



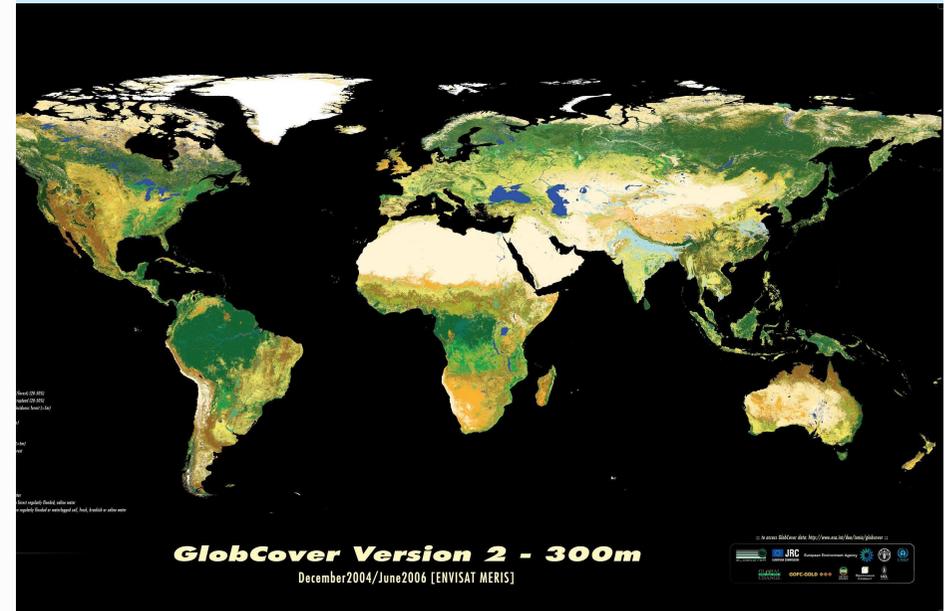
Российская академия наук  
Институт космических исследований

**Возможности использования технологии  
локально-адаптивной классификации для  
создания временной серии карт типов  
земного покрова**

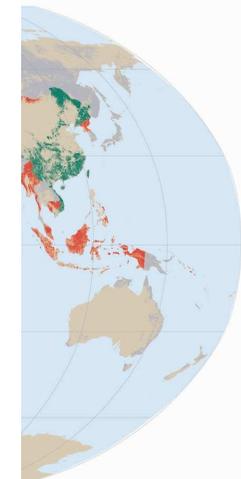
**Уваров И.А., Барталев С.А.**

Восьмая всероссийская открытая конференция  
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»  
Москва, 15-19 ноября 2010 г., ИКИ РАН

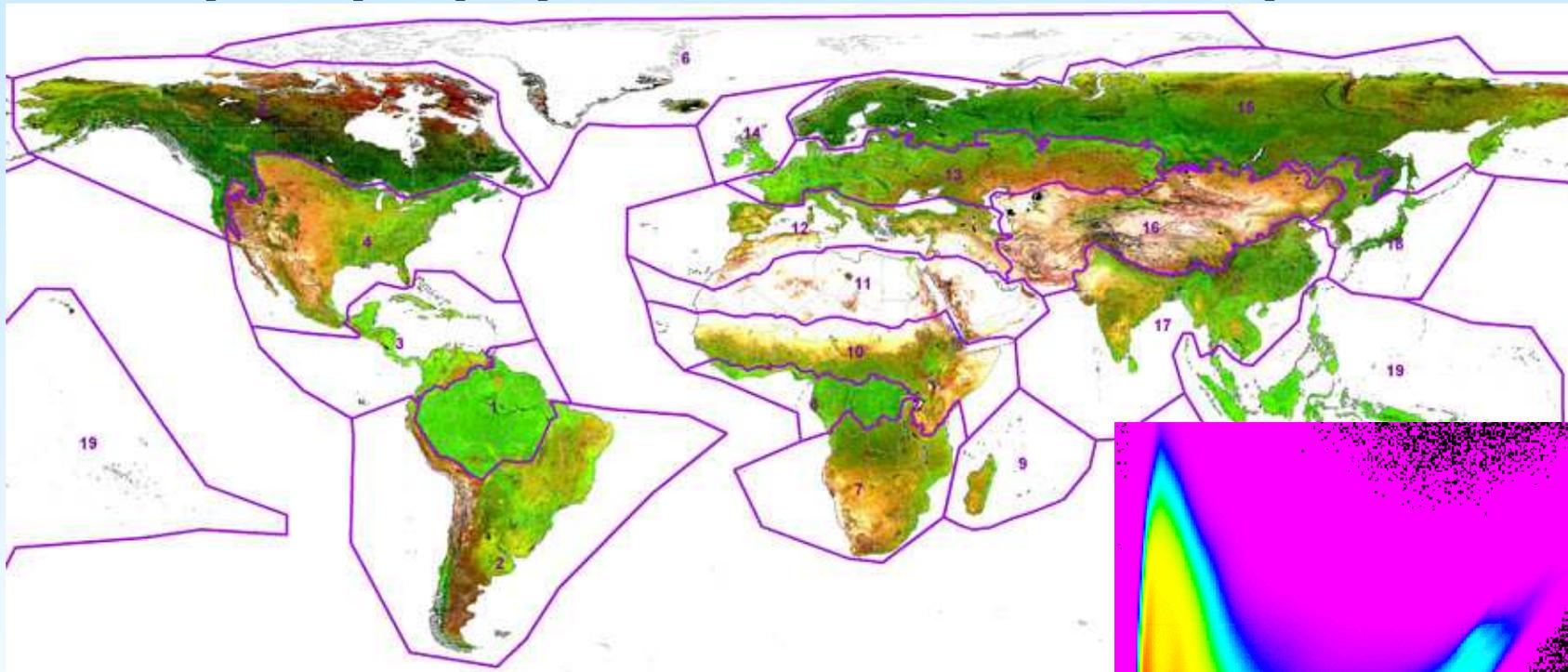
# Глобальное картографирование земного покрова



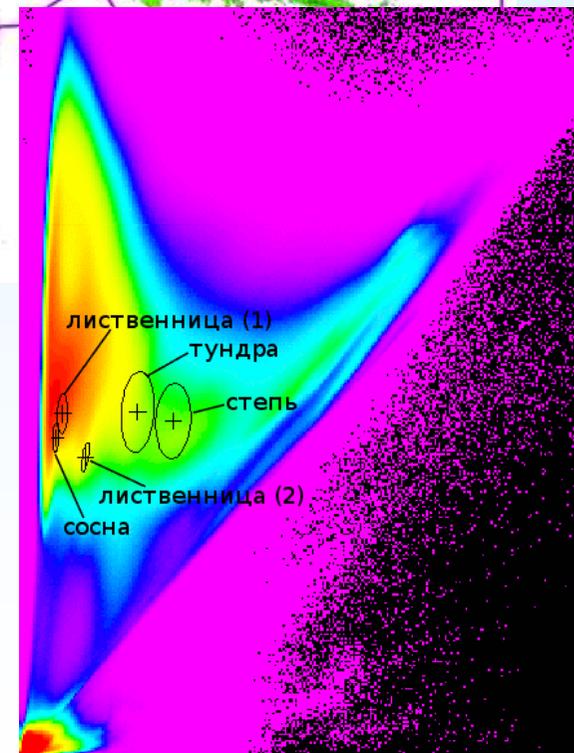
Проект	Авторы	Охват	Разрешение	Система ДЗЗ
IGBP Discover	Loveland et al., 1999	Глобальный	1 км	NOAA-AVHRR
University of Maryland	Hansen et al., 2000	Глобальный	1 км	NOAA-AVHRR
TREES	Achard et al, 2001	Тропики	1 км	NOAA-AVHRR
FRA-2000	FAO, 2001	Глобальный	1 км	NOAA-AVHRR
MODIS LC Product 4	Friedl et al. 2002	Глобальный	1 км	TERRA MODIS
Global Land Cover 2000	Bartholomé & Belward 2005	Глобальный	1 км	SPOT-VGT
Vegetation contin. fields	Hansen et al., 2005	Глобальный	500 м	TERRA MODIS
MODIS LC Product 5	Freidl et al., 2010	Глобальный	500 м	TERRA MODIS
GlobCover	Arino et al., 2008	Глобальный	300 м	Envisat MERIS



# Особенности глобального спутникового картографирования земного покрова



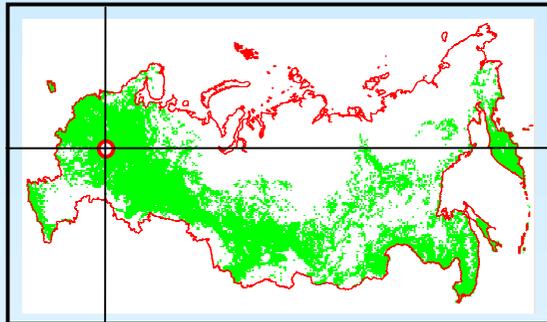
- Высокий уровень пространственной изменчивости спектрально-отражательных характеристик объектов одного типа земного покрова
- Необходимость семантической дифференциации близких по спектрально-отражательным характеристикам различных типов объектов
- Необходимость обработки больших объемов данных и автоматизации процессов их обработки



# Требования к разработке методов распознавания типов земного покрова на глобальном уровне

- Методическая и технологическая унификация распознавания типов земного покрова на всей исследуемой территории
- Учет пространственной неоднородности характеристик типов земного покрова и семантической дифференциации спектрально схожих объектов
- Использование единой обучающей базы опорных данных
- Полная автоматизация алгоритмов обучения и классификации спутниковых данных

# Принципиальная схема локально-адаптивной классификации



Локальные спектрально-временные сигнатуры

$$\Sigma_i$$

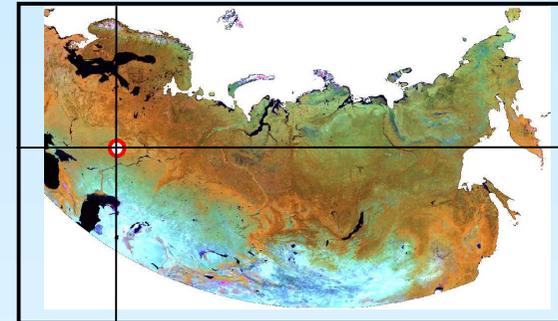
Ковариация признаков

$$\bar{a}_i$$

Средние значения признаков

$$n_i$$

Количество пикселей



Спектрально-временные признаки классификации

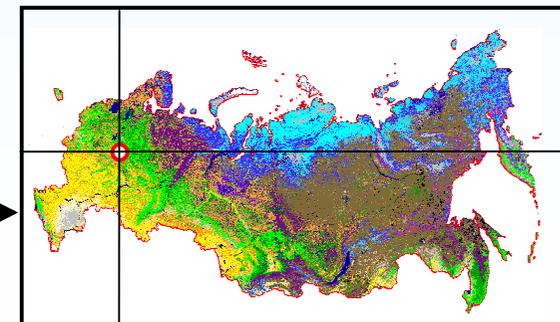
$$\bar{x}$$

Значение признаков для классифицируемого пиксела

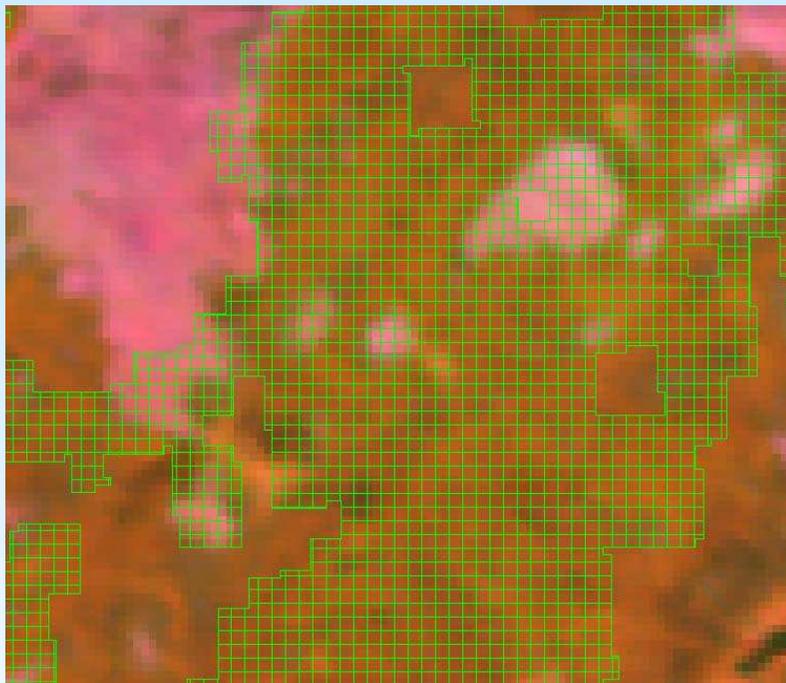
Классификатор

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

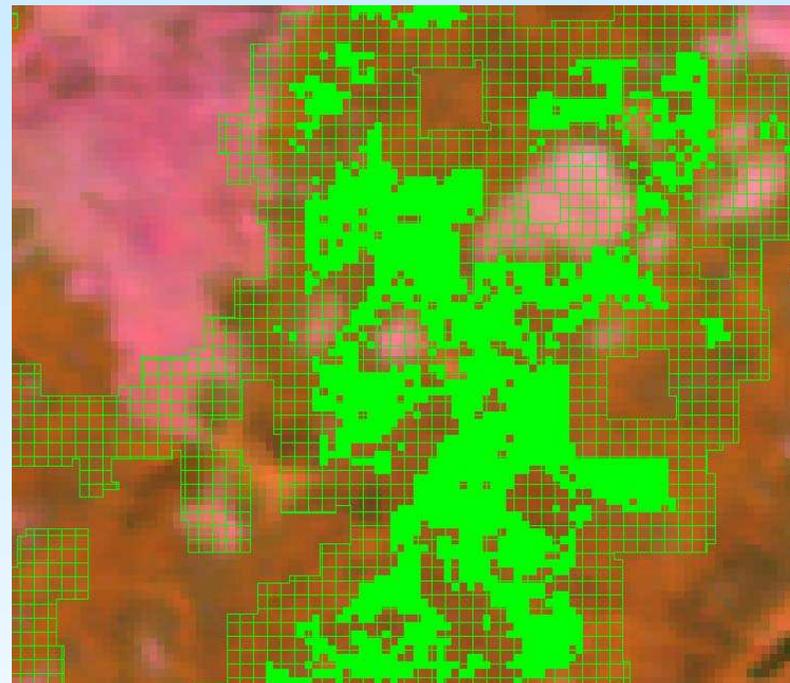
Вероятности для классов



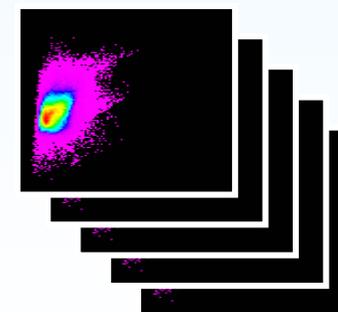
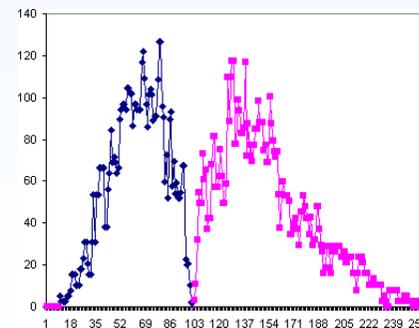
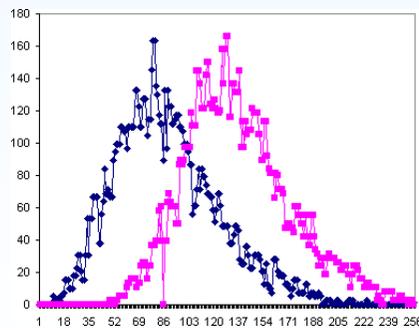
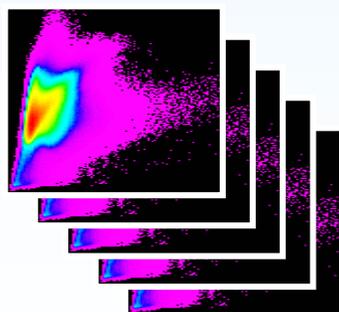
# Использование гистограммной фильтрации



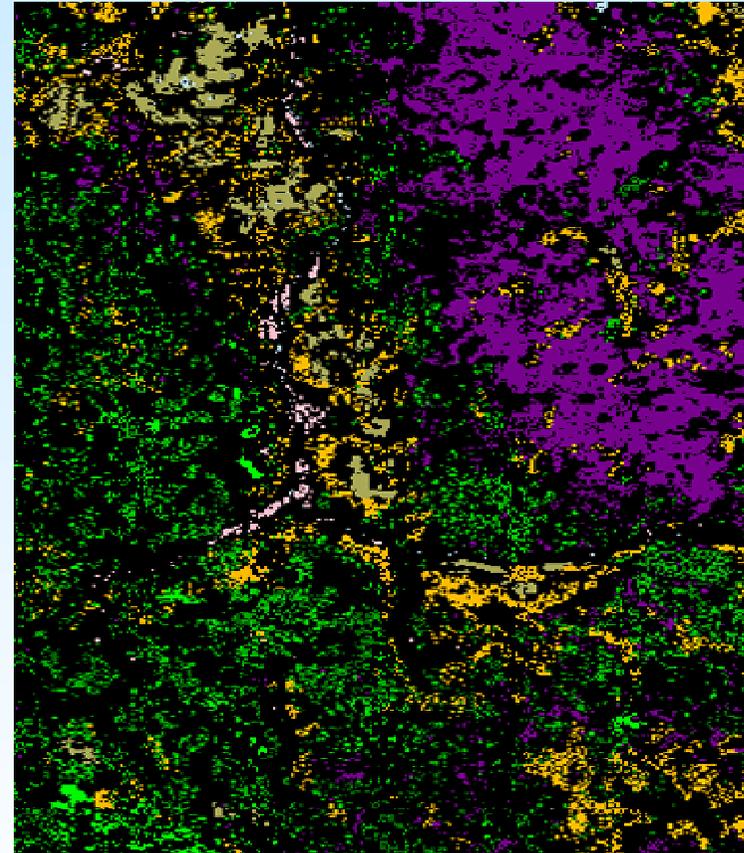
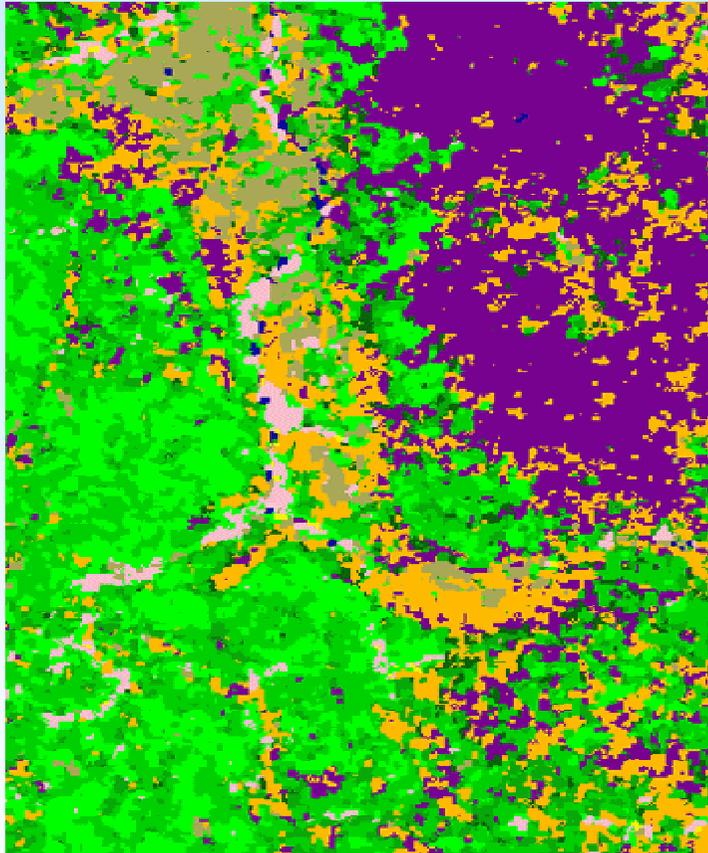
Исходная обучающая выборка



Конечная обучающая выборка

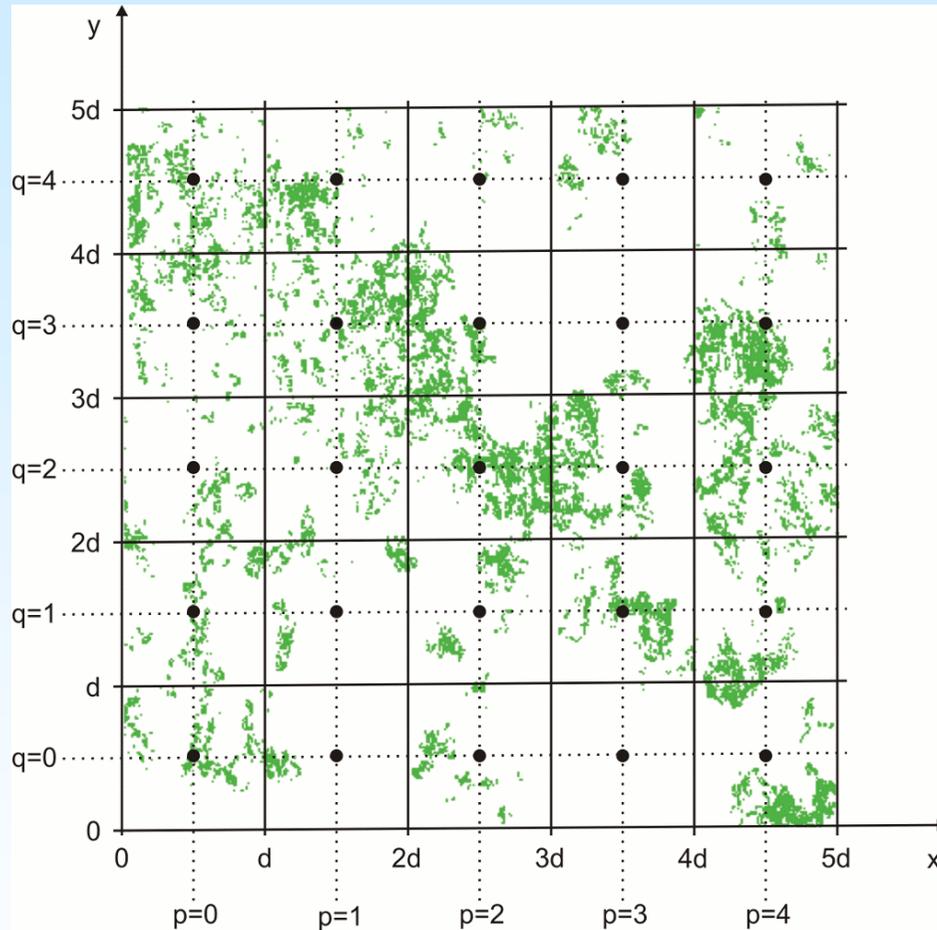


# Формирование обучающей выборки на основе исходных тематических данных



- |   |                                |   |               |
|---|--------------------------------|---|---------------|
|  | темнохвойный вечнозеленый лес  |  | смешанный лес |
|  | светлохвойный вечнозеленый лес |  | болота        |
|  | лиственный лес                 |  | луга          |

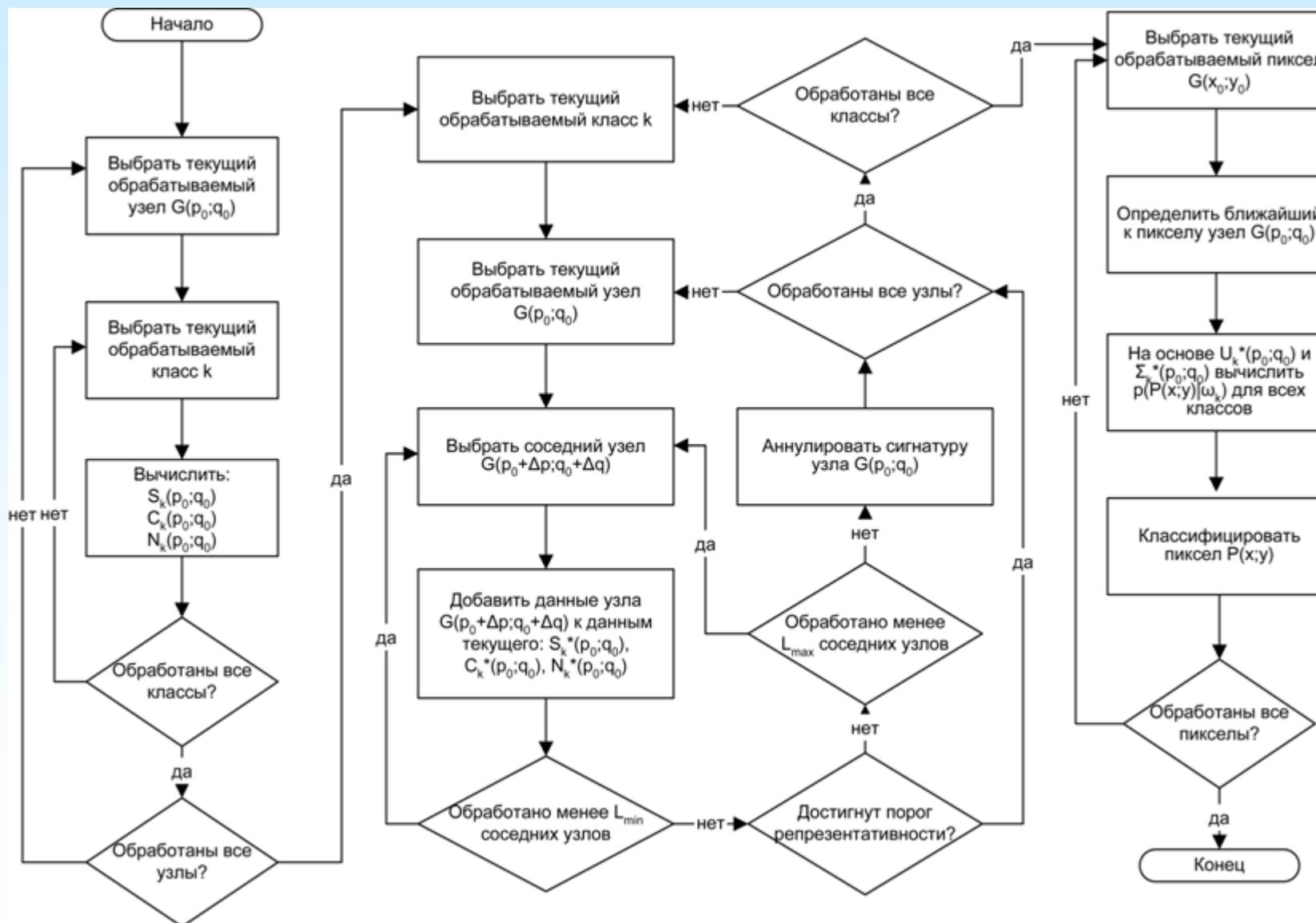
# Локализация сигнатур на уровне узлов регулярной сетки



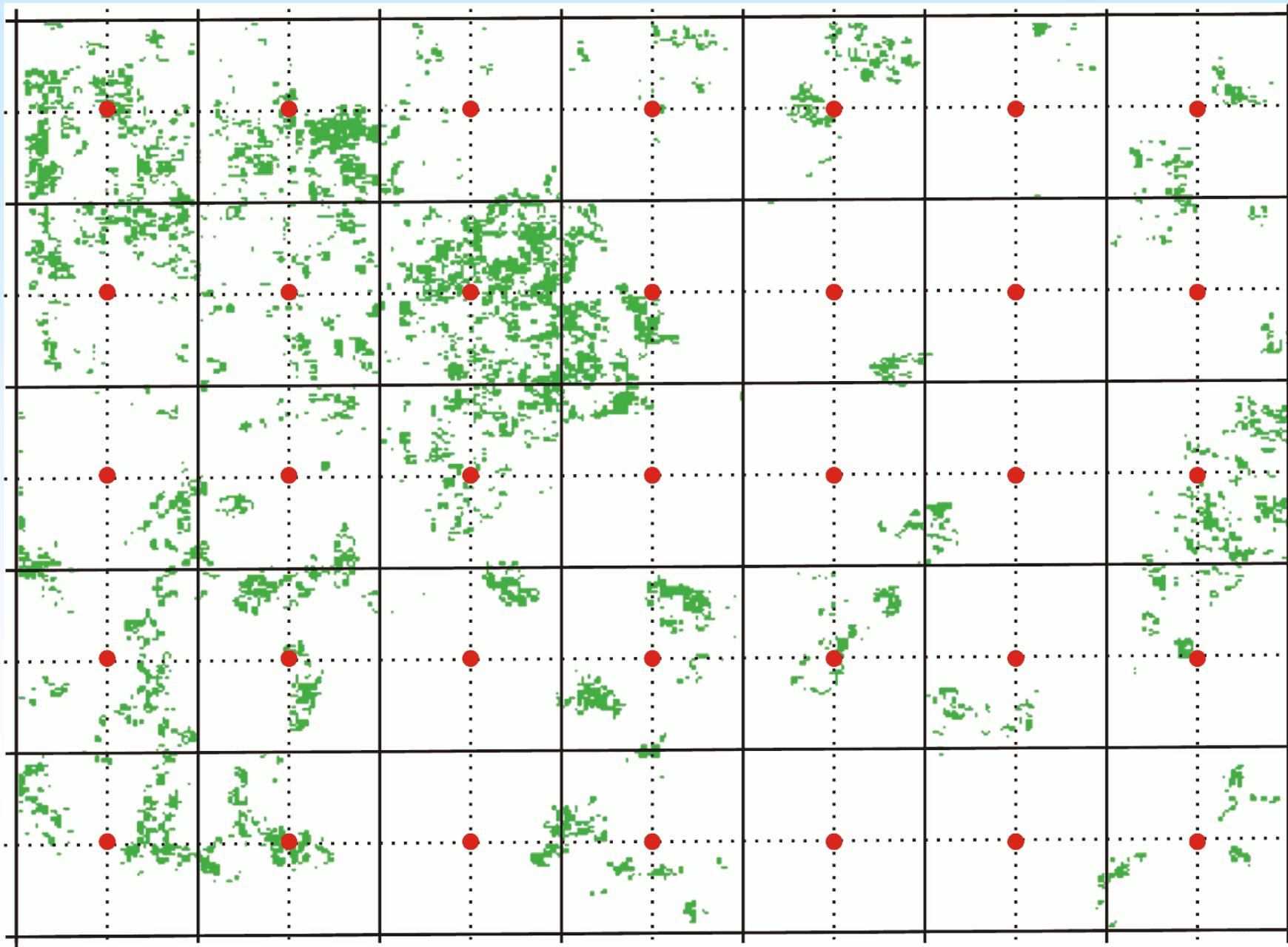
- $P(x; y)$  пиксел с координатами  $x, y$
- $\omega_k$  множество пикселей  $k$ -го класса
- $G(p; q)$  узел регулярной сетки с координатами  $p, q$
- $U_k(p; q)$  вектор средних значений признаков
- $\Sigma_k(p; q)$  ковариационная матрица
- $B(x; y)$  вектор значений признаков пиксела
- $n$  число признаков

$$p(P(x; y) | \omega_k) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2} (B(x; y) - U_k(p; q))^T \Sigma_k(p; q)^{-1} (B(x; y) - U_k(p; q))\right)}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma_k(p; q)|^{1/2}}$$

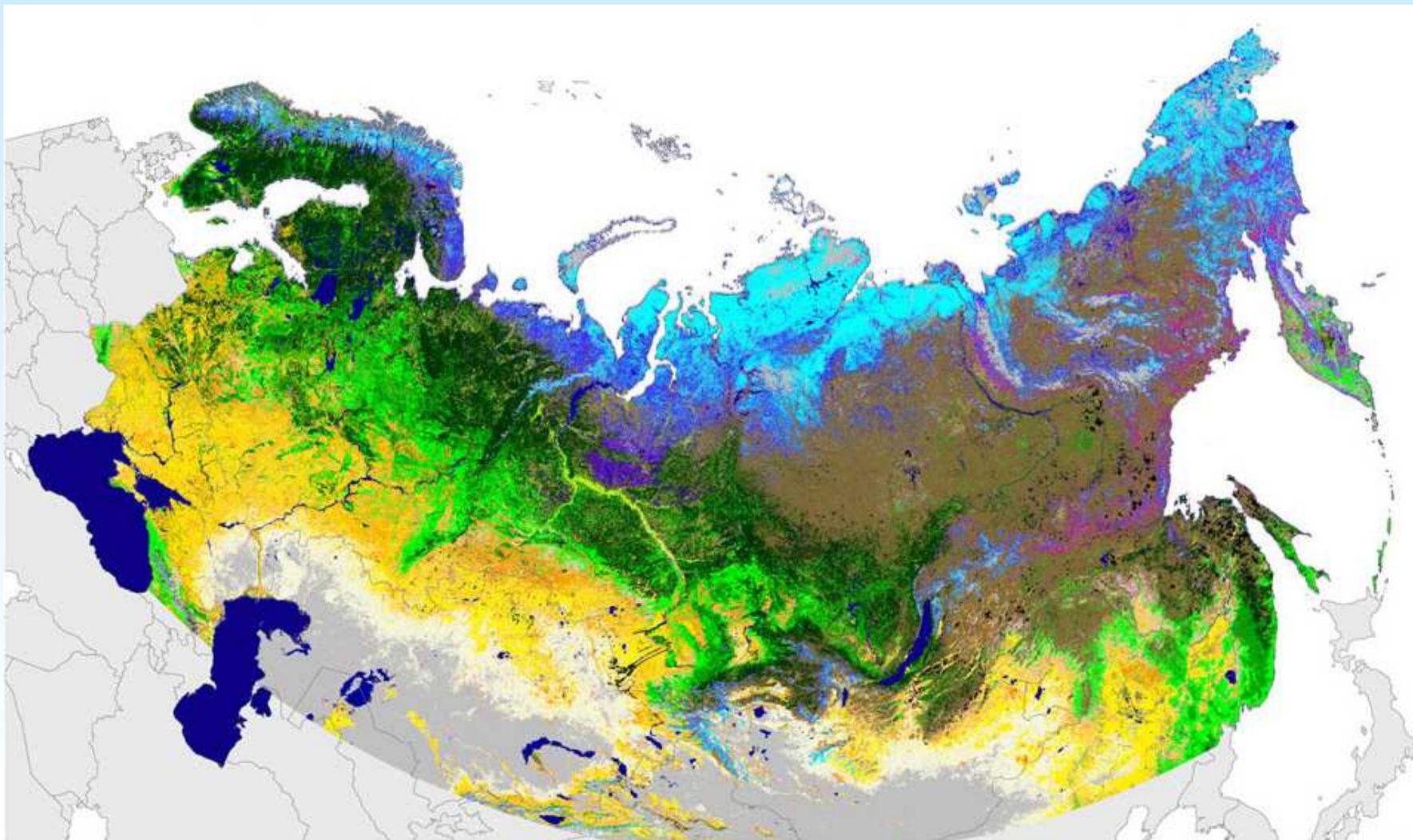
# Блок-схема алгоритма локально-адаптивной классификации



# Вычисление локализованных сигнатур

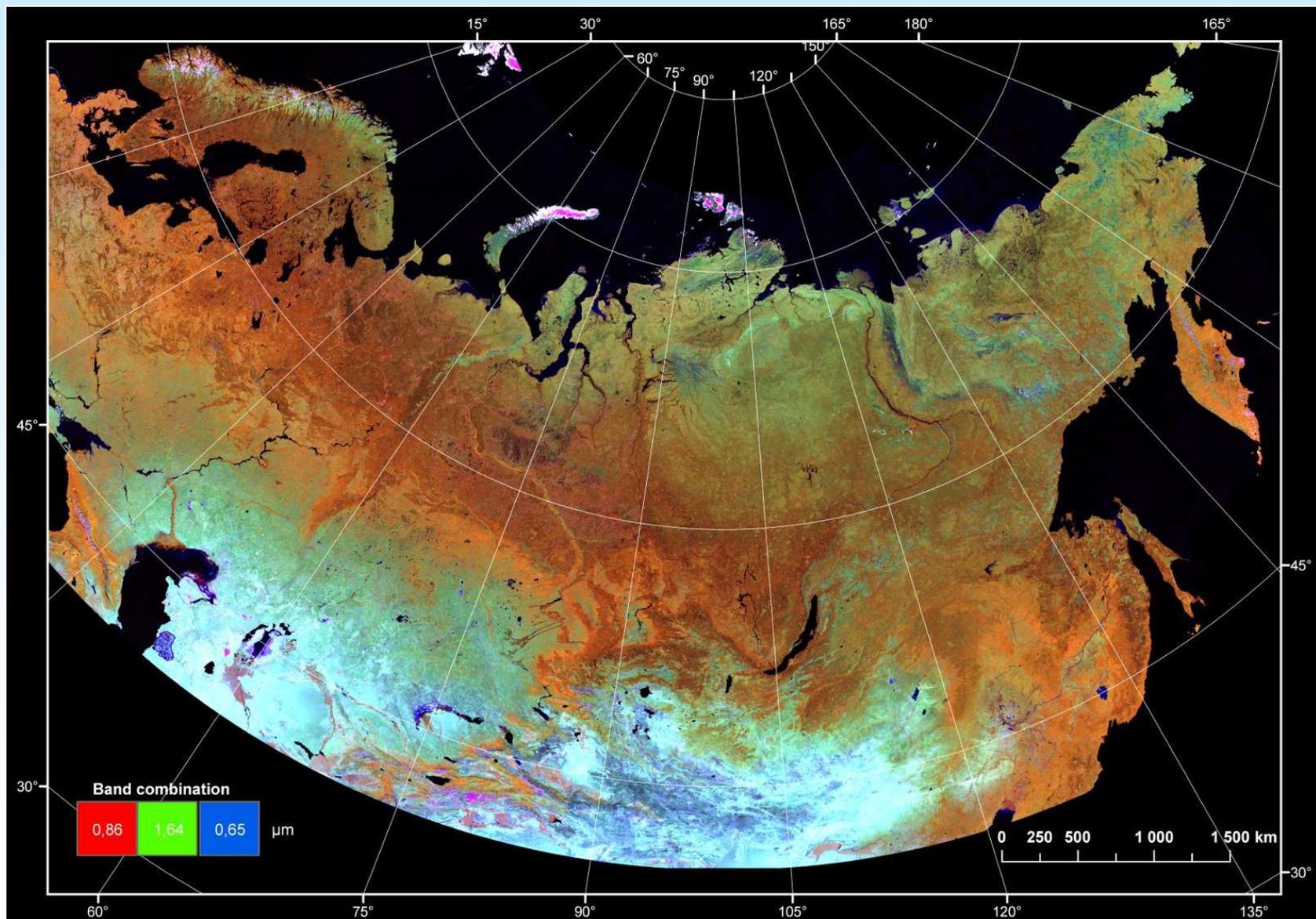


# Карта наземных экосистем Северной Евразии (проект Global Land Cover 2000)

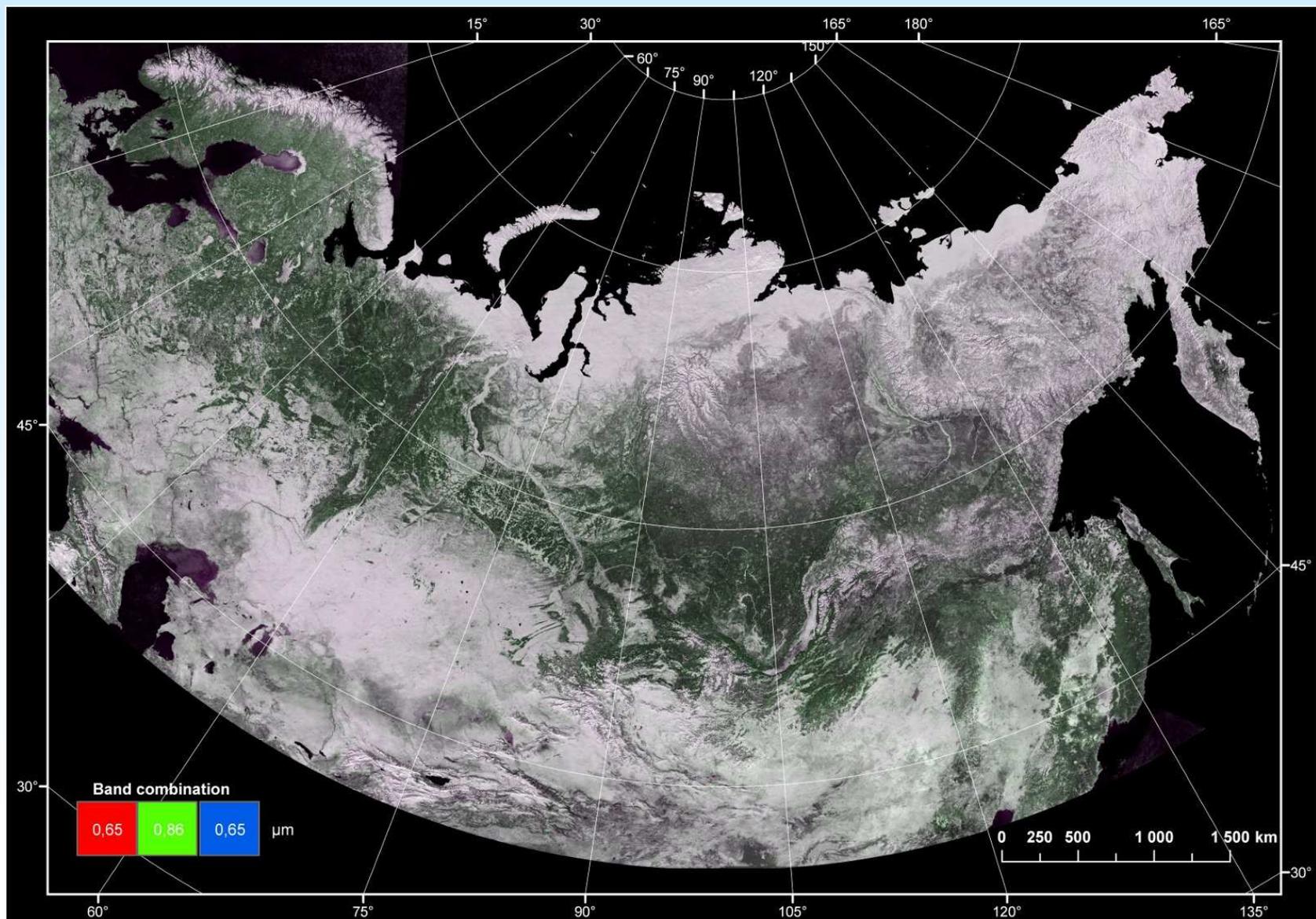


Bartalev, S.A., A.S. Belward, D. V. Erchov, and A. S. Isaev, 2003, A new SPOT4-VEGETATION derived land cover map of Northern Eurasia, International Journal of Remote Sensing, Vol. 24, No. 9, 1977 – 1982

# Композитное изображение Северной Евразии по данным Terra-MODIS летнего периода



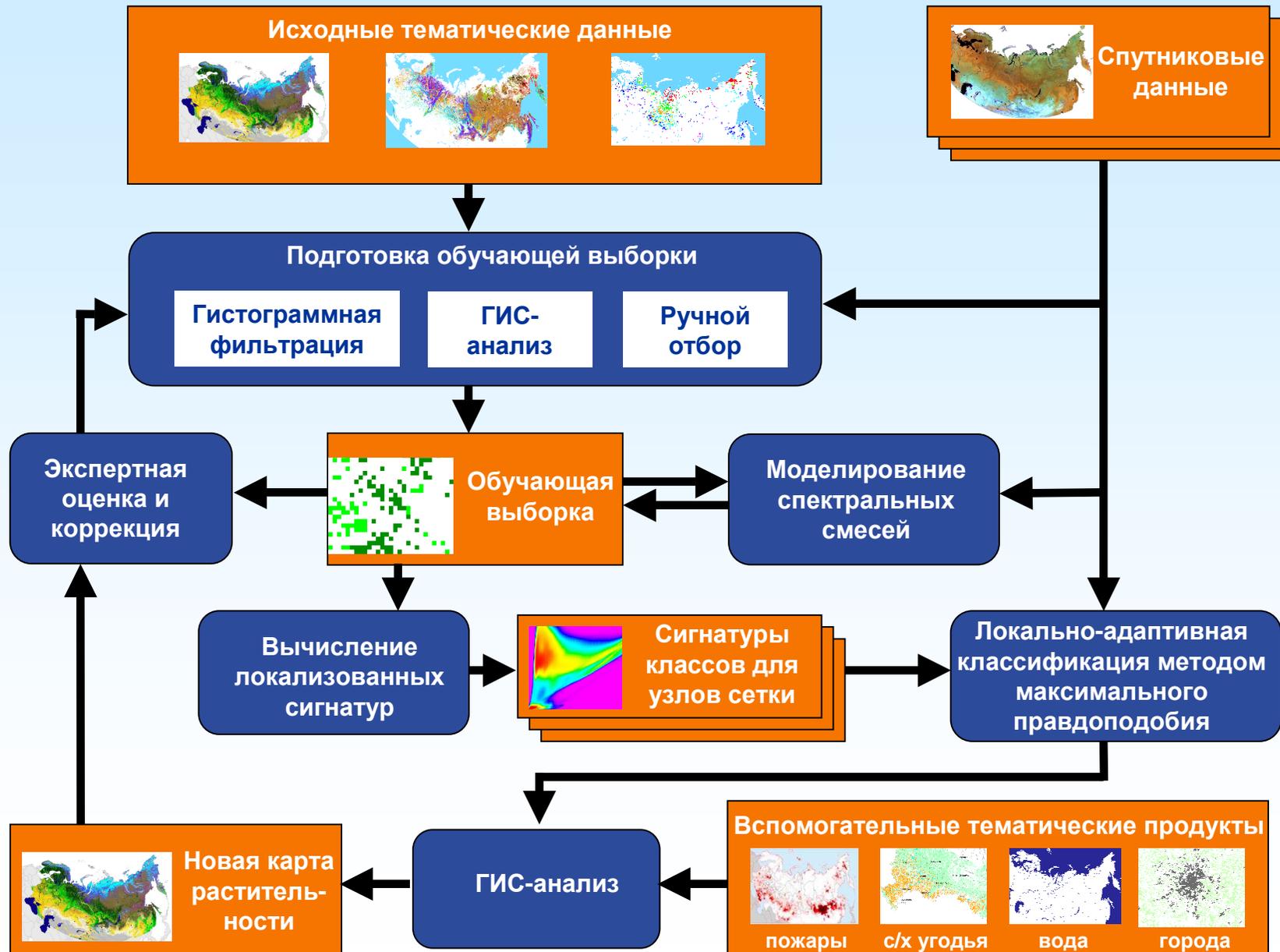
# Композитное изображение Северной Евразии по данным Terra-MODIS зимнего периода



# Объем обрабатываемых данных и временные затраты на классификацию территории России

- Размеры территории, км: **9400 x 5600**
- Размеры изображения, пикселы: **40871 x 24349**
- Дисковое пространство, занимаемое признаками распознавания, Гб: **22**
  - 11 признаков** распознавания, включая:
    - изображения в красном, ближнем ИК и среднем ИК диапазонах за май, июль и сентябрь
    - изображения в красном и ближнем ИК диапазонах за зимний период
- Дисковое пространство, занимаемое результатами классификации, Мб: **949**
- Время классификации, часы: **42** (при использовании 6 процессорных ядер частотой 2 ГГц)

# Блок-схема разработки карты растительности России по данным MODIS



# Карта растительности России



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

**ЛЕСА**

Территориальная принадлежность. Территория в границах страны и за ее пределами. Территория в границах страны и за ее пределами. Территория в границах страны и за ее пределами.

**ТРАВА**

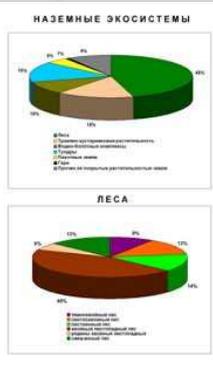
Территориальная принадлежность. Территория в границах страны и за ее пределами. Территория в границах страны и за ее пределами. Территория в границах страны и за ее пределами.

**НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ**

Территориальная принадлежность. Территория в границах страны и за ее пределами. Территория в границах страны и за ее пределами. Территория в границах страны и за ее пределами.

**ЛЕСА**

Территориальная принадлежность. Территория в границах страны и за ее пределами. Территория в границах страны и за ее пределами. Территория в границах страны и за ее пределами.



**КАРТА РАСТИТЕЛЬНОСТИ РОССИИ**

Карта растительности России создана по данным спутниковой системы Terra-MODIS с использованием алгоритмов ИИ ИИИ. Метод картографирования основан на классификации спутниковой информации и других факторах, включая выборку, сопоставление, разделение, интеграцию и утилизацию информации. Метод картографирования основан на классификации спутниковой информации и других факторах, включая выборку, сопоставление, разделение, интеграцию и утилизацию информации.

**АВТОРСКИЙ КОЛЛЕКТИВ**

Карта растительности России создана коллективом Института экологии и географии РАН. Авторы: Баранов С.А., Егоров В.А., Мухоморова М.А., Попович Д.Е., Соколова Е.Н., Степанов В.В., Пурнина Т.А.

Масштаб: 1:5 000 000

# Легенда карты растительности России

## 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, полын, 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 альпoarктических 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.
- Кустарничковая**  
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 полога.
- 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.

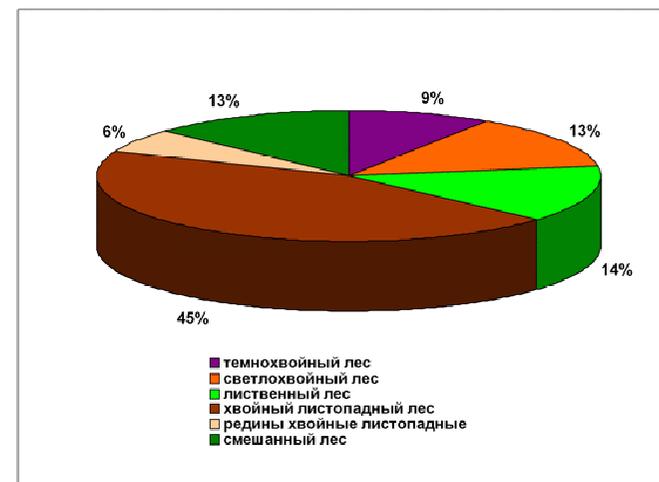
### НЕ ПОКРЫТЫЕ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ЗЕМЛИ

- 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.

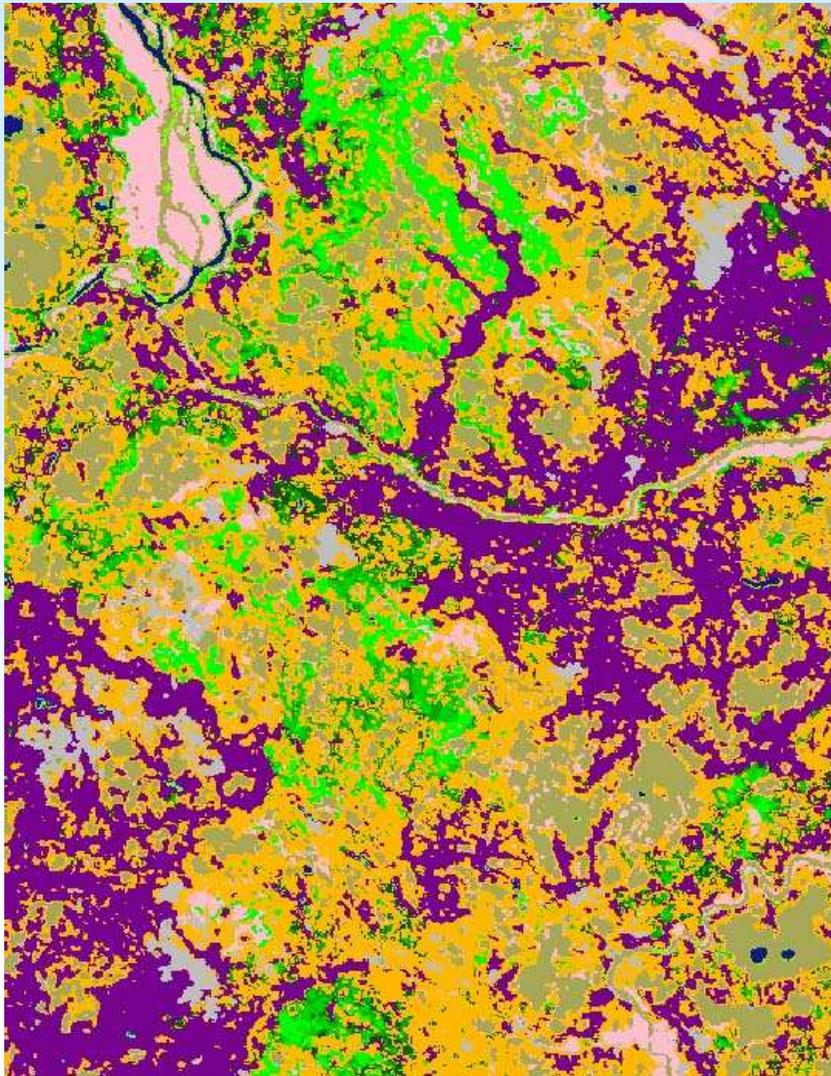
## НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ



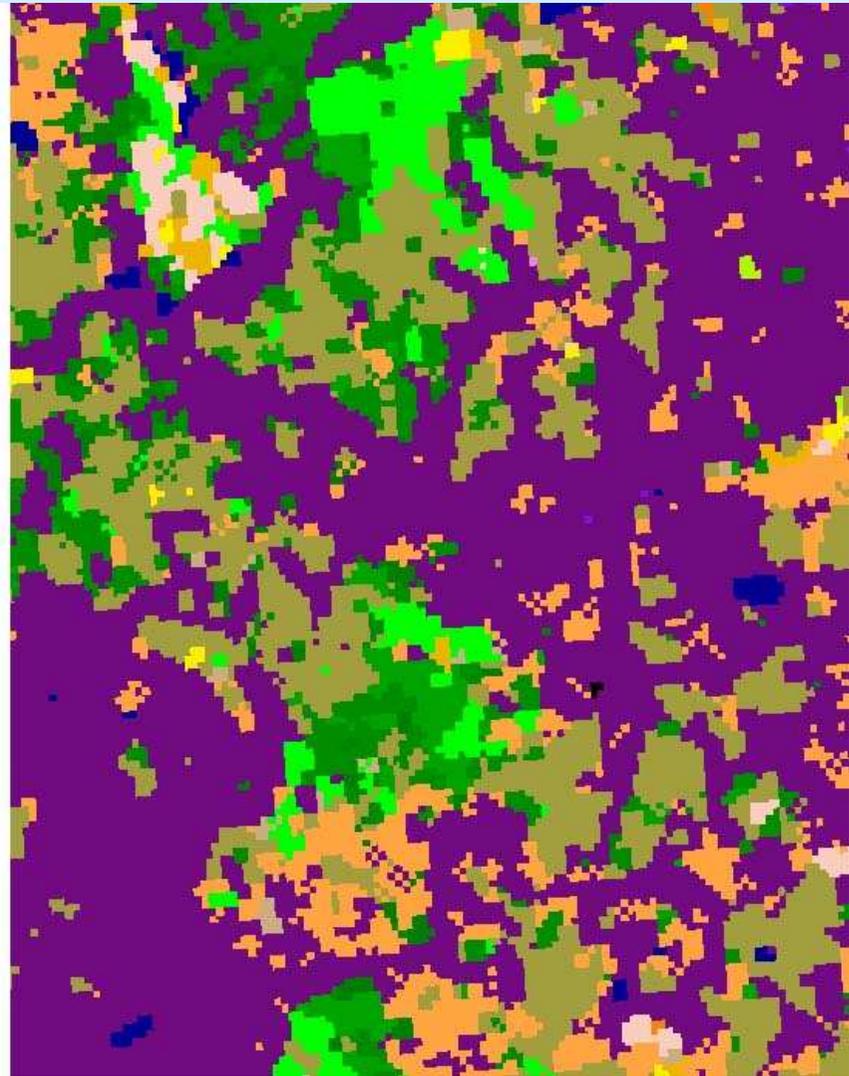
## ЛЕСА



# Сравнение карт TerraNorte RLC и GLC2000: Архангельская область

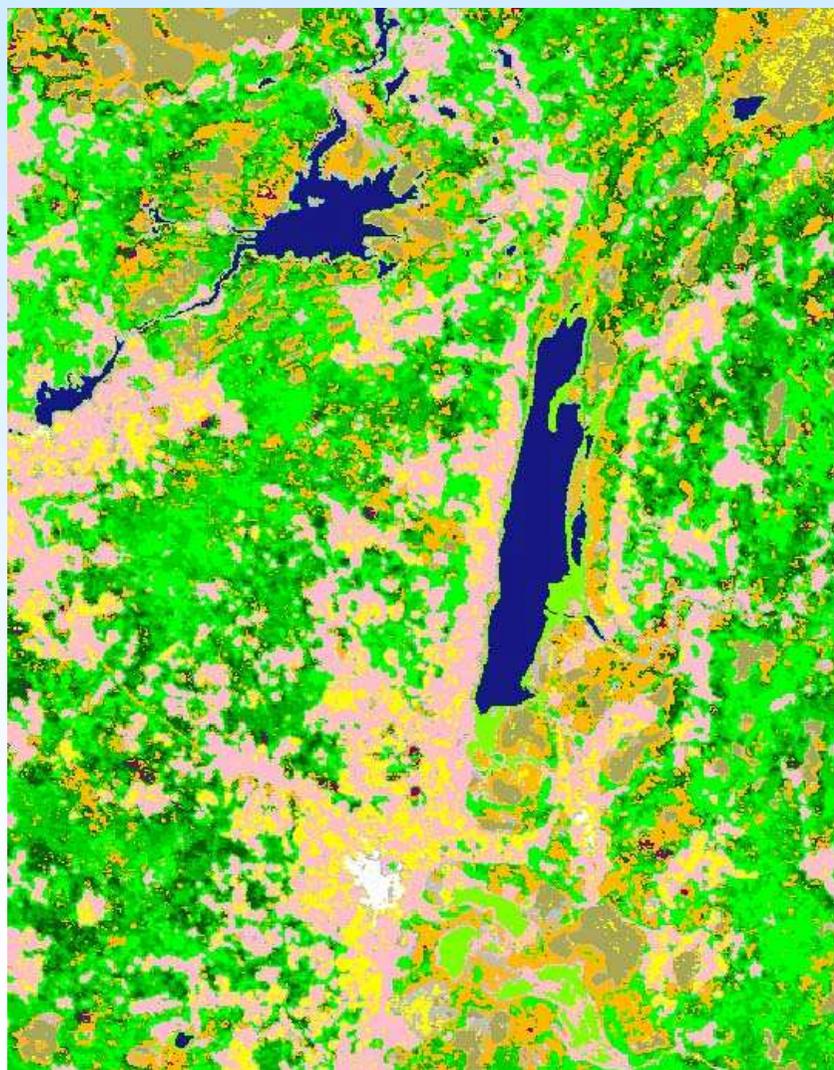


TerraNorte RLC

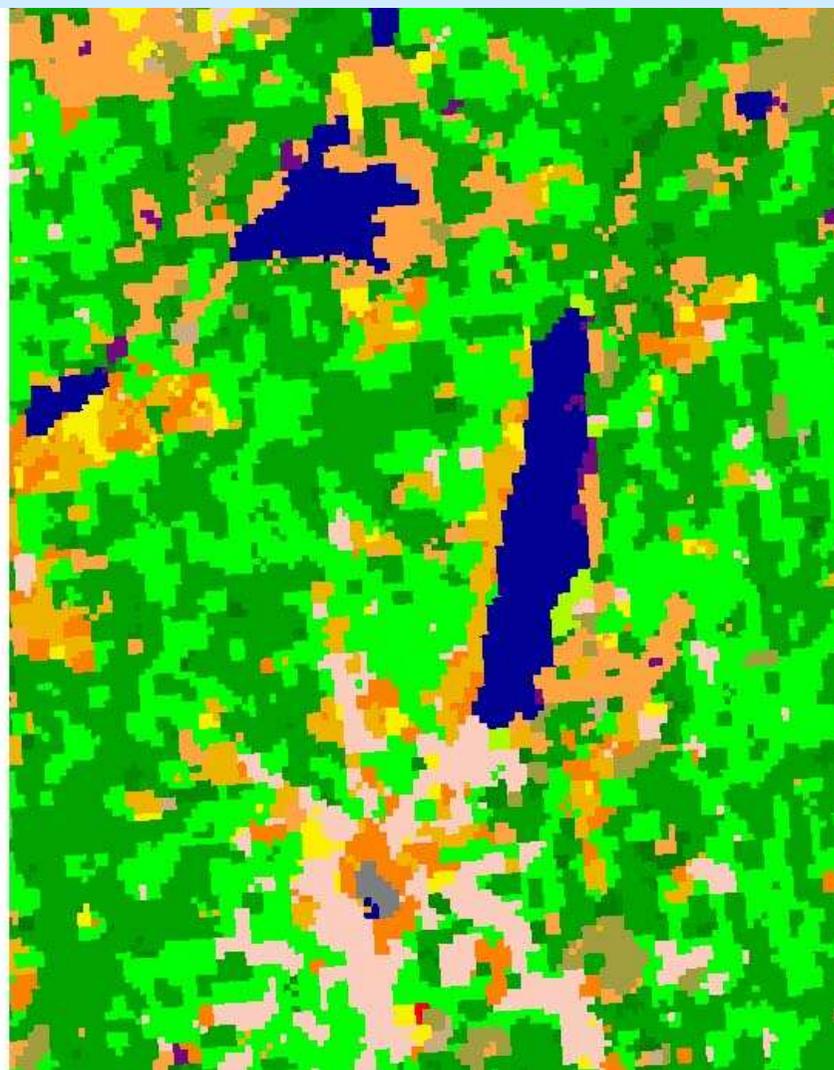


GLC2000

# Сравнение карт TerraNorte RLC и GLC2000: Вологодская область



TerraNorte RLC



GLC2000

# Создание временной серии карт растительности России

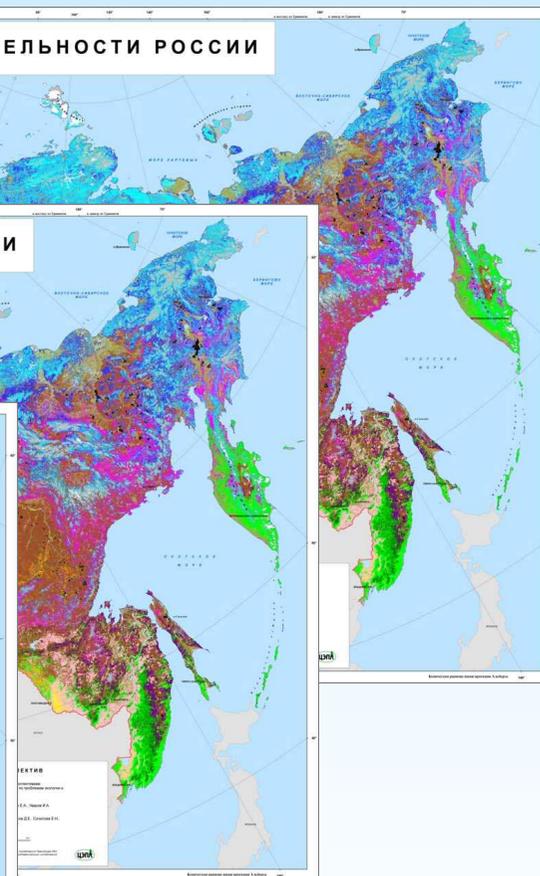
2000



2005



2009

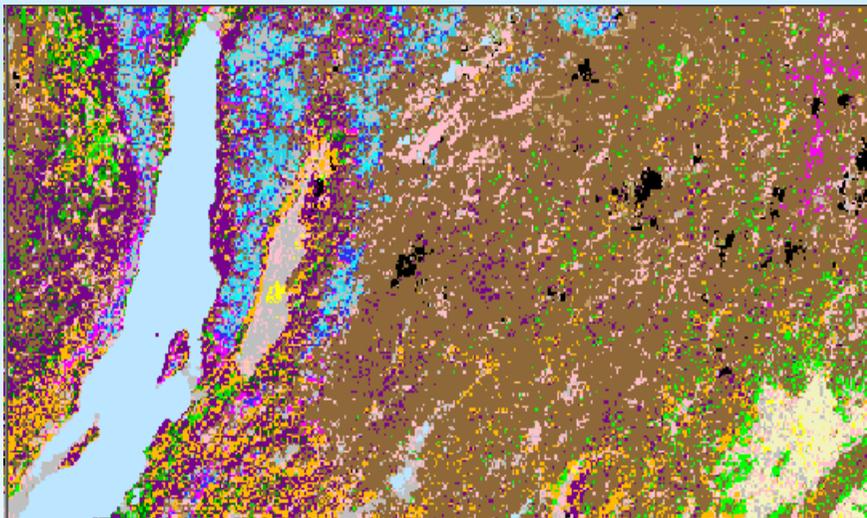


# Изменения покрытой лесом площади в 2000-2009 гг.

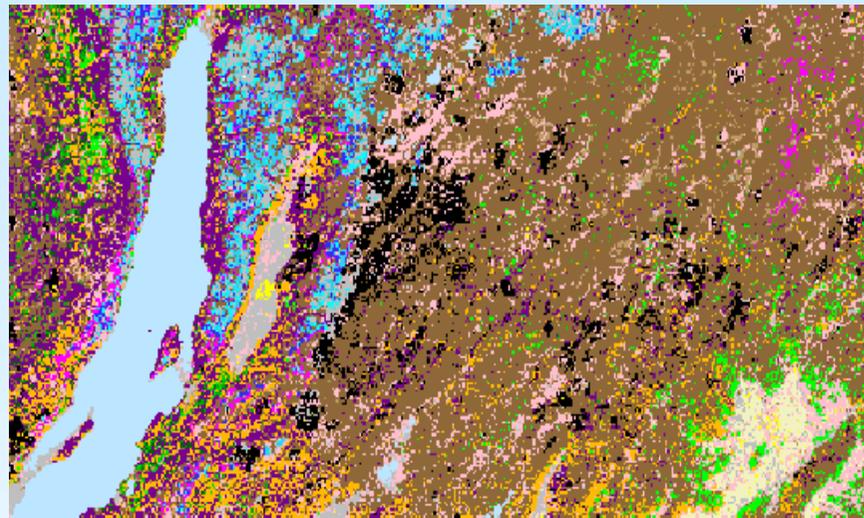


-  покрытая лесом площадь
-  убыль покрытой лесом площади
-  прирост покрытой лесом площади

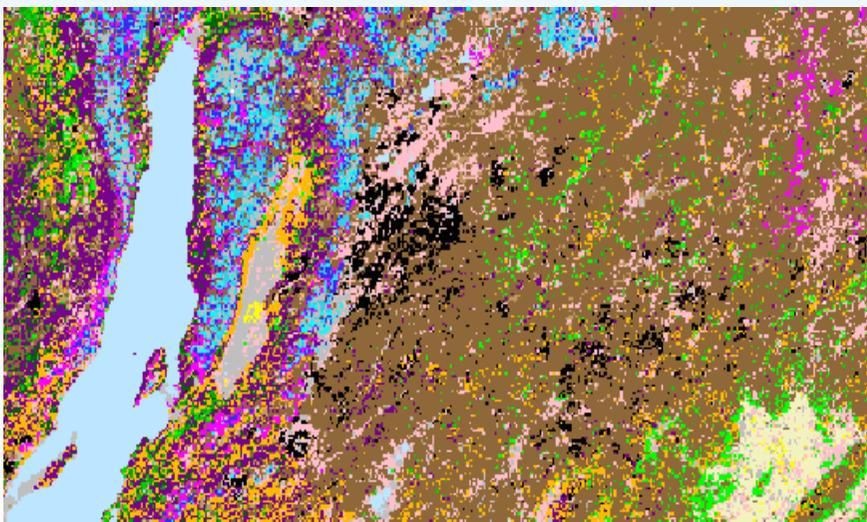
# Изменения покрытой лесом площади в 2000-2009 гг. (Забайкалье)



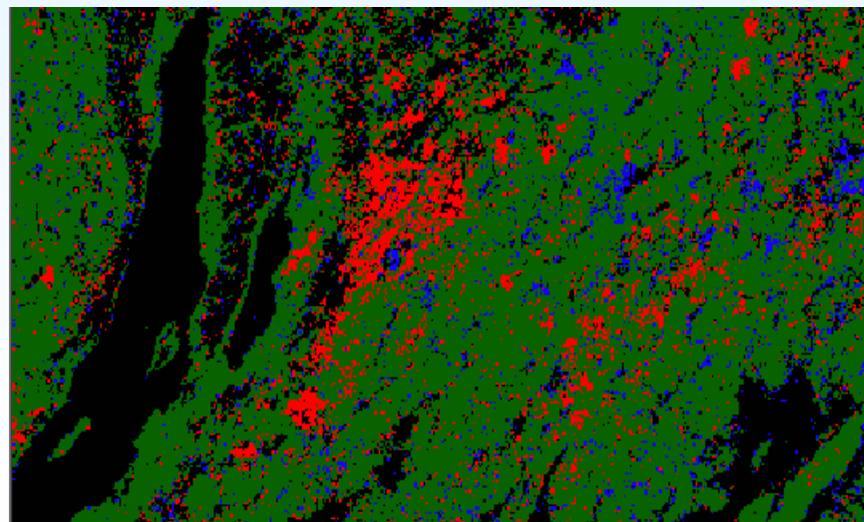
2000 г.



2005 г.



2009 г.



изменения 2000-2009 г.

# Согласованность временной серии

Проблема:

- неустойчивость классификации переходных пикселей

Возможное решение:

- создание единого многолетнего продукта
- оценка правдоподобия изменений растительности

# Временная адаптивность обучаемой классификации

Проблема:

- необходимо использование современных обучающих данных

Возможное решение:

- исключение участков изменений из обучающей выборки
- пополнение обучающей выборки участками достоверной классификации

# Выводы

- технология локально-адаптивной классификации позволяет автоматизированно создавать временные серии карт земного покрова
- необходимо создание единого многолетнего продукта классификации состояния и динамики земного покрова
- необходимо развитие методов временной адаптивности