

Определение масштабов усыхания хвойных лесов Европейского Севера России по данным спутниковых наблюдений

Н.В. Девятова¹, Д.В. Ершов¹, Н.И. Лямцев^{1,3}, Б.С. Денисов²

¹Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mails: natasha@ifi.rssi.ru, ershov@ifi.rssi.ru

²Российский центр защиты леса
141202, Московская область, г. Пушкино-2, Институтская ул., д.1
E-mail: rcfh@aha.ru

³ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства
141200, Московская обл., г. Пушкино, ул. Институтская, д.15
E-mail: vniilm@pues.ru

В статье представлен метод картографирования крупномасштабного усыхания хвойных лесов, вызванного комплексным воздействием неблагоприятных природных (многолетняя засуха, насекомые-вредители и др.) и антропогенных факторов, по спутниковым данным среднего пространственного разрешения MODIS/TERRA (250 метров). Метод основан на анализе динамики спектральных яркостей хвойных лесов в различных спектральных диапазонах с целью выявления изменений, характеризующих деградирующее состояние насаждений.

Введение

По данным статистической отчетности в 2005 году в Северо-Западном федеральном округе России сложилась крайне неблагоприятная санитарная обстановка в лесном фонде. В последние четыре года на территории Европейского Севера России выявлено интенсивное усыхание еловых насаждений, являющихся одной из основных лесообразующих пород в этом регионе. Усыхание ельников в Архангельской области затрагивает уникальные по своей природной ценности леса, а также сырьевую базу многих лесных предприятий и поселков.

Наземные выборочные обследования показали, что процесс деградации спелых и перестойных древостоев происходил постепенно в течение ряда лет, сопровождаясь ослаблением и групповым усыханием деревьев. В 2004–05 годах этот процесс принял массовый характер, охватив массивы еловых лесов в междуречьях Северная Двина – Пинега и Пинега – Вашка.

Для принятия решений и разработки системы мер необходима оперативная оценка масштабов усыхания и его пространственной динамики. Выполнение этих задач только наземными способами мониторинга невозможно. В статье приводятся результаты исследований информативных возможностей временных серий спутниковых изображений MODIS/TERRA среднего пространственного разрешения для выявления участков усыхания еловых лесов в Архангельской области в период с 2002 по 2005 гг.

1. Спутниковый мониторинг состояния лесов северо-западного региона Европейского Севера России

1.1. Краткая характеристика лесорастительных условий региона наблюдения

В качестве объекта наблюдения и оценки состояния лесов выбраны средне- и северотаежные еловые насаждения в зоне их очагового усыхания (42° В.Д. - 47° В.Д.; 62° С.Ш. - 65° С.Ш.).

Уникальный массив коренных малонарушенных лесов в междуречье Северной Двины и Пинеги занимает площадь около 1 млн.га. Он включает в себя основной набор типичных лесных

ландшафтов и представляет среду обитания как для редких и исчезающих, так и для типичных в лесной зоне популяций растений и животных. К основному массиву старовозрастных ельников примыкают сплошные вырубki последних лет с островками неосвоенных лесосек, защитных полос вдоль рек, семенных куртин.

В лесном фонде ель занимает более 73% лесопокрытой площади. Еловые древостои представлены как чистыми, так и смешанными насаждениями с примесью березы, сосны и осины. Средний возраст еловых насаждений составляет 157 лет. Наиболее распространены черничная и долгомошная группы типов леса.

1.2. Краткая характеристика лесопатологического состояния лесов региона

Первые куртины усыхания еловых древостоев и очаги короеда-типографа в междуречье Северной Двины и Пинеги были официально зарегистрированы в 2002 году.

В 2004 году специалистами ФГУ «Рослесозащита» было проведено экспедиционное лесопатологическое обследование в Березниковском и Верхнетоемском лесхозах на площади 1000 тыс. га. Основной целью обследования было определение санитарного и лесопатологического состояния коренных еловых лесов, расположенных на водоразделе рек Северной Двины и Пинеги. В результате натурных работ были сделаны выводы о неудовлетворительном санитарном и лесопатологическом состоянии спелых и перестойных еловых древостоев. При этом выявлено 145 тыс. га усыхающих и погибших насаждений [1].

В 2005 году ФГУ «Рослесозащита» продолжило работу по лесопатологическому обследованию Березниковского, Верхнетоемского, Выйского, Карпогорского и Сурского лесхозов на общей площади 1500 тыс. га. Ослабление и усыхание еловых насаждений наблюдалось во всех пяти лесхозах. По данным авиационной лесопатологической таксации лесные массивы, в которых были выявлены еловые древостои с неудовлетворительным санитарным состоянием, занимают территорию площадью 2550 тыс. га. Границы района усыхания довольно «размыты». Характер усыхания – от диффузного (группового) до сплошного.

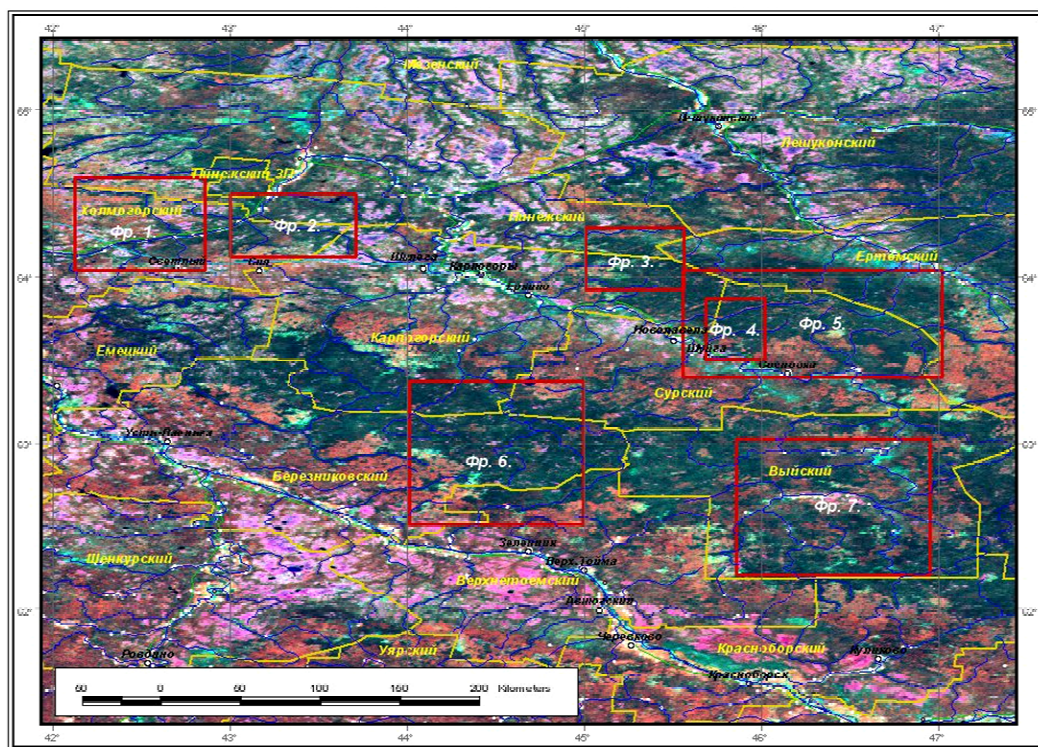


Рис. 1. Изображение MODIS с фрагментами для планирования наземных обследований лесов Архангельской области в 2006 г., выбранные на основе данных съемки высокого пространственного разрешения МСУ-Э

В 2006 году ФГУ «Рослесозащита» проводило экспедиционное обследование еловых древостоев Емецкого, Карпогорского, Лешуконского, Пинежского и Холмогорского лесхозов. Территориально эти площади расположены к северу и северо-востоку от ранее осматриваемых. Интенсивность усыхания в проверенных насаждениях 2006 года по сравнению с обследованными насаждениями 2005 года меньше, но повышенное количество усыхающих деревьев указывает на процесс продолжения распада ельников и на этих территориях (рис. 1).

В рамках проекта проведены специальные наземные работы на тестовых участках в Пинежском, Холмогорском и Карпогорском лесхозах.

2. Характеристика экспериментальных данных

Для разработки методов технологии детектирования и картографирования площадей еловых древостоев, поврежденных насекомыми и болезнями леса была создана интегральная база данных наземных, авиационных и спутниковых наблюдений.

В состав базы данных включены картографические основы 1:2,5 и 1:1 млн. масштаба, границы лесохозяйственных предприятий по состоянию на 2006 год, данные лесопатологического обследования экспедициями ФГУ «Рослесозащита» в период 2004-2005 гг., наземные наблюдения на пробных площадях в 2006 г., ведомости авиалесопатологической таксации 2004 и 2005 гг.

Собраны данные лесоинвентаризации на лесничество Пинежского лесхоза, включая базу данных лесоустройства 1998 года и выборочные планово-картографические материалы квартальной сети в местах усыхания лесов.

Для выполнения исследовательских работ по проекту были получены ежемесячные мозаики TERRA-MODIS (250-500м) в период с 19 мая по 16 сентября 2002-2005 гг.; 7 сцен спутниковой съемки Метеор-ЗМ/МСУ-Э (40м) в летние месяцы 2003-2005 гг.; 3 сцены Landsat-7 (30м) в летние месяцы 2000-2002 г.; 3 сцены Landsat-5 (30м) в летние месяцы 2006 г.

Весь собранный информационный материал был преобразован в единый экспериментальный банк данных в географической системе координат.

3. Метод детектирования и картографирования крупномасштабного усыхания лесов по спутниковым данным

Тематическая обработка основана на анализе временных серий спутниковых изображений MODIS среднего пространственного разрешения за несколько лет с целью выявления изменений в состоянии растительности, вызванных крупномасштабными усыханиями лесов. Анализ спутниковых данных включает несколько последовательных этапов (рис. 2):

- детектирование адаптивными порогами изменений спектральных яркостей древесной растительности между временными сериями спутниковых изображений разных лет;
- тематическая идентификация выявленных изменений с использованием дополнительных признаков и информационных источников;
- формирование картографического продукта с участками усыхания лесов.

Базовый алгоритм метода использовался для выявления изменений, вызванных массовым размножением насекомых-вредителей в лесах Центральной Якутии [2]. В процессе исследований лесов Европейского Севера России возникла необходимость модификации алгоритма с целью минимизации влияния на детектирование усыхающих лесов других деструктивных факторов (вырубки и пожары), а также локализации территории, покрытой темнохвойными лесами как основного объекта исследования. Для выделения темнохвойных лесов на изображениях MODIS в качестве обучающей выборки использовалась карта наземных экосистем Северной Евразии (GLC-2000) [3, 4].

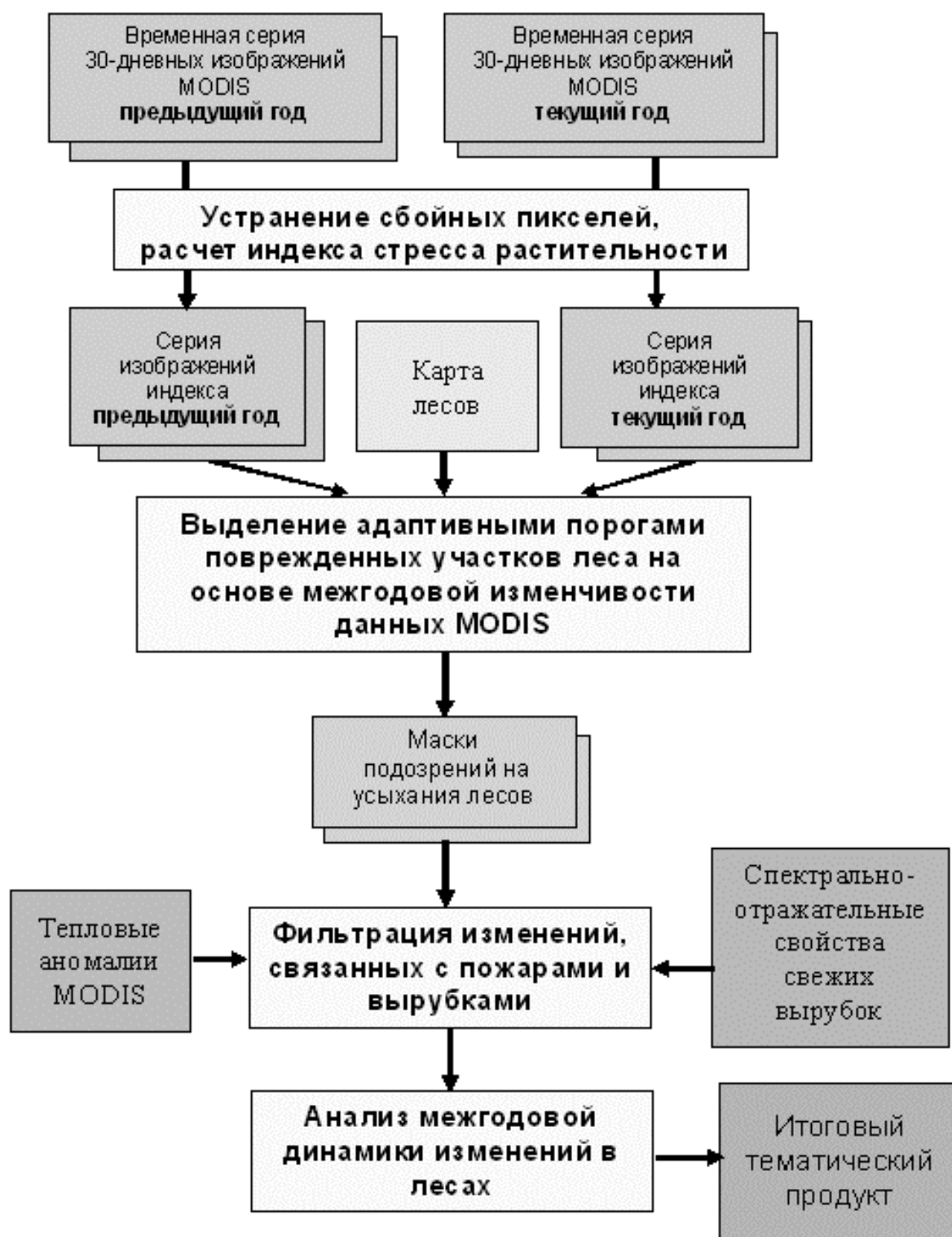


Рис. 2. Блок-схема тематической обработки данных MODIS с целью выявления изменений связанных с повреждением лесов от насекомых-вредителей и болезней леса

Анализ изменений индекса NDBI между годами был сосредоточен так же в отрицательной части его значений, которые характеризуют поврежденные насаждения. Вместо фиксированных порогов, использовался адаптивный порог, основанный на вычислении среднего значения μ и

стандартного отклонения σ с установлением порогов для 5 классов спектральных изменений в лесах:

1 класс (отрицательные значения): $(NDBI_{i+1} - NDBI_i) < \{\mu - 2 \cdot \sigma\}$

2 класс (отрицательные значения): $(NDBI_{i+1} - NDBI_i) > \{\mu - 2 \cdot \sigma\}$ и $(NDBI_{i+1} - NDBI_i) < \{\mu - \sigma\}$

3 класс (нет изменений): $(NDBI_{i+1} - NDBI_i) > \{\mu - \sigma\}$ и $(NDBI_{i+1} - NDBI_i) < \{\mu + \sigma\}$

4 класс (положительные значения): $(NDBI_{i+1} - NDBI_i) > \{\mu + \sigma\}$ и $(NDBI_{i+1} - NDBI_i) < \{\mu + 2 \cdot \sigma\}$

5 класс (положительные значения): $(NDBI_{i+1} - NDBI_i) > \{\mu + 2 \cdot \sigma\}$

В дальнейшем производился анализ динамики изменений вышеперечисленных классов между годами, на основе которого выявлено 4 типа изменений в состоянии хвойных лесов (табл. 1).

Таблица 1. Динамика изменений в состоянии хвойных лесов между годами

Тип изменения	Динамика			Примечание
	2002-2003	2003-2004	2004-2005	
1	↓	—	—	Изменения приходятся на 2003 год
2	—	↓	—	2004 год
3	—	—	↓	2005 год
4	↓	↓	↓	Изменения фиксировались ежегодно с 2003 по 2005 г.

Знак «стрелка» показывает переход старшего класса в младший (например, 2 класс переходит в 1 класс). В остальных случаях смены класса и изменения в сторону его ухудшения (усыхания) не было зафиксировано.

Далее анализировались причины изменений с целью исключения участков леса пройденных лесными пожарами и рубкой леса. Для устранения пожаров использовались тепловые аномалии, детектированные по температурным каналам спектрорадиометра MODIS. Вырубки отделялись по спектральным изменениям в красном и ближнем ИК-диапазонах электромагнитного спектра.

4. Оценка усыхания лесов Европейского Севера России по спутниковым данным

Проведена количественная оценка площадей темнохвойных лесов с неудовлетворительным санитарным состоянием (сильно ослабленных, усыхающих и погибших насаждений без учета гарей и вырубок) на территории Европейского Севера России с 2002 по 2005 гг. с использованием изображений MODIS среднего пространственного разрешения. В результате обработки 30-ти дневных композитных изображений MODIS была получена статистика с оценкой площадей изменений в лесах исследуемого региона (таблица 2).

Таблица 2. Оценка площадей усыхания темнохвойных лесов Архангельской области

Годы	Подозрение на усыхание лесов, тыс. га	Доля площади усыхающих и погибших лесов от их общей площади, %
05.2002-09.2003	342,54	5,6
05.2003-09.2004	1093,00	17,99
05.2004-09.2005	403,81	6,64
Всего	1839,35	30,27

Полученные оценки площадей (рис. 3) сравнивались с данными наземных учетов состояния лесов на тестовых участках и с результатами авиационной лесопатологической таксации темнохвойных лесов на территории Архангельской области в 2006 году с целью определения точности метода и его применимости для задач оценки крупномасштабных процессов в лесах по спутниковым данным. Для сравнения по кварталам агрегировались площади с подозрением на усыхание лесов по спутниковым данным MODIS (рис. 4).

Важно отметить, что такой подход позволяет выявлять древостои с неудовлетворительным санитарным состоянием (в том числе погибшие в результате массового размножения насекомых и болезней леса) и оценивать пространственную (рис. 3, рис. 4) и временную (табл. 3, рис. 5) динамику ослабления и усыхания лесов.

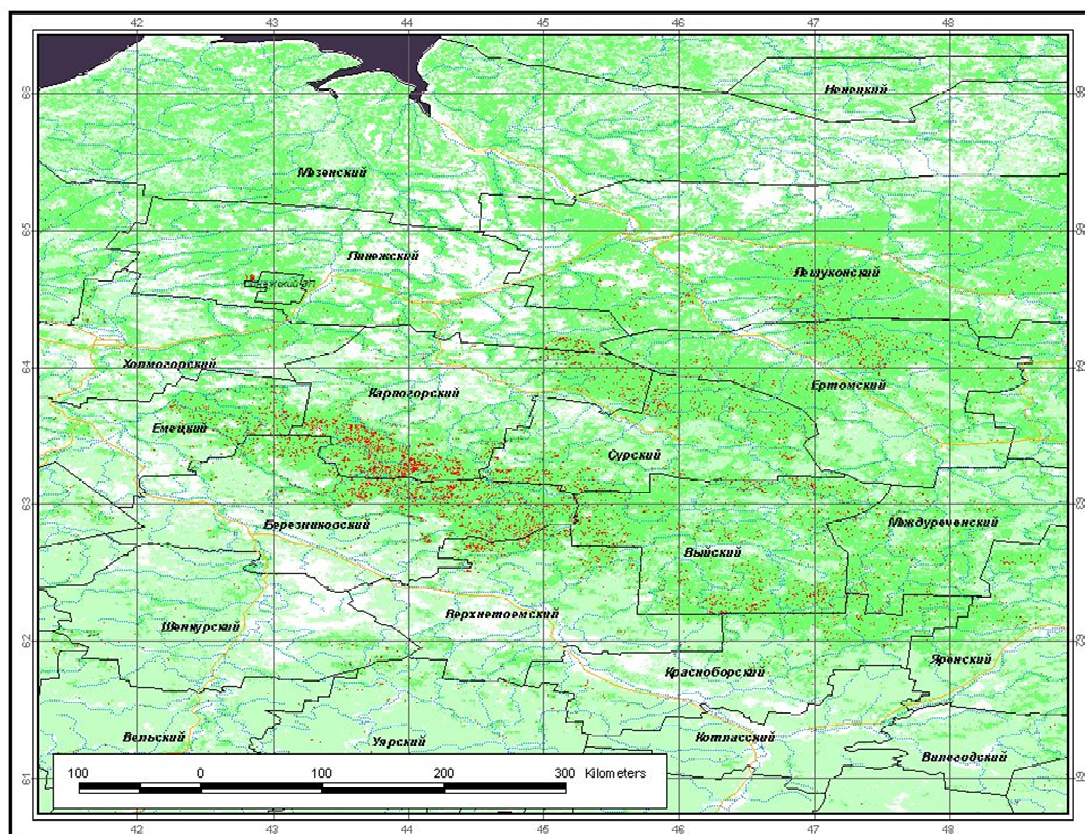


Рис. 3. Карта подозрения на усыхания лесов Европейского Севера за 2005 год, полученная по данным MODIS/TERRA

Как видно из таблицы 3, интенсивность усыхания (доля площади сильно ослабленных, усыхающих и погибших еловых насаждений) в различных кварталах существенно варьирует, например, в 2004 году она изменялась от 4,5 до 50,0%. Среднее значение площади усыхания за три года достаточно хорошо согласуется с данными лесопатологической таксации. По результатам авиаобследования доля усыхающих и погибших ельников составляет около 50,0%, а по спутниковым данным в среднем 50,2%. Патологический отпад (доля усыхающих деревьев, свежего и старого сухостоя) в лесных участках, приведенных в таблицах 2 и 3, изменяется от 10 до 85% и составляет в среднем 38,7% от общего числа деревьев.

Преимуществом предложенного метода является возможность дифференциальной оценки площади усыхания лесов для каждого квартала в отдельности. В дальнейшем планируется провести сравнительный анализ выявленных участков усыхания лесов с данными наземных обследований с привлечением спутниковых изображений высокого и сверхвысокого разрешения для оценки точности метода.

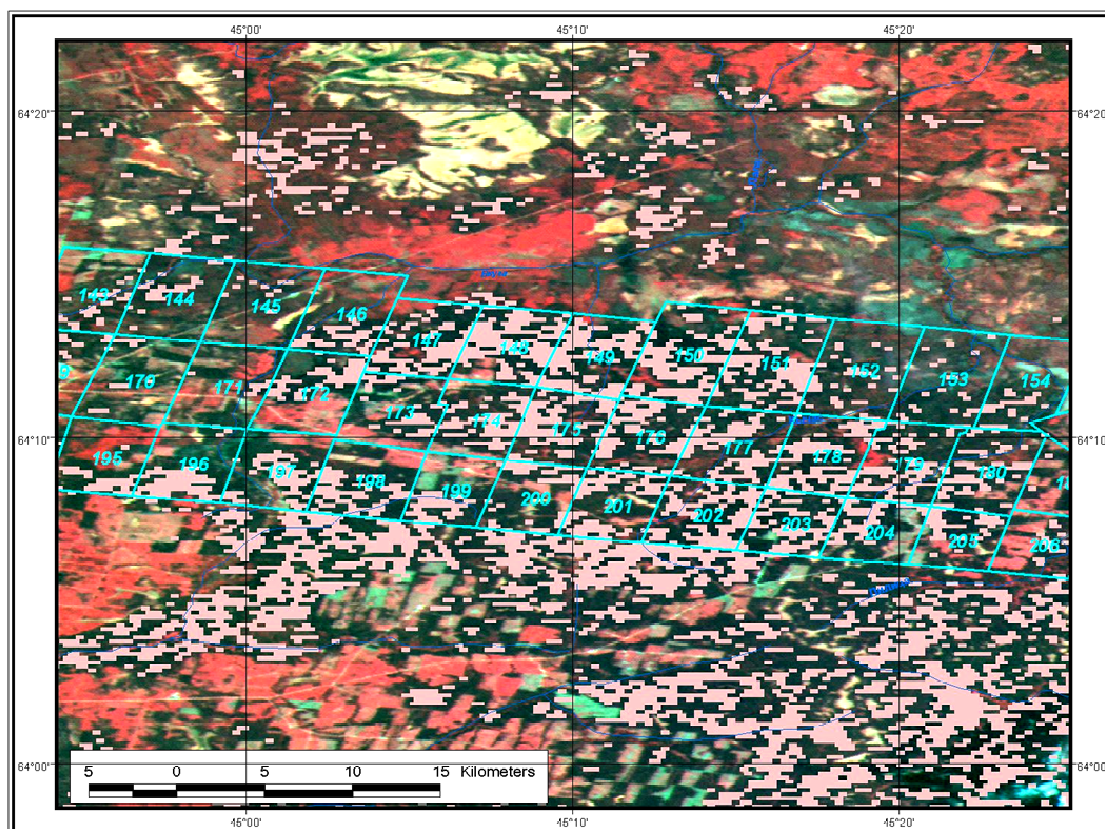


Рис. 4. Сравнительный анализ выявленных территорий усыхания лесов с данными авиатаксации по кварталам

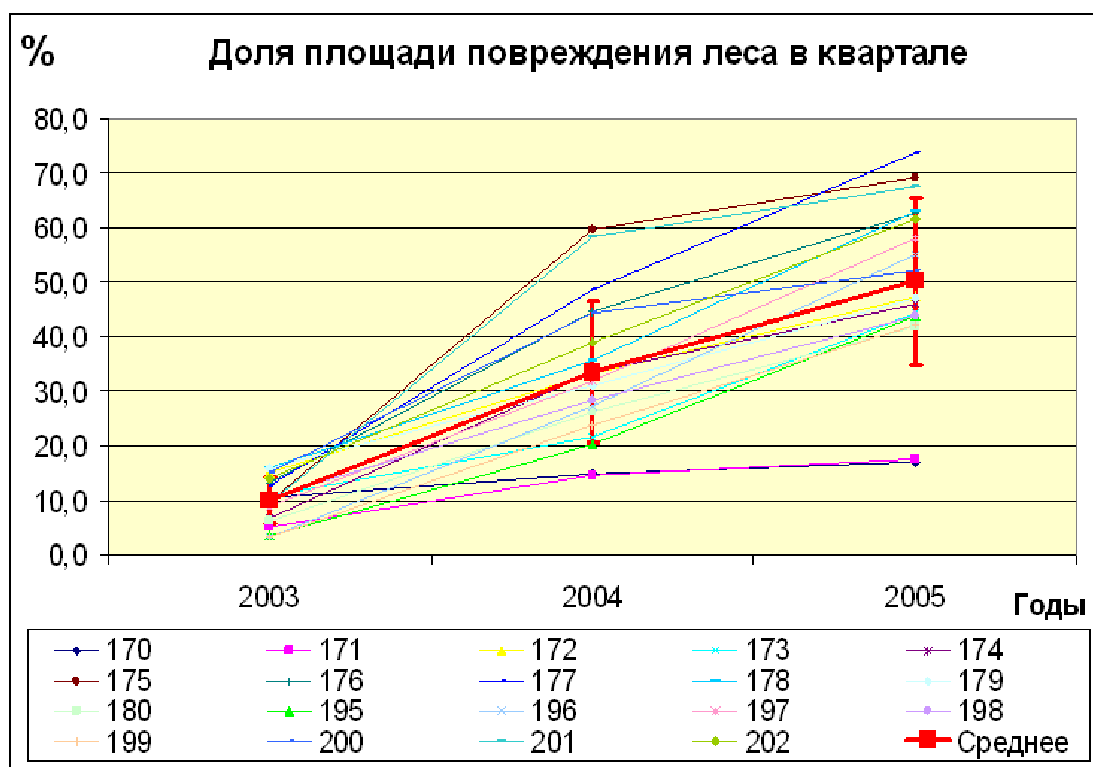


Рис. 5. Процент площади хвойных насаждений с неудовлетворительным санитарным и лесопатологическим состоянием, выделенный по данным спутниковых и авиационных наблюдений

Таблица 3. Повреждения темнохвойных лесов, выявленные по данным спутниковой съемки в части насаждений Ежугского лесничества Пинежского лесхоза

№ квартала	Доля площади сильно ослабленных и усыхающих ельников, %			
	2003 г.	2004 г.	2005 г.	Всего
170	10,5	4,5	2,1	17,1
171	5,3	9,4	2,9	17,5
172	15,1	18,0	14,0	47,2
173	10,8	10,8	22,7	44,3
174	6,7	26,8	12,3	45,8
175	9,8	50,0	9,4	69,2
176	13,3	31,2	18,1	62,6
177	12,7	36,1	24,9	73,7
178	16,0	19,8	27,2	63,0
179	16,0	14,9	16,0	47,0
180	6,1	19,9	15,7	41,8
195	3,5	16,6	23,7	43,9
196	3,2	24,2	27,8	55,2
197	8,8	23,0	26,4	58,1
198	10,6	17,8	15,2	43,7
199	3,2	20,5	18,4	42,0
200	15,0	29,2	8,0	52,3
201	9,5	48,9	9,1	67,5
202	14,0	24,8	22,9	61,7
Среднее	10,0	23,5	16,7	50,2

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Спутниковые данные MODIS среднего пространственного разрешения позволяют выявлять участки крупномасштабного усыхания лесов на обширных регионах Европейского Севера России;
- Алгоритм детектирования и картографирования очагов дает возможность оценивать состояние лесного покрова с указанием местоположения подозрительных территорий;
- Тестирование методов и оценка результатов, выполненная на основе данных наземных и авиационных наблюдений, показала достаточно хорошую согласованность выявленных территорий повреждения с реальными участками усыхания.

Литература

1. Отчет о научно-исследовательской работе. Развитие информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров, насекомых-вредителей и болезней леса // ЦЭПЛ РАН, Москва, 2005, С. 30-35.
2. Девятова Н.В., Еришов Д.В. Съемка MODIS/TERRA в мониторинге вспышек массового размножения очагов насекомых-вредителей // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. Том II. Москва, 2005. С. 262-266.
3. Барталев С.А., Белвард А.С., Еришов Д.В. Новая карта типов земного покрова бореальных систем Евразии по данным SPOT 4-VEGETATION // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады 3-ей Всероссийской конференции, посвященной памяти Г.Г. Самойловича. Москва, 18-19 апреля 2002. С. 30-34.
4. Барталев С.А., Егоров В.А., Ильин В.О., Луян Е.А. Синтез улучшенных сезонных изображений Северной Евразии для картографирования и мониторинга динамики растительности по данным SPOT-Vegetation // Всероссийская конференция "Дистанционное зондирование поверхности Земли и атмосферы". Иркутск, 2-6 июня 2003. С. 9.