УДК 504.054.001.5;504.064

В.С.Шалаев, В.Н.Харченко, Ю.С.Галкин, Л.И.Нечинская

Московский университет леса

КОМПЛЕКС ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ И МЕТОДОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСНЫХ И УРБОЭКОСИСТЕМ

На основе результатов изучения современных космических и наземных технических средств и методов, используемых при экологическом мониторинге, отобраны наиболее перспективные из них и предложены направления их дальнейшего развития. Приведены результаты исследований всего комплекса проблем; теоретические и методологические решения подтверждены натурными экспериментами. Созданные приборы и технологии защищены патентами и имеют практическое применение. Проводится широкий цикл исследований в области экологии для проверки результатов мониторинга и определения перспектив дальнейшего развития.

The paper considers the most perspective space-engineering and ground aids and methods used in ecological monitoring and ways of their further development. The author analyzes the whole complex of problems and suggests theoretical and methodological solutions, which were proven by full-scale experiments. The resulted equipment and technologies that have been patented and have a wide application are described hereinafter.

Мониторинг состояния лесных и урбоэкосистем может рассматриваться как система контроля, обеспечивающая устойчивое развитие и сохранение природных, антропогенно-природных и антропогенно преобразованных территорий. Одной из основных проблем устойчивого функционирования лесных и урбоэкосистем является обеспечение специалистов необходимой достоверной информацией о состоянии окружающей среды и основных компонентов экосистем. Решение ее возможно на основе необходимого и достаточного количества выборочных данных, получаемых в результате мониторинга различных уровней: от территорий континентальных масштабов до региональных и городских территорий и местностей. Разнообразие требуемой информации приводит к необходимости изучения, анализа и разработки большого числа различных техниче-

ских средств и методов, в наибольшей степени соответствующих задачам, поставленным перед мониторингом. Многопрофильная межфакультетская и межкафедральная структура исследовательского коллектива, тесно сотрудничающего с ведущими академическими институтами (ИРЭ РАН, ИОФ РАН, ЦЭПЛ РАН и др.), позволяет анализировать более широкий спектр возможностей в этой области, учитывая требования многоуровенности и многоплановости наблюдений [7]. Формализация параметров и показателей состояния экосистем и разномасштабность решаемых задач позволяют формировать систему мониторинга как иерархическую по масштабам (например, от континентальных к одиночным объектам) и блочно-модульную по задачам (степень залесенности, видовой состав растительности, водный баланс почв, лесопатология, антропогенные воздействия и т.д.) [6]. Это дает возможность работать большему числу исследователей одновременно, увеличивая количество задач, решаемых системой.

Одним из предметов исследований является спутниковое радиолокационное зондирование – наиболее глобальное всепогодное средство мониторинга земной поверхности. При радиолокационном зондировании используют облучение подстилающей поверхности импульсными радиосигналами различных длин волн и поляризаций. О характеристиках поверхности в этом случае судят по параметрам амплитуды и фазы отраженного сигнала [1]. Этот метод дает характеристику видового состава лесного массива, бонитета леса, влажности почвы и т.д. на больших площадях, в удаленных и труднодоступных районах. Современные космические радиолокационные системы имеют, как правило, среднее разрешение от 20 до 40 м, а ширина полосы съемки лежит в пределах 60-100 км. Периодичность съемки одной и той же точки поверхности в режиме фиксированного угла зондирования 20-40 дней. При использовании специального режима SCANSAR (он реализован, например, в канадской системе RADARSAT), указанные параметры улучшаются: разрешение от 100 до 200 м, ширина полосы до 500 км, а периодичность съемки может быть доведена до 2-4 дней. В технически развитых странах создано значительное количество космических радиолокаторов (ERS-1, ERS-2, SIR-C, SIR-C/X SAR, JERS и др.), данные которых хранятся в наземных центрах хранения и могут быть заказаны для отработки методов мониторинговых задач.

Исследования, проведенные в МГУЛ по технологии обработки спутниковых радиолокационных снимков, проверялись на полигоне МГУЛ в Щелковском районе Московской области, где были проведены экспериментальные работы по определению запаса древесины по данным космического радиолокатора SIR-C [9]. Результаты экспериментов подтвердили перспективность выбранного направления исследований. Аналогичные результаты получены при обработке данных радиолокатора JERS для полигона в районе Самарской Луки. На радиолокационном изображении выявлены неизвестные ранее участки гари и избыточного увлажнения, наличие которых подтверждено последующими полевыми обследованиями.

Вторым направлением исследований является космический мониторинг в оптическом диапазоне волн, который, хотя и подвержен в значительной мере влиянию внешних условий зондирования, но обеспечивает большее разрешение деталей, применим в региональных масштабах и наиболее распространен в большинстве современных космических технологий. Анализ показывает, что основной центр тяжести исследований потребителей космических снимков в этой области приходится на разработку методов автоматизации анализа космических снимков на базе современной вычислительной техники. Здесь в рамках исследований экспериментально проверялись запатентованные исполнителем спектральный, фрактальный и линеаментный способы решения задач: определения биомассы растительности по спектрозональным снимкам, полученным в Госцентре «Природа» [4], и раннего обнаружения лесопатологии на основе многоспектральных изображений [5].

Таким образом, накопленный опыт аэрокосмического мониторинга земной поверхности свидетельствует, что эффективное решение поставленной задачи в значительной степени зависит от продвижения в решении проблемы обработки данных дистанционного зондирования, дающего яркостное изображение поверхности, которое имеет сложную многозначную связь с ее физическими характеристиками.

Химические реакции в живых клетках, как правило, приводят к образованию летучих фракций, характерных для конкретных видов растений и поступающих в окружающую атмосферу. Определение наличия и концентрации этих фракций может дать однозначную информацию о видовом составе, количестве и биологическом состоянии растительности. Таким образом, задача идентификации растений переходит в задачу обнаружения дистанционными методами малых газовых компонентов в атмосфере. Решение этой задачи необходимо для мониторинга различных компонентов атмосферы, поллютантов, поиска определенного вида растений и т.д.

Наиболее чувствительным методом решения указанной задачи является аналитическая лазерная спектроскопия [2], получившая интенсивное развитие за последние 10-20 лет.

Повышенный интерес отечественных и зарубежных исследователей к лазерным методам измерений объясняется их технологическими достоинствами:

- высокой селективностью методов, основанной на индивидуальных спектральных свойствах веществ, что позволяет более четко определять компонентный состав исследуемых смесей и выделять из них интересующие компоненты;
- высокая чувствительность приборов по всем определяемым компонентам;
- возможность получения в точке расположения прибора распределения измеряемого компонента в пространстве и времени.

Среди нескольких проанализированных лазерных методов мониторинга наиболее распространенным в мировой практике является так называемый метод дифференциального поглощения. На основе этого метода были разработаны приборы для измерения концентрации парниковых газов CH_4 и CO_2 с точностью до 0,001 ppm, а также различных загрязнений в атмосфере. В качестве излучателя в приборах применен полупроводниковый перестраиваемый диодный лазер и многопроходная (до 100 проходов) кювета, что позволило резко уменьшить габариты и энергопотребление и сделать прибор транспортабельным (масса менее 10 кг). Разработанные приборы, включенные в инновационный потенциал темы, являются базой дальнейших исследований, направленных на повышение чувствительности лазерных спектральных методов на несколько порядков.

Для завершения иерархической системы мониторинга на уровне объекта в рамках темы разработан специальный автоматизированный измерительный модуль (АИМ), который содержит интеллектуальный контроллер, модем (радиомодем) и набор метеорологических, газочувствительных и волоконно-оптических датчиков для комплексного экологического мониторинга на объекте.

Таким образом, разработан комплекс технических средств и методов, который может быть скомпонован в систему для экологического мониторинга лесных и урбоэкосистем любого целевого назначения (индекс состояния насаждений, таксационные показатели, загрязнения и техногенные воздействия на биосферу в целом). Для расширения перечня индикативных признаков дистанционного экологического мониторинга и тестовой проверки результатов в рамках темы профессиональными коллективами МГУЛ проведены разносторонние биологические исследования практически по всем аспектам функционирования экосистем: лесопатологии, физиологии растений, влияния состояния почв, биопродуктивности, лесопользования и др. Все новые методы и результаты исследований включаются в образовательный процесс согласно разработанным методикам и способствуют формированию кадров высшей квалификации [3, 8].

За отчетный период по тематике работ защищены одна докторская и три кандидатские диссертации.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арманд Н.А.* Микроволновое зондирование природной среды из космоса // Математические и физические методы в экологии и мониторинге природной среды: Сборник докладов / Московский ун-т леса. М., 2001.

2. *Галкин Ю.С.* Исследование методов и средств экологического мониторинга окружающей среды путем зондирования ее электромагнитными волнами // Лесной вестник. 2000. № 6.

3. *Галкин Ю.С.* Научно-исследовательские и учебно-методические аспекты применения космических технологий при решении задач лесного комплекса / Ю.С.Галкин, В.Н.Харченко, В.Ф.Давыдов // Вестник МАНВШ. 2000. № 3.

4. *Давыдов В.Ф.* Попиксельная обработка радиолокационных и спектрозональных изображений для оценки биомассы растений / В.Ф.Давыдов, Г.П.Илларионов // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: Науч. труды / Московский ун-т леса. М., 2001. Вып.314.

5. *Давыдов В.Ф.* Методы ранней лесопатологической диагностики на основе многоспектральных изображений / В.Ф.Давыдов, Г.П.Илларионов // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: Науч. труды / Московский ун-т леса. М., 2001. Вып.318.

6. *Мозолевская Е.Г.* Формализация нарушений состояния лесов и их последствий для целей мониторинга // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Сборник докладов / ЦЭПЛ РАН. М., 2002.

7. *Шалаев В.С.* Основные направления и перспективы развития НИР по проблеме экологического мониторинга // Лесной вестник. 2000. № 6.

8. *Шалаев В.С.* Аэрокосмические методы и средства исследования лесных ресурсов на базе ГИС-технологий – новая специализация в МГУЛ / В.С.Шалаев, С.И.Чумаченко // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Сборник докладов / ЦЭПЛ РАН. М., 2002.

9. *Шмаленюк А.С.* Возможности определения величины запаса древесины по радиолокационным космическим снимкам / А.С.Шмаленюк, Г.П.Илларионов, В.С.Шалаев // Экология, мониторинг и рациональное природопользование / Московский ун-т леса. М., 2001. Вып.314.