

6. ГИС-обозрение (Раздел "Дистанционное зондирование").— М.: ГИС-ассоциация, 1996–1999.
7. Стратегический план развития лесного хозяйства Беларуси на 2000-2015 гг.— Мн.: Минлесхоз, 1997.
8. Харук В.И. и др. Дистанционные исследования леса.— М.: Недра, 1986.
9. Юркевич И.Д. и др. Справочник работника лесного хозяйства.— Мн.: Наука и техника, 1986.
10. Виноградов Б.В. Космические методы изучения природной среды.— М.: Мысль, 1976.

УДК 630* 443,3

И. А. Тяшкевич, генеральный директор НПП «Космоаэрогеология»;
 А. Р. Понтус, директор ГП «Лесмашинвест»;
 Н. И. Федоров, профессор;
 А. И. Блинцов, доцент;
 Д. Г. Балабаев, зав. сектором НПП «Космоаэрогеология»;
 Я. И. Марченко, директор РПП «Беллесозащита»;
 Г. Ф. Мишнева, вед. инженер РПП «Беллесозащита»;
 В. А. Ярмлович, аспирант

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ЛЕСОПАТОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ БЕЛАРУСИ

Aerospace forestry patologikal monitoring includes remote indication of structure, scale, degrees and the centers of a defeat; the analysis and forecast of dynamics (changes) of the changed areas of the centers; spatial-temporary modeling of transformation of woods under influence of the adverse factors; natural areas planning and forecasting of forest renovation processes; automatization of thematic processing of the multizone aerospace information.

Аэрокосмический лесопатологический мониторинг включает в себя дистанционную индикацию структуры, масштаба, степени и природной приуроченности очагов поражения; анализ и прогноз динами-

ки измененных площадей очагов; пространственно-временное моделирование трансформации лесов под воздействием неблагоприятных факторов; природное районирование и прогнозирование лесовосстановительных процессов; автоматизацию тематической обработки многозональной аэрокосмической информации.

Для дистанционной индикации и экологической оценки состояния пораженных лесных природно-территориальных комплексов в процессе выполнения работ применяется структурно-аналитический метод дешифрирования и интерпретации космических изображений на основе их аналогово-компьютерной обработки, который позволяет провести ландшафтно-экологическое районирование и составить серию разномасштабных карт экологического состояния и ландшафтной приуроченности очагов поражения лесных фитоценозов различными фито- и энтомовредителями, что является природной основой для создания различных тематических и ресурсных карт, в том числе и лесопатологических.

Информационная база лесопатологического мониторинга формируется по нескольким каналам. С одной стороны, по материалам учетов и наблюдений в природных условиях поступает экологическая информация о численных и структурных параметрах популяций насекомых, их взаимоотношениях с кормовыми растениями, а с другой — формируется блок данных, характеризующих среду обитания насекомых (гидрометеорологическая, фенологическая, лесоводственная информация). Только в этом случае появляется возможность перехода к эколого-математическому моделированию системы фитоценоз — патологический фактор.

Методология лесопатологических работ с использованием дистанционных средств сбора информации должна формироваться и базироваться на многолетних материалах по изучению насаждений, поврежденных корневой губкой, сосновым пилильщиком, короедом-типографом, шелкопрядом-монашенкой и др. вредителями, а также на ландшафтно-экологическом подходе к анализу пространственного размещения очагов поражения. В качестве физиономических индикационных признаков пораженных природно-территориальных комплексов используется текстура и структура изображения очага и его спектральная аномалия на аэрокосмическом изображении (снимке). Это позволяет диагностировать ослабление и поражение фитоценоза на ранней стадии и прогнозировать степень возможного поражения лесов, а также подбирать ключевые участки для надзора за лесами в

межвспышечный период. В целом программа лесопатологического многоуровневого мониторинга включает следующие направления исследования.

1) Совершенствование методов лесопатологического дешифрирования аэрокосмической информации, выделение ключевых участков для надзора за энтомо- и фитовредителями;

2) разработка принципов и методов лесопатологического картографирования лесов на ландшафтной основе, составление серии разномасштабных специальных карт;

3) проведение наземных биолого-географических исследований на ключевых участках, ежегодный учет энтомо- и фитовредителей;

4) построение прогнозирующих моделей повреждаемости лесов на основе пространственно-временного анализа площадной динамики повреждений;

5) лесопатологический мониторинг лесных ландшафтов по материалам многозональной аэрокосмической съемки;

6) разработка стратегии и тактики защиты лесов с использованием материалов дистанционного зондирования и прогнозных лесопатологических карт.

Структура и функциональные задачи системы

Система оперативного контроля и оценки лесопатологического состояния лесных ресурсов включает 3 подуровня (ступени): космический, самолетный и наземный, включающий выборочное натурное обследование и сопровождение.

Технологические процессы функционирования системы оперативного контроля за лесопатологическим состоянием лесных ресурсов на основе аэрокосмических и наземных измерений с использованием методов цифровой обработки аэрокосмической информации должны выполняться на современных программно-технических средствах с использованием:

- космической информации, получаемой от природно-ресурсных спутников типа «NOAA», «Ресурс», «Метеор», «SPOT», «LANDSAT» и других, – по всей территории республики;
- материалов аэросъемки и натуральных измерений - по выбранным участкам лесных массивов в соответствии с единым обоснованным планом проведения таких работ на территории Республики Беларусь.

Технологические процессы функционирования системы лесопатологического мониторинга состояния лесов на основе аэрокосмиче-

ских и наземных измерений должны решать следующие основные задачи:

- оперативное обнаружение участков поражения насаждений и др. неблагоприятных воздействий на древостой;
- оперативное наблюдение, обнаружение, оценка параметров, контроль динамики и прогноз распространения фито- и энтомологических повреждений лесов;
- объективная оценка последствий поражений;
- получение сведений для наполнения кадастровой базы данных Министерства лесного хозяйства и подведомственных ему организаций (в первую очередь БГТУ и РПП «Беллесозащита»).

В общем виде структурная схема технологических процессов функционирования системы лесопатологического мониторинга состояния лесов Республики Беларусь на основе аэрокосмических и наземных измерений с использованием методов цифровой обработки аэрокосмической информации может быть представлена в следующем виде (рис.).

Из рисунка видно, что ядром системы служит наземная персональная станция приема космической информации, работающая в реальном масштабе времени пролета спутника над территорией устойчивого приема информации станцией. Функционально станция соединена спецканалами связи с тематическими ГИС-системами, архивами и базами данных. Основными технологическими этапами работ являются: планирование комплексных контактно-дистанционных работ по оперативному лесопатологическому мониторингу, анализ наличия (достаточности) наземной информации на район исследований, ввод информации в средства обработки (в т.ч. и предварительной), дешифрирование и тематическая интерпретация полученной информации, ввод обработанной информации в тематические базы данных, предоставление полученных данных пользователям.

Информационное обеспечение системы

Служба комплексного аэрокосмического лесопатологического мониторинга лесов, призванная вести постоянные наблюдения за их состоянием, изменениями, вызванными различными воздействиями, опирается на развитую информационную базу, позволяющую оперативно, надежно и в заданные сроки давать необходимую пользователю информацию.

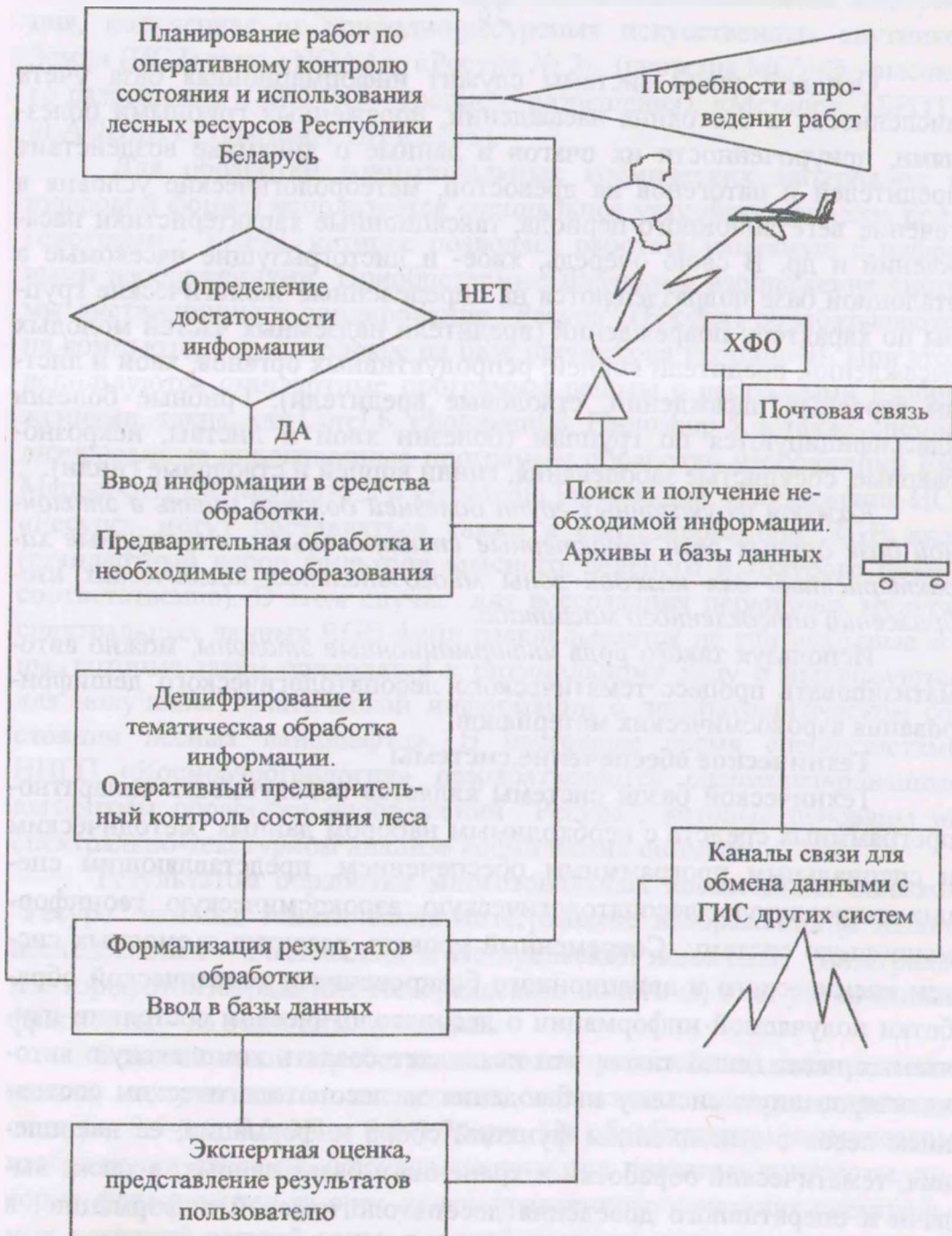


Рис. Структурно-технологическая схема системы оперативного контроля за состоянием Гослесфонда РБ на основе аэрокосмической и наземной информации

Основой такой системы служит информационная база учета численности и состояния насаждений, пораженных грибными болезнями, приуроченности их очагов и данные о динамике воздействия вредителей и патогенов на древостой, метеорологические условия в течение вегетационного периода, таксационные характеристики насаждений и др. В свою очередь, хвое- и листогрызущие насекомые в эталонной базе подразделяются на определенные экологические группы по характеру повреждений (вредители надземных частей молодых насаждений, вредители корней, репродуктивных органов, хвои и листы взрослых насаждений, стволовые вредители). Грибные болезни классифицируются по группам (болезни хвои и листы, некрозно-раковые, сосудистые заболевания, гнили корней и стволовые гнили).

Каждая из указанных групп болезней должна иметь в эталонной базе данных свои характерные спектральные и текстурные характеристики для каждой зоны многозональных космических изображений определенного масштаба.

Используя такого рода *информационные эталоны*, можно автоматизировать процесс тематического лесопатологического дешифрирования аэрокосмических материалов.

Техническое обеспечение системы

Технической базой системы является совокупность аппаратно-программных средств с необходимым набором данных, методическим и специальным программным обеспечением, представляющим специализированную лесопатологическую аэрокосмическую геоинформационную систему. Современный уровень развития съемочных систем космического и авиационного базирования и тематической обработки получаемой информации о лесопатологическом состоянии изучаемых насаждений таков, что позволяет создать комплексную автоматизированную систему наблюдения за лесопатологическим состоянием лесов с выполнением функций сбора информации, ее накопления, тематической обработки и хранения в базах данных, а также выдачи и оперативного доведения лесопатологической информации в виде различных тематических карт.

Получение космической информации реализуют современные космические и авиационные многозональные съемочные системы (фотографические, сканерные, телевизионные, ИК-тепловые, радиолокационные, радиометрические и спектрометрические) с разрешением на местности от сотен метров до единиц метров и сантиметров.

В работе системы может использоваться космическая информация, полученная от природно-ресурсных искусственных спутников Земли (ИСЗ) типа «NOAA», «Ресурс № 3», (системы МСУ-Э –высокого разрешения и МСУ-С – среднего разрешения), «Метеор», «SPOT», «LANDSAT» (системы TM и MSS).

Для обработки многозональных космических материалов (в цифровой форме) используется специальное устройство анализа рентгенограмм - УАР-2, которое позволяет работать напрямую с цифровыми изображениями. Приобретаемые цифровые изображения системы дистанционного зондирования «Ресурс» (Россия) обрабатываются на компьютерном комплексе на базе процессора Pentium-III. При этом используются стандартные программы работы с растровыми изображениями, такие, как Corel 8, Photopaint 8, Photoshop 5, а также специализированные лицензионные программы обработки изображений ER-Mapper-5.1, ER-Mapper-5.2 и GeoMedia Professional. Изображения ИСЗ «Ресурс» могут поставляться также в синтезированном RGB виде (стандартный набор фильтров красного, зеленого и голубого цветов соответственно). В этом случае для воссоздания первичных мульти-спектральных данных RGB-файл раскладывается на три исходные зоны, которые затем приводятся к оптимальному виду и используются для получения тематической информации о лесопатологическом состоянии лесных ландшафтов. В настоящее время специалистами НППГ «Космоаэрогеология» разрабатываются специализированные алгоритмы обработки изображений «Ресурс», которые основаны на спектрально-текстурном анализе космических снимков.

Результатом обработки многозональных космических снимков «Ресурс» явились тематические интегральные изображения (в наших исследованиях – Гомельский и Негорельский полигоны, интегральное аэрофотоизображение Негорельского полигона) и их увеличенные фрагменты – на эталонных участках.

Основой такой обработки являются три исходных спектральных канала, полученные в следующих диапазонах электромагнитного спектра: 0,5-0,6; 0,6-0,7 и 0,8-0,9 мкм. На обработанном космическом изображении системы «Ресурс» получаются цветовые контрасты, которые формируются за счет целенаправленного сочетания спектральных различий каждой зоны, с одной стороны, и придания значимой составляющей отдельной зоне, в данном случае 0,6-0,7 мкм (средний –зеленый диапазон),–с другой. Этот диапазон частично отражает спектральные различия подстилающих растительных объектов.

Как известно, пораженные участки леса характеризуются более высокими коэффициентами спектральной яркости (КСЯ) за счет большего отражения солнечной энергии, в то время как, здоровые насаждения, наоборот, отличаются большей поглощающей способностью и, как следствие, меньшим КСЯ. Поэтому целенаправленная обработка снимков позволяет получить ранжирование территории по интегральным КСЯ (в пределах каждого пиксела изображения), что дает общее представление о лесопатологическом состоянии исследуемой территории. Вывод на бумажные носители в виде тематических лесопатологических карт осуществляется на плоттере формата А0, а ввод исходной (эталонной) информации на сканере HP формата А0-А1.

Программное обеспечение системы

На основе данных наземных обследований создаются эталонные классы интересующих участков, в которых критерием выбора служат яркостные (спектральные) параметры пораженных различными патогенами участков леса. Эталонные (обучающие) классы представляются в виде прямоугольных областей (сочетание пикселей изображения) и определяются в текстовые файлы `class1.txt`, `class2.txt`, `class3.txt`, `class4.txt`, `class5.txt`, `class6.txt` с помощью соответствующих координат этих областей и привязки их к существующей квартальной сети.

В основе решения данной задачи лежит алгоритм классификации образов по критерию минимума расстояний. Работа по обработке изображений выполняется в рамках специализированного пакета Khogos на рабочей станции, действующей под управлением операционной системы Unix. Программа для обработки исходного изображения пишется на языке визуального программирования.

В программе используются два алгоритма:

- 1) первый - классификация объекта по k ближайшим эталонам;
- 2) второй – классификация объекта по всем соседям внутри гиперсферы радиуса R (в нашем случае $R=10$ пикселей).

Результатом обработки исходного изображения являются, как правило, промежуточные лесопатологические тематические карты сегментированного изображения, на которых имеется 6 яркостных значений. Насаждениям, подверженным определенным воздействиям корневой гнили, соответствует определенное яркостное значение КСЯ и, как следствие, весьма специфический цветовой оттенок на синтезированном изображении. В частности, в пределах Негорельского полигона сосняки мшистые (гл. образом лесные культуры), подверженные воздействию корневой гнили, изображаются от темно-бурого оттенка

– количество зараженных патогеном деревьев до 40%, до светло-серого оттенка – от 60% до 100%, с характерной мелкоячеистой текстурой (структурой) изображения на обработанном спектрально-аэрофотоснимке, а на обработанном космическом изображении территории Гомельского полигона пораженным сосновым пилильщиком насаждениям соответствуют цвета от светло-буро-зеленого до насыщенного буро-зеленого (слабая степень поражения), а соснякам средней степени поражения – от светло-бурого до буро-коричневого.

Для формирования обучающей выборки обработанные изображения поврежденных древостоев оцифровываются с помощью настольного сканера типа HPScanJet с пространственным разрешением 200 и 400 точек на дюйм и яркостным разрешением 8 бит на пиксел. Полученные в результате оцифровки РСХ-файлы должны быть преобразованы в базовый формат IMAGE ARRAY с помощью разработанных вспомогательных программных средств конвертирования.

На базовых изображениях большого формата (1024×1024 и более) выделяются пораженные корневой гнилью в различной степени участки древостоев. Для выполнения указанных операций разработано программное обеспечение, позволяющее читать файлы изображений с прореживанием, выводить в "сжатом" виде на дисплей и выбирать область дешифрирования патологии произвольного формата.

Полученные результаты тематической обработки по Негорельскому и Гомельскому лесхозам показали:

1) обнаружение и определение границ очагов поражений насаждений сосновым пилильщиком (*Diprion pine L.*) и корневой губкой (гнилью) выполняется с достаточно высокой степенью вероятности (не ниже 90-95%);

2) методика выделения очагов требует дальнейшего совершенствования и уточнения;

3) необходима разработка специализированного ПО по точной привязке снимка к карте (лесоустроительному плану).

Функциональная и структурная схема системы сбора оперативной информации, ее тематической обработки и хранения

Предварительная оценка возможностей автоматизированной цифровой и оптической обработки материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) с ИСЗ типа «LANDSAT» и с ИСЗ типа «Ресурс-0 № 3» для решения задач по лесопатологической оценке территории полигонов показала следующее:

1. Оценку состояния лесных ресурсов Беларуси возможно и целесообразно проводить с использованием материалов ДЗЗ с ИСЗ типа «Ресурс». Ввиду того, что материалы ДЗЗ с ИСЗ типа «LANDSAT» имеют значительную стоимость, на данном этапе целесообразно проводить цифровую и оптическую обработку материалов ДЗЗ с ИСЗ типа «Ресурс». Получаемые с ИСЗ типа «Ресурс-0 №3» по радиоканалам материалы принимаются на Земле станциями приема космической информации в реальном масштабе времени в цифровой форме представления. Исходная информация представляется в трех-пяти спектральных диапазонах. Все это позволяет упростить и автоматизировать процесс предварительной и тематической обработки принимаемых материалов (изображений) и повысить оперативность получения выходных результатов (как правило, в картографической форме) анализа и обработки спутниковой информации.

2. Оценку лесопатологического состояния лесных ресурсов по материалам аэросъемки целесообразно проводить на тех участках и в районах, которые требуют дополнительного уточнения после обработки спутниковой информации. Обработка материалов ДЗЗ с самолета имеет более высокие точностные характеристики. Однако, ввиду высокой стоимости, сложности ввода и особенностей цифровой и оптической обработки, использование материалов аэросъемки должно быть ограничено отдельными эталонно-калибровочными участками лесных массивов, на которых требуется детальная оценка состояния леса.

3. Оперативное обнаружение, оценку параметров, контроль динамики и прогнозирование распространения очагов вспышек возможно проводить на основе материалов, получаемых с природно-ресурсных ИСЗ. Использование указанных материалов ДЗЗ обеспечивает:

- площадь обнаружения поражения не менее 20×20 м с вероятностью не ниже 0,85%;
- периодичность лесопатологического контроля всей территории лесных массивов, составляющую минимально 4 часа, максимально – 3 суток;
- время от пролета ИСЗ над территорией Беларуси и приема материалов ДЗЗ до определения (идентификации) поражения – не более 30 мин.

4. Оценку поражений леса болезнями и вредителями целесообразно проводить с использованием материалов природно-ресурсного спутника Земли типа «Ресурс-0 №3», что будет характеризоваться следующими параметрами:

- площадь обнаружения и точность количественной и качественной оценки состояния лесных ресурсов (болезни, поражение вредителями и другие характеристики лесного покрова) составит не более 20×20 м с вероятностью не менее 0,85%;
- максимальная площадь покрытия территории материалами ДЗЗ для проведения работ по контролю и оценке состояния лесных ресурсов за 1 пролет ИСЗ над территорией Беларуси для камеры МСУ-Э - 23000 км², для камеры МСУ-СК – вся территория страны.

5. Учитывая вышеперечисленные особенности, можно концептуально определить три подуровня-ступени системы оперативного контроля и оценки состояния лесных ресурсов Республики Беларусь: *космический, самолетный и наземный.*

В структурном отношении система включает несколько подсистем:

картографическую (прием, хранение и выдача любых картографических материалов и данных);

дешифровочную (специализированные банки эталонных данных, совмещенных с повыведельной базой данных ГЛПО «Белгослес», программное обеспечение по атмосферной и геометрической коррекции аэрокосмических изображений, автоматизированного дешифрирования и тематической обработки материалов съемок всех видов);

пользовательскую, включающую автоматизированное рабочее место (АРМ) выдачи и доведения до потребителя любых картографических и других материалов;

центральную, включающую все тематические базы данных и совмещенные с ними инвентаризационные данные лесоустройства, а также специальный канал связи с разрабатываемой информационной системой управления лесным хозяйством (ИСУЛХ).

В заключение необходимо отметить, что методология и технические средства обеспечивают организацию и функционирование аэрокосмического лесопатологического мониторинга как комплексной системы диагностики и лесопатологического контроля состояния лесов Беларуси, работающей как составная часть ИСУЛХ МЛХ РБ. По мере развития методологической и технической баз круг задач, решаемых в рамках системы, будет возрастать и, как следствие, повышаться эффективность аэрокосмического лесопатологического мониторинга.