

Катаев М.Ю., Зиновьев А.В., Чмель Е.А.

**Учет рельефа и отражательной способности
поверхности при предварительной обработке
спутниковых данных отраженного солнечного
излучения**

**Accounting of the relief and spectral reflecting of earth
surface in preprocesing of reflected solar radiation
satellite data**

Катаев М.Ю., Катаев С.Г., Андреев А.Г., Базелюк С.А.

**Сравнение непараметрических подходов к
восстановлению общего содержания CO₂ из
спутниковых измерений.**

**Comparison of the nonparametric approaches to
retrieving of the CO₂ total content from satellites
measurements**

Томский университет систем управления и радиоэлектроники

СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ ПРИБОРОВ ИЗМЕРЕНИЯ CO₂ и CH₄

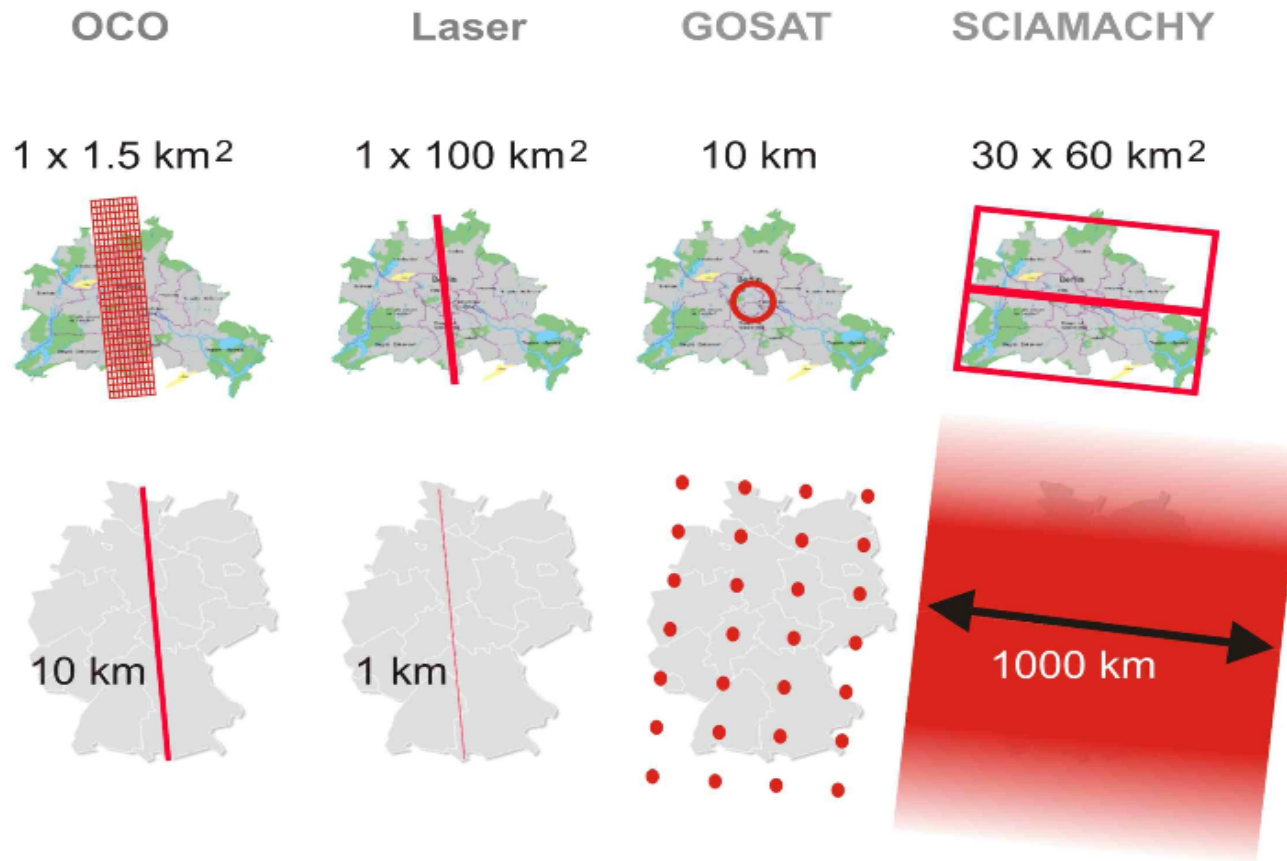
| | SCIAMACHY | GOSAT | OCO |
|---------------------------------------|--|---|---|
| Tropospheric Gases Measured | O ₃ , O ₄ , N ₂ O, NO ₂ , CH ₄ , CO, CO ₂ , H ₂ O, SO ₂ , HCHO | CO ₂ , CH ₄ , O ₂ , O ₃ , H ₂ O* *red-> TIR Channel | CO ₂ , O ₂ |
| Instruments | 8-Channel Grating Spectrometer | SWIR/TIR FTS, CAI | 3-Channel Grating Spectrometer |
| Viewing Modes | Limb / Nadir | Nadir / Glint ($\pm 35^\circ$) | Nadir / Glint / Target |
| IFOV/Swath (km) | 30 x 60 / 960 | FTS: 10.5 / 80-790 | 1.29 x 2.25 / 5.2 |
| Samples/day | 8600 | 18700 | 500,000 |
| Spectral Ranges (μm) | 0.24–0.44, 0.4–1.0, 1.0–1.7, 1.94–2.04, 2.265–2.38 | 0.758–0.775, 1.56–1.72, 1.92–2.08, 5.56–14.3 | 0.757–0.772, 1.59–1.62, 2.04–2.08 |
| SNR (nadir, 5% albedo) | <100 @ 1.57 μm | ~120 @ 1.56–1.72 μm ~120 @ 1.92–2.08 | >300 @ 1.59–1.62 μm >240 @ 2.04–208 μm |
| X _{CO₂} Precision | 4 - 6 ppm goal | 3 – 4 ppm (1ppm goal) | 1 ppm |
| Orbit Altitude | 800 km | 666 km | 705 km |
| Local Time | 10:00 | 13:00 \pm 0:15 | 13:30 \pm 0:1.5 |
| Revisit Time | 35 Days/501 | 3 Days/44 Orbits | 16 Days/233 Orbits |
| Launch Date | March 2002 | January 2009 | February 2009 |
| Nominal Life | 7+ Years | 5 Years | 2 Years |

СРАВНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СПУТНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

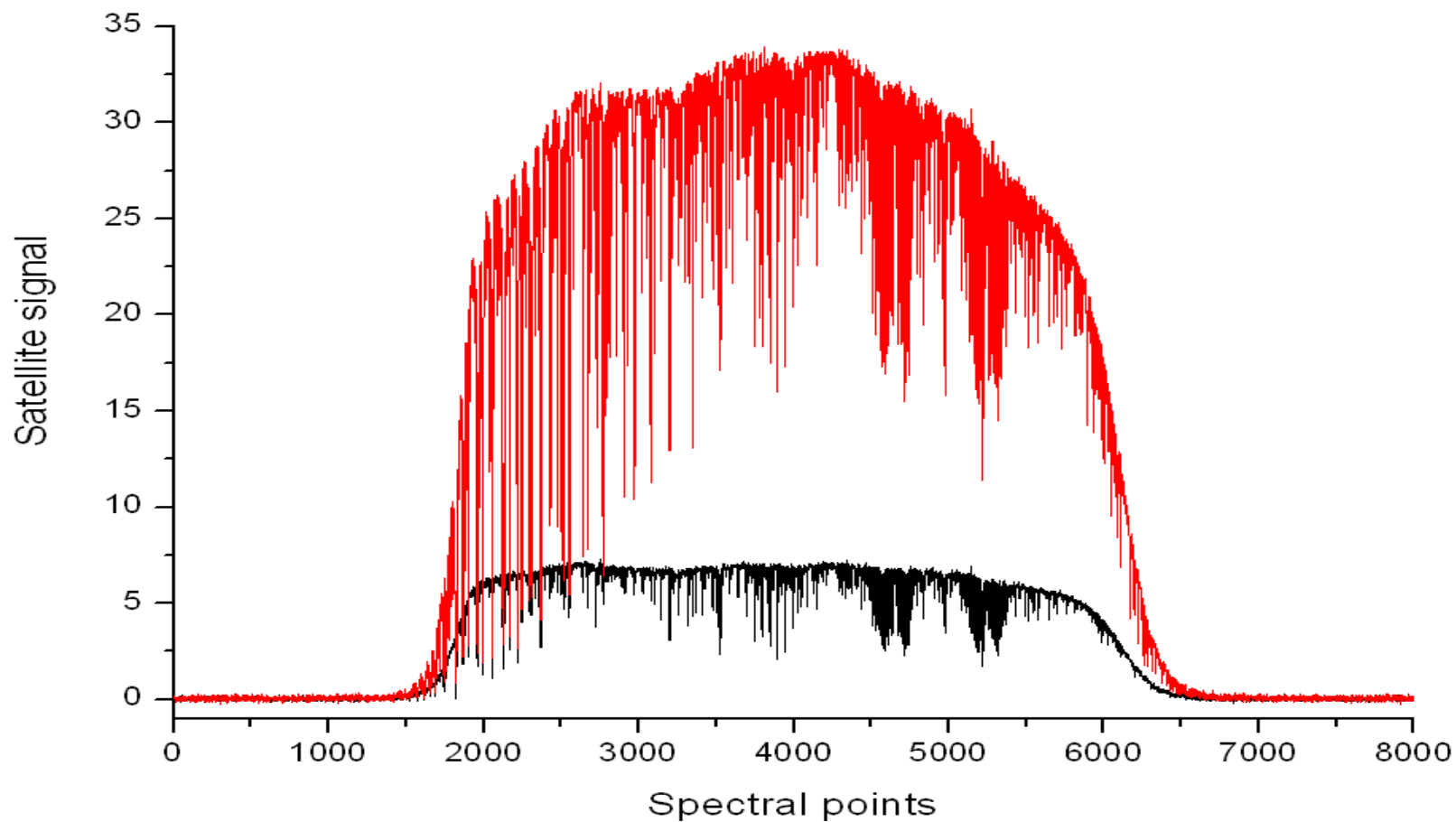


| Measurement Method | Instrument | CO ₂ Measurement | Measurement Precision | Down-track Sampling |
|--------------------|------------|-----------------------------|-----------------------|---------------------|
| Reflected Sunlight | OCO | Total Column | 1 ppm | 2.3 km |
| | SCIAMACHY | Total Column | 3-10 ppm | 60 km |
| | GOSAT | Total Column | 4 ppm | 10.5 km |
| Thermal Emission | AIRS | Mid-Trop | 1 – 2 ppm | 45 km |
| | IASI | Mid-Trop | 38 ppm | 100 km |
| | TES | Mid-Trop | ~5 ppm | ~50 km |
| Active (LIDAR) | ASCOPE | Lower-trop | 2 – 4 ppm | ~100 km |
| | ASCENDS | Lower-trop | 2 – 4 ppm | ~100 km |

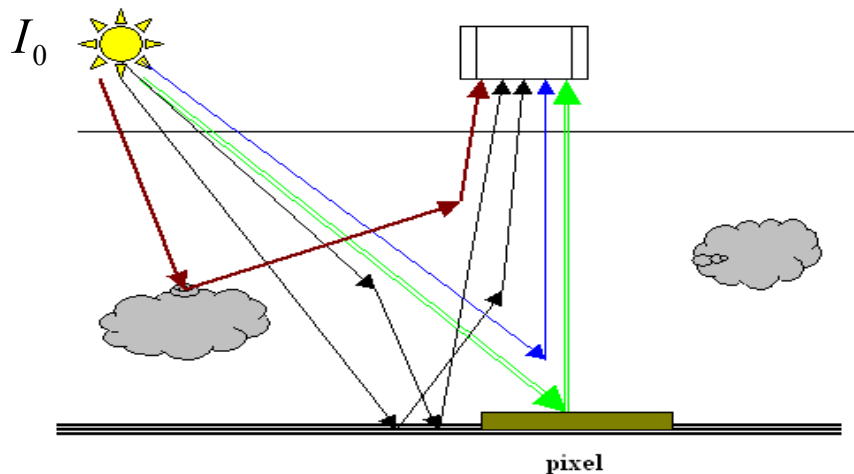
ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАЗРЕШЕНИЕ



Сигнал второго канала (1.6 мкм) прибора GOSAT



Формирование измеряемого сигнала



$$I(\lambda, \varphi) = I_1(\lambda, \varphi) + I_2(\lambda, \varphi)$$

I_1 - спектр отраженного от поверхности солнечного излучения.

I_2 - спектр рассеянного в атмосфере солнечного излучения.

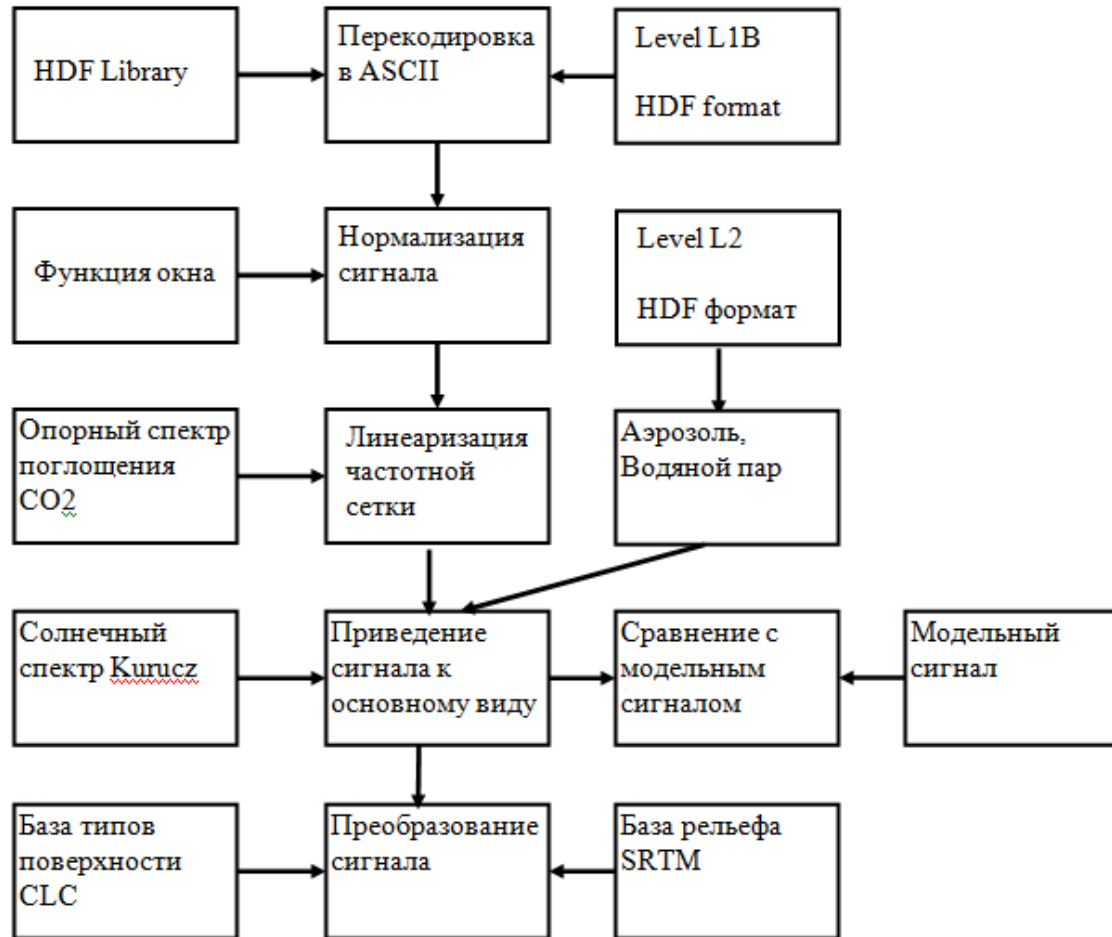
$$I_1(\lambda, \varphi) = I_0(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot \rho_{Surf} \cdot \tau(\lambda, \varphi, W_{Co2})$$

ε - коэффициент отражения, зависит от типа поверхности

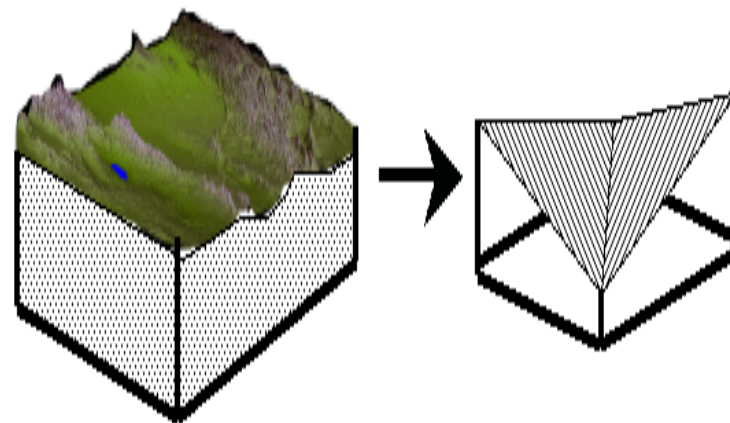
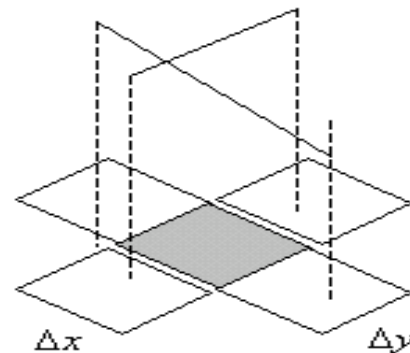
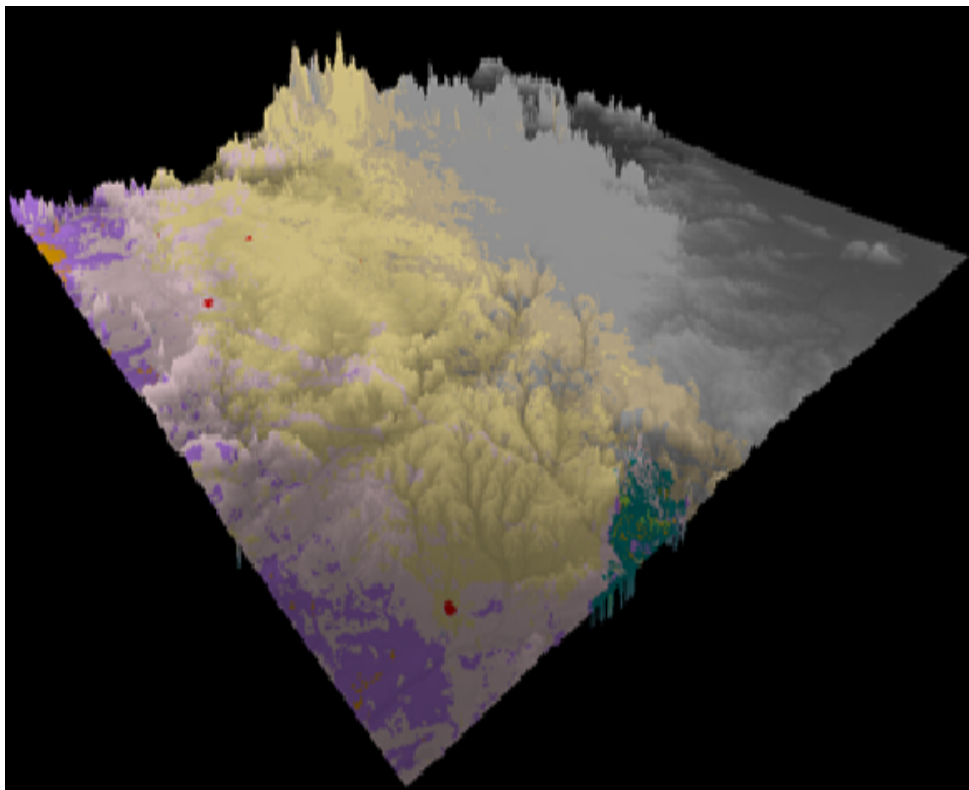
ρ_{Surf} - параметр, характеризующий рельеф.

τ - пропускание атмосферы

Предварительная обработка сигналов GOSAT

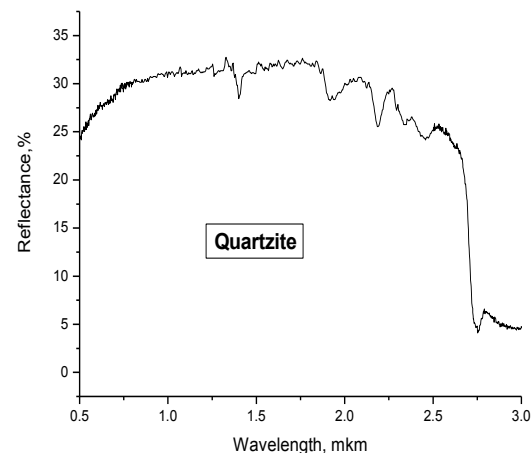
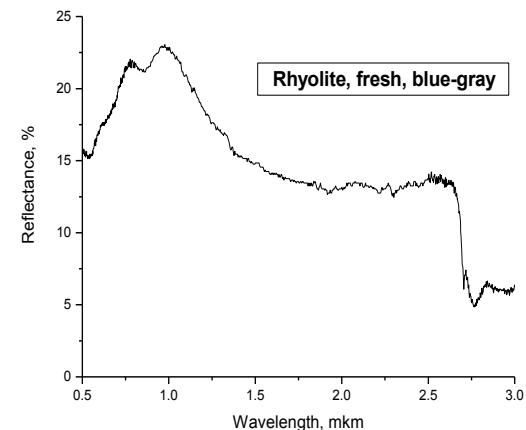


Изображение рельефа текстурированного типами поверхности



Типы поверхности и отражательная способность поверхности для исследуемой области

| | |
|-------------|--|
| 2.058983%□ | Tree·Cover·,·broadleaved·,·evergreen□ |
| 0.000000%□ | Tree·Cover·,·broadleaved·,·deciduous·,·closed□ |
| 35.717583%□ | Tree·Cover·,·broadleaved·,·deciduous·,·open□ |
| 0.000000%□ | Tree·Cover·,·needle-leaved·,·evergreen□ |
| 15.377617%□ | Tree·Cover·,·needle-leaved·,·deciduous□ |
| 0.000000%□ | Tree·Cover·,·mixed-leaf-type□ |
| 0.000000%□ | Tree·Cover·,·regularly-flooded·,·fresh·water□ |
| 9.508705%□ | Tree·Cover·,·regularly-flooded·,·saline·water□ |
| 1.512241%□ | Mosaic·:·Tree-cover·/·Other·natural·vegetation□ |
| 6.068516%□ | Tree·Cover·,·burnt□ |
| 0.685120%□ | Shrub·Cover·,·closed-open·,·evergreen□ |
| 0.004864%□ | Shrub·Cover·,·closed-open·,·deciduous□ |
| 2.940559%□ | Herbaceous·Cover·,·closed-open□ |
| 0.760174%□ | Sparse·Herbaceous·or·sparse·Shrub·Cover□ |
| 0.080395%□ | Regularly-flooded·Shrub·and/or·Herbaceous·Cover□ |
| 0.000000%□ | ·Cultivated·and·managed·areas□ |
| 0.040913%□ | Mosaic·:·Cropland·/·Tree·Cover·/·Other·natural·vegetation□ |
| 0.000000%□ | Mosaic·:·Cropland·/·Shrub·or·Grass·Cover□ |
| 25.222015%□ | Bare·Areas□ |
| 0.000954%□ | Water·Bodies□ |
| 0.009346%□ | Snow·and·Ice□ |
| 0.012016%□ | Artificial·surfaces·and·associated·areas□ |



Непараметрические методы восстановления общего содержания CO₂ и CH₄

1. Метод эмпирических ортогональных функций;
2. Метод случайных деревьев;
3. Метод нейронных сетей.

Общая идея работы непараметрических алгоритмов

Имеющаяся выборка пары {СИГНАЛ-ОТВЕТ} делится на две группы, одна из которых обучающая и другая тестовая.

- ***Обучение***

Нахождение коэффициентов

- ***Тест***

Проверка работоспособности и вычисление погрешности восстановления

- ***Работа***

Обработка сигналов

Метод эмпирических ортогональных функций

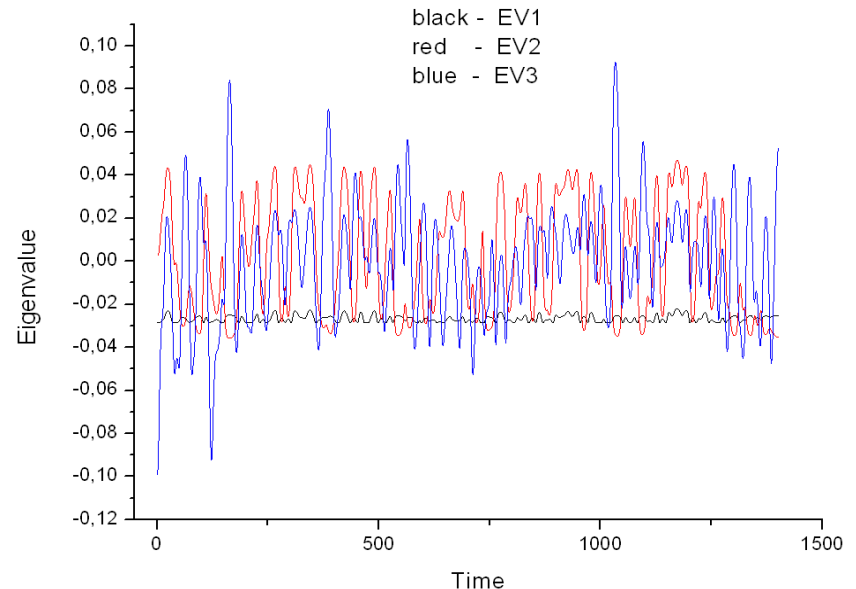
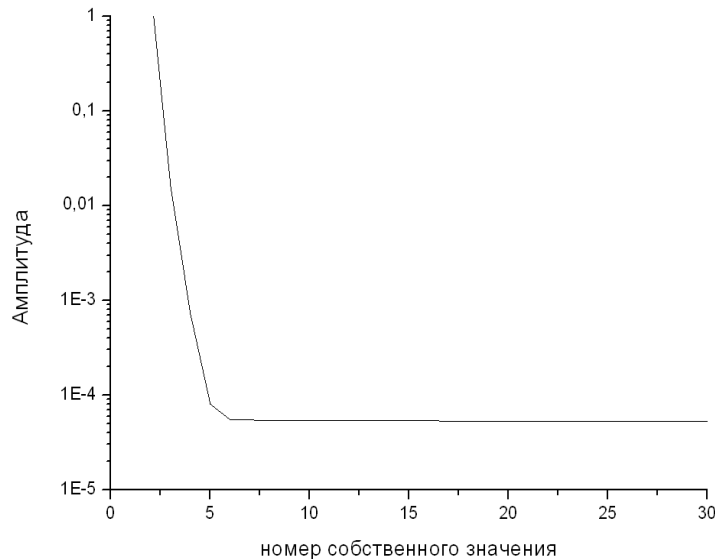
$$Y(i, j) = F(x(j))$$

здесь Y – измеряемый сигнал, F – функционал, описывающий трансформацию излучения Солнца в ближней ИК области спектра по трассе измерений и X – искомый параметр.

$$\sum_{j=1}^m C(i, j)E(j, k) = \Lambda(k)E(i, k)$$

$$C(i, l) = \sum_{j=1}^n (Y(i, j) - \bar{Y}(j))(Y(l, j) - \bar{Y}(l))$$

здесь C – корреляционная матрица, E – собственные вектора

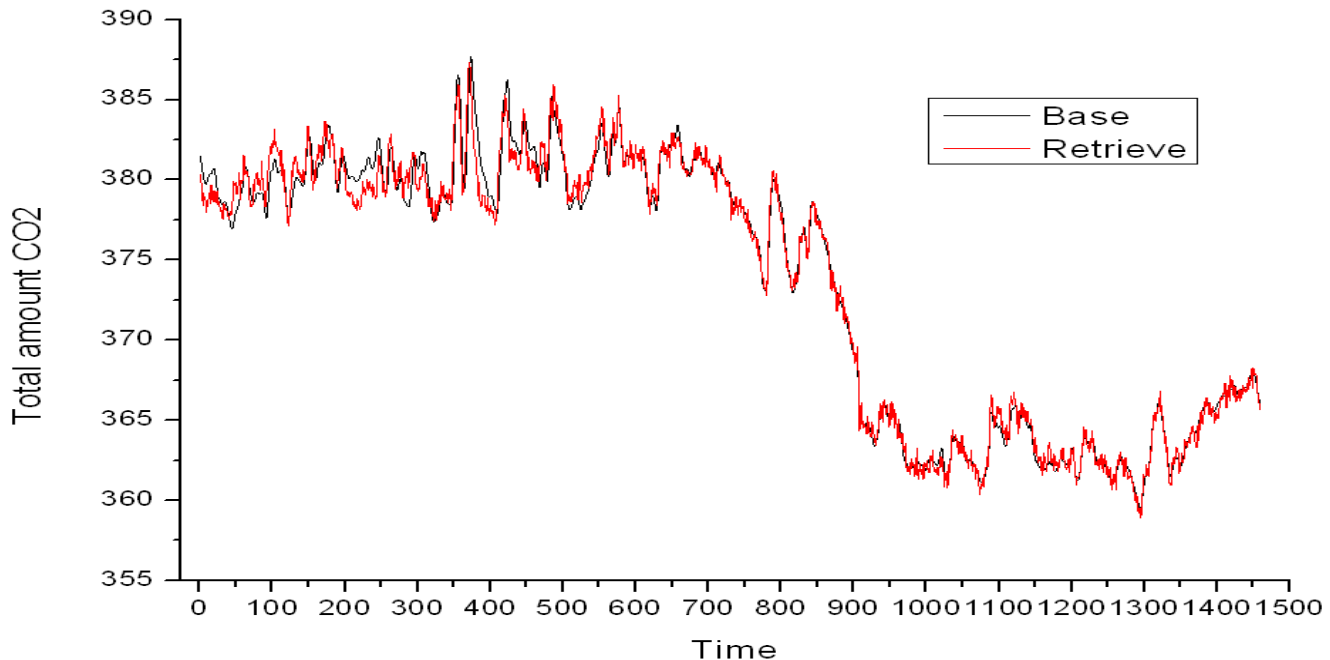
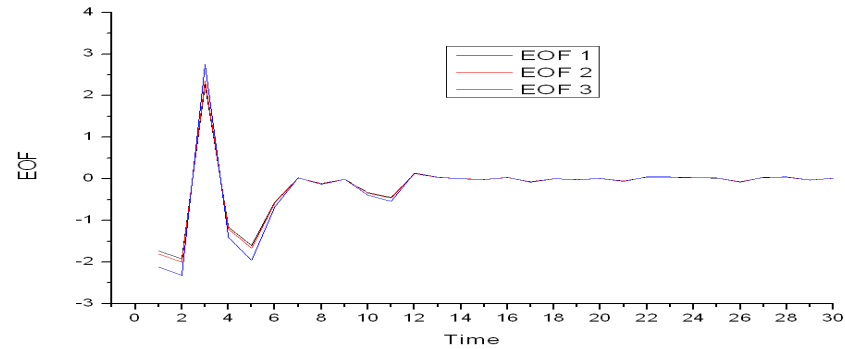


Метод эмпирических ортогональных функций

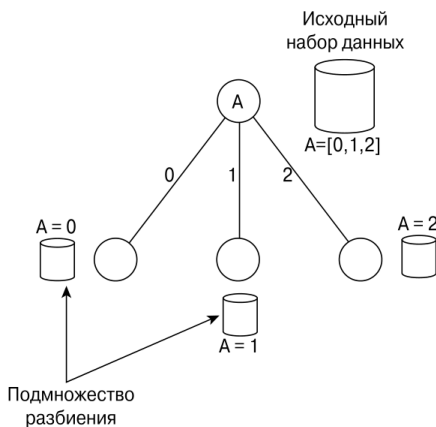
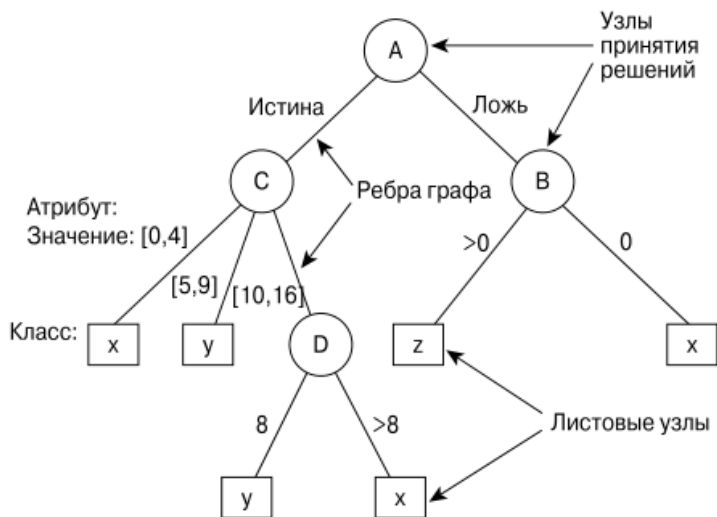
На основе собственных векторов можно построить главные компоненты или ЭОФ:

$$G(i, k) = \sum_{j=1}^m E(j, i)(Y(j, k) - \bar{Y}(j))$$

$$X_R = \sum_{j=1}^p A(j) \sum_{l=1}^p E(l, j)(Y(l) - \bar{Y}) + \bar{X}$$



Метод случайных деревьев



Обучение случайного леса в задаче регрессии

Ключевая идея метода заключается в том, что мы влияем на построение деревьев, меняя распределение вероятностей по переменным, которое определяет состав случайной выборки при построении очередного ветвления. Для множества переменных $\{x_i\}$ введём веса W_i , которые определяют распределение вероятностей p_i следующим образом:

$$p_i = \frac{W_i}{\sum_j W_j} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (1)$$

Веса W_i , вообще говоря, обновляются после построения очередного дерева. Начальные значения выбираются исходя из априорных знаний; мы использовали равномерную инициализацию:

$$W_i(0) = W_0, i = \overline{1, n} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (2)$$

Стратегия обновления выбрана таким образом, что ожидаемое изменение веса в результате построения дерева с номером t не зависит от текущего ансамбля из $t-1$ дерева:

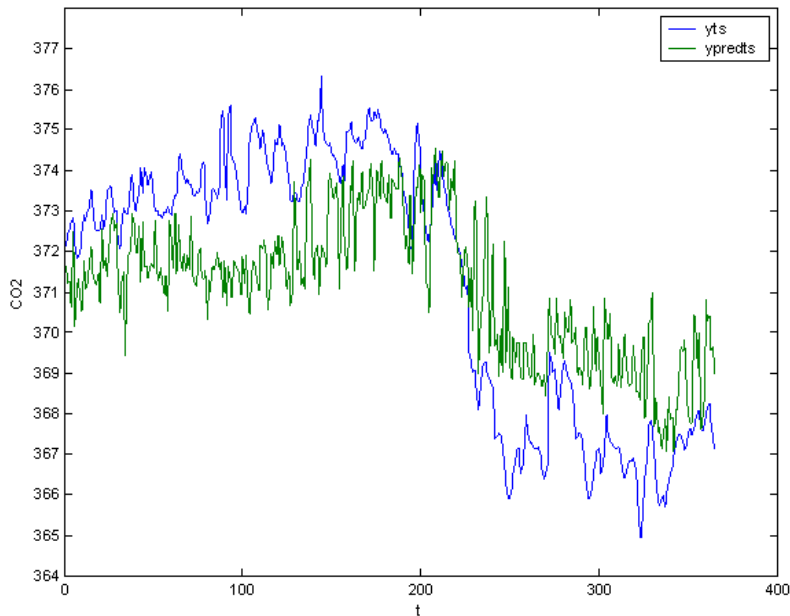
$$w_i(t) = w_i(t-1) + \frac{VI(t, x_i)}{p_i^{S_i}(t-1)} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (3)$$

Здесь $p_i^{S_i}$ — вероятность переменной i войти в выборку, S_i — размер выборки. $p_i^{S_i}$ можно легко получить для выборки с возвращением — она равна:

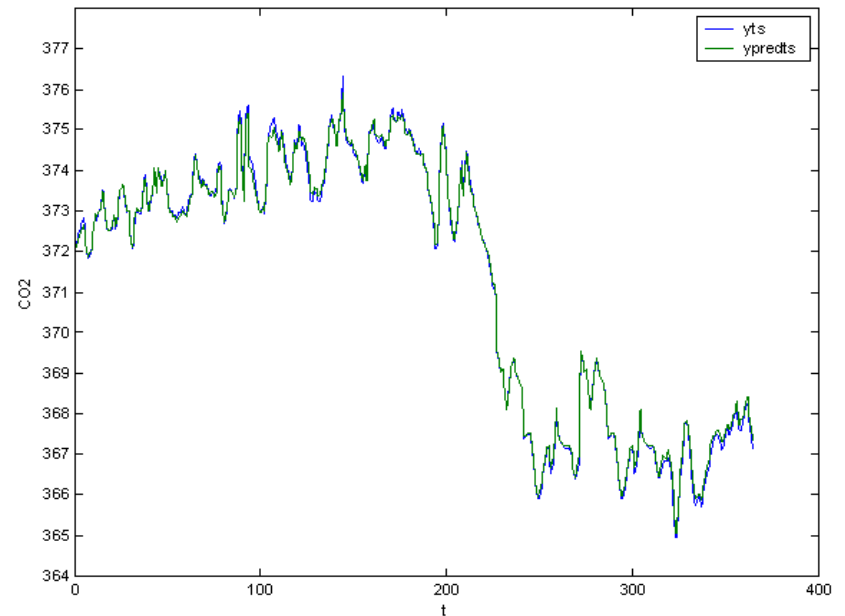
$$p_i^{S_i}(t) = 1 - (1 - p_i(t))^S \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow (4)$$

Метод случайных деревьев

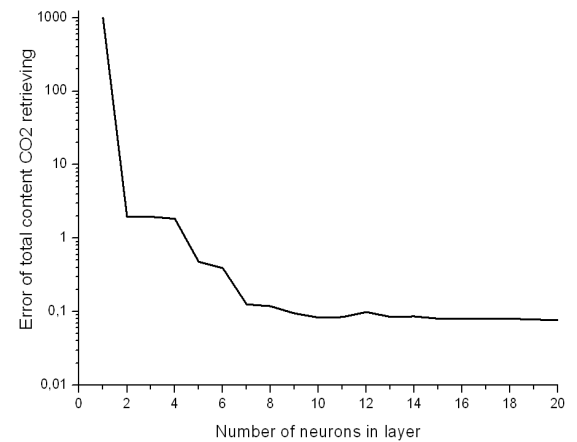
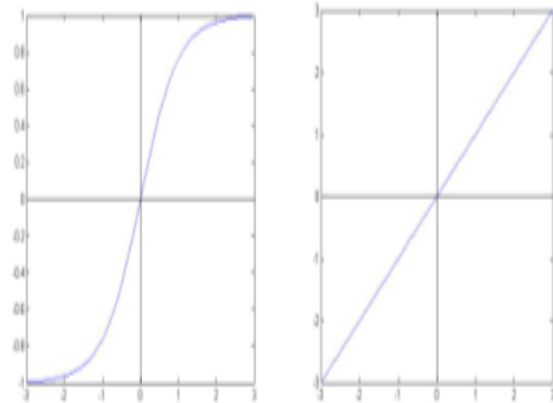
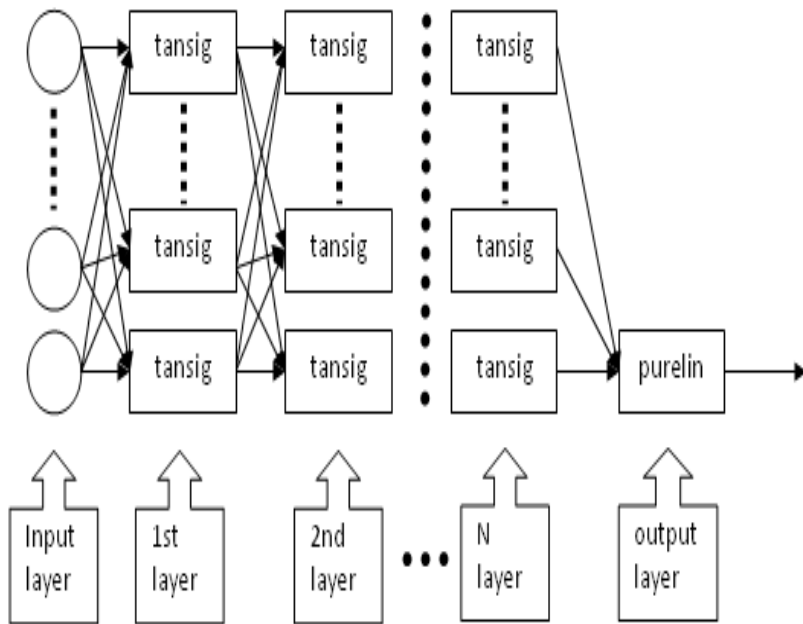
Восстановление тестовой выборки значений общего содержания CO₂ при количестве деревьев равным 10



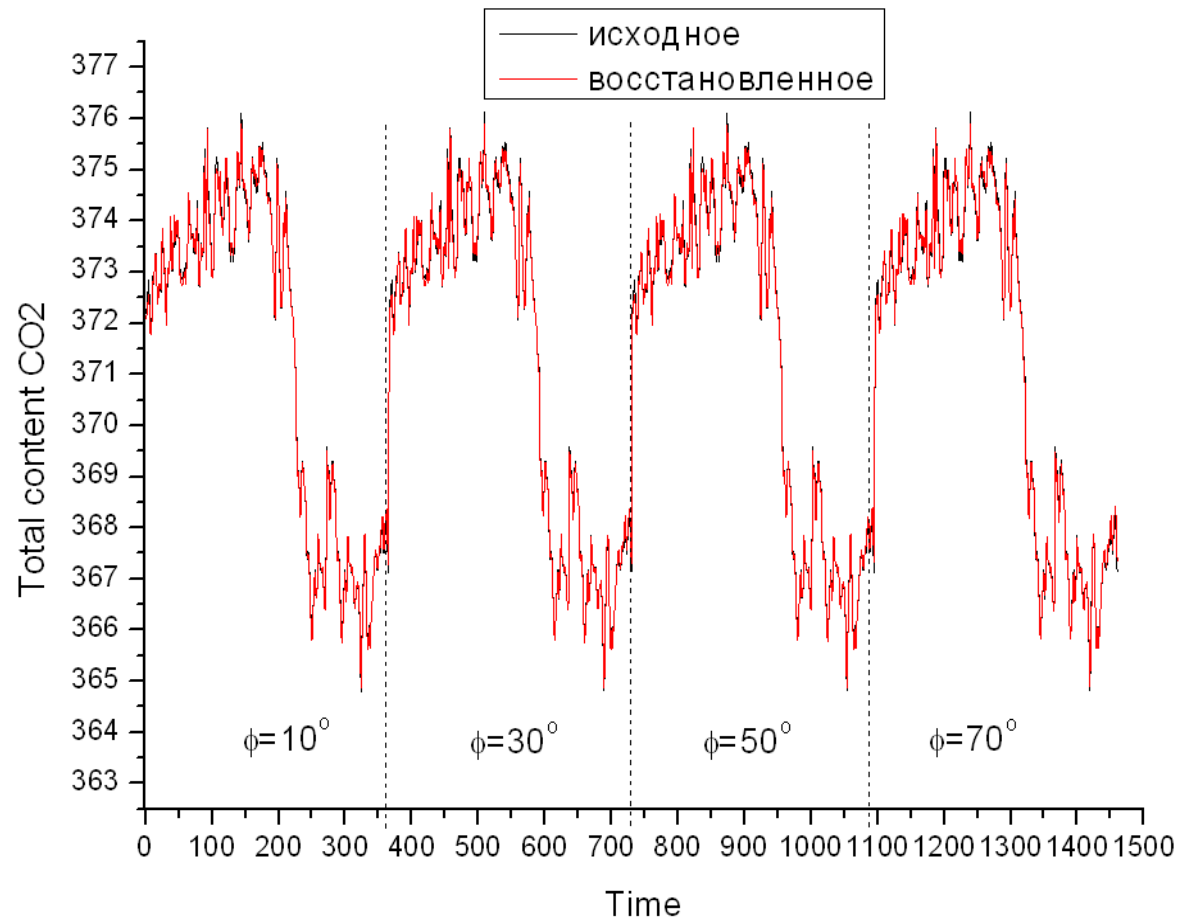
Восстановление тестовой выборки значений общего содержания CO₂ при количестве деревьев равным 60



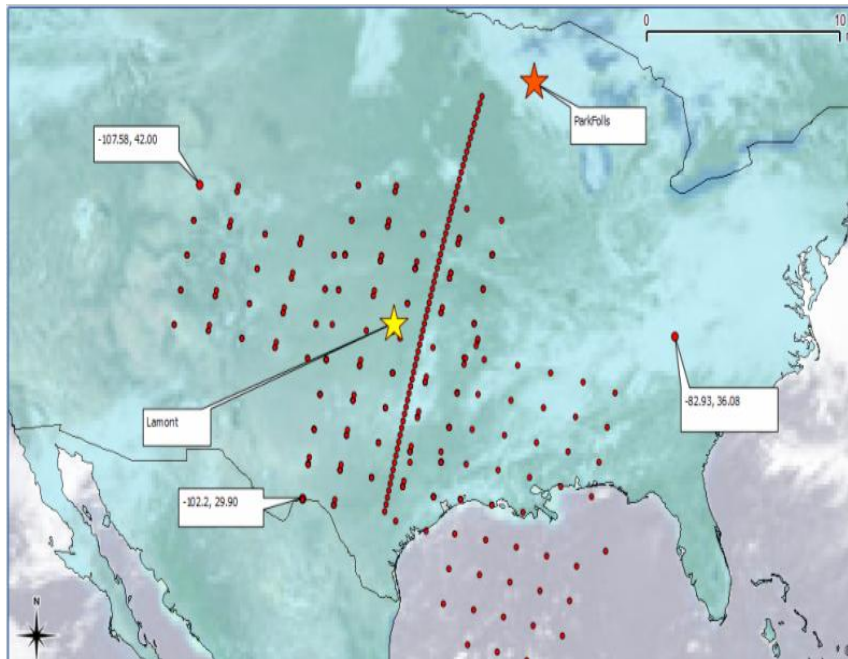
Метод нейронных сетей



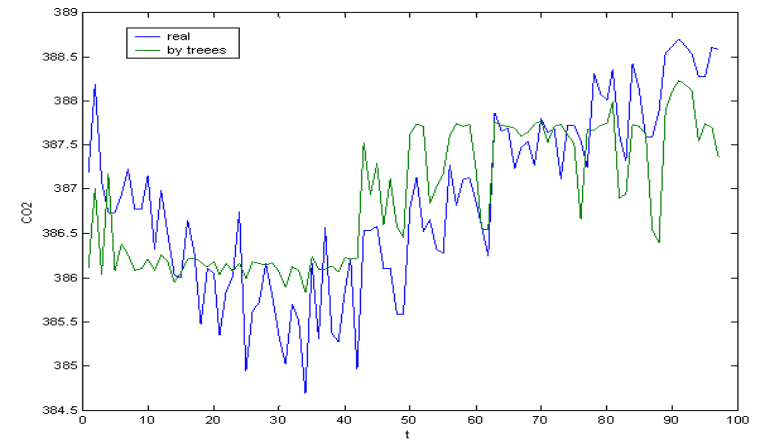
Метод нейронных сетей



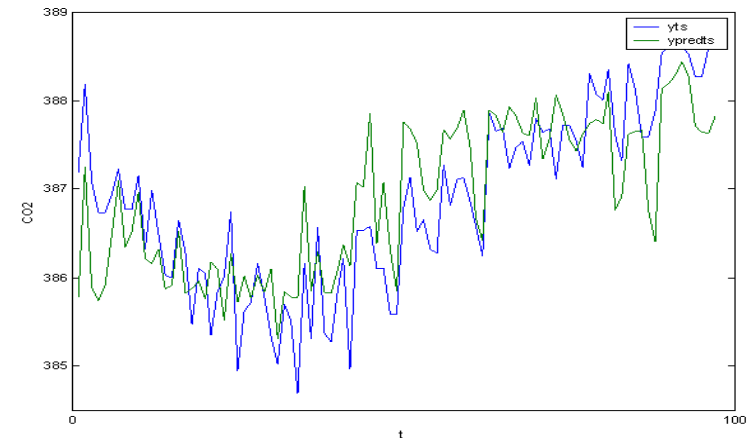
Обработка реальных сигналов GOSAT



Случайные деревья



Нейронные сети



Спасибо за внимание!