

НОВЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А. Г. Топчиев, А. А. Девичев

*Московский государственный университет, географ. ф-т, лаборатория геоэкологии Севера,
119899, Москва, Воробьевы горы, Россия, E-mail: topchiev@terraspace.ru*

В работе рассматриваются вопросы создания, аппаратного оснащения и опытной эксплуатации системы локального мониторинга „Биосфера ТМ“ применительно к решению задач мониторинга природно-антропогенных геосистем территории нефтегазового освоения Ханты-Мансийского АО. Приведены результаты применения системы для обеспечения программы Государственного контроля использования и охраны земель на основе эксплуатации современных геоинформационных технологий обработки и хранения данных.

Биосфера ТМ, ГИС, дистанционное зондирование, система локального мониторинга, экологический мониторинг

THE NEW APPROACH TO ORGANIZATION OF A GEOECOLOGICAL MONITORING OF WEST SIBERIAN OILFIELDS

A. G. Toptchiev, A. A. Devichev

Moscow State University, Department of Geography, 119899, Moscow, Vorobjovy Gory, Russia

In the article the questions of creation of hardware equipment and experimental operation of a local monitoring system „Biosphere TM“ are considered with reference to solution of problems of a natural-anthropogenic geosystem monitoring on the territory of oil and gas development of Hanty-Mansy Autonomous district. The results of application of the system for providing the program of the State control of use and protection of grounds on the basis of operation of modern geoinformation technologies of data processing and data storage are reported.

Biosphere TM, GIS, ecological monitoring, local monitoring system, remote sensing

Экстенсивное освоение нефтедобывающих регионов России вызывает лавинообразное потребление земельных ресурсов. Только на территории Ханты-Мансийского АО ежегодно отводятся для нужд развития объектов добычи, транспортировки и переработки нефти и газа до 25—30 тыс. га высокопродуктивных оленьих пастбищ, пойменных лугов, земель, потенциально пригодных для развития аграрного сектора труднодоступных регионов Западной Сибири. Нарастает угроза экологического нарушения особо чувствительных ландшафтов криолитозоны, необратимой деградации земель на участках воздействия буровыми и тампонажными растворами, дезмульгаторами и отходами нефтепродуктов. Особую опасность представляют собой стрессовые воздействия на ландшафт в результате техногенных аварий на трубопроводах.

Изменение теплового режима и механическое нарушение почвенно-растительного покрова приводит к развитию негативных экзогенных геологических процессов — термокарста, термоэрозии, солифлюкции и др.

Только за 1996 г. на территории Нижневартовского района, по данным экологического мониторинга, выявлено 1543 случая аварий на внутрипромысловых трубопроводах, в результате чего 2311,8 т нефти и высокоминерализованных пластовых вод были сброшены на рельеф и в водоемы [Долингер, 1997]. Нарушение технологии освоения месторождений, отклонение от научно обоснованных проектов привело к подтоплению 25 тыс. га земель, замазучиванию 30 тыс. га, порчи и захламливания земель на площади 9 тыс. га.

Необходима высокоэффективная геоинформационная система оперативного геоэкологического контроля. Актуальность проведения работ по созданию такой системы обусловлена труднодоступностью территории, огромными площадями контроля (периодический мониторинг необходимо осуществлять ежегодно на территории, соизмеримой по площади с государством Франция). Высокие цены на проведение аэросъемочных работ в условиях спада производства и недостаточного бюджетного финансирования ме-

роприятий по геоэкологическому мониторингу делают эту проблему казалась бы неразрешимой, и вместе с тем выход есть.

В 1997—1998 гг. группа специалистов географического факультета МГУ, Окркомзема ХМ АО и Центра прикладной геоинформатики Терра Спейс разработала и осуществила опытную эксплуатацию системы локального геоэкологического мониторинга, снижающую затраты на выполнение работ в десятки раз, обеспечивающую получение дистанционных данных на основе применения летательного аппарата класса Ультра Лайт, оборудованного телевизионной системой дистанционного зондирования и спутниковой навигационной системой GPS [Топчиев и др., 1997а; Топчиев и др., 1998] (рис. 1).

Целесообразность применения системы локального мониторинга обусловлена следующим.

1. Сверхлегкие летательные аппараты могут быть доставлены непосредственно к объекту дистанционного зондирования с использованием наземного транспорта. Это позволяет обеспечить существенную экономию летного времени, расходуемую в случае применения высотной авиации на подлет к съемочному объекту. В ряде случаев при решении задач экологического мониторинга в труднодоступных районах Западной Сибири, удаленных от мест базирования гражданской авиации, эти непроизводительные затраты составляют до 40 %.

2. Возможность взлета и посадки сверхлегких летательных аппаратов на любую твердую поверхность (поле, луг, грунтовую дорогу) позволяет осуществить подбор места базирования в пределах съемочной площади, а следовательно воспользоваться оптимальными метеословиями на локальном участке выполнения летно-съемочных работ, устанавливающимися даже на незначительный период времени.

3. Меньшая крейсерская скорость (до 70 км/час) и широкий диапазон высот (от 100 м до 3—4 км) позволяют исключить смазанное изображение при выполнении летно-съемочных работ на предельно малых высотах, что особенно важно при сборе дистанционной информации для решения задач крупномасштабного картографирования.

4. Применение сверхлегких летательных аппаратов позволяет существенно сократить удельную стоимость материалов дистанционного зондирования. При выполнении летно-съемочных работ расход топлива на 100 км² съемочной площади составляет не более 30 л бензина АИ-93 для двигателя типа 2706P05 (HIRT) или ROTAX 447. Летные работы выполняются бригадой в составе трех человек. Исключаются затраты на подлет к объекту съемки. Все это позволило снизить удельную стоимость материалов аэрофо-

тосъемки, получаемой с применением сверхлегких летательных аппаратов в 8—10 раз по сравнению с традиционно используемыми при аэросъемке на площадях до 100 км² самолетами АН-2.

5. Базирование сверхлегких летательных аппаратов в непосредственной близости к объекту съемки позволяет организовывать синхронные наземные обследования и контактные измерения. В этом случае выбор эталонных объектов осуществляется по данным телевизионной съемки, оперативный просмотр которой выполняется в ходе полевых работ.

На первом этапе исследований, на основе анализа функциональных задач, объектов дистанционного зондирования, а также их спектральных, калориметрических и геометрических характеристик был определен оптимальный состав бортового информационно-измерительного комплекса и оптических характеристик систем дистанционного зондирования [Кондратьев и др., 1990]. В состав бортового информационно-измерительного комплекса системы локального мониторинга „Биосфера ТМ“, ориентированного на решение задач геоэкологического мониторинга, были включены следующие системы дистанционного зондирования.

1. Длиннофокусный топографический аэрофотоаппарат АФА ТЭ-200 (фокус 200—450 мм,

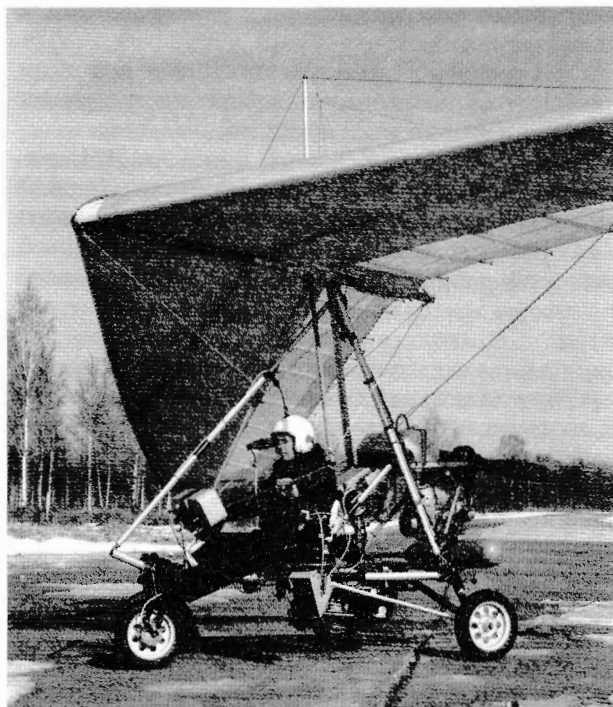


Рис. 1. Система локального мониторинга „Биосфера ТМ“ в базовой комплектации.

формат кадра 18×18 см), угол поля зрения 65 градусов, разрешающая способность 20 лин/мм на краю кадра, диапазон выдержек $1/80—1/240$ с).

2. Телевизионные камеры формата S-VHS (F-15) или ВЕТАСАМ (UVW-100 РК), обеспечивающие наиболее качественный результат при выполнении дистанционного зондирования динамичных природно-антропогенных геосистем.

В качестве вспомогательных технических средств в конфигурацию бортового информационно-измерительного комплекса включены система спутниковой навигации, а также система цифровых преобразователей аналоговой информации и устройства регистрации данных в составе бортового компьютера и видеомагнитофона. При этом радиометрическая информация разделяется по двум трактам и регистрируется по первому тракту после аналого-цифровых преобразований бортовым компьютером, а по второму тракту после частотной модуляции подается на аудиовход бортового видеомагнитофона. Этим обеспечивается синхронизация радиометрической и видеоинформации, позволяющая выполнить видеопривязку с точностью до 10—15 см. С другой стороны, ввод навигационных данных и радиометрической информации в бортовой компьютер позволяют осуществить координатную привязку. Рассмотренная выше схема коммутации обеспечивает синхронизацию трех видов информации: телевизионной, навигационной и радиометрической.

Управление сложным по составу бортовым комплексом потребовало внедрения в процесс конструирования и опытного производства системы локального мониторинга Биосфера ТМ элементов робототехники и телеметрии. Особый интерес представляет комбинированный защитный шлем, совмещенный с оптико-электронной системой визирования и сельсинным приводом платформ телевизионной камеры и аэрофотоаппарата. Эта конструкция обеспечивает решение двух взаимодополняющих задач. В первом случае, при положении оптических осей телекамеры и аэрофотоаппарата в нади́р, оптико-электронный визир — телекамера — выступает в роли командного прибора, позволяя отслеживать прямолинейность траектории подсамолетной точки и вносить требуемые коррективы синхронным разворотом платформ телевизионной и аэрофотокамеры, устраняя тем самым погрешности ветрового скольжения (несовпадения оси мотоделтоплана и съемочного галса) при боковом ветре. Эта операция осуществляется поворотом комбинированного защитного шлема или вручную через пульт пилота—бортоператора с помощью сельсинного привода. Во втором случае, при работе телекамеры в режиме перспективной съем-

ки, пилот визирует конечную точку съемочного галса, оперативно подавая сигнал корректировки на платформу аэрофотоаппарата. При выполнении перспективной телевизионной аэросъемки сельсинный привод обеспечивает возможность просмотра телевизионной камерой подстилающей поверхности синхронно повороту комбинированного защитного шлема или „отслеживания“ заданного объекта в течение определенного времени. Таким образом, комбинируя режимы управления платформами аэрофотографической и телевизионной систем, оператор в интерактивном режиме осуществляет выполнение синхронной плановой и перспективной телевизионной аэросъемки, не отвлекаясь от процесса пилотирования.

Применение дорогостоящих и чувствительных к ударным и вибрационным нагрузкам съемочных систем потребовало решить ряд технических проблем в области механики при создании стабилизированных платформ. В настоящее время в опытной эксплуатации находятся две модификации системы локального мониторинга Биосфера ТМ. Первая из них предусматривает для каждой из перечисленных выше платформ карданный подвес, снабженный демпферами и виброгасителями. Вторая обеспечивает стабильность платформ за счет применения маятникового подвеса и пневмоамортизаторов, функционирующих при помощи бортового компрессора, который создает также требуемое разрежение для действия вакуумного прижима пленки аэрофотоаппарата.

Выше упоминалось, что в состав системы локального мониторинга Биосфера ТМ был включен навигационный комплекс в составе GPS-приемника GeoExplorer фирмы Trimble Navigation с внешней антенной и адаптером, а также система питания. Кроме этого в состав навигационного комплекса для реализации динамического дифференциального режима работы была включена портативная радиостанция диапазона 2 м, оборудованная специализированным радиомодемом для связи с GeoExplorer. Для дифференциальной обработки результатов и при испытаниях комплекса в динамическом дифференциальном режиме использовался стационарный геодезический GPS-приемник фирмы Trimble Navigation серии 4000, также дооборудованный радиомодемом и радиостанцией.

Элементы комплекса были размещены в непосредственной близости от пилота—бортоператора, что позволяло пилоту легко манипулировать режимами работы аппаратуры в полете. Питание радиостанции осуществлялось от ее штатных внутренних элементов питания. Жидкокристаллический дисплей GPS-приемника находился в поле зрения пилота, на достаточном

расстоянии для четкого распознавания выводимой информации.

Внешняя антенна для улучшения качества сигнала со спутников и исключения возможных помех от различных частей сверхлегкого летательного аппарата была вынесена на верхнюю поверхность крыла в месте его крепления.

Подготовка испытательных маршрутов включала в себя выбор маршрутов полета и программирование массива путевых точек в памяти GeoExplorer. Составление массива путевых точек и запись в память приемника производились при помощи программы PathFinder Pro, входящей в комплект поставки GeoExplorer.

Экспериментальные полеты в автономном режиме проводились по навигационным сообщениям, выдаваемым GeoExplorer без динамической коррекции. Для контроля использовалась бортовая видеосистема. В поле кадра был введен цифровой таймер знакогенератора, обеспечивающий впечатку времени в кадр с точностью до 0,1 с, и синхронизированный на земле с часами GPS-системы. Держатель видеокамеры при помощи временного гиросtabilизатора обеспечивал ее надирное положение с точностью $\pm 0,4^\circ$, что составило для высоты полета 1000 м около $\pm 6,5$ —7 м в плане. Во время полетов по маршрутам пилот сверялся с показаниями прибора, выдерживая заданный маршрут. Одновременно с этим GPS-приемник автоматически записывал координаты системы локального мониторинга Биосфера ТМ через заданный промежуток времени (10 с). Во время полета по маршруту видеокамера непрерывно находилась в режиме записи, а таймер знакогенератора не останавливался до окончания полетов. На отдельном контрольном залете интервал записи отсчетов был уменьшен до минимального значения (0,7 с). Данные этого залета были впоследствии обработаны дифференциальным методом.

Экспериментальные полеты в динамическом дифференциальном режиме осуществлялись аналогично автономным, но при решении навигационной задачи GPS-приемником кроме спутниковой информации использовалась информация о дифференциальных поправках.

В качестве концептуальной основы функционирования системы локального мониторинга впервые в практике дистанционного зондирования использовался подход от частного к общему. Недоступные для традиционно применяемых летных средств сверхмалые высоты (150—300 м) и крейсерские скорости выполнения дистанционного зондирования (50—60 км/час) позволили получить принципиально новую по спектральным, калориметрическим и частотно-пространственным характеристикам исходную информацию на локальном уровне. Это и опре-

делило возможность применения названных выше телевизионных систем сбора данных в качестве базовых, в полной мере обеспечивающих получение метричной, оперативной информации, компактно регистрируемой в цифровой или аналоговой форме на магнитном носителе с линейным разрешением 10—30 см. Даже при самом поверхностном, визуальном анализе данных локального мониторинга становятся очевидными ее существенные преимущества по сравнению с традиционно применяемыми в практике мониторинга криосферы аэрофотоматериалами. В первую очередь это касается повышения информативности при дешифрировании динамичных мерзлотных процессов, линейные размеры которых варьируют от метров до десятков метров. Изучение деталей морфологии, текстуры и структуры, а также динамики морфометрических параметров и планового положения в сезонном и многолетнем циклах позволяет получить дополнительную информацию для генетической интерпретации данных, прогноза развития, разработки научно обоснованных мероприятий по защите инженерных сооружений от негативного воздействия криогенных процессов [Топчиев, 1988].

Применяемые в настоящее время платы оцифровки видеосигнала (capture board) позволяют осуществить ввод данных в ПК. При этом из технологии исключается дорогостоящий фотохимический процесс обработки исходных данных, повышается производительность и оперативность получения материалов дистанционного зондирования. Важнейшим преимуществом компьютерной обработки данных является возможность применения разнообразных пакетов прикладных программ, позволяющих осуществлять геометрическую и радиометрическую коррекцию изображения, сшивку кадров в маршруты, трансформирование, масштабирование, блочную триангуляцию, автоматизированное контурное дешифрирование и др. преобразования. Эта работа выполнялась на практике при создании комплекса электронных карт геоэкологической тематики на территорию Петелинского и Покачевского месторождений на основе применения пакета прикладных программ в следующем составе: векторно-растровый модуль MicroStation (ядро программного обеспечения); PhotoShop, CorelDraw, AutoCAD, ArcView, MapInfo, GeoGraph. Кроме того, для решения ряда задач использовался встроенный в MicroStation язык программирования MDL, с использованием которого была решена проблема получения покрытий объектов мониторинга методом блочной триангуляции. В результате для ряда картографируемых природных объектов, имеющих контрастные спектральные характеристики относительно фона, экспе-

риментально доказана полная автоматизация процесса дешифрирования, создания электронных карт и ГИС. Характерным примером, иллюстрирующим сказанное, является применение автоматизированных систем обработки данных для комплексного исследования наледных геосистем и наледей, представляющих собой естественные аномалии оптического ландшафта, на материалах телевизионной аэросъемки весенних залетов (после схода снежного покрова) [Топчиев, 1998]. Другим примером сравнительно легко выделяемых по спектральным характеристикам объектов дистанционного зондирования являются экологические последствия аварий на внутрипромысловых трубопроводах — разливы нефти, буровых и тампонажных растворов, высокоминерализованных пластовых вод [Топчиев и др., 1997б].

Функциональная блок-схема локального мониторинга природно-антропогенных комплексов нефтяных месторождений при решении задачи Государственного контроля использования и охраны земель, реализованная на ряде месторождений Среднего Приобья, приведена на рис. 2.

В результате был получен пакет выходной информации, включающий:

- электронные карты Геоэкологического контроля на территорию ряда месторождений нефти Западно-Сибирского региона масштаба 1 : 10 000;

- крупномасштабные электронные картограммы более 300 объектов природно-антропогенных геосистем нефтяных месторождений Приобья, находящихся в стрессовом экологическом состоянии;

- аналитические заключения и таблицы, характеризующие потери земель по видам нарушения земельного законодательства и факторам экологического воздействия;

- геоинформационные системы геоэкологического контроля, полученные в программной среде ArcView и MapInfo.

Система обработки данных функционирует на базе серийной ПЭВМ и ее периферии в составе дигитайзера, картографического сканера и цветного принтера, представляя собой по существу автоматизированное рабочее место инспектора Геоэкологического контроля. Сбор и обработка данных осуществляются на основе применения телевизионной аппаратуры высокого разрешения формата S-VHS в составе комплекса видеоаппаратной.

Взаимодействие автоматизированного рабочего места и видеокомплекса осуществляются в автоматизированном режиме в соответствии с разработанным пакетом прикладных программ.

Станция компьютерной графики для решения задач локального мониторинга выполнена на

основе применения серийного ПК Pentium-II, дооборудованного платой ввода видеоизображения VideoTizer, позволяющей просматривать видеоизображение на дисплее компьютера и сохранять видеокадры в виде растровых файлов размером 768 × 512 пикселей.

Для обработки мониторинговой информации применяются также устройства ввода—вывода видеоизображения ILLUMINATOR PRO и VIGA+32P, содержащие собственную память для хранения видеоизображения и создания видеоэффектов и позволяющие выполнять покадровый ввод изображения в компьютер, вывод на монтажный видеоманитофон, выполнение спецэффектов (масштабирование, приведение перспективной съемки к плановой проекции и наоборот, квантование, цветное кодирование, затемнение и др.).

Обработка результатов измерений проводилась на ПЭВМ типа IBM Pentium-200 при помощи различного специализированного или адаптированного для решения необходимых экспериментальных задач ПО. Навигационная информация из памяти бортового GPS-приемника GeoExplorer при помощи ПО PathFinder Pro и специального кабеля, поставляемых в комплекте с GeoExplorer, через COM-порт перекачивалась в виде полетных файлов на жесткий диск ПЭВМ. При помощи той же программы на жесткий диск компьютера были переписаны файлы с накопленной информацией базовой станции. Используя введенные таким образом данные в том же пакете была проведена постобработка по методу дифференциальной коррекции. Полученные проекции маршрутов графически сравнивались с проекциями тех же маршрутов, выполненных при навигации в динамическом дифференциальном режиме. При помощи видеокадров с видимым в поле кадра отсчетом таймера, синхронизированного по времени с GPS, определялась точность навигации как в автономном, так и динамическом дифференциальном режимах.

В качестве дополнительной информации, используемой при дешифрировании, были впервые применены данные синхронной цветной телевизионной аэросъемки, полученной при наклонном положении телевизионной камеры. Перспективная телевизионная информация позволила уже на полевом этапе исследований, после оперативного просмотра, выделить эталонные участки, станции, точки наблюдений, места выполнения почвенных разрезов и прикопок, а также взятия гербарного материала и укосов, выполнения лесотаксационных работ. На этапе камерального дешифрирования просмотр цветной телевизионной информации, полученной в привычном для глаза ракурсе и цвете, в частности сопоставление стоп-кадра телевизионного

НОВЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

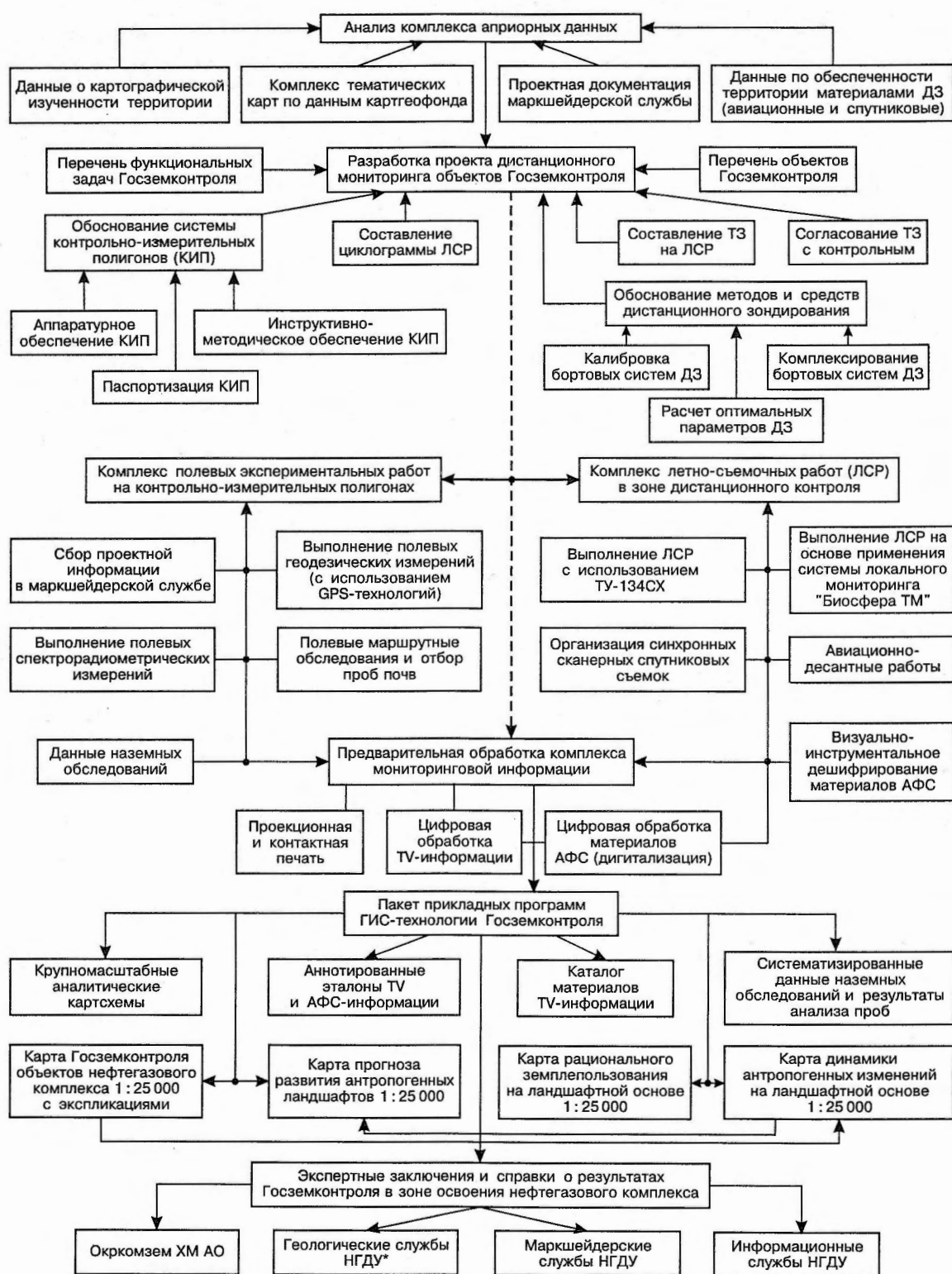


Рис. 2. Функциональная блок-схема выполнения экспериментально-производственных работ на месторождениях Ханты-Мансийского автономного округа.

* НГДУ — нефтегазодобывающие управления.

изображения с участком дешифрируемого аэрофотоснимка, позволили повысить достоверность интерпретации дистанционной информации. В ходе выполнения работ экспериментально установлено, что рассмотренная выше телевизионная подсистема бортового комплекса Биосфера ТМ, используемая в качестве вспомогательного средства при выполнении аэрофотосъемки, может быть задействована в качестве самостоятельного средства сбора оперативной дистанционной информации при решении задач тематического картографирования. В этом случае выполняются цифровые преобразования аналоговой телевизионной информации, ввод в компьютер, применение пакета прикладных программ покадровой обработки, включающей геометрическую и радиометрическую коррекцию, цветовое кодирование, оконтуривание объектов дешифрирования в интерактивном режиме, вывод табличной (экспликации карт, значения площадей и др.) и графической информации на твердый носитель. В ряде случаев целесообразно применение ГИС-технологий, предусматривающих обработку всего комплекса синхронной мониторинговой информации.

В результате применения высокоточного оборудования бортовой системы локального мониторинга Биосфера ТМ и компьютерной графической станции впервые в практике мониторинга геотехнических систем нефтяных месторождений был получен комплекс информационных материалов на площадь более 800 км², позволяющий создать крупномасштабные тематические электронные карты следующих наименований [Топчиев и др., 1998].

1. Карта экологического состояния геотехнических систем на ландшафтной основе.

2. Карта динамики природно-антропогенных и стрессовых изменений геотехнических систем.

3. Карта прогноза развития природно-антропогенных геосистем.

4. Карта рационального природопользования и экологической защиты ландшафта.

5. Информационно-управляющая ГИС в обеспечение задач прогноза устойчивого развития и рационального землепользования нефтедобывающих регионов Ханты-Мансийского АО.

Названные выше тематические карты получены в электронной форме и проанализированы с использованием пакета прикладных программ MicroStation, MapInfo. При этом выявлены участки напряженного состояния трубопроводов на участках развития деформаций, связанных с динамикой промерзающих и оттаивающих грунтов, и влияния неотектонических дизъюнктивных нарушений. Определены зоны повышенной опасности для прокладки трубопроводов и размещения кустовых буровых площадок. Установле-

ны участки развития опасных экзогенных геологических процессов, активно развивающихся в ходе возрастания антропогенных нагрузок на ландшафт.

Органами Государственного контроля использования и охраны земель переданы материалы на ряд месторождений, систематизирующие факторы нарушения земельного и природоохранного законодательства, представленные в виде ГИС, электронных карт и таблиц.

Наибольший практический интерес имеют принципиально новые поисковые критерии индикации неизвестных ранее участков перспективных нефтегазоносных площадей в пределах труднодоступных и удаленных районов Западной Сибири. Эти критерии разработаны на основе геолого-структурного анализа комплекса информационных материалов, полученных на локальном уровне с использованием системы мониторинга Биосфера ТМ.

В настоящее время в связи с повышением инвестиционной активности крупных нефтяных компаний разработана программа применения системы локального мониторинга Биосфера ТМ для обеспечения экологического аудита и экспертизы технического состояния объектов нефтегазового комплекса, а также выполнения геологопоисковых работ на нефтяных и газовой-конденсатных месторождениях Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономных округов.

Литература

- Долингер В. А. Об экологической ситуации в округе, обусловленной нефтяными загрязнениями // Создание комплексной системы предупреждения и ликвидации нефтяных загрязнений и механизма ее финансирования на территории Ханты-Мансийского округа. Мат-лы окружного совещания. Ханты-Мансийск, 1997, с. 6—12.
- Кондратьев К. Я., Козодеров В. В., Топчиев А. Г., Федченко П. П. Биосфера: методы и результаты дистанционного зондирования. М., Наука, 1990, 221 с.
- Топчиев А. Г. Аэрокосмический мониторинг природных наледных геосистем // Исследование Земли из космоса, 1988, № 3, с. 50—57.
- Топчиев А. Г., Бородин Б. Ф., Антипов А. В. Система локального мониторинга „Биосфера ТМ“ // Геодезия и картография, 1997а, № 6, с. 29—33.
- Топчиев А. Г., Девичев А. А., Любимцев М. Ю. Геоинформационная система оперативного Госземконтроля зоны влияния предприятий нефтегазового комплекса // Изв. выс. учеб. зав. Геодезия и аэросъемка, № 7. М., Изд-во Моск. гос. ун-та геодезии и картографии, 1997, с. 80—86.
- Топчиев А. Г., Девичев А. А., Любимцев М. Ю. Система геоинформационного обеспечения экологически устойчивого развития регионов добычи, переработки и транспортировки углеводородов // ГИС для оптимизации природопользования в целях устойчивого развития территорий. Мат-лы междунар. конф. Барнаул, 1998, с. 290—297.

Поступила в редакцию
31 августа 1999 г.