

# Современные возможности и приоритеты развития методов спутникового мониторинга наземных экосистем

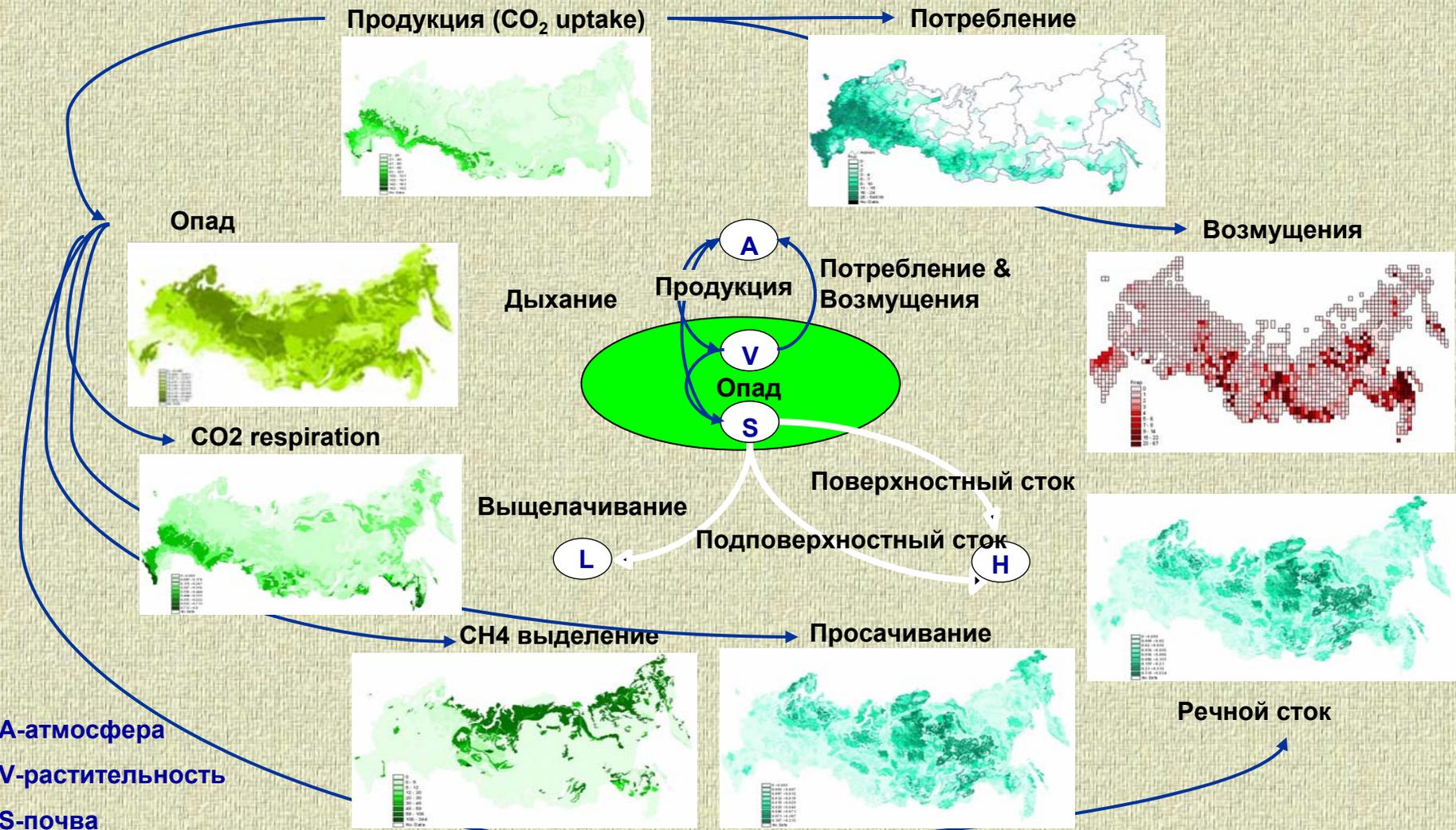
Барталев С.А., Исаев А.С.

Институт Космических Исследований РАН

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН

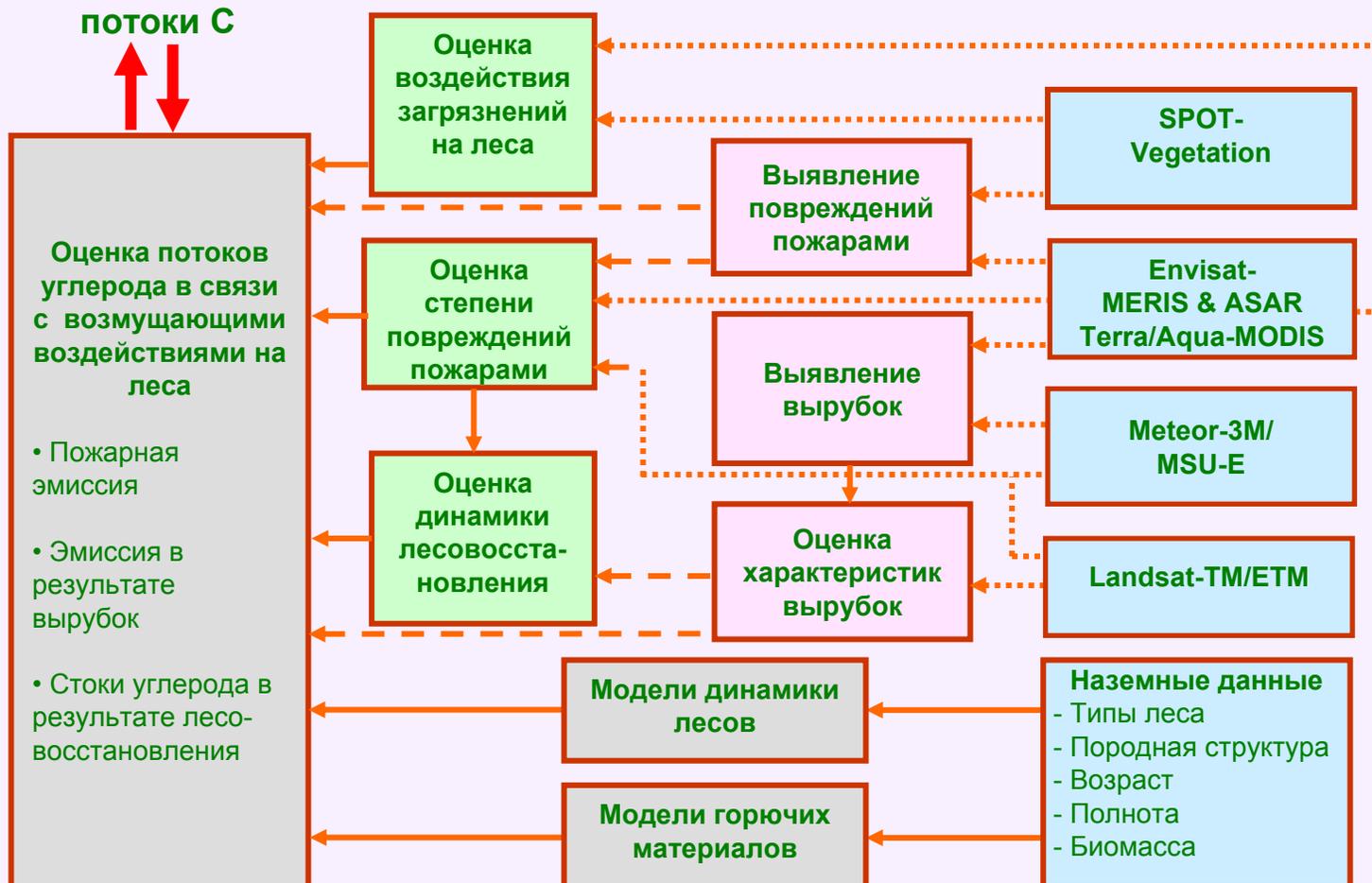


# ПОТОКИ УГЛЕРОДА В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ



**A-атмосфера**  
**V-растительность**  
**S-почва**  
**H-гидросфера**  
**L-литосфера**

# Использование спутниковых данных для оценки потоков углерода в лесах



# Возможности приборов спутниковых наблюдений для мониторинга лесов

Задачи мониторинга лесов	Спутниковые приборы различного пространственного разрешения (м)			
	Низкое (~1000)	Среднее (250-500)	Высокое (20-50)	Детальное (1-5)
<b>Картографирование лесов</b>	NOAA-AVHRR SPOT-Vegetation Terra/Aqua-MODIS	Terra/Aqua-MODIS Envisat-MERIS	Landsat-ETM+ Terra-ASTER SPOT- HRVIR Метеоп/МСУ-Э IRS-LISS	IKONOS Quick-Bird SPOT-HRG IRS-PAN
<b>Оценка биофизических и биохимических характеристик</b>				
<i>Зеленая биомасса, LAI, NPP, fPAR</i>				
<i>Концентрация хлорофилла</i>		Envisat-MERIS		
<i>3D структура насаждений</i>	SPOT-Vegetation	Terra-MISR Terra/Aqua-MODIS		
<b>Оценка возмущающих воздействий на леса</b>				
<i>Активные пожары</i>	NOAA-AVHRR Terra/Aqua-MODIS		Landsat-ETM+ Terra-ASTER	
<i>Повреждения огнем</i>				
<i>Повреждения биотическими факторами</i>	NOAA-AVHRR SPOT-Vegetation Terra/Aqua-MODIS	Terra/Aqua-MODIS Envisat-MERIS	Landsat-ETM+ Terra-ASTER SPOT-HRVIR Метеоп/МСУ-Э IRS-LISS	IKONOS Quick-Bird SPOT-HRG IRS-PAN
<i>Промышленные загрязнения</i>				
<i>Вырубки</i>				
<b>Оценка фенологической динамики лесов</b>	NOAA-AVHRR SPOT-Vegetation Terra/Aqua-MODIS			
<b>Оценка долговременных трендовых изменений в лесах</b>			Landsat-ETM+ SPOT-HRVIR	
<b>Оценка физических характеристик поверхности</b>	NOAA-AVHRR Terra/Aqua-MODIS		Landsat-ETM+ Terra-ASTER	

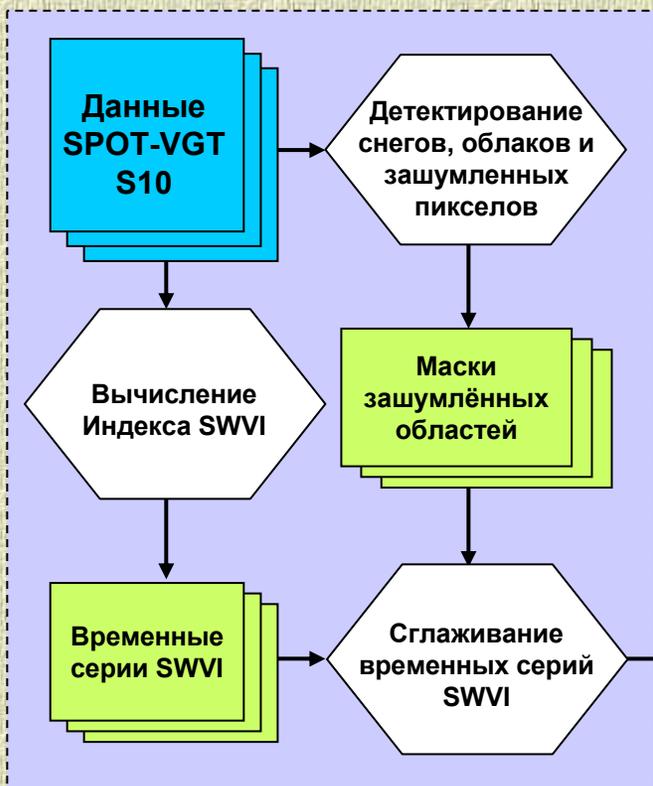


# Картографирование и оценка повреждений лесов пожарами

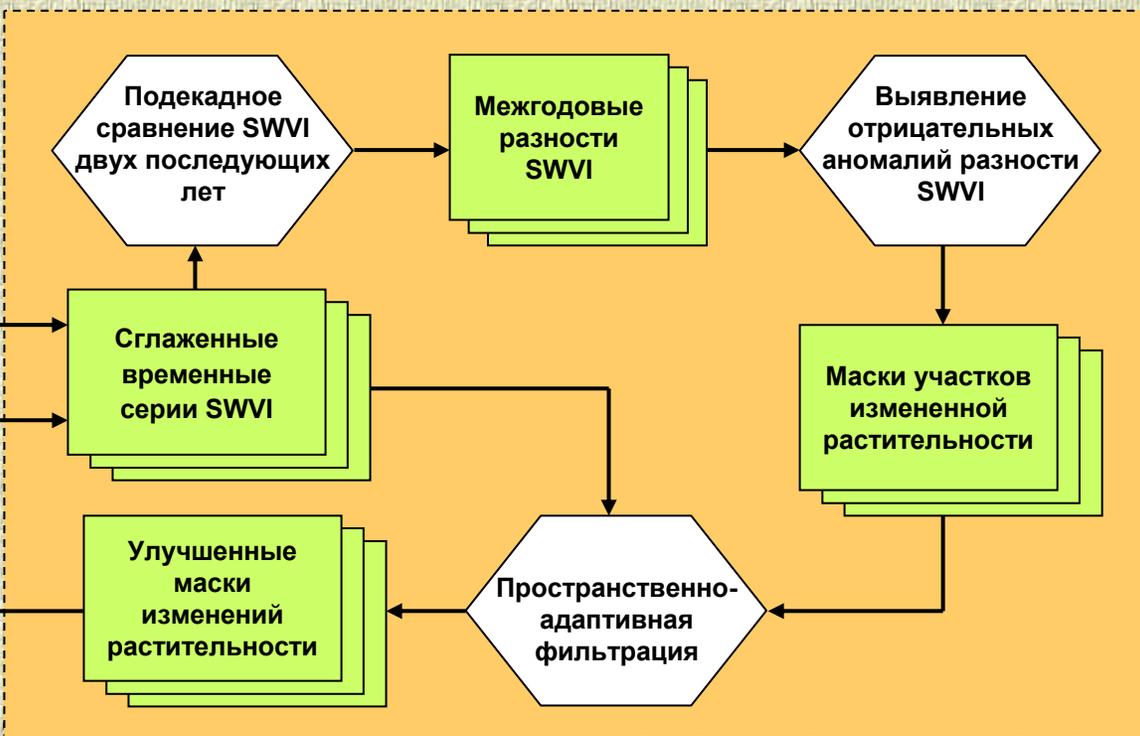


# Метод детектирования поврежденных пожарами лесов по данным SPOT-Vegetation

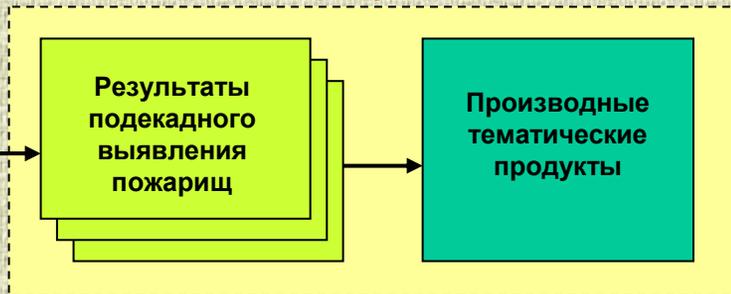
## Этап 1: Предварительная обработка



## Этап 2: Детектирование пожарищ

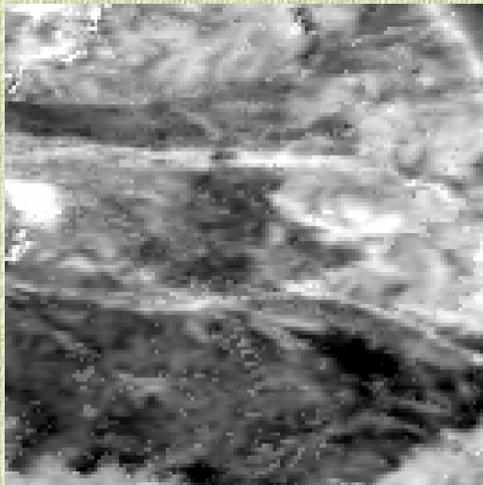


## Этап 3: Создание продуктов

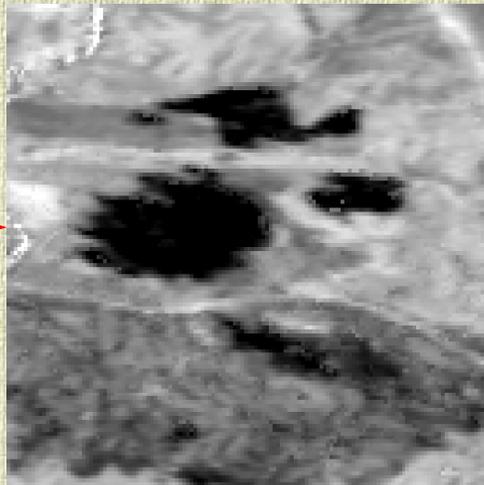


# Основные этапы выявления поврежденных огнем участков по данным SPOT-Vegetation

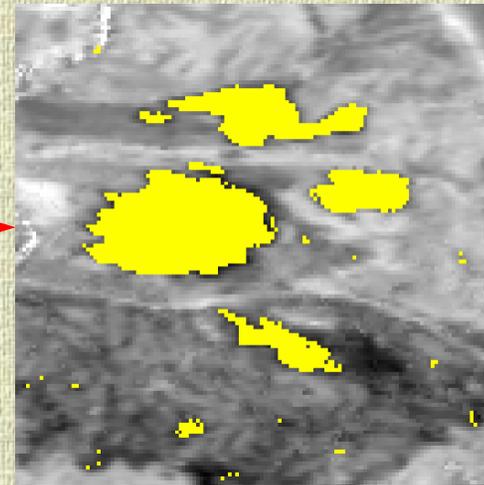
SWVI для предыдущего года



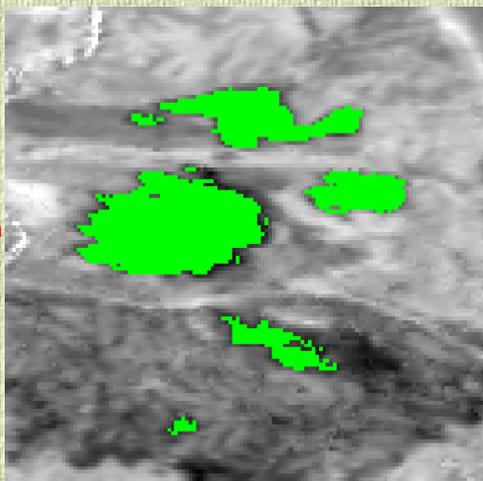
SWVI для текущего года



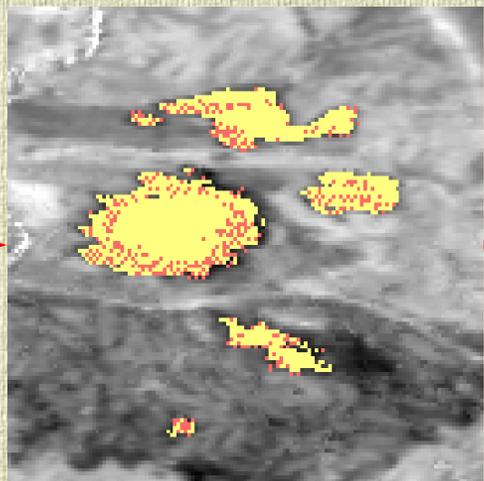
Выявление изменений



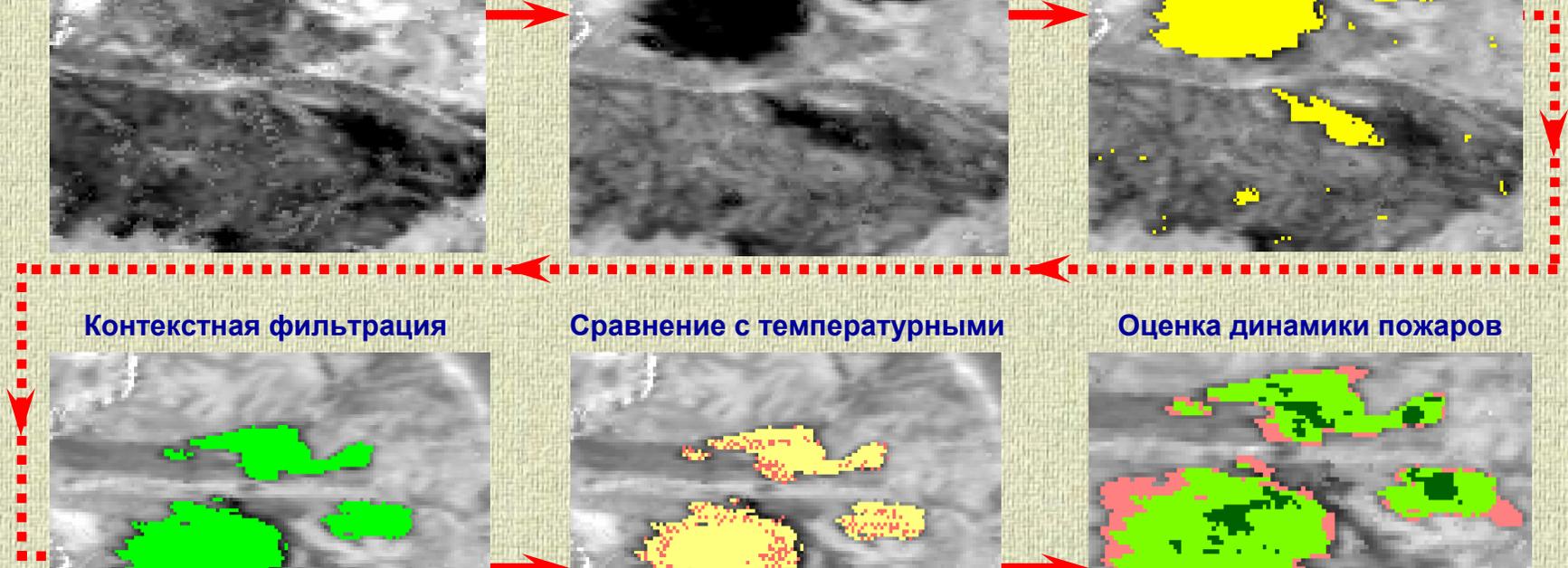
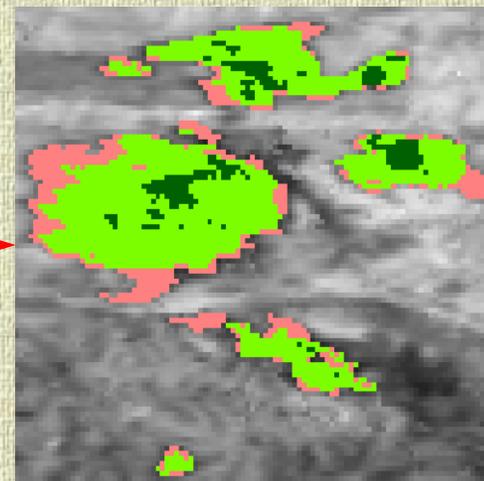
Контекстная фильтрация



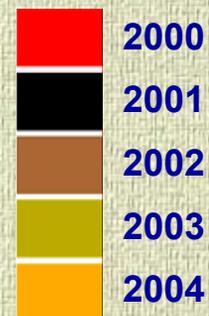
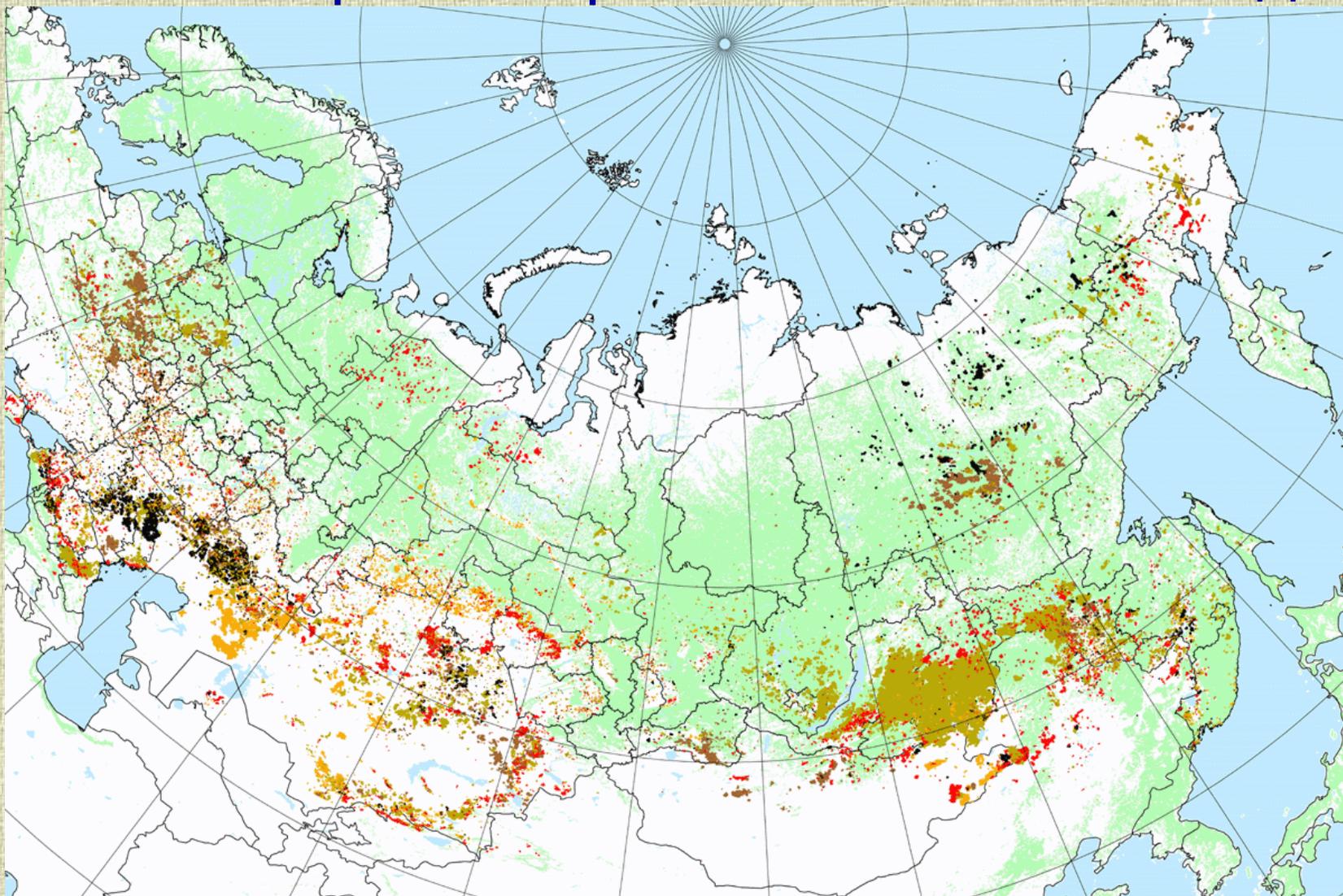
Сравнение с температурными



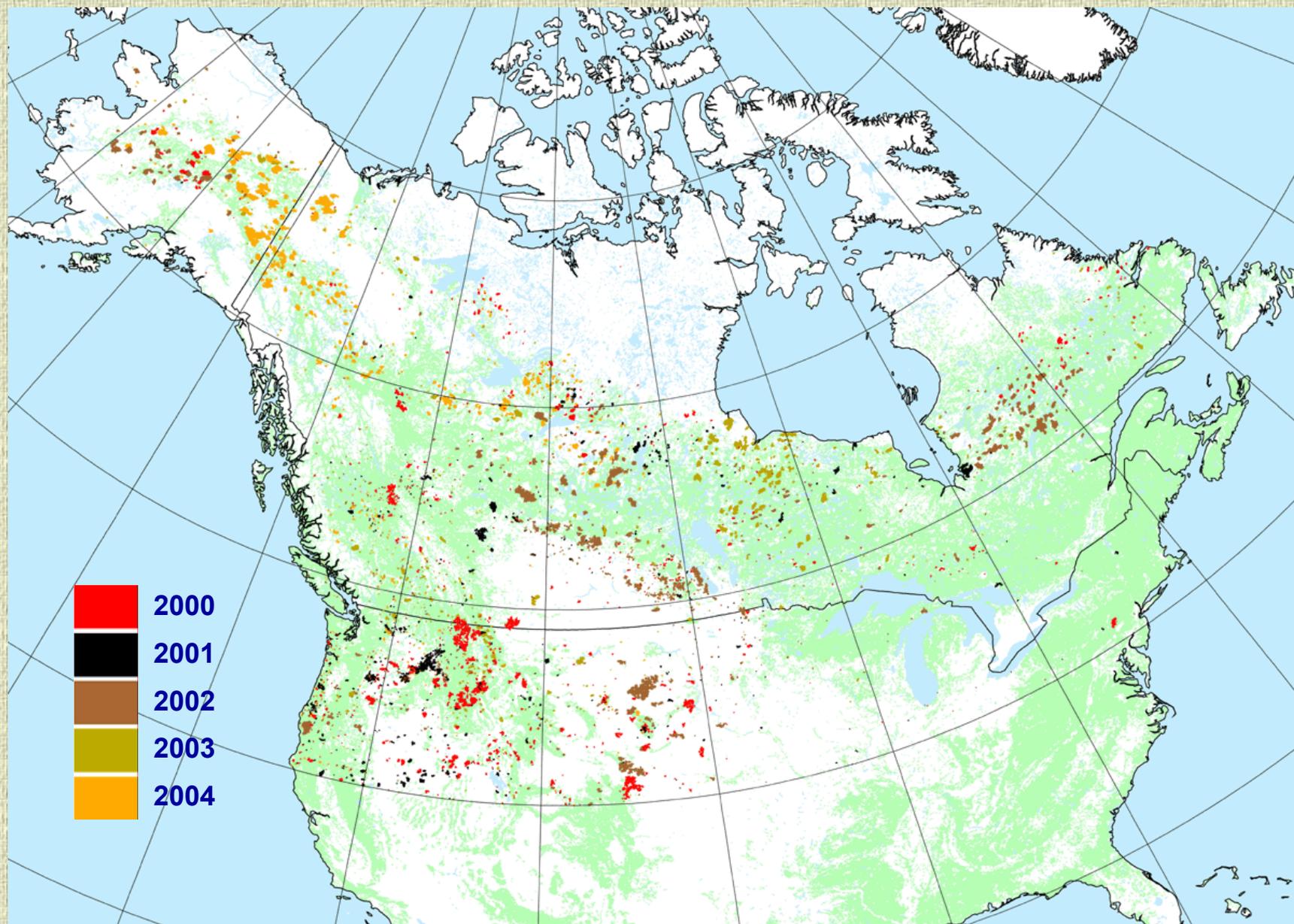
Оценка динамики пожаров

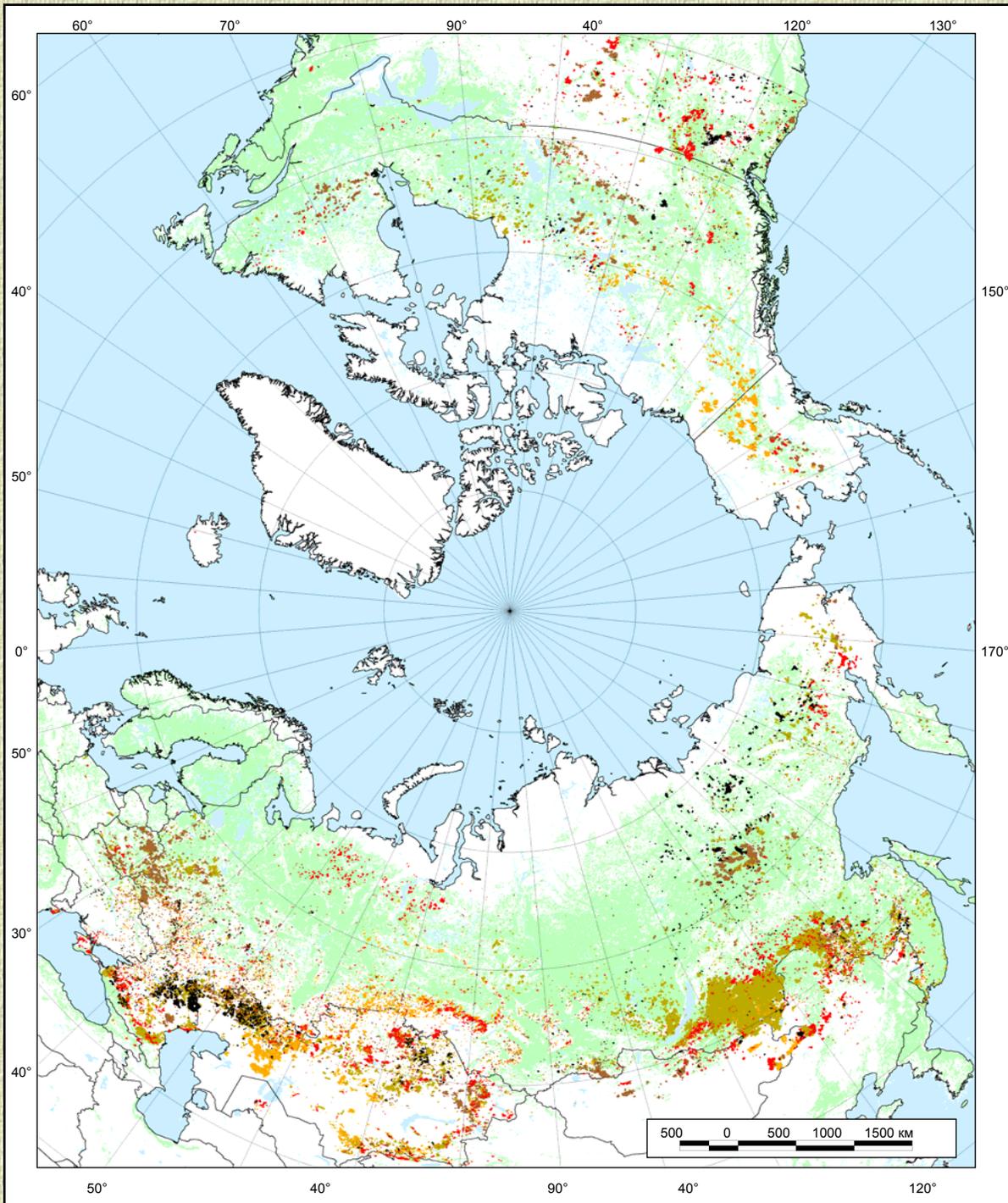


# Повреждения пожарами растительности Северной Евразии в 2000-2004 годах



# Повреждения пожарами растительности Северной Америки в 2000-2004 годах





Циркумполярная карта  
повреждений бореальных  
экосистем пожарами в  
2000-2004 годах

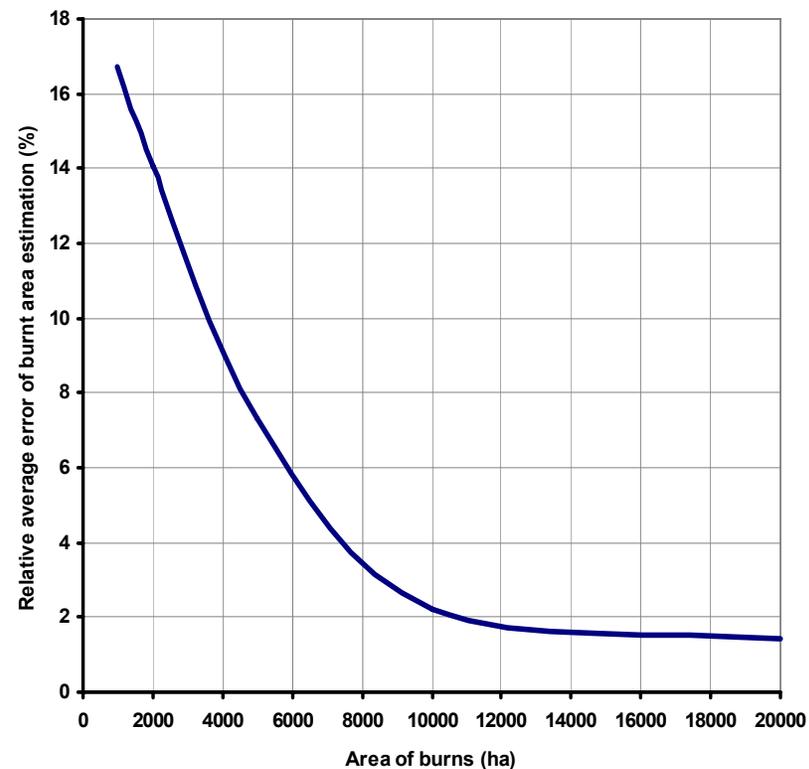
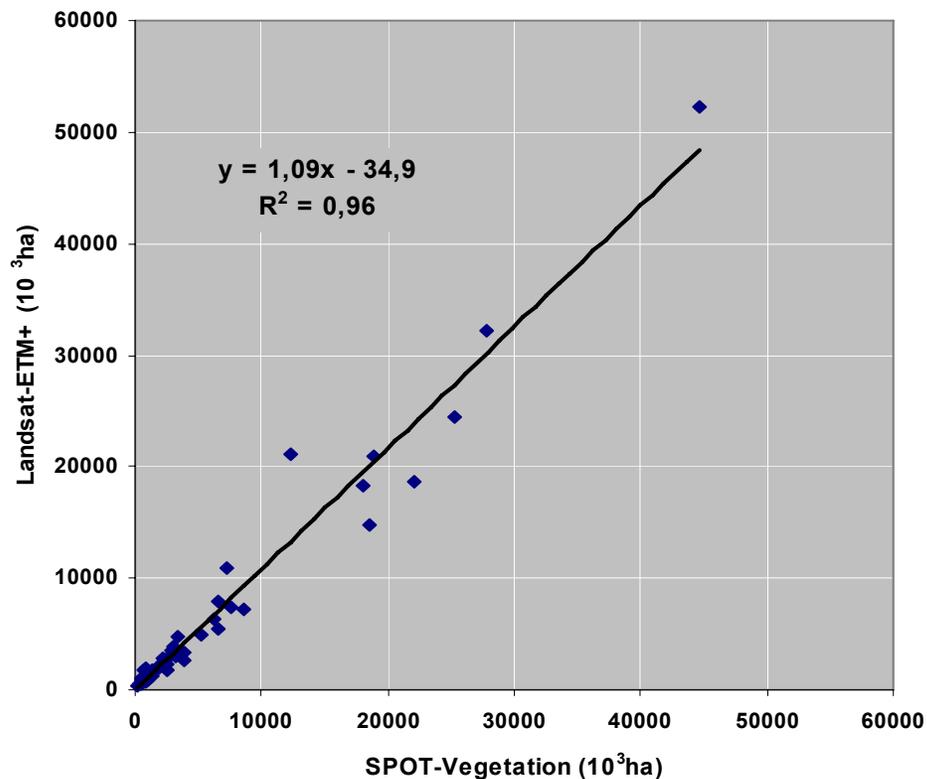


# Набор данных Landsat-ETM для проверки результатов картографирования поврежденных пожарами лесов



Проведена обработка 31 сцены ETM, полученной в период 2000-2002 г.г.  
Проанализировано 78 участков общей площадью  $\sim 450 \times 10^3$  га

# Сравнение оценок поврежденной площади по данным SPOT-Vegetation и ETM+



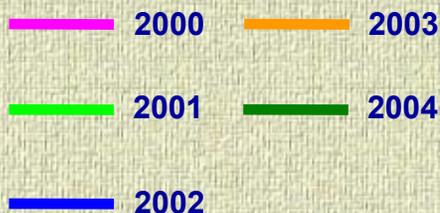
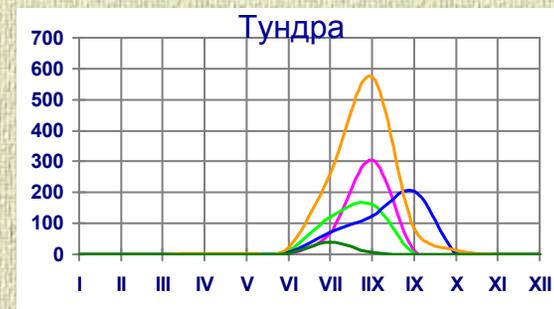
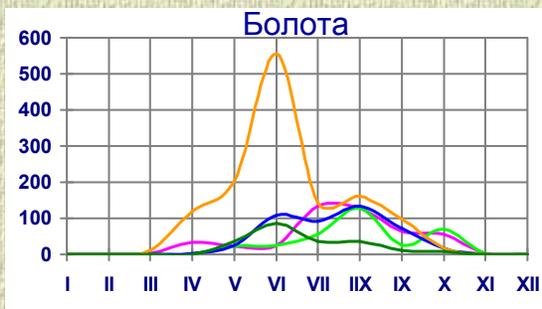
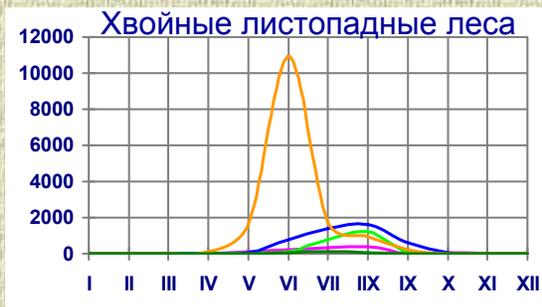
Систематическая ошибка =  $-8,7\%$

СКО =  $\pm 4,4\%$

# Площади поврежденных пожарами лесов России в 2000-2004 годах (тыс. га)

Типы лесных экосистем	Федеральные округа Российской Федерации							
	Центральный	Северо-Западный	Приволжский	Южный	Уральский	Сибирский	Дальне-восточный	Всего по России
<b>2000 год</b>								
Хвойные вечнозеленые	2,28	295,28	5,21	26,36	124,18	116,87	28,34	598,51
Лиственничные	-	2,35	-	-	63,68	287,99	575,41	929,43
Лиственные	4,88	2,41	5,19	41,88	6,57	334,37	138,33	533,63
Смешанные	3,58	44,95	2,26	26,75	31,91	101,76	169,47	380,68
<b>Всего</b>	<b>10,74</b>	<b>344,99</b>	<b>12,66</b>	<b>94,99</b>	<b>226,34</b>	<b>840,98</b>	<b>911,54</b>	<b>2442,24</b>
<b>2001 год</b>								
Хвойные вечнозеленые	0,43	3,97	8,49	4,88	-	48,49	88,05	154,30
Лиственничные	-	-	-	-	-	80,38	2128,70	2209,08
Лиственные	0,94	0,18	0,63	10,97	0,30	29,37	76,50	118,90
Смешанные	0,83	0,22	2,10	5,35	-	18,92	232,31	259,73
<b>Всего</b>	<b>2,20</b>	<b>4,37</b>	<b>11,22</b>	<b>21,20</b>	<b>0,30</b>	<b>177,16</b>	<b>2525,56</b>	<b>2742,01</b>
<b>2002 год</b>								
Хвойные вечнозеленые	55,88	39,99	15,37	1,02	4,21	153,03	225,28	494,78
Лиственничные	-	-	-	-	3,07	636,36	3766,66	4406,09
Лиственные	78,69	33,66	21,95	1,55	9,73	66,04	188,89	400,51
Смешанные	49,89	34,33	14,16	0,93	3,12	67,45	275,14	445,02
<b>Всего</b>	<b>184,45</b>	<b>107,98</b>	<b>51,48</b>	<b>3,51</b>	<b>20,12</b>	<b>922,88</b>	<b>4455,97</b>	<b>5746,39</b>
<b>2003 год</b>								
Хвойные вечнозеленые	12,22	8,74	0,66	54,16	93,30	1417,17	241,72	1827,95
Лиственничные	-	-	-	-	4,88	10728,50	4234,86	14968,20
Лиственные	184,37	22,92	2,53	119,85	10,70	1693,35	868,82	2902,54
Смешанные	63,24	9,51	0,64	73,18	12,26	1820,65	708,21	2687,69
<b>Всего</b>	<b>259,82</b>	<b>41,16</b>	<b>3,84</b>	<b>247,19</b>	<b>121,13</b>	<b>15659,60</b>	<b>6053,60</b>	<b>22386,40</b>
<b>2004 год</b>								
Хвойные вечнозеленые	0,62	5,58	0,44	3,43	81,45	84,14	16,39	192,05
Лиственничные	-	-	-	-	7,45	107,40	62,66	177,52
Лиственные	0,23	0,85	3,41	1,11	61,00	255,18	96,70	418,47
Смешанные	1,49	0,64	0,40	2,58	43,77	44,38	11,59	104,85
<b>Всего</b>	<b>2,33</b>	<b>7,07</b>	<b>4,24</b>	<b>7,12</b>	<b>193,67</b>	<b>491,10</b>	<b>187,35</b>	<b>892,89</b>

# Сезонная динамика повреждений растительности Северной Евразии пожарами в 2000 – 2004 годах ( $10^3$ га)



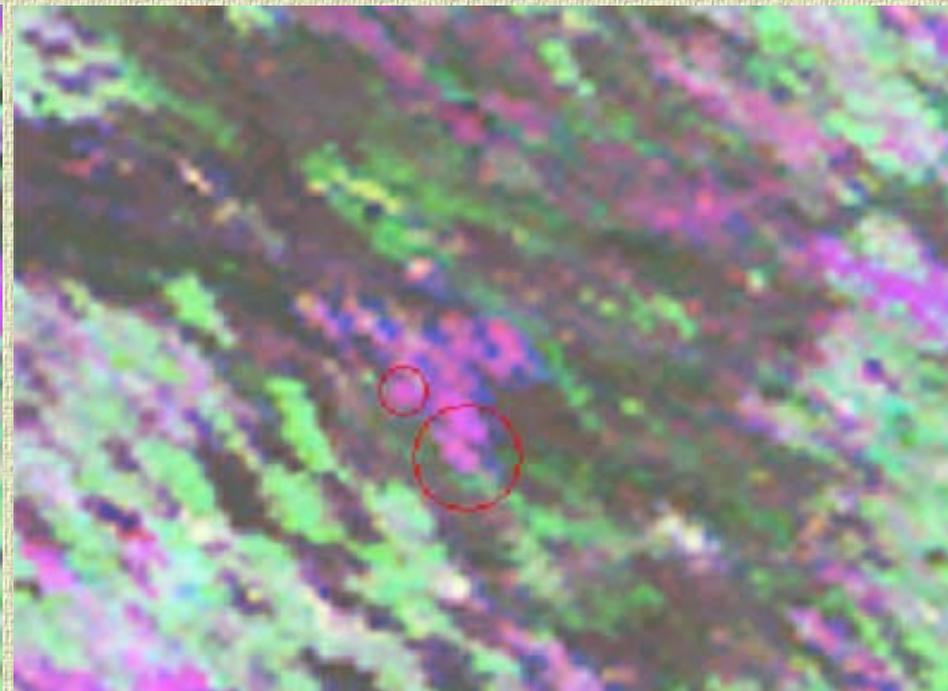
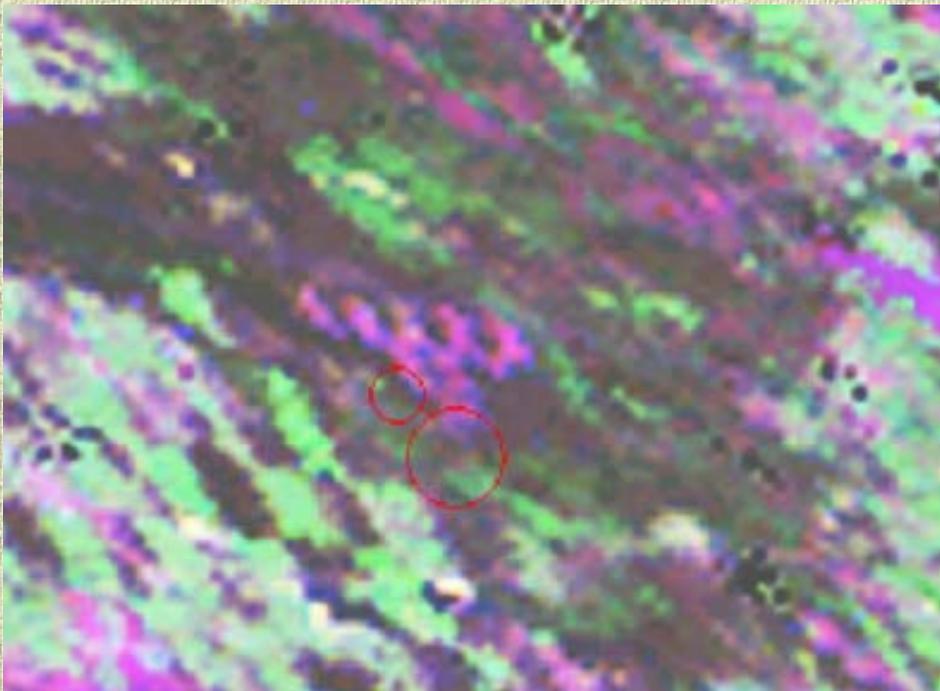
# Выявление и оценка характеристик вырубок лесов



# Детектирование изменений в лесах по данным Terra/Aqua-MODIS

26 июня 2001 года

12 июля 2001 года



RGB: band3, band1,band2

# Оценка детектируемости вырубок по данным Terra-MODIS (250 м)

Площадь вырубки (га)	<= 5	5 - 10	10-15	15-20	20-25	=> 25	Всего
Выявленные вырубки	92	104	108	108	54	140	606
% выявленных вырубок	9.2	35.0	64.3	83.7	81.8	95.2	33.6
Пропущенные вырубки	904	193	60	21	12	7	1197
% пропущенных вырубок	90.8	65.0	35.7	16.3	18.2	4.8	66.4

# Контроль результатов детектирования вырубок по данным MODIS на основе изображений высокого разрешения

11 июля 2001 года

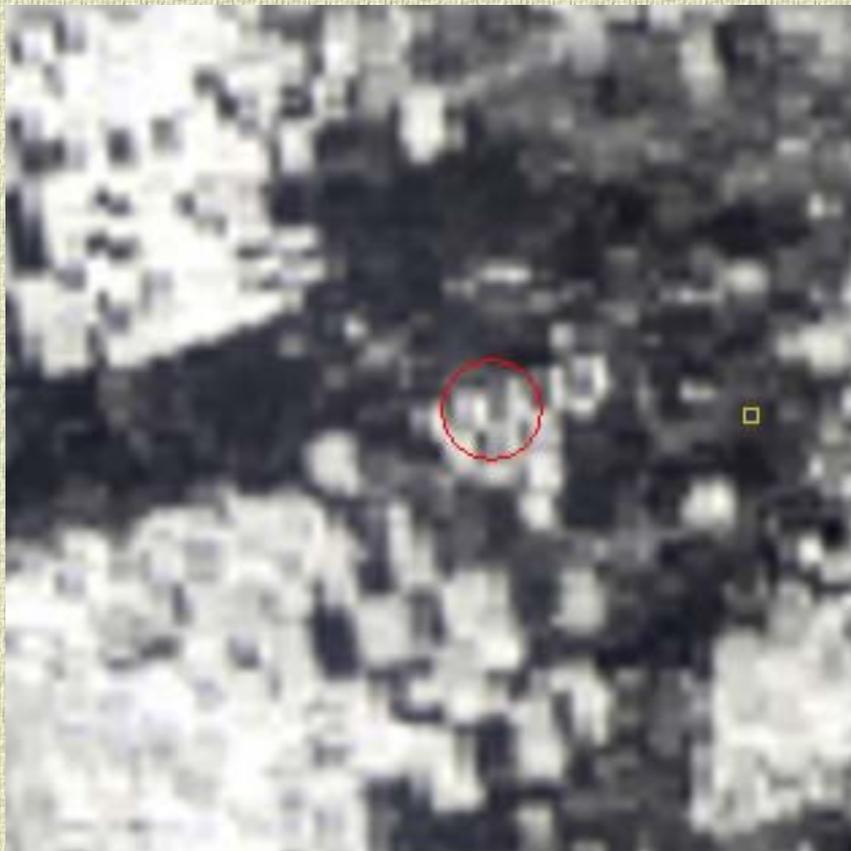
6 июня 2002 года



Landsat ETM+ (RGB: TM4, TM3, TM2)

# Детектирование вырубок лесов по данным Envisat-MERIS

22 марта 2003 года

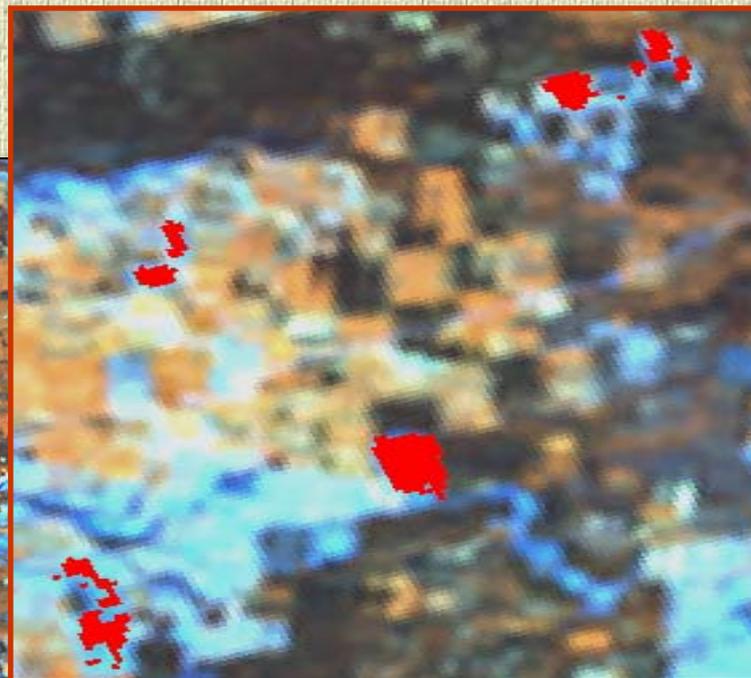
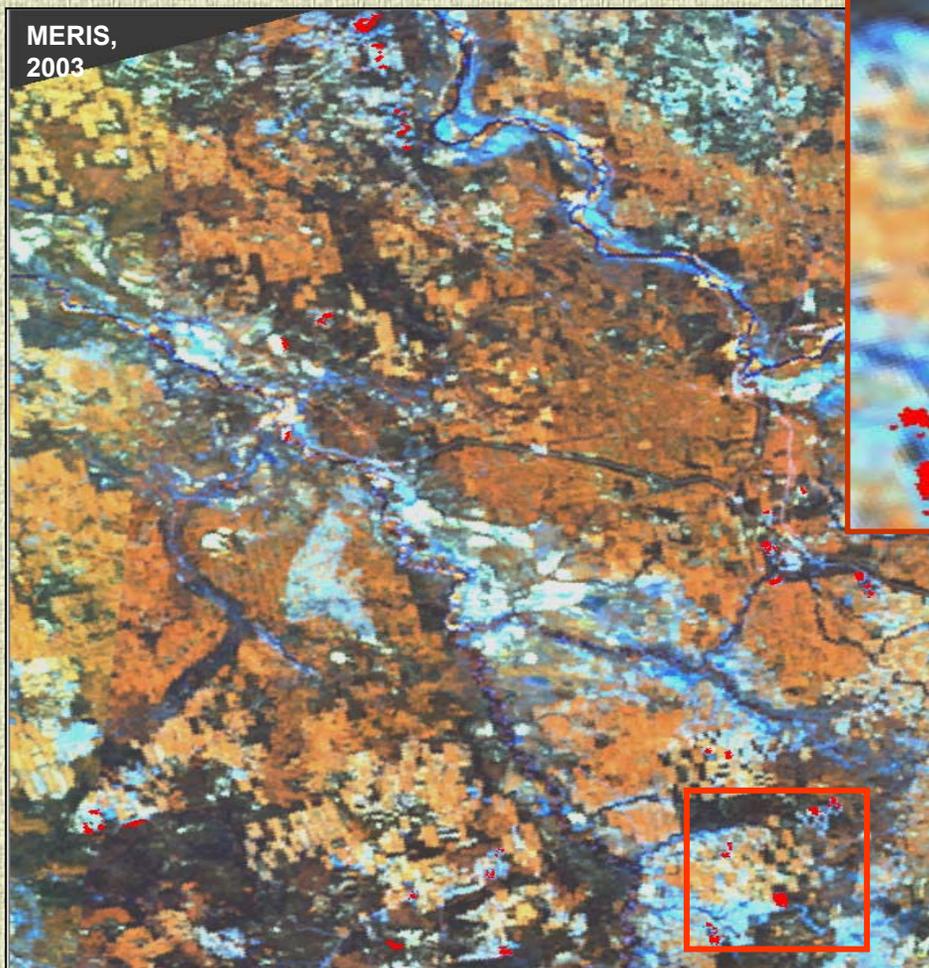


26 марта 2004 года



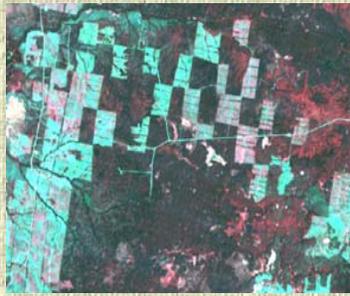
RGB: band9, band4, band1

# Детектирование вырубок лесов по данным Envisat-MERIS

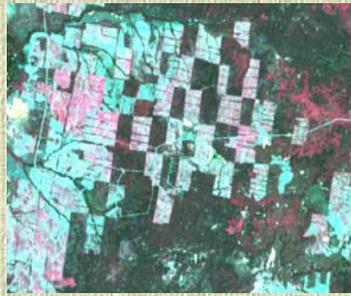


Площадь вырубок (га)	Вероятность детектирования (%)
>50	100
40-50	80
30-40	65
<30	<20

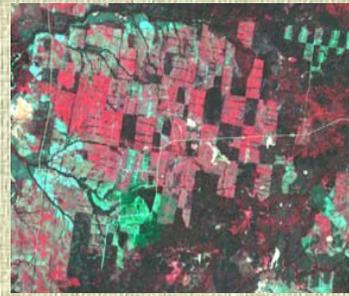
# Оценка многолетней динамики вырубок по спутниковым данным высокого разрешения



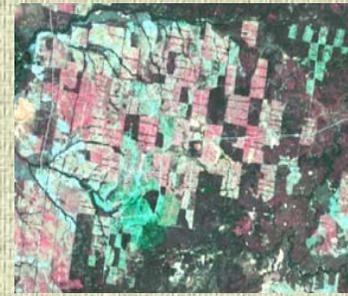
Landsat-TM, 1989



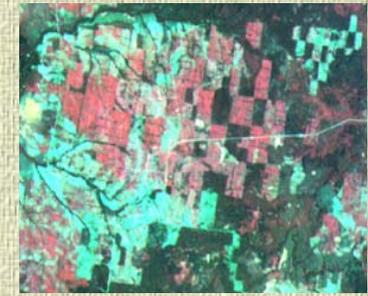
Landsat-TM, 1995



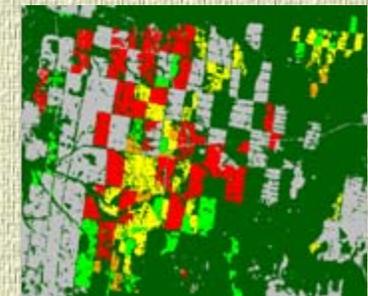
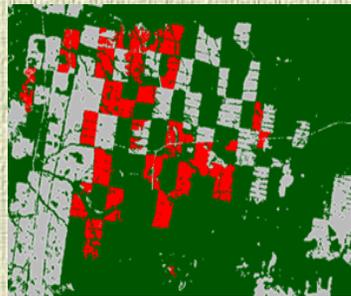
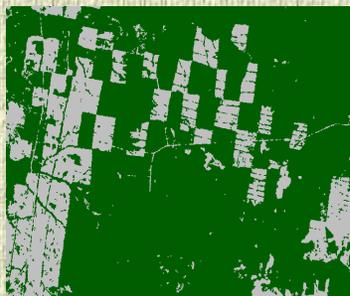
Landsat-ETM+, 2001

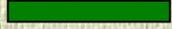
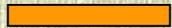


Landsat-ETM+, 2002



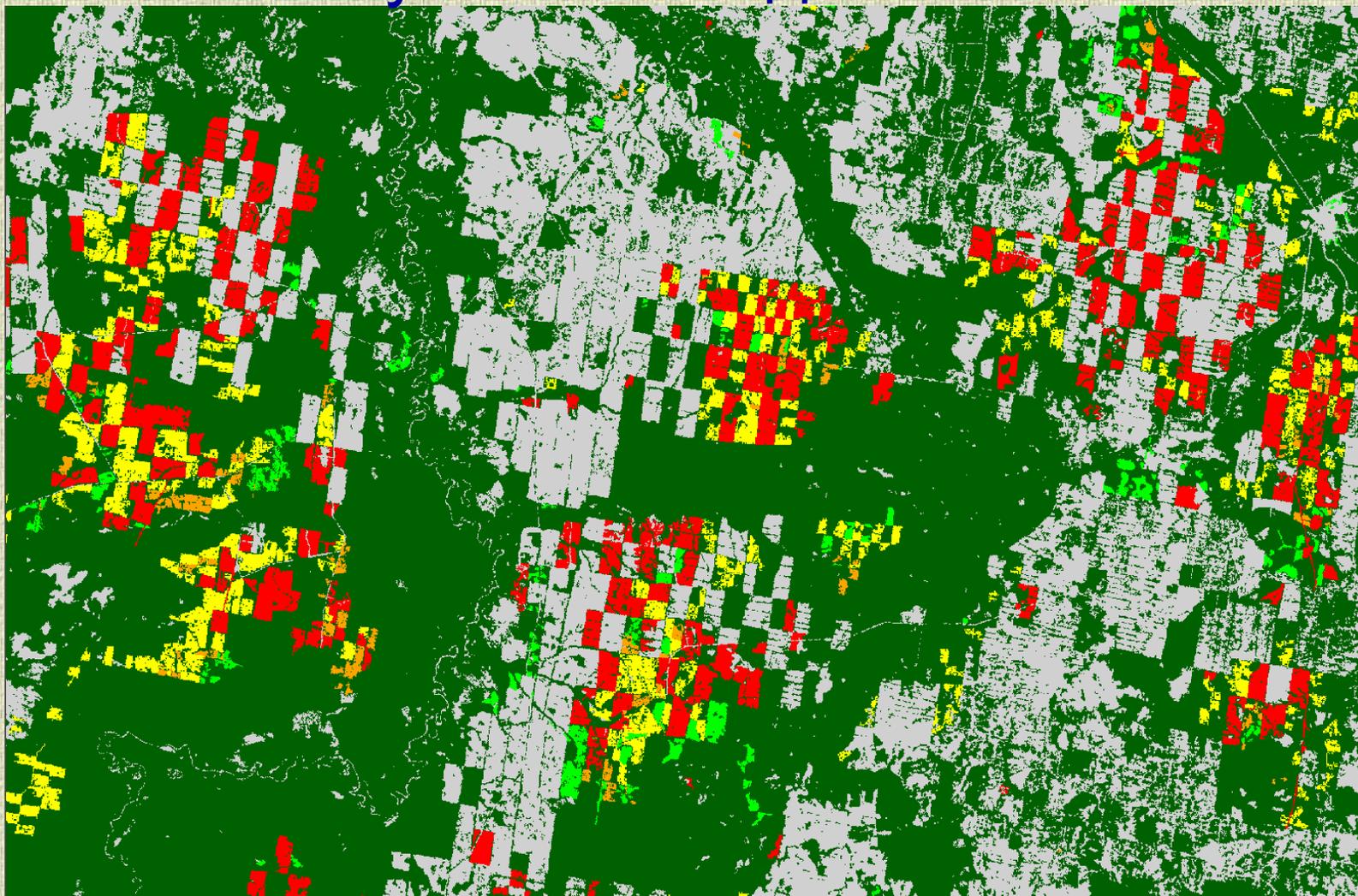
Meteor-MSU-E, 2004



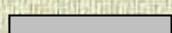
-  Покрытые лесом земли
-  Не покрытые лесом земли
-  Вырубки 1989-1995
-  Вырубки 1995-2001
-  Вырубки 2001-2002
-  Вырубки 2002-2004

Оценка динамики вырубок в лесах республики Коми выполнена за период 1989-2004 годов на основе комбинированного использования спутниковых изображений Landsat-TM/ETM+ (1989, 1995, 2001, 2002) и MSU-Э/Метеор (2004)

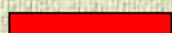
# Оценка многолетней динамики вырубок по спутниковым данным



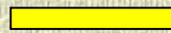
Покрытые лесом земли



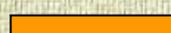
Не покрытые лесом земли



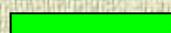
Вырубки 1989-1995



Вырубки 1995-2001



Вырубки 2001-2002



Вырубки 2002-2004

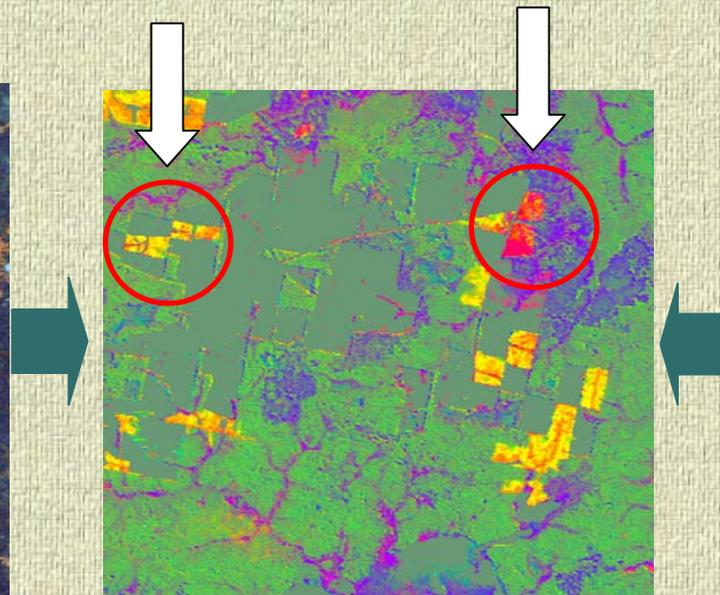
# Детектирование вырубок по разновременным спутниковым данным методом декомпозиции спектральных смесей

Вырубки в  
хвойных лесах

Вырубки в  
лиственных лесах



Фрагмент изображения  
Landsat-ETM+ 2001 года

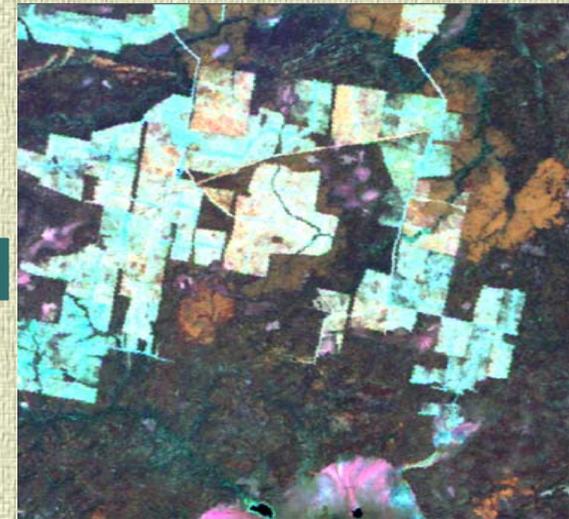


Синтез трех покомпонентных  
разностных изображений:

хвойный лес (R)

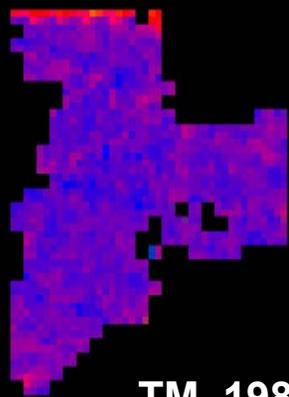
лиственный лес (G)

открытая почва (B)

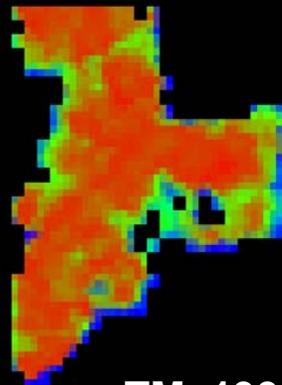


Фрагмент изображения  
Landsat-ETM+ 2002 года

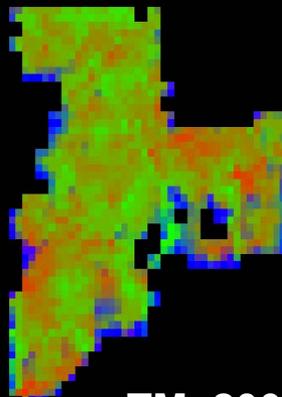
# Оценка динамики лесовозобновления на вырубках по спутниковым данным



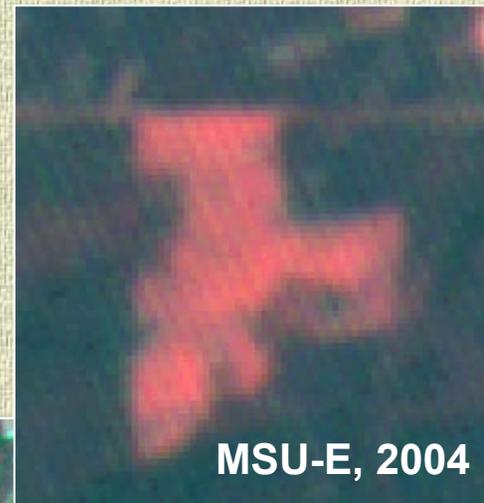
TM, 1989



TM, 1995



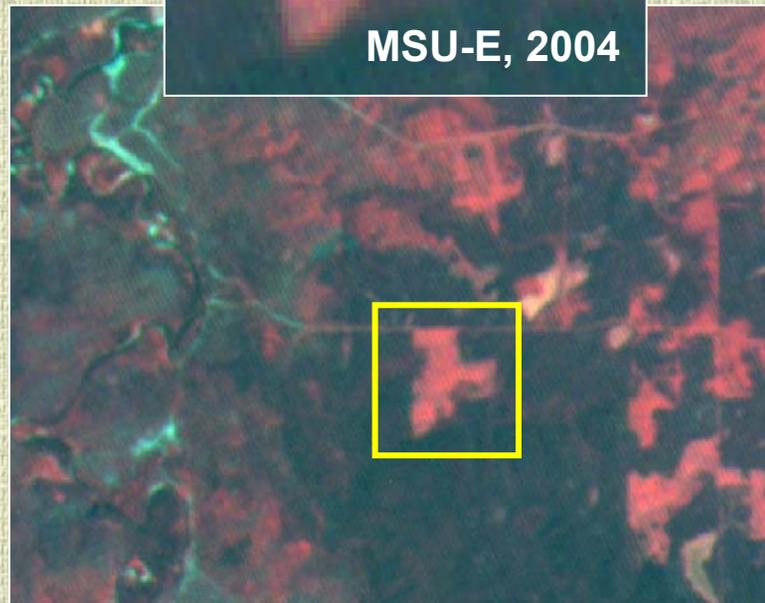
TM, 2001



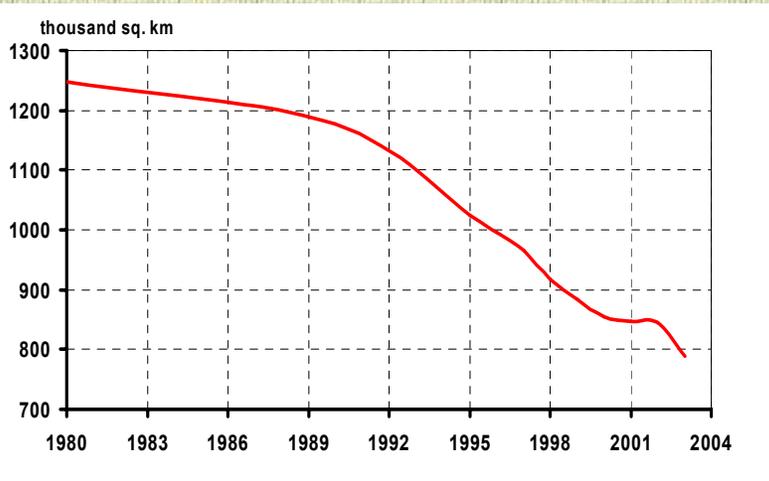
MSU-E, 2004

Использование метода декомпозиции спектральных смесей для анализа спутниковых данных позволяет количественно оценивать динамику лесовосстановительных процессов на вырубках путем оценки сомкнутости полога и породной структуры лесной растительности

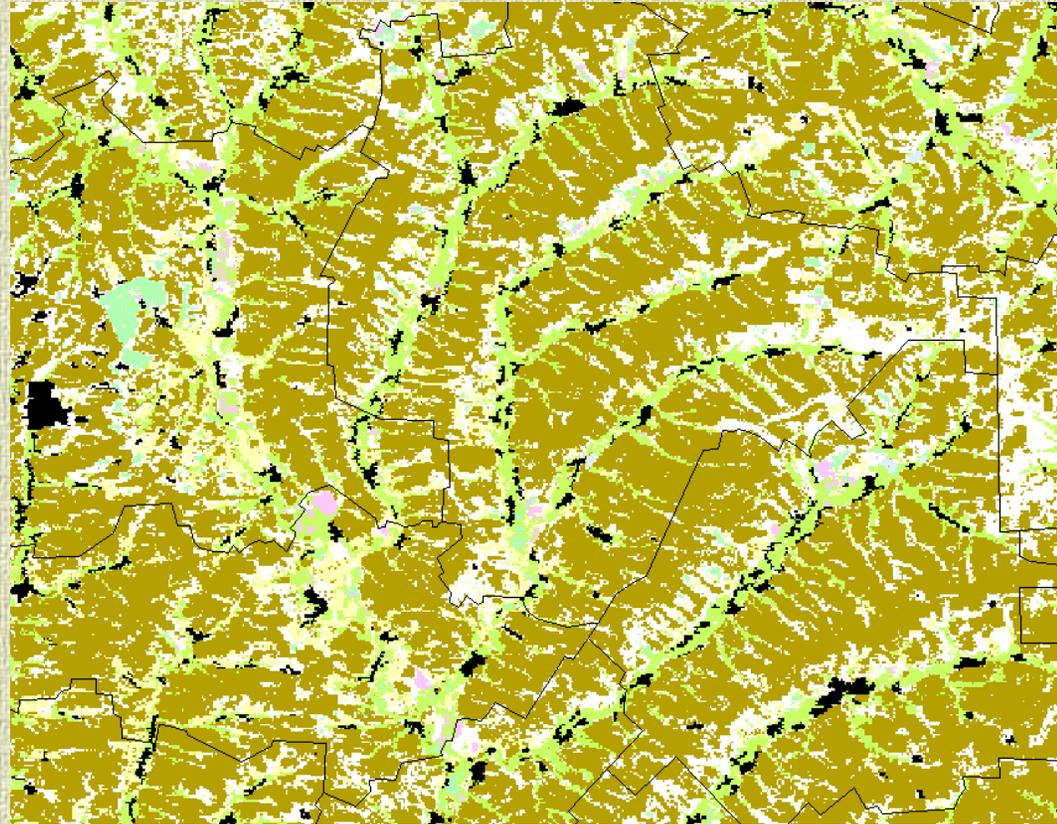
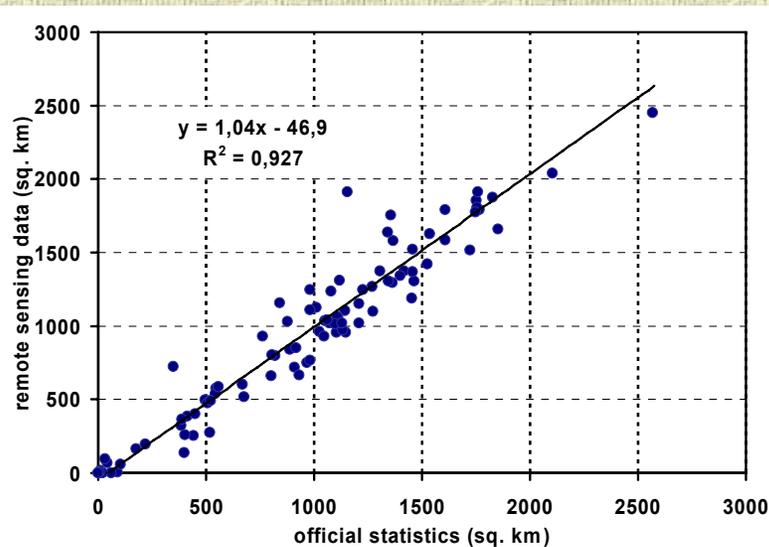
Тип компоненты	1989	1995	2001
Хвойные деревья	92 %	1 %	2 %
Лиственные деревья	0%	17 %	66 %
Открытая почва	8 %	82 %	32 %



# Картографирование пахотных земель по данным Terra-MODIS



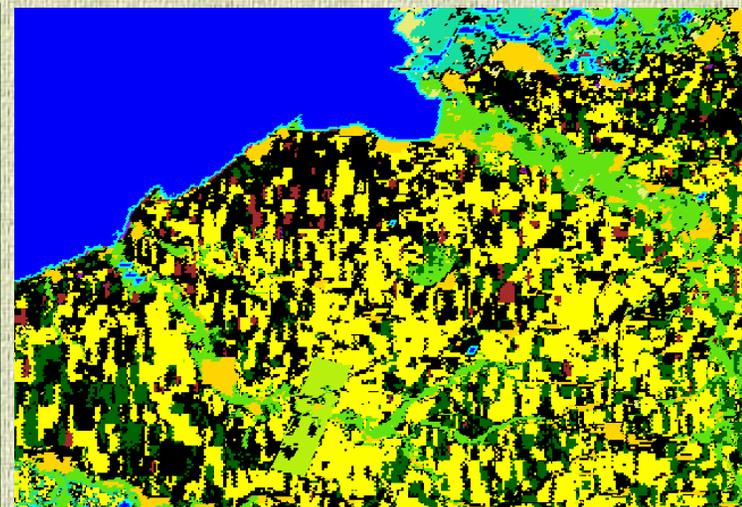
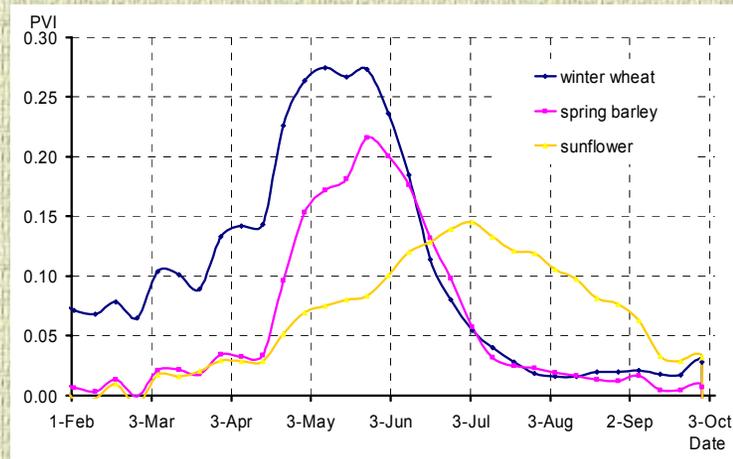
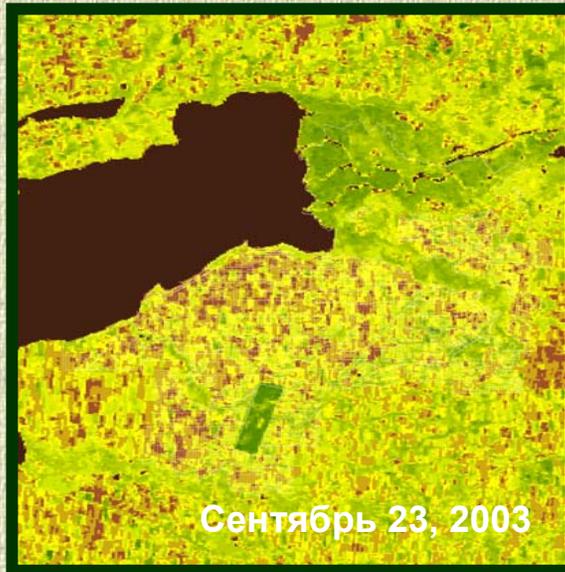
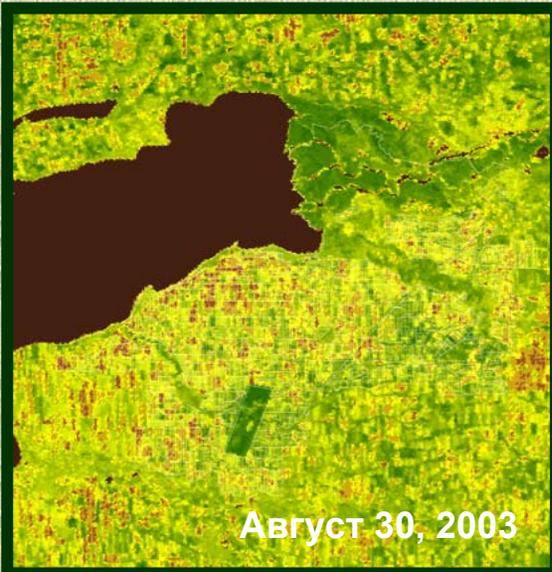
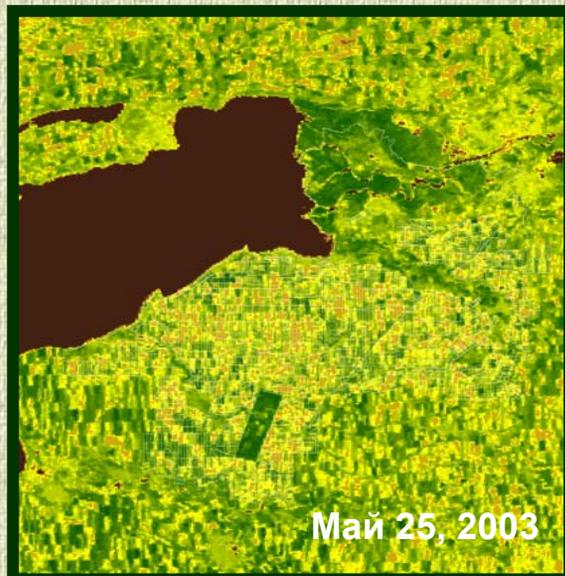
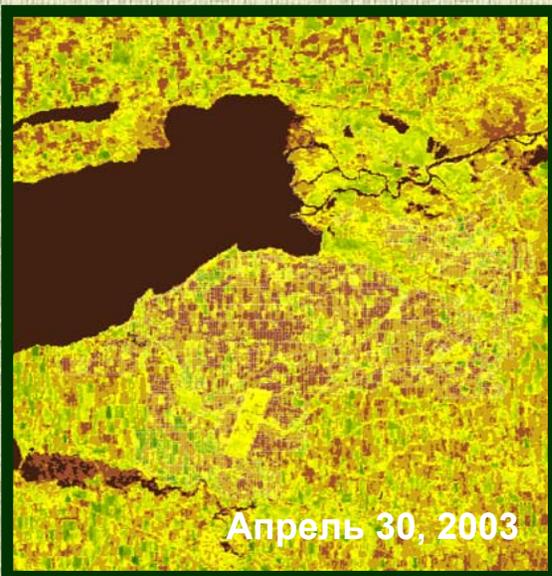
Динамика пахотных земель в России



Фрагмент карты пахотных земель на территорию Ростовской области по данным MODIS (250 m)

Сравнение данных официальной статистики и полученных по MODIS результатов

# Классификация посевов по данным MODIS



PVI снижение ← [Color scale from dark brown to dark green] → PVI увеличение

- Чистый пар
- Озимые культуры
- Подсолнечник

**Информационная система**

**TerraNorte**

# Web-сайт TerraNorte

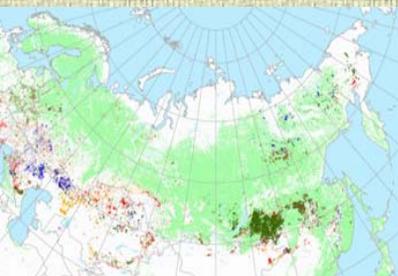
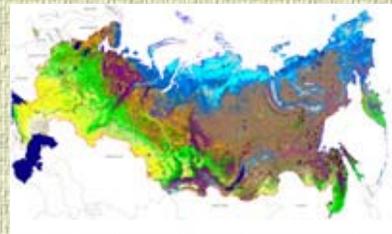
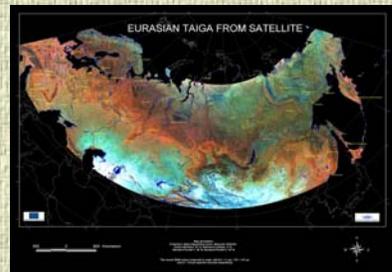
The screenshot shows a Mozilla Firefox browser window with the title "Информационная система TerraNorte - Mozilla Firefox". The address bar contains the URL "http://terranorte.iki.rssi.ru/". The website content includes the "TerraNorte" logo, a navigation menu with items like "Новости", "Информационные продукты", "Карты on-line", "Пресс-каталог", "Ссылки", "О проекте", and "English". A central graphic features a globe with labels for "Последние новости", "Информационные продукты", "Пресс-каталог", "Карты on-line", "Ссылки", and "О проекте". Below this is a paragraph of text in Russian describing the system's purpose and data sources, followed by the "ИКИ" logo and a copyright notice for the Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences (2004-2005).

Информационная система TerraNorte призвана обеспечить доступ широкого круга пользователей к информации о состоянии и динамике наземных экосистем бореального пояса планеты и, прежде всего, экосистем Северной Евразии. Представленные на web-сайте TerraNorte продукты данных и информационные тематические продукты получены преимущественно на основе использования спутниковых приборов наблюдения Земли в рамках научных проектов, выполняемых Институтом космических исследований РАН совместно с рядом партнерских организаций. Разработчики надеются, что доступные на web-сайте TerraNorte данные смогут найти широкое применение при изучении взаимосвязанных процессов динамики наземных экосистем и изменений климата, моделировании циклов вещества, и в частности биогеохимических циклов, управлении природными ресурсами, а также в ряде других областей научных исследований и прикладной деятельности.

© Институт космических исследований РАН, 2004-2005 гг.

<http://terranorte.iki.rssi.ru/>

# Информационные продукты TerraNorte



## TerraNorte

информационная система мониторинга бореальных экосистем

Новости **Информационные продукты** Карты on-line Пресс-каталог Ссылки О проекте English

---

**Продукты спутниковых данных**

[Улучшенные сезонные композиты данных SPOT-Vegetation](#)

**Карты наземных экосистем**

[Наземные экосистемы Северной Евразии](#)

[Наземные экосистемы России](#)

[Леса России](#)

**Базы данных динамики наземных экосистем**

[Повреждения экосистем пожарами](#)

[Вырубки лесов](#)

**Базы данных землепользования**

[Сельскохозяйственное использование земель](#)

### Информационные продукты

Для получения доступа к продуктам необходимо быть зарегистрированным пользователем. Если Вы уже зарегистрированы, введите Ваше имя пользователя и пароль.

Имя пользователя  Пароль

---

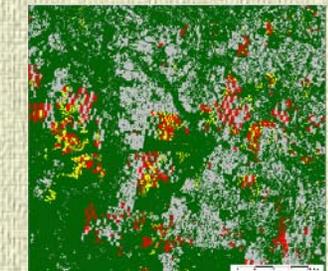
Если Вы не зарегистрированы, пожалуйста, заполните данную анкету.

Имя пользователя	<input type="text"/>	<i>Пример: sidorov70</i>
Пароль	<input type="password"/>	<i>Выберите любой пароль</i>
Полное имя	<input type="text"/>	<i>Пример: Сидоров Иван Петрович</i>
E-mail	<input type="text"/>	<i>Пример: sidorov70@mail.ru</i>
Страна	<input type="text"/>	
Город	<input type="text"/>	
Организация	<input type="text"/>	<i>Пример: Институт леса</i>
Дополнительная контактная информация	<input type="text"/>	<i>Телефон, почтовый адрес и т.п. (необязательно)</i>

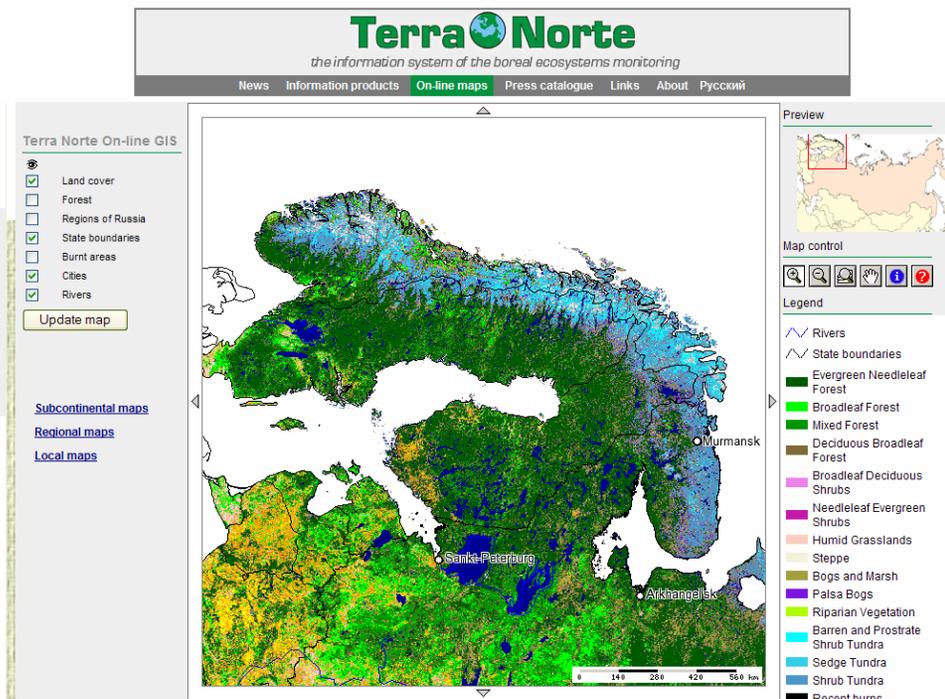
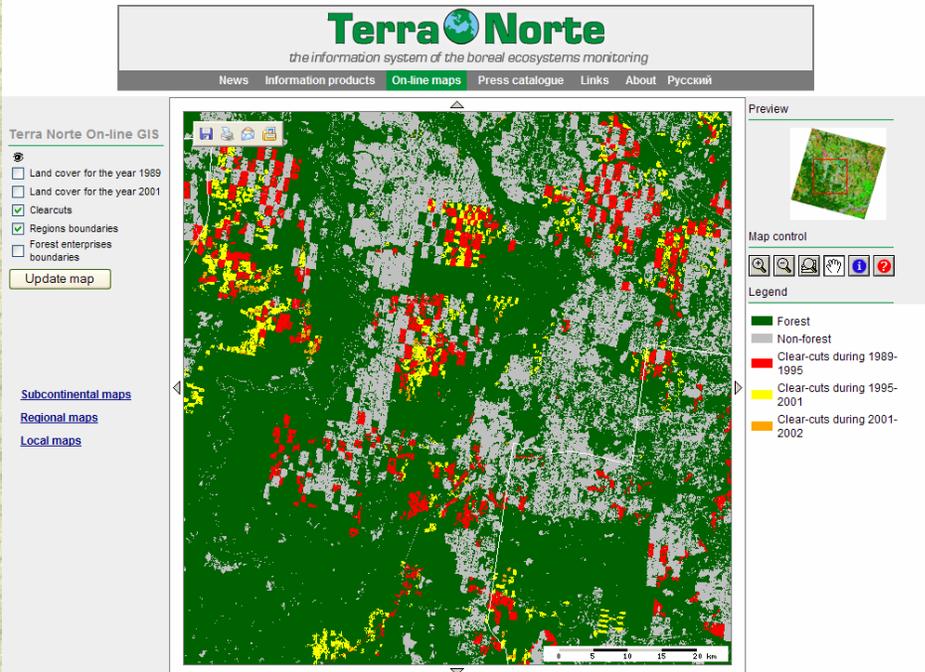
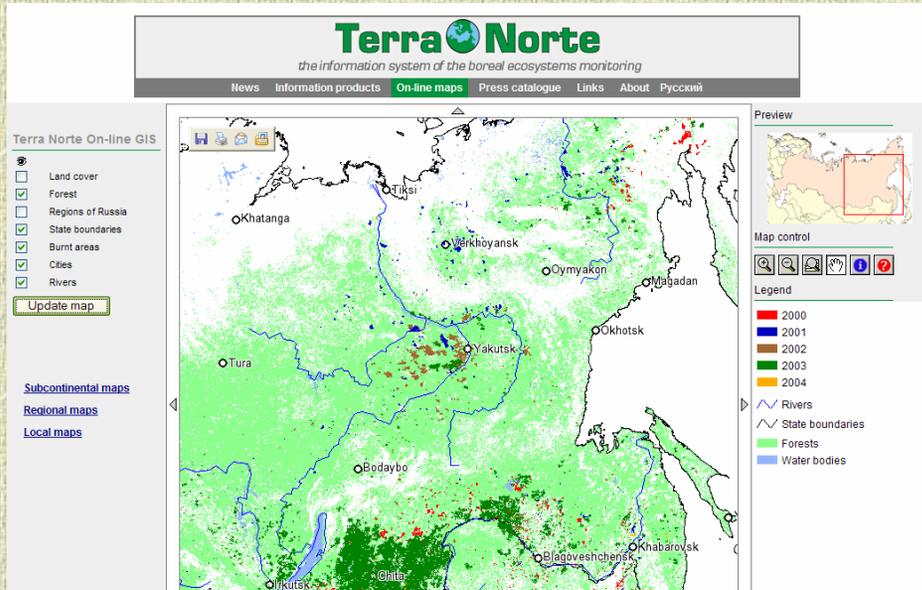
**Область интересов:**  
Необходимо выбрать хотя бы один пункт, либо заполнить раздел "другое".

- Управление природными ресурсами
- Исследования глобальных изменений климата
- Моделирование биогеохимических циклов
- Моделирование циклов энергии и воды
- Исследования динамики наземных экосистем
- Оценка биоразнообразия
- Управление чрезвычайными ситуациями
- Социально-экономические исследования

Другое:



# Картографический интерфейс TerraNorte



<http://terrannorte.iki.rssi.ru/>

