

**Российская академия наук**

# **Новая карта растительного покрова России**

**Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С.,  
Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А.**



**Всероссийская открытая ежегодная конференция "Современные проблемы  
дистанционного зондирования Земли из космоса", 15 - 19 ноября 2010 г., Москва, ИКИ РАН**

# Количество найденных в Google ссылок на различные сочетания

## КЛЮЧЕВЫХ СЛОВ

Russia land cover map - 274 000

Brazil land cover map - 274 000

Australia land cover map - 280 000

Canada land cover map - 313 000

France land cover map - 408 000

China land cover map - 479 000

USA land cover map - 8 560 000

Eurasia land cover map – 134 000

Africa land cover map - 311 000

Europe land cover map - 1 020 000

South America land cover map - 6 560 000

North America land cover map - 7 790 000

Global land cover map - 2 890 000

Russia land cover map remote sensing - 53 900 (19%)

USA land cover map remote sensing - 1 840 000 (21%)

Global land cover map remote sensing - 2 860 000 (99%)

# Глобальные спутниковые карты земного покрова

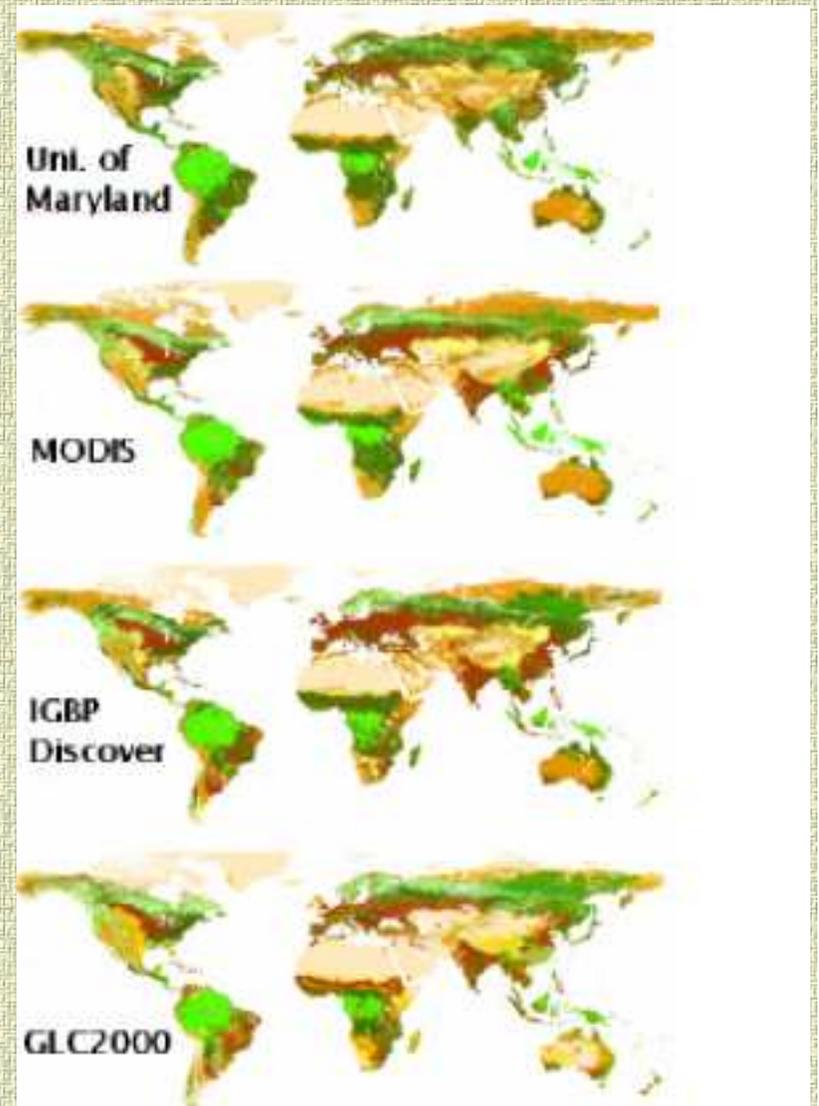
**IGBP-DIS, AVHRR, 1 km, 1998**

**UMD, AVHRR, 1 km, 2000**

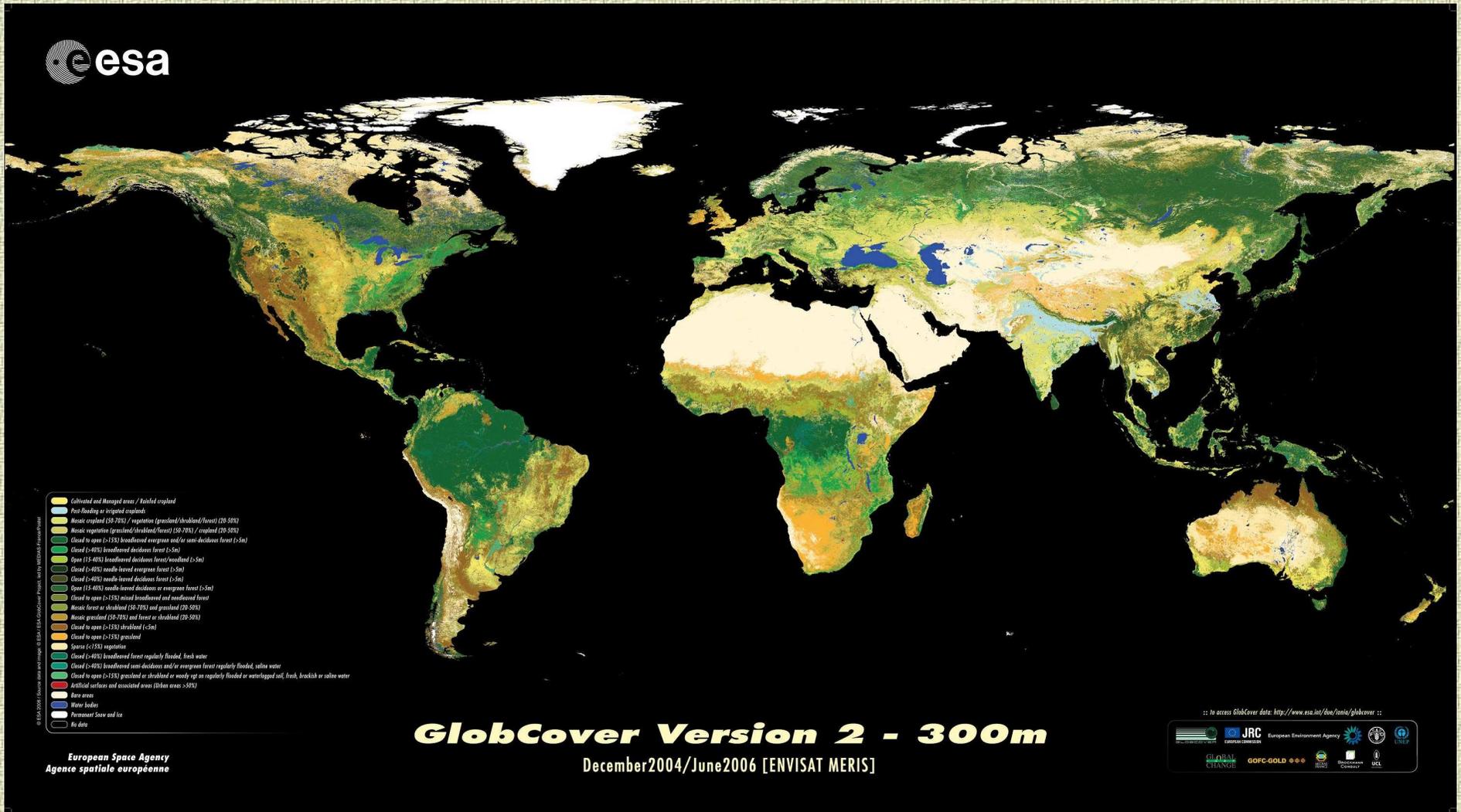
**GLC-2000, VEGETATION, 1 km, 2002**

**MODIS, 500 m, 2002**

**Globcover: MERIS, 300 m, 2007**



# ESA GlobCover Project



**GlobCover Version 2 - 300m**

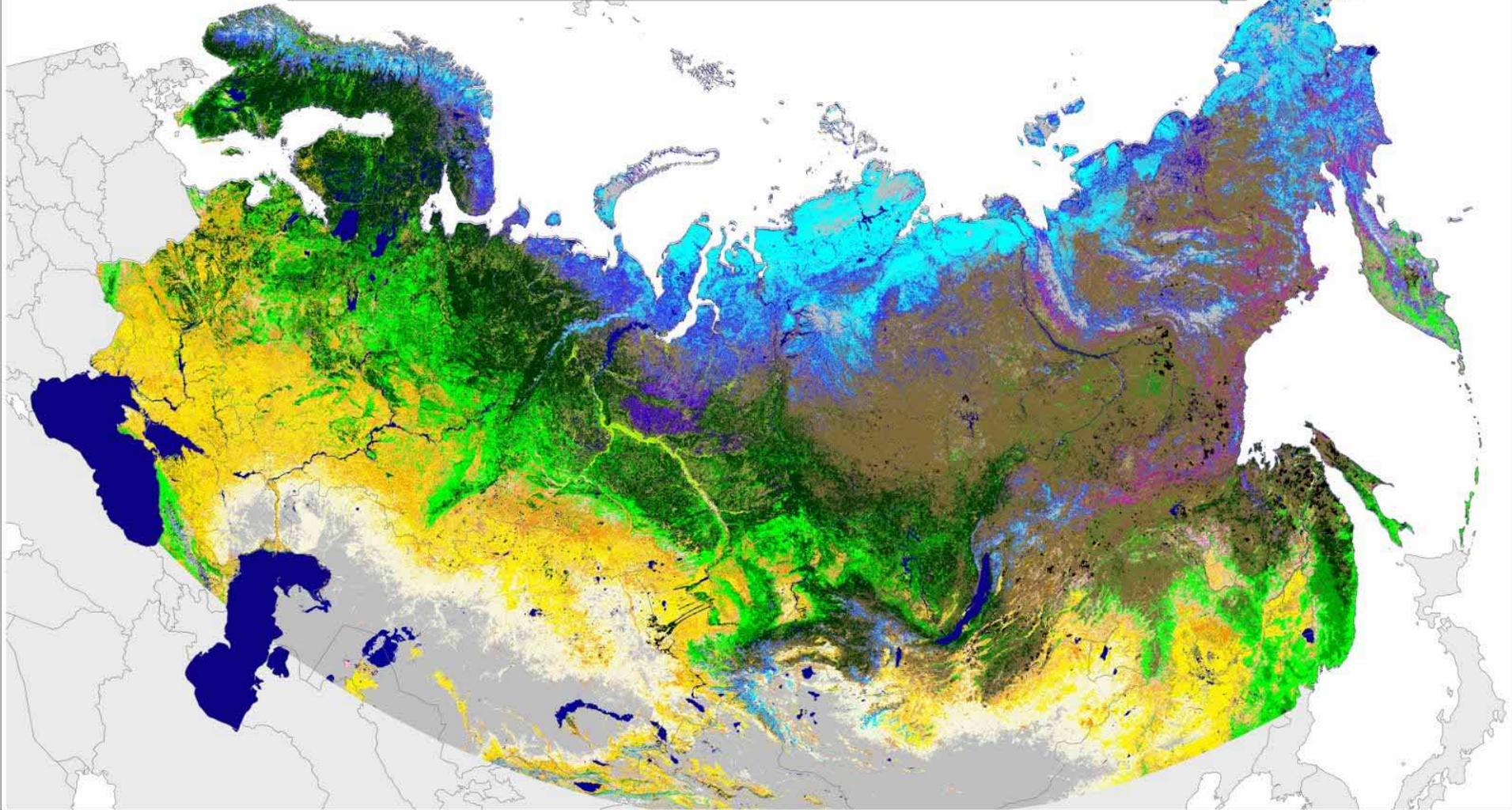
December 2004/June 2006 [ENVISAT MERIS]

European Space Agency  
Agence spatiale européenne

to access GlobCover data: <http://www.esa.int/bov/remote/globcover>



# THE LAND COVER OF NORTHERN EURASIA FOR THE YEAR 2000



**LEGEND / ЛЕГЕНДА**

<p><b>FORESTS / ЛЕСА</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: green;">■</span> European Mixedleaf Forest Европейский смешанный лес</li> <li><span style="color: lightgreen;">■</span> Deciduous Broadleaf Forest Лиственный лес</li> <li><span style="color: darkgreen;">■</span> Broadleaf/Needleleaf Forest Смешанный широколиственный/хвойный лес</li> <li><span style="color: darkgreen;">■</span> Mixed Forest Смешанный</li> <li><span style="color: green;">■</span> Broadleaf/Needleleaf Forest Смешанный широколиственный/хвойный лес</li> <li><span style="color: brown;">■</span> Deciduous Mixedleaf Forest Лиственный смешанный</li> </ul>	<p><b>SHRUBLANDS / КУСТАРНИКИ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: pink;">■</span> Needleaf Evergreen Shrub Мелколиственный вечнозеленый</li> <li><span style="color: magenta;">■</span> Broadleaf Deciduous Shrub Листопадный</li> </ul> <p><b>WETLANDS / ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: brown;">■</span> Bog and Marsh Болото</li> <li><span style="color: purple;">■</span> River Bog Травяно-болотный водный комплекс</li> <li><span style="color: lightgreen;">■</span> Reeds and Sedges Травяно-болотный водный комплекс</li> </ul>	<p><b>GRASSLANDS / ТРАВЯНИСТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: orange;">■</span> Natural Grasslands Трава</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> Steppe Степь</li> </ul> <p><b>TUNDRA / ТУНДРА</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: cyan;">■</span> Wetland and Peatland Шива Тундра</li> <li><span style="color: lightblue;">■</span> Pasture and subarctic tundra Пастбище и субарктическая тундра</li> <li><span style="color: blue;">■</span> Sedge Tundra Торфяная тундра</li> <li><span style="color: darkblue;">■</span> Shrub Tundra Кустарничковая тундра</li> </ul>	<p><b>OTHER VEGETATION TYPES AND COMPLEXES / ДРУГИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ И РАСТИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: black;">■</span> Forest Barre Самый низкий лес</li> <li><span style="color: yellow;">■</span> Steppes Степные</li> <li><span style="color: orange;">■</span> Forest - Natural Vegetation Complex Лес в комплексе с естественной растительностью</li> <li><span style="color: brown;">■</span> Forest - Shrubland Complex Лес в комплексе с субарктическими кустарниками</li> <li><span style="color: red;">■</span> Shrubland - Grassland Complex Субарктические кустарники в комплексе с травой</li> </ul>	<p><b>NON-VEGETATED LAND COVER TYPES / НЕРАСТИТЕЛЬНЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗЕМЛИ</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: grey;">■</span> Bare soil and rock Почва и скала</li> <li><span style="color: lightgrey;">■</span> Perennial snow / ice Вечная зима / лед</li> <li><span style="color: darkblue;">■</span> Low water bodies Лес и водные объекты</li> <li><span style="color: brown;">■</span> Urban Урбанизированные территории</li> <li><span style="color: purple;">■</span> Barren Скалы</li> <li><span style="color: lightgrey;">■</span> Snow-covered Ледники / снежный покров</li> </ul>
---	--	---	--	---

**MAP INFORMATION**

200 0 200 400 km

Map projection: Albers Equal-Area Conic, Spheroid: WGS-84, Central Meridian: 90° E, Reference Latitude: 0° N, Standard Parallel 1: 50° N, Standard Parallel 2: 70° N

Настоящая карта наземной экосистемы Северной Евразии создана Объединенным Исследовательским Центром Европейской Комиссии и партнерством с Центром по Тундровым Экосистемам и Продуктивности Леса Российской Академии Наук. Карта получена в рамках проекта Global Land Cover 2000 по данным спутникового сенсора на борту спутника SPOT 4. Land cover classes have been identified with series of advanced data products, derived from VEGETATION data, in order to characterize phenology of vegetation, water content of surface, directional reflectance properties and snow duration.

**CONTACT DETAILS**

<p><b>Dr. Sergey A. Bartalev</b></p> <p>The Russian Academy of Science Space Research Institute 6432 Profsoyuznaya Str. 117997 Moscow, Russia Fax: 007 095 913 20 40 bartalev@ssrc.rssi.ru</p>	<p><b>Acad. Alexander S. Isaev, Dr. Dmitry V. Yershov</b></p> <p>The Russian Academy of Science Center for Forest Ecology and Productivity 6432 Profsoyuznaya Str. 117997 Moscow, Russia Fax: 007 095 913 20 17 isaev@ssrc.rssi.ru, yershov@ssrc.rssi.ru</p>	<p><b>Dr. Alan S. Belward</b></p> <p>The European Commission Joint Research Center Institute for Environment and Sustainability Global Vegetation Monitoring Unit 1-20102 Ispra (VA), Italy Fax: +39 0332 789973 alan.belward@ec.europa.eu</p>
--	--	--

Digital datasets can be downloaded from: <http://www.dvmarc.it/IGL2000/>  
Developed as part of the Global Land Cover 2000 project, coordinated by the Global Vegetation Monitoring Unit of the European Commission Joint Research Centre

Russian Academy of Sciences  EUROPEAN COMMISSION

# LEGEND / ЛЕГЕНДА

## FORESTS / ЛЕСА

-  Evergreen Dark-Needleleaf Forest  
Темнохвойные вечнозеленые
-  Evergreen Light-Needleleaf Forest  
Светло-хвойные вечнозеленые
-  Deciduous Broadleaf Forest  
Лиственные
-  Needleleaf / Broadleaf Forest  
Смешанные с преобладанием хвойных
-  Mixed Forest  
Смешанные
-  Broadleaf / Needleleaf Forest  
Смешанные с преобладанием лиственных
-  Deciduous Needleleaf Forest  
Хвойные листопадные

## TUNDRA / ТУНДРА

-  Prostrate Shrub Tundra  
Кустарничковая
-  Sedge Tundra  
Травянистая
-  Shrub Tundra  
Кустарниковая

## WETLANDS / ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

-  Bogs and Marsh  
Болота
-  Palsa Bogs  
Грядово-мочажинные болотные комплексы
-  Riparian Vegetation  
Прибрежная травяно-кустарниковая растительность

## OTHER VEGETATION TYPES AND COMPLEXES / ДРУГАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ И РАСТИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

-  Recent Burns / Свежие лесные гари
-  Croplands / Сельскохозяйственные земли
-  Forest - Natural Vegetation Complex  
Леса в комплексе с другой естественной растительности
-  Forest - Cropland Complex  
Леса в комплексе с сельскохозяйственными землями
-  Cropland - Grassland Complex  
Сельскохозяйственные земли в комплексе с лугами

## SHRUBLANDS / КУСТАРНИКИ

-  Needleleaf Evergreen Shrubs  
Хвойные вечнозеленые
-  Broadleaf Deciduous Shrubs  
Лиственные

## GRASSLANDS / ТРАВЯНИСТАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

-  Humid Grasslands  
Луга
-  Steppe  
Степь

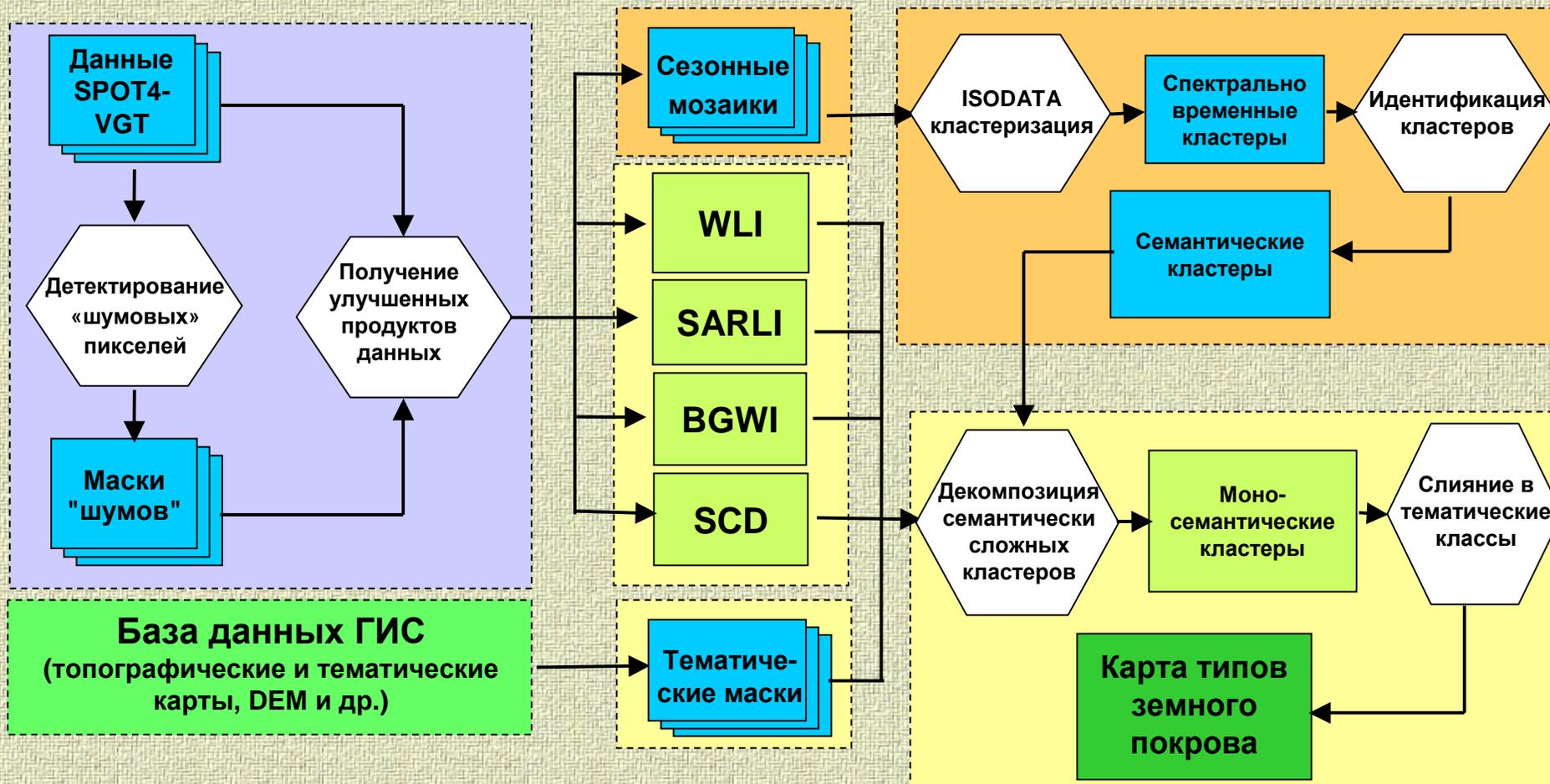
## NON-VEGETATED LAND COVER TYPES / НЕПОКРЫТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЛИ

-  Bare soil and Rock  
Пустыня и голцы
-  Permanent snow / ice  
Вечные снега и льды
-  Inland water bodies  
Реки и внутренние водоемы
-  Urban  
Урбанизированные территории
-  Salt-pans  
Солончаки
-  Country borders  
Границы государств
-  Russian state border  
Государственная граница России
-  Russian shore line  
Береговая линия России

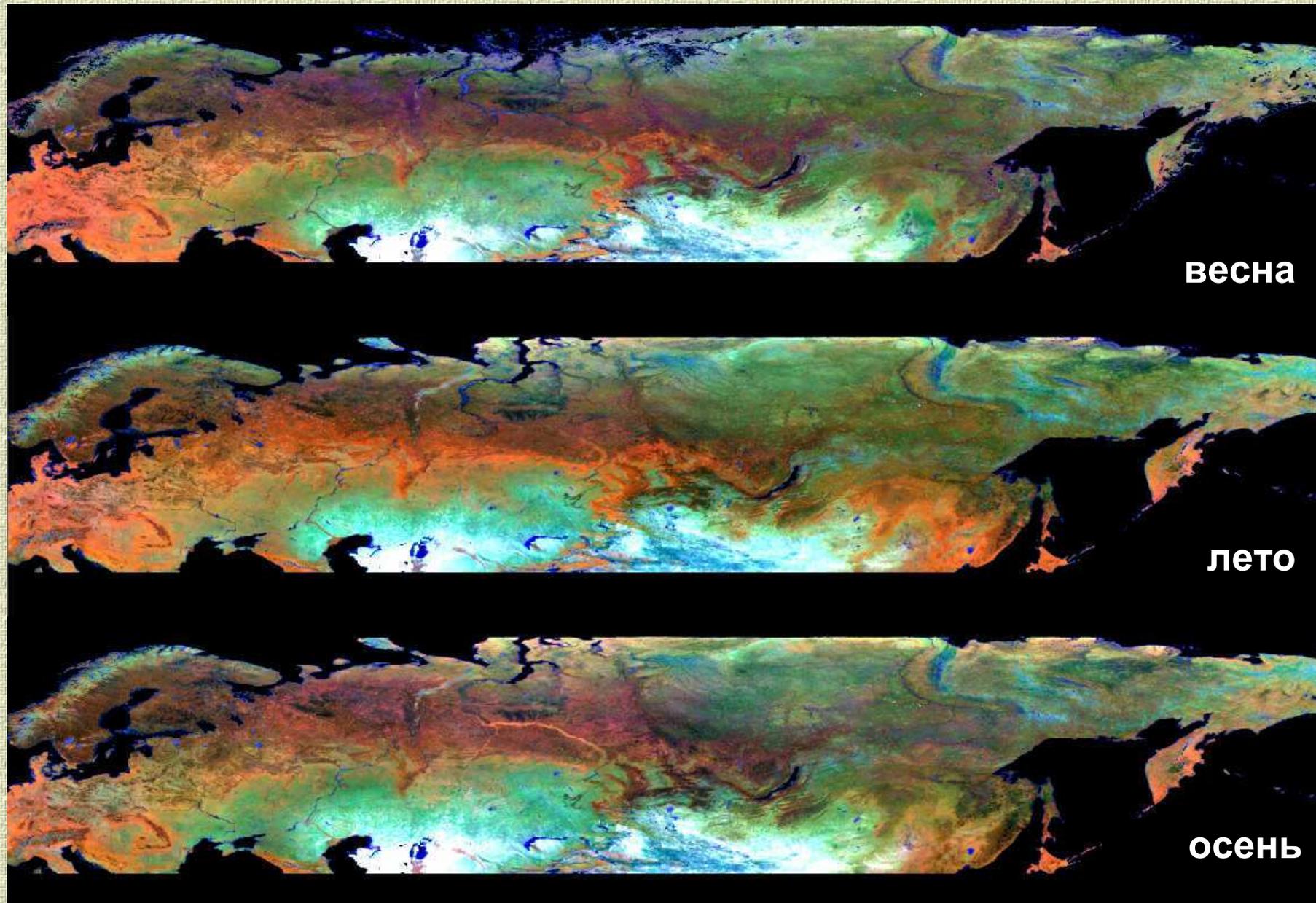
# GLC2000: метод картографирования наземных экосистем по данным SPOT-VGT

Этап 1: Предварительная обработка изображений и получение улучшенных продуктов данных

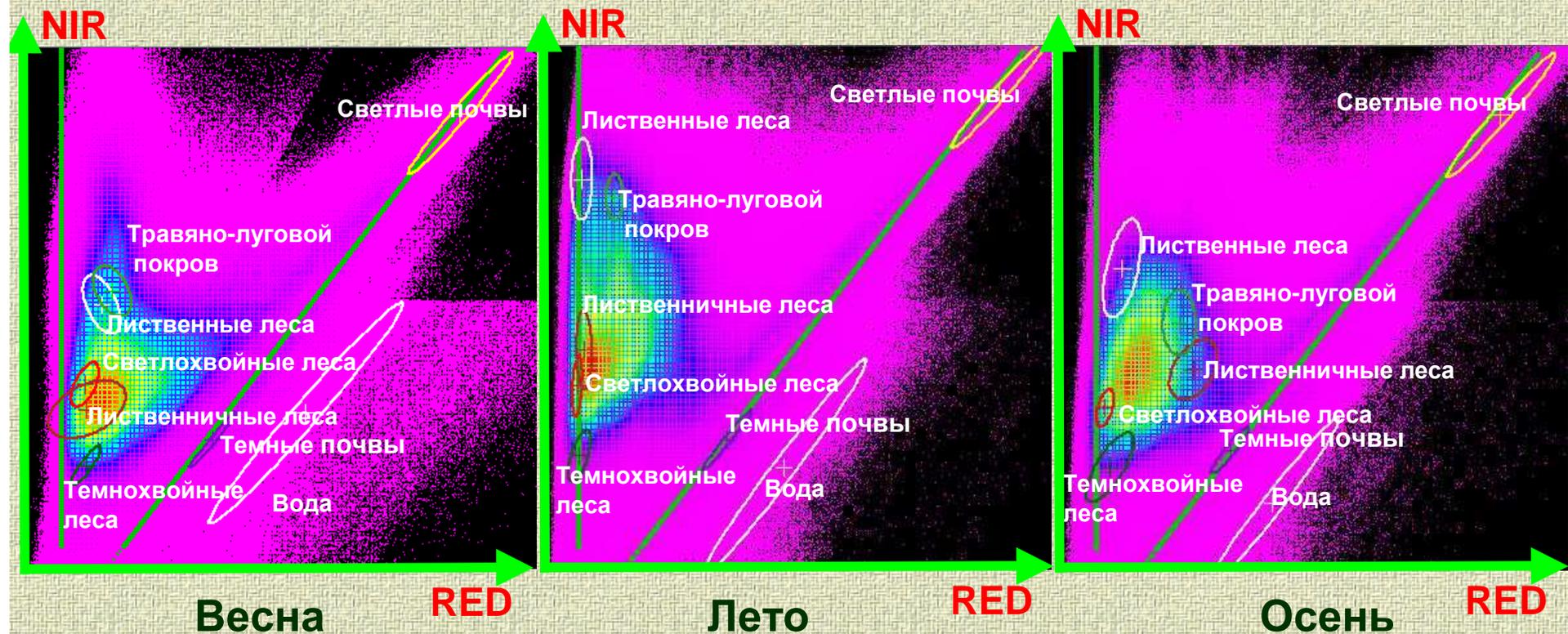
Этап 2: Классификация и тематический анализ данных



# Композитные изображения SPOT-VGT

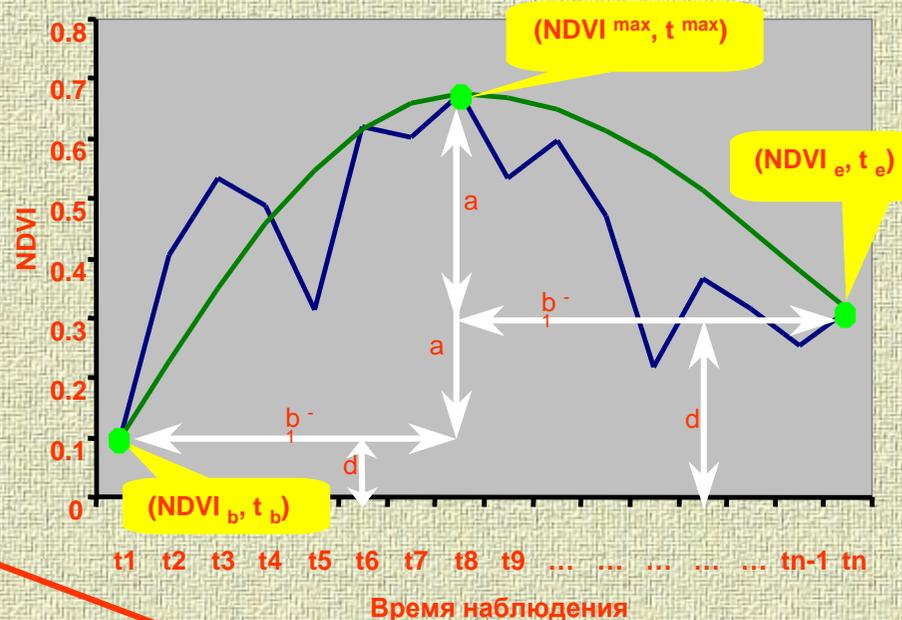
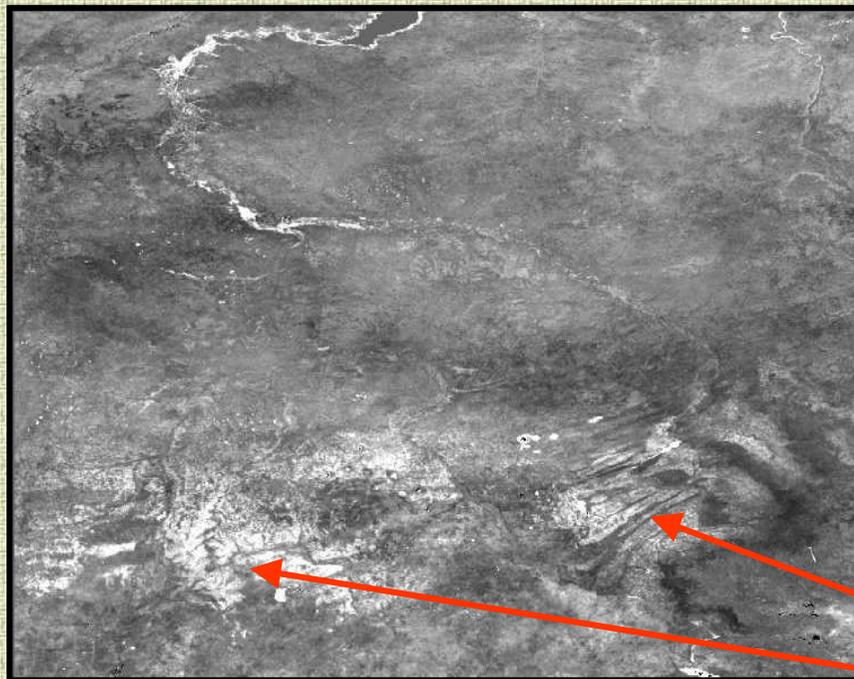


# интерпретация кластеров в двумерном пространстве спектральных яркостей



**RED** и **NIR** – значения СКЯ в каналах 0.61 – 0.68 мкм и 0.78 – 0.89 мкм

# Индекс волнового подобия WLI



Пахотные земли

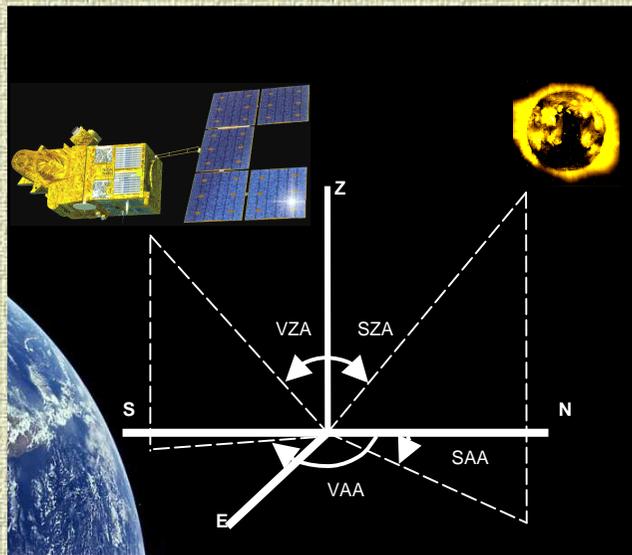
$$NDVI = \frac{R_{nir} - R_{red}}{R_{nir} + R_{red}}$$

$$WLI = \frac{\sum_t NDVI^p - \sum_t NDVI}{\sum_t NDVI}$$

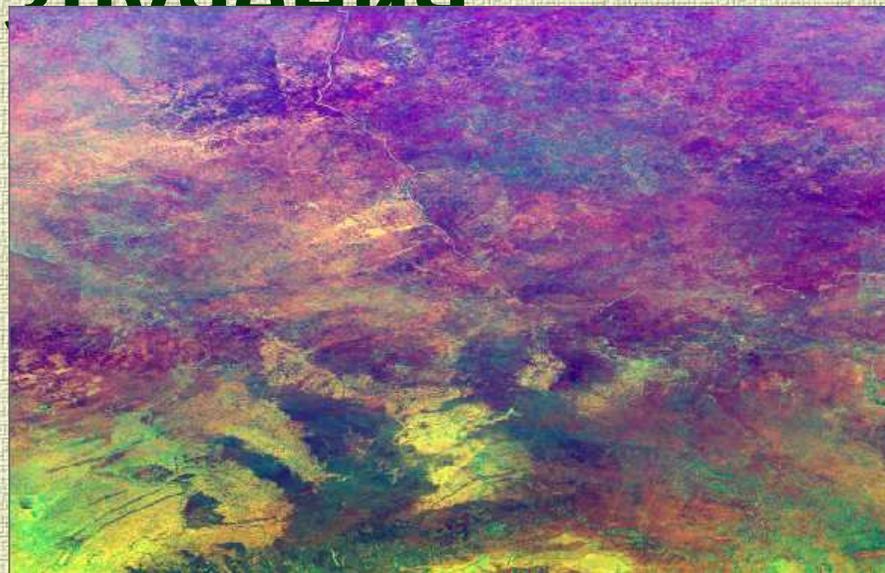
$$NDVI^p = a * \sin\left(\frac{\pi}{2} * (b * t + c)\right) + d$$

Индекс *WLI* (*Wave-Likeness Index*) оценивается по временному ряду значений *NDVI* и характеризует меру его отличия в течение вегетационного сезона от идеализированной «волновой» траектории, в качестве которой принимается аппроксимация временного ряда периодической функцией. Использование индекса *WLI* позволяет разделить классы естественной травяной растительности и сельскохозяйственных земель.

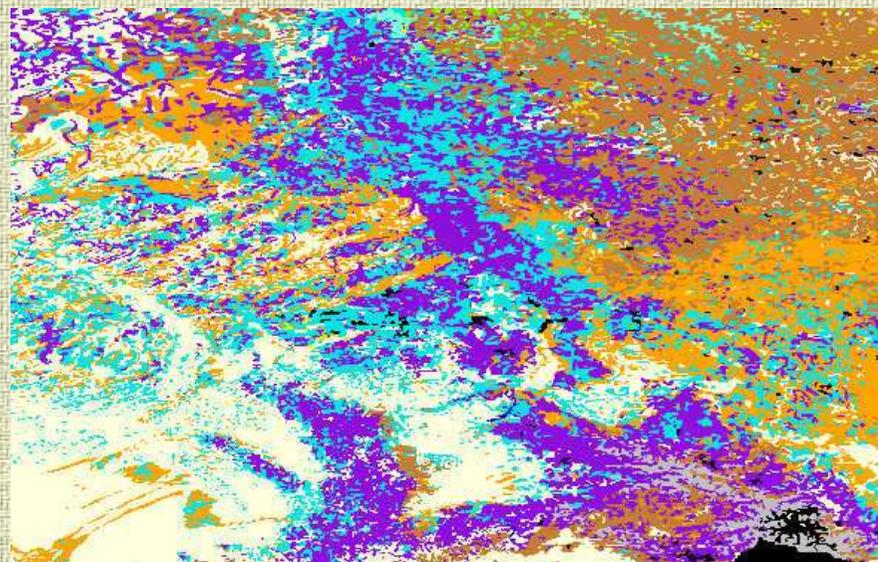
# Использование характеристик анизотропности отраженного излучения



- VZA** - зенитный угол наблюдения
- SZA** - зенитный угол Солнца
- PHA** - фазовый угол



**M(PHA)**  
**M(VZA)**  
**M(SZA)**



**Карта лесов**

Сравнение выбранных по критерию  $\max$  NDVI наблюдений с картой лесов

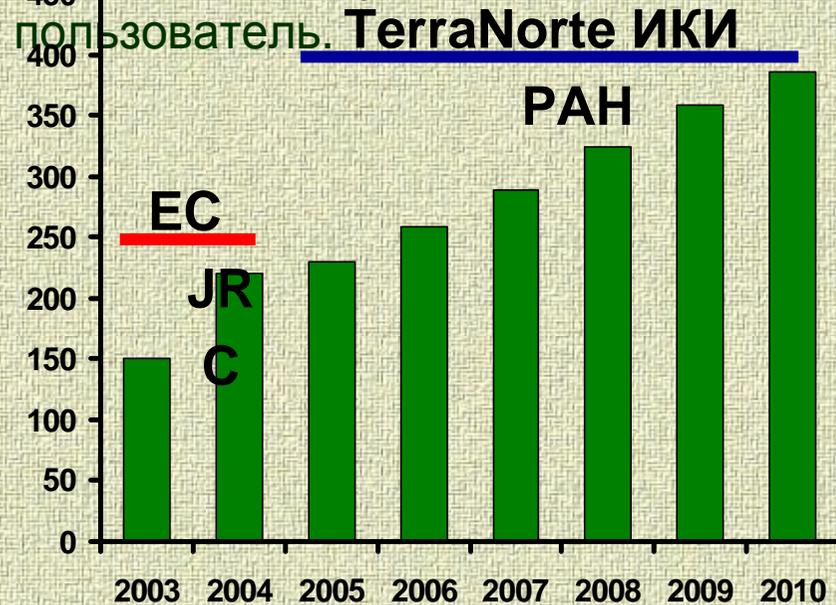
# Использование карты наземных экосистем Северной Евразии

Созданная карта стала составной частью глобальной базы данных **Global Land Cover 2000**, а также

- использовалась как информационная основа в **системах мониторинга лесных пожаров и лесопатологического мониторинга Рослесхоза**;
- использовалась в качестве базовой карты в международном проекте **Millennium Ecosystem Assessment** (ООН);
- демонстрировалась на **Всемирной выставке «ЭКСПО-2005»** (Япония)

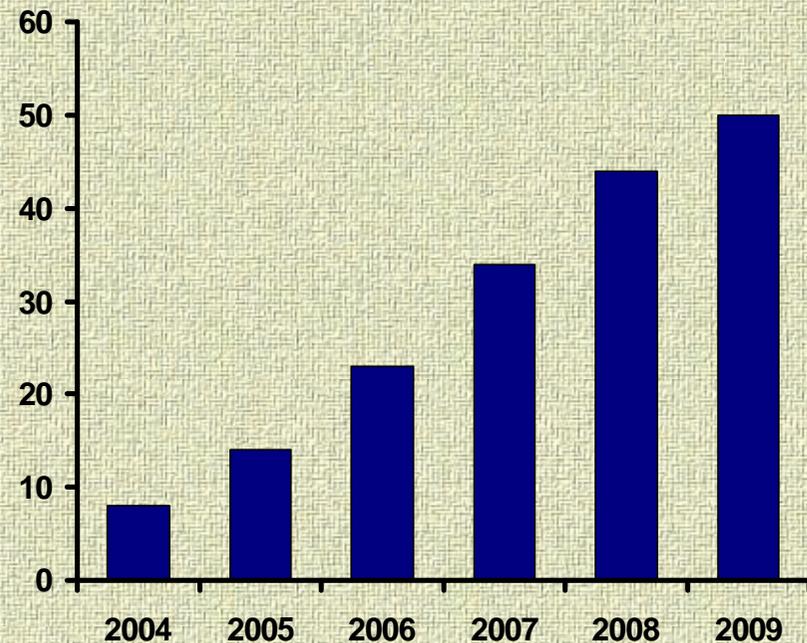
# Использование карты наземных экосистем Северной Евразии

Карта насчитывает около 400 зарегистрированных пользователей в мире (реальное число пользователей трудно поддается учету). За период 2007-2010 годов в среднем каждые 10-15 дней регистрируется новый пользователь.



**Рост числа пользователей карты**

Опубликованная в 2003 году в IJRS статья по результатам данной работы цитировалась в международных реферируемых журналах 50 раз (по данным Web of Science)



**Динамика цитирований**

# Преимущества и ограничения метода создания карты наземных экосистем Северной Евразии

## Преимущества:

- использованы спектрально-временные и спектрально-угловые признаки классификации
- относительно большое количество классов легенды
- относительно высокая точность картографирования

## Недостатки:

- необходимо экспертное участие при идентификации кластеров
- ограниченные возможности повторения результата

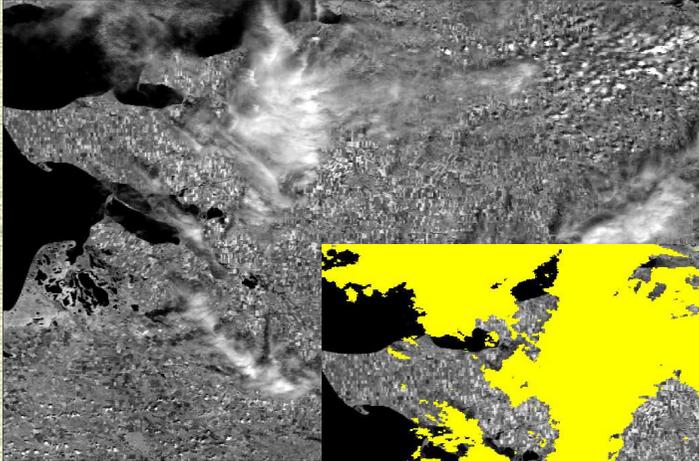
# Направления развития спутникового картографирования растительности

- **повышение пространственного разрешения** с учетом возможностей спутниковых систем (1 км => 250 м => ? 50 м)
- повышение **уровня достоверности** картографирования
- **полная автоматизация** и, как следствие, обеспечение **повторяемости** результатов картографирования (при ежегодной регулярности)
- возможности повышения уровня **тематической детальности** за счет иерархического расширения легенды

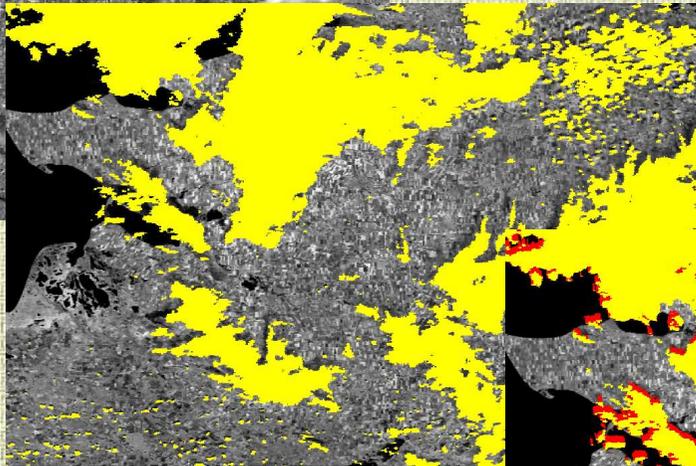
# Составляющие развития спутникового картографирования

- **Формирование архива спутниковых данных системы MODIS**
  - пространственное разрешение 250&500 м
  - ежедневная частота наблюдений
  - многолетние ряды данных (2000-2010 годы)
- **Разработка методов предварительной обработки данных MODIS**
  - формирование свободных от влияния мешающих факторов композитных изображений и рядов вегетационных индексов
- **Разработка алгоритма локально-адаптивной классификации земного покрова по спутниковым данным**
  - LAGMA – Locally Adaptive Global Mapping Algorithm
- **Разработка набора спектрально-временных признаков распознавания различных типов растительного покрова**
- **Разработка автоматической технологии картографирования наземных экосистем по данным MODIS**
- **Создание банка опорных данных по типам наземных экосистем России на основе комплексирования существующих карт, знаний экспертов и спутниковых данных**

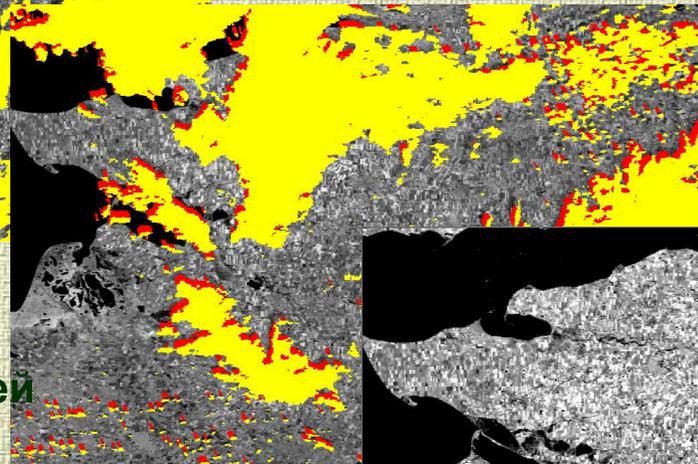
# Технология предварительной обработки данных MODIS



Данные ежедневных наблюдений

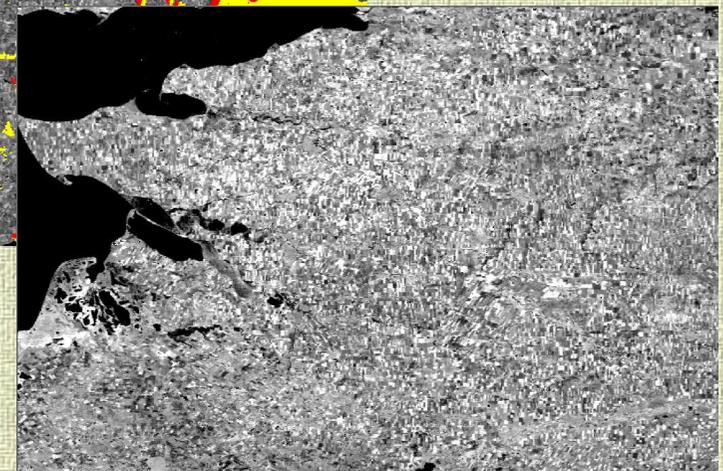


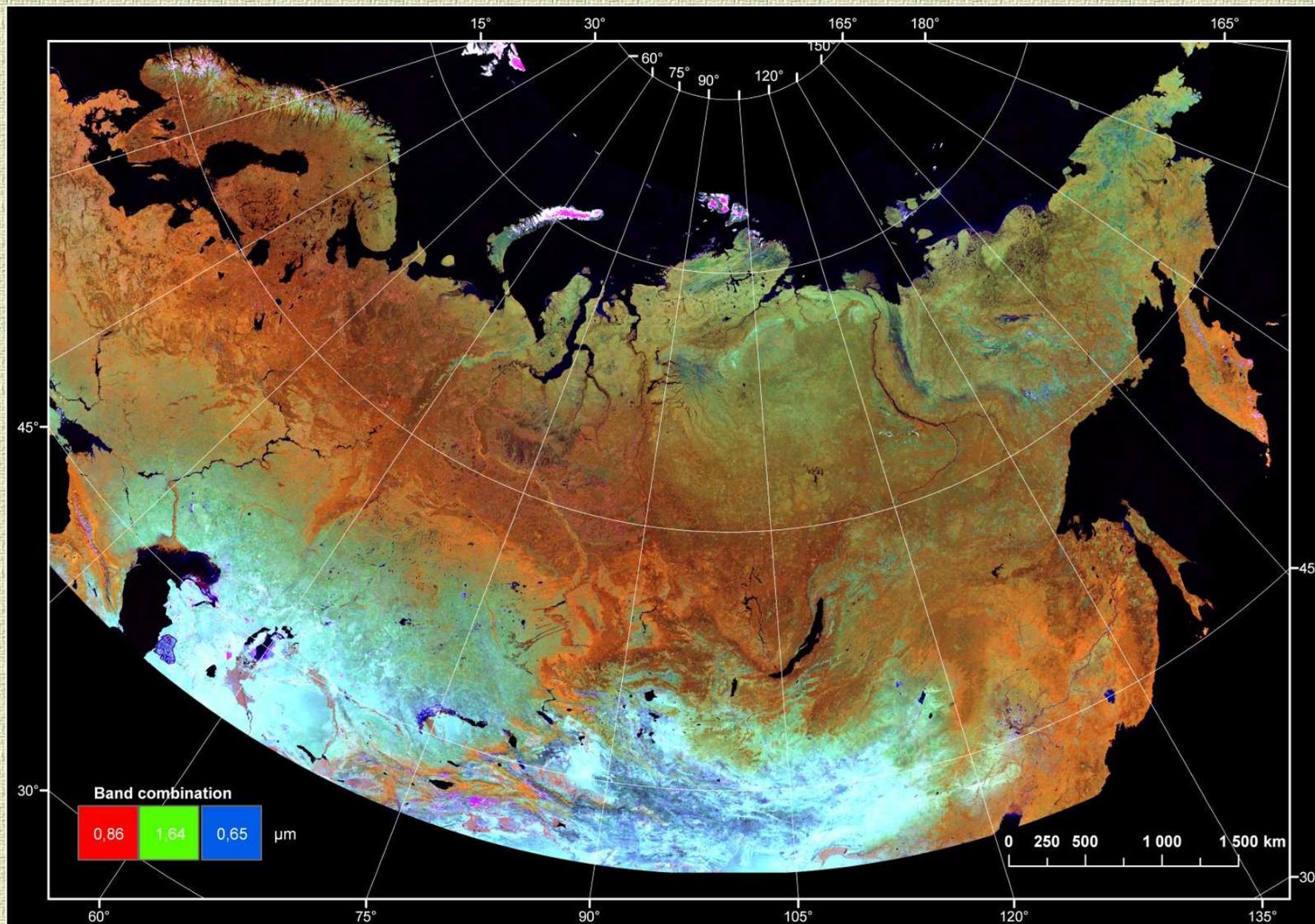
Маскирование  
снежного и  
облачного покрова



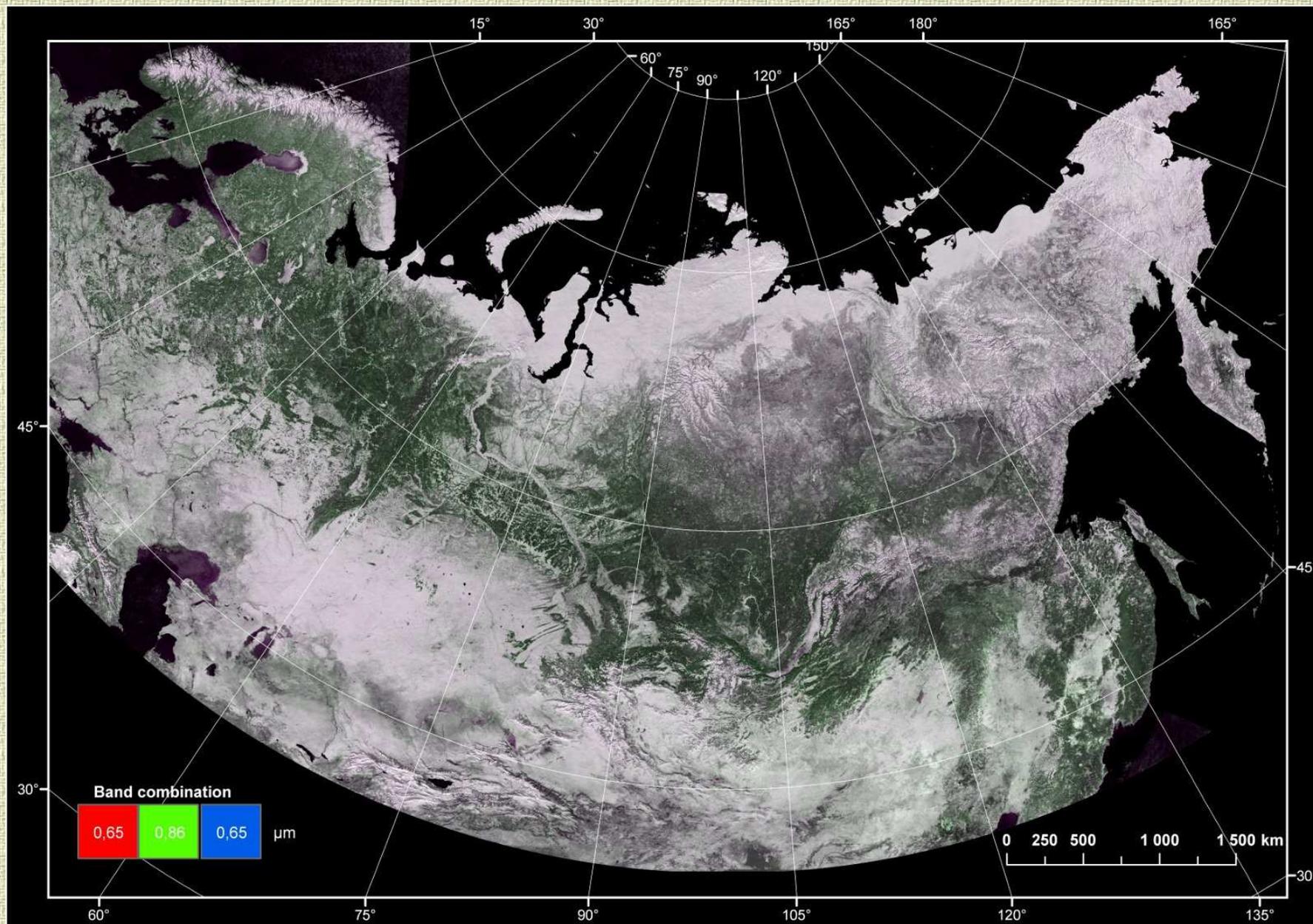
Маскирование теней

Построение композитных  
изображений



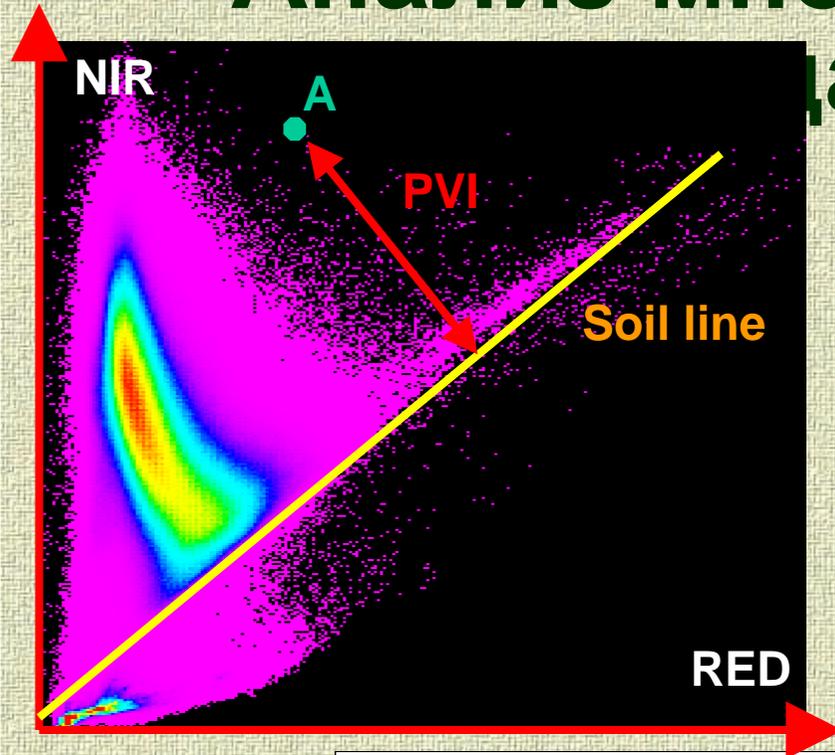


**Синтезированное по данным MODIS изображение Северной Евразии за вегетационный период**



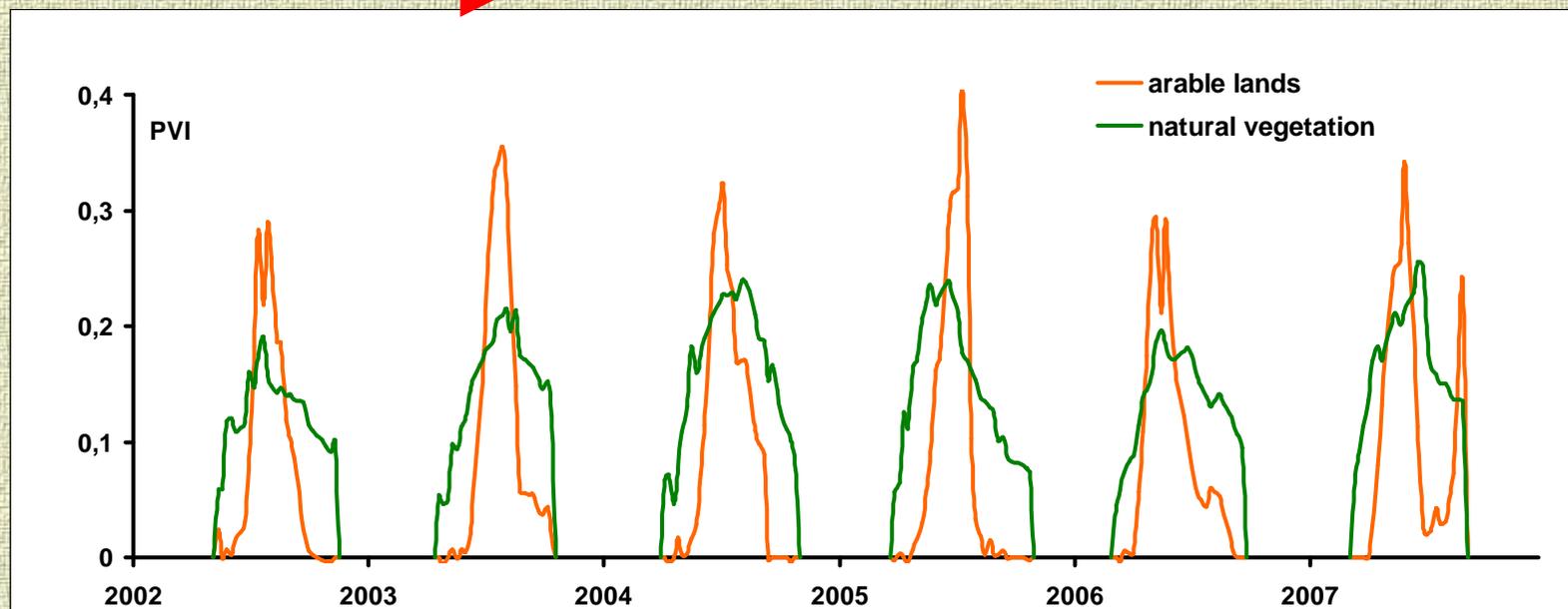
**Синтезированное по данным MODIS изображение  
Северной Евразии за снежный период**

# Анализ многолетних рядов данных



$PVI = \text{Distance (A, Soil line)}$

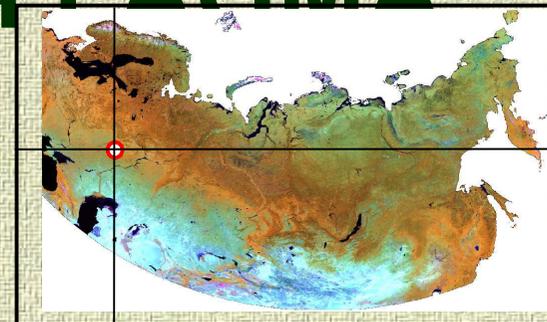
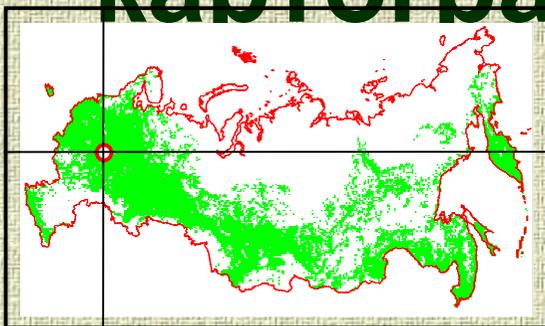
$$PVI = -0.83 \cdot RED + 0.56 \cdot NIR - 0.005$$



# Признаки распознавания пахотных земель на основе

Признак	Описание	Изображение	Гистограмма
Индекс кратчайшего периода вегетации	$L_{1/2} = \min_{j=1..N} (t_L^j - t_F^j),$ $PVI(t_L) = PVI(t_F) = \frac{PVI_{max}}{2},$ $t_L > t_{max}, t_F < t_{max}$		
Индекс весеннего развития растительности	$MSI = \min_{j=1..N} \sum_{i \in spw} PVI_{ij}$		
Индекс сезонного снижения биомассы	$NSMI = const - \frac{\sum_{j=1}^N PVI_j^{\min \in sw}}{\sum_{j=1}^N \sum_{i \in sw} PVI_i}$		

# Метод глобального картографирования I ΔGMA



Локальные спектрально-временные сигнатуры

$$\Sigma_i$$

Ковариация признаков

$$\bar{a}_i$$

Средние значения признаков

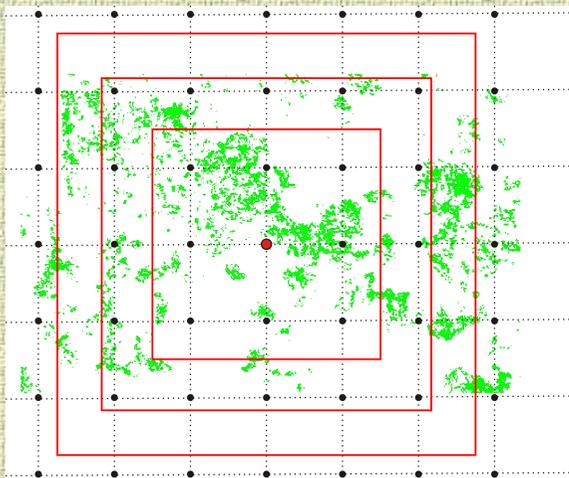
$$n_i$$

Количество пикселей

Спектрально-временные признаки классификации

$$\bar{x}$$

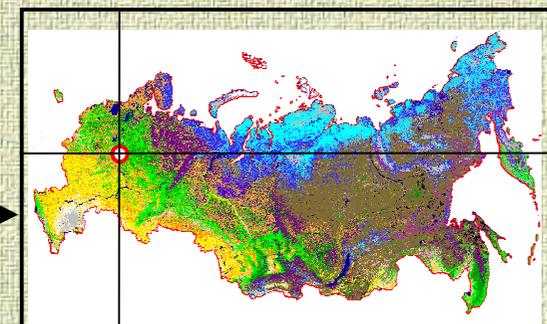
Значение признаков для классифицируемого пиксела



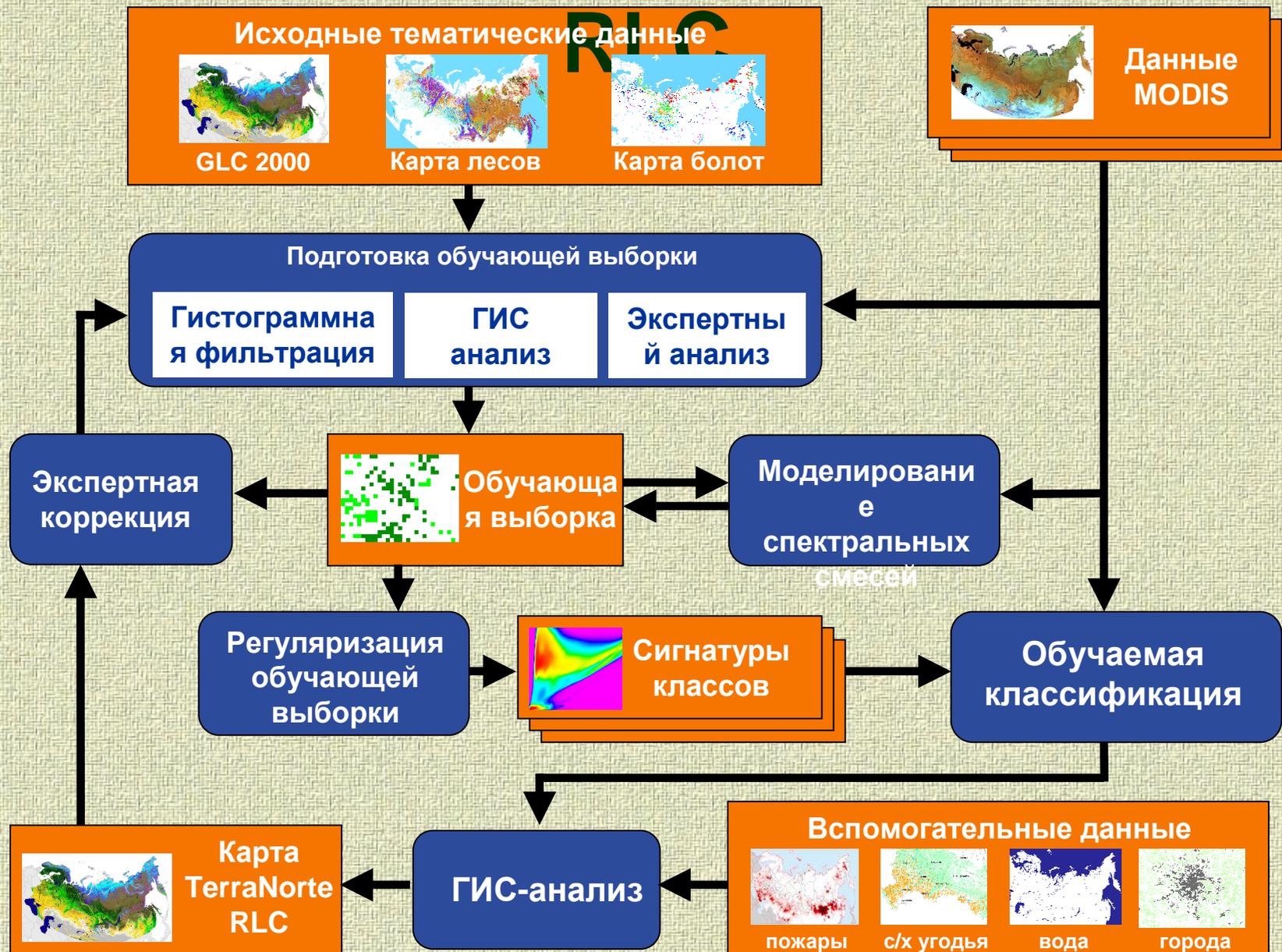
Классификатор

$$f_i(\bar{x})$$

Вероятности для классов



# Метод создания карты TerraNorte





## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

### ЛЕСА

-  **Темнохвойные вечнозеленые**  
Насаждения, в пологе которых не менее 80% площади крон составляют теневыносливые виды хвойных деревьев, включая ель, пихту и сибирскую сосну (кедр).
-  **Светлохвойные вечнозеленые**  
Насаждения, в пологе которых не менее 80% площади крон составляют деревья сосны обыкновенной.
-  **Лиственные**  
В пологе насаждения не менее 80% площади занимают кроны березы и осины, а также широколиственных пород, включая дуб, липу, ясень, клен, вяз и некоторые другие виды.
-  **Смешанные с преобладанием хвойных**  
Кроны хвойных пород деревьев занимают от 60 до 80%, а лиственных от 20% до 40% площади полого насаждений.
-  **Смешанные**  
Площади крон хвойных и лиственных пород деревьев представлены примерно в равных пропорциях (40-60 %) в пологе насаждений.
-  **Смешанные с преобладанием лиственных**  
Кроны лиственных пород деревьев занимают от 60 – 80% , а хвойных от 20% до 40% площади полого насаждений.
-  **Хвойные листопадные (лиственничные)**  
В пологе насаждений кроны деревьев лиственницы занимают более 80% площади.
-  **Редины хвойные листопадные (лиственничные)**  
Участки, занятые отдельно стоящими деревьями или разреженными насаждениями лиственницы с проективным покрытием крон менее 20%.

### ТРАВЯНО-КУСТАРНИКОВАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

-  **Луга**  
Травяная растительность с продолжительностью вегетационного сезона более 5 месяцев. Видовой состав характеризуется господством многолетних трав, главным образом злаков и осоковых, в условиях достаточного увлажнения. Площадь проекции крон деревьев и кустарников на земную поверхность составляет менее 20%.
-  **Степи**  
Травяной покров образован преимущественно засухоустойчивыми многолетними дерновинными злаками (ковыль, типчак, полынь, житняк и др.). Встречается большое разнообразие видов степных кустарников и полукустарников, а также короткоцветущих эфемероидов и эфемеров.
-  **Хвойные вечнозеленые кустарники**  
Кустарниковые заросли или низкоствольные леса из кедрового стланика.

### ТУНДРА

-  **Кустарничковая**  
Сухая тундра с редкой фрагментарной растительностью, среди которой доминирует виды альпоярктических кустарничковых сообществ высотой менее 15 см. Распространены также мохово-лишайниковый покров и разнотравье.
-  **Травянистая**  
Тундра представлена главным образом различными видами трав и мхов, произрастающими на сырых почвах и образующими сплошной растительный покров. Часто встречаются кустарнички высотой до 40 см.
-  **Кустарниковая**  
Доминируют кустарники (карликовая береза и различные виды ивы) высотой более 40 см, иногда с примесью можжевельника, ольхи или кедрового стланика.

### ВОДНО-БОЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

-  **Болота**  
Территории, характеризующиеся избыточным увлажнением с преобладанием растительного покрова из мхов, лишайников, тростника, осоки и некоторых других видов. Часто встречаются участки с наличием редкого (< 20%) древесного полого.
-  **Прибрежная растительность**  
Гидрофильная травяная и древесно-кустарниковая растительность по берегам водоемов, часто периодически затопляемая.

### ПРОЧАЯ РАСТИТЕЛЬНОСТЬ

-  **Свежие гари**  
Погибшие или сильно поврежденные от воздействия огня лесные насаждения и тундровая растительность.
-  **Пахотные земли**  
Регулярно возделываемые на протяжении последних 5-ти лет пахотные земли.

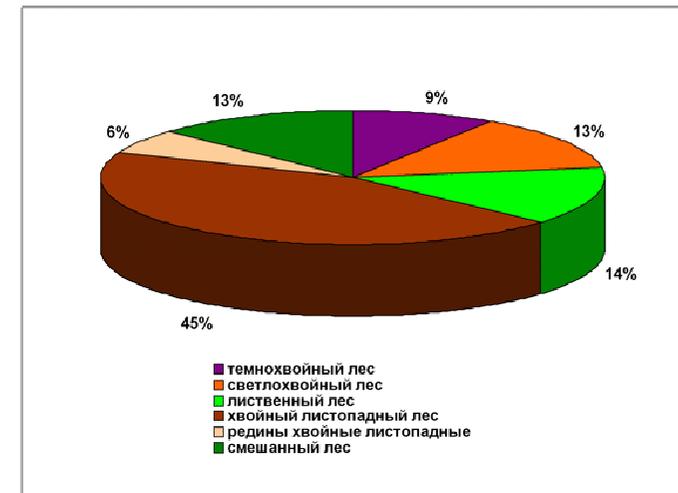
### НЕ ПОКРЫТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЛИ

-  **Вечные снега и льды**  
Земли, покрытые снегами и льдами в течение всего года.
-  **Открытые грунты и выходы горных пород**  
Земли, суммарное проективное покрытие которых растительностью всех видов не превышает 20%.
-  **Реки и водоемы**  
Открытые водные объекты, включая моря, озера, водохранилища и реки.
-  **Урбанизированные территории**  
Населенные пункты, дороги и другие образования антропогенного происхождения.

## НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

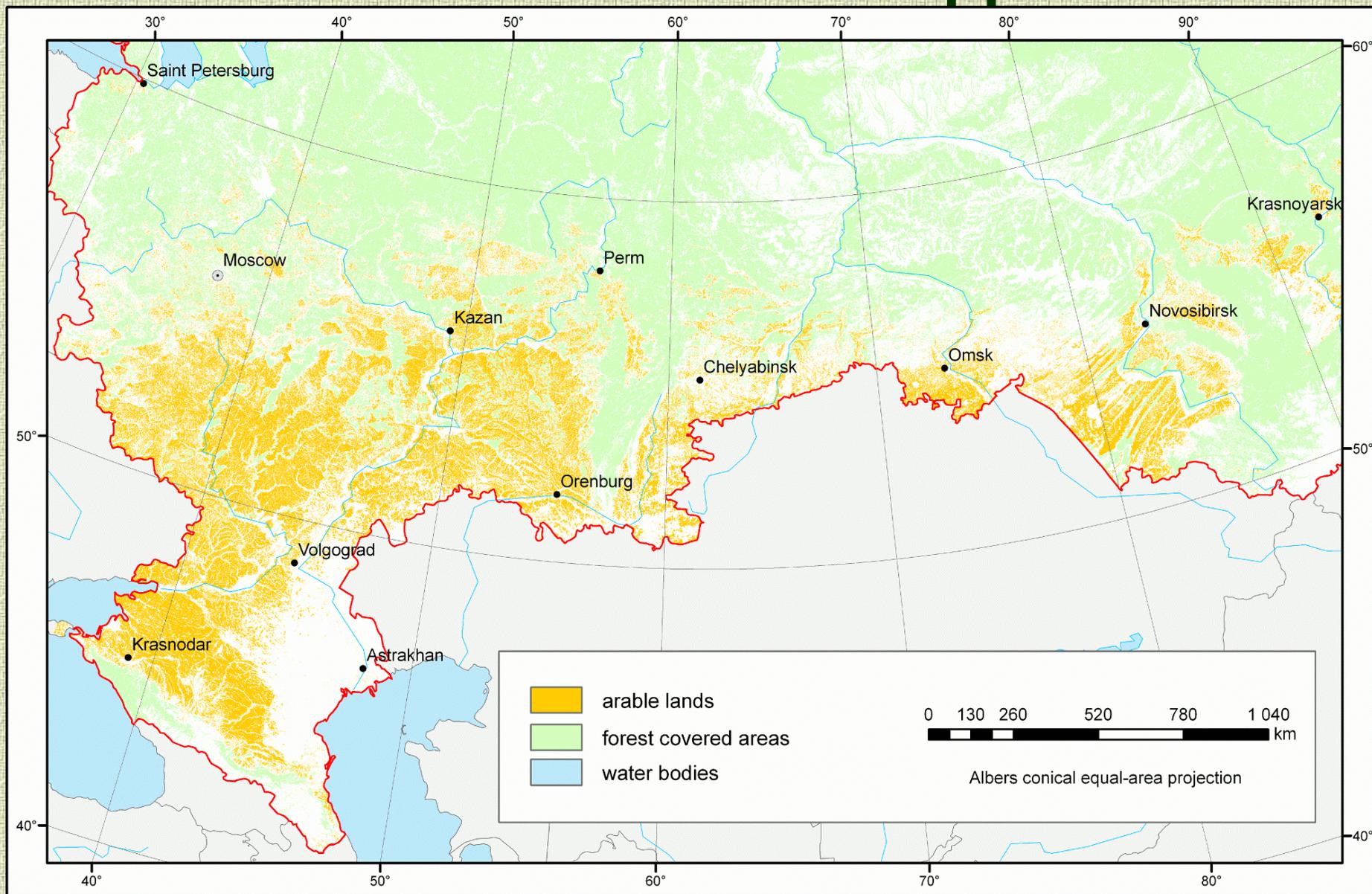


### ЛЕСА



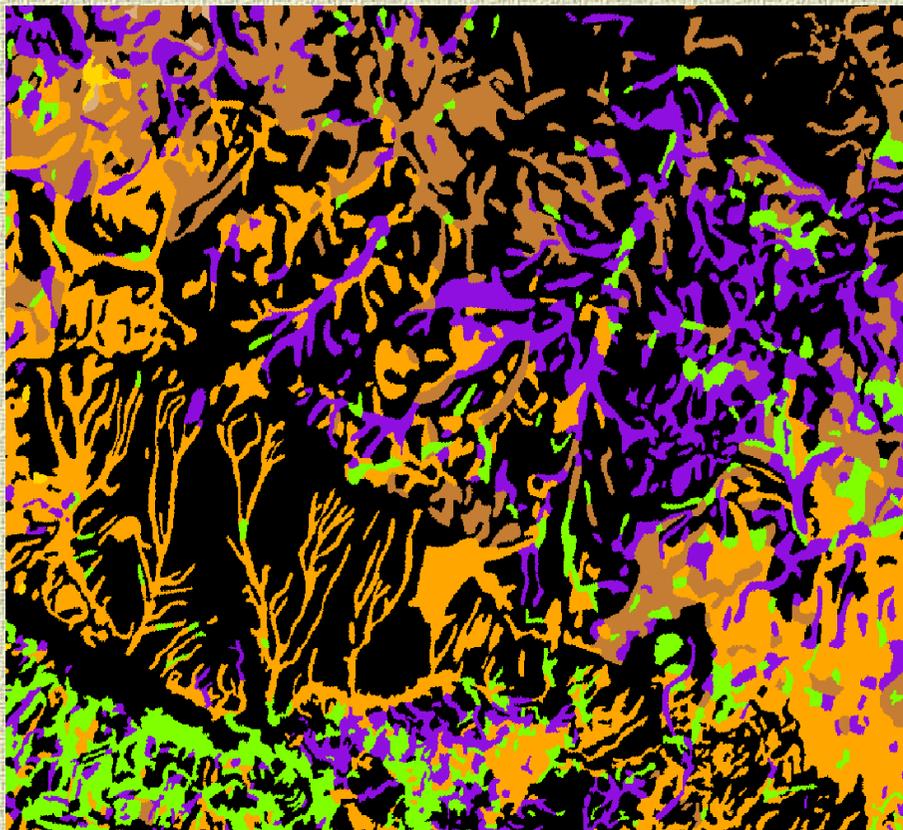
# Легенда карты TerraNorte RLC

# Результаты картографирования пахотных земель по данным

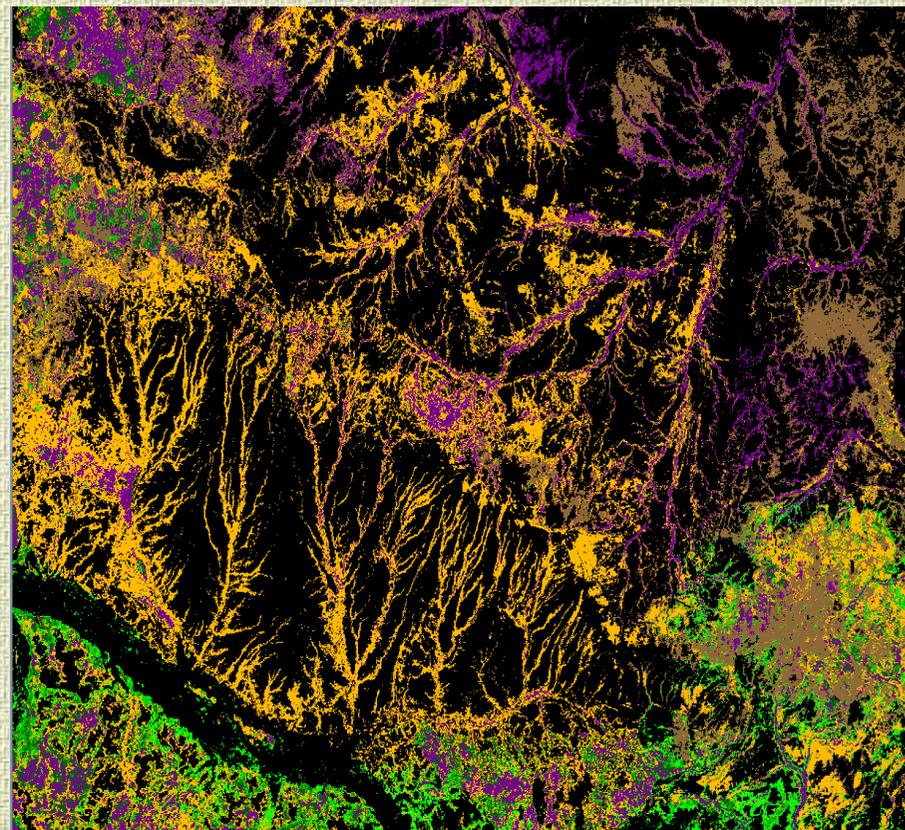


# Сравнительный анализ карт растительного покрова

Ханты-Мансийский А.О.



Карта лесов СССР, 1990



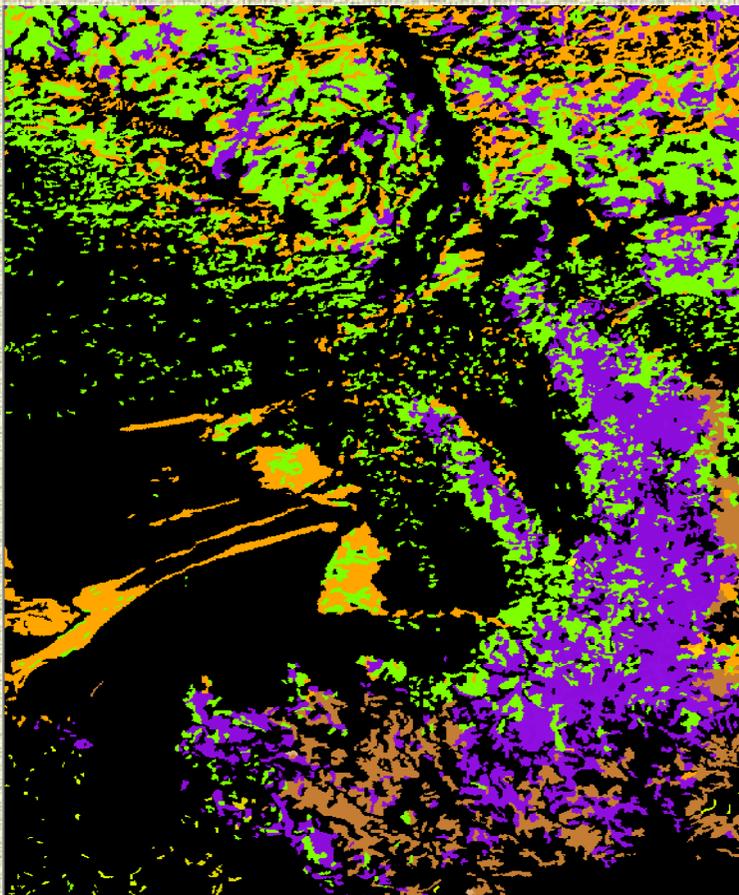
TerraNorte RLC, 2005

■ Темнохвойные вечнозеленые леса  
■ Светлохвойные вечнозеленые леса

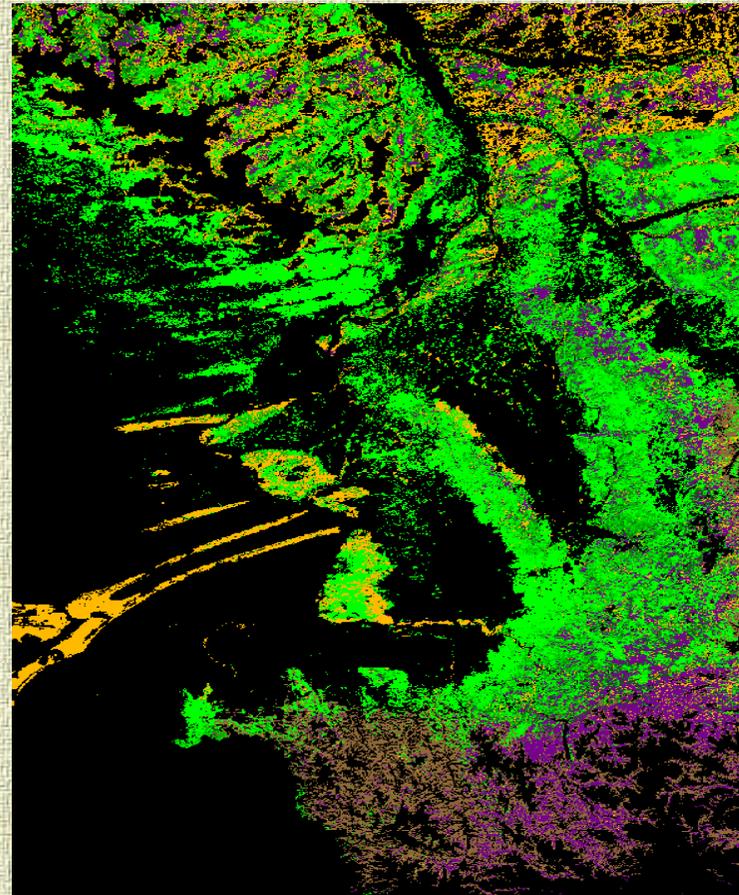
■ Лиственные леса  
■ Хвойные листопадные леса

# Сравнительный анализ карт растительного покрова

Алтайский край



Карта лесов СССР, 1990



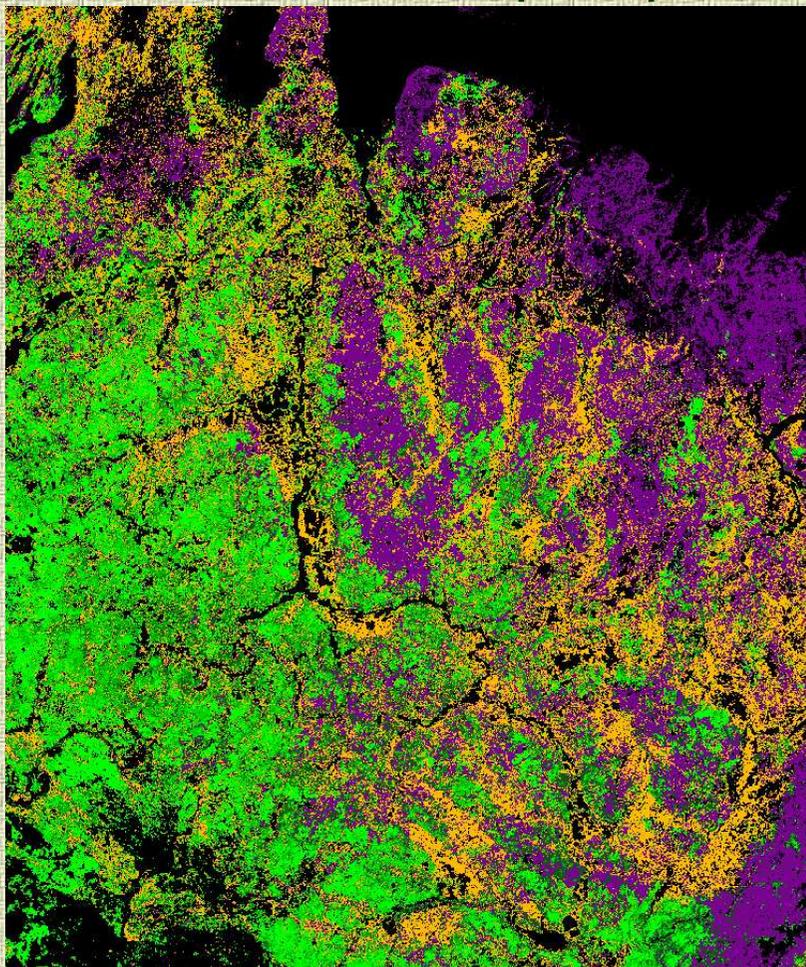
TerraNorte RLC, 2005

■ Темнохвойные вечнозеленые леса  
■ Светлохвойные вечнозеленые леса

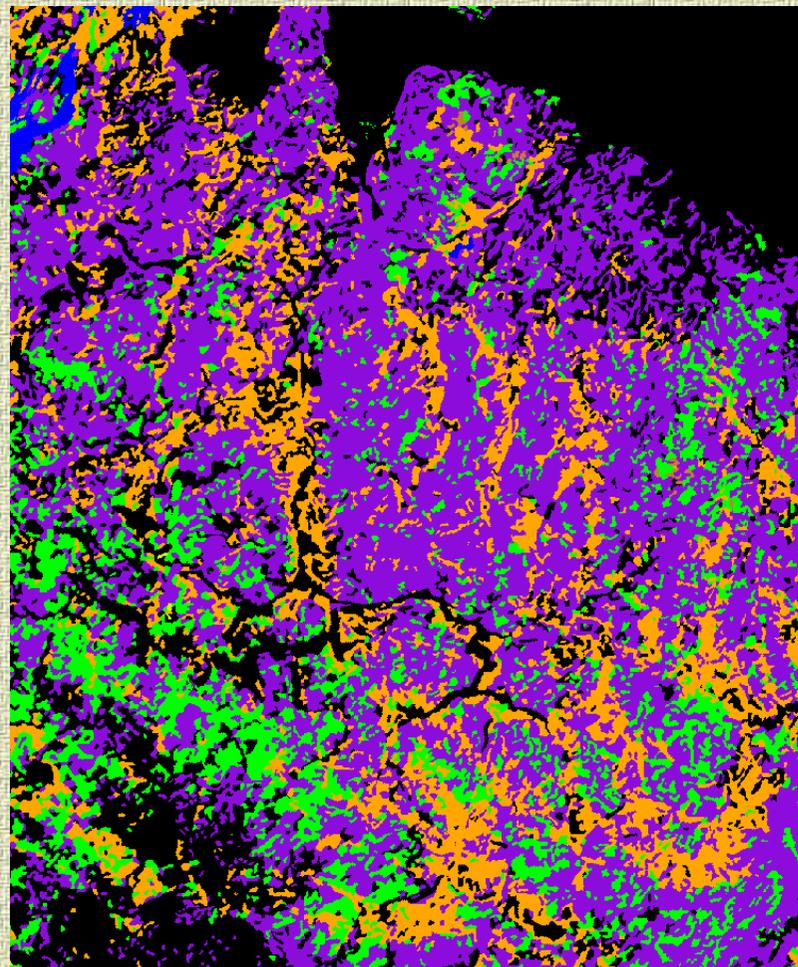
■ Лиственные леса  
■ Хвойные листопадные

# Сравнительный анализ карт растительного покрова

Север Европейской части России



Карта лесов СССР, 1990



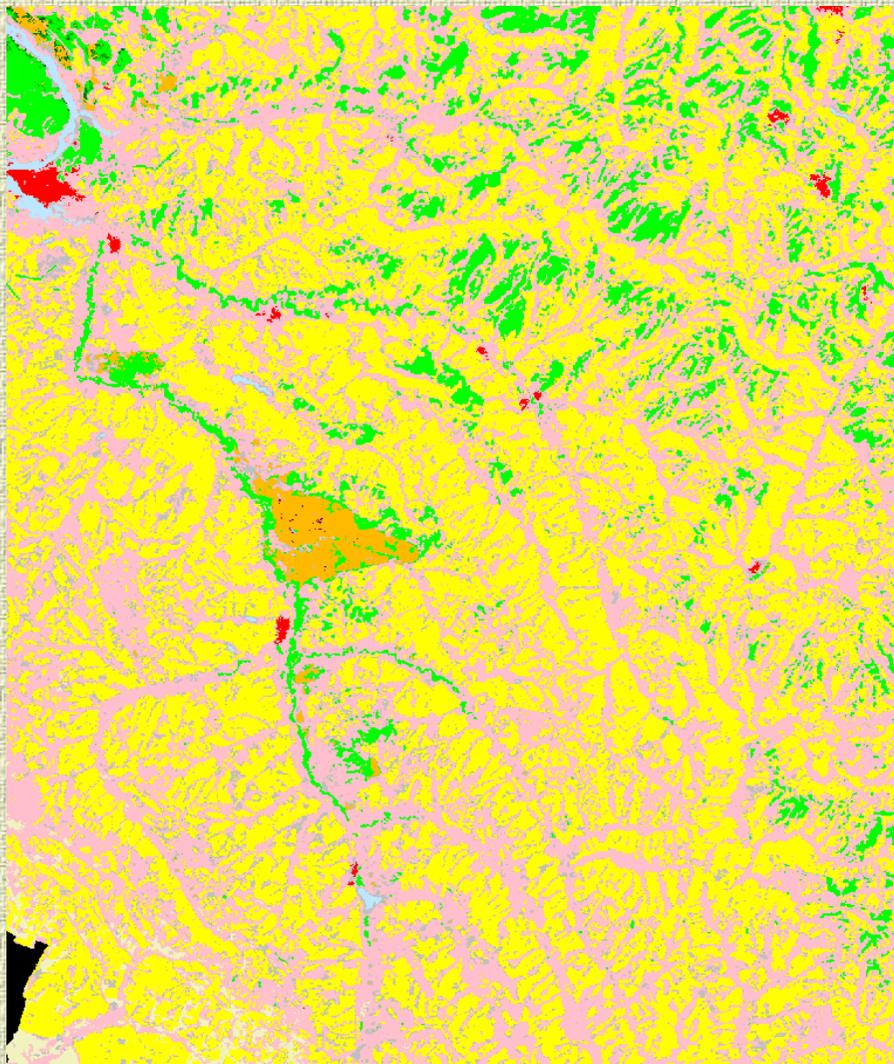
TerraNorte RLC, 2005

■ Темнохвойные вечнозеленые леса  
■ Светлохвойные вечнозеленые леса

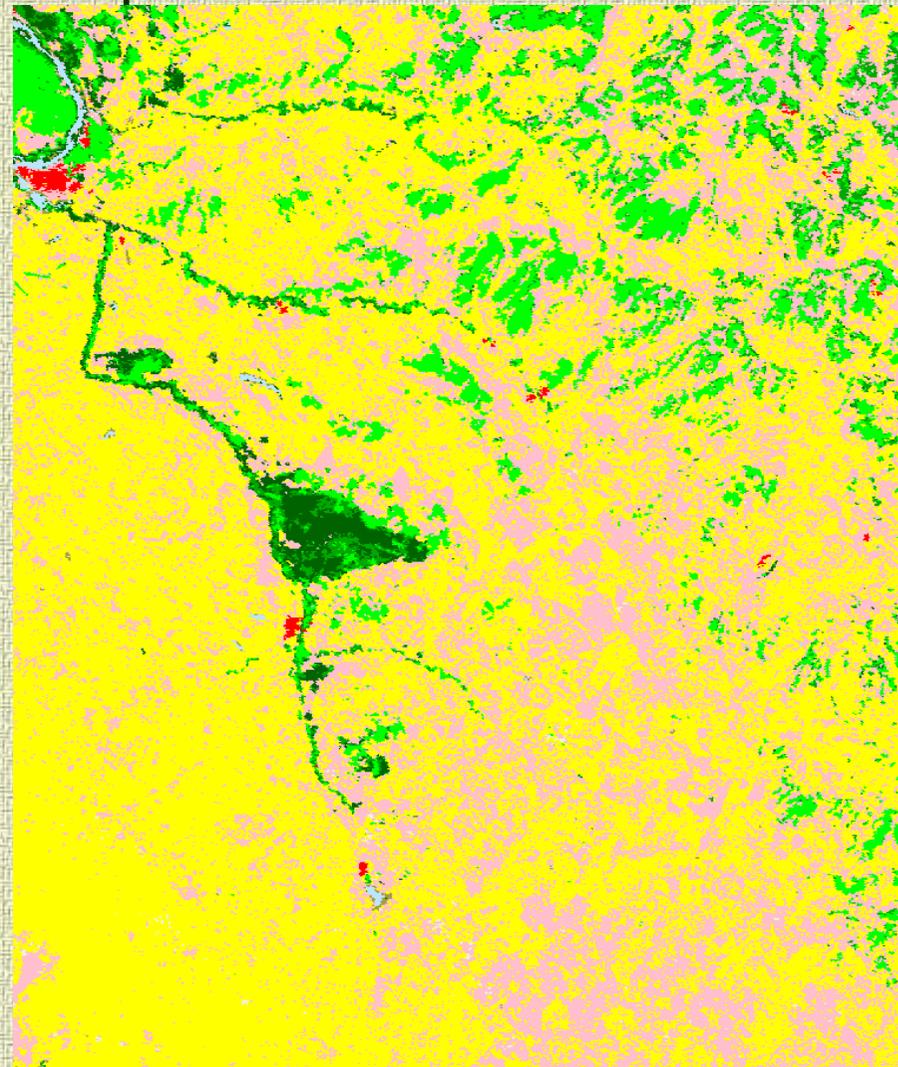
■ Лиственные леса  
■ Хвойные листопадные

# Сравнительный анализ карт растительного покрова

Алтайский край



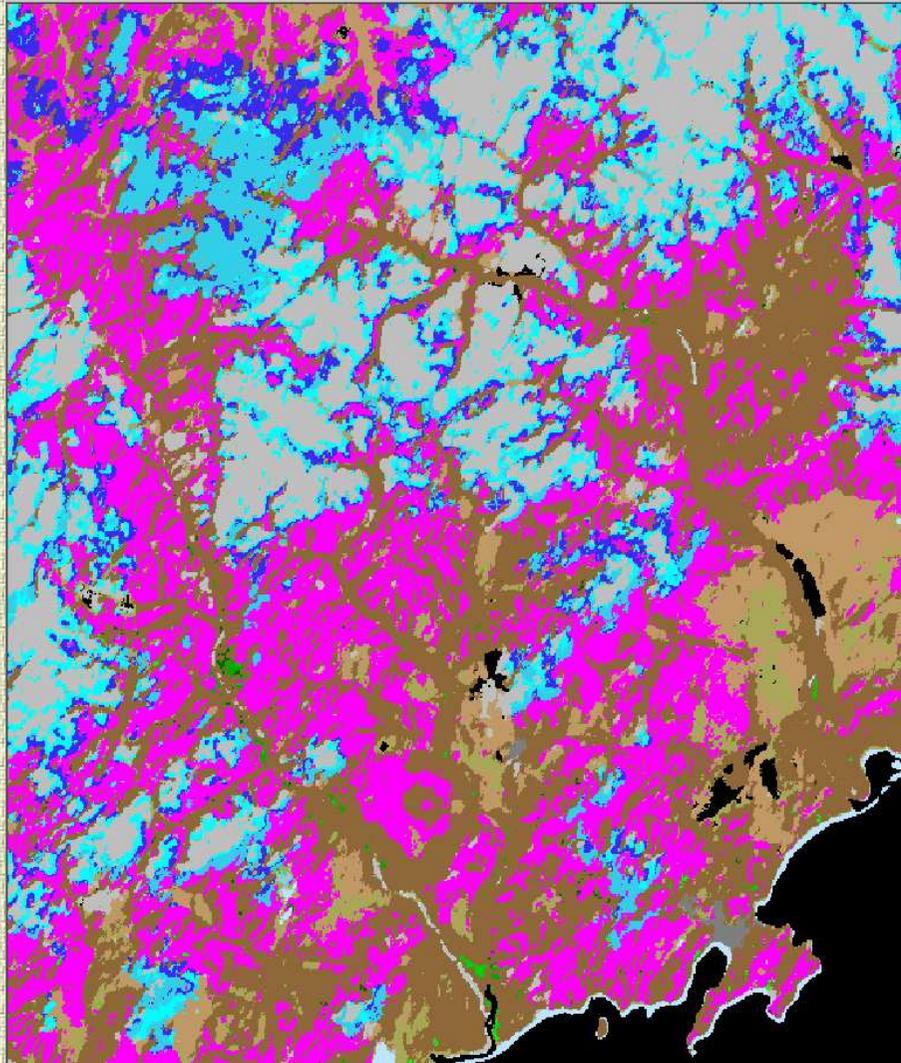
TerraNorte RLC, 2005 (MODIS, 250 m)



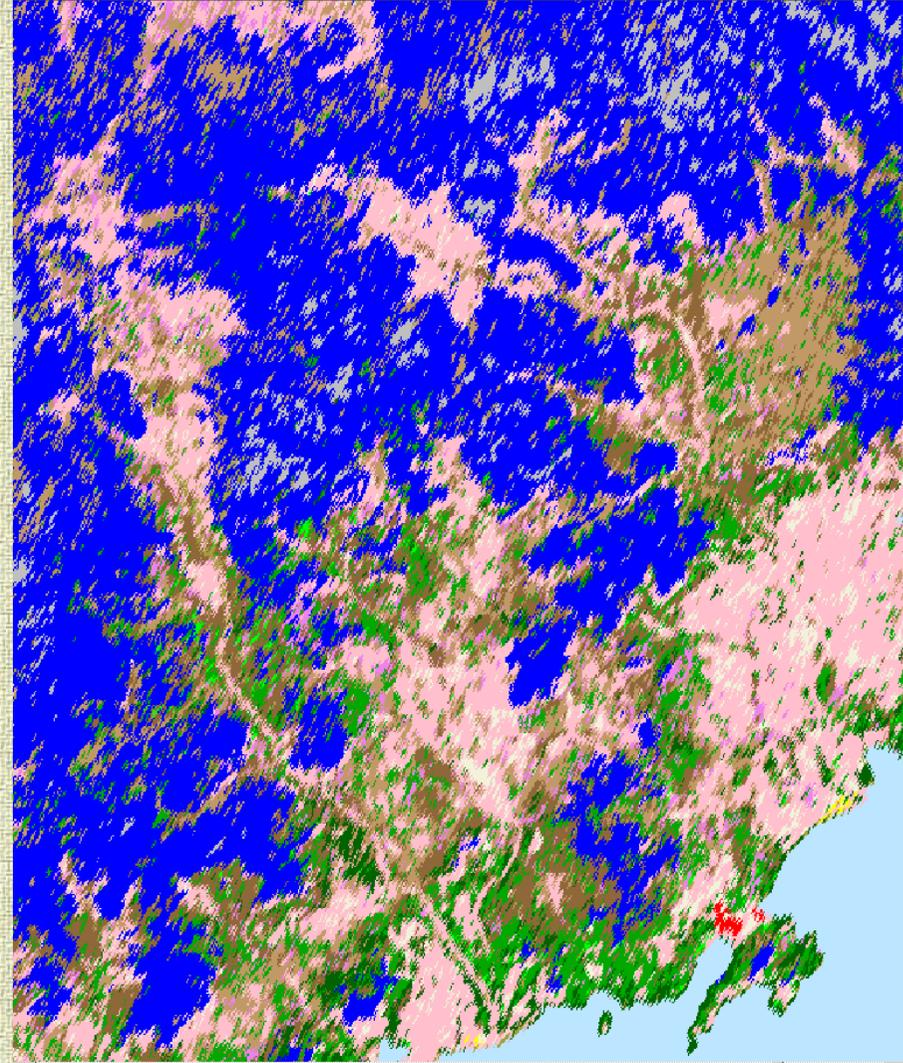
NELDA, 2005 (MODIS, 500 m)

# Сравнительный анализ карт растительного покрова

Магаданская область



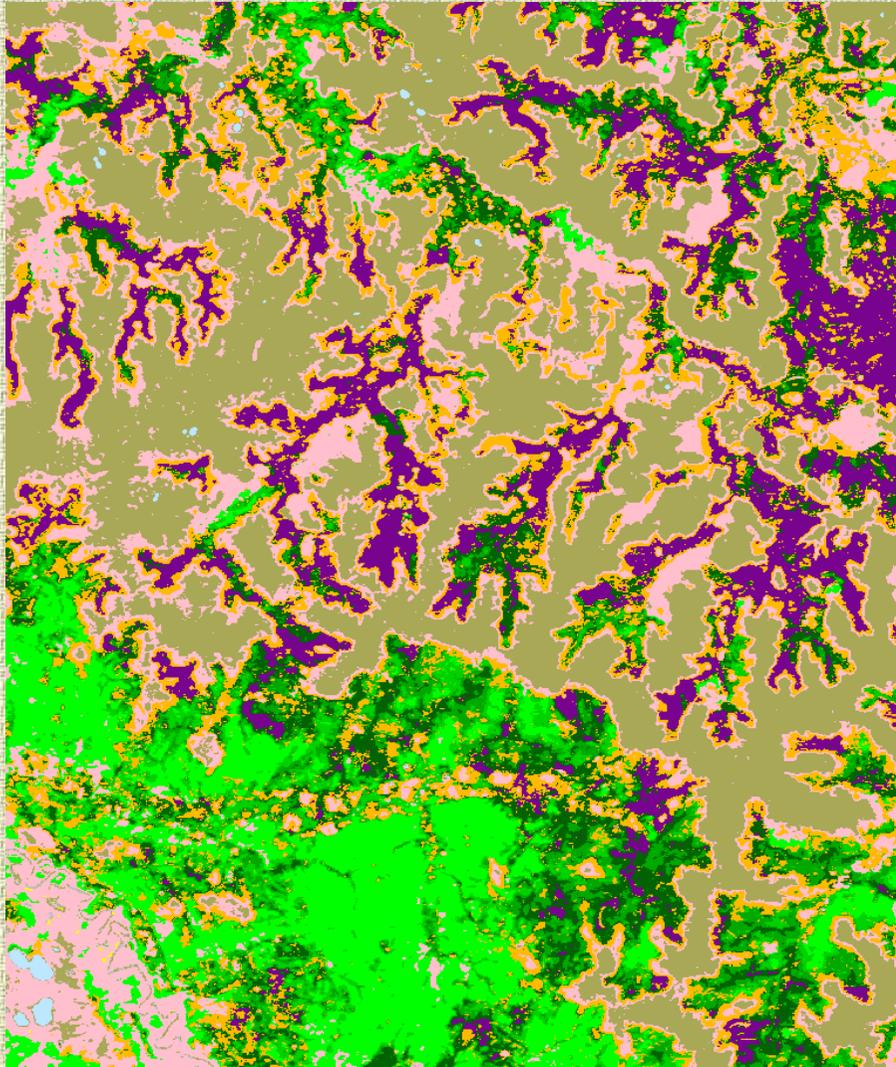
TerraNorte RLC, 2005 (MODIS, 250 m)



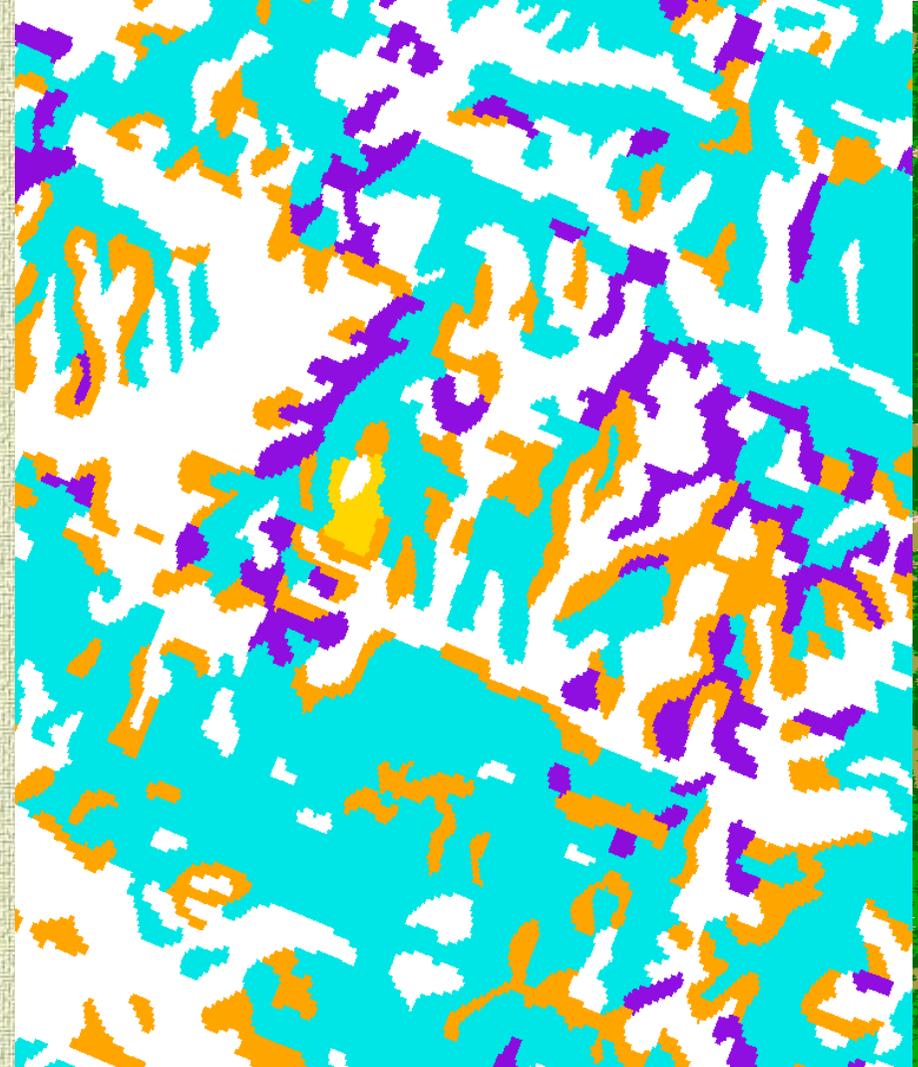
NELDA, 2005 (MODIS, 500 m)

# Сравнительный анализ карт растительного покрова

Алтайский край

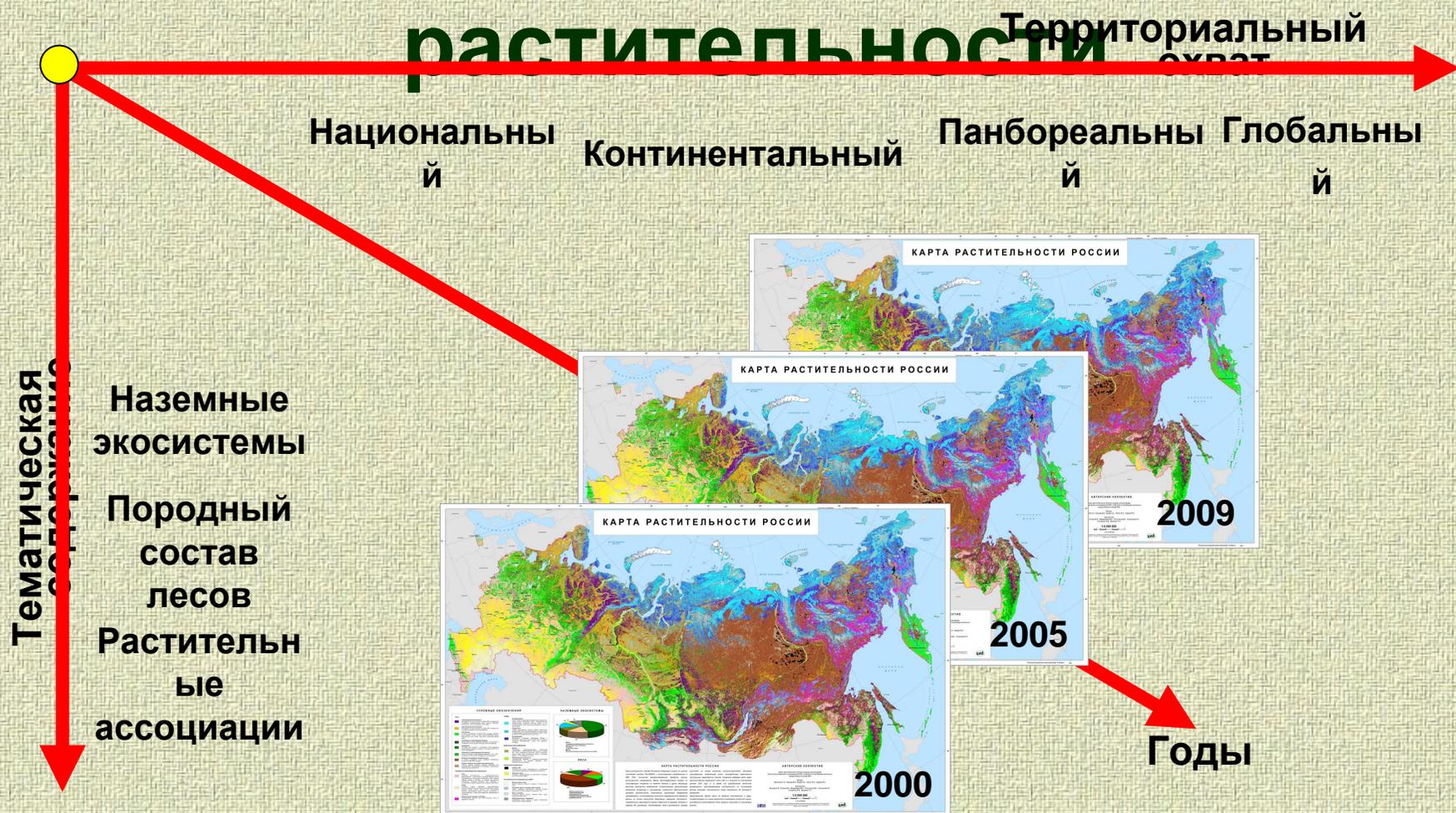


TerraNorte RLC, 2005 (MODIS, 250 m)



NBARA, 2005 (MODIS, 5000m)

# Направления развития спутникового картографирования растительности



Повышение уровня пространственного разрешения

**На различных этапах создания карты TerraNorte  
RLC неоценимую помощь оказали сотрудники  
отдела технологий спутникового мониторинга  
ИКИ РАН и лаборатории мониторинга лесов  
ЦЭПЛ РАН**

**Белова Е.И., Бурцев М.А.,  
Жарко В.О., Кузьменко Н.В.,  
Медведева М.А., Сочилова Е.Н.,  
Стыценко Ф.В., Ярунина Т.А.**

**Авторский коллектив выражает всем**