

## ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ СПУТНИКОВОГО МОНИТОРИНГА МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ НАСЕКОМЫХ В ЛЕСАХ СИБИРИ

*А.С. Исаев\*, Д.В. Ершов\*, Е.А. Лупян\*\*, М.Е. Кобельков\*\*\**

*\* Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. E-mail: ershov@ifi.rssi.ru*

*\*\* Институт космических исследований РАН. E-mail: evgeny@d902.iki.rssi.ru*

*\*\*\* ФГУ «Рослесозащита»*

Ежегодно на территории России повреждаются леса насекомыми-вредителями на площади более 2 млн га, что сопоставимо с ущербом от лесных пожаров. Поэтому энтомологический мониторинг рассматривается как важный элемент контроля состояния лесов, обеспечивающий при надлежащем исполнении сохранение их важнейших ресурсно-экологических функций. Спутниковые средства дистанционного зондирования в сочетании с данными наземных и авиационных наблюдений в ГИС могут использоваться для своевременного обнаружения очагов насекомых на начальных стадиях развития, оценки степени повреждения лесов. В работе рассматриваются основные элементы информационной системы дистанционного мониторинга массового размножения насекомых-вредителей, предназначенной для поддержки принятия управленческих решений на всех уровнях национальной службы защиты леса.

### Введение

Последствия размножения насекомых-вредителей в лесах бореальной зоны сопоставимы с ущербом от лесных пожаров. Только на территории России площади очагов вредных насекомых составляют ежегодно более 2 млн га. Поэтому энтомологический мониторинг рассматривается как важный элемент контроля состояния лесов, обеспечивающий при надлежащем исполнении сохранение их важнейших ресурсно-экологических функций.

Лесоэнтомологический мониторинг (ЛЭМ) предназначен для: 1) анализа состояния насаждений и популяций насекомых в конкретной экологической обстановке; 2) прогнозирования динамики численности насекомых и степени их воздействия на лесные экосистемы; 3) своевременного выявления очагов массового размножения; 4) принятия оптимальных решений по защите лесов с учетом их ресурсных и средообразующих функций [1].

Спутниковые средства и приборы дистанционного зондирования могут использоваться для своевременного обнаружения очагов насекомых на начальных стадиях развития, оценки степени повреждения лесов, особенно в труднодоступных регионах Сибири и Дальнего Востока. Система дистанционного мониторинга массового размножения насекомых-вредителей позволяет организовать процесс автоматического распространения спутниковых данных и их производных продуктов различного пространственного разрешения лесозащитным подразделениям. Использование долгосрочных наблюдений об очагах вредителей наземными, авиационными и спутниковыми методами, данных метеонаблюдений в моделях прогноза позволит ежегодно получать прогнозные оценки возникновения очагов вредителей леса и определять леса, потенциально благоприятные для массового размножения вредителей [2].

В работе рассматривается макет системы дистанционного мониторинга насекомых-вредителей, разрабатываемый с 2002 г. институтами Российской академии наук для поддержки управленческих решений ФГУ «Рослесозащита», в рамках НИР по теме «Разработка системы аэрокосмического мониторинга массового размножения насекомых-вредителей» Министерства природных ресурсов (МПР).

### Цели и задачи создаваемой системы

Целью информационной системы мониторинга массового размножения насекомых является на новом качественном уровне осуществлять информационную поддержку приня-

тия управленческих решений по проведению профилактических и истребительных мероприятий насекомых-вредителей леса. В целом все мероприятия по лесозащите подразделяются на четыре блока задач [1]:

1. Мониторинг повреждения лесов.
2. Мониторинг массового размножения насекомых-вредителей лесов.
3. Оценка последствий воздействия на насаждения неблагоприятных факторов.
4. Экспертная оценка и оптимизация управленческих решений.

Исходя из этого, задачами информационной системы дистанционного мониторинга и ГИС ЛЭМ для организации мониторинга повреждений лесов являются:

- формирование оперативных и архивных данных спутниковых наблюдений различного пространственного разрешения;
- интеграция наземных, авиационных и спутниковых наблюдений для формирования картографических и отчетных материалов;
- ежегодное прогнозирование вероятности возникновения очагов насекомых для определения зон спутникового мониторинга.

Для организации мониторинга массового размножения насекомых-вредителей лесов решаются следующие задачи:

- выявление и картирование новых и действующих очагов повреждения лесов насекомыми по спутниковым данным и ведение баз данных наземных и авиационных обследований;
- анализ динамики распространения действующих очагов насекомых и прогноз пространственно-временной динамики их массового размножения;
- формирование ежегодных карт (различной детальности и периодичности обзора), сводок и отчетов о состоянии очагов размножения насекомых.

Для оценки последствий воздействия неблагоприятных факторов необходимо решение следующих задач:

- оценка степени повреждения лесов от насекомых по спутниковым данным;
- оценка ущерба от вредителей и болезней;
- выделение территорий, требующих проведения лесоинвентаризации для обновления данных лесоустройства.

Экспертная оценка и оптимизация управленческих решений базируется на следующих задачах:

- выбор стратегии и тактики лесозащитных мероприятий;
- учет состояния лесозащитных сил и средств;
- оценка эффективности лесозащитных мероприятий дистанционными средствами наблюдения.

Вышеперечисленные задачи использовались для разработки требований к информационной системе дистанционного мониторинга массового размножения насекомых-вредителей леса и ГИС лесозащитного мониторинга.

### **Основные требования к системе**

Для решения большинства перечисленных задач требуется эффективная интеграция данных наземных и спутниковых наблюдений очагов насекомых-вредителей. Отличитель-

ными особенностями данной системы от других и, в частности, отраслевой системы мониторинга лесных пожаров, являются:

- менее высокая оперативность сбора и передачи информации о текущем состоянии лесов;
- необходимость накопления долгосрочных архивов спутниковых, наземных и метеорологических наблюдений для решения прогнозных задач возникновения массового размножения насекомых;
- более тонкие изменения в состоянии лесного покрова, требующие более сложные методы выявления изменений в состоянии лесов, включая оценку степени повреждения;
- необходимость использования разномасштабных спутниковых данных для выявления и картирования очагов вредителей;
- необходимость ведения базы опорных спектрометрических данных под используемые в системе спутниковые данные с учетом типов растительного покрова наблюдаемой территории для оценки степени повреждения лесов;
- более высокая интеграция экспертов при обработке и анализе спутниковой информации.

В связи с этим, информационная система должна обеспечивать:

- сбор и хранение всех собираемых данных для оценки патологического состояния лесов, а именно данных наземных обследований, авиационных и спутниковых наблюдений, метеонаблюдений, данных горимости лесов от пожаров;
- возможность интеграции данных различных спутниковых систем от высокого до среднего пространственного разрешения (например, Landsat-ETM, МСУ-Э, TERRA MODIS);
- высокий уровень автоматизации работы системы в части сбора, обновления, архивации данных, подготовки и рассылки производных продуктов (изображений, карт, отчетных документов);
- отказоустойчивость и независимость процедур обработки от условий и регионов наблюдений;
- возможность модификации и расширения при незначительной ее себестоимости.

Исходя из приведенных задач и требований, была спроектирована архитектура информационной системы и определен состав доступных спутниковых и картографических данных. Разработаны схемы сбора, обработки и распространения всех видов информации с учетом оптимальной временной задержки и периодичности обновления.

### **Архитектура информационной системы**

Как показывает имеющийся опыт, наиболее перспективной является система мониторинга, базирующаяся на интеграции данных, получаемых традиционными методами наблюдений (наземные и авиационные), и данных дистанционного зондирования из космоса [3–6]. Для этого необходимо объединить следующие элементы (рис. 1):

- систему сбора и первичной обработки спутниковых данных;
- систему подготовки первичных продуктов для последующего тематического анализа;
- центр разработки информационной системы и обучения специалистов ФГУ «Рослесозащита»;
- систему архивации и каталогизации спутниковых данных;
- ГИС лесоэнтомологического мониторинга федерального и регионального уровней;
- систему распространения данных;
- систему сбора данных наземных обследований лесов на основе сети региональных Центров и экспедиций ФГУ «Рослесозащита».

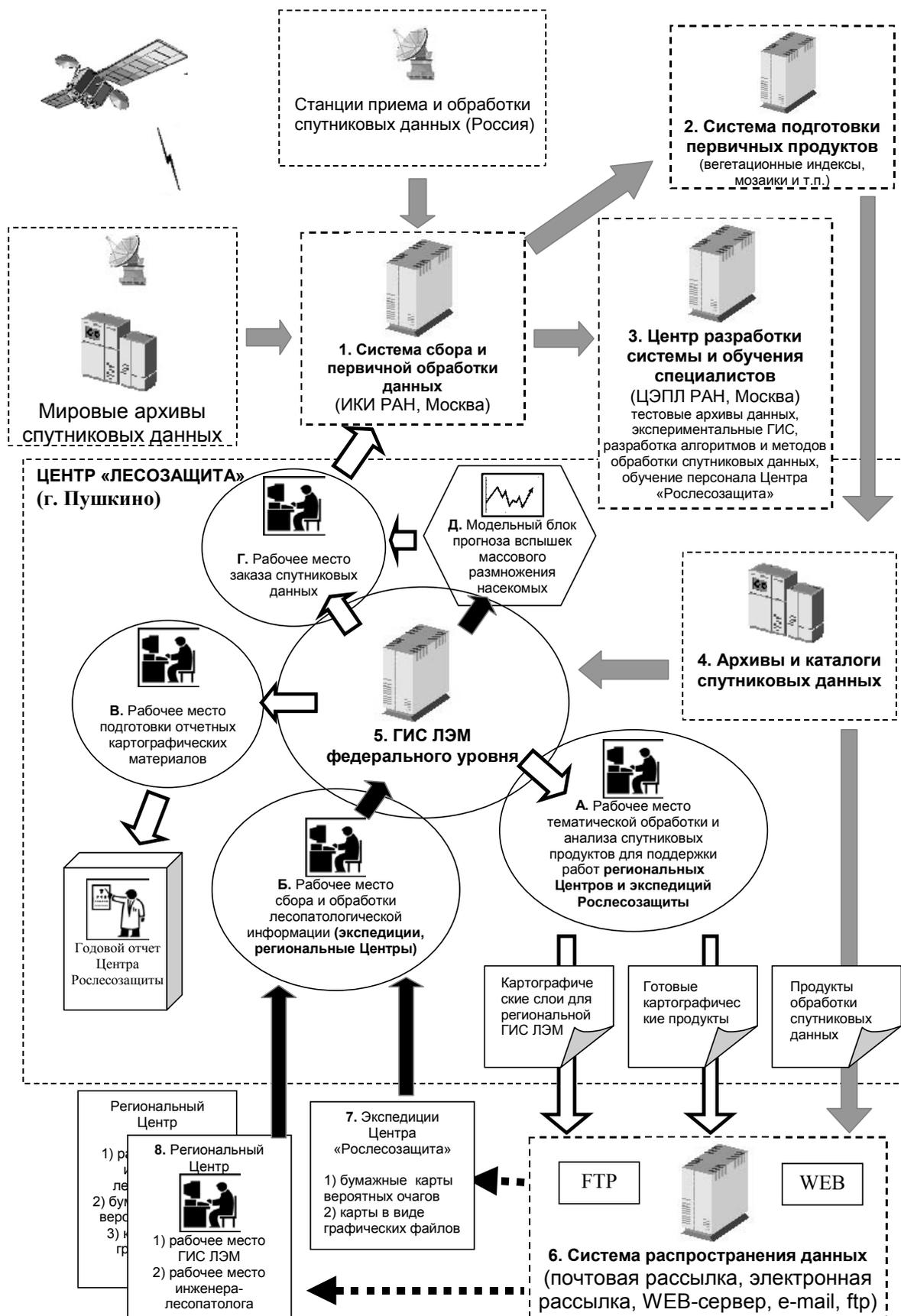


Рис. 1. Структура информационной системы аэрокосмического мониторинга насекомых-вредителей леса

**1. Система сбора и первичной обработки спутниковых данных** предназначена для организации максимально автоматизированного получения текущих спутниковых данных и их первичной обработки. В настоящий момент система в основном ориентирована на использование данных прибора MODIS, установленного на спутниках TERRA и AQUA. Спутниковые изображения накапливаются в течение всего вегетационного сезона и доставляются пользователю в виде производных продуктов (мозаики, индексы, комбинации спектральных каналов) раз в месяц. Такой подход и периодичность обновления позволяет ориентироваться не только на отраслевые средства сбора информации МПР РФ, но и на развитие автоматизированных технологий их обмена со специализированными центрами приема. К их числу относятся различные российские центры Госкомгидромета, Росавиакосмоса, Российской академии наук и другие, а также зарубежные центры приема, обработки и открытого распространения спутниковых данных [7, 8].

**2. Система подготовки первичных продуктов для последующего тематического анализа.** Этот этап автоматической обработки спутниковых изображений предназначен для получения улучшенных производных продуктов от исходных спутниковых изображений, очищенных от облачности, а также шумов. Улучшенные продукты используются в системе пользователями для тематического анализа, включая выделение и картирование очагов насекомых, оценки пространственно-временной их динамики, оценки степени дефолиации, а также контроля эффективности лесозащитных мероприятий и химборьбы. На данный момент разработки система оснащена возможностью построения ежемесячных мозаик видимых каналов и вегетационных индексов с пространственным разрешением 250 и 500 м. По мере разработки алгоритмов обработки данных система будет дополнена процедурами построения индексов, отражающих физические характеристики состояния древесной растительности (индексы влажности, цветности, листовой индекс и другие) [9].

**3. Центр разработки системы и обучения специалистов.** На период разработки системы и опытной ее эксплуатации развертываются рабочие места для создания алгоритмов и методик в ЦЭПЛ РАН. В центре создается действующий макет системы, включающий все ее основные элементы: архивы данных, экспериментальные ГИС федерального и регионального уровня, рабочие места тематической обработки данных, систему распространения данных. Организуется также поступление данных авиационных и наземных наблюдений, собираемых подразделениями и экспедициями ФГУ «Рослесозащита» в г. Пушкино. Разработки алгоритмов и методов анализа данных сопровождаются созданием методических рекомендаций по их использованию, включая обучение пользователей системы.

**4. Система архивации и каталогизации спутниковых данных** предназначена для организации долговременного хранения спутниковых данных и результатов их обработки [10]. Архив спутниковых и других типов данных необходим для организации исследований по изучению динамики развития очагов и разработки методов прогноза их возникновения и распространения.

**5. Геоинформационная система лесознтомологического мониторинга федерального уровня.** ГИС предназначена для организации хранения и представления данных наземных и авиационных наблюдений, результатов обработки спутниковых данных. Для доступа к этой информации и ее анализа организуются базовые рабочие места различного назначения:

*А. Рабочее место тематической обработки и анализа спутниковых продуктов для поддержки работ региональных Центров и экспедиций Рослесозащиты.* В системе предусматривается создание инструментов и программ тематической обработки спутниковой информации, данных наземных и авиационных наблюдений, позволяющих лесопатологам Центра «Рослесозащита» выявлять подозрения на вероятные очаги насекомых, подготавливать картографические продукты и материалы для экспеди-

ционных работ, оптимизируя маршруты обследований и планируя профилактические и истребительные меры по борьбе с насекомыми. Для этого будут использованы алгоритмы и методы выявления изменений и оценки степени повреждений лесов по спутниковым данным [11–14].

*Б. Рабочее место сбора и обработки лесопатологической информации региональных Центров и экспедиций Рослесозащиты.* Эти данные собираются в региональных Центрах инженерами-лесопатологами по результатам обследования лесхозов и лесничеств за весь вегетационный сезон в отраслевых формах (например, Ф12-ЛХ, Ф22-ЛХ) и заносятся в базу данных с помощью программы сбора и обработки лесопатологической информации [15].

*В. Рабочее место подготовки отчетных картографических материалов.* Данные наземных и авиационных наблюдений региональных Центров и экспедиций ФГУ «Рослесозащита» в ГИС совмещаются с картографическими слоями границ федеральных округов, субъектов и лесохозяйственных предприятий по ключевым полям их атрибутивных таблиц. С помощью ГИС формируются карты для отчетов с распределением основных характеристик (например, площади очагов вредителей, интенсивность усыхания лесов, авиаборьба биопрепаратами и т. п.), помещенных в стандартные формы (рис. 2).

*Г. Рабочее место заказа спутниковых данных на следующий вегетационный сезон.* На основе анализа данных о лесопатологическом состоянии текущего вегетационного сезона и прогноза вспышек массового размножения насекомых (см. ниже) формируется план спутникового мониторинга следующего года, по которому осуществляется сбор данных. Ежегодно в осенне-весенний период перед началом вегетационного сезона определяются территории наблюдения для данных радиометра среднего пространственного разрешения MODIS спутников TERRA, AQUA. Также в течение сезона система позволяет осуществлять поиск в мировых и национальных архивах спутниковых изображений высокого пространственного разрешения типа LANDSAT-7, «Метеор» / МСУ-Э и другие.

*Д. Модельный блок прогноза вспышек массового размножения насекомых-вредителей.* Модельный блок как часть геоинформационной системы используется для формирования прогнозов различного временного интервала: сверхдолгосрочного, многолетнего, долгосрочного, краткосрочного и текущего. Прогноз возникновения вспышек массового размножения основан на анализе многолетних метеорологических данных и оценке состояния популяции вредителей [16]. В зависимости от типа вредителя рассчитываются различные показатели в модельном блоке для всех периодов вегетации (лето, осень, зима, весна). Модельный блок настраивается на конкретного вредителя и формирует прогноз вероятности его массового размножения [17–19]. Полученные прогнозные данные используются для определения регионов наблюдения и организации спутникового мониторинга на следующий вегетационный сезон.

**6. Система распространения данных** включает систему обычной почтовой рассылки данных в региональные Центры, которые не имеют доступа к ресурсам системы через Интернет, а также систему электронной рассылки данных, состоящую из Web-сервера Федерального центра ФГУ «Рослесозащита» и системы автоматической рассылки данных. Для экспедиций возможны и обычные способы передачи данных на бумажных или электронных носителях информации через почтовую службу.

**7. Экспедиции Федерального центра ФГУ «Рослесозащита».** Ежегодно в Федеральном центре формируется план экспедиционных мероприятий по обследованию действующих и вновь обнаруженных очагов вредителей с учетом данных предыдущих лет и наличия финансирования. Эта работа выполняется на основе данных наземных обследований

региональных Центров и экспедиций. Данные прогноза и спутниковые изображения позволят повысить достоверность информации об очагах насекомых и оптимизировать работу по планированию мероприятий на следующий вегетационный сезон. Эта информация также может являться обоснованием сформированного плана организации экспедиционных работ в МПР.

**8. Региональные Центры ФГУ «Рослесозащита».** Сеть региональных Центров «Рослесозащита» является основным источником информации о лесопатологическом состоянии лесов, собираемой инженерами-лесопатологами в своих регионах. Большинство регионов оснащены системой обработки лесопатологической информацией [15] для заполнения стандартных форм (Ф-12ЛХ, Ф22-ЛХ и другие) результатами наземных обследований. В настоящее время технология сбора информации основана на закладке пробных площадок (например, феромонные ловушки) в местах обитания насекомых-вредителей (например, сибирского шелкопряда) [20,21]. В поддержку работ по наземному мониторингу очагов насекомых-вредителей планируется осуществлять распространение продуктов обработки спутниковых данных в региональные Центры. Поступающие в регионы данные обработки спутниковой съемки будут корректироваться региональными инженерами-лесопатологами при наземных обследованиях, что позволит совершенствовать методы тематического анализа спутниковых изображений. Примеры обработки спутниковых изображений приводятся на рис. 3 и 4.

### Заключение

В настоящее время реализованы базовые элементы сбора, каталогизации и архивации спутниковых данных изображений MODIS в интересах рассматриваемой системы. Разработаны алгоритмы подготовки ежемесячных мозаик по ежедневным продуктам среднего и низкого пространственного разрешения TERRA/MODIS.

Разработана структура банка данных ГИС федерального уровня, включая его наполнение картографическими и тематическими слоями. Создан макет рабочего места подготовки типовых картографических материалов по данным наземных обследований лесов подразделениями Центра Рослесозащиты. Создается макет модуля распространения данных и производных продуктов для пользователей системы с применением Интернет-технологий. Начаты работы по созданию банка данных ГИС регионального уровня на тестовых регионах Сибири и Дальнего Востока, что позволит увязывать результаты обработки спутниковых изображений с лесоустроительной информацией на уровне лесничеств и кварталов.

Ведется отработка методик тематической обработки с использованием высокого пространственного разрешения SPOT, LANDSAT-7, «Ресурс-О»/МСУ-Э на тестовых регионах Красноярского края (1996–1999) и Центральной Якутии (2000–2001) и низкого пространственного разрешения (500 м) TERRA/MODIS (2001–2002). Результаты сравнения очагов сибирского шелкопряда, детектированных по спутниковым данным в темнохвойных (бассейны рек Ангара и Бирюса) и лиственных лесах (Центральная Якутия), с материалами наземного обследования позволили получить предварительные оценки точности и наметить пути совершенствования разработанных алгоритмов.

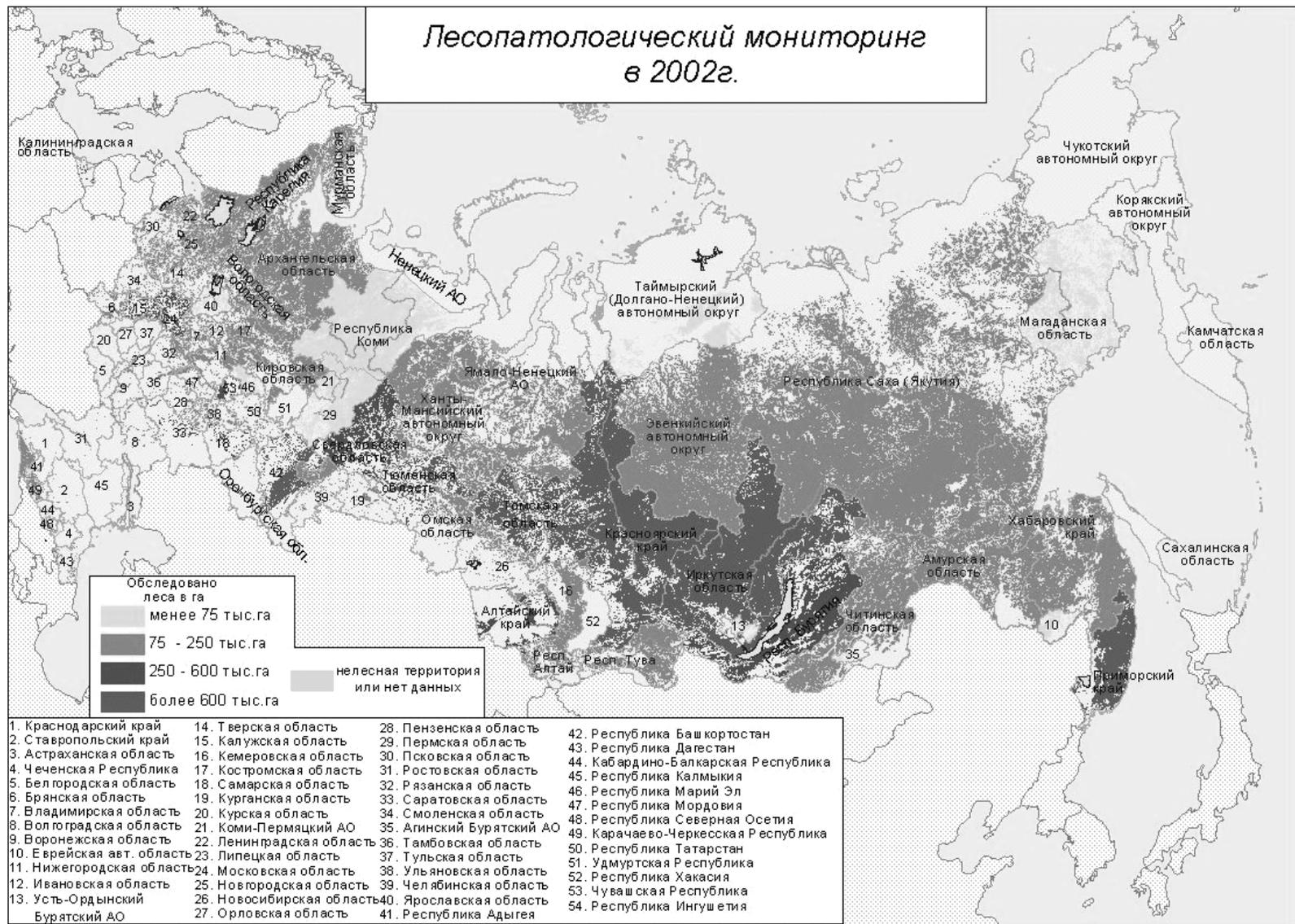
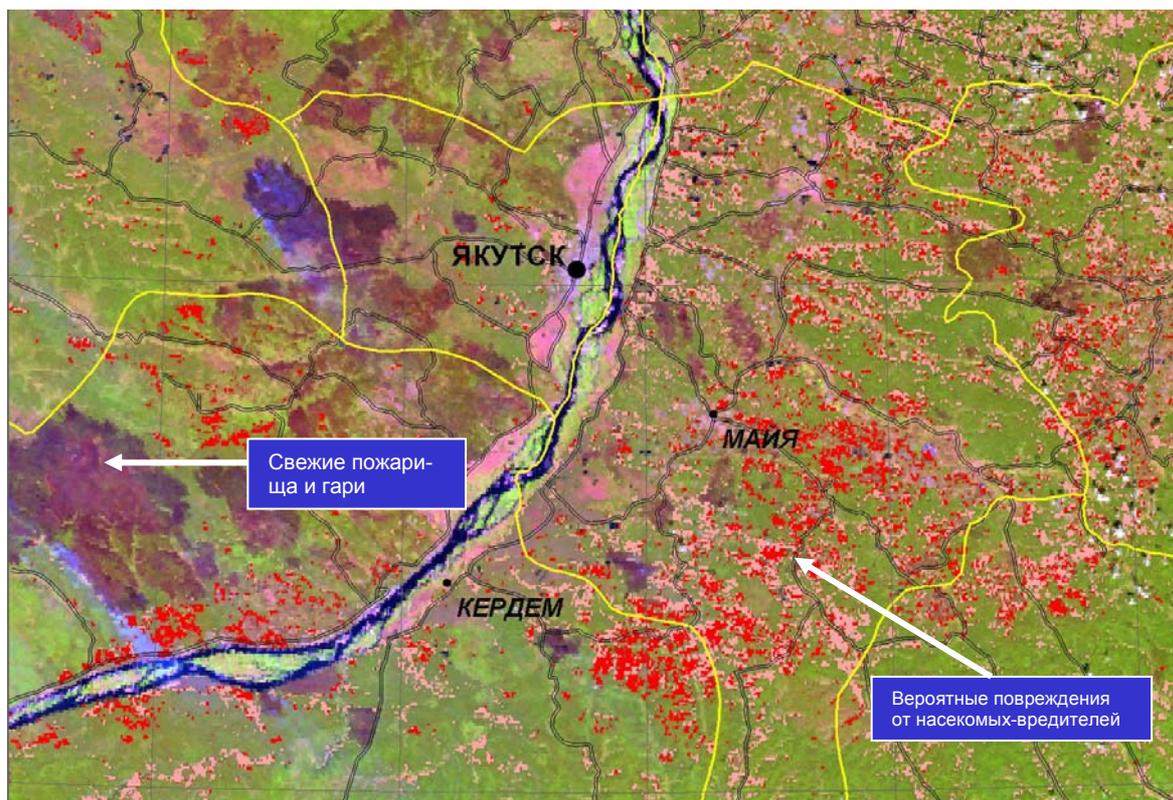


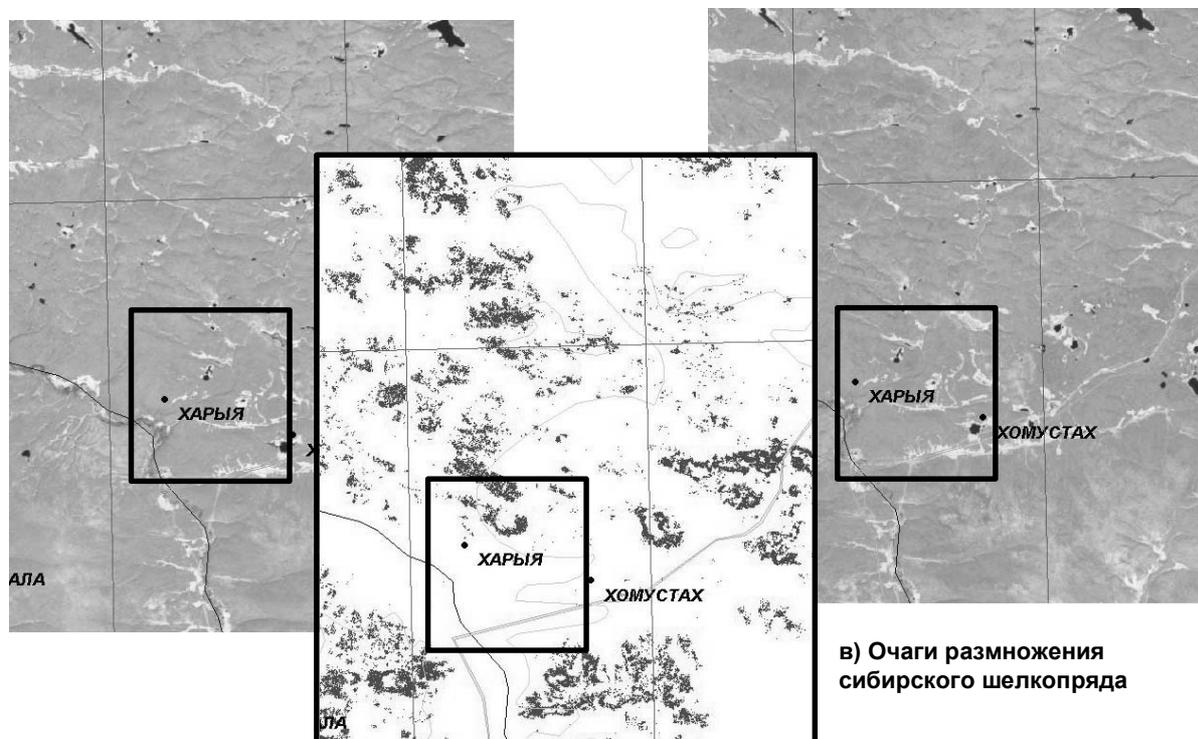
Рис. 2. Пример картографического продукта по данным наземных обследований лесов ФГУ «Рослесозащита»



**Рис. 3.** Участки повреждения лесов сибирским шелкопрядом (Центральная Якутия) по данным обработки изображений низкого пространственного разрешения (500 м) TERRA/MODIS (август 2001 и 2002 гг.)

а) LANDSAT-7 июнь 2000 г.

б) ASTER/TERRA июль 2001 г.



в) Очаги размножения сибирского шелкопряда

**Рис. 4.** Пример обработки разновременных изображений высокого пространственного разрешения LANDSAT-7 и ASTER TERRA (20 м) для выявления и картирования очагов сибирского шелкопряда

## Литература

1. Положение о лесопатологическом мониторинге. Федеральная служба лесного хозяйства России. М., 1993. 11 с.
2. *Исаев А.С., Киселев В.В., Калашиников Е.Н., Плешиков В.П.* и др. Геоинформационные системы в прогнозировании и контроле массового размножения лесных насекомых // Лесоведение. 1999.
3. *Лупян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Новик В.П., Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Кошелев В.В., Тацилин С.А., Татарников А.В., Сухинин А.И., Пономарев Е.И., Гришин А.М., Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В., Матвиенко Г.Г., Соловьев В.С., Антонов В.Н., Ткаченко В.А.* Спутниковый мониторинг лесных пожаров в России. Итоги. Проблемы. Перспективы. Аналит. обзор / ИОА; ГПНТБ СО РАН. Новосибирск, 2003 (Сер. Экология. Вып. 68).
4. *Абушенко Н.А., Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов Д.В., Захаров М.Ю., Лупян Е.А., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Минько Н.П., Назиров Р.Р., Семенов С.М., Тацилин С.А., Флитман Е.В., Щетинский В.Е.* Опыт и перспективы организации оперативного спутникового мониторинга территории России в целях службы пожароохраны лесов // Исслед. Земли из космоса. 1998. № 3. С. 89–95.
5. *Сухинин А.И.* Система космического мониторинга лесных пожаров в Красноярском крае // Сибирс. экологич. журн. 1996. Т. 3. № 1. С. 85–91.
6. *Барталев С.А., Беляев А.И., Ершов В.В., Зукерт Н.В., Коровин Г.Н., Кошелев В.В., Лупян Е.А., Рыбникова Л.А., Сурикова Е.П., Шуляк П.П.* Разработка ГИС мониторинга лесных пожаров в России на основе ARCVIEW GIS 3.0 и глобальной сети Интернет ARCREVIEW // Соврем. геоинформац. технологии. 1998. № 1(4). С. 6, 7.
7. *Андреев М.В., Ефремов В.Ю., Гостев М.В., Дмитриев Г.А., Крашенинникова Ю.С., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Система оперативного удаленного доступа к архивам данных российских природоресурсных спутниковых систем. М.: ИКИ РАН. Препринт Пр-2055. 2002. 42 с.
8. *Козлов А.Н., Лупян Е.А.* Проблема построения универсального интерфейса для доступа к данным через сеть Интернет. М.: ИКИ РАН. 1999. Препринт Пр-2014. 22 с.
9. *Ekstrand S.* Reflection of moderate damages on Norway spruce using Landsat TM and digital stand data // IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing. 1990. V. 52(2). P. 229–241.
10. *Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В.* Универсальная технология построения систем хранения спутниковых данных. М.: ИКИ РАН. Препринт Пр-2024. 2000. 22 с.
11. *Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С.* Оценка дефолиации лесов по многоспектральным спутниковым изображениям методом декомпозиции спектральных смесей // Исслед. Земли из космоса. 1999. № 4. С. 76–86.
12. *Franklin S.E., Hudak J.* Classification of Hemlock Looper defoliation from satellite imagery // North American insect work conf. 1991. 182 p.
13. *Hall F.G., Hulmmirich K.F., Goward S.N.* Use of narrow-band spectra to estimate the fraction of absorbed photosynthetically active radiation. 1990.
14. *Muchoney D.M., Haack B.N.* Change detection for monitoring forest defoliation // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. 1994. V. 60. P. 1243–1251.
15. Программа «Лесопатологический мониторинг». ИСФ «Консультант». [Электронный ресурс] [www.isf-consultant.ru](http://www.isf-consultant.ru) по заказу ФГУ Российский Центр защиты леса. 1999–2003.
16. *Исаев А.С., Киселев В.В., Калашиников Е.Н., Плешиков В.П.* и др. Геоинформационные системы в прогнозировании и контроле массового размножения лесных насекомых // Лесоведение. 1999.

17. *Лямцев Н.И.* и др. Влияние климата и погоды на динамику численности непарного шелкопряда в европейской России // *Лесоведение*. 2000. № 1. С. 62–67.
18. *Лямцев Н.И.* Прогнозирование очагов массового размножения сибирского шелкопряда // *Лесное хоз-во*. 2001. С. 43, 44.
19. *Исаев А.С., Киселев В.В., Калашиников Е.Н., Плешиков Ф.И., Черкашин В.П.* Геоинформационные системы в прогнозировании и контроле массового размножения лесных насекомых // *Лесоведение*. 1999. № 3. С. 15–23.
20. *Петько В.М., Баранчиков Ю.Н., Вендило Н.В., Плетнев В.А., Митрошин Д.Б., Лебедева К.В.* Полевые испытания средств феромонного мониторинга сибирского шелкопряда // *Мониторинг состояния лесных и урбо-экосистем*. М.: МГУЛ, 2002. С. 90, 91.
21. *Купрессова В.Б., Никульшина М.П., Колмакова В.Г.* Перспективы применения феромонных ловушек для контроля численности сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv., Lasiocampidae, Lepidoptera) // *Система мониторинга в защите леса: Тез. докл. Всесоюз. совещ. Сент. 1985*. Красноярск, 1985. С. 185, 186.