

Информационное обеспечение задач оценки состояния природно-техногенной сферы с использованием данных космического и локального мониторинга

Т.В. Кондранин¹, В.В. Козодеров², А.Г. Топчиев², В.А. Головкин³, В.С. Косолапов⁴

¹Московский физико-технический институт (государственный университет)
141900 г. Долгопрудный Московской области, Институтский пер., 9
E-mail: kondr@kondr.ector.mipt.ru

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119992 Москва, Ленинские горы, МГУ
E-mails: vkozod@mes.msu.ru, monitoring@mail.ru

³Научно-исследовательский центр космической метеорологии «Планета»
123242 Москва, Большой Предтеченский пер., 7
E-mail: golovko@planet.iitp.ru

⁴Институт вычислительной математики РАН
119991 Москва, ул. Губкина, 8
E-mail: kosolap@inm.ras.ru

Рассматриваются особенности и перспективы получения информационной продукции космического и локального мониторинга природно-техногенной сферы как совокупности природных экосистем и инфраструктуры промышленного производства, дорожно-транспортной сети отдельных регионов и т.п. Соответствующие технологии оценки состояния объектов природно-техногенной сферы развиваются в направлении получения конечной информационной продукции в трех видах: результаты обработки многоспектральных спутниковых изображений в форматах, допускающих их дальнейшее использование в среде географических информационных систем (ГИС); результаты обработки материалов локального мониторинга выбранных территорий; совмещенные результаты анализа данных космического и локального мониторинга. Описаны преимущества развиваемых технологических внедрений перед аналогичными разработками других авторов, а также новые технические решения, достигнутые в процессе реализации научно-технологических проектов по исследуемой проблематике.

Введение

При решении задач геоэкологии и рационального природопользования широкое распространение получили технологии использования данных аэрокосмического мониторинга. Особую значимость эти методы приобретают при решении оперативных задач в условиях стрессового состояния природно-антропогенных экосистем, обусловленного аномальными техногенными и природными воздействиями. Космические системы наблюдений дают общее представление о состоянии ресурсов отдельных регионов. Эти системы наблюдений позволяют осуществлять мониторинг больших территорий на основе обработки многоспектральных изображений с использованием технологий географических информационных систем (ГИС), но имеется необходимость получения новой информационной продукции в том виде, с которым имеют дело конкретные пользователи (например, объем биомассы лесных, сельскохозяйственных и других экосистем в момент съемки).

Одних спутниковых данных недостаточно для получения достоверной информации о состоянии природно-техногенной сферы вследствие сложностей оперативного получения исходных данных наблюдений для конкретных регионов (по условиям облачности, пространственного разрешения, прохождения орбит космических носителей и др.). Под природно-техногенной сферой понимается совокупность лесных и других экосистем, объединенных на конкретном региональном уровне с объектами промышленного и сельскохозяйственного производства, дорожно-транспортной инфраструктуры и т.п. Требуется создание системы локального мониторинга на базе малой авиации с минимальным составом аппаратуры в виде цветной панорамной камеры, приемниками глобального спутникового

позиционирования, использованием текущей картографической информации и возможностью ее обновления с помощью спутниковых систем наблюдений.

В рамках отдельных проектов РФФИ и Минобрнауки РФ проводятся объединенные исследования возможностей космического и локального мониторинга для получения объективной и оперативной информации о состоянии природно-техногенных объектов для конкретных регионов с оценкой их экологического состояния. Применение разрабатываемой системы локального мониторинга в сочетании с информацией, получаемой современными отечественными и зарубежными космическими средствами дистанционного зондирования, позволяет существенно повысить обоснованность и надежность принимаемых решений по оценке текущего состояния региональных экосистем.

Как сказано выше, космические системы обладают определенными ограничениями и во многих практически важных случаях дают достаточно общее представление о состоянии наблюдаемых объектов в регионе. Получение более детальной и конкретной информации о состоянии наблюдаемых объектов природно-техногенной сферы, особенно в оперативном режиме, может быть обеспечено только с помощью разрабатываемой системы комплексного мониторинга. При этом в компьютерной среде этой системы наряду с цифровыми массивами данных видеосъемки локального мониторинга (ЛМ) используются доступные оперативные и архивные данные, получаемые со спутников. Сложности реализации результатов проекта связаны с отсутствием широкой популяризации предлагаемого комплексного подхода. Многие потенциальные пользователи не до конца воспринимают реальные возможности спутниковых систем мониторинга для оценки состояния территорий. Еще менее известно о возможностях предлагаемого локального мониторинга территорий. Между тем, перспективы рынка здесь весьма широки.

В данной публикации дается общее описание соответствующих возможностей использования данных совмещенного космического и локального мониторинга природно-техногенной сферы. Акцент сделан на такое оснащение разрабатываемой системы локального мониторинга, которое должно позволить региональным пользователям информационной продукции ориентироваться на новые возможности современных методов аэрокосмического зондирования в условиях текущего отсутствия российской спутниковой группировки для рассматриваемых целей.

Локальный мониторинг

Система локального мониторинга (СЛМ) основана на применении сверхлегких летательных аппаратов класса «Ультра-лайт», оборудованных стандартными портативными бортовыми комплексами дистанционного зондирования, а также бортовым программно-аппаратурным комплексом с подсистемой спутникового позиционирования. В состав бортового информационно-измерительного комплекса входят:

- спутниковая навигационная система с программным обеспечением; цифровая телевизионная камера высокого разрешения; контрольный видеомонитор;
- маятниковая система подвеса аэросъемочной аппаратуры, снабженная поворотной платформой, демпферами и виброгасителями;
- бортовая система энергообеспечения и защиты информации;
- видеокамера, предназначенная для выполнения перспективной аэросъемки в карданной системе подвеса;
- бортовой вычислительный комплекс;
- специальный программный комплекс, обеспечивающий захват видеокadra синхронно с получением данных глобального спутникового позиционирования, сжатие растровой информации, адресное помещение в базу данных и отслеживание проекции летательного аппарата на электронной карте местности в реальном режиме времени.

Возможна доработка бортового комплекса локального мониторинга путем включения в его состав: видеоспектрометра (для получения количественных оценок величины биомассы почвенно-растительного покрова, содержания взвесей в водоемах и др.); тепловизора (для обнаружения температурных контрастов и анализа теплоинерционных характеристик объектов природно-техногенной сферы в дневное и ночное время суток); СВЧ-радиометра (для определения степени увлажнения зондируемых территорий).

Эффективность применения СЛМ по сравнению с традиционно применяемыми спутниковыми и аэросъемочными системами определяется следующим.

1. Вертолеты и самолеты класса «Ультра-лайт» базируются непосредственно вблизи объектов мониторинга. Подлет составляет не более 5%-7% от общего времени дистанционного зондирования (ДЗ). Это позволяет обеспечить существенную экономию летного времени, расходуемую в случае применения специальной аэросъемочной авиации (АН-30, ТУ-134 СХ и др.) на подлет к съемочному объекту от аэродромов постоянного базирования. 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 вертолетов и самолетов класса «Ультра-лайт» на любую твердую поверхность позволяет осуществить подбор места базирования в пределах съемочной площади, а, следовательно, воспользоваться оптимальными метеоусловиями на локальном участке выполнения летно-съемочных работ (ЛСР), устанавливаемым даже на незначительный период времени.

3. Крейсерская скорость (до 120-140 км/час) и широкий диапазон высот (от нескольких десятков метров до 3-4 км) позволяют оперативно выбирать оптимальные условия съемки с учетом пространственного и спектрального распределения наблюдаемых объектов ДЗ. Имеются возможности исключения смаза изображения при выполнении ЛСР на предельно малых высотах, что особенно важно при сборе дистанционной информации для решения задач крупномасштабного топографического картографирования в масштабах от 1:500 до 1:10 000 методом телевизионной аэросъемки.

4. Базирование авиасредства в непосредственной близости к объекту съемки позволяет организовывать синхронные наземные обследования. В этом случае выбор эталонных объектов осуществляется по данным телевизионной съемки, оперативный просмотр дистанционной информации выполняется в ходе полевых работ. При крупномасштабном тематическом картографировании (геологическом, инженерно-геологическом, почвенно-геоботаническом, экологическом и др.) такая методика обеспечивает повышение достоверности выходных данных и существенное снижение затрат на выполнение полевых работ.

5. Недоступные для традиционно применяемых летных средств сверхмалые высоты (150-300 метров) и крейсерские скорости выполнения ДЗ позволяют получить качественно новую информационную продукцию по спектральным, калориметрическим и частотно-пространственным характеристикам наблюдаемых объектов на локальном уровне.

6. Фрагментарный (локальный) мониторинг наиболее нарушенных элементов биосферы в пределах целостных геотехнических систем (например, нефтяных месторождений) исключает непроизводительные затраты на тотальное «сканирование» всей лицензируемой площади месторождения, при котором до 80% материалов аэросъемки идет в отвал. Важнейшим преимуществом применения СЛМ при этом является возможность участия местных специалистов (заказчиков) в планировании летно-съемочных работ непосредственно на объекте мониторинга. Оперативное управление летно-съемочным процессом, исходя из функциональных задач мониторинга, корректирование параметров летных работ в зависимости от изменяющихся метеоусловий, особенностей динамики спектральных и калориметрических характеристик объектов ДЗ, освещенности и оптико-физических свойств ландшафта, обеспечивают повышение эффективности всей программы мониторинга в целом.

Новые технические решения

В процессе работ по перечисленным грантам поставлены и решены следующие технические задачи по созданию бортового программно-аппаратурного комплекса:

- создан маятниковый карданный подвес, обеспечивающий стабильное положение блока аэросъемочной аппаратуры в процессе полета, взлета и посадки;
- создан интерфейс, позволяющий выполнять отслеживание перемещения летательного аппарата в реальном масштабе времени на экране монитора с подгруженной электронной тематической картой местности с точностью бортовой системы глобального позиционирования GPS;
- достигнуто улучшение спектральных и калориметрических характеристик изображения на основе применения авиационных интерференционных и поляризационных фильтров;
- повышено пространственного разрешения изображения путем применения профессиональной камеры с матрицей до 9000000 пикселей и усовершенствованной системой регистрации данных;
- обеспечена синхронизация срабатывания электронного затвора камеры и получения GPS-данных центра видеокadra;
- реализованы возможности компенсации ветрового скольжения СЛА (несовпадения съемочного галса с осевой линией летательного аппарата при боковом ветре) в процессе ЛСР на основе применения оригинальной системы управления;
- обеспечена возможность оперативного изменения частоты срабатывания затвора камеры при изменении скорости полета СЛА вследствие ветрового воздействия;
- обеспечена возможность получения серии кадров с заданным продольным и поперечным перекрытием;
- обеспечена регистрация данных ДЗ в цифровой форме с возможностью дополнительного сжатия растровых файлов на основе применения современных программных средств;
- программным методом достигнута стандартная радиометрическая коррекция серии кадров в пределах маршрута или блока видеокadров в соответствии с заданным алгоритмом;
- организовано рабочее место пилота-бортоператора с учетом требований эргономики и безопасности полетов.

Сопоставление с мировым уровнем

Известны способы аэросъемки контролируемой территории и системы, обеспечивающие технологию аэросъемки, сбора и обработки информации (патент ФРГ №19919487, класс G 01 C 11/02, опубликован 23.11.2000 г., патент ФРГ №4419359, класс G 01 C 11/04, опубликован 07.12.95 г.), для выполнения покадровой съемки, позиционирования с помощью данных глобальной спутниковой системы и датчиков, установленных на борту летательного аппарата. Указанные способы и бортовые программно-аппаратурные комплексы для их осуществления, которые предназначены для создания и обновления топографических карт и планов, а также получения стереомodelей рельефа, являются экономически неэффективными при мониторинге антропогенных геотехнических систем линейного типа, например, внутрипромысловых трубопроводов с целью дефектоскопии и прогнозирования возможных аварийных ситуаций. Известен также способ дистанционного обнаружения утечек жидких углеводородов из трубопроводов класс F17D5/02, G01J3/44, патенты RU2079772 (опубликован 20.02.1997), RU2079772 (опубликован 20.08.1997). В этих комплексах в качестве основного средства съемки применена тепловизионная камера, имеющая недостаточное разрешение для создания картографических материалов крупнее 1:50 000 масштаба. Кроме того, в состав бортового комплекса не включена система спутниковой навигации, что затрудняет привязку данных и уверенное пилотирование.

Значительным техническим достижением является «Автоматический беспилотный дистанционный комплекс» (АБДК), запатентованный ЛИИ им. М.М. Громова RU 2200900 C2 (публикация от 20.03.2003).

Из 28 блоков АБДК функциональному назначению соответствуют: газоанализатор, реагирующий на все метаногенные образования (болота, участки эвтрофирования водоемов, скотомогильники, полигоны отходов, гниющие древесные отходы и т.д.); магнитометр, зависимый от наводок многочисленных кабелей, ЛЭП, станций катодной защиты трубопроводов и т.д.; тепловизор, не имеющий требуемого разрешения для уверенного распознавания объектов съемки. Существенным ограничением при внедрении АБДК является и высокая стоимость комплекса вместе с наземной станцией управления. Кроме того, в случае утечки, факел газа при скорости ветра у поверхности земли 3-5 м/с не может быть привязан к участку разгерметизации с точностью, необходимой для проведения ремонтных работ.

Можно утверждать, что именно такие, достаточно затратные технологии и аппаратные средства, заполняют рынок инновационных технологий в области ДЗ, делая их фактически невостребованными на современном этапе внедрения. Дальнейшее усовершенствование подобного комплекса выполнено ЛенСПЕЦСМУ при разработке, завершённой изобретением «Автоматический беспилотный диагностический комплекс» RU 2256894 C1 (опубликован 20.07.2005). Следует констатировать, что при значительном усовершенствовании систем дистанционного управления и повышения надежности обмена радиотелеметрической и командной информацией за счет применения дуплексной радиосвязи данный комплекс имеет те же недостатки, которые характерны для рассмотренного выше изобретения в части, касающейся специальной измерительной аппаратуры.

Для обоих отмеченных комплексов характерна высокая степень рисков их практической эксплуатации в густонаселенных районах прокладки трасс магистральных газопроводов. Для зоны технической ответственности ООО «Мострансгаз» и других подразделений РАО «Газпром» характерна высокая плотность застройки техническими и технологическими сооружениями. При крейсерской скорости 120-140 км/час и высоте полета над коридором коммуникаций 50 метров в случае возникновения нештатной ситуации в процессе полета оператор не успеет среагировать и вывести систему из коридора коммуникаций в безопасное место. Беспилотный комплекс в случае аварийного приземления может вызвать техногенную катастрофу, материальные и финансовые последствия которой превысят эффективность дистанционной диагностики в десятки раз. Это исключает применение таких комплексов над магистральными газотранспортными системами стратегического назначения. Другим существенным ограничением рассмотренных выше технологий дефектоскопии является невозможность идентификации конкретного участка фильтрации метана в том случае, если в коридоре проложено параллельно на расстоянии 25-30 метров сразу 5-6 труб высокого давления. Ошибки при вскрытии и огневые работы с остановкой транспортировки по экспортному газопроводу приводят к затратам, фактически дискредитирующим данный метод и комплекс несмотря на его техническое совершенство и высокую стоимость затрат по созданию.

НПФ «Оптоойл» запатентовал «Способ дистанционного обнаружения утечек жидких углеводородов из трубопроводов» RU 2079772 C1, основанный на изучении теплового поля, определении пороговых значений яркости и дополнительного лазерного зондирования выделенных участков. Созданный комплекс не включает средства позиционирования выделенных аномалий с заданной точностью. Поэтому данный способ не пригоден в труднодоступных и удаленных районах РФ, где проложены основные действующие магистральные трубопроводы и внутрипромысловые коллекторы.

Аналогичными недостатками обладает и «Способ дистанционного обнаружения утечек нефти из магистральных трубопроводов» RU 2073816 C1 (НПФ «Оптоойл»).

Применяемые для выполнения аэровизуальных наблюдений объектов нефтегазового комплекса пилотируемые вертолеты, как правило, не имеют технических систем оперативной регистрации данных мониторинга, кроме подручных средств в виде фотоаппаратов, видеокамер и диктофонов. Исключение составляют специально оборудованные аэрофотографической или тепловизионной аппаратурой вертолеты МИ-8МТ, которые вследствие высокой стоимости аренды применяются крайне редко. Высокая аварийность и изношенность вертолетного парка делает эти работы в удаленных и труднодоступных регионах РФ опасными для технического персонала. Большие проблемы возникают при согласовании вопросов монтажа аппаратуры, бортового электропитания, обеспечения режима работы со спецматериалами и т.д.

Вместе с тем значительный интерес представляют разработки по смежным направлениям, например патенты Великобритании № 1440826, кл. В7W, 1976 и RU 2087387 С1 «Комплексная телевизионная система для поиска потерпевших бедствие людей с борта летательного аппарата». Большой объем патентной документации США посвящен различным аспектам создания поворотных платформ и бортовых систем управления телевизионными и тепловизионными системами на борту легких вертолетов: «Television camera monitoring structure for helicopters used in aerial survey work», US Patent Office, 3,523,660 etc.

Рассмотренные данные приводят к выводу об ограничениях беспилотных авиационных платформ, применяемых для размещения бортовых систем диагностики объектов нефтегазового комплекса. Указанные ограничения беспилотных авиационных платформ не исключают их применения при решении задач авиационной разведки, обследования труднодоступных и малообжитых районов. Применение таких платформ эффективно в затрудненных природных условиях выполнения ДЗ (дымка, высокие и низкие температуры, низкое атмосферное давление в высокогорных районах, турбулентные процессы в атмосфере, пожары и т.д.). В ряде случаев такие системы являются также безальтернативными. Вместе с тем, при выполнении ЛСР, направленных на решение задач дистанционного зондирования природно-техногенной сферы, беспилотные авиационные платформы оказываются невостребованными на всех уровнях органов управления нефтегазовым комплексом.

Не останавливаясь подробно на отдельных деталях исследований, полученных по результатам большого объема стендовых испытаний и летно-экспериментальных работ, отметим, что платформа на базе мотодельтаплана МДП «Поиск 06» была выбрана как оптимальная для решения задач оценки состояния природно-техногенной сферы отдельных регионов РФ. Производительность такой системы локального мониторинга 25 кв. км/час. Стоимость 1 кв. км – 3.2 ам. долларов. Для мониторинга линейных объектов нефтегазового комплекса достигается снижение затрат на выполнение дистанционного зондирования в сравнении с существующими космическими системами (QuickBird, IKONOS, IRS, SPOT-5 и др.), а также с данными, получаемыми с помощью авиационных платформ - в десятки раз. Перспективы развития рынка технологий СЛМ:

- земельно-кадастровые службы субъектов РФ;
- частные предприятия, занятые в подготовке топографо-геодезической основы для оформления земельных сделок;
- службы экологического мониторинга;
- подразделения МЧС в субъектах РФ;
- маркшейдерские, землеустроительные и геоэкологические службы ведущих нефтегазодобывающих компаний РФ;
- региональные подразделения РАО «Газпром» и его дочерних газотранспортных предприятий (ООО «Мострансгаз» и др.).

Космический мониторинг

Авторские разработки приложений методов видеоспектрометрии на основе данных аппаратуры MODIS спутника Тетра показали возможности получения новой информационной продукции (объем биомассы растительности и др.). Для этих целей разработаны уникальные технологии преобразования каждого элемента обрабатываемых изображений в параметры состояния наблюдаемых объектов (кроме биомассы это конкретные типы экосистем: лиственные, хвойные, смешанные; типы подстилающей поверхности: травянистый покров, болота и др.; состояние атмосферы в момент съемки; другие особенности выделенных объектов природно-техногенной сферы). Преимущества предлагаемого технологического подхода перед аналогичными разработками других авторов: возможность восстановления биомассы растительности для каждого элемента многоспектрального изображения наряду с получением информации о преобладающем породном составе лесных экосистем и информацией о состоянии атмосферы в момент съемки, извлекаемой в обоих случаях из исходных данных дистанционного спутникового зондирования; вместе с информацией о

биомассе растительности выдается информация о типах межкрановой растительности, о проективном покрытии почв растительностью (сомкнутость полога – число деревьев на единицу площади, ажурность крон деревьев – число просветов и затенений на выбранной площади и др.).

Заключение

Перечисленные особенности информационного обеспечения задач оценки состояния природно-техногенной сферы по данным космического и локального мониторинга показывают, что открываются новые возможности создания многофункциональной информационной системы аэрокосмического мониторинга, сочетающей широкое покрытие больших территорий предлагаемой информационной продукцией и детальность проработки региональных особенностей соответствующих территорий. Соответствующие исследования и разработки проводятся в рамках проектов: «Технология информационной поддержки решения задач оценки и прогнозирования состояния лесной растительности с использованием данных космического дистанционного зондирования» (РФФИ №05-07-90176); «Обратные задачи оценки состояния лесных экосистем по многоспектральным космическим изображениям» (РФФИ №05-05-64199); «Технология оценки состояния природно-техногенной сферы по совмещенным данным локального мониторинга на базе сверхлегких летательных аппаратов и космического дистанционного зондирования» (РФФИ №05-05-08004_офи); «Исследование и разработка методов повышения информативности количественной оценки состояния природно-техногенной сферы по совмещенным данным локального и космического мониторинга» Программы Минобразования РФ «Развитие научного потенциала высшей школы (2006-2008 годы)» и др.