

Анализ возможностей применения современных геоинформационных систем автоматизированного мониторинга состояния лесных массивов в интересах развития лесного хозяйства России

Analysis of the possibilities of using modern geographic information systems automated monitoring of the state of forest areas in the interests of the development of forestry in Russia

doi 10.26310/2071-3010.2021.277.11.006



В. И. Тимофеев,

к. т. н., доцент, кафедра эксплуатации и управления аэрокосмическими системами, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
✉ timofeev-vi@yandex.ru

V. I. Timofeev,

PhD, cand. sci. (eng.), associate professor, department of operation and management of aerospace systems, Saint-Petersburg state university of aerospace instrumentation



Е. В. Козин,

к. т. н., доцент, кафедра деятельности ОВД в особых условиях, Санкт-Петербургский университет Министерства внутренних дел Российской Федерации
✉ ekozin1970@mail.ru

E. V. Kozin,

cand. sci. (eng.), associate professor, department of internal affairs activities in special conditions, St. Petersburg university of the Ministry of internal affairs of the Russian Federation

В статье предлагается обобщенный анализ применения современных геоинформационных систем автоматизированного мониторинга изменения лесных массивов на конкретной местности в интересах поступательного развития лесного хозяйства России. Поскольку изменение состояния лесных массивов обусловлено целым комплексом различных факторов, и во многом определяет экологическую обстановку в большинстве субъектов Российской Федерации, то в настоящее время задача непрерывного оперативного мониторинга за этими изменениями является весьма актуальной и востребованной.

The article proposes a generalized analysis of the use of modern geoinformation systems for automated monitoring of changes in forest areas in a particular area in the interests of the progressive development of the Russian forestry. Since the change in the state of forest tracts is due to a whole range of different factors, and largely determines the environmental situation in most constituent entities of the Russian Federation, the task of continuous operational monitoring of these changes is currently very relevant and in demand.

Ключевые слова: геоинформационная система, автоматизированный мониторинг, лесные массивы, лесные пожары, геопространственная информация, дистанционное зондирование Земли.

Keywords: geoinformation system, automated monitoring, forests, forest fires, geospatial information, remote sensing of the Earth.

Введение

Вопросы управления лесными ресурсами Российской Федерации и координации деятельности в этой области находятся в ведении Федерального агентства лесного хозяйства, которое организационно входит в состав Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Федеральное агентство лесного хозяйства осуществляет свою деятельность непосредственно через свои территориальные органы и подведомственные организации во взаимодействии с другими федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления, общественными объединениями и иными организациями.

Федеральное агентство лесного хозяйства в своей деятельности руководствуется федеральными законами, актами Президента Российской Федерации и Правительства Российской Федерации, полномочиями собственника в отношении федерального имущества, необходимого для обеспечения исполнения функций федеральных органов государственной власти, а также положениями Лесного кодекса Российской Федерации (от 8 ноября 2006 г.) [1].

Одной из первостепенных задач Федерального агентства лесного хозяйства является мониторинг и

прогнозирование пожарной опасности в лесах и лесных пожаров в целях их локализации и последующей ликвидации (тушения). Явным тому подтверждением являются масштабные лесные пожары, охватившие леса Сибири и Дальнего Востока летом 2021 г.

Большим подспорьем и действенным инструментом для решения задач мониторинга и прогнозирования пожарной опасности в лесах и лесных пожаров являются современные геоинформационные системы и результаты дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, позволяющие оперативно и адекватно оценивать состояние лесных массивов, степень их пожароопасности, площадь распространения лесных пожаров, возникновение очагов возгорания, направления их распространения с учетом преобладающих ветров и многое другое.

В настоящее время системы автоматизированного мониторинга состояния лесных массивов находят самое широкое применение по следующим направлениям:

- 1) управление лесным хозяйством и планирование его развития;
- 2) лесоохрана;
- 3) лесозащитное районирование;
- 4) определение количества лесничеств, лесопарков и установление их границ;
- 5) мониторинг воспроизводства лесов;

- 6) мониторинг пожарной опасности в лесах и распространение лесных пожаров в целях их локализации и ликвидации;
- 7) определение потребных сил и средств лесопожарных формирований, пожарной техники и оборудования на ликвидацию очагов возгорания;
- 8) мониторинг сельскохозяйственных земель и урожайности сельскохозяйственных культур;
- 9) динамика изменения состояния почвогрунтов, опустынивания и заболачивания местности;
- 10) изменение положения береговой линии (черты) внутренних и внешних водоемов и т. п.

Функционал системы автоматизированного мониторинга состояния лесных массивов

Естественный рост деревьев — это объективный и непрерывный процесс. Изменения геометрических параметров и площадных характеристик лесных массивов местности происходят постоянно с течением времени, в том числе, к сожалению, и в результате многочисленных лесных пожаров, которые достаточно часто возникают в весенне-летний период на обширных территориях нашей страны, и наносят колоссальный, порою непоправимый, ущерб лесным угодьям и экологической обстановке регионов в целом.

Как отмечалось выше, борьба с лесными пожарами является чрезвычайно актуальной задачей, решаемой на государственном уровне. Поэтому естественные и антропогенные изменения в состоянии лесных массивов должны быть зафиксированы в тот момент, когда они происходят. Причем, получение и анализ такого рода данных должны осуществляться оперативно и непрерывно. По этой причине возникает необходимость не только осуществлять мониторинг изменений растительности на местности, но и иметь объективную статистику этих изменений, по которой можно сделать прогностические оценки и заключения, которые будут весьма востребованы специалистами лесного хозяйства для планирования работ по уходу за лесными угодьями и расширением лесных массивов путем высаживания молодых деревьев (саженцев). Иными словами, данная технология должна позволить осуществлять постоянный удаленный мониторинг за лесными массивами, растительностью различных типов и почвогрунтами путем проведения автоматизированных измерений контролируемых параметров с определенной временной дискретностью и последующего программно-алгоритмического анализа полученных данных. Таким образом, основу системы автоматизированного мониторинга изменения состояния лесных массивов составляют серии наблюдений, выполненных в течение некоторого времени с целью определения пространственно-временных вариаций геометрических параметров лесных массивов.

Для проведения измерений при автоматизированном мониторинге динамики растительности местности может быть использовано различное топогеодезическое оборудование (GPS-приемники, нивелиры, сенсоры, электронные тахеометры, датчики углов наклона и др.) (рис. 1) [2].

В результате обработки результатов геодезических измерений можно получить информацию о текущем состоянии высоты растительности в виде значений, которые, естественно, отличаются на определенную величину от предыдущих измерений, что может быть представлено в виде 3D-моделей. Кроме того, данные, полученные от различных измерительных геодезических приборов (датчиков, сенсоров), в том числе и GPS-оборудования, передаются в единую базу (банк) данных, и подвергаются оперативной обработке с применением современного геоинформационного программного обеспечения (ПО). Также следует отметить, что современные технологии автоматизированного мониторинга используют комбинации из разнородных видов приборов (датчиков, сенсоров), что позволяет проводить комплексирование информации с целью получения более объективной и адекватной целевой информации.

Поэтому в настоящее время в развитии большинства отраслей лесного хозяйства страны особое значение приобретают геоинформационные системы (ГИС), которые предназначены для сбора, хранения, распространения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о природных объектах в форме их цифрового представления в виде цифровых карт местности (векторных, растровых, квадратомерных и др.).

Понятие ГИС также используется и в более узком смысле — как инструмент (программный продукт), позволяющий пользователям производить поиск, анализ



Рис. 1. Различные виды топогеодезического оборудования, применяемого в системе автоматизированного мониторинга изменений лесных массивов

и редактирование как цифровой карты местности, так и дополнительной информации о природных объектах на ней [3].

ГИС может включать в свой состав пространственные базы данных (в том числе под управлением универсальных систем управления базами данных — СУБД), редакторы растровой и векторной графики, различные средства пространственного анализа данных. С помощью ГИС можно получать не только оперативные данные о состоянии лесных массивов, но и выполнять моделирование и прогнозирование сложных природных процессов, которые практически невозможно просчитать «вручную». Современные измерительные системы и приборы, которые используются в качестве технических средств (платформ) сбора данных на местности, позволяют формировать и постоянно обновлять специализированные базы данных, являющиеся «входными» данными для ГИС [4].

Использование ГИС, технологий глобального позиционирования на основе спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС и GPS, либо раздельно, либо совместно, охватывает широкий диапазон возможностей, которые представлены в виде интегрированных в ГИС специальных приложений. Простые приложения могут иметь доступный функционал в виде определения местоположения участков отбора проб или распределения типов почвогрунтов применительно к урожайности сельскохозяйственных культур, производительности почв и продуктивности насаждений. Более сложные приложения используют существующие преимущества аналитических возможностей ГИС и специального ПО, которые позволяют осуществлять классификацию растительности для диагностирования и прогнозирования урожайности или оценивания степени антропогенного воздействия на окружающую среду, моделирования течения вод, отслеживания путей миграции животных и многое другое.

Так, для решения целого комплекса природоресурсных прикладных задач используется специализированный пакет прикладных программ ArcInfo (ранее назывался Arc/Info), представляющий собой

семейство программных продуктов американской компании ESRI, одного из лидеров мирового рынка ГИС. Сейчас ArcInfo является полноценным инструментом для работы с цифровыми картами местности как формата Arc/Info, так и файлов формата Shape, не хранящих данные о топологии. В настоящее время данный программный продукт в виде отдельной линейки не поставляется, а предлагается производителем как один из модулей ArcGIS.

Программное обеспечение пакета ArcInfo «запоминает» как географическую, так и количественную структуру лесов, и с помощью макроязыка ARC AML связывает пространственную базу данных с моделями планирования, предоставляя полный контроль пользователю через графический интерфейс. Поэтому конечный пользователь может без труда просматривать базы данных, устанавливать параметры модели, анализировать полученные результаты. Функционал ArcInfo дает эффективную возможность добавлять актуальные на данное время пространственно-временные параметры в процессе мониторинга состояния объектов и планирования лесохозяйственных работ (рис. 2).

В рамках существующего кадастра и принятой параметрической модели можно разработать прогностические изображения состояния конкретного лесного массива с заблаговременностью 5, 10, 25 лет или даже на более длительный временной интервал [5].

Коммуникационные возможности существующих геодезических систем позволяют управлять измерительными датчиками в автоматизированном режиме, на значительном удалении от наземного пункта сбора и обработки данных. Работающая в автоматизированном режиме измерительная система позволяет выполнять полные циклы измерений с высокой скоростью и минимизировать ошибки, связанные с так называемым человеческим фактором. Промежутки между циклами измерений могут составлять от нескольких минут или часов до нескольких месяцев или лет в зависимости от опций, заданных оператором. От оператора лишь требуется провести качественный анализ предполагаемого объекта наблюдений

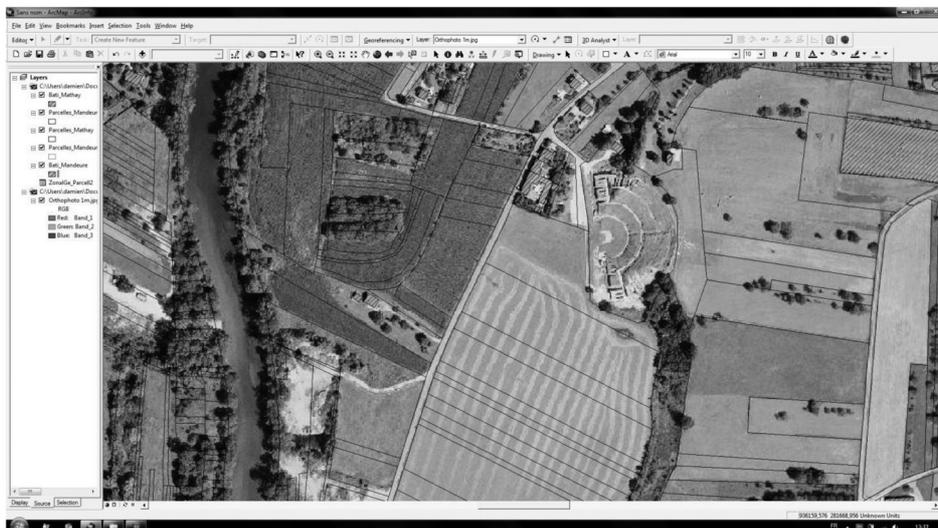


Рис.2. Редактирование слоев в пакете прикладных программ ArcInfo



Рис. 3. Вариант структуры экспериментального участка прогностического космического мониторинга лесопожарной обстановки

для выбора необходимых средств измерений, их совместного расположения и интеграции в единую информационно-телекоммуникационную сеть. Имея постоянно обновляемые параметры наблюдаемого лесного массива, можно с высокой степенью достоверности составлять прогнозы состояния растительности (ее пространственно-временных вариаций). Все результаты измерений от разных датчиков синхронизируются по временным меткам и доступны для просмотра в виде графиков и гистограмм, а также пригодны для дальнейшей обработки и оценивания динамики протекающих природных процессов.

В настоящее время разрабатывается отечественная система автоматизированного мониторинга местности с использованием современных методов картографирования и визуализации геопространственных данных Федерального картографо-геодезического фонда и формируемой инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации. Кроме того, разрабатывается национальная Космическая система дистанционного зондирования Земли для мониторинга стихийных бедствий, в том числе, естественных и искусственных изменений состояния лесных массивов [6].

В «портфеле» возможностей ГИС также входит сбор данных по инвентаризации лесов, что имеет большое значение для руководства отрасли в контексте управления лесами и лесозаготовками. Некоторые приложения ГИС используют интеграционные возможности, основанные на создании единого управления такими процессами, как заготовка древесины, производство лесоматериалов в сочетании с актуальными проблемными вопросами защиты окружающей среды (атмосферы, гидросферы, литосферы, флоры и фауны). Также имеются и другие приоритетные приложения ГИС, такие как предложение комфортных условий для туризма и отдыха, безопасной среды обитания для диких животных и сведение к минимуму возможного ущерба от охотничьего промысла.

Имеющиеся технологии на основе беспроводной связи дают более широкие возможности для доступа к геопространственной информации, даже в удаленных

регионах страны. Поскольку леса являются своего рода динамичным и восполняемым ресурсом, то их состояния во многом определяет экологическую обстановку обширных регионов, где активно развивается энергетика, добыча природных ископаемых, промышленное производство, связанное зачастую с выбросами в атмосферу вредных загрязняющих веществ. И в этой связи чрезвычайно большое значение имеет имитационное моделирование, которое дает возможность определить оценочные параметры состояния лесных угодий, и в целом планировать мероприятия по развитию лесного хозяйства отдельных регионов и страны в целом.

Существующий потенциал ГИС-технологий, их интуитивно понятный интерфейс, специальные инструменты и возможности необходимы для аналитического разрешения возникающих конфликтных ситуаций в области пригодности лесных массивов к лесозаготовкам, выбора и распределения ресурсов, сохранности леса вокруг крупных промышленных объектов и агломераций и т. п. Именно поэтому, в некотором смысле, в лесном хозяйстве воплощается практически весь спектр возможностей ГИС-технологий, достигнутых к настоящему времени. Таким образом, проводимые исследования в сфере лесного хозяйства дают своеобразный стимул для дальнейшего инновационного развития ГИС-технологий в качестве инструмента управления в процессе решения множества актуальных природо-ресурсных и экологических задач [7].

Обеспечение достоверности, объективности и точности геопространственных данных о растительности, а также поддержание их в актуальном состоянии в современных условиях социально-экономического развития страны приобретает первостепенное значение, и невозможно без государственного регулирования в сфере топографического мониторинга изменений геопространственных лесных массивов. В качестве примера на рис. 3 приведен вариант структуры экспериментального участка прогностического космического мониторинга лесопожарной обстановки [8].

Масштабные лесные пожары в России в 2021 г.

В настоящее время одной из наиболее актуальных проблем в системе управления лесным хозяйством страны является негативное воздействие масштабных лесных пожаров на экосистемы лесов.

В частности, начиная с июня 2021 г. таежные леса в Сибири и на Дальнем Востоке охватили сильные лесные пожары, последовавшие за рекордной жарой лета 2021 г. и засухой. К августу 2021 г. выгорело более 17 млн га лесных массивов. По некоторым источникам, это больше, чем все другие пожары в мире вместе взятые как минимум со времен появления первых спутниковых наблюдений за поверхностью Земли (с конца XX века). Однако, в лесных пожарах в Австралии годом ранее сгорело около 18 млн га. Примечательно, что впервые в истории человечества (как минимум со времени появления спутниковых наблюдений) дым от лесных пожаров в России 2021 г. достиг Северного полюса.

В Якутии, по данным Министерства по чрезвычайным ситуациям (МЧС) Республики Саха (Якутия), в начале июля на территории площадью примерно 5720 км² имелось более 250 очагов возгораний (рис. 4).

К концу июля 2021 г. пожары охватили около 3 млн га леса, задымление наблюдалось в 100 населенных пунктах. Лесные пожары наблюдались также в лесах в Амурской области [9]. Между тем, меры управления пожарами включают предотвращение пожаров, контроль над миграциями диких животных и действия по восстановлению лесонасаждений после пожаров. В ГИС с точки зрения управления пожарами имеется функциональная возможность прогнозировать тенденцию развития пожара после начала возгорания.

Модели «поведения» пожара были разработаны на основе моделей прогнозирования интенсивности пожара с учетом таких факторов, как особенности

ландшафта (высота участка местности над уровнем моря, наклон участка местности, количество и средняя плотность расположения деревьев на пожароопасных участках и т. п.), метеорологические условия (форма, количество и высота нижней границы облаков, направление, скорость и порывистость ветра, приземная температура воздуха и ее аномалии (рис. 5), относительная влажность воздуха, вероятность образования конвективных облаков и выпадения ливневых осадков и др.). Строго говоря, эти модели не являются пространственными, однако, как правило, успешно используются для прогнозирования поведения пожара на достаточно большой площади. Таким образом, при наличии массива репрезентативных входных данных (слоев) в ГИС имеются математические возможности проведения моделирования развития пожара на ближайшую перспективу [10].

Использование результатов дистанционного зондирования Земли в геоинформационных системах

В современных условиях создание системы автоматизированного мониторинга стало возможным благодаря стремительному развитию средств и методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в частности:

- 1) разработке космических средств ДЗЗ среднего и высоко-детального (метрового и субметрового) пространственного разрешения;
- 2) технологий оптико-электронного и радиолокационного наблюдения;
- 3) методов дешифрирования по космическим снимкам состояния и динамики изменений лесных массивов местности;
- 4) комплексному анализу идентифицированных по космическим снимкам пространственно-временных изменений местности и их оперативно-

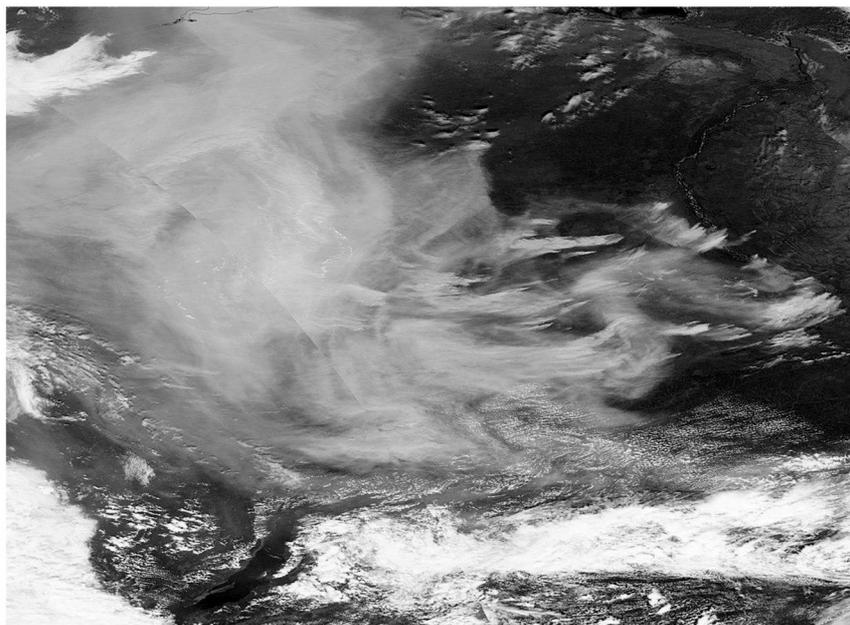


Рис. 4. Очаги лесных пожаров в Сибири и задымление местности (по данным научно-исследовательского спутника Aqua (NASA) от 29 июля 2021 г.) [9]

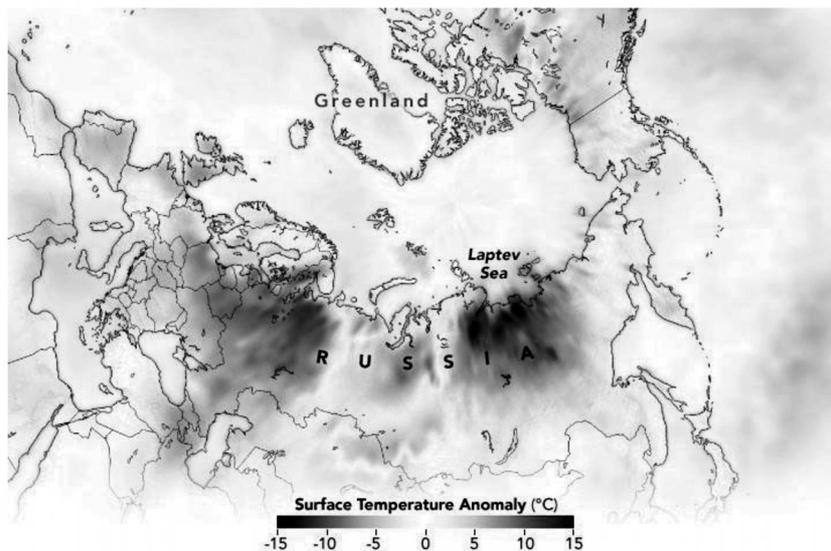


Рис. 5. Аномалии приземной температуры (°C) 18-25 июня 2021 г. по сравнению со средними многолетними температурами того же периода времени 2003-2013 гг. [9]

му картографированию в рамках государственного топографического мониторинга.

Отличительной особенностью материалов ДЗЗ являются высокие информативные (изобразительные и измерительные) признаки, которые позволяют использовать их в качестве основного источника информации для оценки изменений лесных массивов местности, при формировании и актуализации пространственных данных на основе автоматизированного мониторинга.

Результаты многоспектральной съемки (рис. 6), получаемые от космических аппаратов дистанционного зондирования Земли (КА ДЗЗ) и технологии цифровой обработки изображений, дают очень ценную оперативную информацию о фактическом состоянии и динамике развития обширных лесных массивов, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке.

По мнению авторов, к первоочередным задачам картографо-геодезической отрасли, к которым может быть отнесена и задача автоматизированного мониторинга изменений лесных массивов на местности, относятся:

- 1) получение материалов съемки с разрешением на местности не хуже 0,5 м при съемке в надир;
- 2) обеспечение плановой площадной съемки протяженных территорий лесных массивов местности;
- 3) обеспечение координатной привязки лесных массивов на снимках с требуемой точностью.

Для получения качественных материалов космической съемки в целях формирования пространственных данных и их актуализации обоснована необходимость создания отечественного орбитального специализированного космического картографического комплекса, в который входят подсистема опτικο-электронного

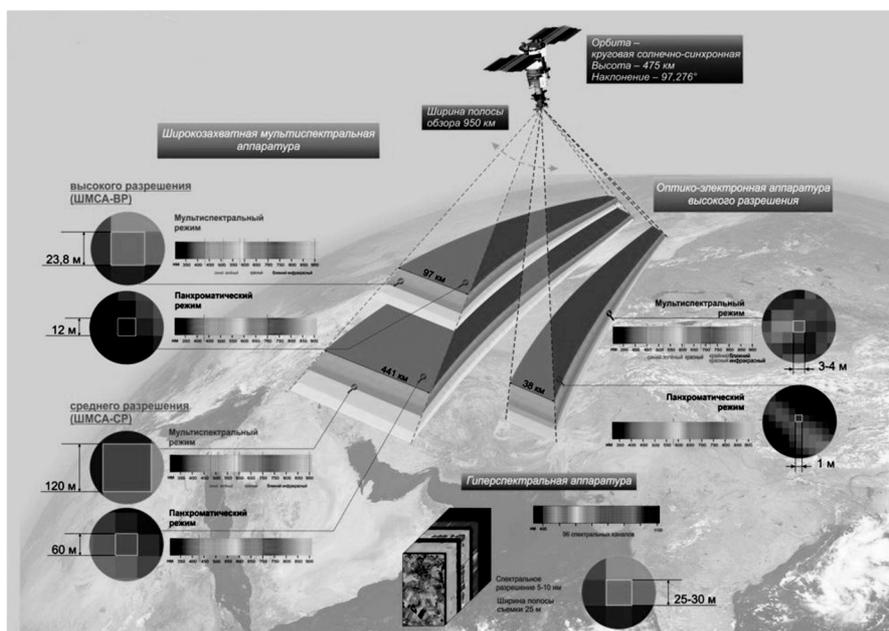


Рис. 6. Режимы съемки и основные характеристики бортовой аппаратура российского КА ДЗЗ типа «Ресурс-П» [11]

наблюдения (ОЭН) и подсистема радиолокационного наблюдения (РЛН).

Недавние научные исследования показали, что в состав системы должны входить два КА ОЭН, движущиеся в одной плоскости солнечно-синхронной орбиты с одинаковым периодом обращения, в состав второй — два КА РЛН, обеспечивающие устойчивую съемку в интерференционном режиме.

Автоматизированное выявление изменений лесных массивов местности по космическим снимкам является одним из основных направлений тематической обработки данных ДЗЗ. Такой подход позволяет выявить даже самые небольшие по площади изменения растительности, произошедшие на территории (что важно именно в рамках тестирования), но при этом отсутствие мультиспектральной информации несколько усложняет автоматизацию задачи классификации изменений по типам и векторизации изменений.

Между тем, также хорошо выделяются изменения территорий открытого недропользования, участки изменения состояния поверхности почвы (нарушения почвенно-растительного покрова), вновь появляющиеся свалки и т. п. Например, с помощью снимков, полученных с КА ОЭН последней модификации, возможно автоматизированное выявление небольших по площади изменений лесных массивов.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что использование системы автоматизированного мониторинга, направленной на выявление изменений лесных массивов местности по космическим снимкам высокого разрешения, является достаточно востребованным специалистами лесного хозяйства и дает гарантировано высокие результаты.

Заключение

В заключение следует обозначить ряд преимуществ системы автоматизированного мониторинга изменений лесных массивов местности, на базе результатов которого, в частности, решаются многие задачи лесной отрасли, а именно:

- 1) система автоматизированного мониторинга предоставляет возможность контроля данных в реальном времени с удаленного места, так как расположение сенсоров измерительной системы не всегда доступно для управления оператором в ручном режиме;
- 2) система предоставляет возможность осуществлять мониторинг лесных массивов непрерывно из любой точки Земного шара;
- 3) автоматизированные системы мониторинга осуществляют сбор данных, предварительный анализ информации, и ее отправку потребителю в любое место через Интернет;
- 4) результаты анализа наиболее надежны при условии проведения регулярных наблюдений, и соответственно, при более полной и репрезентативной статистической выборке;
- 5) автоматизированные наблюдения более дешевы по сравнению с ручными, занимают меньше времени и минимизируют ошибки оператора;
- 6) данные измерений и результаты их обработки могут быть переданы в удаленный центр обработки с помощью различных средств передачи данных, таких как WiFi, GSM, LAN, а также через глобальную сеть Интернет.

Список использованных источников

1. Федеральное агентство лесного хозяйства. Официальный сайт. <https://rosleshoz.gov.ru/agency>.
2. В. Я. Цветков, В. В. Шлапак. Современные методы получения геодезической информации // Инженерные изыскания. 2013. № 4. С. 14-17.
3. Е. А. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др. Геоинформатика. В 2-х кн. М.: Academia, 2010.
4. В. В. Бойко, В. М. Савинков. Проектирование баз данных информационных систем. М.: Финансы и статистика, 1989. 351 с.
5. Использование геоинформационных систем при разработке лесных кадастров. Брянский государственный инженерно-технологический университет. http://science-bsea.bgita.ru/2003/leskomp_2003/toporikov.htm.
6. А. Н. Перминов, С. В. Черкас, Е. И. Цадиковский, А. Д. Линьков. Перспективы создания интегрированной наземно-космической системы прогнозного мониторинга стихийных бедствий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 4. С. 241-251.
7. Краткое введение в ГИС. Ч. 1: «Введение в ГИС». GIS-Lab. <http://gis-lab.info/qa/gentle-intro-gis-1.html>.
8. В. П. Седельников, Е. А. Бровко, С. А. Ефимов. Актуализация геопространственной информации в инфраструктуре пространственных данных Российской Федерации: проблемы и решения // Национальные проекты. № 3. 2011. С. 68-71.
9. Лесные пожары в России (2021). <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
10. А. Р. Мавлютов, Д. Ф. Выдрин и др. Применение геоинформационных систем (ГИС) в области управления лесным хозяйством. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2019.
11. Новости ДЗЗ. «Роскосмос» и «СКАНЭКС» заключили соглашение о поставке данных со спутников «Ресурс-П» и «Канопус-В». <https://nil97.geosamara.ru/news/detail.php?ID=4671>.

References

1. Federal Forestry Agency. Official site. <https://rosleshoz.gov.ru/agency>.
2. V. Ya. Tsvetkov, V. V. Shlapak. Modern methods of obtaining geodetic information // Engineering surveys. 2013. № 4. P. 14-17.
3. E. A. Kapralov, A. V. Koshkarev, V. S. Tikunov et al. Geoinformatics. In 2 books. M.: Academia, 2010.
4. V. V. Boyko, V. M. Savinkov. Designing databases of information systems. M.: Finance and statistics, 1989. 351 p.
5. The use of geoinformation systems in the development of forest cadastres. Bryansk State Engineering and Technology University. http://science-bsea.bgita.ru/2003/leskomp_2003/toporikov.htm.
6. A. N. Perminov, S. V. Cherkas, E. I. Tsadikovskiy, A. D. Linkov. Prospects for the creation of an integrated ground-space system for predictive monitoring of natural disasters // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2016. Vol. 13. № 4. P. 241-251.
7. Brief introduction to GIS. Part 1: Introduction to GIS. GIS-Lab. <http://gis-lab.info/qa/gentle-intro-gis-1.html>.
8. V. P. Sedelnikov, E. A. Brovko, S. A. Efimov. Updating geospatial information in the spatial data infrastructure of the Russian Federation: problems and solutions // National projects. № 3. 2011. P. 68-71.
9. Forest fires in Russia (2021). <https://ru.wikipedia.org/wiki>.
10. A. R. Mavlyutov, D. F. Vydrin et al. Application of geoinformation systems (GIS) in the field of forestry management. Ufa: Ufa State Aviation Technical University, 2019.
11. Remote sensing news. Roscosmos and ScanEx entered into an agreement on the supply of data from the Resurs-P and Kanopus-V satellites. <https://nil97.geosamara.ru/news/detail.php?ID=4671>.