

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атрощенко О. А. Система моделирования и прогноза роста древостоев (на примере БССР): Дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02. – Киев, 1986. – 520 с.
2. Багинский В. Ф., Есимчик Л. Д. Лесопользование в Беларуси: История, современное состояние, проблемы и перспективы. – Мн.: Беларуская навука, 1996. – 367 с.
3. Давидов М. В. Типы роста и бонитирование насаждений (лекция). – Киев, 1987. – 40 с.
4. Демид Н. П. Методические подходы и техника определения спелостей на древесину // Труды БГТУ. Сер. I. Лесное хозяйство / Гл. ред. И. М. Жарский. – Мн.: БГТУ, 2002. – Вып. IX. – С. 104–113.
5. Дзямід М. П. Аб спеласях эксплуатацыйных саснякоў // Труды БГТУ. Сер. I. Лесное хозяйство / Гл. ред. И. М. Жарский. – Мн.: БГТУ, 1996. – Вып. IV. – С. 106–109.
6. Ермаков В. Е., Демид Н. П. Структура потребления древесины и возраст рубки эксплуатационных сосновых лесов Республики Беларусь // Современные аспекты лесной таксации: Сб. науч. тр. / Институт леса Академии наук Беларуси. – Гомель, 1994. – Вып. 38. – Ч. 1. – С. 70–72.
7. Загребев В. В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 240 с.
8. Кенставичюс И.-П. И. Теория и практика устройства лесов Литовской ССР на почвенно-типологической основе: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. н.: 06.03.02 / Моск. лесотехнич. ин-т. – М., 1988. – 37 с.
9. Нормативные материалы для таксации леса Белорусской ССР. – М.: Гослесхоз СССР, 1984. – 384 с.
10. Юркевич И. Д., Ловчий Н. Ф. Сосновые леса Белоруссии: Типы, ассоциации, продуктивность. – Мн.: Наука и техника, 1984. – 176 с.

УДК 630\*443.3

И. А. Тяшкевич, директор УП «Космоаэрогеология» НАН Беларуси; А. П. Кулагин, гл. инженер УП «Белгослес»; Б. И. Беляев, зав. лабораторией НИИ ПФП БГУ; А. Р. Понтус, директор УП «Лесмашинвест»; Я. И. Марченко, директор ГУ «Беллесозащита»; Г. Ф. Мишнева, вед. инженер ГУ «Беллесозащита»; Е. В. Котова, инженер I категории УП «Белгослес»; М. А. Ильючик, мл. науч. сотрудник

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ДИАГНОСТИКИ КРИЗИСНОГО СОСТОЯНИЯ ЕЛОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ И НАЗЕМНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

A designed technological regulation of the spruce crisis condition diagnostics is a multistage system, including space, aviation and surface stages of the studies. The technological regulation provides information, technical and functional ensuring the work on diagnostics of the spruce crisis condition.

Технологический регламент диагностики кризисного состояния еловых насаждений предполагает использование многоуровневой системы лесопатологического мониторинга, включающей космическую ступень – многозональные сканерные изображения американских природно-ресурсных ИСЗ Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, Terra системы Aster и российского ИСЗ Метеор 3М, авиационную ступень – бортовой измерительный аппаратно-программный комплекс авиационного базирования ВСК-2, разработанный НИИ ПФП

БГУ, наземную ступень – использование данных ГИС «Лесные ресурсы» и данных наземных обследований, получаемых в ходе полевых работ на сети эталонно-калибровочных ключевых участков и ППУ лесного экологического мониторинга. Технология диагностики кризисного состояния еловых насаждений включает дистанционную индикацию структуры, масштаба, степени и природной приуроченности очагов поражения; анализ и прогноз динамики 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 применялся структурно-аналитический метод дешифрирования и интерпретации космических изображений на основе их 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. Полученные данные служат 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 поврежденных короедом-типографом насаждений, а также на ландшафтно-экологическом подходе к анализу пространственного размещения очагов поражения. В качестве физиономичных индикационных признаков пораженных природно-территориальных комплексов используются 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 технологический регламент диагностики кризисного состояния еловых насаждений на основе лесопатологического многоуровневого мониторинга включает следующие направления исследования:

- совершенствование методов лесопатологического дешифрирования аэрокосмической информации, выделение ключевых участков для надзора за энтомо- и фитовредителями;
- разработку принципов и методов лесопатологического картографирования лесов на ландшафтной основе, составление серии разномасштабных лесных карт;
- проведение комплекса наземных биолого-географических исследований на сети эталонно-калибровочных ключевых участках и ППУ, ежегодный учет энтомо- и фитовредителей;

- построение прогнозирующих моделей повреждаемости лесов на основе пространственно-временного анализа площадной динамики повреждений;
- лесопатологический мониторинг лесных ландшафтов по материалам многозональной аэрокосмической съемки с использованием различных съемочных систем;
- разработку стратегии и тактики защиты лесов с использованием материалов дистанционного зондирования и прогнозных лесопатологических карт.

#### **Структура и функциональные задачи технологии диагностики кризисного состояния еловых насаждений на основе лесопатологического многоуровневого мониторинга**

Структура системы оперативного контроля и оценки лесопатологического состояния лесных насаждений включает 3 ступени (уровня): космическую, авиационную и наземное сопровождение.

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

- 1) космической информации, получаемой от ИСЗ типа Метеор, Landsat 7 ETM<sup>+</sup>, Terra и других ИСЗ по всей территории страны;
- 2) материалов аэросъемки и натурных измерений по выбранным участкам лесных массивов в соответствии с единым обоснованным планом проведения таких работ на территории Республики Беларусь.

Технологические процессы функционирования системы оперативного контроля за лесопатологическим состоянием лесов на основе аэрокосмических 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 Комитета лесного хозяйства и подведомственных ему организаций (в первую очередь БГТУ, ГУ «Беллесозащита», УП «Белгослес»).

В общем виде структурная схема технологических процессов функционирования системы оперативного контроля за лесопатологическим состоянием лесов Республики Беларусь на основе аэрокосмических и наземных измерений с использованием методов цифровой обработки аэрокосмической информации представлена на рис. 1, 2.

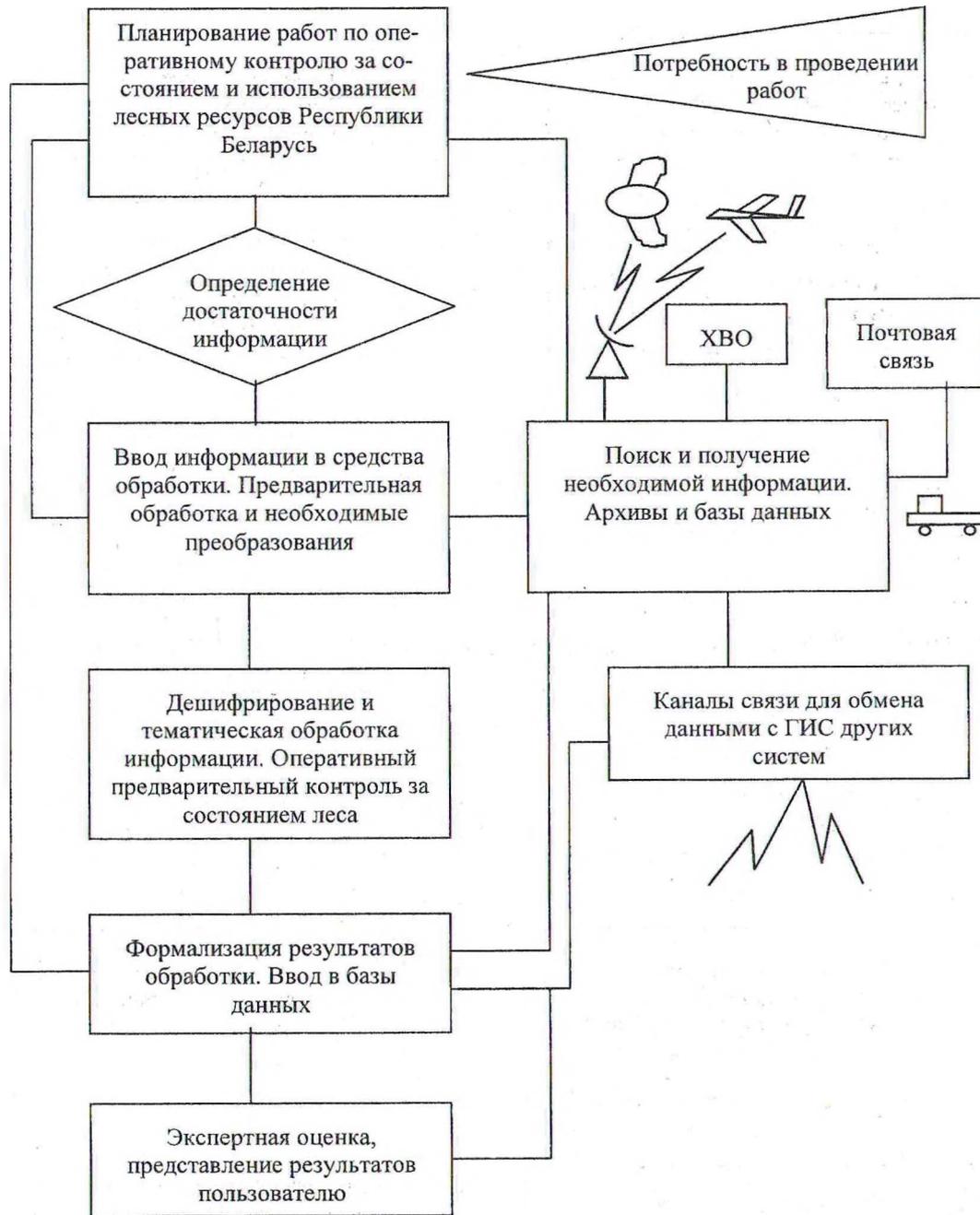


Рис. 1. Структурно-технологическая схема диагностики кризисного состояния еловых насаждений на основе аэрокосмической и наземной информации



Рис. 2. Общая технологическая схема выявления, оценки, регистрации патологии насаждений по многозональным космическим снимкам

На рис. 1 показано, что ядром системы служит наземная персональная станция приема космической информации «УНИСКАН», 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, представление полученных данных пользователям.

### **Информационное обеспечение технологии диагностики кризисного состояния еловых насаждений на основе лесопатологического многоуровневого мониторинга**

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

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, хвоелистогрызущие насекомые в эталонной базе подразделяются на определенные экологические группы по характеру повреждений (вредители надземных частей молодых насаждений, вредители корней, репродуктивных органов, хвои и листвы взрослых насаждений, стволовые вредители). Грибные болезни классифицируются по группам (болезни хвои и листвы, 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 каждой зоны многозональных космических изображений определенного масштаба.

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

### **Техническое обеспечение технологии диагностики кризисного состояния еловых насаждений на основе лесопатологического многоуровневого мониторинга**

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 лесных 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 до единиц метров.

Для обработки многозональных космических материалов (в цифровой форме) использовалось специальное устройство анализа рентгенограмм – УАР-2, которое позволяет работать напрямую с цифровыми изображениями. Цифровые изображения системы дистанционного зондирования обрабатывались на компьютерном комплексе на базе процессора Pentium-IV. При этом использовались стандартные программы работы с растровыми изображениями, такие, как Corel 10, Photopaint 10, Photoshop 6, а также специализированные лицензионные программы обработки изображений ER-Mapper-5.1, ER-Mapper-5.2. и GeoMedia Professional.

Изображения могут поставляться также в синтезированном RGB-виде. В этом случае для воссоздания первичных мультиспектральных данных RGB-файл раскладывается на три исходные зоны, которые затем приводятся к оптимальному виду и используются для получения тематической информации о лесопатологическом состоянии еловых насаждений. В настоящее время разрабатываются специализированные алгоритмы обработки изображений Метеор 3М, которые вместе с примерами обработки взаимосвязаны с данными других методов.

Результатом обработки многозональных космических снимков является интегральное изображение (в нашем примере для усыхающих еловых насаждений выбраны ЭКУ, расположенные на территории Столбцовского и Молодечненского лесхозов – кв. 3–4 Рубежевического и кв. 126–130, 143, 146–148. Лебедевского лесничеств соответственно) и более подробное – на ППУ экологического мониторинга в пределах исследуемой территории.

Основой такой обработки (например, для ИСЗ Метеор) являются три исходных спектральных канала (0,5–0,6; 0,6–0,7 и 0,8–0,9 мкм). На обработанном космическом изображении системы Landsat 7 ETM<sup>+</sup> и Aster получают цветные контрасты, которые формируются за счет целенаправленного сочетания спектральных различий каждой зоны, с одной стороны, и придания значимой составляющей отдельной зоне, для ИСЗ Метеор это 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 счёт 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 ранжировать территорию 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 А<sub>0</sub>, а ввод исходной (эталонной) информации на сканере HP формата А<sub>0</sub>.