИКАМ. Она явилась составной частью ряда специализированных руководств и изложена в нескольких работах — «Ландшафтный метод дешифрирования проявлений новейшей и современной тектоники для поисков погребенных нефтегазоносных структур» (В.П.Мирошниченко), «Применение материалов аэрокосмических съемок при изучении новейшей тектоники Юго-Западной Туркмении» (Б.Н.Можаев, В.Г.Можаева) и др.

На основе геоиндикационного моделирования коллективом специалистов под руководством А.А.Кирсанова была разработана методика прогнозирования строения поверхностных осадочного чехла в пределах нефтегазоносных бассейнов по материалам аэрокосмических съемок и геолого-геофизическим данным. Основой методики явились —

геоиндикационный анализ аэрокосмической информации, обработка изображений на ЭВМ и построение моделей глубинного строения осадочного чехла в пределах изученных участков с последующей их экстраполяцией на неизученные площади. Методика была апробирована на территории нефтегазовых бассейнов Средней Азии и Прикаспийской впадины.

На основе геоиндикационного подхода во ВНИИКАМ разрабатывается технология применения аэро- и космических снимков при геологическом картировании платформенных территорий масштабов 1:200 000 — 1:50 000 (на примере севера Русской платформы) и прогнозно-поисковых работах на нефть и газ (на примере Восточной Туркмении, Западного Узбекистана, Восточного Прикаспия и Оренбургской области), основанная на фотографической и цифровой обработке данных дистанционного зондирования (А.В.Перцов, А.А.Кирсанов, Ю.В.Углев, А.Н.Рогов, В.А.Блинов).

В Минском отделе разрабатываются методы использования материалов аэро- и космических съемок при изучении неотектоники и полезных ископаемых Белорусского Полесья (О.И.Карасев, Л.С.Вольская), в том числе месторождений калийных солей (И.А.Тяшкевич), прогнозирования нефтегазоперспективных структур в Восточной Сибири (О.И.Карасев), на Воронежской антиклизе (Н.А.Капельщиков).

Дальнейшее развитие получили исследования по совершенствованию аэрокосмических методов изучения шельфа, проводимые в ЛАЭМ В.В.Шарковым, З.И.Гурьевой, Е.И.Кильдюшевским и Р.И.Голоудиным. Значительный опыт исследований, проведенных на Охотском, Каспийском, Черном, Белом и Баренцевом морях, по разработке методов использования материалов аэро- (фотографической, радиолокационной и тепловой) и космических (фото, многоспектральных сканерных и др.) съемок был обобщен в атласе аннотированных аэрофотоснимков «Аэрофотометоды геолого-геоморфологических исследований внутреннего шельфа и берегов морей» и в монографии «Аэрокосмические методы геологического изучения шельфа».

Развитие методов дистанционного зондирования при тектоно-магматических и прогнозно-металлогенических исследованиях в этот период потребовало решения задачи перехода от анализа закономерностей размещения отдельных объектов к перспективной оценке территорий, прогнозу и поиску новых видов сырья на базе комплексирования данных дистанционного зондирования с

геолого-геофизическими, геохимическими и другими видами специализированных исследований. Такая задача решалась во ВНИИКАМ группой специалистов под руководством И.К.Рундквист и Г.В.Гальперова. Методика таких исследований с поэтапным дешифрированием материалов аэро- и космических съемок, комплексированием на каждом уровне генерализации с данными геолого-геофизическими и другими видов специализированных работ соответствующего масштаба была разработана на примере Кызылкумского региона Урало-Монгольского подвижного пояса (Г.В.Гальперов, А.В.Перцов и др.), Оймяконо-Колымского региона Тихоокеанского подвижного пояса (Г.В.Гальперов, И.К.Рундквист, В.С.Антипов), Кавказско-Таврского региона Средиземноморского подвижного пояса (В.З.Сахатов). Одна из составных частей этой методики — технологическая схема построения прогнозно-поисковых моделей (ППМ) как составной части прогнозно-поискового комплекса на примере металлогенических таксонов, включающих крупнейшие месторождения на трех уровнях генерализации. Технология разработана на примере следующих регионов: Байкало-Патомского, Центрально-Кызылкумского, Западных штатов США (золото), Южного Приморья и Чукотки (олово), Южного Урала (медь), Центрального Казахстана (вольфрам и медь). Результаты этих разработок были обобщены в работе «Металлогенические и тектоно-магматические исследования на основе применения материалов аэро- и космических съемок» (1988 г.).

Н.В.Скублова развивает методы структурно-геоморфологического анализа в прогнозно-металлогенических исследованиях на основе широкого использования аэрокосмической информации и применения математических методов ее обработки на средствах вычислительной техники. На примере районов Центрального Казахстана разрабатывается соответствующая методика, которая находит широкое применение в практике производственных организаций.

В области изучения состояния природной среды по материалам дистанционного зондирования первые исследования были начаты в 1976 г. в ЛАЭМ по инициативе и под руководством Т.А.Поповой. Группой специалистов было проведено изучение современного состояния экосистемы Ладожское озеро — р. Нева — Невская губа методами дистанционного зондирования с целью корректировки проектных проработок. В результате было подготовлено научно-методическое пособие по применению материалов съемок

из космоса и аэрофотоснимков при изучении состояния природной среды, выявлению уровня и источников ее загрязнения, проведении мониторинга природных систем подверженных интенсивному антропогенному воздействию. Дальнейшее развитие это направление получило в разработке методики использования аэрокосмических съемок при составлении территориальных комплексных схем охраны природы отдельных областей на примере Ленинградской области и ряда других регионов (Т.А.Попова, Н.Н.Семенова, Л.И.Березкина, Е.В.Леонтьева). С развитием технических средств обработки аэрокосмической информации во ВНИИКАМ под руководством Т.А.Поповой и А.В.Теосева разрабатываются методы использования аэрокосмической информации и средств вычислительной техники для мониторинга окружающей среды. При этом создаются методики решения следующих задач: картирование почв разной степени нарушенности, контроль нарушенности ландшафтов в результате проведения горнодобывающих работ, загрязнение водной среды в районах нефтедобычи, изучение внутримассового загрязнения водных бассейнов и др. Для обеспечения этих работ создана человеко-машинная технология и соответствующее программное обеспечение для комплекса ЕС ЭВМ 1045 — Периколор-1000.

В рамках второго направления проводились исследования по совершенствованию технических средств тепловой аэросъемки, созданию эффективных методик получения и интерпретации получаемых материалов при решении геологических и геоэкологических задач. По ТЗ ВНИИКАМ разработан тепловизор «Малахит», начинается разработка многоспектральных систем ИК-диапазона «Яшма» и «Везувий», создаются методические рекомендации по применению тепловой аэросъемки в гидрогеологии и инженерной геологии (Б.В.Шилин, Г.С.Выприцкий), при контроле состояния окружающей среды (Б.В.Шилин, И.А.Молодчинин), выходит монография Б.В.Шилина «Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов», обобщающая состояние вопроса в области физических основ, технических средств и методов применения тепловой аэросъемки при решении географических, геологических и геофизических задач.

Продолжаются работы по развитию радиолокационного метода, в ходе которых создается методика выполнения аэросъемки системами бокового обзора для решения задач изучения природных ресурсов (О.А.Юрковский, В.Л.Щербаков), изучается геомет-

рия радиолокационного изображения (А.В.Доливо-Добровольский), создается методика трансформирования РЛ-снимков на ЭВМ в заданную геометрическую проекцию (А.Н.Рогов), разрабатываются методические приемы анализа получаемой информации при решении широкого круга геолого-географических задач (В.А.Старостин). В работе «Применение радиолокационной аэросъемки при геолого-географических исследованиях» (под редакцией В.М.Глушкова и В.Б.Комарова) обобщен опыт проведенных исследований и сформулированы направления дальнейшего развития метода. Продолжаются работы по внедрению метода радиолокационного зондирования в практику геологосъемочных и прогнозно-поисковых работ как в нашей стране, так и за рубежом. Сотрудниками ВНИИКАМ была выполнена радиолокационная аэросъемка территорий Чехословакии, Польши, Болгарии, ГДР, проведено геологическое дешифрирование полученных материалов на тестовых участках, совместно с геологами указанных стран выполнены полевые заверочные работы, составлены и переданы методические рекомендации по дальнейшему использованию радиолокационных снимков при решении геологических задач (А.А.Кирсанов, В.Л.Щербаков, Е.И.Марков, Г.В.Гальперов).

В рамках работ по созданию и совершенствованию технических средств и методики обработки материалов аэро- и космических съемок (*третье направление*) во ВНИИКАМ развиваются фотографические и оптические методы обработки изображений, а также методы обработки аэрокосмической информации на ЭВМ. Фотографические методы обработки изображений (Ю.В.Углев) основаны на стандартном наборе технических средств фотолабораторий и решают задачи улучшения воспроизведения информативных элементов снимков в отношении как передачи фотометрических и геометрических свойств, так и условий распознавания геологических объектов. При этом созданы специальные методики преобразования снимков, решающие задачи фотографической коррекции изображений (усиление, выравнивание контраста и др.), их фильтрации (выделение областей с заданным распределением оптической плотности или геометрических деталей, выделение локальных элементов изображения — однопавленных линейных, точек их пересечения и т.п.), индикации информативных фрагментов (в виде изолиний, условных знаков), составления графических схем. Разработанные методы в значительной мере реализо-

вывали те операции преобразования изображений, которые в настоящее время успешно применяются при компьютерной обработке снимков. Использование этих методов позволило существенно повысить геологическую дешифрируемость аэро- и космических снимков, что и способствовало достаточно широкому применению их в практической деятельности некоторых геологических организаций.

Оптические методы обработки изображений развивались во ВНИИКАМ на базе когерентных методов по следующим трем направлениям:

1) количественный линеаментный анализ двухградационных изображений;

2) фильтрация снимков с целью проработки линейных элементов;

3) количественный анализ структуры изображений с целью автоматизированной классификации различных объектов.

В рамках этих исследований по ТЗ ВНИИКАМ в ФМИ АН УССР была создана когерентная оптическая установка (КОУ) «Роза», которая была выпущена малой серией и использовалась некоторыми организациями. В дальнейшем была создана аппаратура оптического анализа изображений — «Реал», «Стереореал», «Спектр-Текстура» и методические рекомендации по их использованию (Д.А.Янутш, В.И.Захаров).

В области автоматизированной обработки аэрокосмической информации средствами вычислительной техники был создан по ТЗ ВНИИКАМ комплект аппаратуры для ввода-вывода изображений в ЭВМ и их предварительной обработки — «Формат» (Ф-110, Ф-130, Ф-140), автоматизированное рабочее место дешифровщика (АРМ-Д), аналитическая дешифровочная стереосистема (АДС), создано системное матобеспечение для комплекса средств на базе ЭВМ-1045, с развитием средств ЭВТ — аппаратура «Формат-СМ» (А.А.Чигирев). Созданные технические средства, программное обеспечение и методические рекомендации по их использованию передавались в производственные геологические организации.

В рамках этого же направления создавались программные средства анализа материалов аэро- и космических съемок — программы фильтрации, сегментации и распознавания полутоновых и многоспектральных изображений, построения уравнений регрессии и прогнозирования геологических объектов на их основе, а также ряд программ фотограмметрической и фотометрической обработки снимков (Н.Ф.Афанасьев, А.В.Теосев, Г.Б.Гонин, В.А.Блинов, В.И.Ворошихо и др.). Опыт исследований в области

цифровой обработки аэрокосмической информации был обобщен в работе «Математические методы в геологическом дешифрировании аэрофотоснимков» (Н.Ф.Афанасьев, К.М.Петров, А.В.Теосев).

Особый интерес в этот период вызывала проблема обработки многозональных снимков, предоставляющих специалисту весьма значительный объем информации. Исследования в этой области были проведены С.Г.Слуцкой. Анализ вопросов усиления и ослабления контраста при интерактивной обработке многозональных изображений на ЭВМ (система Периколор) позволил вывести формулу накопления контраста и создать методику улучшения различимости преобразованных многозональных изображений объектов. Высокая эффективность разработанной методики была продемонстрирована при выявлении по снимкам пород разного состава (Н.А.Яковлев, Л.М.Герасимов, Н.А.Радзевич). На принципе накопления контраста О.И.Карасевым и Д.А.Балабаевым была создана оригинальная методика обработки многозональных космических снимков, успешно применявшаяся при прогнозных работах на углеводородное сырье в Восточной Сибири, Австрии и ГДР.

В конце 80-х годов в области развития методов дистанционного зондирования природных ресурсов произошли коренные изменения, связанные с созданием нового поколения технических средств получения материалов аэро- и космических съемок и разработкой компьютерных методов обработки и анализа получаемой информации, в том числе в комплексе с другими разнородными данными (географическими, геологическими, геофизическими, ландшафтными и т.п.), в первую очередь технологий географических информационных систем (ГИС). Системы дистанционного зондирования нового поколения предоставили возможность получения цифровых данных многоспектральных и радиолокационных космических съемок малого (0,5—1 км), среднего (100—300 м) и высокого (5—30 м) пространственного разрешения, а также данных специализированных космифотосъемок с очень высоким пространственным разрешением (1—2 м). Цифровая форма записи аэрокосмической информации обеспечила резкое расширение (в сравнении с фотографической) динамического диапазона регистрируемых энергетических величин и высокое спектральное разрешение, что позволило проводить ее эффективную компьютерную обработку без дополнительной подготовки. Использование указанными системами различных участков электромагнитного спек-

ра (видимый, ближний инфракрасный, тепловой и микроволновой) с регистрацией измерений в большом числе узких диапазонов (5—7 для многоспектральных сканерных систем, свыше 100 для видеоспектрометров и 3—4 длины волны с различными видами поляризации для измерительных радиолокационных систем с синтезированной апертурой) позволило получать качественно новую информацию о земной поверхности и глубинном строении.

В связи с этими изменениями во ВНИИКАМ проводят исследования по разработке программно-методического обеспечения автоматизированного рабочего места геоинформационной системы с дистанционным потоком данных; созданию банков аэрокосмической и картографической информации; разработке методики использования космических многоспектральных и радиолокационных цифровых данных для обеспечения на базе ГИС прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые и топливно-энергетические ресурсы; методики использования многоспектральных цифровых данных, получаемых с космических носителей для изучения и картирования динамики современных морских наносов и загрязнений в водоемах, подверженных интенсивному антропогенному воздействию, и методики применения материалов аэро- и космических съемок нового поколения при геологосъемочных работах на шельфе.

На новой основе продолжают исследования по созданию методик использования материалов космических съемок и геолого-геофизических данных при создании прогнозно-металлогенических карт и построении прогнозно-поисковых моделей крупнейших рудных объектов, составлении мелко- и среднемасштабных геологических и геоэкологических карт.

С использованием новых технических средств (полевые спектрометры диапазона 0,4—14 мкм), разработанных во ВНИИКАМ на технической базе ГОИ им. С.И.Ва-

вилова, ведутся работы по выявлению геохимических аномалий для решения геологосъемочных, поисковых и геоэкологических задач; ведется изучение физических основ и создание методики дистанционного измерения тепловых потоков по данным тепловой космической съемки для поисков залежей углеводородов и термальных вод; на основе новой радиолокационной станции с синтезированной апертурой разрабатывается методика многочастотной радиолокационной аэросъемки в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах в целях решения задач геологического картирования, в том числе изучения строения подповерхностных горизонтов, и поисков полезных ископаемых.

Продолжаются работы по созданию новых технических средств многоспектральной цифровой аэросъемки в видимом, ближнем инфракрасном и тепловом диапазонах и по разработке методики использования многоспектральной информации при решении геологических и экологических задач.

Основными направлениями научно-исследовательских работ во ВНИИКАМ в настоящее время являются следующие:

развитие методов комплексного анализа материалов дистанционного зондирования, геолого-геофизических и ландшафтных данных для изучения регионального геологического строения, геологического картирования в мелких и средних масштабах, прогнозирования и поисков месторождений полезных ископаемых (рудные, алмазы, подземные воды, углеводородное сырье), изучения состояния природной среды и прогноза ее изменения;

изучение физических основ и развитие методов дистанционного зондирования в ближнем инфракрасном и тепловом диапазонах;

изучение физических основ и развитие методов дистанционного зондирования в радиоволновом диапазоне.

Место дистанционных методов в отечественных геологических исследованиях

Б. Н. МОЖАЕВ

Общие принципы дешифрирования и интерпретации материалов аэро-и космических съемок при решении различных геологических задач разрабатывались в СССР до 1941 г. в организованном в Ленинграде Государственном научно-исследовательском институте аэросъемки по инициативе академика А. Е. Ферсмана, а в послевоенные годы в ВАГТе, на геологическом факультете МГУ, в академических и отраслевых НИИ: ГИН АН СССР, ВНИГНИ, ВСЕГЕИ, ВСЕГИНГЕО, ВНИИГАЗ, Институте геологии и геофизики СО АН СССР, во многих научно-исследовательских и производственных организациях различных министерств и ведомств.

Особое место в разработке этой проблемы принадлежит ВНИИКАМ (до 1986 г. — ЛАЭМ). Переняв от Института аэросъемки эстафету комплексного подхода к изучению природных ресурсов, под руководством члена-корреспондента АН СССР Н.Г.Келля ЛАЭМ быстро превратилась в общепризнанный центр разработки физических основ, технических средств и методов вначале аэро-, а затем и космогеологических исследований. Наиболее значительный вклад в разработку теории и практики космоаэрогеологических исследований (КАГИ) внесли сотрудники ЛАЭМ-ВНИИКАМ В.П.Мирошников и В.В.Шарков, а также их многочисленные ученики, сотрудники и последователи. Результаты их работ отражены в обобщающих монографиях и многочисленных статьях.

На основе анализа попытаемся охарактеризовать роль, место и значение космоаэрогеологических исследований в системе геологоразведочных работ. Однако прежде всего следует ответить на ряд вопросов: есть ли у космоаэрогеологических методов (КАГМ) собственные объект и предмет исследования, отличные от других наук; являются ли КАГМ только совокупностью методов и технологий или следует говорить о них как о самостоятельной научной дисциплине.

При решении этих вопросов целесообразно ориентироваться на логико-методологический (системный) подход, согласно которому каждую отдельную науку следует рассматривать, исходя из ее структуры и функционирования. Структуру науки принято

характеризовать элементами, образующими единое целое: объектом и предметом, целями и задачами, средствами и методами, а также функциональными связями ее со смежными науками [10].

Специалисты конкретных научных дисциплин, как правило, не проводят различия между объектом и предметом исследования. Однако это различие принадлежит к числу важнейших теоретико-познавательных принципов. При логико-методологическом подходе объекты естественных наук определяются как реальные материальные тела, процессы или явления, изучаемые данной наукой, из которых она черпает свой собственный, не заимствованный из других наук, эмпирический материал [7].

Космоаэрогеологические методы направлены на изучение геологических объектов, круг которых определяется техническими и природными условиями аэро-и космической съемки.

Объектами КАГИ являются:

геологические тела более высоких, чем минерал уровней организации вещества: горные породы, формации, геологические комплексы, геосферы, планета Земля в целом;

физико-геологические процессы и явления, современные и происходившие в геологическом прошлом, по масштабам проявления соизмеримые с объектами, перечисленными выше.

Нередко геологические тела и процессы распознаются по их природным индикаторам, в качестве которых выступают рельеф, элементы почвенного и растительного покрова, природные территориальные комплексы разных таксономических рангов.

Геологические тела более высоких уровней организации вещества, чем минерал и соизмеримые с ними по масштабам проявления геологические процессы являются объектами и других наук о Земле (тектоники, инженерной геологии, стратиграфии, петрографии и т. д.). Специфика космоаэрогеологических исследований заключается в том, что объект изучается не непосредственно (контактно), а по его изображению или изображению его природных индикаторов, а также по другим характеристикам,

полученным с помощью дистанционных датчиков.

В этом отношении КАГИ схожи с геофизическими исследованиями, при которых строение оболочек Земли, в первую очередь, земной коры, процессы и явления, протекающие в них, изучаются по результатам измерения физических полей и свойств геологических объектов.

С позиций логико-методологического подхода нет полного тождества между объектом и предметом науки, поскольку реальный мир (объект науки) познается через его свойства и отношения, зафиксированные человеком (предмет исследования). Обязательное условие научного процесса — адекватность предмета исследования его объекту.

Из определения сущности предмета науки следует, что предмет в отличие от объекта, во-первых, представляет собой категорию историческую (в зависимости от развития средств и методологии объем и качественный состав знаний претерпевают изменения) и, во-вторых, несет определенные черты субъективизма (объект исследования познается каждым исследователем через его систему: органы чувств — интеллект).

С учетом сказанного под предметом КАГИ следует понимать изображение, а также другие формы фиксации свойств геологических объектов и их природных индикаторов, полученные на основе материалов аэро- и космических съемок, в наиболее общем виде называемых данными дистанционного зондирования (ДДЗ). Действительно, специалист-космоаэрогеолог основной, а нередко и решающий объем знаний о геологическом объекте получает в результате обработки и интерпретации ДДЗ. Это не исключает необходимости наземного контроля правильности дешифрирования и интерпретации.

Предмет КАГИ в отличие от объекта присущ только этому виду исследований. Никакие другие виды геологоразведочных работ не основаны на интерпретации ДДЗ. В этом принципиальное отличие КАГИ от других методов и видов геологических исследований.

С объектом и предметом научной дисциплины тесно связаны решаемые ею задачи. С нашей точки зрения, все довольно многообразные задачи применительно к геологическим телам разного иерархического уровня, решаемые с использованием материалов дистанционных съемок, сводятся в итоге к нескольким основным:

- опознание (классификация);
- проведение границ;
- вещественный состав;

внутренняя структура;

взаимоотношения с другими геологическими телами того же и (или) иного иерархического уровня;

время образования.

Применительно к геологическим процессам и явлениям с помощью данных дистанционного зондирования решают следующие задачи:

- классификация;
- масштаб проявления;
- интенсивность;
- стадия (этап) развития;
- время.

Перечисленные задачи относятся к разряду арифметики дешифрирования, без которой невозможна алгебра интерпретации. В действительности с привлечением ДДЗ решается гораздо больше проблем, но все они основаны на решении прежде всего выше-названных задач.

Специфика исследования природных объектов с помощью ДДЗ с позиций общетеоретических принципов системности рассмотрена Н. Ф. Афанасьевым [2]. Возможность познания таких объектов, по его мнению, обусловлена взаимодействием их друг с другом и средой, а также частей объекта между собой, в результате чего обнаруживаются их ранее неизвестные свойства. В таком случае выявление всех этих взаимодействий с максимально возможной полнотой — один из способов (приемов) КАГИ.

Таким образом, космоаэрогеологические методы имеют общий с другими научными дисциплинами объект и специфический, только им присущий, предмет исследования, а также определенный круг решаемых задач. В совокупности это дает основание рассматривать КАГМ как самостоятельный раздел геологии.

С позиций системного подхода в определении научной дисциплины должны найти отражение ее объект и предмет. В таком случае, КАГМ — раздел геологии, изучающий по данным дистанционного зондирования геологические тела уровней организации вещества более высоких, чем минерал, а также соизмеримые с ними геологические процессы и явления.

Приведенное определение позволяет выделить КАГМ, имеющие собственный объект исследований, из более общего понятия аэрометоды, данного в работе [9], и входит в противоречие с определением ДДЗ как объекта КАГИ [19]. С позиций логико-методологического подхода очевидна также неправомерность терминов космогеологический объект и космофотообъект [8].

Геологи располагают широкими возмож-

ностями получения изображения в разных диапазонах спектра электромагнитных колебаний, с различным разрешением на местности, что создает реальные предпосылки для использования материалов дистанционных съемок на всех стадиях геологоразведочного процесса. К настоящему времени оценены возможности, разработана методика, а в ряде случаев и технология использования материалов аэрофотосъемки, в том числе и высотной, космических съемок (фотографических, телевизионных, оптико-электронных), радиолокационной аэросъемки. Ведутся исследования по определению возможностей и разработке методики применения при решении различных геологических задач материалов тепловой и многоспектральной аэросъемок, радиолокационного подповерхностного зондирования.

Для изучения геологических объектов разных иерархических уровней целесообразно применять аэро-и космические снимки разных уровней генерализации: детального, локального, регионального, континентального, глобального.

Основной объем информации, получаемой с помощью материалов дистанционных съемок, относится к геологическим объектам, выходящим на уровень эрозионного среза или прикрытым маломощным чехлом рыхлых отложений. При благоприятных условиях мощность покрова рыхлых отложений, через который передаются особенности состава и структуры субстрата, может достигать нескольких сотен метров. Например, при глубинном геологическом картировании в Тургайском прогибе по материалам аэрофотосъемки хорошо дешифрируется структура палеозойского складчатого фундамента при мощности осадочного чехла 100—250 м.

Многолетний опыт аэро-и космогеологических исследований свидетельствует о том, что среди геологической информации, получаемой по материалам дистанционных съемок, преобладают сведения о различных элементах структуры геологических тел: от локальных структурных форм до сложностроенных тектонических мегакомплексов. При этом при мелкомасштабных аэросъемках и съемках из космоса получается объективно генерализованное изображение геологических тел, что позволяет геологу увидеть крупные структурные формы в их естественных взаимоотношениях.

С появлением новых видов дистанционных исследований, а также по мере совершенствования технических средств и технологии получения изображения, методики их обработки и интерпретации расширяется

круг геологических задач, решаемых с применением дистанционных методов, повышается полнота и надежность их решения, увеличивается точность геологических документов, составляемых по материалам дистанционных съемок, увеличиваются объемы применения этих материалов при геологоразведочных работах. Другими словами, материалы аэро-и космических съемок широко внедряются в геологоразведочное производство.

Геологические исследования территории представляют собой технологически единый геологоразведочный процесс — совокупность взаимосвязанных, проводимых в определенной последовательности производственных работ. Основные этапы этого процесса: обзорные и мелкомасштабные геологические исследования, региональные работы, поиски, разведка. Принята определенная последовательность геологоразведочных работ в зависимости от целевой направленности (на твердые полезные ископаемые, подземные воды, нефть и газ), определены их назначение и содержание. Наиболее полно разработана технология геологоразведочных работ на твердые полезные ископаемые.

Соотношение возможностей, представляемых геологу дистанционными методами, с кругом задач, решаемых на разных этапах геологоразведочного процесса, свидетельствует о том, что аэро-и космогеологические методы могут эффективно применяться преимущественно при обзорных и мелкомасштабных геологических исследованиях, региональных работах, поисках полезных ископаемых и в меньшей степени — на этапе разведки. Содержание геологоразведочных работ, выполняемых на каждом этапе и стадии, должно служить ориентиром при определении места космоаэрогеологических исследований в геологоразведочном процессе. Цель заключается в том, чтобы заменить космоаэрогеологическими исследованиями те операции геологоразведочного процесса, которые с помощью дистанционных методов могут быть выполнены с более высокой, или в крайнем случае с не меньшей, чем другими методами, точностью и надежностью, при меньших трудовых и материальных затратах [12].

Среди всех видов геологоразведочных работ наиболее универсальными и многоплановыми являются региональные геологосъемочные. Они отличаются свойствами, гарантирующими высокую эффективность внедрения КАГМ: массовостью применения, широтой круга решаемых задач, трудоемко-

Задачи, решаемые при групповой геологической съемке масштаба 1:50 000 в соответствии с «Инструкцией по организации и производству групповой геологической съемки масштаба 1:50 000 (1:25 000)» (обобщенно по группам задач по экспертной оценке автора)

Задачи	Аэровизу- альные наблюде- ния	Виды дистанционных съемок					
		из космоса		с самолета			
		Телевизи- онная и оптико- электрон- ная	Фотогра- фическая	Много- спект- ральная	Фотогра- фическая	ИК-тепло- вая	Радиоло- кационная
Привязка пунктов наблюдения, сква- жин, горных выработок и т. п.	+	++	++	++	+++	+	+
Определение границ геологических тел с точностью на местности не ме- нее 100 м	+	—	++	++	+++	+	+
Исследование стратифицированных образований	+	+-	+	+	+	—	+-
Изучение четвертичных отложений	+	+	++	+	++	+	+
Изучение магматических пород	+	—	+	+	+	+	+
Изучение интрузивных тел и связан- ных с ними дайковых и жильных об- разований	+	—	+	+	++	+	+
Изучение метаморфических пород	+	—	+	+	++	+	+
Изучение вулканогенных и осадочно- вулканогенных образований	+	+	+	+	++	+	+
Изучение рельефа	++	+	++	++	+++	+	++
Изучение общих вопросов тектониче- ского строения	++	+++	+++	++	+++	+	++
Исследование складчатых структур	+	+	++	++	+++	+	+
Изучение разрывных дислокаций	+	+	+	+	+++	+	+
Изучение кор выветривания	+	+	+	+	+	+	+
Изучение геологических формаций	—	+	++	+	+	—	+
Установление закономерностей разме- щения полезных ископаемых	—	+	+	+	+	+	+
П р и м е ч а н и е . «+» — ДДЗ следует учитывать; «++» — задача решается с использованием ДДЗ; «+++» — задача в основном решается с помощью ДДЗ; «—» — задача не решается.							

стью и капиталоемкостью, достаточно высо-
ким уровнем формализации.
Материалы дистанционных съемок при
региональных геолого-съемочных работах
могут быть использованы наиболее полно и
всесторонне [13]. Роль материалов дистан-
ционных съемок при геолого-съемочных ра-
ботах различна: одни задачи полностью мо-

гут решаться по снимкам (привязка точек
наблюдения, горных выработок, скважин,
геофизических профилей и т. д.), другие
решаются с использованием снимков час-
тично (выявление геологических тел, изу-
чение морфологии складчатых и разрывных
нарушений). При решении некоторых задач
материалы дистанционных съемок исполь-

зуются лишь как вспомогательные (изучение физических свойств горных пород, расчленение отложений по возрасту и т. д.); часто они позволяют из множества моделей геологического строения изучаемого района выбрать одну, наиболее удовлетворяющую имеющемуся фактическому материалу. И, наконец, все еще остается значительная группа задач, при решении которых материалы дистанционных съемок неэффективны вследствие присущих им ограничений. Они преимущественно связаны с изучением вещественного состава горных пород, особенно метаморфических и магматических, установлением первичной структуры метаморфических образований, закономерностей образования и размещения полезных ископаемых (таблица).

Возрастание роли КАГИ в геологоразведочном процессе вовсе не означает, что эти исследования могут полностью заменить другие виды геологоразведочных работ: описание обнажений, отбор фауны, геохимические и геофизические исследования и др. Космоаэрогеологические исследования невозможны без самого широкого комплексирования с другими видами геологоразведочных работ, связанных как с непосредственным (контактным) изучением геологических объектов, так и осуществляемых дистанционно (например, большей части геофизических).

С вопросом о возможностях КАГИ в геологоразведочном процессе тесно связан вопрос об их влиянии на повышение экономической эффективности геологоразведочного производства. Он может рассматриваться в двух аспектах. Прежде всего, экономическая эффективность достигается за счет органического включения КАГИ в технологический процесс. Внедрение этих исследований в геологоразведочное производство, несмотря на необходимость дополнительных затрат, в целом ведет к значительной экономии материальных и трудовых ресурсов. Об этом можно судить на примере новых видов региональных геолого-съёмочных работ, в значительной степени основывающихся на использовании материалов дистанционных съемок (АФГК, КФГК, ГИП и др.).

В объединении «Аэрогеология» были разработаны и в последующем широко внедрены в практику геологоразведочных работ в системе Министерства геологии СССР групповая геологическая съемка и аэрофотогеологическое картирование в масштабе 1:200 000, космофотогеологическое картирование в масштабе 1:1 000 000 (1:500 000), наземная проверка результатов дешифриро-

вания материалов аэро-и космических съемок, геолого-минералогическое картирование масштаба 1:200 000, космоструктурное картирование нефтегазоносных территорий в масштабе 1:200 000 (1:100 000). Внедрение этих видов работ позволило обобщить и представить с новых позиций данные о геологическом строении отдельных территорий СССР, оперативно закартировать районы, ранее не охваченные среднемасштабным геологическим картографированием, ответить на многие вопросы о геологическом строении и перспективности на поиски месторождений полезных ископаемых отдельных регионов, сэкономив при этом время и значительные материальные средства.

Необходимо отметить еще одну важную особенность аэро-и космогеологических исследований и новых видов работ, опирающихся на эти исследования: они ускоряют геологоразведочный процесс и позволяют получить сведения о геологическом строении в более сжатые сроки, чем традиционные виды геологоразведочных работ. К ним в полной мере применимо образное выражение об «уплотнении» экономического и повышении «цены» астрономического времени.

С возможностями КАГМ в значительной степени связана тенденция перераспределения объемов геологоразведочных работ между их видами в сторону менее капиталоемких на этапе региональных геологических исследований.

Вследствие очевидной эффективности внедрения материалов аэро-, а в последующем и космических съемок в геологосъемочный процесс в СССР еще до 1941 г. и особенно в послевоенный период были разработаны инструктивно-методические документы, предписывающие обязательное применение ДДЗ при геолого-съёмочных работах всех масштабов: от 1:1 000 000 до 1:50 000.

Преимущества дистанционных методов геологических исследований в полной мере осознаются и широко используются в развитых капиталистических странах. Например, геологической службой США все геологосъемочные и поисковые работы проводятся с обязательным использованием аэро-и космических снимков. Внедрение аэро-и космогеологических исследований в США происходило в 70-е годы на фоне общего резкого увеличения ассигнований, отпускаемых на геологическую съемку и изучение минеральных ресурсов. По предварительной оценке, ежегодная экономия в области геологии за счет использования спутниковой информации оценивается миллионами долларов. По подсчетам американских экспер-

тов, стоимость разведочных работ на твердые полезные ископаемые при этом сокращается примерно на порядок, сейсморазведочных работ в нефтегазоносных районах — на 20—50 % [3].

До последнего времени КАГИ в основном применялись при региональных геологосъемочных работах, что отражено в коренном усовершенствовании этого этапа геологоразведочного производства. В связи с повышением степени геологической изученности территории России на ближайшее будущее внимание должно быть уделено совершенствованию технологии КАГИ при поисковых работах. Следует учесть также и то обстоятельство, что именно поисковые работы являются в настоящее время наиболее капиталоемкими.

Космоаэрогеологические исследования, направленные на совершенствование технологии поисков, развиваются в нескольких направлениях: совершенствуются методы выявления и изучения по материалам дистанционных съемок форм, контролирующих размещение месторождений полезных ископаемых, разрабатываются приемы и методы изучения глубинного строения земной коры по материалам мелкомасштабных аэро- и космических съемок, в связи с развитием многозональных и многоспектральных съемок открываются новые возможности повышения дешифрируемости вещественного состава горных пород. Последнее предполагает широкое использование вычислительной техники и специальной аппаратуры типа синтезирующих анализаторов, повышающей эффективность визуального дешифрирования.

Широко и успешно КАГИ применяются при поисках месторождений нефти и газа. На первой стадии поискового этапа с помощью ДДЗ решаются такие задачи, как установление особенностей строения и границ осадочного бассейна, оценка перспектив его нефтегазоносности, изучение палеотектонических условий и выбор первоочередных площадей для дальнейших поисков. На следующей стадии поискового этапа данные дистанционного зондирования способствуют детальному изучению геологического строения, поискам локальных ловушек в различных структурных этажах, выбору первоочередных объектов и детализации их строения для подготовки к поисковому бурению. Детальное изучение геологического строения конкретных площадей, включающее выделение блоков, разломов и т. п., является содержанием заключительной стадии поискового этапа и не может быть достоверным без привлечения ДДЗ [4, 14].

На разведочном этапе освоения нефтяных и газовых месторождений ДДЗ применяются ограничено, хотя в работах ВНИИнефтегаза мы находим убедительные примеры решения с их помощью конкретных задач [5].

Большинство научно-исследовательских и производственных работ, связанных с внедрением КАГМ в нефтегазопроисловую проблематику, ориентированы на поиски ловушек нефти и газа, в первую очередь, локальных структур осадочного чехла, а также древних рифовых построек. Однако во ВНИИКАМ О. И. Карасевым разработана методика прямого выделения залежей нефти и газа по космическим снимкам, защищенная авторским свидетельством [21].

Космоаэрогеологические методы хорошо зарекомендовали себя при решении задач региональной металлогении и рудной геологии. Было установлено, что дешифрирование ДДЗ дает большое количество новой информации о геологическом строении, в первую очередь, о тектонической обстановке — о ранее неизвестных зонах разломов, кольцевых структур, кольцевых и дугообразных разрывных нарушениях [9]. Анализ космических снимков при тектоно-магматических и металлогенических исследованиях с привлечением геолого-геофизических и геохимических данных позволяет среди всего многообразия разрывных нарушений земной коры выделять рудоконтролирующие и рудоконцентрирующие [1]. Возможности материалов космических съемок создают предпосылки для составления специализированных космофотометаллогенических карт [20]. В последние годы при поисках рудных месторождений наиболее интересные результаты получены при многоспектральной съемке в узких интервалах спектра [9].

Материалы дистанционных съемок широко используют на различных этапах гидрогеологических и инженерно-геологических исследований. Так, задачи, решаемые в процессе гидрогеологических работ, касаются следующих вопросов: процессов формирования грунтовых вод и закономерности их распределения; водного баланса и ресурсов подземных вод; их искусственного восполнения и охраны от непроизводительных расходов и загрязнения; гидрогеологического картирования и районирования.

Объекты гидрогеологического дешифрирования принято делить на две категории: 1) непосредственно водопроявления, в том числе и искусственные водозаборные сооружения; 2) отдельные элементы и компоненты ландшафта, целые единицы ландшафта

(природно-территориальные комплексы), в пределах которых изучается гидрогеологическая обстановка. Методология распознавания объектов разных категорий различна [15].

При изучении грунтовых вод и связанных с ними процессов с использованием аэро-и космоснимков решаются следующие конкретные задачи: определение параметров первого от поверхности водоносного горизонта (глубины его залегания, степени минерализации вод); изучение процессов, связанных с грунтовыми водами, а также элементов их режима, в частности, определение областей питания грунтовых вод за счет фильтрации поверхностных и областей разгрузки грунтовых в долины и русла рек; изучение гидрогеологии болот.

При изучении процессов формирования подземных вод и глобальных (региональных) закономерностей их распределения в ходе космоаэрогеологических исследований выделяют различные гидродинамические области подземных вод; определяют основные направления движения подземных вод от областей питания; изучают региональные особенности размещения подземных вод (приуроченность к артезианским структурам, тектоническим нарушениям, карстующимся породам и др.); выявляют зональные физико-географические факторы распределения грунтовых вод [18].

При изучении элементов водного баланса, ресурсов подземных вод, их искусственного восполнения и охраны от истощения и загрязнения с использованием космоаэрогеологических методов можно решать следующие задачи: получение данных, необходимых для определения водного баланса; определение величины питания и движения грунтовых вод на геоморфологически единой территории на основе составления карт распределения литологических разностей поверхностных отложений; ориентировочное определение динамических запасов пресных подземных вод на основе установления фитоценологического и экологического характера растительных сообществ, слагающих область разгрузки; определение площадей, пригодных для magazинирования вод; изучение регулирования и распределения поверхностного стока в целях разрешения вопросов искусственного восполнения запасов подземных вод; контроль за загрязнением поверхностных вод.

При гидрогеологическом картировании и районировании с помощью материалов дистанционных съемок кроме перечисленных задач выделяют площади распространения различных типов вод: трещинных, жильно-

трещинных, поровых, карстовых и площади с идентичными гидрогеологическими условиями в областях развития рыхлых осадочных толщ и др. При инженерно-геологических исследованиях материалы дистанционных съемок применяют при определении инженерно-геологических условий, выявлении их глобальных и региональных закономерностей, при инженерно-геологическом картировании и районировании, изучении физико-геологических процессов, выявлении влияния инженерной деятельности человека на изменение природной обстановки [18].

Особенно широко КАГМ применяются при изучении физико-геологических процессов, в частности, эрозионных, абразионных, оползневых, селевых, золовых, криогенных, карстовых, ледниковых и т. д. [17]. При этом с помощью материалов съемок можно изучать развитие процессов на площади и во времени, оценивать количественно их интенсивность, изучать региональные черты экзогенных процессов, обусловленные геолого-тектоническими условиями; зональные особенности процессов, обусловленные климатическими и метеорологическими условиями; динамику процессов, вызванных особыми природными или антропогенными факторами.

При выявлении влияния деятельности человека на изменение природы в результате космоаэрогеологических исследований можно составить представление о состоянии ландшафтов Земли в целом в связи с хозяйственной деятельностью человека; об активизации старых и проявлениях новых зональных антропогенных процессов, особенностях антропогенных процессов в разных регионах страны. Берега морей, океанов, водохранилищ являются областью активного преобразования природы человеком, и КАГМ дают для их изучения богатый материал.

Особенно большое место принадлежит КАГМ в инженерно-геологическом картировании. Накопленный опыт показывает, что материалы дистанционных съемок разных масштабов с наибольшей эффективностью могут быть использованы на разных стадиях инженерно-геологических исследований. Аэрофотоснимки масштабов 1:25 000—1:60 000 используют для выявления общих ландшафтных закономерностей и предварительного районирования территории, масштабов 1:10 000—1:25 000 — детального инженерно-геологического дешифрирования и картирования различных компонентов ландшафта, масштабов 1:2000—1:10000 — изучения и картирования на ключевых уча-

стках эндогенных процессов и водопроявлений [6].

С появлением космических снимков и началом опытных работ по их применению при гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях стало возможным создание нового вида региональных исследований — космофотогидрогеологического картирования [18]. Оно заключается в составлении гидрогеологических и инженерно-геологических карт на основе анализа материалов космфотосъемки с минимальным объемом наземных проверочных работ. Принципиальное отличие таких карт от традиционных заключается в том, что в основе их содержания лежит информация, которая не может быть получена с помощью других методов или может быть получена, но с неизмеримо большими временными и материальными затратами [18, с. 11].

При решении гидрогеологических и инженерно-геологических задач в основном используются материалы аэро- и космфотосъемок. В последние годы стало возможным применять для этого материалы тепловой аэросъемки, а при решении некоторых вопросов (преимущественно связанных с изучением тектоники, в частности, разрывных нарушений) и РЛ-съемки.

В последние годы на волне всеобщего внимания к среде обитания человека отмечается интенсивное внедрение КАГМ в экологические исследования. Изучение влияния геологической компоненты ландшафта, геофизических и геохимических полей, гидрогеологических условий, процессов, происходящих в земной коре и вызванных горнодобывающей и хозяйственной деятельностью человека, оформилось в самостоятельный раздел — экогеология (обычно называемую геоэкологией, что, по-видимому, меньше отвечает смыслу). Данные дистанционного зондирования применяют в следующих направлениях экогеологических исследований: экогеологическое картографирование, аэрокосмический мониторинг геологической среды, оперативное обследование районов техногенных и природных катастроф.

Задача экогеологического картографирования — фиксация состояния природной среды (и, в первую очередь, ее геологической компоненты и геологических процессов) на момент составления карты. К настоящему времени уже накоплен богатый опыт составления экогеологических карт: от обзорных и мелкомасштабных на территорию всей страны до крупномасштабных и детальных на отдельные районы крупных городских агломераций. Так, например, в

ГНПП «Аэрогеология» составлены следующие экогеологические карты: на территорию всего бывшего СССР в масштабе 1:4 000 000, на отдельные районы России (Ямал, Московская область, Камчатка) в масштабе 1:1 000 000—1:200 000, для некоторых районов Москвы в масштабе 1:10 000—1:5000.

Многие из задач экогеологического картографирования согласуются с задачами других региональных геолого-съемочных работ (выявление и оконтуривание геологических тел, выявление и классификация разрывных нарушений и т. д.). К числу специфических, присущих только этому виду работ и доступных КАГМ, можно отнести следующие: изучение и количественная оценка масштаба и интенсивности как природных геологических процессов (оползни, обвалы, заболачивание, карст, суффозия, сели и т. п.), так и вызванных техногенной деятельностью (переработка берегов водохранилищ, мутьды проседания над шахтными выработками, техногенный карст, перевевание и размыв отходов и т. п.), изучение вновь образованных техногенных территорий (водохранилища, бедленды, шламохранилища, рудные отвалы и др.), изучение геологических процессов на рекультивируемых территориях с оценкой их тенденции, масштабов и интенсивности; изучение условий, видов, масштабов источников загрязнений грунтовых вод, результативность водохозяйственных мероприятий (эффективность осушительного дренажа в строительстве, при мелиоративных работах, сохранность стенок водоканалов, выявление мест фильтрации в них) и т. д.

Под аэрокосмическим мониторингом геологической среды (АКМГС) понимается система регламентированных периодических дистанционных наблюдений за состоянием геологической среды и ее пространственно-временными изменениями под влиянием природных и техногенных факторов [16]. В конечном счете целью АКМГС является подготовка локальных и региональных прогнозов изменения геологической среды для своевременного принятия управленческих решений.

Рациональная организация АКМГС кроме определения его цели и задач предполагает составление экогеологической карты в качестве базовой основы, фиксирующей состояние природной (в том числе геологической) среды на момент начала регулярных наблюдений. В силу этого, задачи, решаемые с помощью материалов аэрокосмической съемки, при организации и проведении АКМГС схожи. Однако при АКМГС больше

внимания уделяется динамике геологических процессов, в частности, их тенденции, интенсивности и временным изменениям, а также закономерностям изменения техногенных форм рельефа.

Цель оперативного обследования районов природных и техногенных катастроф с использованием ДДЗ заключается прежде всего в объективной фиксации нарушений природной и техногенной сред, определении размеров бедствия для разработки мер по ликвидации последствий или уменьшению их воздействия. Опыт проведения подобных работ пока еще не велик, но и он позволяет утверждать, что ДДЗ представляет в ряде случаев уникальную, ничем не заменимую информацию. Так, например, после Спитакского землетрясения 7 декабря 1988 г. проведенные Аэрогеологией оперативные аэросъемочные работы в течение 2 недель после события, в частности, плановая и перспективная аэрофотосъемка, позволили получить объективную картину расположения новообразованных трещин земной коры, реального разрушения зданий и сооружений.

Последующими работами по ликвидации завалов первозданная картина разрушений была коренным образом изменена. Между тем реальная фиксация разрушения зданий, построек и сооружений позволяет не только объективно оценить силу подземных толчков (вспомним, что на этом основана любая шкала определения силы землетрясений), но и восстановить сложную картину распространения упругих волн в земной коре. Другими методами эта информация не могла быть получена.

Значение КАГМ в геологических исследованиях прежде всего в том, что они позволяют геологу представить и изучить геологическую модель местности, наиболее адекватно отражающую действительность. В процессе космоаэрогеологических исследований получены фундаментальные научные данные о закономерностях геологического строения и развития Земли. Так, например, установлены большая роль структур центрального типа (кольцевых) разного генезиса в строении коры самых различных тектонических областей, а также повсеместное развитие и во многих случаях определяющее значение гетерогенных линейных элементов разного ранга от планетарных трещин до транс-континентальных разломов.

В ходе космоаэрогеологических исследований были обнаружены некоторые закономерности регионального порядка. Так, в пределах кристаллических щитов закартированы структуры центрального типа диа-

метром многие десятки и сотни километров, являющиеся, по-видимому, реликтами древнейшей протокоровой, а может быть даже лунной стадии развития земной коры (нуклеары). Установлено, что в платформенных областях блоковое строение фундамента проявляется в осадочном чехле зонами повышенной трещиноватости и скоплением локальных структур. В структуре складчатых поясов выявлена большая роль поперечных разрывов и зон, ориентированных диагонально и ортогонально к общему простиранию складок. В палеовулканических областях установлен сложный полициркулярный рисунок, образуемый сочетанием вулканотектонических и вулканоплутонических структур.

Автор не ставил своей задачей сделать сколько-нибудь полный обзор работ, иллюстрирующих успешное применение ДДЗ при различных геологических исследованиях. Нашей целью было показать, что в технологии разнообразных геологоразведочных работ КАГМ твердо нашли свое место и являются неотъемлемой составной частью геологоразведочного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ космических снимков при тектоно-магматических и металлогенических исследованиях / Под ред. И.Н.Томсон. — М.: Наука, 1979.
2. Афанасьев Н. Ф. О теории геоиндикационного дешифрирования аэрокосмических снимков // Теория, методика и практика геоиндикационных исследований. — М., 1991. С. 16—21.
3. Бурдэ А. И. Геолого-съемочные и поисковые работы Геологической службы США в 1975—1976 гг. // Экспресс-информация. Общ. и регион. геология; геол. картирование. — М., 1977. № 9. С. 26—33.
4. Аксенов А. А., Можаяев В. Г., Воробьев В. Т. и др. Дистанционные исследования при нефтегазописковых работах. — М.: Наука, 1988.
5. Дистанционные методы изучения тектонической трещиноватости пород нефтегазоносных территорий / Г.И.Амурский, Г.А.Абрамсон, М.С.Бондарева, М.Н.Соловьев. — М.: Недра, 1988.
6. Дистанционные методы в гидрогеологии и инженерной геологии / Е.А.Востокова, А.В.Садов, Э.К.Радченко, И.И.Абросимов. Обзор ВИЭМС. Гидрогеол. и инж. геология. — М., 1975.
7. Иерархия геологических тел (Терминологический справочник) / Под ред. Ю. А. Косыгина. — Хабаровск, 1978.
8. Космогеология СССР / Под ред. В. Н. Брюханова, Н. В. Межеловского — М.: Недра, 1987.
9. Космическая информация в геологии / Под ред. В.Г.Трифонов, В.И.Макарова, Ю.Г.Сафонова, П.В.Флоренского. — М.: Недра, 1983.
10. Ляпунов А. А. О логико-методологическом исследовании науки // Проблемы исследования системы науки. — Новосибирск, 1967. С. 4—7.
11. Можаяев В. Н. Объект и предмет аэро-и космогеологических исследований (с позиций логико-методологического подхода) // Дистанционные методы в геологических исследованиях. — Л., 1980. С. 5.
12. Можаяев В. Н. Аэрогеологические исследования в

- геологоразведочном процессе // Сов. геология. 1980. № 4. С. 29—40.
13. *Можаяев Б. Н.* Место аэрокосмических методов в структуре региональных геологических исследований в СССР / Общ. и регион. геология, геол. картирование: Обзор ВИЭМС. — М., 1980. С. 1—32.
 14. *Можаяев Б. Н., Карасев О. И.* Роль и возможности космических снимков при изучении нефтегазоносных областей // Комплексная интерпретация космоснимков нефтегазоносных территорий. — Л., 1981. С. 6—13.
 15. *Нефедов К. И., Попова Т. А.* Дешифрирование грунтовых вод по аэрофотоснимкам. — Л.: Гидрометеоиздат, 1969.
 16. *Основные положения по организации и проведению работ на полигонах аэрокосмического мониторинга геологической среды (АКМГС)* (Методическое письмо) / И.В.Кузьмина, А.В.Садов, М.И.Бурлескин, И.И.Пескун. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1986.
 17. *Садов А. В.* Изучение экзогенных процессов аэроландшафтным методом. — М.: Недра, 1978.
 18. *Садов А. В., Ревзон А. Л.* Аэрокосмические методы в гидрогеологии и инженерной геологии. — М.: Недра, 1979.
 19. *Физические основы и технические средства аэрометодов* / Под ред. А.И.Виноградовой, В.Г.Здановича, С.А.Суппе. — Л.: Наука, 1967.
 20. *Щеглов А. Д.* Рудная геология и космические исследования // Сов. геология. 1977. № 11. С. 95—103.
 21. *Karasev O. I., Balabaev D. G.* A new method of prospecting for hydrocarbon pools through optical-computer processing of space images // Remote sensing for geotectonic mapping and mineral exploration, published by the ESCAP/UNDP Regional Remote Sensing Programm (RAS/86/141) ST/ESCAP/967. Bangkok. Thailand. P. 31—35.

Тепловая аэрокосмическая съемка — достижения и перспективы

Б. В. ШИЛИН, В. И. ГОРНЫЙ

В конце 60-х годов начались разработки в области теории, технических средств и методики тепловой аэро- (ТАС) и затем и космической съемки (ТКС). Этот дистанционный метод резко расширил возможности прикладной геотермии как геофизического метода благодаря тому, что ТАС и ТКС в отличие от существующих точечных геотермических методов фиксируют геотемпературное поле (ГТП) на больших площадях в реальном масштабе времени с высоким пространственным и температурным разрешением. При этом регистрируются кондуктивная и конвективная составляющие теплового потока и непосредственно решается одна из обратных задач геофизики — выявление формы и размеров возмущающих объектов. В то же время возникла проблема учета быстрой изменчивости геотемпературного поля при интерпретации материалов тепловой аэрокосмической съемки (ТАКС).

Все это предопределило три основных направления исследований: разработка эффективных самолетных ИК-сканеров; теоретические оценки и наземная валидация тепловых эффектов на земной поверхности; разработка технологий решения прикладных задач с применением ТАКС и широкое практическое их использование.

С 1979 по 1988 гг. по техническому заданию ВНИИКАМ Азовский завод серийно выпускал двухканальный ИК-сканер «Вулкан» (таблица). За этот период было изготовлено несколько десятков приборов. Достоинством ИК-сканера является широкий диапазон его быстродействия, что позволяет устанавливать прибор на любые носители с высотой полета 50-8000 м. В результате тепловые аэроснимки могут быть получены в масштабах от 1:1500 до 1:200 000. С 1991 г. по техническому заданию ВНИИКАМ Азовским заводом серийно выпускается ИК-сканер «Малахит». Завершается разработка многоспектрального ИК-сканера «Яшма» и многоспектрального сканера видимого, ближнего ИК и теплового диапазонов «Везувий ЭК». Характеристики отечественных сканеров соответствуют зарубежным аналогам [3]. Они пригодны для размещения на самолетах и вертолетах всех типов.

Геотемпературное поле определяется характером, мощностью и распределением ис-

точников тепла, тепловыми свойствами пород и законами их изменения. Источники тепла обычно разделяют на внешний (солнечная радиация), который является переменным, и внутренние (радиоактивный распад, диссипация тектонической энергии, экзотермические реакции в земной коре и т.д.), которые квазистационарны.

Таким образом, ГТП отражает как свойства и строение земной коры, так и ландшафтные условия на поверхности и включает «полезную» при решении конкретной прикладной задачи информацию и шумы. Это определяет необходимость проведения предварительных теоретических и экспериментальных оценок как возникающих в земной коре аномалий, так и возможности их регистрации с помощью ТАКС, а также распознавания на фоне помех [3].

Аномалии постоянного геотемпературного поля. *Подземные пожары горючих полезных ископаемых.* Как показали расчеты, проведенные для подземного пожара угольного пласта в виде горизонтального бесконечного цилиндра при постоянной температуре воздуха и теплообмене на поверхности по закону Ньютона, температурные контрасты, возникающие на поверхности за счет кондуктивной теплопроводности от долгоживущего пожара, на глубинах более 25-30 м становятся менее 0,5° С, что сравнимо с естественными флуктуациями ГТП. При наличии конвективного выноса тепла по трещинам ТАКС можно обнаружить подземные пожары углей на глубинах до 100 м и более.

Теоретические исследования подтверждены результатами ТАС и наземными геотермическими работами, выполненными ВНИИКАМ и Компанией Coal India на крупнейших подземных пожарах угольного месторождения Джария. Наземные работы включали ИК-радиометрическую съемку, термометрическую съемку по специальной методике, бурение скважин и их термический каротаж. Предварительная теоретическая проработка позволила предложить методы интерпретации результатов температурных наблюдений с целью определения глубины залегания и относительного возраста пожара, направления и скорости движения фронта пожара, количества угля, сгорающего за год. Применение этой технологии

Основные характеристики отечественных ИК-сканеров

Наименование, год изготовления, разработчик	Спектральные каналы, мкм	Температурная чувствительность Т (°С) на фоне 20°С	Мгновенный угол зрения, углов. мин	Угол обзора, град	Максимальное отношение скорости к высоте полета (1/С)	Тип регистрации	Система охлаждения	Масса, кг
Вулкан, 1978, АОМЗ	3—5 8—13	0,5—1 0,2—0,3	7	90	0,3	Фото- пленка	Жид- кий азот	150
Малахит, 1991, АОМЗ	8—13	0,2	5	120	0,2	То же	Газовая замкну- тая	50
Яшма ОМБ, 1991, АОМЗ	6 узких каналов в диапазоне 8—13	0,1 для канала 8—13	9—10	80	0,2	Цифро- вая	То же	50
Везувий ЭК, 1994, НИИКИ ОЭП, г. Сосновый Бор	1. 0,4-1; 0,9-1,7; 3-5; 8-12 2. 0,4-1; 0,9-1,7; 1,5-2,5; 8-12 3. 1,5-2,5; 3-5; 8-12; Каждый интегральный канал может быть разбит на 8 узких полос	0,1 для канала	3,5 или 0,7	80	0,2	То же	»»	80

дало возможность существенно снизить опасность разведки пожаров и получить планы подземных пожаров угля в масштабе 1:2000, которые явились основой стратегии и тактики противопожарных мероприятий.

Подземные системы теплоснабжения.

Расчеты показали, что для магистральных теплопроводов с диаметром труб 0,8 м, глубиной залегания 2 м, при температуре горячей воды в трубе +80 °С максимальное значение температурного контраста может достигать +4 °С, а ширина нагретой зоны — 10 м. При несоблюдении проектных условий строительства, нарушении теплоизоляции, утечке теплоносителя аномалии увеличиваются и легко могут быть зафиксированы и опознаны современными самолетными ИК-сканерами при малых высотах полета [2].

Залежи радиоактивных руд. Расчет для рудного тела в форме куба со стороной 150 м с запасами урана 100 000 т при концентрации урана 0.01, уран-ториевом отношении 1:3 показал, что температурный контраст на поверхности за счет радиоактивного распада составит около +0,05 °С. Подобные температурные контрасты не будут выявлены ТАС на фоне интенсивных помех другого генезиса. Вместе с тем, при наличии крупных блоков земной коры с содержанием радиоактивных элементов в 10 раз выше, чем во вмещающих породах, контраст может достигнуть +0,5 °С. При благоприят-

ных условиях такая аномалия может быть зарегистрирована спутниковыми системами.

Залежи углеводородов. Многочисленными исследователями над залежами углеводородов установлены температурные аномалии, достигающие первых градусов. Природа аномалий до конца не выяснена. Наиболее вероятны процессы окисления мигрирующих из глубин углеводородов, изменение теплофизических характеристик горных пород в верхней части геологического разреза, диссипация энергии тектонических напряжений интенсивно растущих структур, вертикальная миграция флюидов. ВНИИКАМ совместно с корпорацией BP Exploration провел исследования температурных аномалий, связанных с газовыми структурами Средней Азии, которые включали многозональные тепловые космические съемки спутником NOAA, а также комплекс наземных измерений (автомобильная ИК-радиометрическая и спектрометрическая съемки, измерение теплопроводности горных пород в коренном залегании, изучение растительного покрова и рельефа поверхности). В результате для дальнейшей проверки были приняты две гипотезы — микроклиматическое воздействие рельефа и вертикальная миграция флюидов.

Аналогичные съемки, выполненные ВНИИКАМ в районе крупных газовых месторождений Северо-Западной Сибири, показали, что практически все крупные газо-

вые залежи индицируются положительными температурными аномалиями. Более того, ряд таких аномалий прослеживается и в мелководной части шельфа. Учитывая выровненный рельеф региона и наличие аномалий ГТП на воде, гипотеза о вертикальной миграции флюидов от залежи к поверхности представляется наиболее вероятной. В этом случае ТАКС становится эффективным средством быстрой оценки перспектив крупных регионов на залежи углеводородов.

Термальные воды. Эффективность применения ТАКС как при поисках термальных вод, связанных с современным вулканизмом, так и при изучении действующих вулканов доказана многими исследованиями и определяется значительными различиями в температуре объектов и окружающего ландшафта [1]. Во ВНИИКАМ на примере о. Сахалин разработана технология поисков термальных вод, не связанных с проявлениями вулканизма, но ассоциирующих с участками высоких скоростей подъема нагретых вод с больших глубин по ослабленным зонам растяжений в земной коре, где, согласно последним представлениям теоретической геотермии, формируется система конвективных циркуляционных ячеек. Технология позволяет существенно уменьшить расходы на бурение на термальные воды.

Тепловой поток из земных недр. Классические методики измерения теплового потока в глубоких скважинах основаны на теории кондуктивной теплопередачи. В тектонически активных областях (например, Западной Туркмении, Средиземноморская и Западно-Аравийская рифтовые системы) наблюдается интенсивный конвективный вынос тепла из земных недр, а результаты измерения потока в скважинах здесь мозаичны, т. е. отмечается чередование пониженных и высоких значений. Анализ же материалов ТКС показывает, что тектонически активные области, в том числе рифтовые системы, индицируются площадными аномалиями ГТП. Поэтому ТКС является единственным методом, на основе которого можно построить карту полного теплового потока земной коры, реально (хотя и с более высокой погрешностью) отражающую распределение данного параметра.

Аномалии переменного геотемпературного поля. Точный расчет переменного ГТП можно произвести на основе решения системы дифференциальных уравнений теплопроводности с граничным условием на поверхности в виде уравнения теплового баланса. Основные же закономерности формирования переменного ГТП устанавливаются с помощью простых выражений. Так, тем-

пературный контраст Δt , возникающий на поверхности однородного объекта с аномальными по сравнению с вмещающими породами тепловыми характеристиками под действием простого гармонического колебания внешних источников тепла, можно представить в виде

$$\Delta t = \{q_0 / (P_a \omega^{1/2})\} \sin(\omega t - \pi/4), \quad (1)$$

где q_0 — амплитуда колебаний теплового потока; ω — круговая частота; t — время; P_a — кажущаяся тепловая инерция объекта; $P_a = (P_0 - P_b) / (P_0 P_b)$, P_0 , P_b — тепловая инерция объекта и вмещающих пород, фона; λ — коэффициент теплопроводности; C — удельная теплоемкость; ρ — плотность.

Температуру над погребенным на глубине объектом с термическими характеристиками λ_0 , C_0 , ρ_0 можно записать в форме простейшего выражения

$$t = t_b + \Delta t, \quad (2)$$

где t_b — температура фона; Δt — температурный контраст над погребенным объектом вследствие периодического нагрева.

$$\Delta t = \{q_0 / (P_0 \omega^{1/2})\} \times \times SR^k e^{-2k\gamma_b} \sin(\Phi_0 - 2k\gamma_b), \quad (3)$$

где $\gamma_b = (\omega / 2a_b)^{1/2}$ — коэффициент затухания температурной волны в перекрывающем объект слое; a_b — температуропроводимость перекрывающего слоя.

Из уравнений (2) и (3) следует, что над залегающими в зоне переменных температур объектами с контрастными тепловыми свойствами возможно появление переменных температурных контрастов, амплитуда, знак и фаза которых зависят от глубины залегания, тепловых свойств вмещающих пород.

Выражение (3) позволяет оценить глубинность ТАС при регистрации переменных аномалий ГТП, т. е. способность обнаружения объектов на максимально возможной глубине. Для годовых тепловых ритмов глубинность ТАС оценивается в 0,5—1 м, а для суточных — 0,5—2 см.

Таким образом, выражения типа (1)—(3) позволяют проанализировать взаимосвязь физических величин и спланировать численный эксперимент с более сложными математическими моделями.

Сульфидные залежи. Большинство исследователей аномалии ГТП над сульфидными залежами связывают с экзотермическими реакциями окисления сульфидов. Теоретические оценки, сделанные нами с учетом предположения, что скорость окисления сульфидов в рудном теле определяется ско-

ростью эрозии поверхности, показали, что такие аномалии не превысят тысячных долей градуса, т. е. ниже чувствительности самолетных тепловизоров. Поэтому для выявления природы аномалий ГТП над сульфидными залежами с помощью двумерной математической модели ГТП было выполнено моделирование тепловых процессов в верхней части геологического разреза над залежью. Установлено, что над рудным телом под действием годовых тепловых ритмов будут формироваться переменные аномалии температуры, которые могут достигать первых градусов. Должна наблюдаться инверсия знака аномалий как на глубине, так и во времени. Эти выводы проверены экспериментально на месторождениях медно-порфировой и колчеданной формаций путем разнотемпературных и разноглубинных измерений в скважинах. Натурные наблюдения подтвердили теоретические выводы и доказали переменный характер аномалий температуры над сульфидными залежами [3]. Стало ясно, что аномалии определяются соотношением термических характеристик окорудных изменений и вмещающих пород. Далее были детально изучены тепловые характеристики горных пород и руд. На основании полученных данных с помощью математического моделирования суточного хода ГТП показано, что ТАС может надежно выявлять окорудные изменения горных пород. Проведенная в большом объеме съемка рудных районов Центрального Казахстана подтвердила эти выводы.

Соли различного состава. Аномалии ГТП, обусловленные различиями в тепловых характеристиках солей разного состава, например галлита и тенардита [1], слагающих поверхность сухих соляных озер, позволяют эффективно использовать ТАКС для наблюдения за гидрологическим и гидрохимическим режимом таких крупных солеродных бассейнов, как залив Кара-Богаз-Гол, Аральское море и др.

Новые направления применения ТАКС. Появление тепловых каналов на многоспектральных спутниковых системах открыло новые возможности перед прикладной геотермией. В результате детального анализа более чем 9000 тепловых космических изображений Средней Азии, полученных со спутников серии NOAA, выявлена связь эпизодически возникающих положительных температурных аномалий регионального масштаба с сейсмической активностью региона [2,3]. Изучение природы формирования этих аномалий предварительно свидетельствует об их связи с локальным парниковым эффектом, возникающим вследствие

возрастания потока оптически активных газов (CO_2 , CH_4) из литосферы в приземный слой атмосферы перед землетрясениями. Установлено, что существуют участки земной коры, расположенные на расстоянии до 500 км от эпицентра предстоящего землетрясения, наиболее интенсивно изменяющие свои характеристики в процессе подготовки землетрясения. Это обстоятельство позволяет повысить надежность прогноза землетрясений путем размещения наземных прогностических станций на указанных участках.

В настоящее время ТАКС применяется при изучении процессов активного вулканизма на разных стадиях [1], исследовании районов активной гидротермальной деятельности [1].

Для аридных и полупустынных регионов широко используется методика поисков подземных вод, основанная на высокой чувствительности ТАС к изменениям влажности земной поверхности и охлаждающему влиянию испарения. Интерпретация материалов ТАС, полученных в оптимальное время суток, позволяет существенно сократить объемы и площади наземных поисковых работ, правильно выбрать место для бурения скважин.

Близко к предыдущей стоят задачи контроля за состоянием оросительных систем и обнаружения утечек из оросительных каналов. Утечки четко фиксируются благодаря охлаждающему влиянию испарения.

Тепловая аэросъемка успешно используется при составлении карт источников загрязнения акваторий с повышенной антропогенной нагрузкой (например, для восточной части Финского залива и дельты р. Невы, рек Даугавы в пределах г. Риги, Камы), при оценке и картировании масштабов теплового загрязнения гидроохладителей атомных станций, контроле сброса в водоемы нефтепродуктов и т. д. [2].

Для стран Восточной Европы и Сибири исключительно актуальна проблема контроля за состоянием подземных систем теплоснабжения городов [2]. Тепловая аэросъемка эффективно использовалась в Москве, Санкт-Петербурге, Челябинске, Перми, Киеве, Кишиневе и других городах. Разрабатывается методика контроля утечек из магистральных газо- и нефтепроводов. При этом необходима существенная модернизация ИК-сканеров применительно к условиям оперативного контроля.

Дальнейшее развитие дистанционных методов теплового диапазона в России идет по следующим направлениям.

1. Улучшение технических характеристик

авиационной и спутниковой аппаратуры путем повышения геометрического разрешения, увеличения числа каналов, перехода на цифровую регистрацию данных и компьютерную обработку (см. таблицу).

2. Изучение природы устанавливаемых ТАС и ТКС объектов и явлений, таких как температурные аномалии — индикаторы сейсмической активности, с целью их практического использования.

3. Разработка методик измерения количественных характеристик земной поверхности — кажущейся тепловой инерции ландшафта, теплового потока и теплопотерь, испаряемости влаги с поверхности, вещественного состава геологических комплексов.

4. Внедрение методик в производство, в первую очередь в области, связанные с экономией энергии, — контроль подземных

городских систем теплоснабжения и энергетических установок, рациональное использование заборной воды атомными и тепловыми электростанциями, контроль утечек в магистральных газо- и нефтепроводах, охрана окружающей среды, поиски новых месторождений энергетических полезных ископаемых — углеводородов и термальных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шилин Б. В. Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов. — Л.: Гидрометеиздат, 1980.
2. Шилин Б. В., Молодчинин И. А. Контроль состояния окружающей среды тепловой аэросъемкой. — М.: Недра, 1992.
3. Горный В. И., Шилин Б. В., Ясинский Г. И. Тепловая аэрокосмическая съемка. — М.: Недра, 1993.

Спектрометрические исследования во ВНИИКАМ

С. Г. СЛУЦКАЯ, В. Г. СУРИН

ВНИИКАМ — ЛАЭМ (Лаборатория аэрометодов), организованная в 1944 г. на базе Постоянной комиссии по применению аэросъемки АН СССР, начала свою деятельность с разработки рекомендаций по применению маскирования, что требовало знаний об отражательной способности природных объектов. Решение этих специальных задач на протяжении нескольких десятилетий способствовало постановке в ЛАЭМ исследований оптики ландшафта, необходимых для разработки теоретических основ аэрокосмических методов в интересах геологии и экологии.

Исследования оптических свойств природных объектов базировались на многолетнем (начиная с 1917 г.) опыте предшественников — Г. А. Тихова [39,40], В. В. Шаронова [45], Е. Л. Кринова [7], В. А. Фааса [42], обосновавших и разработавших методы изучения оптических характеристик элементов ландшафта и влияния на них метеорологических и географических факторов, а также принцип спектрфотометрической классификации природных объектов по их спектрам.

В ЛАЭМ по инициативе Н.Г.Келля и К.С.Ляликова возникло направление спектрфотометрического приборостроения. Были созданы оригинальные наземные и летные спектрометры, в которых использовались самые прогрессивные для того времени фотоэлектронные приемники излучения.

Экспериментальные образцы спектрометров, создаваемые в механической мастерской ЛАЭМ, были результатом творческих усилий большого коллектива специалистов, изобретавших, проектировавших, конструировавших приборы и разрабатывавших методики измерений и спектрометрических исследований на уровне не ниже мирового.

Спектрометры (табл. 1) базировались на оригинальных технических решениях, подтвержденных авторскими свидетельствами, были достаточно совершенными по параметрам и в эксплуатации и позволили получить значимые методические результаты. Разработаны методики: определения типового состава песчаных отложений с воздуха по их спектральной яркости [21]; исследования спектральной яркости моря [19, 22]; обобщенная методика спектрфотометрических исследований природных покровов Земли

[4,5,6,15,41]; телефотометрический метод исследования аэрофотографического процесса и качества аэрофотоизображения [26,27]; обоснования параметров систем обнаружения; моделирования геолого-географических образований [24]; определения расхода воды способом смешения масс с помощью летного гидрометрического телефотометра [28].

В фондах ЛАЭМ имеются альбом спектров природных объектов (научный руководитель В. В. Кольцов) и альбом абсолютных значений яркостей типичных участков природных образований и их аэрофотоизображений (научный руководитель С. Г. Слуцкая). Эти материалы могут использоваться в качестве баз спектрфотометрических данных.

Начиная с 1961 г. [4, 5] под руководством В. В. Кольцова создано несколько вариантов фотоэлектронных аэроспектрометрических камер с разверткой изображения местности по входной щели. Из-за недостаточной угловой разрешающей способности и геометрической точности изображения они не нашли применения, но оригинальные технические решения и идеи были развиты в более совершенной многозональной цифровой сканирующей системе МАСК [14]. Материалы съемки МАСК позволили выполнить исследования по фотометрическим искажениям информации аппаратурой и найти способы их уменьшения [16, 17, 43], а также разработать несколько методик и технологий [1] и установить закон накопления контраста при межканальных преобразованиях изображений и обработке изображений разных спектральных каналов [29].

В настоящее время на базе ВНИИКАМ, АОМЗ, ГОИ завершается создание опытного образца многозонального сканера видимого, ближнего ИК и теплового диапазонов с магнитной записью, использование которого позволит совершенствовать дистанционные методы геологического и экологического картирования.

В связи с экономическими проблемами (дороговизна летных работ) во ВНИИКАМ приоритетное положение занимают полевые спектрометрические измерения, являющиеся эффективным инструментом изучения окружающей среды при решении геологических и экологических задач. Методами по-

1. Основные характеристики спектрометров

Прибор	Диспергирующий элемент	Область спектра, нм	Спектральное разделение, нм	Угол зрения	Способ регистрации	Разработчик, литература
Летный спектрометр РЩ-1 с фотоприемником	Дифракционная решетка 600 мм	496—662	10	3°	Киносъемка спектрограмм	М.А. Романова [21]
Полевой спектрофотометр ПСФ (наземный)	Реплика дифракционной решетки 600 мм ⁻¹	400—1000	8	14°	Отсчет по стрелочному прибору	К.Е. Мелешко, Р.Л. Кирмалов, Т.М. Хазанова [13]
Летный спектрометр для определения гидрооптических характеристик	Диск с интерференционными светофильтрами					И.В. Семенченко [22]
Регистрирующий спектрозо-нальный телефотометр для измерения фотографической яркости (одноканальный, летный)	Светофильтры ЖС18, СЗС10	450—630	180	9'	Осциллограф с записью спектрограммы на фотобумагу	С.Г. Слуцкая [2,25]
Зональный телефотометр (вариант 1962 г.) летный	Светофильтры сменные	400—1000	10—80	3x20	Запись на фотопленку	В.В. Кольцов [4]
Спектрометр двухканальный ТЗ-2 (летный спектрозо-нальный телефотометр)	Диск с интерференционными светофильтрами	400—1000, 555, 703, 619, 737	Соответствует чувствительности аэрофото-ленок Т-10, Т-20, ПН-3, и ДС-5, АС-1, РФ-3, Т-14, И-740; 10	0°26' — 13°30'	Самолетный светодуговой осциллограф К-12-22, фотосопровождение кинокамерой РФК-5	А.Я. Смирнов, С.Г. Слуцкая, Ю.В. Мальцев, Н.А. Евлашева [24,31]
Регистрирующий спектрометр С-9, 1963	Сменные реплики дифракционных решеток	250—550, 400—1000	2—10	5x30'	Фотографирование светового пятна с экрана ЭЛТ	В.В. Кольцов [4]
Ручной спектрограф РСС-2, 1972	Реплика дифракционной решетки 600 мм ⁻¹	400—800	10—15	0,13x2,5°	Фотопленка-приемник	В.В. Кольцов [5]
Аэроспектрометр С-8, 1967	Реплика дифракционной решетки 600 мм ⁻¹	400—900	10—15	30x6'	Синхронное фотографирование местности на часть кадра фоторегистратора осциллограмм	В.В. Кольцов [4]

То же, С-12, 1970	Реплика дифракционной решетки	400—760	7	(180×20') — (14×1,8')	Фоторегистрация осциллограмм и измеряемого участка земной поверхности	В.В.Кольцов [5]
Гидрометрический телефотометр (летный), 1971	Интерференционные светофильтры (сменные)	528	9	26 — 12°	Светолучевой осциллограф, фотосопровождение — фотокамера «Ленинград»	С.Г.Слуцкая, Е.Н.Соловьева [28]
Подводный регистрирующий спектрометр с дистанционным управлением	Дифракционная решетка 1200 мм ⁻¹	500—600	20	10°	Регистрирующий шлейфный осциллограф	Б.А.Семенченко, Р.Л.Кирмалов [23]
Полевой автоматизированный спектрометр СПА-1, 1983	Дифракционная решетка 600 мм ⁻¹	400—750	10—15	10°	Цифровая индикация	Р.Л.Кирмалов, Г.П.Мартьянов, Т.М.Хазанова [2,44]
Полевой автоматизированный спектрометр СПА-2	Вогнутая дифракционная решетка	0,4—2,5 мкм	5—20	10°	Цифровая индикация	Р.Л.Кирмалов, Т.М.Хазанова [3]

левой широкодиапазонной спектрометрии наиболее эффективно решаются задачи разделения и опознавания природных объектов, выявления и диагностики антропогенных изменений в окружающей среде, определения вещественного состава пород [36].

Основные преимущества наземного спектрометрирования перед данными, получаемыми при дистанционных исследованиях — это значительно более высокие фотометрическая и спектральная точности и пространственная и временная детальность при относительно низкой стоимости полевых измерений [47].

Спектрометрические полевые исследования и разрабатываемые на их основе технологии, применяемые в геологии и экологии, позволяют решать следующие практические задачи: выявление и исследование геохимических аномалий; экспресс-оценка вещественного состава горных пород и почв; выбор зон спектра съемочных каналов дистанционной аппаратуры; заверка и детализировка результатов дистанционных наблюдений; выбор оптимальных условий съемки; обеспечение фотометрической калибровки съемочных систем и проведения радиометрической (атмосферной) коррекции.

Спектрометрические исследования могут служить составной частью создаваемых в настоящее время геоинформационных систем (ГИС) в части формирования баз опорных данных, уточнения геоиндикационных моделей и разработки оптимальных алгоритмов обработки результатов многозональных дистанционных данных [49].

В последние годы во ВНИИКАМ на технической базе ГОИ созданы новые более совершенные полевые спектрометры [9, 10, 11, 12, 34, 35] (табл. 2). Расширен спектральный диапазон (0,4–14,0 мкм, включающий видимую, ближнюю и среднюю ИК области), повышены точность и степень автоматизации измерений.

Разрабатывается общая идеология (концепция) создания и применения таких приборов, обуславливающая необходимость получения одновременно высокого спектрального разрешения и повышенной фотометрической точности. Однако эти два параметра взаимоисключают друг друга. Совмещение их в одном приборе невозможно (лимитируется энергетическим фактором спектрометра $Q = M\Delta f / \Delta\lambda^2$, где $\Delta\lambda$ — выделяемый спектральный интервал, Δf — полоса частот приеморегистрирующего тракта, M — отношение сигнал/шум, определяемое при данных $\Delta\lambda$ и Δf). Кроме того, измеряемой величиной в полевых спектрометрах является спектральный ко-

2. Основные технические характеристики полевой спектрометрической аппаратуры

Прибор	Тип	Измеряемая величина	λ , мкм	$\Delta\lambda$, нм	ПЗ, град	Δ , %	t , мин	Разработчик литература
Спектрометр полевой универсальный СП-У	С двумя вогнутыми дифракционными решетками	СКЯ	0,4—2,5	4 при 0,4—1,1 мкм; 20 при 1,1—2,5 мкм	10	7 при освещенности не менее 40 тыс. люкс	0,5—10	Э.В.Кувалдин, В.Н.Меркурьев, В.Г.Сурин [9]
Спектрометр полевой теплового диапазона СРП-8/14	С дифракционной решеткой	L (и/или T)	8—14	300—400	15	5 ($\Delta T = 0,1—0,2\text{K}$)	1—2	В.Г.Сурин [34]
Полевой импульсный фотометр ПИФ	Спектрозональный	R_i, τ_i	0,3—2,5, 5 каналов	50—500	Фотометрируемая площадь 15 мм	$\Delta R_i = 1$, $\Delta \tau_i = 2$	2	Э.В.Кувалдин, В.Н.Меркурьев, В.Г.Сурин [10,11]

Примечание. СКЯ — спектральный коэффициент яркости; L — спектральная плотность энергетической яркости, Вт/(ср.м²·мкм); T — радиационная температура, К; R_i — спектрозональный коэффициент отражения; τ_i — спектрозональный коэффициент пропускания; λ — спектральный диапазон; $\Delta\lambda$ — спектральное разрешение; ПЗ — поле зрения; Δ — погрешность измерения; t — время измерения.

эффицент яркости, значения которого, получаемые из эксперимента, отягощены изменяющимися от опыта к опыту систематическими погрешностями [18,47]. Вследствие этого реальная фотометрическая точность таких спектрометров, как правило, не превышает 5-7%. Этим было обусловлено создание взаимодополняющих приборов различных типов.

Первый тип — классический щелевой спектрометр СП-У — обеспечивает в диапазоне 0,4—2,5 мкм достаточно высокое спектральное разрешение (4—20 нм) при фотометрической точности измерения СКЯ 7 %. По основным параметрам СП-У приближается к лучшему образцу — американскому прибору фирмы GER, несколько уступая ему в спектральном разрешении, но превосходя его по чувствительности. Прибор характеризуется современной элементной базой, конструктивными и техническими решениями, полностью автоматизирован (имеет встроенный процессор, совместимый с IBM PC, прост в обращении, имеет минимальное число органов управления. Оба прибора (СП-У и GER) по фотометрическим параметрам близки к теоретически достижимому уровню [9].

Второй тип — полевой импульсный фотометр (ПИФ), измеряющий коэффициент отражения (альбедо), — напротив, обеспечивает повышенную фотометрическую точность ($\approx 1\%$). Предельное спектральное разрешение при этом, обеспечивающееся сменными фильтрами, составляет 50—100 нм. [10, 11]. Наличие в приборе ПИФ

автономного источника освещения, имитирующего солнечный спектр, делает прибор независимым от метеорологических условий и упрощает интерпретацию данных дистанционных исследований. Это расширяет возможность его применения. Аналогичный американский прибор фирмы «Spectrologar» уступает ПИФу как по спектральному диапазону (работает только в видимой области 0,4—0,7 мкм), так и по массе (100 кг), являясь, по существу, лабораторным прибором.

Усовершенствованный по сравнению с описанным в работе [34] вариант спектрометра СРП-8/14 теплового ИК-диапазона представляет собой компромиссное решение по чувствительности ΔT и спектральному разрешению $\Delta\lambda$. По сравнению с аналогом — американским прибором фирмы JPL [46] — он обладает лучшей фотометрической чувствительностью (0,1—0,2 К против 0,65 К), но худшим спектральным разрешением (0,3—0,4 мкм против 0,1 мкм). Прибор управляется внешней ПЭВМ. На его базе создана и аттестована установка для измерения в лабораторных условиях коэффициентов излучения природных объектов [35].

Во ВНИИКАМ проведены работы по адаптации специализированной спектрометрической аппаратуры. К их числу относятся универсальный спектрометр ФМ диапазона 1,2—2,4 мкм и быстродействующий бортовой спектрометр СБС диапазона 0,45—0,78 мкм (табл. 3). Приборы адаптированы таким образом, чтобы они могли быть использо-

3. Параметры универсальных летных (полевых) спектрометров

Прибор	Тип	Измеряемая величина	λ , мкм	$\Delta\lambda$, нм	ПЗ	Δ , %	t, мин	Разработчик, литература
Спектрометр ближнего ИК-диапазона ФМ	С дифракционной решеткой	L, СКЯ	1,2—2,4	120	8×45°, с высоты 1 км площадь 12×1,5 м	5 при освещенности не менее 20 тыс. люкс	1/3	С.Г.Слуцкая, В.Г.Сурин [30]
Спектрометр бортовой скоростной СБС	С дифракционной решеткой	L, СКЯ	0,50—0,75	5	1—15°	5 при освещенности не менее 20 тыс. люкс	0,01—1	Э.В.Кувалдин, В.Г.Сурин [12]

зованы в наземном и бортовом вариантах [12,30].

При записи в аналоговом виде (в непрерывном режиме для бортового варианта) используется измерительный магнитофон фирмы «Брюль и Кьер»; для полевого (наземного) варианта реализуется цифровая регистрация через буферную память с последующей перезаписью на бортовой магнитофон.

Для метеорологического обеспечения новых разработок были созданы: лабораторное абсолютно черное тело (АЧТ) с регулируемой температурой аттестования в соответствии с ГОСТ 8.106-80; специальные полевые эталоны для тепловой области спектра и разработана методика их применения.

Для видимой и БИК областей спектра в ВНЦ ГОИ по техническим требованиям ВНИИКАМ разработан специальный полевой эталон на основе керамики из Al_2O_3 . Он имеет относительно «гладкую» спектральную зависимость в отличие от эталона из $BaSO_4$, а также более низкий уровень отражения (примерно 0,7) приближается к идеальному Ламбертовскому рассеивателю вплоть до углов падения радиации $\approx 80^\circ$. Кроме того, он имеет улучшенные эксплуатационные характеристики, не боится влаги и легко очищается от загрязнений [9].

Ниже приведены примеры применения спектрометров для решения практических задач.

В результате полевых исследований ряда горных пород Забайкалья в ближнем ИК диапазоне с помощью спектрометра ФМ определены парные сочетания пород, спектры отражения которых имеют пересекающиеся участки. Для них выбраны оптимальные каналы дистанционной съемки и рекомендован эффективный алгоритм обработки, позволяющий на изображении повысить контраст таких пород и одновременно подавлять фоновые контрасты [30].

В работах [32,38,48] рассмотрены факторы, определяющие оптимальные условия проведения спектральных измерений при обследовании объектов сложного рельефа, в частности, карьерных выработок в тепловом ИК-диапазоне. С помощью спектрометра СРП-8/14 получены новые данные о спектрах излучения горных пород в карьерах Приладожья, подверженных выветриванию и эпитемальным изменениям.

В рамках наземного обеспечения дистанционных исследований на тестовом участке Западного Узбекистана, Амударьинского нефтегазоносного бассейна, проведены проверка и детализировка тепловой аномалии, обнаруженной радиометром сверхвысокого разрешения AVHRR со спутника NOAA. В результате сделана экспресс-оценка содержания кремнезема по трассе спектрометрирования. При этом в районе тепловой аномалии установлены повышенные концентрации SiO_2 , что является косвенным индикатором нефтегазоносности [37].

В последние годы в полевых условиях получены новые данные о спектральных характеристиках растительности в диапазоне 8—14 мкм. При проведении исследований были отмечены спектральные аномалии, отличающие спектры объектов от спектров АЧТ. Воспроизвести подобие аномалии в полевых условиях американским коллегам не удалось [48].

Установлен эффект изменения спектра излучательной способности зеленой массы древесной растительности над вторичными ореолами рассеяния тяжелых металлов, таких как Cu, Zn, Pb, Sn.

Наличие в почве повышенных концентраций тяжелых металлов и избыточная влажность приводят не только к повышению термодинамической температуры растительности, но и существенно изменяют весь спектр излучения. На основании полученных данных могут быть рекомендованы на-

ибо более информативные спектральные зоны, в которых возможна дистанционная диагностика геохимических аномалий [38,50].

В настоящее время на базе комплекса приборов СБС, ПИФ и СРП-8/14 разрабатывается методика выявления и детализации вышеуказанных биогеохимических аномалий по стрессовым состояниям древесной растительности.

Информативность данных, получаемых методом полевой спектрометрии, существенно возрастает при комплексном использовании различных приборов и проведении исследований в широком диапазоне спектра — от 0,4 до 14 мкм [8,20,33].

Наметился ряд перспективных направлений применения спектрометрических методов в геологии, экологии и биоэкологии, при выполнении геохимических работ, выявлении геопатогенных зон (наряду с методами биолокации), исследовании вторичных последствий радиоактивных загрязнений и пр.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизированная обработка данных аэрокосмических съемок при геологических исследованиях / Л. М. Герасимов, В. Ю. Лускина, Н. А. Радзевич и др. // Обработка многозональных аэрокосмических снимков с помощью системы «Периколор». — Л., 1983. С. 86-94.
2. Кирмалов Р. Л., Хазанова Т. М., Мартынов Г. П. и др. Полевой автоматический спектрометр // Аэродистанционно-приземное зондирование сельскохозяйственных полей для решения задач оптимизации технологических процессов. Научно-технический бюллетень по агрономической физике. — Л., 1983. № 52. С. 23-26.
3. Кирмалов Р. Л. Полевой автоматический спектрофотометр: А. с. № 1514047. Заявка № 4106116/40-25, 22.08.86. Оpubл. в Б. И., 1987, № 13.
4. Кольцов В. В. Аэроспектрометрические исследования земной поверхности // Физические основы и технические средства аэрометодов — Л., 1967. С. 347-361.
5. Кольцов В. В. Спектрометрические характеристики элементов земной поверхности и их изучение для целей аэросъемки // Исследование оптических свойств природных объектов и их аэрофотографического изображения. Л., 1970. С. 35-46.
6. Космическая фотосъемка и геологические исследования / Под ред. Г. Б. Гонина, С. И. Стрельникова — Л.: Недра, 1975.
7. Кринов Е. Л. Спектральная отражательная способность природных образований. — М.: Изд-во АН СССР, 1947.
8. Кронберг П. Дистанционное изучение Земли. Основы и методы дистанционных исследований в геологии. — М.: Мир, 1988.
9. Кувалдин Э. В., Меркурьев В. Н., Сурин В. Г. Широкодиапазонный автоматизированный полевой спектрометр-спектрокомпаратор // Оптический журнал. 1993. № 5. С. 48-52.
10. Кувалдин Э. В., Меркурьев В. Н., Сурин В. Г. Применение рефлектометра солнечного излучения для диагностики состояния растительности // Измерительная техника. 1993. № 8. С. 30-31.
11. Кувалдин Э. В., Сурин В. Г. Импульсный зональный накладной рефлектометр для машиностроения, геологии и экологии // Вестник ноу-хау. 1993. № 5. Вып. 7. С. 64-65.
12. Кувалдин Э. В., Сурин В. Г. Быстродействующий спектрометр для исследования спектров отражения природных объектов // Приборы и техника эксперимента. 1994. № 3. С. 205-208.
13. Мелешко К. Е. Изучение спектральных коэффициентов яркости природных объектов в полевых условиях // Исследование оптических свойств природных объектов и их аэрофотографического изображения. — Л., 1970. С. 16-34.
14. Мелешко К. Е., Кирмалов Р. Л., Филиппеня М. М. Метод многозональной съемки и опыт разработки аппаратуры для его реализации // Тр. ГГИ. 1976. Вып. 237. С. 156-162.
15. Мелешко К. Е. Спектрометрические исследования природных покровов Земли. — Л.: Недра, 1976.
16. Мелешко К. Е., Слуцкая С. Г., Терентьев И. В. Применение дистанционных данных и ЭВМ в задаче поиска объекта. — Л.: ЛНИВЦ АН СССР, 1981.
17. Мелешко К. Е., Щеголев В. И. Способы выбора эффективных спектральных интервалов в реальном масштабе времени // Дистанционные методы и средства изучения природных ресурсов Земли. — Л., 1982. С. 43-52.
18. Приборы спектральные оптические. Термины и определения. ГОСТ 27176-86.
19. Применение аэрометодов для исследования моря / Под ред. В. Г. Зданович. — М.-Л.: Наука, 1963.
20. Применение ИК-спектрометрических характеристик горных пород при дистанционном зондировании Земли / Т. Л. Галуева, А. Ф. Карпузов, Р. Ф. Максютов и др. — М.: МГП «Геоинформмарк», 1963.
21. Романова М. А. Определение типового состава песчаных отложений с воздуха по их спектральной яркости. — Л.: Гостоптехиздат, 1962.
22. Семенченко И. В. Исследование спектральной яркости моря с самолета // Применение аэрометодов для исследования моря. — М.-Л., 1963. С. 516-526.
23. Семенченко И. В., Кирмалов Р. Л., Хазанова Т. М. Подводный регистрирующий спектрометр с дистанционным управлением // Метеорология и гидрология. 1971. № 4. С. 94-97.
24. Сергеев Г. А., Янутиш Д. А. Статистические методы исследования природных объектов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1973.
25. Слуцкая С. Г. Регистрирующий спектрозональный телефотометр для измерения фотографической яркости // Бюл. научно-технической информации. ВИЭМС МГ СССР. 1965. № 66.
26. Слуцкая С. Г. Аэрофотометрический метод исследования природных объектов. Автореф. дис... канд. техн. наук. — Л., 1973.
27. Слуцкая С. Г. Телефотометрирование природных объектов с целью получения их оптических характеристик // Аэрофотосъемка — метод изучения природной среды. — Л., 1973. С. 92-97.
28. Слуцкая С. Г. Некоторые результаты разработки метода смешения масс для измерения расхода воды с самолета // Тр. ГГИ. 1977. Вып. 232. С. 77-82.
29. Слуцкая С. Г. Исследование усиления и ослабления контраста при обработке многозональных аэро- и космических снимков земной поверхности // Автоматизированная обработка данных аэрокосмических съемок при геологических исследованиях. — Л., 1983. С. 64-71.
30. Слуцкая С. Г., Сурин В. Г. Полевые спектрометрические исследования пород для их диагностирования по материалам дистанционных съемок // Отч. геология. 1993. № 8. С. 93-96.
31. Спектрозональный телефотометр / А. Я. Смирнов, Н. А. Евлашова, С. Г. Слуцкая и др. // Геодезия и картография. 1966. № 7. С. 38-44.
32. Сурин В. Г. Формирование полей яркости поверхностей сложного рельефа в диапазоне 8-14 мкм // Исследования Земли из космоса. 1989. № 4. С. 66-71.
33. Сурин В. Г., Меркурьев В. Н. Состояние и вопросы

- метрологического обеспечения дистанционных методов в области оптических измерений //Метрологическое обеспечение и стандартизация информационно-измерительных систем в Государственной Геосистеме. — М., 1990. С. 9-15.
34. Сурин В. Г. Спектральные исследования с помощью полевого спектрометра диапазона 8-14 мкм //Исследования Земли из космоса. 1992. № 2. С. 51-58.
 35. Сурин В. Г., Парфинский В. А. Простая установка для измерения спектральных коэффициентов теплового излучения //Приборы и техника эксперимента. 1993. № 5. С. 225-227.
 36. Сурин В. Г., Ладнер Г. А. Возможности теплового ИК-диапазона для дистанционной диагностики горных пород (на примере Северного Приладожья) //Отч. геология. 1994. № 1. С. 66-71.
 37. Сурин В. Г., Смирнова И. О. Наземные спектрометрические измерения в тепловом ИК-диапазоне для литогеохимических исследований //Геохимия. 1994. № 2. С. 199-203.
 38. Сурин В. Г., Ладнер Г. А. Спектральные характеристики растительности в тепловом инфракрасном диапазоне 8-14 мкм //Исследования Земли из космоса. 1994. № 3. С. 26-34.
 39. Тихов Г. А. Улучшение фотографической и визуальной воздушной разведки. Краткое изложение теории наблюдений. — Киев: Центральная аэронавигационная станция. 1917.
 40. Тихов Г. А. Основы визуальной и фотографической фотометрии. — Алма-Ата: Изд-во АН СССР, 1950.
 41. Толчельников Ю. С. Оптические свойства ландшафта. — Л.: Наука, 1974.
 42. Фаас В. А. Основы теории аэрофотографии. — М.: Лаборатория аэрометодов, 1935.
 43. Хазанова Т. М., Кирмалов Р. Л., Мартынов Г. П. Фотометрические искажения информации в многоспектральной аппаратуре и способы их уменьшения //Теория и методика аэрокосмических исследований. — Л., 1981. С. 102-109.
 44. Чудновский А. Ф., Тимофеев Ю. В., Шиндеров Б. Л. Аэродистанционное приземное зондирование сельскохозяйственных полей. — Л.: Гидрометеиздат, 1985.
 45. Шаронов В. В. Отражательная способность некоторых природных образований //Исследование отражательной способности. — М., 1934. С. 53-59.
 46. Bartholomew M. J., Kahle A. B., Hoover G. Infrared spectroscopy (2,3-20,0 μm) for the geological interpretation of remote sensed multispectral thermal infrared data //Int. J. Rem. Sens. 1989. Vol. 10. № 3. P. 529-544.
 47. Milton E. J. Principles of field spectroscopy //Int. J. Rem. Sens. 1987. Vol. 8. № 10. P. 1807-1827.
 48. Pertsov A. V., Slutskaya S. G. Technologies for geological and environment protection projects using remote sensing data and field spectrometric measurements //ISPRS XVIII-th Congress. 1992. Vol. 137. Washington. P. 527-532.
 49. Ruisang Xu, Huiping Lu, Sugun Ye. Study on Au Biogeochemical effects using Remote Sensing Technique//ISPRS XVIII-th Congress. 1992. Vol. 137. Washington. P. 62-67.
 50. Salisbury J. W., Milton N. M. Thermal Infrared (2,5-13,5 μm) directional hemispherical reflectance of leaves Photogr /Eng. and Rem. Sens. 1988. Vol. 54. № 9. P. 1301-1304.

Развитие дистанционных методов изучения нефтегазоносных территорий в ЛАЭМ-ВНИИКАМ

А. А. КИРСАНОВ

Материалы аэро- и космических съемок (МАКС) в настоящее время находят широкое применение в практике геолого-поисковых работ на нефть и газ. Значительная часть методик и технологий решения нефтегазопроисловых задач, основанных на собственных теоретических построениях, были разработаны в ЛАЭМ-ВНИИКАМ. Уже с первых работ ЛАЭМ для определения возможности использования материалов аэрофотосъемки были выбраны полигоны в пределах нефтегазоносных территорий, в частности в Прикаспийской впадине. Исследования проводились как в мелководной части Каспийского моря, так и на суше, в Западной Туркмении.

Уже в первой обобщающей работе В. П. Мирошниченко [8] показано, что аэрофотоснимки (АФС) дают возможность получить новую, содержательную информацию о геологическом строении в открытых, в геологическом отношении, районах. Так, локальные пликативные структуры находят четкое отображение на фотоизображении, позволяя дешифровать строение их ядра и крыльев слагающих их литолого-стратиграфических комплексов, разрывные нарушения и их пространственные отношения. Отмечая эффективность использования АФС, В. П. Мирошниченко подчеркивал, что в геологических исследованиях в большей мере отпадает утомительная и трудоемкая работа по нанесению геологических границ, и внимание может быть обращено на толкование геологических явлений. В основном это относится к районам с хорошей геологической обнаженностью, для которых необходимые вопросы дешифрирования в первом приближении уже разработаны, и меньшей — к геологически закрытым территориям. Однако накопленные к тому времени материалы, показывают, что путем специального дешифрирования и на таких территориях можно получать данные об их геологическом строении.

Природные условия таких территорий, как правило, очень затрудняют применение обычных полевых методов геологических исследований. Весьма показательны в этом отношении Центральные Низменные Каракумы, где глинистые, солончаковые и особенно эоловые отложения маскируют фор-

мы первичного рельефа, непосредственно связанные с геологическим строением и различными проявлениями тектонических движений. Ввиду этого содержание и методика полевых исследований здесь более сложны, чем в геологически открытых районах, где использования дешифровочных признаков, отражающих геоморфологические закономерности, по существу, достаточно для решения поставленных задач.

Проведенные исследования в мелководной зоне у туркменского побережья Каспийского моря позволили составить мелкомасштабную тектоническую карту, где были показаны контуры предполагаемых локальных структур, выявленных в результате аэровизуальных работ и дешифрирования АФС. Большинство таких структур находилось на продолжении крупных валообразных поднятий на суше. Все выявленные локальные структуры рекомендовались как объекты для морских нефтепоисковых работ, в частности Ждановская банка [9].

Дальнейшие исследования под руководством В. П. Мирошниченко были направлены на изучение использования индикационных связей земной поверхности с геологическим строением в объеме основных компонентов и элементов морфоструктуры и динамики развития пустынных ландшафтов, пользующихся наибольшим распространением. Работы показали, что эти связи во множестве обнаруживаются в пустыне и выражаются как ее отдельными компонентами, так особенно их естественными сочетаниями, представляемыми различными элементами морфологической структуры ландшафтов пустыни, их типологическими особенностями и динамикой развития и находящими отражение на аэрофотоснимках как комплексные дешифровочные признаки большой информационной емкости [10]. Разработанный ландшафтный метод был опробован на изучении региональных и локальных пликативных структур, оказывающих важнейшее влияние на формирование природных условий пустыни, ее гидрогеологических особенностей, на размещение и характер почв, растительного покрова и контролирующих возможные накопления нефти и газа в пределах территории Низменных Каракумов [10].

С начала 50-х годов Каспийской экспедицией ЛАЭМ под руководством В. В. Шаркова проводились экспериментальные работы по изучению геологического и геоморфологического строения мелководных участков Каспийского моря, являющихся нефтегазоперспективными территориями. Применение материалов опытной крупномасштабной аэрофотосъемки позволило получить изображение дна до глубин 15 м, что дало возможность выявить существенно новые черты геологического строения подводных склонов западного и восточного побережий Каспийского моря. При этом, что особенно важно, были получены наряду с методическими результатами и практические. В частности, было уточнено геологическое и морфологическое строение ряда известных локальных поднятий, выявлены новые структуры и разрывные нарушения на мелководных участках, где затруднено проведение геофизических и полевых работ как с моря, так и с суши [4].

Дальнейшее развитие исследования (60—70-е годы) по разработке методик изучения шельфов нефтегазоносных областей получили на Сахалине, на его прибрежной мелководной части. Здесь также решались задачи по изучению геологического строения, выявлению перспективных локальных структур. При работах опробовались новые методические приемы, основанные на использовании материалов крупномасштабных аэрофотосъемок, экспериментальных тепловой и радиолокационной аэросъемок, аэромагнитной съемки, а также данные эхолотных и геолокаторных профилей. Значительную помощь при дешифрировании снимков оказали результаты целенаправленных фотопреобразований, разработанные под руководством Ю. В. Углева, позволившие улучшить изображение, подчеркнуть геолого-структурную информацию. Использование ландшафтного метода дешифрирования АФС позволило получить новые сведения о геологическом строении прибрежной полосы с экстраполяцией на более глубоководные участки, в частности было уточнено и закартировано строение ряда антиклинальных складок и выявлены разрывные нарушения. По результатам работ были сделаны рекомендации на постановку разведочного бурения на одной из перспективных структур. Обобщенные результаты работ изложены в ряде монографий и статей [4, 14].

В 70-х годах в ЛАЭМ начались систематические методические работы по изучению нефтегазоносных территорий Юго-Запад-

ной Туркмении, Западной и Восточной Сибири, Украины.

Этот период характеризуется такими особенностями, как:

- широкое применение ландшафтного подхода к дешифрированию МАКС;

- появление новых МАКС — радиолокационной и фотосъемок;

- комплексирование результатов дешифрирования с геолого-геофизическими и геохимическими данными;

- применение специальных фотографических обработок МАКС;

- первые опыты обработок МАКС на ЭВМ. Методические разработки касались всех уровней нефтегазопроисловых работ — от обзорного до детального.

Обзорные аэрокосмические исследования, на основе мелкомасштабных космических снимков с ПКС «Союз» и «Салют» проводились Н. В. Кобецом и В. Я. Ероменко на территории Скифско-Туранской плиты, изученной геолого-геофизическими методами крайне неравномерно. В результате работ решались теоретические и методические вопросы геологического дешифрирования КС платформенных нефтегазоносных областей с целью изучения их тектонического строения. Новым в методическом плане было применение материалов РЛ-аэросъемки, а также использование результатов специализированной автоматизированной обработки КС на ЭВМ. По результатам работ впервые для этой территории был составлен ряд мелко-и среднемасштабных космотектонических и структурно-тектонических схем как на всю Скифско-Туранскую плиту масштаба 1:2 500 000, так и на ее отдельные области масштабов 1:1 000 000—1:200 000. Выделены линейные элементы разных рангов и новые тектонические единицы.

При этом были выделены перспективные районы и площади, рекомендованные под постановку сейсморазведочных работ. Полученные в целом данные использовались в дальнейшем при обзорно-региональных, региональных и поисковых работах.

Необходимость получения информации о глубинном строении нефтегазоперспективных областей вызвало повышенный интерес к косвенным, менее дорогим, по сравнению с геофизическими методами, среди которых ведущее место занимают методы, основанные на анализе аэро-и космических изображений. При этом широко стала применяться электронно-вычислительная техника ЕС-1045, ЕС-1020, позволяющая проводить обработку МАКС в автоматизированном режиме.

Все большее распространение получает

геоиндикационный метод, разрабатываемый под руководством Б. Н. Можаяева и Н. Ф. Афанасьева. Метод базировался на ландшафтной концепции, согласно которой компоненты и элементы природной среды взаимосвязаны и взаимообусловлены. Одной из форм изучения взаимосвязей локальных структур и их природных индикаторов является геоиндикационное моделирование — построение и анализ геоиндикационных систем. Геоиндикационное моделирование как метод оформился на стыке исследований природной индикации, с одной стороны, и применения системного подхода и математического моделирования, с другой [10]. Моделирование геоиндикационных систем предполагает выявление и анализ как пространственных, так и функциональных отношений между элементами и компонентами ландшафта. Для каждого из отношений разрабатывалась своя модель.

Разработка методики построения геоиндикационной модели включает следующие основные этапы: 1) анализ геоиндикационных ситуаций; 2) выявление природных индикаторов; 3) типизация ЛС; 4) построение концептуальных моделей; 5) прогнозирование структурных поверхностей разных горизонтов осадочного чехла [6].

Необходимо отметить, что важное в этой методике значение для поисков на основе МАКС перспективных на нефть и газ локальных структур имели введенные еще в 70-е годы Б. Н. Можаяевым понятия — геоморфологическая аномалия и ландшафтная аномалия [11]. Выявление этих аномалий по результатам дешифрирования исходных и обработанных МАКС позволило составлять прогнозные структурные схемы в различных нефтегазоносных областях СССР. Так, в Юго-Западной Туркмении на основе МАКС проводились геоиндикационные исследования под руководством В. Г. Можаяевой, целью которых были поиски перспективных нефтегазоносных локальных структур. Проведенные работы дали возможность на качественно новом уровне подойти к изучению новейшей тектоники и современного геологического развития этого района, что имело важное значение для планирования нефтегазопроисловых работ. Разработанная методика прогнозирования локальных структур на основе целенаправленного применения МАКС с использованием ЭВМ, даже для такой хорошо изученной нефтегазоносной территории, позволила выявить около 30 новых локальных поднятий в зоне погружения антиклиналей Копет-Дага [12].

Дальнейшее развитие эти работы получи-

ли в Восточной Туркмении, Западном Узбекистане и Восточном Прикаспии, где МАКС применялись в комплексе как с геолого-геофизическими, так и геохимическими данными [13]. Обобщение этих работ позволило разработать на основе системного подхода эффективную технологию применения МАКС при ГРП на нефть и газ. Значительная роль в ней отводится геоиндикационным исследованиям. Технология включает несколько исследовательских этапов, для каждого из которых разработана своя методика:

анализ геоиндикационной ситуации (изучение геологического разреза, истории тектонического развития, рельефа и его связи с геологическим строением, гидрогеологического и геохимического режимов, почвенно-растительного покрова, климатических условий и т. д.);

выработка требований к необходимым для исследований МАКС и геолого-геофизическим данным и подбор их масштабного ряда; проведение геометрической и фотометрической коррекций, приведение к опорному масштабу;

обработка МАКС и картографических материалов путем фотопреобразований (по методике, разработанной во ВНИИКАМ под руководством Ю. В. Углева) и на ЭВМ (в том числе в интерактивном режиме на «Периколоре» и КТС «Диск»);

экспертное дешифрирование (с числом экспертов не менее трех) и согласование его результатов;

комплексная интерпретация результатов дешифрирования с привлечением данных геолого-геофизических, геохимических, структурно-геоморфологических и ландшафтных исследований;

составление схем (карт) геологического содержания, согласно задачам регионально-го и поискового этапов (тектонического, неотектонического и нефтегазогеологического районирования и др.). Схематические карты прогноза локальных структур составлялись с рекомендациями на детальные сейсморазведочные работы и поисковое бурение.

Изучение структурно-тектонической информативности МАКС в условиях таежно-болотных ландшафтов в нефтегазоносных провинциях Западной Сибири проводилось в течение нескольких лет под руководством В. И. Астахова [1]. Основной задачей исследований являлось определение вида и объема сведений о структуре доюрского фундамента и продуктивных горизонтов осадочного чехла, которые могут быть реально получены по фотоизображениям земной поверхности. В результате работ был сделан вывод о невозможности использовать кос-

мические снимки даже детального уровня генерализации для независимого прогноза глубинного строения при наличии сложных космоаэрогеологических условий, плоского лесоболотного ландшафта и крайне вялой тектоники платформенного чехла. Поэтому отмечена необходимость комплексирования аэрокосмического метода, как вспомогательного, с основными геофизическими (сейсморазведочными) методами локального прогноза. Проведенные опытно-методические работы показали, что поле выявленных на МАКС линейных фотогеологических объектов несет полезную геологическую информацию двоякого рода: 1) качественные данные о расположении и взаимоотношениях некоторых объектов в осадочном чехле, мало доступных сейсморазведке; 2) количественные сведения о размерах и ориентировке зон трещинных коллекторов и глубине залегания основных горизонтальных разделов геологического разреза.

Эти данные рекомендуется использовать уже на ранних стадиях планирования сейсморазведочных работ и обработки их результатов, а также на этапе построения временных разрезов.

В середине 80-х годов в Минском отделе ВНИИКАМ под руководством И. О. Карасева начали проводить исследования по разработке методик картирования и прогнозной оценки территорий древних платформ на основе оптико-электронной обработки МАКС, в том числе методики прямых дистанционных поисков месторождений нефти и газа. Теоретические исследования при этом были направлены на выявление связей между спектральным образом ландшафта и характеристиками погребенных геологических объектов. Используя оригинальный подход и доказывая, что передача информации в литосфере происходит по законам синергетики, а развивающиеся геологические процессы функционируют как процессы самоорганизации, И. О. Карасев и Д. Г. Балабаев считают возможным на основе этих положений практическую постановку нефтегазопроисловых работ. Экспериментальные и теоретические исследования позволили авторам сделать важные для этих работ выводы о том, что месторождения нефти и газа являются энергоактивными объектами и играют ключевую роль в распространении энергии и информации в литосфере. Проявляя аномальные свойства в геофизических и геохимических полях, такие объекты оказывают воздействие на оптические характеристики ландшафта, регистрируемые на многозональных КС. Спектральные аномалии над месторождениями

нефти и газа в ландшафтной модели интерпретировались как ореолы изменения минерального состава почв и пигментного состава растительности под воздействием парагенезиса аномальных геофизических, геохимических и биогеохимических полей. Авторы считают, что наиболее эффективно для выявления аномалий использование двух-трех комплектов разносезонных КС Landsat MSS в диапазонах 0,5-0,6; 0,6-0,7; 0,7-0,8; 0,8-1,1 мкм. Обработка велась в основном на установке анализа изображений (УАР и его модификации УАР-1 и УАР-2). Практическое использование разработанной технологии проводилось в нефтегазоносных провинциях России, Казахстана, Средней Азии, а также по контрактным и договорным работам в Германии, Австрии, Йемене, Чаде и др. В результате работ были составлены схемы прогноза нефтегазоносности с выделением перспективных площадей масштабов 1:500 000 и 1:200 000 [2].

С появлением высокопроизводительной компьютерной техники (PC 386, 486 и рабочие станции SVN, Hewlett Packard и др.) и космической многоспектральной цифровой информации стала возможной разработка ГИС-технологий, где ядром являются банки дистанционных и картографических данных и базы знаний. Такие опытно-методические исследования на примере Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции были проведены во ВНИИКАМ в последние годы. При этом решались следующие задачи: уточнение тектонических критериев нефтегазогеологического районирования, выявление структуроконтролирующих и экранирующих залежей разрывов, зон трещиноватости и крупных структур, выбор перспективных площадей для проведения поисковых работ.

В исследованиях использовались космические снимки, а также геолого-геофизические и ландшафтные материалы, которые обрабатывались с помощью системы интерактивной обработки материалов аэрокосмосъемки (RSdPS), разработанной во ВНИИКАМ группой под руководством А. Н. Денисова, а также применялся метод композиционного кодирования, разработанный Н. Ф. Афанасьевым. В результате работ были составлены схемы тектонического районирования по ряду горизонтов осадочного чехла, нефтегазоперспективного районирования, прогноза нефтегазоносности, прогноза распространения органогенных фаций (для Хорейверской впадины) [4, 15].

Проведенные исследования позволили разработать временные методические рекомендации по применению на базе ГИС-тех-

нологий цифровых космических материалов для прогнозной оценки районов Северо-Запада России на углеводородные ресурсы.

Еще одним направлением, развиваемым во ВНИИКАМ, являются исследования теплового поля нефтегазоносных площадей с целью выявления температурных аномалий над залежами углеводородов. Как считает В.И. Горный, такие аномалии вызваны подъемом флюидов и могут фиксироваться на МАКС теплового диапазона.

В целом же представляется, что наиболее эффективной будет ГИС-технология, где найдут применение как методы выявления структурной информации (локальных структур и разрывных нарушений), так и методы обнаружения непосредственно зон нефтегазонакопления. Также необходимо продолжать исследования по изучению механизма проявления глубинных структур на фотоизображении и по соотнесению результатов дешифрирования разномасштабных и разновидовых МАКС к различным горизонтам осадочного чехла и фундамента [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Астахов В. И. Тектоническая информативность аэро-и космических снимков нефтеносных земель Широтного Приобья // Аэрокосмические съемки при изучении глубинного строения регионов СССР. — Л., 1990. С. 28-41.
2. Башилов В. И., Кирюхин Л. Г., Богородский С. М. Методические рекомендации по технологии проведения среднемасштабных нефтегазопроисловых работ. — М.: Аэрогеология, 1993.
3. Гурьева З. И., Петров К. М., Раим И. С., Шарков В. В. Геолого-геоморфологическое изучение морских мелководий и берегов по материалам аэрофотосъемки. — Л.: Наука, 1968.
4. Гололобов Ю. Н., Смирнова И. О. Прогноз вещественно-структурных неоднородностей и залежей УВ в чехле платформ по дистанционным данным // Аэрокосмические методы геологических и экологических исследований: Тез. докл. междунар. конф. С.-Пб., 1994. С. 62-63.
5. Кирсанов А. А. Применение материалов аэрокосмических съемок при изучении глубинного строения нефтегазоносных территорий. // Аэрокосмические съемки при изучении глубинного строения регионов СССР. — Л., 1990. С. 5-13.
6. Кирсанов А. А., Смирнова И. О., Блинова М. М., Русанова А. А. Временные методические рекомендации по использованию геоиндикационного моделирования по материалам аэро-и космических съемок с целью выявления локальных структур (на примере аридных районов СССР). Деп. №738-МГ89. — М., ВИЭМС.
7. Мирошниченко В. П. Аэрогеосъемка. — Л.: Госгеолиздат, 1946.
8. Мирошниченко В. П. Схема тектоники мелководий зоны Каспийского моря у туркменского побережья. // Тр. Лаб. аэрометодов СССР. — М.-Л., 1958. Т. VI. С. 22-53.
9. Мирошниченко В. П., Березкина Л. И., Леонтьева Е. В., Толгелников Ю. С. Ландшафтный метод дешифрирования проявлений новейшей и современной тектоники для поисков погребенных нефтегазоносных структур. — Л.: Наука, 1971.
10. Можаяв Б. Н., Афанасьев Н. Ф., Астахов В. И. и др. Геоиндикационное моделирование (с использованием материалов аэро-и космических съемок). — Л.: Недра, 1984.
11. Можаяв Б. Н. Новейшая тектоника Северо-Запада Русской равнины. — Л.: Недра, 1973.
12. Можаяв Б. Н., Можаява В. Г., Кирсанов А. А. Применение материалов аэрокосмических съемок при изучении новейшей тектоники Юго-Западной Туркмении. — Л.: Недра, 1988.
13. Смирнова И. О., Кирсанов А. А., Богатырев В. Э., Куриленок О. Ю. Возможности применения комплекса аэрокосмических, геофизических и геохимических методов при изучении глубинного строения нефтегазоносных территорий // Аэрокосмические съемки при изучении глубинного строения регионов СССР. — Л., 1990. С. 13-28.
14. Шарков В. В., Гурьева З. И., Кильдюшевский Е. И. Аэрокосмические методы геологического изучения шельфа. — Л.: Недра, 1985.
15. Gololobov Y., Evlannikov L., Rusanova A., Smirnova I. The Hydrocarbon resources prediction based on Geographical Information System (GIS) Technology and remotely sensed data processing in Abstracts of International Symposium, 20th Anniversary Geographic information — Remote Sensing and training, Toulouse, 17-19th May 1994. P. 77.

Изучение и прогноз по дистанционным данным вещественно-структурных неоднородностей — ловушек нефти и газа

Ю. Н. ГОЛОЛОБОВ, И. О. СМИРНОВА

Вследствие высокой степени разведанности антиклинальных структур основные перспективы поисков нефти и газа связаны в настоящее время с ловушками нетрадиционного типа — вещественно-структурными неоднородностями осадочного чехла (рифами, зонами разуплотнения и трещиноватости). В последние годы достигнуты значительные успехи в разработке методики поисков таких ловушек, главным образом за счет совершенствования комплекса геофизических методов [5]. В тоже время показана высокая эффективность материалов дистанционных съемок (МДС) как при определении местоположения рифовых зон, зон разуплотнения и трещиноватости, так и при изучении отдельных рифовых массивов [2—4,7,8].

Во ВНИИКАМ разработана технология анализа и обработки МДС для прогноза вещественно-структурных неоднородностей осадочного чехла, базирующаяся на геоиндикационной концепции, согласно которой существует взаимосвязь между глубинной геологической структурой и компонентами ландшафта — геоиндикаторами геологических структур [7,8]. Физической основой методов обработки и анализа МДС в нефтегазопроисловых целях является взаимодействие светового излучения с отражающей поверхностью литосферы, свойства которой определены структурой, составом и состоянием недр. Геологическое образование любого ранга рассматривается как целостный объект, сложный по составу и являющийся частью более крупного образования. Геоиндикаторы — производные экзо- и эндогенных процессов внешней оболочки литосферы — содержат сведения о строении, составе и состоянии геологических образований.

Проявления неоднородностей осадочного чехла в ландшафтных комплексах и на МДС обусловлены как их приуроченностью к структурам определенных морфогенетических типов, так и физико-химическими изменениями в перекрывающих отложениях (новейшие поднятия и опускания, изменения мощности и строения в результате уплотнения или просадок, биогеохимические изменения пород и почв под действием мигрирующих из залежей флюидов и т. д.). Основные геоиндикаторы неоднородностей

— это распределения характеристик линейных элементов, эрозионной сети, мезо- и микроформ рельефа, растительности, различных типов почв и других ландшафтных элементов.

Современный геоиндикационный метод изучения природной среды предусматривает автоматизированные выделение геоиндикаторов и обработку их характеристик (анизотропии, энтропии, плотности и др.). Причем, выделение геоиндикаторов производится как по исходным космическим снимкам (КС), так и по преобразованным с помощью специальных программ (синтезирование, суммирование, вычитание, умножение, деление изображений в различных зонах спектра, кластерный анализ и т. д.) [6].

Выявленные на тестовых участках закономерности планового распределения характеристик геоиндикаторов на структурах (ловушках) различных морфогенетических типов экстраполируются на слабо изученную территорию. Каждое такое монопризнаковое информационное поле может служить либо непосредственной основой для интерпретации, либо составной частью массива данных при комплексном анализе. Для построения прогнозных моделей отбираются информационные поля независимых и связанных монопризнаков с определенными значениями коэффициентов корреляции. Их обработка выполняется по стандартным программам (методы главной компоненты, классификации по образу) и методом композиционного кодирования, разрабатываемым во ВНИИКАМ членом-корреспондентом РАЕН Н. Ф. Афанасьевым [1,2]. Этот математический метод, основанный на оценке взаимосвязей между геоинформационными полями, представленными многозональными космическими снимками или характеристиками геоиндикаторов и геофизическими данными, позволяет производить их комплексирование. Результаты кодирования представляются в виде цветных схем композиционных кодов, отражающих структуру неоднородностей геологических объектов. Комплексирование результатов обработки МДС и геолого-геофизических данных осуществляется на базе технологии географических информационных систем, программное обеспечение которой создано

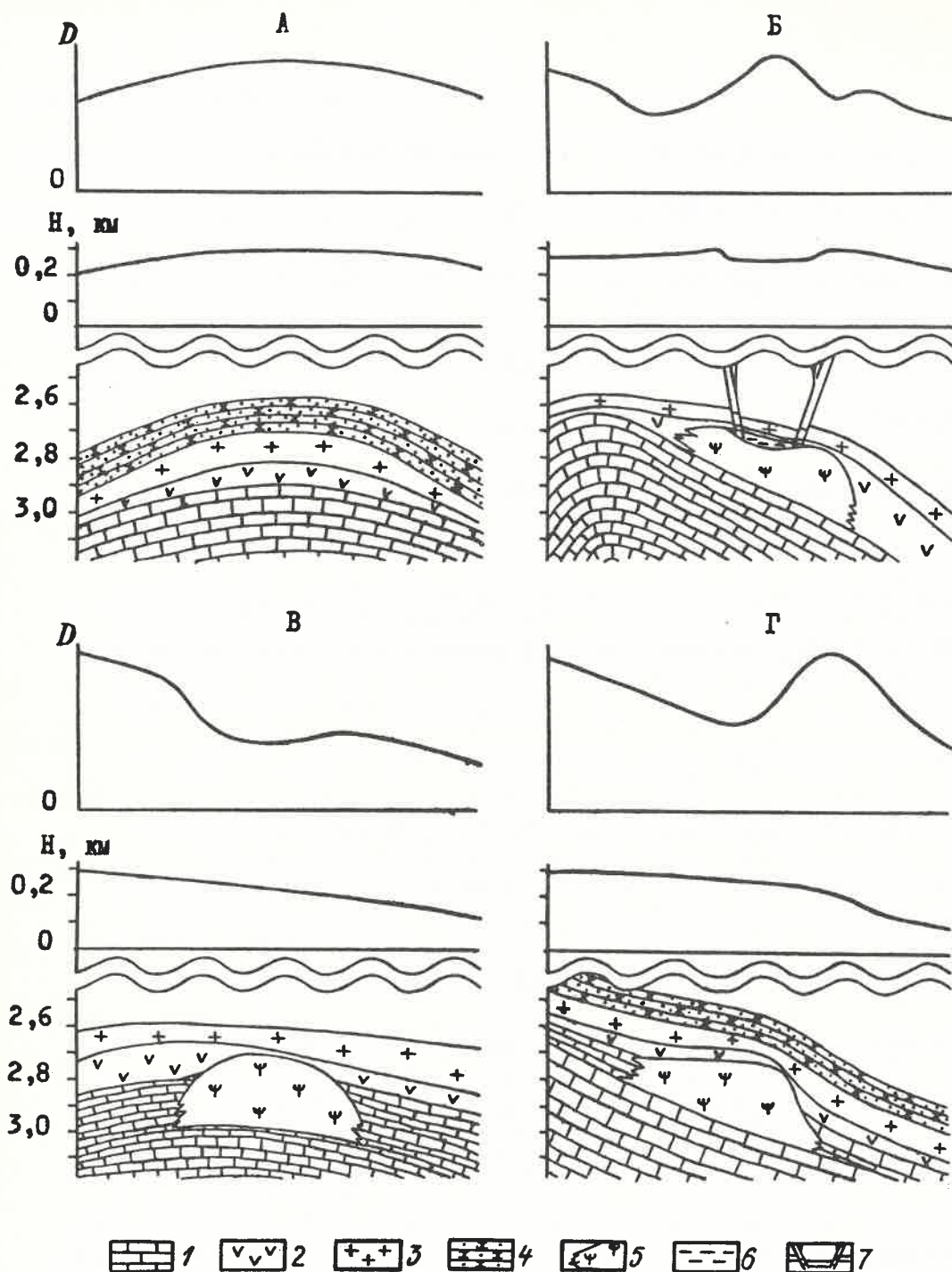


Рис. 1. Принципиальная схема распределения геоиндикаторов над различными типами локальных структур:

А — антиклиналь; рифы: Б — одиночный атоллоподобный с лагуной в своде, В — одиночный холмовидный, Г — барьерный; 1 — известняки; 2 — ангидриты; 3 — соли; 4 — песчаники; 5 — рифы; 6 — лагунные фации; 7 — места провалов над палеолагунами; D — плотность геоиндикатора; H — профиль рельефа

во ВНИИКАМ (система RSdPS) [6]. Технология апробировалась на полигонах Амударьинской (Чарджоуская ступень) и Тимано-Печорской (Хорейверская впадина) нефтегазоносных провинций.

На территории Чарджоуской ступени газопродуктивными отложениями являются известняки келловей—оксфорда верхней юры, включающие рифогенные фации на глубине от 2,2 до 3,4 км и перекрытые

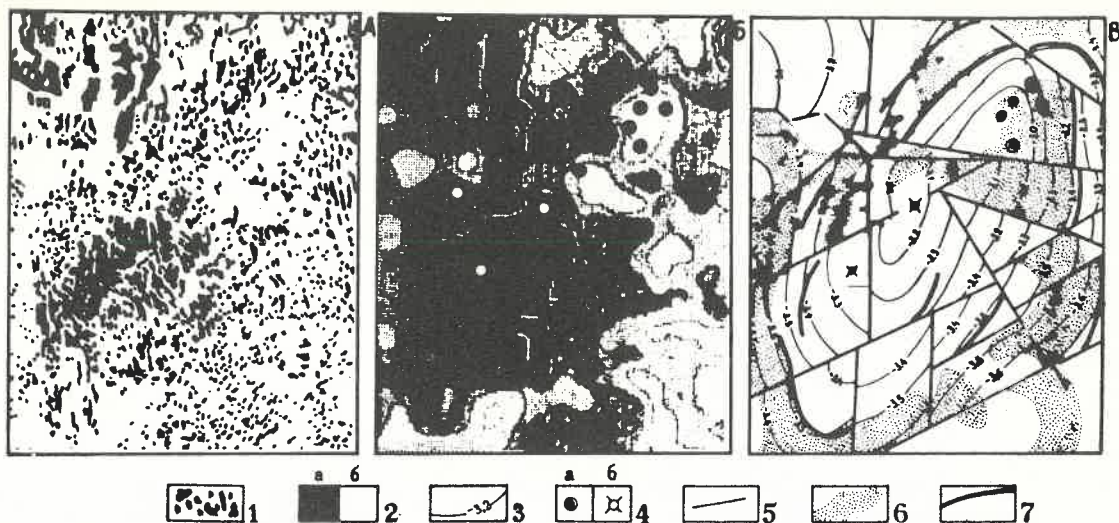


Рис. 2. Прогноз нефтегазоносных рифов в верхнеюрских отложениях Чарджоуской ступени, площадь Гирсан:

А — площадной геоиндикатор (такры); Б — распределение плотности геоиндикатора; В — местоположение прогнозных рифовых массивов; 1 — такры; 2 — максимальная (а), минимальная (б) плотность геоиндикатора; 3 — изогипсы сейсмического горизонта (верхняя юра), откорректированные по дистанционным данным; 4 — скважины с газом (а), без газа (б); 5 — разрывы по сейсмическим и дистанционным данным; 6 — предполагаемые массивы рифов по результатам обработки геоиндикаторов; 7 — структурные линии по результатам дешифрирования КС и обработки геоиндикаторов

солями и ангидритами кимериджа—титона. Территория характеризуется унаследованностью тектонических движений и хорошей выраженностью в рельефе и на МДС антиклинальных структур [8]. Для изучения рифовых ловушек проанализировано распределение характеристик геоиндикаторов, выделенных по многозональным КС «Союз» и АФС (рис. 1). Анализ позволил разделить антиклинальные и неантиклинальные (рифовые) ловушки нефти и газа, выделить различные типы рифов: барьерные, одиночные холмовидной формы, одиночные постройки баночного типа, атоллоподобные рифы с лагуной в своде (рис. 2). Эти типы рифов приурочены к определенным тектоническим зонам и блокам, выявленным по МДС регионального уровня. Пространственное размещение рифовых массивов определялось непрерывно-прерывистым (пульсирующим) перемещением береговой линии келловей-оксфордского моря. Представляется, что различные морфогенетические типы разновозрастных рифогенных построек совпадают по вертикали.

Хорейверская впадина — более сложный объект для применения МДС в связи с неблагоприятными климатическими условиями (длительность снежного покрова, облачность), и особенностями геологического строения (наличие нескольких нефтегазоносных комплексов, широкое развитие неантиклинальных ловушек, наличие толщи многолетнемерзлых четвертичных образо-

ваний ледникового генезиса) [7]. Однако и здесь по исходным и преобразованным МДС регионального уровня определены каркасные линейменты-разрывы, ограничивающие блоки, отличающиеся геоморфологическим и тектоническим строением, в которых распространены различные морфогенетические типы ловушек.

Проанализированы 18 геоиндикационных признаков. Для прогноза различных геологических структур выбраны две группы признаков: имеющие высокий коэффициент корреляции (более 0,5) с прогнозируемыми объектами; независимые (менее 0,2). Для прогнозирования (по программе «классификация») нефтепродуктивного горизонта верхнего девона, включающего рифогенные фации, наиболее информативными оказались некоторые характеристики линейментов и озер, выделенных по КС «Союз» и оптической плотности КС «Союз». Результаты визуального дешифрирования исходных и преобразованных КС показали, что Хорейверская впадина разделена на две различающиеся по геоморфологическому строению части (северную и южную) разломом субширотного, северо-восточного простирания. Поэтому для обучения были выбраны два типа объектов: в северной части — антиклинальные складки Оленья и Южно-Саягинская, в южной — Западно-Хоседаянский предполагаемый рифовый массив барьерного типа (рис. 3). Раздельный (по-объектный) прогноз осуществлен на всю

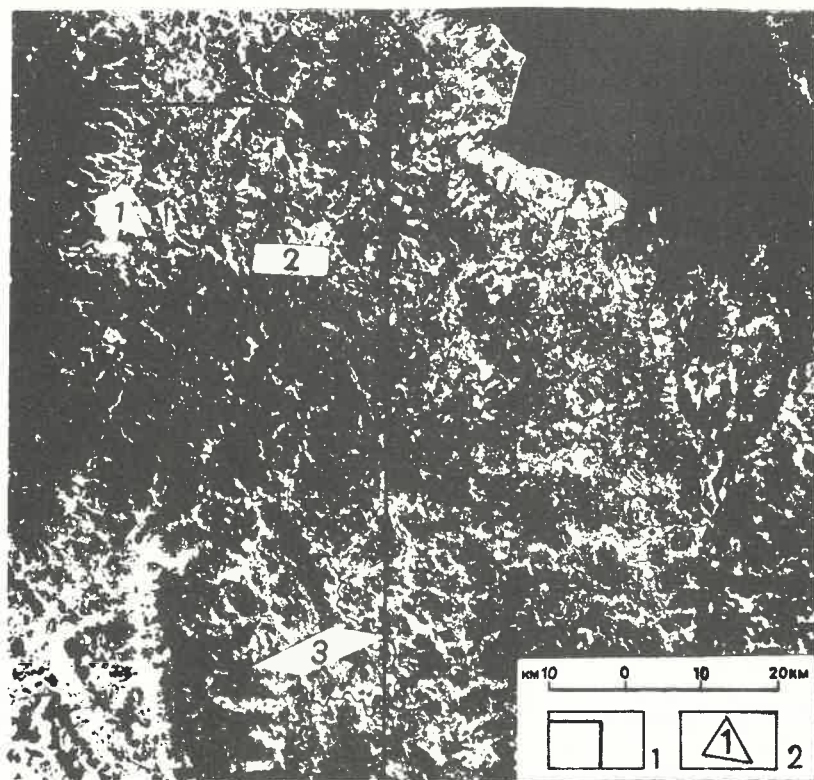


Рис. 3. Космический снимок «Союз» Хорейверской впадины, зона спектра 0,7—0,8 мкм, июль 1984 г.:

1 — участок прогноза рифов; 2 — объекты обучения (1, 2 — соответственно Садагинская, Оленья антиклинали, 3 — Западно-Хоседаюский барьерный риф)

территорию: с использованием объектов 1 и 2 и объекта 3 (рис. 4). Как видно из иллюстраций, структуры антиклинального типа распространены только в северной части, а барьерный риф — в южной. Результаты прогноза хорошо согласуются с данными сейсморазведки.

На основе обработки многозональных КС и установленных по ним геоиндикаторов на территорию Хорейверской впадины методом композиционного кодирования выполнен погоризонтный прогноз структуры чехла и фундамента. При моделировании структурных горизонтов с использованием только КС «Союз» проведен анализ иерархической структуры изображений. В результате выделены геоэлементы различных размеров и выполнена фильтрация изображений с различными параметрами фильтра, приблизительно соответствующими глубинам залегания отражающих сейсмических горизонтов: 0,4 км — подошва многолетнемерзлых отложений, 2 км — нижняя пермь, 3,5 км — верхний девон, 4,5 км — силур, 5,5 км — фундамент. На схемах композиционных кодов для различных глубин все границы подтверждаются конфигурациями изолиний от-

ражающих горизонтов, причем на схемах более глубоких уровней происходит правостороннее смещение полей композиционных кодов, что в целом согласуется с расположением групп локальных структур на восточном крыле Большеземельского свода по данным сейсморазведки.

Кодирование с использованием КС и характеристик геоиндикаторов выполнялось на основе комплектования групп информативных переменных. В результате интерпретации отобраны модели, оптимальные для прогнозирования определенных геологических структур. Так, при композиционном кодировании цифровых моделей рельефа, плотностей эрозионной сети и озер отчетливо выделяется северная периклиналь погребенного Большеземельского палеоподнятия фундамента. При этом отмечается совпадение границ изополей композиционных кодов с изогипсами его поверхности. На схеме композиционных кодов, построенной по трем цифровым матрицам плотности геоиндикатора, выделенного в трех диапазонах спектра КС «Союз», четко прослеживается зона, соответствующая барьерному рифу

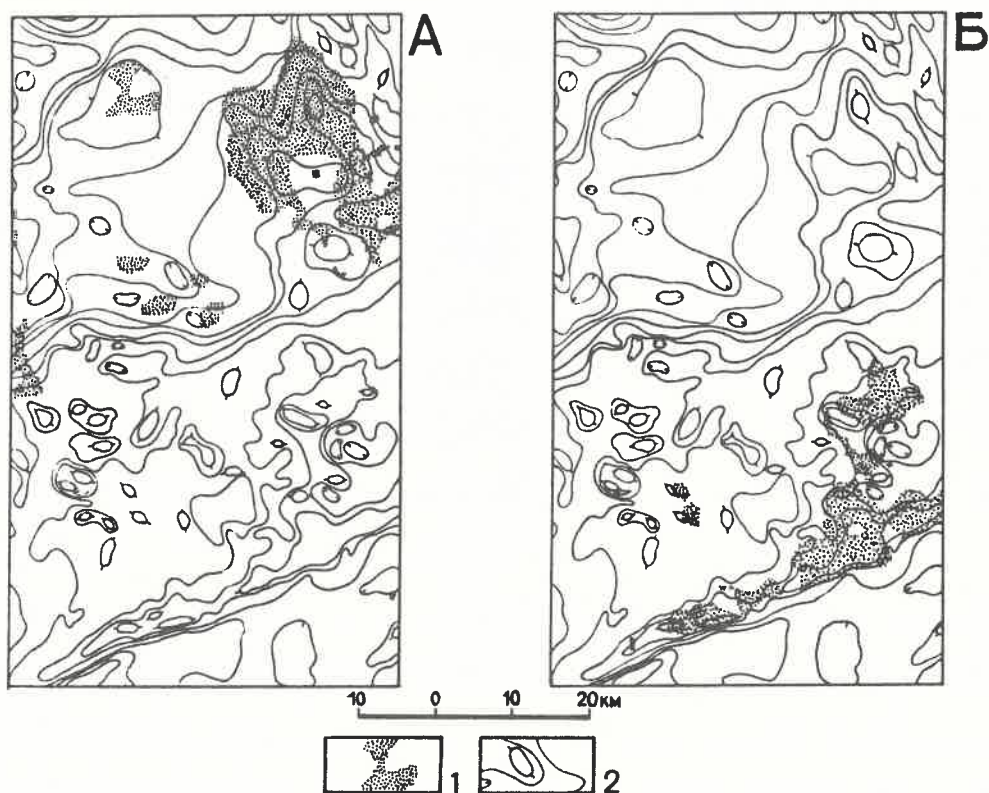


Рис. 4. Прогноз нефтегазоперспективных структур в верхнедевонских отложениях по программе «классификация»:

А — прогноз по объектам обучения 1 и 2; Б — то же, по объекту обучения 3 (см. рис. 3); 1 — прогнозные структуры; 2 — изогипсы фаменских отложений по данным сейсморазведки

позднедевонского возраста по геофизическим данным.

Вероятностный прогноз нефтегазосности осуществлен методом композиционного кодирования по цифровым матрицам трех зон спектра на основе обучающей выборки известных типов месторождений нефти. Полученные материалы послужили основой для нефтегазоперспективного районирования территории и построения схемы прогноза рифогенных фаций.

Таким образом, на примере двух различных по ландшафтно-геологическим условиям полигонах показана эффективность применения МДС в геологоразведочном комплексе. Компьютеризация процесса их обработки и анализа совместно с имеющейся геолого-геофизической информацией позволяет получать новые объективные данные о строении недр, которые по своей значимости не уступают геофизическим. «Второе дыхание» геоиндикационный метод обрел с использованием метода композиционного кодирования информации. Принципиально новый подход к обработке признаков полей, извлеченных из материалов регионального уровня, отражается на результатах,

которые обычно достигаются лишь на поздних стадиях поискового и разведочного этапов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев Н. Ф. О теории геоиндикационного дешифрирования аэрокосмических снимков. // Теория, методика и практика геоиндикационных исследований. — М., 1991. С. 16-21.
2. Афанасьев Н. Ф., Гололобов Ю. Н. Геоиндикационные структуры: прогноз в геологии и сейсмологии по дистанционным данным // Аэрокосмические методы геологических и экологических исследований: Тез. докладов Международной конференции, 30 мая — 4 июня 1994 г. — С.-Пб., 1994.
3. Борисов О. М., Надыришин Р. И. О типах линейной трещиноватости на космифотоснимках Бухаро-Каршинского региона // Космические исследования геологических объектов литосферы — Ташкент, 1988. С. 3-11.
4. Валиев А. А., Диваева В. И., Таджиев Т. Т. К проблеме поисков органогенных рифовых построек на основании дистанционных исследований // Рифогенные образования западного Узбекистана. — Ташкент, 1985. С. 66-69.
5. Ильин В. Д., Фортунатова Н. К. Методы прогнозирования и поисков нефтегазосных рифовых комплексов. — М.: Недра, 1988.
6. Программная система обработки материалов дистанционной съемки на базе ГИС-технологии / А.Н.Денисов, В.И.Колесников, А.Н.Рогов и др. //

Географические информационные системы. Теория и практика. — С.-Пб., 1993. С. 17-18.

7. Gololobov Yu., Evlannikov L., Rusanova A., Smirnova I. The Hydrocarbon resources prediction based on Geographical Information System (GIS) technology and remotely sensed data processing // Abstracts of International Symposium 20th Anniversary,

Geographic Information-Remote Sensing and Training, Toulouse, 17-19 May 1994.

8. Smirnova I., Gololobov Yu., Rusanova A. Prediction of Hydrocarbon-Bearing Structures Based on Remote Sensing // Abstracts of 1993 AAPG International Conference and Exhibition, Netherlands Congress Centre, The Hague, The Netherlands, October 17-20, 1993.

Дистанционное зондирование при прогнозировании и поисках рудных полезных ископаемых в работах сотрудников ВНИИКАМ

А.В.ПЕРЦОВ, Г.В.ГАЛЬПЕРОВ, Н.А.БРУСНИЧКИНА

Исследования по данному направлению во ВНИИКАМ могут быть условно разделены на 2 этапа, разграниченные началом космической «эры» и активным внедрением результатов дистанционного зондирования в геолого-географические исследования.

Публикации первого этапа немногочисленны, что обусловлено организационными причинами — ВНИИКАМ входил до 1961 г. в систему Академии Наук СССР и разрабатывал в основном разнообразную географическую тематику. Наиболее заметной из первых публикаций металлогенического профиля является статья Ю. Г. Старицкого [23]. Автор рассматривает отечественные и зарубежные достижения в этой области. В качестве прямых поисковых признаков выделяет форму и цвет рудных и рудовмещающих тел, к косвенным относит формы рельефа, растительность, почвы, геологические структуры. Рассмотрены особенности применения цветных и спектральных материалов аэрофотосъемки.

В 1971 г. вышло подготовленное ЛАЭМ крупное методическое руководство [1], обобщавшее все достижения в области применения дистанционных методов, в том числе частично — аэрогеофизики. Прогнозно-поисковая тематика в пособии специально не рассматривается, но вопросам выявления по аэроснимкам геологических структур и вещественного состава пород уделено достаточное внимание.

В 1969 г. ЛАЭМ по указанию Министерства геологии СССР была поставлена тематика по выяснению возможностей аэрометодов при поисках бокситов. Исследования, проводившиеся под руководством Г. В. Гальперова, показали высокую эффективность применения аэрометодов для прогнозирования и поисков двух (из трех имеющихся на территории бывшего СССР) типов месторождений бокситов [5, 6]. Эти работы положили начало целой серии исследований по применению материалов дистанционных съемок для изучения погребенных объектов (фундамента, отдельных геологических тел, структур) в районах многоярусного строения — Северном Казахстане (Тургайский прогиб), Кызыл-Кумах (Туранская плита), Южном Урале.

Практические рекомендации по поискам

меди, цинка и бокситов были внедрены в Северо-Казахстанском геологическом управлении. Результаты исследований освещены в статьях [7, 8, 9] и обобщены в 1979 г. в монографии Г. В. Гальперова, А. В. Перцова и Н. А. Брусничкиной [10]. В работе были рассмотрены свойства как самих погребенных объектов, влияющие на их дешифрируемость, так и рыхлого чехла, определяющие возможность (или невозможность) опознавания этих объектов по материалам аэрофотосъемки. Разработаны также вопросы учета природно-климатических условий и управления техническими факторами при производстве аэросъемки для получения наиболее информативных материалов. Обширный раздел посвящен применению аэрометодов при поисках меднопорфировых и магнетитовых руд, бокситов. Выделен ряд площадей и структур в разной степени перспективных на эти руды при мощности чехла до 250 м.

Работы второго этапа связаны с внедрением в практику геологических работ отечественных и зарубежных космических фотоснимков. Это определило проведение металлогенических и тектоно-магматических исследований с использованием дистанционной информации разных уровней генерализации как в ЛАЭМ, так и в других организациях в СССР и за рубежом. В ЛАЭМ в 70-х годах такие исследования проводились под руководством Н. А. Яковлева в различных регионах: юго-восток Малого Кавказа, Западное Забайкалье, Южный и Центральный Казахстан. Результаты работ были отражены в работе [24], в которой представлены технологическая схема дешифрирования космofотоснимков и интерпретации получаемых результатов, а также методика комплексного использования этих данных и геолого-геофизических материалов при прогнозировании месторождений полезных ископаемых на базе математических методов и ЭВМ. В основу автоматизированного прогнозирования было положено выявление наиболее информативных из 230 предложенных экспертами признаков с анализом исследуемой площади по элементарным ячейкам. Объектом прогноза являлись рудные формации, реже — минеральные типы месторождений. В 80-е годы, прогнозно-метал-

логеническая тематика также отражена в ряде статей, в основном в сборниках ЛАЭМ. Так, Г.Н.Лукашевым (в соавторстве с Н.С.Бухаровым) приведены результаты металлогенического анализа крупной Ондумской кольцевой структуры (Тува), выполненного с использованием снимков [2]. Н. А. Яковлев в соавторстве с А. Я. Вохменцевым и Ю. Б. Мариним [4] подвели итоги работ по изучению отражательной способности горных пород для целей аэрогеологического картирования и поисков полезных ископаемых. Авторы отметили трудности разрабатываемой тематики и наметили пути ее продолжения.

В. И. Горный рассматривает предпосылки применения тепловой аэросъемки при поисках слепых рудных тел в верхней части гелиотермозоны [14]. На основании теоретических выкладок он пришел к выводу о том, что летом в период наибольшего прогрева земной поверхности рудные тела, залегающие в пределах гелиотермозоны, могут давать температурные аномалии (положительные и отрицательные), которые можно рассматривать как поисковые признаки этих рудных тел. Сборник научных трудов ЛАЭМ 1985г. целиком посвящен применению аэрокосмических съемок при прогнозировании и поисках полезных ископаемых. Н. В. Скубловой и А. А. Русановой рассмотрена одна из вулканоплутонических структур Центрального Казахстана. Совместная интерпретация геофизических и дешифровочных данных позволила авторам выявить ранее неизвестные скрытые рудоконтролирующие разломы, зоны повышенной проницаемости, блоки различной металлогенической специализации.

Г. В. Гальперов, В. Э. Богатырев и А. В. Перцов в Центральных Кызыл-Кумах также на основе комплекса дешифровочных и геофизических данных выявили влияние глубинного строения отдельных блоков на интенсивность оруденения [11]. Так, крупнейшее в бывшем СССР месторождение золота Мурунтау приурочено к блоку с пониженной в два раза (относительно фона) мощностью гранитного слоя 10—12 км при общей мощности коры 40—42 км. Рудоконтролирующие элементы более высоких порядков представлены кольцевыми структурами, расположенными в узлах пересечения прямолинейных разломов при обязательном наличии субмеридиональных. Данная тематика нашла дальнейшее развитие в статьях этих же авторов [12].

Т. Н. Смирновой, М. Ю. Смирновым и В. Н. Башиловым Канино-Тиманский пояс по данным дистанционных съемок разделен на

два мегаблока и несколько более мелких блоков с автономными условиями магматизма и рудогенеза, что позволяет четко ориентировать направление поисковых работ [22].

Значительный интерес представляет монография Н. В. Скубловой, посвященная проведению структурно-геоморфологических исследований в металлогенических целях [20]. Эта работа методического характера и основана на использовании, наряду с традиционными методами геоморфологического анализа, аэрокосмической информации с применением электронно-вычислительной техники и оптической аппаратуры. В книге представлены способы выявления структурных критериев прогнозирования с помощью преобразованных снимков, принципы составления функциональной модели вулканоплутонической структуры, описан процесс геоиндикационного моделирования структур на основе статистической обработки их признаков, а также проведено локальное и региональное прогнозирование ряда рудных объектов.

В сборнике ВНИИКАМ 1987 года несколько статей также посвящено рассматриваемой тематике [17]. В статье А. В. Перцова систематизированы данные по преобразованию аэро-и космоснимков аналоговыми и цифровыми методами. Раскрыт физический смысл разных видов преобразований, особенности дешифрирования преобразованных снимков, даны рекомендации по выбору видов преобразований, приведены примеры. Отмечено, что эффективность методов преобразований снимков различна для конкретных задач природных условий районов работ. В статье Н. В. Скубловой и Л. В. Тарасенковой на примере Агадырского и Каркаралинского рудных районов Центрального Казахстана показана перспективность нового методического приема выявления рудоконтролирующих структур по материалам дистанционных съемок (МДС) в автоматизированном режиме. Этот прием заключается в целенаправленном преобразовании фотоматериалов на ЭВМ, когда снимок в цифровом виде вводится для последующей обработки в ЭВМ с получением на выходе преобразованного изображения на фотопленке.

Л. М. Герасимов, В. В. Исаев, В. Ю. Лускина, С. Г. Слуцкая в своей статье этого сборника иллюстрируют возможности системы «Периколор» для интерактивной обработки многозональных аэро-и космических снимков на примере выделения зон гидротермального метасоматоза пород в залесенном районе Сибирской платформы. На ис-

ходных снимках МКФ-6 измененные породы визуально различимы очень плохо. Составленный по эталонному участку «портрет» измененных пород позволил прогнозировать ряд подобных участков. Наземная проверка показала присутствие на этих участках скарнированных пород с сульфидной минерализацией.

В 1988г. вышла в свет коллективная монография [10], содержащая два методических раздела и три региональных. В методических разделах с позиций системного подхода освещены особенности использования МДС в тектономагматических и металлогенических исследованиях разных уровней генерализации (УГ). Обоснована необходимость использования МДС разных уровней при работах любого масштаба. Показана необходимость преобразований как МДС, так и геофизических данных с использованием электронно-вычислительной техники. Наряду с морфоструктурным и неотектоническим анализами предложен и структурно-магматический анализ по МДС. Обращено внимание на необходимость оценки величины пострудного среза рудных объектов, что особенно важно при построениях прогнозно-поисковых моделей в детальных масштабах.

В региональных разделах реализуются различные аспекты предложенных методических разработок. Эти регионы (Кавказско-Таврский, Оймяконо-Колымский и Кызылкумский) активизировались в кайнозой и различаются возрастом завершения главных фаз складчатости; геологической обстановкой эпох максимальной активности тектонических движений; временем образования, последовательностью развития и составом магматических и рудных формаций; геофизическими характеристиками, а также степенью обнаженности.

Описываемая монография подводит итоги довольно длительного этапа накопления знаний по рассматриваемой тематике, которые сводятся к следующим положениям.

1. Применение космических снимков (КС) открыло новый этап в развитии мелко- и среднемасштабных металлогенических исследований. КС позволяют создавать структурную основу для регионального металлогенического районирования, на которой все металлогенические таксоны получают свои конкретные границы в пределах определенных структур.

2. На КС отражаются многие элементы глубинной тектоники, имеющие существенное значение для анализа размещения месторождений и выявления рудоконтролирующих и рудоконцентрирующих структур.

3. Большие возможности для металлогенического анализа открывает совместное использование геодинамического и вещественного подхода к дешифрированию КС, облегчающее палеотектонические реконструкции на период рудообразования и позволяющее выявлять крупные горизонтальные смещения рудоносных и рудоконтролирующих структур.

4. Одновременное использование разномасштабных материалов — космических и аэроснимков позволяет глубже понять природу структурных особенностей конкретных рудных объектов, определить закономерности их размещения.

На основе материала, изложенного в рассмотренной монографии, составлены методические рекомендации [13]. В качестве оптимального варианта металлогенических исследований предложено проведение работ на трех-четырех УГ, причем масштабы смежных уровней должны отличаться в 3-5 раз. Уровни генерализации увязаны с металлогеническими таксонами и соответствующими им главными типами структур. Разработана 7-этапная технологическая схема металлогенических исследований на основе комплекса методов при ведущей роли дистанционного зондирования. Приведены примеры реализации предложений технологии для выявления структурных (по МДС) и геофизических компонентов прогнозно-поисковых моделей золотого (Центральные Кызылкумы, месторождение Мурунтау) и золото-серебряного (Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, месторождение Кармен) оруденения.

Автоматизированной обработке систем линеаментов для выявления глубинного строения северного Прибайкалья при металлогенических исследованиях посвящена статья И. К. Рундквист, Л. В. Тарасенковой и др. [18]. Для эффективного выявления линеаментов КС подвергались специальным цифровым преобразованиям. При анализе линеаментов были получены новые данные о наличии крупнейших сводов и блоков глубинного заложения. Из числа поперечных и секущих систем линеаментов выделены наиболее крупные и протяженные, которые являются либо границами металлогенических таксонов, либо контролируют положение отдельных рудных узлов и месторождений. Отмечено, что автоматизированная обработка КС в некоторой степени позволяет делать более объективные выводы о геологическом строении региона.

Вопросам связи геодинамики складчатонадвиговых поясов с рудоносными структурами посвящена работа Е. В. Кузнецова

[15]. На примере территории Полярного Урала по космическим и высотным аэроснимкам автор показывает зависимость размещения как рудных, так и нерудных полезных ископаемых от взаимосвязей различных деформационных структур и формационного состава алло-и автохтонных комплексов. Основными рудоконцентрирующими структурами являются узлы сопряжения рудоконцентрирующих нарушений с разрывами и пластическими деформациями надвигового типа, зонами бластомилонитов, милонитов, разгнейсованных пород).

Анализу рельефа по материалам дистанционного зондирования при поисках месторождений полезных ископаемых посвящена монография И. К. Волчанской (Рундквист) и Е. Н. Сапожниковой [3]. Авторы убедительно показывают значительную роль анализа рельефа в совокупности с другими методами в прогнозно-металлогенических исследованиях. Такой анализ позволяет оценивать неотектоническую подвижность блоков, уровень денудационного среза, закономерности структурного контроля в размещении орогенных рудных формаций. К наиболее важным аспектам морфоструктурного анализа в металлогенических целях относятся установленные авторами общие связи характера рельефа орогенных областей с особенностями их глубинного строения, магматизма и металлогении. Выявленные закономерности формирования и строения морфоструктур горных областей и связь их с размещением полезных ископаемых позволяют осуществить переход на новый уровень металлогенических исследований, который предусматривает моделирование главных признаков металлогенических таксонов разного ранга и прогнозирование скрытого оруденения.

В 1991 г. Н. В. Скубловой опубликована работа [21], посвященная той же тематике, что и рассмотренная в книге И. К. Волчанской и Е. Н. Сапожниковой. В первой книге выводы авторов основаны на анализе целого ряда регионов, в книге Н. В. Скубловой выводы базируются на материалах Центрального Казахстана, а основной объект изучения — кольцевые вулcano-плутонические структуры. Для решения поставленных задач Н. В. Скублова широко использует математические методы и ЭВМ. В целях автоматизации дешифрирования МДС автором предложено моделирование рудных узлов. Стержнем поисковой модели, по мнению автора, являются статистически обоснованные морфоструктурные позиции рудоносных структур, отраженных в рельефе и

на МДС и характеризующихся определенными количественными параметрами.

Особо следует отметить вклад И. К. Рундквист в разработку металлогенической проблематики на основе использования МДС. Кроме вышеотмеченных работ, в 1992 г. в России и за рубежом, ею опубликован (в соавторстве) ряд статей, посвященных весьма широкому кругу проблем металлогении, касающихся истории формирования крупнейшего золоторудного Бодайбинского района, глубинных рудоконтролирующих структур, металлогении эпох активизации, металлогенической роли мантийных процессов и др.

В заключение следует отметить ряд положений, разработанных во ВНИИКАМ и имеющих непосредственное отношение к проблемам прогнозирования и поискам рудных объектов на основе МДС.

1. Результаты металлогенических работ ВНИИКАМ подтвердили положение о том, что структурная информация, полученная с помощью МДС, недоступна или труднодоступна при использовании иных методов исследования.

2. При металлогенических работах любого масштаба необходимо применение МДС трех-четырёх уровней генерализации.

3. В основе прогнозирования лежат прогнозно-поисковые комплексные многоуровневые модели.

4. Изучаемые при моделировании рудные объекты должны соответствовать по рангу прогнозируемым объектам (или быть рангом выше).

5. Обязательно применение экспертного дешифрирования МДС, т. е. самостоятельного дешифрирования несколькими специалистами с последующим сравнением данных и созданием интегральной модели.

6. Крупнейшие рудные таксоны часто являются аномальными объектами в геологии, морфоструктуре, физических полях.

7. Известное в металлогении положение о сходстве крупнейших рудных объектов разных рудных формаций наиболее четко проявляется при рассмотрении этих объектов на высоких уровнях генерализации. Это и обуславливает необходимость использования иерархического ряда прогнозно-поисковых моделей.

8. Рудные объекты разных формаций сравнительно низких рангом имеют меньшее сходство, особенно в физических полях, однако они нередко аномальны относительно фона, в общем виде они более сложно построены.

9. На детальном уровне генерализации

необходимо введение в модель оценки величины пострудного среза.

В качестве перспектив развития прогнозно-металлогенических исследований на основе МДС следует отметить необходимость перехода к использованию цифровой аэрокосмической и геолого-геофизической информации на основе технологии географических информационных систем (ГИС).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аэрометоды* геологических исследований. — Л.: Недра, 1971.
2. Бухаров Н. С., Лукашов Г. Н. Геолого-металлогеническая характеристика Ондумской кольцевой структуры (Тува), выявленной на космических снимках // Дистанционные методы в геологических исследованиях. — Л., 1980. С. 38-46.
3. Волчанская И. К., Сапожникова Е. Н. Анализ рельефа при поисках месторождений полезных ископаемых. — М.: Недра, 1990.
4. Вохменцев А. Я., Марин Ю. Б., Яковлев Н. А. Вопросы изучения отражательной способности горных пород для целей аэрогеологического картирования и поисков полезных ископаемых // Теория и методика аэрокосмогеологических исследований. — Л., 1981. С. 32-40.
5. Гальперов Г. В., Кропачева Г. С., Брусничкина Н. А. Использование аэрофотометода при поисках платформенных месторождений бокситов // Сов. геология. 1974. № 5. С. 97-107.
6. Гальперов Г. В., Перцов А. В., Брусничкина Н. А., Патрикеев С. Б. Применения аэрометода при выявлении структурно-геоморфологического контроля размещения тургайских бокситов // Экспресс-информация ВИЭМС. Серия: Геология, методы поисков и разведки месторождений метал. пол. иск., М., ВИЭМС, 1976, № 9. С. 21-27.
7. Гальперов Г. В., Гринсон А. С. Глубинное дешифрирование материалов аэрофотосъемки для выявления апикальных частей интрузивных массивов в районах двухъярусного строения (Тургайский прогиб) // Аэрометоды в геологии Казахстана. — Алма-Ата, 1977. Вып. 1. С. 20-24.
8. Гальперов Г. В., Перцов А. В. Дистанционные методы при поисках медного оруденения в Тургайском прогибе // Советская геология, 1978. № 9. С. 127-130.
9. Гальперов Г. В., Перцов А. В. Использование космических снимков при изучении закономерностей размещения полезных ископаемых в Южном Зауралье // Исследования Земли из космоса. 1980. № 5. С. 5-9.
10. Гальперов Г. В., Перцов А. В., Брусничкина Н. А. Аэрометоды геологического изучения районов двухъярусного строения. — Л.: Недра, 1979.
11. Гальперов Г. В., Богатырев В. Э., Перцов А. В. Применение космических снимков и геофизических данных при прогнозировании золотого оруденения Центральных Кызылкумов // Аэрокосмические съемки при прогнозировании и поисках полезных. — Л., 1985. С. 26-33.
12. Гальперов Г. В., Богатырев В. Э., Перцов А. В. Использование дистанционных материалов и геофизических данных при прогнозно-металлогенических исследованиях в Центральных Кызылкумах // Исследование Земли из Космоса. 1986. № 4. С. 68-74.
13. Гальперов Г. В., Антипов В. С., Рундквист И. К. Применение космических и аэроснимков в комплексе с геологическими и геофизическими данными при прогнозно-металлогенических исследованиях // Экспресс-информация. 1989. N 1-89.
14. Горный В. И. Предпосылки применения тепловой аэросъемки при поисках слепых рудных тел в верхней части гелиотермозоны // Теория и методика аэрокосмогеологических исследований. — Л., 1981. С. 41-48.
15. Кузнецов Е. В. Строение, геодинамика и рудоносные структуры складчато-надвиговых поясов по материалам аэрокосмических съемок (на примере Полярного Урала) // Аэрокосмические съемки при изучении глубинного строения регионов СССР. — Л., 1990. С. 119-131.
16. *Металлогенические и тектоно-магматические исследования на основе материалов аэро-и космосъемок* / А. В. Перцов, Г. В. Гальперов, В. С. Антипов, и др. — Л.: Недра, 1988.
17. *Методы обработки аэро-и космической информации при геологосъемочных и поисковых работах* / Ред. А. В. Перцов, С. Г. Слуцкая. — Л.: ВСЕГЕИ, 1987.
18. Рундквист И. К., Тарасенкова Л. В., Данилова М. Ю. Автоматизированная обработка систем линейментов и выявление глубинного строения сложноподстилаемых областей для целей металлогенического анализа // Аэрокосмические съемки при изучении глубинного строения регионов СССР. — Л., 1990. С. 69-78.
19. Рундквист И. К., Бобров В. А., Смирнова Т. Н. Этапы формирования Бодайбинского золоторудного района // Геология рудных месторождений, 1992, № 6. С. 3-15.
20. Скублова Н. В., Структурно-геоморфологические методы в прогнозно-металлогенических исследованиях. — Л.: Недра, 1987.
21. Скублова Н. В. Геоморфологический анализ при прогнозно-металлогенических исследованиях. — Л.: Недра, 1991.
22. Смирнова Т. Н., Смирнов М. Ю., Башилов В. И. Дистанционные методы при прогнозировании эндогенных полезных ископаемых байкалит Калино-Тиманского пояса // Аэрокосмические съемки при прогнозировании и поисках полезных ископаемых. — Л., 1985. С. 33-39.
23. Старицкий Ю. Г. Поиски рудных и россыпных месторождений // Аэрометоды изучения природных ресурсов. — Л., 1962. С. 64-72.
24. Яковлев Н. А., Сахатов В. З., Скублова Н. В., Марков К. К. Применение космических снимков при региональном металлогеническом анализе складчатых областей. — Л.: Недра, 1986.

Применение материалов аэро-и космических съемок в геоэкологических исследованиях (состояние и перспективы)

А. А. КИРСАНОВ

Неблагоприятная экологическая обстановка, которая сложилась и продолжает ухудшаться в большинстве регионов Российской Федерации, вызвана рядом причин, в том числе и сверхинтенсивной эксплуатацией природных ресурсов и использованием временно выгодных, но несовершенных технологий их добычи и переработки. Изменение и загрязнение природной среды привели к созданию опасных для жизнедеятельности человека условий. Естественно, что в связи с таким положением, для изучения этих процессов и их последствий в 70-х годах появились исследования, получившие общее название — «Охрана окружающей среды». Их стали проводить организации Мингео, Госкомгидромета, Минлесхоза, МинВУЗа, Академии наук СССР и союзных республик, и других министерств. Эти работы носили соответственно ведомственный характер, изучая в основном современное состояние отдельных компонентов природной среды (почв, растительности, поверхностных и подземных вод, воздушного бассейна и т. д.) или их изменения под влиянием крупных промышленных и сельскохозяйственных объектов. Они проводились эпизодически, по разным методикам и на разной аппаратурной и лабораторной базах.

В эти же годы в Лаборатории аэрометодов (ЛАЭМ), ныне ВНИИКАМ, по заданию Мингео СССР начали проводить исследования по выявлению направлений рационального применения дистанционных методов при природоохранных мероприятиях и контроле за состоянием природной среды под руководством Т. А. Поповой. Работы с этого времени получили целенаправленный и систематический характер, основываясь на ландшафтно-индикационном методе дешифрирования, теоретические основы которого были разработаны в ЛАЭМ В. П. Мирошниченко.

При этом учитывался многолетний опыт использования материалов аэрофотосъемки при геологических и географических исследованиях природной среды. На основе обобщения и анализа полученных данных был сделан вывод о том, что дистанционные методы обеспечивают объективную и оперативную информацию о естественном состоянии природной среды и ее нарушениях

хозяйственной деятельностью. Были выявлены значительные возможности материалов аэрофото-и экспериментальных тепловых съемок, которые позволяют, в частности: выявлять площади с нарушенным почвенным и растительным покровом, с измененным рельефом в результате разработки месторождений полезных ископаемых; выявлять массивы почв, нарушенных в результате деятельности водной и ветровой эрозии; проводить учет лесов и болотных массивов, поврежденных пожарами, а также вырубков разных типов и возрастов и контролировать их состояние; выявлять наличие загрязнения водных бассейнов выносами взмученных вод разного генезиса, в том числе промышленными стоками, и проследить пути их перемещения при разных гидродинамических условиях; выявлять соотношение типов землепользования и т. д.

В дальнейшем большое внимание уделялось изучению динамики природной среды, как ритмичным изменениям, так и сукцессиям. Была разработана методика изучения и прогнозирования пространственно-временных изменений природной среды на основе сопоставления разновременных МАКС. Комплексные экологические исследования были выполнены на Волжских, Днепровском и Красноярском водохранилищах, где проводился анализ состояния береговой зоны и были установлены ее изменения за 30 лет.

Впервые на основе анализа состояния природной среды Ленинградской области был сделан вывод о необходимости организации мониторинга территориального значения, существенной частью которого должны стать дистанционные методы. Определены, что особенно важно для исследователей-практиков, основные требования к МАКС, используемым для этих целей. Было дано одно из первых определений аэрокосмического мониторинга, под которым понималась система регламентированных повторных наблюдений, основанная на использовании дистанционных методов сбора информации. Учитывая взаимосвязь и взаимозависимость в природе, была высказана правильная мысль о целесообразности организации мониторинга природной среды, а не

только геологической, которая является составной частью первой.

В дальнейшем эти разработки получили продолжение, и аэрокосмический мониторинг геологической среды (АКМГС) предусматривался программой «Литомониторинг СССР», разработанной в начале 80-х годов. Целью этих исследований были оперативный контроль и оценка состояния геологической среды (ГС) и прогнозирование ее изменений под влиянием природных и техногенных факторов с целью управления происходящими процессами для рационального и безопасного в экологическом отношении природопользования [7]. Объектом АКМГС являлась изменяющаяся часть геологической среды, прямо или косвенно отражающаяся на МАКС, а также природные и техногенные факторы, оказывающие влияние на ГС и ее современное состояние. Работы предполагалось вести на 15 опорных и 21 отраслевых полигонах, которые расположены практически по всей территории СССР, в районах интенсивной хозяйственной деятельности и перспективного освоения. Планировалось проведение широкого комплекса экспериментальных, опытно-методических и опытно-производственных исследований с использованием МАКС разных видов и уровней генерализации.

Состав и содержание отчетных документов определялись характером работ, с обязательным представлением следующих материалов:

- отчета, набора специализированных карт, составленных по МАКС;

- аннотированных снимков тестовых объектов;

- данных наземных исследований;

- таблиц индикаторов и дешифровочных признаков объектов АКМГС.

В обзоре, посвященном предварительным итогам исследований по АКМГС, отмечают следующие недостатки: неразработанность понятийного аппарата точных формулировок исходных концепций, специфики в разных природных зонах и для различных народнохозяйственных объектов, а также, как и при природоохранных работах, неоднородность методик, отсутствие типовых легенд, неоднозначность подхода к картографическому отображению результатов [3].

Работы не получили широкого развития из-за ряда причин, и в настоящее время их проводит в основном ГНПП «Аэрогеология» в нефтедобывающих районах Западной Сибири, КМА, Московской области, Кольском полуострове и других районах России, ис-

пользуя архивные МАКС. Некоторые результаты приведены в работах [1, 2].

В конце 80-х годов Мингео СССР начало проводить, как сопутствующие в составе ГСР и ГДП-200, геоэкологическое картирование, общие требования к которым изложены в работе [10]. С 1991 г. геоэкологические исследования и картографирование (ГЭИК) масштабов 1:1 000 000, 1:200 000, 1:50 000, как отдельный вид работ, проводятся комитетом Российской Федерации по геологии и использованию недр по целевой программе «Геоэкология России», целью которых является оценка и прогнозирование экологического состояния геосистем различных иерархических уровней путем выявления и изучения природно-геологических особенностей и техногенных изменений геологической среды на базе разномасштабного геолого-экологического картирования и комплексного геоэкологического мониторинга, и на этом основании разработка рекомендаций по научно обоснованному рациональному природопользованию и природоохранным мероприятиям [9].

В настоящее время ГЭИК с использованием МАКС проводятся как государственными организациями различных министерств и ведомств (в рамках федеральных программ), так и негосударственными (для решения частных задач). Они охватывают разные виды работ:

- 1) геоэкологическое картографирование: мелкомасштабное 1:1 000 000 (1:500 000), среднемасштабное 1:200 000 (1:100 000), крупномасштабное 1:50 000 (1:25 000);

- 2) геоэкологическая разведка с проведением детальных ГЭИК (1:100 000—1:10 000);

- 3) специализированные, для решения частных задач. Для их проведения разработаны требования, где изложены цели, задачи, объекты, методы и виды исследований [12—14].

В целом задачами ГЭИК, решаемыми с помощью МАКС, являются: выявление источников загрязнений и других объектов, воздействующих на ГС, а также характера и зон их влияния; оценка состояния, динамики, выявление тенденций и прогноз техногенных изменений ГС; выявление экологически опасных территорий; обоснование рекомендаций по оптимальному проектированию полевых инженерно-геологических, геохимических, геоморфологических и других исследований для целей ГЭИК. В результате работ составляется комплект карт, набор которых определяется степенью техногенной нагрузки в конкретных природных условиях (в т. ч. состояния ГС, техногенной

нагрузки, динамики и прогноза изменений ГС и др.).

В общем комплексе исследований — аэрокосмические занимают важное место, являясь необходимым инструментом изучения ГС, а часто и информационной основой для проектирования и постановки других видов работ. Значение роли МАКС повышается с расширением и углублением исследований влияния естественных и, особенно, техногенных факторов на ГС, на условия обитания человека. Кроме этого, как отмечает М.В.Кочетков, в связи с большим объемом геоэкологического картографирования, недостатком средств на проведение наземных работ в больших объемах, возрастает роль аэрокосмических методов геоэкологических исследований, особенной комплексной интерпретацией аэрокосмоснимков с целью оценки экологического состояния отдельных районов и объектов [5].

Опыт показывает, что аэрокосмические методы имеют определенные преимущества перед другими в том, что они носят неразрушительный для природы характер дистанционной регистрации и позволяют объективно и одновременно на больших площадях регистрировать и обобщать разные формы воздействия человека на природу. Изучение разновременных снимков той или иной территории позволяет проследить динамику и прогнозировать пространственно-временные изменения ГС и ее компонентов на определенное будущее, а также давать рекомендации по предотвращению неблагоприятных последствий. Выбор необходимого и достаточного для обеспечения ГЭИК комплекта МАКС зависит от масштабов работ, геолого-ландшафтных условий, а также видов природных и техногенных факторов и процессов, негативно влияющих на ГС изучаемой территории.

Как показывает анализ опубликованных данных, к настоящему времени в применении МАКС уже хорошо различаются два направления. Первое, традиционное, связано с использованием черно-белых и спектрональных МАКС фотографических систем, которые успешно используются при хорошо разработанных визуально-инструментальных методах дешифрирования, а также составления тематических карт на основе ландшафтно-индикационного подхода. Эти методы пока являются основными при ГЭИК, что показывают материалы совещаний [1, 2, 10, 16].

Появление цифровой сканерной много-спектральной оперативной аэрокосмической информации, а также возможность цифрования фотоснимков, и широкое привлечение

к их обработке ЭВМ, в т. ч. персональных компьютеров и рабочих станций, привело к разработке другого, более прогрессивного направления — ГИС-технологий, как инструмента проведения ГЭИК на современном уровне. Важными составляющими ГИС являются банки аэрокосмических и картографических данных, и базы знаний, включающие информацию в основном геолого-географического характера в текстовой, графической, табличной и других формах. Однако, для использования МАКС в ГИС для геоэкологических исследований они должны отвечать определенным требованиям, в том числе:

- возможности цифрования фотоснимков без потери информативности;

- способности выдерживать значительные увеличения в масштабе для использования в разномасштабных исследованиях;

- возможности трансформирования в картографическую проекцию для совмещения с картографическими материалами.

Разработками этого направления занимаются во ВНИИКАМ, МГУ, СПбГУ, Госцентре «Природа», ВНИИГеосистем, ГНПП «Аэрогеология», НПО «Планета» и др., причем число организаций-разработчиков разных форм собственности растет, о чем свидетельствует материалы Всероссийского форума «ГИС-94» [6].

Из доступных МАКС, наиболее экономически и информационно целесообразно использовать космические снимки, имеющиеся в Госцентре «Природа» (снятые фотокамерами КФА-1000, МК-4, КАТЭ-140), в ассоциации «Совинформспутник» (снятые камерой высокого разрешения КВР-1000 и топографической камерой ТК-350), а также в НПО «Планета» (МСУ-СК и МСУ-Э).

Материалы космической РЛ-съемки «Алмаз-1» не нашли пока широкого практического применения в результате технологических сложностей обработки данных в цифровой форме, хотя имеется опыт их использования в виде фотоотпечатков. Результаты дешифрирования показывают, что они дают прирост структурной и геоэкологической информации, по сравнению с космическими фотоснимками, особенно в таежных и арктических районах России [1,2]. Пока продолжаются эксперименты по их обработке на ЭВМ с целью улучшения изобразительных свойств и устранения технических шумов.

Определенные надежды связываются с материалами многочастотной РЛ-аэросъемки (в сантиметровом и метровом диапазонах), однако из-за дороговизны проведения

летних экспериментов, исследования пока не получили развития.

Материалы тепловых аэро-и космических съемок применяются в основном для выявления источников и ареалов загрязнений водных объектов, например сбросов АЭС и т. д. [15].

В целом необходимо отметить постоянное подорожание аэросъемочных работ, что затрудняет проведение полноценных АКМГС и ГЭИК на локальном и детальном уровнях.

Анализ изданных и находящихся в отчетах геоэкологических (экогеологических) карт показывает, что МАКС еще не нашли своего достойного применения при ГЭИК, и их возможности далеко не исчерпаны. А использование снимков в ГИС-технологиях еще находится в России в стадии опытно-методических работ [4].

В связи с этим, по заданию Роскомнедра РФ во ВНИИКАМ была проведена разработка методических рекомендаций по применению МАКС при ГЭИК, в основу которых была положена технологическая схема, включающая следующие этапы: определение цели, постановка задач, формирование базы знаний, анализ геоэкологической ситуации, определение требований к исходным аэрокосмическим и картографическим материалам, формирование банка аэрокосмических и картографических материалов, предварительная обработка материалов, дешифрирование МАКС, обработка и геоэкологическая интерпретация результатов дешифрирования МАКС, определение задач наземной проверки дешифрирования (НПД), проведение НПД, обработка и анализ результатов НПД, редактирование схематических карт геоэкологического содержания, подготовка отчета и практических рекомендаций. Проведенные исследования показали необходимость более широкого привлечения разнородной и разноуровневой информации, особенно интересным представляется сочетание снимков многоспектральных и высокого разрешения, например OPS JERS-1 и КФА-1000. Обработку данных возможно производить только с использованием высокопроизводительной компьютерной техники: персональных компьютеров 386 и 486, рабочих станций. Их наличие позволяет применять ГИС-технологии на базе ГИС — ARC INFO, ERDAS и др., обеспечивающих проведение интерактивной и, частично автоматизированной, обработки и дешифрирования МАКС, геоэкологической интерпретации полученных материалов с привлечением геолого-ландшафт-

ных данных с последующим составлением карт (схем) геоэкологического содержания. Последние годы такие опытные работы во ВНИИКАМ проводятся и являются одним из перспективных направлений для обеспечения проведения ГЭИК на современном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аэрокосмические методы геологических и экологических исследований* //Тез. докл. Междунар. конф. 30 мая — 4 июня 1994 г. — С.-Пб., 1994.
2. *Аэрокосмические методы при геоэкологическом картографировании и ведении мониторинга геологической среды* //Тез. докл. Всероссийского совещания 27 сентября — 1 октября 1993 г. — М., 1993.
3. Викторов А. С., Викторов С. В., Садов А. В. *Аэрокосмический мониторинг геологической среды: Обзор ВИЭМС.* — М., 1990.
4. *Геоинформационные системы с дистанционным потоком информации.* — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990.
5. Кочетков М. В. Задачи геоэкологического картографирования //Программа совещания «Аэрокосмические методы при геоэкологическом картографировании и ведении мониторинга геологической среды» — М., 1993. С. 3-4.
6. *Материалы Всероссийского форума «Геоинформационные технологии. Управление. Природопользование. Бизнес.»* Москва 6-11 июня 1994. — М., 1994.
7. *Основные положения по организации и проведению работ на полигонах аэрокосмического мониторинга геологической среды (АКМГС).* — М.: ВСЕГИНГЕО, 1989.
8. Попова Т. А. Становление экологического направления в исследованиях института космоаэрогеологических методов (ВНИИКАМ) //Тез. докл. Междунар. конф. «Аэрокосмические методы геологических и экологических исследований», 30 мая — 4 июня 1994г. — С.-Пб., 1994. С. 26-28.
9. *Программа геолого-экологических исследований территории РСФСР на 1991-1995 гг. и до 2005 г.* (научно-исследовательские, опытно-конструкторские, опытно-методические и производственные работы) «Геоэкология России» — М., 1991.
10. *Системный наземно-аэрокосмоэкологический мониторинг* //Тез. докл. по научно-практической конференции, 14-16 мая 1991. — Свердловск, 1991.
11. *Содержание и рекомендации проведения средне-масштабного геолого-экологического картирования* / В. В. Масленников, А. Б. Чижов, А. Ф. Морозов и др. //Геоэкологические исследования и охрана недр. 1992. Вып. 1. С. 34-42.
12. *Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию.* Масштаб 1:50 000-1:25 000 — М.: ВСЕГИНГЕО, 1990.
13. *Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию.* Масштаб 1:200 000 — 1:100 000. М.: ВСЕГИНГЕО, 1990.
14. *Требования к геолого-экологическим исследованиям и картографированию.* Масштаб 1:1 000 000 — 1:500 000. — М.: ВСЕГИНГЕО, 1990.
15. Шилин Б. В., Молодчинин И. А. Контроль состояния окружающей среды тепловой аэросъемкой. — М.: Недра, 1992.
16. *Экологическое картографирование природной среды на основе материалов дистанционного зондирования* /Научно-технический сборник по геодезии, аэрокосмическим съемкам и картографированию. — М., 1992.

Становление экологического направления в исследованиях ВНИИКАМ

Т. А. ПОПОВА

Экология — система биологических дисциплин, изучающих связи живых организмов с условиями их обитания, с окружающей средой, — получила в последние 20—30 лет новый стимул к активному развитию. Этому способствовали региональные и глобальные неблагоприятные изменения природной среды под влиянием антропо- и техногенеза, рост катастрофических последствий загрязнения среды обитания, нарушения равновесия в природных взаимосвязях, в результате чего снизилась способность природы к самоочищению и восстановлению. Проявился повышенный интерес к экологии со стороны исследователей разного профиля, нередко далеких от понимания экологии, и широких масс населения, что имеет положительные и отрицательные последствия. Экология как наука претерпела значительные изменения. Со времен Э. Геккеля, который ввел понятие экологии в 1866 г., на протяжении столетия изучались преимущественно взаимоотношения растений и животных со средой обитания на организменном уровне. В настоящее время ведутся многоплановые исследования на молекулярном, организменном, популяционном и ценоотическом уровнях. Повышенный интерес наблюдается к экологии человека. Формируются узкие направления, такие как геоэкология, рассматривающие геологические факторы среды обитания.

Во ВНИИКАМ, несмотря на геологическую ориентировку, развитие широкого экологического направления происходило очень естественно. Этому способствовали установки академика А. Е. Ферсмана и члена-корреспондента Н. Г. Келля, ориентировавшихся на всестороннее изучение природной среды. Базой для экологических исследований служили комплексные работы: по изучению закономерностей формирования изображения на материалах различных видов съемок — фотографической, многозональной, радиолокационной, тепловой; по разработке теории дешифрирования, выявлению косвенных и комплексных признаков дешифрирования. В конце 50-х годов, когда в московской школе господствовало индикационное дешифрирование, особенно геоботаническое с составлением карт распространения видов-индикаторов, во ВНИИКАМ (в бывших ЛАЭР-ЛАЭМ) разрабатывались

ландшафтные подходы к познанию взаимосвязей между компонентами природной среды и к интерпретации изображений на съемочных материалах.

Обширные комплексные исследования, в различных географических зонах, с различными целями, проводились группами под руководством Г. Я. Мейера, В. П. Мирошниченко, Н. Н. Соколова, В. В. Шаркова.

Классическим воплощением комплексности явились производственные работы, направленные на обоснование оросительной системы и рационального природопользования, в 1961 г. в Калмыкии. За один сезон были составлены карты на площадь более четырех сотысячных листов: геоботаническая, почвенная [1], геоморфологическая [5], гидрогеологические — глубин залегания и минерализации грунтовых вод [6,7]. При этом были разработаны и усовершенствованы методы комплексного профилирования, эталонирования, внутриландшафтной экстраполяции, ландшафтного анализа и тематического картирования на основе материалов аэрофотосъемки [8,22].

Отдавая должное сделанному в указанный период, следует сказать, что исследования еще не являлись экологическими, поскольку не преследовали задачу познания взаимодействия живых организмов со средой обитания. Такая цель появилась с момента постановки в 1976 г. тематики, направленной на решение практических природоохранных задач. С этого времени акцент в исследованиях был сделан на экосистемы и их биотическую составляющую. Группа энтузиастов (почвовед Н.Н.Семенова, геоморфолог Л.И.Березкина, геоботаники Е.В.Леонтьева и Т.В.Наумова, картограф Ф.С.Зубенко, океанолог В.В.Фельдштейн) под руководством автора данной статьи на протяжении последующих лет развивала экологическое направление. К сожалению, почти все работы были заказными, носили практический характер и не позволяли планировать исследования на длительный срок и в необходимой последовательности, а также ставить их с желаемой глубиной.

На первом этапе исследований в природоохранных целях были выявлены актуальные для Северо-Запада РСФСР задачи, которые с помощью дистанционных съемок решаются объективнее, быстрее и экономичнее, чем

традиционными наземными методами. В дальнейшем работы выполнялись параллельно по двум направлениям: изучение экосистем, наиболее полно сохранивших естественные черты и требующих охраны; изучение экосистем претерпевших изменения в результате различных видов деятельности человека.

Одной из работ первого направления было изучение природы Юго-Восточного Приладожья — территории привлекающей внимание орнитологов как стоянка многочисленных видов птиц на беломорско-балтийском пути весеннего и осеннего пролета. Обширная площадь, значительная часть которой труднопроходима, была покрыта среднемасштабной аэрофотосъемкой, пересечена маршрутами многозональной съемки, выборочно обследована в натуре и закартирована. Комплект тематических карт м-ба 1:50 000 (геоморфологическая, почвенная, геоботаническая, ландшафтная) с крупномасштабными врезками и общая характеристика природных условий дали возможность совместно со специалистами других организаций составить обоснование и добиться создания первого и единственного до настоящего времени заповедника в Ленинградской области — Нижнесвирского [21].

Позднее с использованием материалов дистанционных съемок (МДС) обследованы разнообразные экосистемы, предложенные в качестве особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Среди них заказники и памятники природы — «Выборгский», «Мшинский», «Раковые озера», «Мелководное», «Щелейка» и др. Результаты этих работ, как и работ по антропогенно нарушенным территориям и источникам загрязнения, переданы в Институт градостроительства для использования в Комплексной схеме охраны природы Ленинградской области до 2005 года. Общие методические рекомендации по использованию МДС при разработке Территориальных комплексных схем охраны природы переданы в Центральный институт градостроительства. Данные обследования экосистемы Раковых озер с крупномасштабными картами представлены в Ленгипроводхоз для обоснования проектных работ.

В процессе изучения ООПТ выработались представления о рациональном подходе к выделению и проектированию охраняемых территорий на базе анализа МДС. Несомненно, что это должны быть не случайные объекты, а целостная система [12,18]. Эффективно выбранные заказники, памятники природы, заповедники соединены в системе зелеными коридорами, что обеспечивает

максимальную сохранность мигрирующих видов. Определение степени сохранности территории, возможность ее защиты от вредных воздействий, разработка режимов природопользования, создание полноценных паспортов на ООПТ, тематическое картирование — все это наиболее рационально выполняется при наличии полноценных МДС. Реализовать высказанные идеи мы попытались на примере национального парка [16].

Юго-восточная окраина Ленинградской области захватывает водораздел двух крупнейших водосборных бассейнов — Балтийского и Каспийского, выполняет важнейшую водорегулирующую функцию, значительно меньше освоена, чем другие районы области, и местами сохранила естественную флору, растительность и фауну. На базе специально выполненной аэрофотосъемки м-ба 1:50 000, фрагментов м-ба 1:10 000 и ретроспективных материалов проведены природно-ресурсный анализ, функциональное зонирование и эколого-экономическое обоснование создания на территории в 3000 км² национального парка «Вепский лес». В настоящее время проектировщики по нашим материалам разрабатывают технико-экономическое обоснование парка.

По второму направлению изучались разнообразные проявления изменений природной обстановки и преобразования экосистем под влиянием промышленных предприятий, сельскохозяйственной и лесохозяйственной деятельности, гидротехнических сооружений, градостроительства.

Установлено, что многие нарушения природной среды, вызванные антропогенными факторами, отражаются на различных видах МДС. Комплекс МДС — фотографических, многозональных и многоспектральных, радиолокационных, тепловых — обеспечивает получение обширной информации, заключенной в данных о спектральных яркостях, тепловых аномалиях, шероховатости поверхности, электропроводности и т.д. Фиксируются загрязнения акваторий нефтепродуктами, отходами целлюлозно-бумажного производства, бытовыми стоками, взмученными донными отложениями. Регистрируются нарушения, обусловленные неправильным землепользованием в эрозийно опасных и закарстованных районах, неправильным выбором территорий под мелиорацию, нерациональным планированием мелиоративной сети, аварийными выбросами отходов животноводческих комплексов и промышленных объектов, отклонениями в технологии рекультивации районов разработки полезных ископаемых.

Возможность оконтуривать зоны нарушенной природной среды на разного типа снимках и синтез результатов дешифрирования на жесткой основе — уточненных фотосхемах — позволили перейти к картированию источников и ареалов нарушений экосистем, к картам современного состояния природной среды [4,9,10].

Важным этапом в работах по второму направлению были исследования водной экосистемы — Ладожское озеро — р. Нева — Финский залив, в которых участвовали более 30 организаций под эгидой Гидрологического института. Основная цель исследований — установление в состоянии экосистемы изменений, обусловленных антропогенной деятельностью и особенно строительством сооружений защиты Санкт-Петербурга от наводнений. Предполагалось, что итогом работ будут предложения по корректировке проектных решений направленных на снижение экологически опасных явлений.

Экологическая группа ВНИИКАМ решала широкий круг вопросов, основываясь на проведении специальных аэрофотосъемочных работ, аэровизуальных и натурных наблюдениях, использовании материалов космических съемок. В результате были выявлены многочисленные источники загрязнения акватории, зафиксированы пути переноса шлейфов загрязнения и их трансформации под влиянием синоптических условий и в зависимости от технологических режимов, оконтурены застойные зоны, закартирована прибрежно-водная растительность в Невской губе и вдоль южного берега Ладожского озера [4]. Разработаны методические приемы дешифрирования и картирования прибрежно-водной растительности и ряда других объектов, определены технические и природные условия оптимальной съемки объектов [14,19].

При исследовании водных экосистем недостаточно изучать акватории в отрыве от их водосборных бассейнов. В связи с этим был изучен один частный водосбор — р. Оять. Оценка комплекса условий — удаленности полей от главного и второстепенных водотоков, уклонов, экспозиций, изрезанности рельефа, литологии четвертичных отложений, сохранности естественного растительного покрова — позволила установить характер выноса твердых веществ (а в их составе минеральных и органических удобрений, пестицидов, гербицидов, тяжелых металлов) с поверхностным стоком и определить долю участия бассейна р. Ояти в загрязнении и эвтрофировании Ладожского озера. В целом МДС показали значитель-

ные изменения в состоянии водной экосистемы и особенно в Невской губе, которая на стадии строительства защитных сооружений превратилась почти в замкнутый водоем с измененными световым, температурным, гидрохимическим и гидродинамическим режимами существования биоты. На основании наблюдений проектировщикам было предложено расширить водопропускные ворота в защитных сооружениях, вынести выпуски северных очистных сооружений в Финский залив за пределы дамбы, создать водоохранные зоны и ликвидировать основные крупные источники загрязнения не только в акватории, но и на водосборной поверхности.

Антропогенно нарушенные экосистемы изучались в горнодобывающих районах Ленинградской области — на территориях шахтной добычи горючих сланцев [10] и открытой добычи бокситов [9], в лесопромышленных районах, промышленных зонах, в частности в зонах влияния целлюлозно-бумажных комбинатов, в районах интенсивного сельскохозяйственного освоения [20].

Выводы по антропогенным изменениям экосистем Ленинградской области и рекомендации по стабилизирующим мероприятиям передавались в административные органы и использовались в работе экспертной комиссии Ленинградского отделения общества охраны природы, рассматривавшей землеотводные дела земельной комиссии [13].

Существенный этап в развитии экологического направления — изучение динамики природной среды. Наибольший интерес в этом отношении представляли натурные исследования и аэрофотосъемка ключевых участков на Куйбышевском водохранилище, выполненные в 1956—1960 и повторно в 1986—1988 гг. Наземные исследования на основе аэрофотоснимков позволили установить изменения, которые произошли на берегах водохранилища за истекший период, т. е. за 30 лет. Проведена типизация берегов, определены величины размыва и аккумуляции на различных участках, проанализировано состояние сооружений берегозащиты, проведен анализ землепользований в пределах склоновых поверхностей, установлены оползневые явления — новые и участки обновления старых. Внесены коррективы в предыдущие прогнозы [3].

В связи с катастрофическими паводками в 1991 г. возникла необходимость срочного обобщения данных по состоянию Волжско-Камского каскада водохранилищ. В течение полугода были собраны МДС на девять водохранилищ — Рыбинское, Горьковское, Волгоградское, Саратовское, Куйбышев-

ское, Нижнекамское, Верхнекамское, Воткинское, Чебоксарское и по разработанной методике составлена карта м-ба 1:1 000 000 с показом типов берегов, величин абразии и аккумуляции.

Суточная, погодная, сезонная и циклическая ритмика и коренные смены в экосистемах изучались на участках, характеризующихся разными ландшафтными условиями. Предложены общая технологическая схема и некоторые методические приемы выявления смен. Постановке широкоплановых производственных работ в целях прогноза и управления природными процессами препятствует недостаточное количество базовых материалов. Необходима организация мониторинга природной среды. Для наблюдения за динамикой экосистем, т. е. на ценотическом уровне, наиболее рационален аэрокосмический мониторинг природной среды (АКМПС). Под последним нами понимается система регламентированных наблюдений за природной средой, за составляющими ее экосистемами на основе дистанционной информации, получаемой с помощью набора датчиков, размещенных на воздушных и космических носителях.

В задачи АКМПС входят: сбор информации о многокомпонентной природной среде, экосистемах разных рангов; хранение информации в упорядоченном виде (создание баз знаний и банков данных); обработка информации и создание оперативных (сигнальных) карт; сравнение данных с ретроспективными в целях регистрации изменений в виде обобщенной синтезированной карты; прогноз последствий природных и спровоцированных деятельностью человека процессов. Первой, подготовительной к мониторингу, стадией является инвентаризация, в ходе которой создаются базовые карты современного состояния природной среды [4,9,10].

В соответствии с иерархическими рангами экосистем предусмотрены шесть уровней АКМПС, которые хорошо корреспондируют с масштабным рядом МДС. Экспериментальные работы по мониторингу осуществлялись на региональном, субрегиональном, локальном и детальном уровнях, преимущественно на территории Ленинградской области. На полигонах, полигонных участках и площадках выполнено базовое картирование, собраны первичные базы знаний и банки данных, установлены дешифровочные признаки естественных и антропогенных нарушений, разработаны требования к мониторингу, предложены типы оперативных и результирующих карт, разработана инте-

рактивная технология обработки МДС [2,11,15,17].

Реализация АКМПС позволит: планировать рациональное использование природных ресурсов, не допуская необратимых изменений природной среды; выбирать оптимальные приемы рекультивации нарушенных земель; планировать природоохранные мероприятия; инвентаризировать источники загрязнения и нарушения природной среды, картировать ареалы нарушения; контролировать залповые выбросы вредных отходов, следить за путями их перемещения в водной среде; контролировать состояние свалок, отстойников, терриконов и обнаруживать места возможных утечек, а следовательно, своевременно устранять их; изучать динамику и ритмику процессов, прогнозировать их дальнейшее развитие. Мониторинг дает ценный материал для типизации земель и водных бассейнов, создания кадастров, паспортизации источников загрязнения. В процессе АКМПС исследователи имеют дело с огромным объемом информации, поэтому необходимо разрабатывать геоинформационные системы и с помощью компьютерной техники увеличить оперативность обработки данных.

При изучении динамики экосистем сталкиваются и с трудностями другого рода. Как показали натурные исследования, в пределах геохимических аномалий и в ареалах высокого антропогенного загрязнения накопление вредных веществ в растениях в первую очередь проявляется на организменном уровне в виде терратологических изменений, пролиферации, отклонений в морфологии венчика и чашечки, в появлении новообразований, изменении окраски. На ценотическом уровне изменения регистрируются после стрессового порога и труднее фиксируются.

Появление в зарубежной литературе данных о «голубом сдвиге» (смещении длинноволнового края зоны поглощения хлорофилла в сторону коротких волн) у растений, находящихся в стрессовом состоянии, вселило надежду на возможность фиксировать стрессовое состояние их с помощью модернизированных спектрофотометров. Первый эксперимент был выполнен на озимой пшенице, выращенной в чашках Петри на искусственных средах с разными концентрациями солей тяжелых металлов. Измерения спектральных коэффициентов яркости (СКЯ) показали наличие «голубого сдвига» в диапазоне 700—755 нм.

Следующий эксперимент осуществлен в контролируемых условиях полигона «Биотрон» в Кишиневе. Экспериментальное расте-

ние (соя) выращивалось на многочисленных площадках, часть которых являлась контрольной, часть — опытной. На опытных площадках создавались условия с разными концентрациями цинка, меди, свинца. В течение всего вегетационного периода определялись содержания металлов в почве и растениях, измерялись спектральные характеристики спектрофотометром ПСФ, лабораторным спектрофотометром Specord M 40 и флюориметром Hitachi. При измерении СКЯ обнаружено, что при повышении концентрации меди и свинца в сое наблюдаются изменения в спектральном отражении посевов.

Выполнены наблюдения и в естественных природных условиях. Совершенно очевидно, что в ряде случаев с помощью спектрофотометрии можно регистрировать более ранние стадии стрессового состояния. Необходимо совершенствовать технические средства, позволяющие регистрировать СКЯ в узких диапазонах спектра, и проводить тщательно спланированные эксперименты.

В процессе перечисленных работ выработалось широкое экологическое направление исследований. Именно оно обеспечило выполнение актуальных практических задач природопользования. Направление привлекло внимание многих исследовательских коллективов. Результаты методических и практических разработок докладывались на многочисленных совещаниях, съездах, симпозиумах и форумах, представлялись на выставках, что способствовало развитию экологических работ как в области, так и в стране.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавилов Е. И., Кузнецов В. В., Семенова Н. Н. Почвенно-мелиоративное картирование на основе материалов аэрофотосъемки в Сарпинской низменности // Опыт картирования растительности и почв по аэроснимкам. Л., 1964. С. 147-162.
2. Гусев Н. А., Мальцева И. Г., Попова Т. А. и др. Оценка частоты космической съемки высокого разрешения, необходимой для эффективного использования снимков. — Л., 1988. Деп. в ВИНТИ, № 10585.
3. Динамика ландшафтов в зоне влияния Куйбышевского водохранилища / Под ред. В. Г. Беспалова, Ф. М. Фирсенковой. — С.-Пб.: Наука. 1991.
4. Зубенко Ф. С., Попова Т. А. Карты-схемы антропогенной нарушенности акватории Невской губы // Атлас геоэкологических карт Северо-Западного региона РСФСР. — Л., 1990. С. 28, 29, 54.
5. Можая В. Г. Геоморфологическое картирование при почвенно-мелиоративных исследованиях с использованием материалов аэрофотосъемки // Опыт картирования растительности и почв по аэроснимкам. — Л., 1964. С. 132-146.
6. Нефедов К. Е. О гидрогеологическом картировании по материалам аэрофотосъемки // Докл. АН СССР. 1963. Т. 148, № 3. С. 676-678.
7. Нефедов К. Е. Картирование грунтовых вод при

- почвенно-мелиоративных исследованиях в полупустынных районах Прикаспия на основе материалов аэрофотосъемки // Опыт картирования растительности и почв по аэроснимкам. Л., 1964. С. 121-131.
8. Нефедов К. Е., Попова Т. А. Дешифрирование грунтовых вод по аэрофотоснимкам. — Л.: Гидрометеиздат. 1969.
 9. Попова Т. А., Леонтьева Е. В., Семенова Н. Н. Карта антропогенной нарушенности экосистем Бокситогорского горнодобывающего района // Атлас геоэкологических карт Северо-Западного региона РСФСР. — Л., 1990. С. 3-4, 44-45.
 10. Попова Т. А., Леонтьева Е. В., Семенова Н. Н. Карта антропогенной нарушенности экосистем Сланцевского горнодобывающего района // Атлас геоэкологических карт Северо-Западного региона РСФСР. Л., 1990. С. 5-6, 45-46.
 11. Попова Т. А., Зубенко Ф. С., Леонтьева Е. В. и др. Обоснование системного наземно-аэрокосмоэкологического мониторинга природной среды на примере Ленинградской области // Науч.-практич. конф. Системный наземно-аэрокосмоэкологический мониторинг природной среды (Свердловск, 14-16 мая 1991 г.): Тез. докл. Свердловск, 1991. С. 23-25.
 12. Попова Т. А., Леонтьева Е. В., Наумова Т. В. и др. Дистанционные методы в обосновании и проектировании системы природоохранных территорий // Науч.-практич. конф. Системный наземно-аэрокосмоэкологический мониторинг природной среды. (Свердловск, 14-16 мая 1991 г.): Тез. докл. Свердловск, 1991. С. 210-211.
 13. Попова Т. А., Цвигов С. В. Роль дистанционных методов в экологической экспертизе // Науч.-практич. конф. Системный наземно-аэрокосмоэкологический мониторинг природной среды. (Свердловск, 14-16 мая 1991 г.): Тез. докл. Свердловск, 1991. С. 174-175.
 14. Попова Т. А. Закономерности распределения и динамики прибрежно-водной растительности в восточной части Финского залива по данным дистанционных съемок // IV межвед. конф. объектовой подсистемы «Океангеоресурсы»: Тез. докл. С.-Пб., 1991. С. 55.
 15. Попова Т. А., Семенова Н. Н., Леонтьева Е. В., Наумова Т. В. Использование дистанционных методов при экологическом мониторинге водоемов // Всерос. совещ. Аэрокосмические методы при геоэкологическом картографировании и ведении мониторинга геологической среды, 27 сент.—1 окт. 1993 г.: Тез. докл. М., 1993. С. 70-71.
 16. Попова Т. А., Семенова Н. Н., Леонтьева Е. В., Наумова Т. В. Природные национальные парки как полигоны регионального, локального и детального мониторинга // Всерос. совещ. Аэрокосмические методы при геоэкологическом картографировании и ведении мониторинга геологической среды, 27 сент.—1 окт. 1993 г.: Тез. докл. М., 1993. С. 58-59.
 17. Попова Т. А., Семенова Н. Н., Зубенко Ф. С. и др. Актуальность организации аэрокосмического мониторинга Ленинградского / Санкт-Петербургского / региона // Всерос. совещ. Аэрокосмические методы при геоэкологическом картографировании и ведении мониторинга геологической среды, 27 сент.—1 окт. 1993 г.: Тез. докл. М., 1993. С. 55-57.
 18. Попова Т. А., Леонтьева Е. В., Наумова Т. В., Семенова Н. Н. Дистанционные методы в проектировании системы охраняемых территорий // Междунар. конф. Аэрокосмические методы геологических и экологических исследований, 30 мая — 4 июня 1994 г.: Тез. докл. С.-Пб., 1994. С. 89-90.
 19. Попова Т. А., Наумова Т. В. Изучение прибрежно-водной растительности с помощью дистанционных методов // Междунар. конф. Аэрокосмические методы геологических и экологических исследований, 30 мая — 4 июня 1994 г.: Тез. докл. С.-Пб., 1994. С. 161.
 20. Семенова Н. Н. Выявление и оценка залежных

- сельскохозяйственных угодий по материалам аэро-
фотосъемки //Методические рекомендации по вы-
явлению массивов заброшенных пашен. Почвенный
институт им. В. В. Докучаева. М., 1990. С. 20-42.
21. *Скарлато О. А., Ипатюв В. С., Носков Г. А., Боч*
М. С.. Нижнесви́рский заповедник //Заповедники

европейской части РСФСР. М., 1988. Ч. I. С. 128-
151.

22. *Nefedov K. E., Popova T. A.* Deciphering of Ground-
water from Aerial Photographs. Published for the
National Aeronautics and Space Administration and the
National science Foundation, Washington, D. C. by
Amerind Publishing Co. Pvt. Ltd., New Delhi-1. 1972.

Особенности интеграции технологий географических информационных систем и дистанционного зондирования при изучении природных ресурсов

А. Н. РОГОВ

Длительное время технологии географических информационных систем (ГИС) и дистанционного зондирования развивались параллельно, не пересекаясь сколько-нибудь существенным образом. Однако за последние пять—шесть лет произошли серьезные изменения, были осознаны потенциальные возможности интеграции ГИС и дистанционного зондирования. Из конкретных инициатив в этом направлении сошлемся на серию конференций, спонсированных Национальным географическим центром США [6], европейскую научную программу *GISDATA* [8], наконец, на отечественный проект по созданию Геосистемы [3]. Выделяют четыре уровня использования аэрокосмической информации в ГИС, а именно [7]:

- исходные необработанные данные;
- снимки, трансформированные в картографическую проекцию;
- результаты совместной обработки снимков;
- информация, извлекаемая со снимков (например, результаты классификации объектов).

Одна из проблем, затрудняющих совместное использование в ГИС дистанционной и картографической информации, связана с разными формами ее представления при компьютерной обработке: растровой — для аэрокосмических и векторной — для картографических данных. В частности, возникают сложности при создании и ведении баз разнородных данных, при совместной интерпретации дистанционных и картографических материалов.

Затронутая тема очень обширна и многопланова, и нами не ставится задача осветить все ее аспекты, тем более что это уже сделано в обзоре [6]. Здесь рассмотрим существующие спутниковые съемочные системы, опишем программно-технологические средства для комплексной разнородных данных и прототип территориальной информационной системы, созданные в Инженерном центре аэрокосмической геоинформатики ВНИИКАМ.

Основой интеграции технологий ГИС и дистанционного зондирования являются методы моделирования объектов и процессов, в т.ч. метод геоиндикационного моделирования [1]. Современные авиационные и кос-

мические съемочные системы метрологически обеспечены и позволяют получать данные в цифровой форме, что существенно облегчает разработку эффективных методов комплексирования дистанционных и геолого-геофизических данных.

Отечественные спутниковые съемочные системы позволяют получать информацию в различных диапазонах спектра от видимого до радиоволнового (таблица). Причем по пространственному разрешению (до 2 м) отечественные фотографические системы не имеют аналогов в мире. Информация поступает как в цифровой форме на магнитной ленте, так и в аналоговой, зарегистрированная на фотопленке. В последнем случае необходимо выполнять ее цифрование с помощью прецизионного сканера. Из зарубежных систем отметим новый японский спутник *JERS-1*, оснащенный двумя сканерами (семь каналов) и радиолокационной системой с синтезированной апертурой.

Наиболее полно потенциальные возможности современных космических съемочных систем могут быть, на наш взгляд, реализованы с помощью моделирования на основе использования интеллектуальной ГИС, предложенной в работе [5]. Помимо традиционных для ГИС баз данных используются знания экспертов (библиотека моделей, база знаний), что позволяет осуществлять процесс моделирования методом последовательных приближений, добиваясь удовлетворения требований по критериям качества результата (рис. 1). Отметим, что такой процесс сопровождается оценкой стоимости каждой итерации.

Остановимся теперь на вопросах программно-технологической поддержки моделирования, которая осуществляется интегрированными ГИС, имеющими средства обработки изображений и совместного анализа данных в растровой и векторной форме. Интегрированная ГИС обеспечивает моделирование объектов и процессов на основе знаний и параметров, определяемых по аэрокосмическим, геофизическим, геохимическим и другим данным. Во ВНИИКАМ разработана программная система *RSdPS* для IBM PC под управлением MS DOS. Система *RSdPS* (рис. 2) предназначена для поддержки интерактивной и автоматизиро-

Спутниковые съемочные системы

Спутник прибор регистрация	Спектральные каналы, мкм	Пространст- венное разре- шение, м	Ширина поло- сы обзора, км	Примечания	
Метеорологический спутник серии «Метеор»					
МСУ СК-сканер цифровая	1/0,5-0,6 2/0,6-0,7 3/0,7-0,8 4/0,8-1,0	1000	1930	Съемка участка — дважды в день	
Спутник типа «Космос 1939» со сканирующими системами					
МСУ СК-сканер цифровая	1/0,5-0,6 2/0,6-0,7 3/0,7-0,8 4/0,8-1,0 5/10,3-11,8	175 600	600	Съемка участка с интерва- лом в 14 дней	
МСУ Э-сканер цифровая	1/0,5-0,6 2/0,6-0,7 3/0,8-0,9	34—35	45	Съемка участка с интерва- лом в 14 дней	
Спутник серии «Алмаз»					
Радиолокационная система цифровая	10 см	20	40	Доступны данные из архи- ва до следующего запуска спутника этой серии	
Спутник серии «Космос 1939» с фотографическими системами					
КАТЕ-140 фотокамера фотокамера высокого разрешения	0,5—0,7 0,5—0,7	30 10	450×450 200×300	Доступны данные из архи- ва до следующего запуска спутника этой серии	
КФА-1000 фотокамера с длинофо- кусным объективом фотокамера сверхвысо- кого разрешения	0,5—0,7 0,5—0,7	3—6 2	75×75 40×40		
Зарубежные спутники					
Landsat MSS (США) сканер цифровая	1/0,5-0,6 2/0,6-0,7 3/0,7-0,8 4/0,8-1,1	80	185		Съемка участка с интерва- лом в 16 дней
Landsat TM (США) сканер цифровая	1/0,45-0,52 2/0,52-0,60 3/0,63-0,69 4/0,76-0,90 5/1,55-1,75 6/10,4-12,5 7/2,08-2,35	30 120 30	185	Съемка участка с интерва- лом в 16 дней	
Spot (Франция) сканер цифровая	1/0,50-0,59 2/0,61-0,68 3/0,79-0,89 4/0,51-0,73	20	60 (120)	Съемка участка с интерва- лом в 5 дней	
NOAA AVHRR (США) сканер цифровая	1/0,55-0,9 2/0,725-1,1 3/3,55-3,93 4/10,5-11,5 5/11,5-12,5	1000	3000	Съемка участка с интерва- лом в 4 дней	
JERS-1 (Япония) OPS-сканеры цифровая	1/0,52-0,60 2/0,63-0,69 3/0,76-0,86 4/0,76-0,86 (визирование вперед) 5/1,60-1,71 6/2,01-2,12 7/2,13-2,25 8/2,27-2,40	18	75	Съемка участка с интерва- лом в 44 дней	
SAR-радар цифровая	23,5 см	18	75		

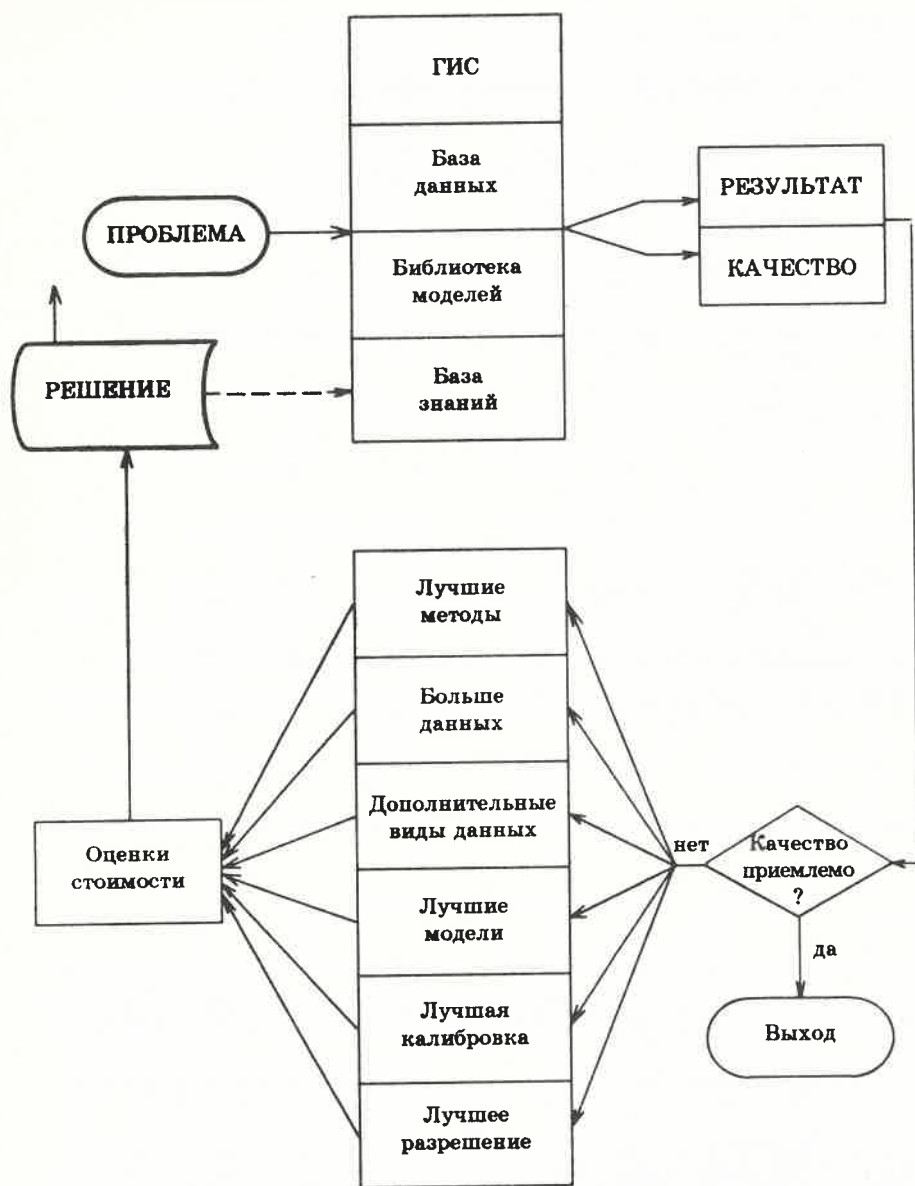


Рис. 1. Компоненты интеллектуальной ГИС с обратной связью [5]

ванной обработки материалов дистанционных съемок: аэро-и космических снимков (АКС), их комплексирования с другими слоями информации: топографической, геологической, геофизической и т. п. Система RSdPS работает с данными, представленными как в растровой, так и в векторной формах, обеспечивая различные формы их комплексирования и преобразования. С другой стороны, RSdPS не ставит перед собой задачу решения всех проблем ГИС. Акцент сделан на обработке растровых данных (в первую очередь АКС) и их комплексировании с векторной информацией. При боль-

ших объемах работы с данными в векторной форме может быть полезным объединение данной программы с векторными ГИС. Так же не ставилась задача решения задач геофизики или геохимии, поскольку для этой цели имеются специализированные программы.

RSdPS построена как система, управляемая разворачивающимися меню. В ней ведутся базы растровых и векторных данных как исходных, так и обработанных. Выбор данных на обработку возможен и из базы данных, и напрямую из файловой системы. При работе с меню используются широко распро-

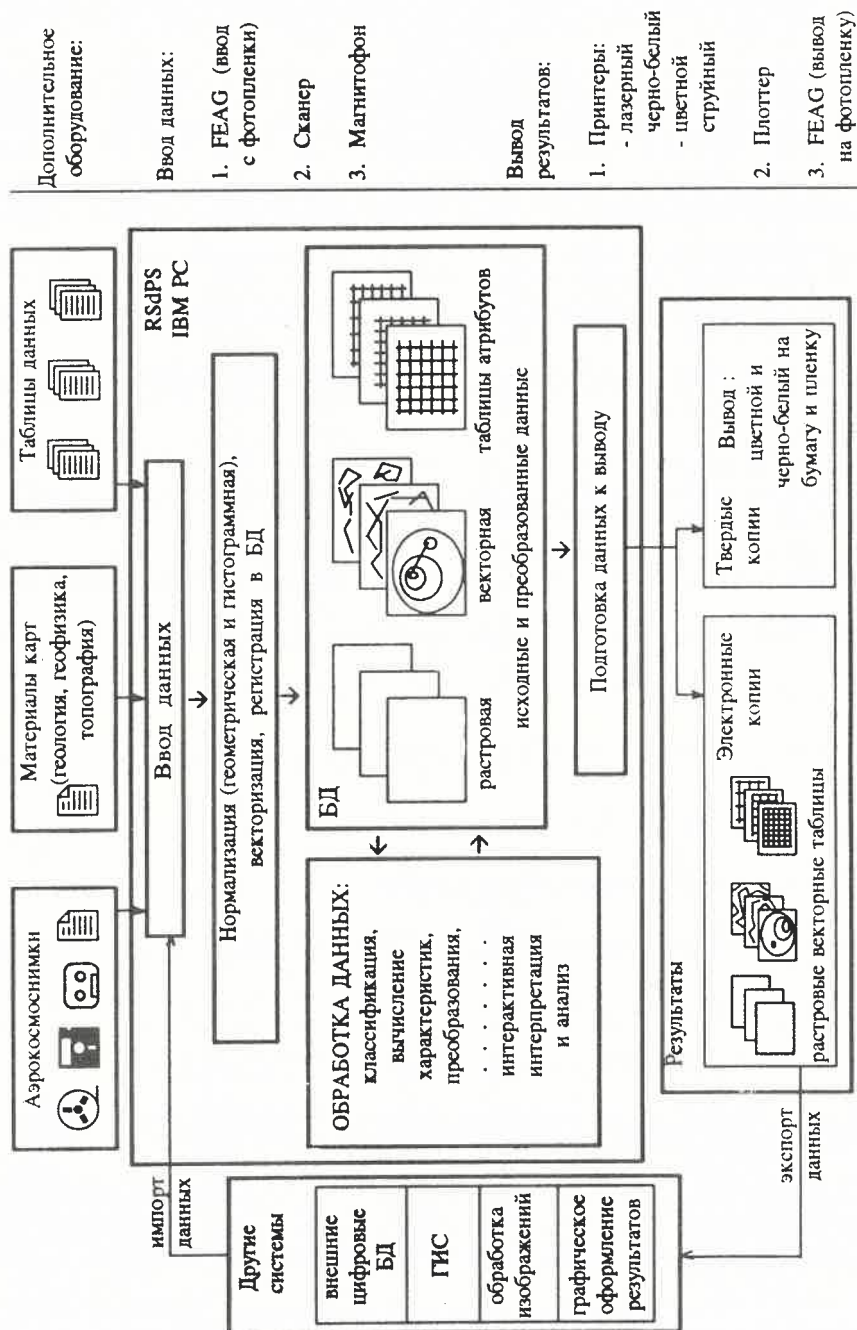


Рис. 2. Схема системы RSdPS

страненные средства управления: клавиши со стрелками, выбор по выделенной букве в тексте, мышка. Функции на обработку также выбираются из меню, а их параметры задаются с клавиатуры.

Основные технические характеристики аппаратно-программного обеспечения следующие:

IBM PC совместимый компьютер 386/387 или выше;

оперативная память от 640К, наличие расширенной памяти не обязательно, но позволяет ускорить работу ряда модулей;

монитор VGA, для более высококачественного показа черно-белых и цветных изображений используется IBM8514 совместимый монитор;

манипулятор-мышка;

комплекс программ занимает 3-4 Мб на жестком диске, при обработке под изображения требуется много больше места: от нескольких единиц до десятков и сотен мегабайт;

обрабатываться могут изображения до 16000 пиксел в строке (в нескольких модулях есть более жесткие ограничения, которые оговариваются особо);

ввод изображений возможен со сканера в TIF-формате, с магнитных лент (космические снимки в цифровой форме), либо с любого другого IBM PC совместимого носителя;

вывод поддерживается на принтеры: 9-игольчатый мозаичный; лазерный (HP LaserJet II совместимый) и на плоттер (HPGL совместимый);

Программа поддерживает работу с растровыми и векторными данными. Для растровых используется байтовый формат: черно-белое изображение с 256 градациями, байт на пиксел, пиксел за пикселем в строке, строка за строкой, без заголовков и любой другой управляющей информации. В ряде модулей поддерживается работа с различными вариантами TIF-формата, предусмотрено преобразование TIF-файлов в байтовый формат и обратно. Для векторных данных (контурных, точечных и площадных) используется собственный формат. Предусмотрены средства прямого и обратного преобразования его в широко распространенные форматы DXF и PLT. Совместимость RSdPS с общепринятыми форматами позволяет использовать данную систему в контексте естественного разделения операций с другими программными продуктами. Так, при подготовке результатов к выводу на принтер, особенно при цветной печати и при объединении изображений с текстовыми материалами, могут быть полезны программы типа

PhotoStyler, CorelDraw для прямого редактирования изображений, либо программы настольных издательских систем.

Система RSdPS имеет следующие функциональные возможности:

геометрические преобразования (растровые и векторные) — сдвиг, масштабирование, поворот, аффинные и проективные преобразования, локальные деформации по опорным точкам, коррекция данных спутников NOAA и Космос 1939;

гистограммные преобразования для растра;

построение псевдоцветных изображений;

работа с фрагментами (для растра и вектора) — вырезка прямоугольного фрагмента, монтаж кадра из фрагментов, построение масок и вырезка по ним фрагментов произвольной формы;

интерактивная интерпретация растра — наложение на растр векторных слоев информации, построение с помощью мышки нового либо редактирование старого векторного слоя. При этом поддерживается привязка систем координат векторного слоя к растровому;

фильтрации растровых данных — подчеркивание и выделение контуров, сглаживание, медианная фильтрация, свертка со скользящим окном и весами, задаваемыми пользователем;

кластеризация и распознавание с обучением;

метод главных компонент;

выделение линеаментов и их анализ — построение роз-диаграмм, гистограмм длин, выбор подсхем линеаментов по ограничениям на длину и направление, построение роз-диаграмм со скользящим окном, оценка плотностей линеаментов;

преобразования форматов данных (растр-вектор);

построение изолиний и интерполяция значений по известным изолиниям;

арифметические операции над парами изображений;

импорт/экспорт данных в форматы TIF, DXF, PLT.

RSdPS реализует практически все функциональные возможности такой популярной системы, как IDRISI, приближается к системе DRAGON. Но растровые функции дополняются более развитой работой с векторными данными и поддержкой интерактивной интерпретации. Система уступает развитым ГИС на базе рабочих станций (ERDAS, ARC/INFO и др.). В то же время RSdPS содержит ряд функций, не входящих в их версии для IBM PC.

С помощью системы во ВНИИКАМ реша-

ются задачи геологической и геоэкологической направленности. Например, создание банка аэрокосмической и картографической информации в цифровой форме на тестовые участки территории Северо-Запада и полярных областей России. Цель геолого-экологических исследований и картографирования — изучение состояния и изменений природной среды под воздействием техногенных и природных факторов. С помощью системы RSdPS вводились и регистрировались данные в базе, проводилась векторизация картографических данных, обрабатывались и в интерактивном режиме дешифрировались АКС.

На основе созданного банка аэрокосмических и картографических данных составлены: карта техногенной нарушенности природной среды, ландшафтно-индикационная карта в масштабе 1:200 000; схема динамики природной среды на зону действия Норильского металлургического комбината масштаба 1:200 000; схемы состояния природной среды на участки добычи строительных материалов масштаба 1:50 000.

Кроме того, создавались методики обработки космических многозональных и радиолокационных цифровых материалов для обеспечения на базе ГИС прогнозной оценки на твердые полезные ископаемые и топливные ресурсы территории Северо-Запада России. Практическая цель исследований в нефтегазовой геологии сводится к разработке и совершенствованию критериев и методов количественной оценки нефтегазонасыщенности природных объектов. Применение АКС наиболее эффективно для изучения вопросов тектоники на региональном этапе и начальной стадии поискового. Объекты исследования на региональном этапе — нефтегазоперспективные зоны и зоны нефтегазонакопления, на поисковом — ловушки углеводородов. Информация об этих объектах может быть существенно дополнена при использовании АКС, в т.ч. обработанных на компьютерных системах.

При комплексировании АКС с геолого-геофизическими данными могут быть решены следующие задачи:

- уточнение схем нефтегазогеологического районирования;

- выявление структуроконтролирующих разрывов, зон трещиноватости;

- выявление наиболее крупных ловушек;

- выбор перспективных площадей для проведения поисковых работ.

Космогеологические методы позволяют оконтуривать, в т.ч. по комплексу геоиндикаторов, площадных и линейных объектов, обусловленных проявлением в ландшафте

тектонических дислокаций, а также выделять деформированные участки, отражающие внутренние тектонические напряжения глубоких горизонтов осадочного чехла, которые могут индцировать комплексы пород с различными коллекторскими свойствами. Линеаментный анализ способствует выявлению границ тектонических блоков с разной интенсивностью тектонических движений и приуроченных к ним погребенных структурно-седиментационных неоднородностей. При количественной оценке перспектив нефтегазонасыщенности АКС могут быть использованы для изучения как внутренней структуры объектов (в т.ч. степени их нарушенности), так и их контуров.

При проведении работ на тестовом участке, расположенном в пределах Тимано-Печерской провинции, на этапе формирования базы данных — при их вводе и предобработке — использовались геометрические преобразования и преобразования фрагментов для приведения всех данных к одному масштабу. Преобразования растровых данных, их фильтрация и т.д. могут быть выполнены и по одиночным снимкам, и по синтезированным. Это позволяет усилить эндогенную составляющую изображения, способствует более объективному выделению линейных и дуговых элементов и блоков, характеризующихся однородной структурой, и может быть использовано при районировании территории и выделении основных разломов.

Синтезирование, комплексирование и другие операции, производимые с многозональными КС, получение псевдоцветных изображений используются для усиления слабых аномальных эффектов от глубинных объектов и для более четкого выделения блоков. Программы кластерного анализа и классификации позволяют выделять области с наиболее близкими характеристиками яркостных свойств. При работе с большим количеством матриц целесообразно использовать метод главных компонент для уменьшения размерности признакового пространства. Причем полученные новые признаки как комбинации исходных взаимно независимы и несут полезную информацию без существенных потерь.

Выделение и анализ геоиндикаторов (линеаментов, эрозионной сети, озер и т.п.) проводятся как визуально, так и в автоматическом режиме. При автоматическом выделении линеаментов по изображению реализуются следующие операции: вычисление значений градиентов оптических плотностей; определение пороговых значений (линеаменты — фон); разделение значений

градиентов на соответствующие линеаменты и фон. Разработанные программы позволяют не только выявлять всю совокупность линеаментов, но и разделять их по направлениям и длинам, строить розы-диаграммы, находить узлы их пересечения, вычислять их плотности. Использовались программы по вычислению коэффициентов корреляции между признаками.

В результате выполнено тектоническое и нефтегазогеологическое районирование с выделением зон нефтегазонакопления, определена сеть разрывных нарушений, влияющих на формирование и распределение залежей углеводородов. Создана технология обработки и анализа АКС для прогнозной оценки территорий, характеризующихся различным геологическим строением и ландшафтными условиями.

Рассмотрим теперь возможности использования системы RSdPS для решения задач геоинформационного обеспечения регионов. Становится ясно, что усилиями отдельных отраслей (сошлемся на проект создания Геоинформационной инфраструктуры, которая бы удовлетворяла потребности регионов в геоинформации. В нынешних условиях представляется перспективным и экономически оправданным участие в формировании такой инфраструктуры также инновационных программ, в частности федеральной инновационной программы «Инжинирингсет России» [2]. Инженерный центр аэрокосмической геоинформатики ВНИИКАМ — один из координирующих центров названной программы.

Рассмотрим возможный вариант геоинформационного обеспечения региона на основе использования данных космических съемок (рис. 3). Предусмотрены как получение данных из архивов, так и выполнение заказов на проведение съемок. В архивах накоплен огромный объем материалов, что позволяет осуществлять анализ разновременных данных на одни и те же участки Земли и изучать динамику различных процессов. Представленная информационная инфраструктура является многоцелевой и предназначена для обеспечения различных категорий пользователей актуальной и достоверной информацией и документами, необходимыми при подготовке принятия решений. Основным источником данных является программа космических съемок Земли, а функции геоинформационного сервера выполняют Центр аэрокосмической информации и связанные с ним по каналам передачи данных (регулярно обновляемые и пополняемые информацией) территориальные ин-

формационные системы (ТИС) или специализированные информационные системы конечного пользователя, реализуемые, как правило, на средствах персональной вычислительной техники. Информационный банк Центра содержит совокупность трех баз: данных, моделей и знаний (ядро информационного банка). Управление работой баз данных, моделей и знаний и взаимодействие с пользователями обеспечивается системой управления базами. Техническое и программное обеспечение Центра реализуется на основе локальной вычислительной сети, включающей рабочие станции, серверы, Х-терминалы, персональные компьютеры, средства ввода данных и документирования результатов. Аппаратно-программно-технологическое обеспечение Центра позволяет создавать региональные геоинформационные системы на обширные территории, поэтапно снижая информационный дефицит в регионе путем оказания информационного сервиса, поставки и развития территориальных информационных систем, удовлетворяющих потребности заказчиков из различных секторов экономики.

Поясним сказанное на примере одной из разработок ВНИИКАМ — территориальной информационной системы на основе космических снимков.

На примере Приморского края система показывает возможность использования космических данных и технологии ГИС для информационного обеспечения задач природопользования и комплексного развития регионов России. Осуществляется компьютерное объединение данных из различных картографических источников и материалов космосъемки при решении задач регионального уровня в области классификации земель, экологического и административного мониторинга, выполнения проектных работ. В частности, система демонстрирует возможности определения современного состояния лесных массивов для задач лесопользования и оценки топографических и геологических условий при проектировании транспортных сооружений. Демонстрационный пример подготовлен на основе программной системы RSdPS. Начаты работы по включению в технологию обработки и анализа данных рабочих станций и соответствующих программных средств — ГИС ARC/INFO и ERDAS.

Тематический набор данных, уровень их генерализации, отбор необходимых слоев информации, адекватных задаче материалов космосъемки, процедур и методов анализа данных определяются в первую очередь задачами, которые стоят перед пользо-

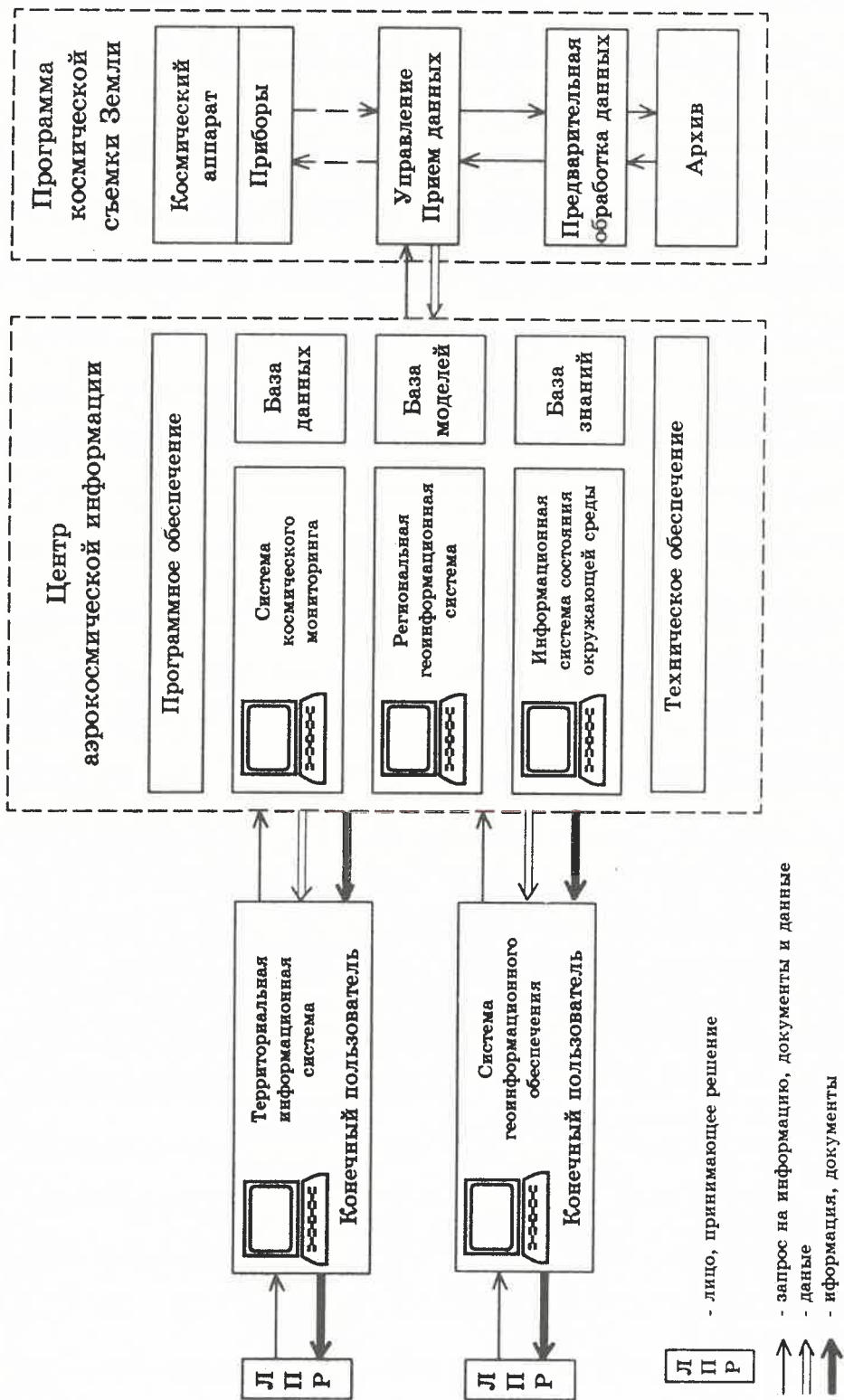


Рис. 3. Вариант системы геоинформационного обеспечения региона

вателем. Уровень решаемых задач может изменяться от регионального, представленного в данном примере, до детального. Так, по соответствующим материалам космосъемки можно различать объекты до нескольких метров, для более детального уровня могут быть использованы материалы аэросъемки. Система предназначена для выбора из базы данных, просмотра и обработки различных слов географически привязанной информации. Просмотр контурной информации может осуществляться на фоне координатно совмещенного с ними космоснимка, растрового изображения карты и т.п. При этом количество слов и их комбинаций может быть произвольным. Визуальный анализ информации дополняется измерительными средствами: оценкой площадей, построением профилей.

Основная цель данной системы — продемонстрировать:

подходы к представлению дистанционных и картографических данных;

примеры космоснимков, полученных тремя различными съемочными системами;

возможности визуального и автоматизированного комплексирования и анализа картографической информации;

возможность быстрого и относительно дешевого обновления картографических материалов по результатам космической съемки.

Таким образом, созданное программное обеспечение позволяет геологу работать с базами данных, осуществлять комплексную обработку разнородных данных, выполнять моделирование процессов и объектов, подготавливать и оформлять выходные картографические материалы.

Опробование программной системы подтвердило возможность решения с ее помощью ряда конкретных геологических, геоэкологических и природнопользовательских задач, выявило доступность системы для конечных пользователей. Представляется, что разработанная система в своем клас-

се программных средств в среде MS DOS для поддержки обработки изображений и технологии ГИС обладает большей функциональной полнотой в плане решения геологических геоэкологических задач по сравнению с аналогичными широко распространенными программными продуктами, как, например, IDRISI.

Дальнейшая апробация программной системы позволит более полно выявить ее возможности и ограничения, наметить первоочередные задачи по развитию системы. Необходимо также разработать технологии решения геологических и геоэкологических задач с использованием рассмотренной системы, других программных средств. Отметим здесь и возможность создания средств поддержки работы конечного пользователя с программной системой, что будет способствовать ее более широкому применению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геоиндикационное моделирование (с использованием материалов аэро-и космических съемок) / Б.Н.Можаяев, Н.Ф.Афанасьев, В.И.Астахов и др. — Л.: Недра, 1984.
2. Колосов В. Г. Концепция развития в России распределенной инфраструктуры комплексной автоматизации. — Л.: Политехника, 1991.
3. Кузнецов О. Л., Никитин А. А. Геоинформатика. — М.: Недра, 1992.
4. Программная система обработки материалов дистанционной съемки на базе ГИС технологии / А.Н.Денисов, В.И.Колесников, А.Н.Рогов. и др. // Географические информационные системы. Теория и практика. С.-Пб., 1993. С. 17-18.
5. Burrough P. A. Development of intelligent geographical information systems. International Journal of Geographical Information Systems. 1992. Vol. 6, N 1, P. 1-11.
6. Estes J. E. Remote Sensing and GIS Integration: research needs, status and trends //ITC Journal. 1992. N 1. P. 2-9.
7. Maurel P., Hirschfeld A., Montfort B. SPOT IMAGE GIS strategy. 8th European ARC/INFO User Conference, Proceedings, Athens, 1993.
8. The research agenda of the European Science Foundation's GIS DATA scientific programme. International Journal of Geographical Information Systems. 1993. Vol. 7. N 5. P. 463-470.

Комплексное картирование морских побережий как основа рационального природопользования

Е. И. КИЛЬДЮШЕВСКИЙ (ВНИИКАМ), А. Л. СОРОКИН (ПИНРО), К. М. ПЕТРОВ (С-ПБГУ)

Значение морских побережий в истории человеческой цивилизации огромно. И это значение возрастает с каждым годом. Морские побережья — это зоны активной хозяйственной деятельности человек. Здесь строятся дороги и прочие коммуникации, промышленные, коммунальные и рекреационные объекты, гидротехнические и берегозащитные сооружения, производится добыча нефти и газа, рыхлых стройматериалов, разработка прибрежно-морских россыпей. Это зона естественного нереста многих видов рыб и деятельности марихозяйств. И в то же время — это зона наиболее сильного загрязнения продуктами хозяйственной деятельности человека.

В силу всего этого, морские побережья (а также побережья крупных внутренних водоемов) являются специфическими и очень важными в народнохозяйственном плане территориями. Для многих стран это районы, где сосредоточены практически все население, промышленность, пути сообщения, промыслы, т. е. вся жизнь, а внутренние районы заняты практически незаселенными горами или пустынями. Если учесть, что морские побережья являются к тому же, как правило, и наиболее динамичными геолого-географическими объектами, то становится очевидной необходимость их постоянного и тщательного картографирования, причем картографирования комплексного, ориентированного, в первую очередь, не на удовлетворение ведомственных или чисто научных интересов, а на удовлетворение интересов практических, т. е. интересов местной и федеральной администрации, а также всех служб и организаций, деятельность которых связана с тем или иным хозяйственным использованием прибрежных территорий или с их охраной.

Важность этой проблемы, как водится, уже давно поняли за рубежом. Еще во время Второй мировой войны американские военные осознали необходимость создания сухопутно-морских карт, содержащих информацию об объектах и природных условиях прибрежного мелководья и прибрежной полосы суши, без значения которых затруднено успешное проведение десантных операций или оборона побережья [Mc Curdy, 1950]. А в начале 70-х годов в штате Нью-

Джерси уже был принят закон о составлении карты прибрежных территорий и приливо-отливной зоны [7]. В настоящее время отдел национального картографирования Геологической службы США выполняет программы картирования прибрежных низменностей, цель которых — обеспечение картографической информацией, необходимой для управления ресурсами береговой зоны. Эта информация учитывается федеральной и местной администрацией и частным сектором для принятия решений по использованию земель и водных ресурсов. Интересна и необычна для нас конечная цель этих программ — сделать зону прибрежных низменностей доходной [8]. Эта простая и понятная цель раньше просто не могла у нас иметь места. Мы, разумеется, тоже изучали морские берега. Геологи исследовали их геологическое строение, геоморфологи — рельеф и т. д. Каждый работал главным образом в интересах своего ведомства, своей специальности или для удовлетворения собственных научных интересов. И, разумеется, никто не думал об интересах, скажем, местной администрации. Впрочем, у нее таких интересов тоже, пожалуй, не было.

Времена изменились. И мы также поняли, наконец, что, действительно, побережья могут и должны быть доходными. Но этого можно достичь только путем рационального природопользования. А оно возможно лишь при наличии полной информации об этом побережье, получить которую можно только путем проведения комплексного его картирования.

Вопрос о составе комплекта карт достаточно сложный, требует специальных исследований и поэтому не является темой данной статьи. Здесь мы хотим лишь привлечь внимание к этой важнейшей проблеме и изложить некоторые предложения, возникшие из нашего многолетнего опыта изучения морских побережий [1, 3—5]:

объектом комплексного картирования должны быть прибрежные полосы суши и мелководья примерно до изобаты 20 м, которые являются единым природно-хозяйственным комплексом;

картирование необходимо выполнять на основе материалов дистанционных съемок

(МДС), в том числе специализированной аэрофотосъемки морского дна, позволяющей получать его аэрофотоизображения до глубин, которые несколько превышают глубину видимости белого диска;

результаты дешифрирования МДС должны дополняться данными непосредственных полевых наблюдений, которые не могут быть получены дистанционными методами;

картирование должно проводиться на наиболее важных, с хозяйственной точки зрения, участках побережья в крупном масштабе (1:25 000—1:50 000), что, естественно, не исключает постановки подобных работ и в более мелком масштабе, на более протяженных участках побережья;

основой комплекта карт должна быть геологическая карта, составляемая по методу аэрофотогеологического картирования (АФГК) или по методу геологического доизучения (ГДП). С геологической картой должна быть совмещена карта полезных ископаемых, с особым упором на местные строительные материалы и подземные воды. Очевидно, необходимы карты, дающие характеристику инженерно-геологических условий района и его рельефа;

обязательной картой комплекта должна быть карта литодинамики, составляемая с привлечением ретроспективных МДС и картографических материалов. Карта должна давать прогноз развития побережья для определения местоположения площадок под строительство долговременных объектов, развития системы берегозащиты;

обязательными являются ландшафтные карты прибрежной суши, дающие характеристику почвенно-растительного покрова и земель, пригодных для сельскохозяйственного использования и прибрежного мелководья, характеристику рельефа, поверхностных осадков, водорослевых полей, данных биоценозов;

обязательны карты, характеризующие промышленно-транспортную инфраструктуру и возможности ее развития;

обязательны карты, показывающие рекреационный потенциал района, возможные объекты туризма;

обязательная карта оценки перспектив строительства причалов, портов и других гидротехнических сооружений (в том числе малых), объектов марикультуры, добычи водорослей и т. д.;

обязательна карта оценки экологической ситуации района и путей ее нормализации.

В этот комплект, в зависимости от местных условий, могут входить и другие карты, характеризующие какие-либо природные или техногенные особенности района. Необ-

ходимо подчеркнуть, что отдельные карты комплекта, отражающие наиболее динамичную для данного побережья сферу, должны периодически обновляться.

Таким образом, комплект карт должен состоять не только из набора традиционных карт естественного профиля, но и из некоторого набора карт социально-экономического профиля, причем весь этот комплект, давая полную характеристику современного состояния побережья, должен показывать существующие природные резервы и пути их рационального использования, т. е. показывать перспективы развития данного побережья. Комплексное картографирование прибрежной полосы суши и прибрежного мелководья в силу большого объема и сложности задач переработки данных должно опираться на эффективные технологии. В настоящее время они связываются с разработкой и внедрением разного рода геоинформационных систем (ГИС), в том числе интегрированных ГИС, синтезирующих методы обработки традиционных ГИС с дистанционными методами. На основе ГИС комплекты карт могут быть представлены в виде атласа. База данных такого атласа кроме комплекта карт может включать также разнообразную количественную, графическую, текстовую и иллюстративную информацию. По требованию пользователя листы атласа могут быть выведены на экраны дисплея или выданы в виде твердой папки.

Очевидно, мысль о необходимости комплексного картирования побережий не должна встретить особых возражений. И тогда возникает вопрос — кто должен проводить такое картирование? Нам кажется, что ответ здесь может быть только один — геологическая служба страны, с привлечением специалистов из других ведомств и организаций.

Для такого ответа есть три существенных соображения. Во-первых, весь природно-хозяйственный комплекс побережья развивается на геологическом субстрате. И любое его изучение должно начинаться с изучения этого субстрата, что под силу только геологическим организациям. Во-вторых, весь процесс картирования должен быть четко организован, регламентирован и выдержан в определенных стандартах. Геологическая служба стоит на этом. И, в-третьих, только геологическая служба сейчас имеет опыт и сухопутного, и морского картирования, причем последнее сопровождается составлением геоэкологических карт.

В связи с последним, может возникнуть вопрос, не является ли геоэкологическое

картирование (ГЭК) в рамках геологической съемки шельфа (ГСШ-200) в прибрежных районах (листы береговой серии) решением поставленных выше задач? М. А. Спиридонов так характеризует задачи ГЭК: Целью ГЭК является картографическое отображение в синтезированной форме геологической среды прибрежного шельфа (береговой зоны акваторий любого типа) с оценкой ее естественного состояния, а также степени и характера нарушений по стихийным и техногенным причинам [6, с. 3]. Из этого определения ясно, что задачи ГЭК в рамках ГСШ-200 решают лишь часть поставленных вопросов. К тому же эти исследования привязаны к дорогостоящим и длительным работам ГСШ. Более целесообразно, очевидно, картирование морских побережий проводить независимо от ГСШ, а геоэкологические исследования здесь должны иметь существенные отличия.

Попробуем сформулировать требования, совокупность которых приближает нас к пониманию предмета и задач геоэкологического картографирования в зоне морских побережий.

Первое требование — биоцентризм. Экологическими могут быть названы только такие карты, на которых показано состояние биоты. Другие факторы окружающей среды показывают на них лишь в том объеме, который необходим для характеристики условий обитания организмов. Объектом экологического картографирования часто является растительность. Фитоэкологические карты наиболее полно отражают связи организмов с условиями обитания и могут использоваться для индикации параметров окружающей среды.

Второе требование — антропоцентризм. В отличие от традиционной биоэкологии, геоэкология рассматривает человека, население не только в качестве источника разрушения природы, но и жертвы, страдающей от воздействия стихийных бедствий и, в особенности, от тех изменений в природе, которые он сам же и вызывает.

Третье требование — факторность. В комплект геоэкологических карт входят специальные карты, на которых показываются состояние отдельных компонентов окружающей среды — литогенной основы, рельефа, почвенного покрова, поверхностных и подземных вод, геохимических условий и др. Саму биоту на таких картах зачастую не изображают. Строго говоря, сами по себе эти карты не являются экологическими. Они относятся к особому классу карт состояния окружающей среды.

Четвертое требование — оценочность и

прогнозность. В задачи геоэкологических исследований обязательно входит оценка современного состояния ландшафтов и прогноз динамики окружающей среды: в хорошем или плохом состоянии они находятся, в благоприятном или неблагоприятном для человека направлении они меняются.

Пятое требование — системность. В ландшафтах (геосистемах), природно-хозяйственных системах заложено свойство эмерджентности. Покомпонентный анализ состояния окружающей среды сам по себе недостаточен для оценки состояния и прогнозирования поведения геосистемы в целом. Целое — больше суммы своих частей. При системном подходе в основу критериев оценки геоэкологических параметров кладутся изменения морфологической и генетической целостности ландшафта, степень сохранности его природного и ресурсного потенциала, изменения качества условий жизни населения.

Перечисленные требования должны быть синтезированы в одной или нескольких картах комплекта, что представляется достаточно сложной задачей, если учесть, что карты эти, давая полную характеристику района, должны быть понятны не только составителям, но и потребителям. На 21 пленуме Геоморфологической комиссии АН СССР (1991 г.) в одном из докладов была высказана интересная мысль: обычные наши карты для чиновников непонятны. Следовательно, администрацией они использоваться (а, значит, и заказываться) не будут. Поэтому, на выходе наших работ должны быть карты понятные и нужные не только и не столько нам, специалистам-естественникам, а главным образом практикам-потребителям. Как нам представляется, эти задачи, применительно к морским побережьям и должны решаться посредством комплексного картирования.

Следующий вопрос — в рамках каких структур и программ должно быть организовано комплексное картирование побережий? Что касается структур — вопрос допускает несколько решений. Специфика организации, проводящей комплексное картирование побережья, состоит в том, что ее сотрудники должны быть специалистами, владеющими дистанционными методами геологических исследований, методами наземной геологической съемки, методами морских геологических и биологических исследований в зоне прибрежного мелководья. Здесь должны также быть специалисты эколого-ландшафтного профиля и, очевидно, инженерно-экономического профиля.

Такие подразделения (партии, экспеди-

ции) могут быть созданы в рамках территориальных геологических служб. Но может быть создана и специализированная организация (типа ПГО «Аэрогеология»), ориентированная на решение этой задачи. Качество работ, проводимых такой организацией, будет, безусловно, гораздо выше.

Теперь относительно программы. Эта задача могла бы быть решена в рамках развития программы «Шельф России», где предусмотрено составление карт береговой серии (масштаба 1:200 000) и в итоге создание информационных систем Геологический кадастр «Шельфы России» и Государственный кадастр береговой зоны. Но, может быть, было бы целесообразнее составить отдельную программу «Морские побережья России» с выходом на создание «Государственного кадастра морских побережий России». Этот путь представляется нам более предпочтительным по той причине, что программа «Шельф России» ориентирована главным образом на изучение геологического строения береговой зоны и обеспечение геологической основой заинтересованных организаций, т. е. здесь идет речь о чисто геологических исследованиях (с небольшой экологической «добавкой»), с выдачей более или менее традиционных материалов.

Комплексное же картирование побережий представляется уже следующим этапом работ, когда с использованием необходимых данных о строении подстилающей или вмещающей геологической среды создается комплексная картина состояния геологической, экологической и социально-экономической среды, развитой в зоне морского побережья. Только такой набор данных и может быть полноценной основой Государственного кадастра морских побережий России, составление которого представляется нам задачей сверхважной, со всех точек зрения: экономической, научной, политической и оборонной.

В заключение следует остановиться на некоторых вопросах терминологии. Употребляющийся в программе «Шельф России» термин «береговая зона» (отсюда «кадастр береговой зоны») здесь явно неудачен. По определению, приведенному в работе [2], это зона современного взаимодействия моря и суши, т. е. сравнительно узкая (от не-

скольких десятков метров до нескольких километров) полоса, где происходят современные геологические процессы, связанные с деятельностью моря. Очевидно, составлять кадастр береговой зоны России особого смысла нет, т. к. это частный и сравнительно мелкий объект. Другое дело, если речь идет о *побережье*. Побережье — это полоса вдоль берега моря со следами древнего или современного воздействия моря, в результате чего здесь сформирована сравнительно широкая зона земной поверхности с характерным рельефом и другими деталями, предопределяющими многие особенности ее хозяйственного использования. Составление кадастра такой полосы представляется уже весьма целесообразным.

Определить районы России, где должны быть поставлены работы по комплексному картированию побережья, несложно. Это побережья Каспия и Черного моря, Балтика (Финский залив и Самбийский полуостров), побережье о. Сахалин, многие участки побережья Приморья, Камчатки, Кольского полуострова, Белого моря. Это районы первоочередных исследований. Конечная же цель — картирование всех побережий России.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аэрокосмические методы геологического изучения шельфа* / Сост. В. В. Шарков, З. И. Гурьева, Е. И. Кильдюшевский. — Л.: Недра, 1985.
2. *Геологический словарь*. — М.: Недра, 1973. Т. 1.
3. *Гурьева З. И., Петров К. М., Шарков В. В. Аэрофотометоды геолого-геоморфологического исследования внутреннего шельфа и берегов морей*. — Л.: Недра, 1976.
4. *Петров К. М. Подводные ландшафты: теория, методы исследования*. — Л.: изд. ЛГУ, 1989.
5. *Сорокин А. Л. Ландшафты шельфа Кольского полуострова: геолого-геоморфологические основы формирования*. — Мурманск: Мурман. книжн. изд-во, 1987.
6. *Спирidonov M. A. Геоэкологическое картирование — новый вид морских геолого-съёмочных исследований в переходной зоне суша—море. //Осадочный покров гляциального шельфа северо-западных морей России*. — С.-Пб., 1992. С. 5—11.
7. *Anderson R. R., Wobber F. J. Wetlands Mapping in New Jersey. Photogr. Eng., 1973. Vol. 39. № 4. P. 353—358.*
8. *Baxter Franklin S. The US Geological Survey's National Mapping Division programs, products and Services, that can support wetlands mapping. Biol. Rept./US Dep. Inter. Fish. and Wildlife Serv., 1990. № 18. P. 87—103.*

Деятельность ВНИИКАМ направлена на развитие и внедрение современных методов и технологий использования материалов дистанционного зондирования для эффективного решения геологических и экологических задач

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Изучение физических основ и развитие теории дистанционного зондирования

Разработка и совершенствование методов и технических средств получения дистанционных данных с космических и самолетных носителей

Разработка методов комплексного анализа дистанционных, геологических, геофизических, геохимических и ландшафтных данных посредством ГИС-технологий

ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Изучение регионального геологического строения, геологическое картирование, поиски и прогнозирование месторождений на суше и мелководном шельфе (алмазы, нефть, газ, руды, подземные воды)

Изучение состояния и динамики окружающей среды, прогнозирование ее изменений, в т. ч. нежелательных, вызванных деятельностью человека

Инвентаризация землепользования

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

Составление структурных, тектонических, геологических и прогнозных карт различных масштабов

Моделирование главных рудных объектов и составление прогнозно-металлогенических карт

Тектонический анализ нефтегазоносных бассейнов и прогнозирование структурных ловушек

Геологическое картирование мелководного шельфа

Поиски подземной питьевой воды

Геоэкологическое картирование

Картирование для землепользования и лесного хозяйства

Составление карт источников загрязнения и зон загрязнения водных резервуаров промышленными стоками

Картирование подземных пожаров в угольных и торфяных пластах и других горючих породах

Мониторинг лесных пожаров

Контроль магистральных нефте- и газопроводов, городских теплосетей и энергопотерь энергетических систем

ВНИИКАМ использует данные космической съемки в различных зонах спектра (видимом, ближнем инфракрасном, тепловом — инфракрасном и микроволновом) с различным разрешением (1 км, 200–300 м, 20–30 м, 10 м, 4–5 м, 1–2 м), выполненной сканирующими системами с цифровой регистрацией, а также длиннофокусными фотографическими системами

ВНИИКАМ выполняется фотографическую, тепловую — инфракрасную и многочастотную радарную аэрофотосъемку специального назначения

RSdPS

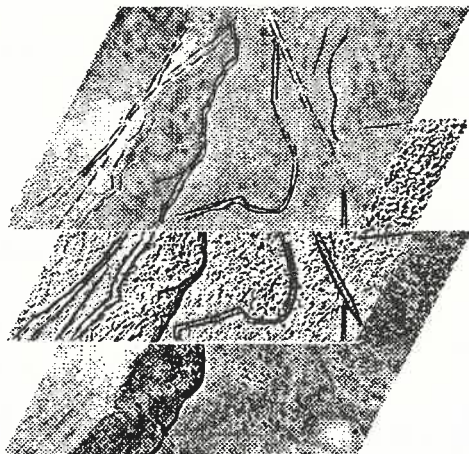
Remote Sensing Data Processing System

Система RSdPS предназначена для интерактивной и автоматизированной обработки аэро- и космических снимков, их комплексирования с другими слоями информации: топографической, геологической, геофизической и т.п. Система работает как с растровой, так и с векторной формой представления данных, обеспечивает их комплексирование и преобразования

Система организована как набор процедур, работающих с единым форматом данных. Объем выполняемых модулей - около 3 М, потребности во внешней памяти определяются объемами обрабатываемых изображений.

Форматы данных:

Для растровых данных используется байтовый формат: черно-белое изображение с 256 градациями, байт на пиксел, пиксел



за пикселом в строке, строка за строкой, без заголовков и любой другой управляющей информации. Вряде модулей поддерживается работа с различными вариантами несжатого TIF формата, предусмотрено

преобразование TIF- файлов в байтовый формат и обратно.

Для векторных данных (контурных, точечных и площадных) используется собственный формат. Предусмотрены средства прямого и обратного преобразования его в широко распространенные форматы DXF и PLT.

Функциональные возможности системы:

- * Геометрические растровые и векторные преобразования (сдвиг, масштабирование, поворот, аффинные и проективные, локальные трансформации по опорным точкам, коррекция данных спутников NOAA и Космос 1939)
- * Гистограммные преобразования для растра
- * Работа с фрагментами (вырезка прямоугольного фрагмента, монтаж кадра из фрагментов). Монтаж ведется в интерактивном режиме. При этом возможны преобразования сдвига, масштаба, поворота, а также проективные
- * Интерактивная интерпретация растра (наложение на растр векторных слоев информации, построение с помощью мышки нового, либо редактирование старого векторного слоя). При этом поддерживается привязка систем координат векторного слоя к растровому
- * Фильтрации растровых данных (подчеркивание и выделение контуров, сглаживание, медианная фильтрация, свертка со скользящим окном и весами, задаваемыми пользователем)
- * Кластеризация и распознавание с обучением
- * Метод главных компонент
- * Выделение линеаментов и их анализ (построение роз-диаграмм, гистограмм длин, выбор подсхем линеаментов по ограничениям на длину и направление, построение роз-диаграмм со скользящим окном, оценка плотностей линеаментов)
- * Преобразования форматов данных (растр-вектор)
- * Построение изолиний и интерполяция значений по известным изолиниям
- * Арифметические операции над парами изображений

Системные требования:

Компьютер, совместимый с IBM PC 386/387 или выше, а также:

- * MS-DOS 3.3 или более поздние версии
- * 640 К оперативной памяти:
- * VGA адаптер и монитор
- * жесткий диск
- * мышь, совместимая с Microsoft Mouse

RSdPS разработана и используется во ВНИИКАМ. Опробовалась на решении ряда задач геологии и геоэкологии.

Россия, 199034, С.Петербург, Биржевой проезд, д.6, ВНИИКАМ

факс: (812)-218-3916 Email: den@vniikam.spb.su

Contents

<i>Pertsov A. V.</i> Development of aerospace methods in LAEM-VNIKAM	3	<i>Pertsov A. V., Galperov G. V., Brusnichkina N. A.</i> Remote sensing during prediction and prospecting for ore minerals in studies of VNIKAM employees	45
<i>Mozhayev B. N.</i> Position of remote methods in national geological studies	12	<i>Kirsanov A. A.</i> Application of aero- and space surveys in geo- ecological studies status and prospects	50
<i>Shilin B. V., Gornyi V. I.</i> Thermal aerospace survey-achievements and prospects	22	<i>Popova T. A.</i> Evolution of environmental direction in VNIKAM studies	54
<i>Slutskaya S. G., Surin V. G.</i> Spectrometric studies in VNIKAM	27	<i>Rogov A. N.</i> Features of integrating technologies of geographical information systems and remote sensing in natural resource study	60
<i>Kirsanov A. A.</i> Development of remote methods of oil/gas areas study in LAEM-VNIKAM	34	<i>Kildyushevski E. I., Sorokin A. L., Petrov K. M.</i> Complex mapping of sea coasts as a basis for rational nature use	69
<i>Gololobov Yu. N., Smirnova I. O.</i> Study and prediction of oil and gas traps by remote data	39		



