



ВОЕННЫЙ УЧЕБНО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ВОЕННО-ВОЗДУШНЫХ СИЛ  
«ВОЕННО-ВОЗДУШНАЯ АКАДЕМИЯ ИМЕНИ ПРОФЕССОРА  
Н.Е. ЖУКОВСКОГО И Ю.А. ГАГАРИНА»

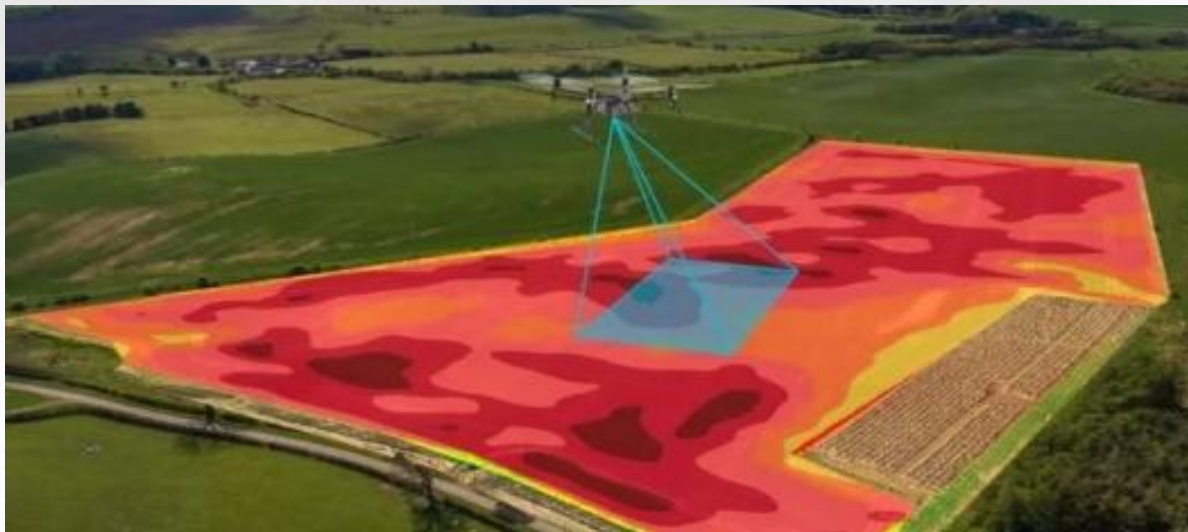
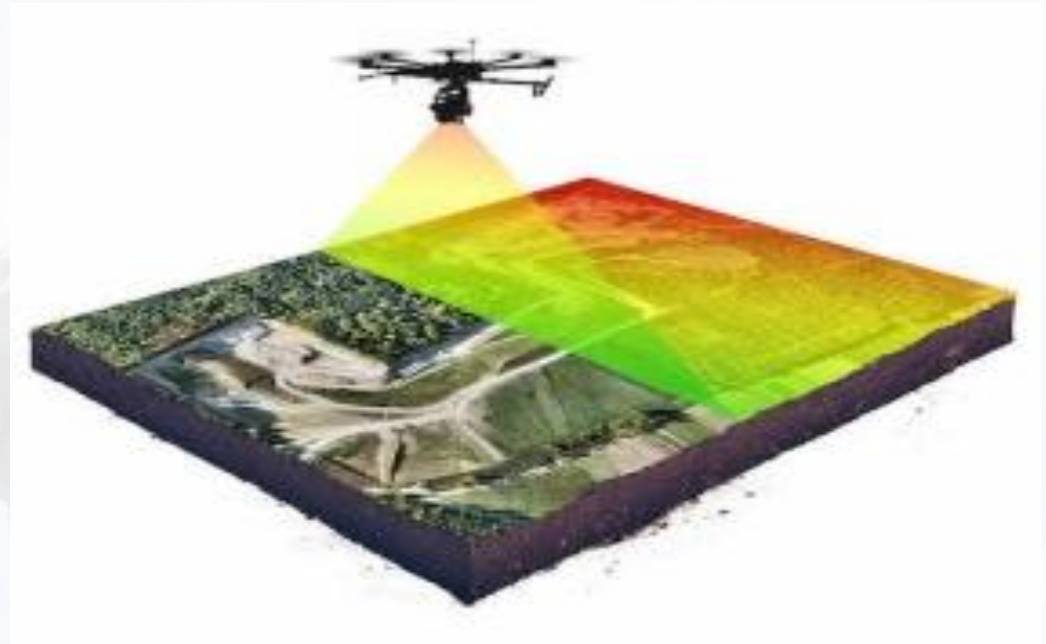


**Программное обеспечение классификации  
разновременных инфракрасных изображений  
аэрокосмического мониторинга по  
теплофизическим параметрам с применением  
искусственных нейронных сетей**

старший преподаватель  
к.т.н. Долгов Алексей Александрович

# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

Применение современных информационных технологий в сочетании с новейшими БПЛА открывают новые горизонты в обработке информации, получаемой с оптико-электронных систем в ходе ведения дистанционного мониторинга



Классификация района ведения дистанционного мониторинга с расположенными на ней объектами по теплофизическим параметрам (ТФП) может быть отнесена к классу некорректных обратных задач математической физики, основным уравнением в которых является дифференциальное уравнение теплопроводности в частных производных



# **Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей**

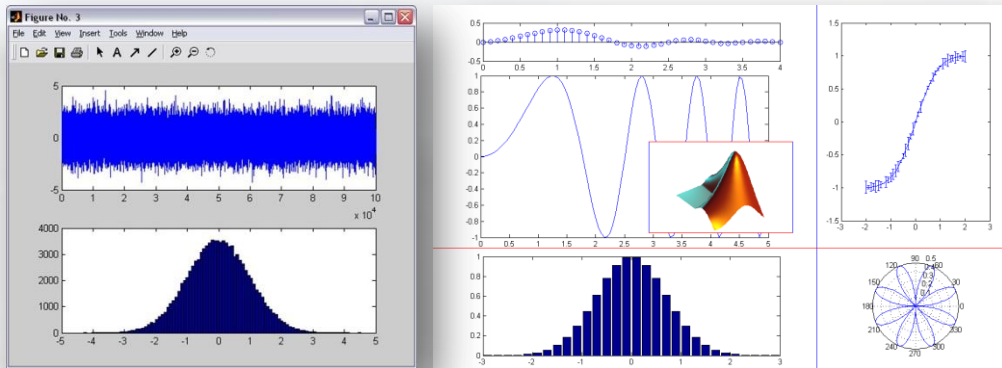
## **Требования, предъявляемые к программному обеспечению для дистанционного определения теплофизических параметров:**

1. Возможность ввода множества разновременных изображений ИК диапазона длин волн содержащих анализируемые объекты с целью их дальнейшей обработки
2. Возможность формирования кубоидов изображений ИК диапазона длин волн для последующего использования его в ходе обучения нейросети.
3. Возможность обучения нейросети на основе изображений ИК диапазона длин волн с выводом готовой функции для загрузки разновременных изображений ИК диапазона длин волн с последующей классификацией фона подстилающей поверхности.
4. Возможность вывода результатов классификации и численная оценка вероятности принадлежности области изображения к данному классу.

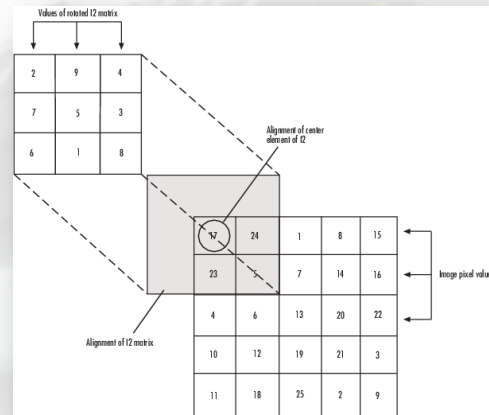
# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

## Краткая характеристика среды разработки ПО MATLAB:

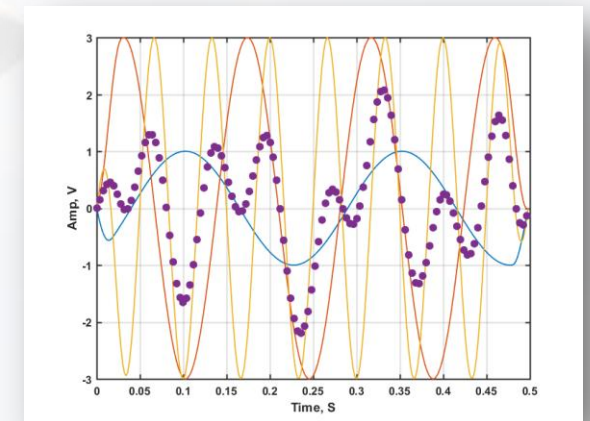
### Математическая статистика и анализ данных



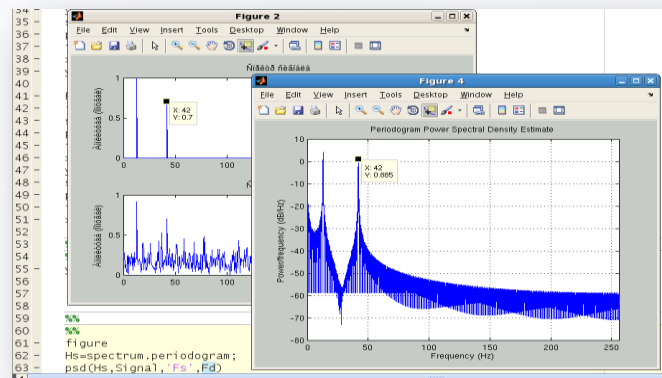
### Матрицы и линейная алгебра



### Многочлены и интерполяция



### Обработка данных



### Решение дифференциальных уравнений

#### MatLab Simulation

The nonlinear Schrödinger equation is solved using a split-step beam propagation method in MatLab.

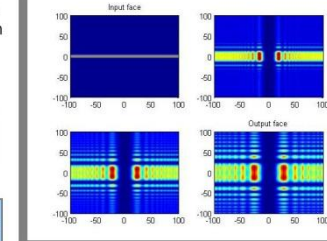
Linear Part:

$$i \frac{\partial \psi}{\partial z} = -\frac{1}{2k} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2}$$

Nonlinear Part:

$$i \frac{\partial \psi}{\partial z} = -\frac{k}{n} |\psi|^2 \psi$$

#### Shock Wave & Potential





# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

Разрабатываемое программное обеспечение включает в свой состав следующие компоненты:

1. **Интерфейс загрузки разновременных ИК изображений обучающей выборки**, содержащих анализируемые объекты дистанционного мониторинга на фоне подстилающей поверхности с указанием метеопараметров съемки для формирования кубоида изображений.
2. **Интерфейс разметки эталонных областей** исследуемой поверхности с априорно известными значениями ТФП.
3. **Интерфейс конфигурации нейронной сети**: количество и размер внутренних слоев, ввод функций с весовыми коэффициентами, обучение нейросети на обучающей выборке, с последующей проверкой работы классификатора на тестовой выборке.
4. **Интерфейс построения и вывода результирующих классифицированных изображений** в псевдоцветах, а также получения численных оценок вероятности правильного различения и вероятности ошибки различения объектов на фоне подстилающей поверхности.

# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

## Интерфейс загрузки разновременных ИК изображений обучающей выборки

СПО "ТЕРМИТ" Добавление ИК изображений


ИК изображения

Добавить ИК изображение

Параметр	Значение
1 Т, час	22
2 Т, мин	11
3 Q, Дж/м2	0
4 Та, С	15
5 U, %	78
6 Ff, м/с	2

Записать параметры

Сбросить кубоид



ИК изображение	
1	13.10 12.00.jpg
2	13.10 14.00.jpg
3	13.10 16.00.jpg
4	13.10 18.00.jpg
5	13.10 20.00.jpg
6	13.10 22.00.jpg

Дальше

Сформированный кубоид  
ИК изображений  
обучающей выборки

Поле ввода метеопараметров, при которых получены ИК изображения обучающей выборки



# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

## Интерфейс разметки эталонных областей

СПО "ТЕРМИТ" Выбор областей эталонных материалов

Области эталонных материалов

	Название	X	Y	Длина	Высота	R	G	B
1	Бетон	263	38	26	52	0	155	185
2	Металл	42	93	36	10	255	0	0
3	Грунт с травой	26	263	48	58	0	255	0
4	Открытый грунт	351	188	73	9	82	9	27

Добавить  
Удалить

СПО "ТЕРМИТ" Параметры эталонной области

Введите название эталонной области:

Выберите цвет эталонной области:

OK

Управление Zoom-ом

<< ^ >> + -

↓

Далее

Загрузить изображение

100 200 300 400

50 100 150 200 250 300 350 400

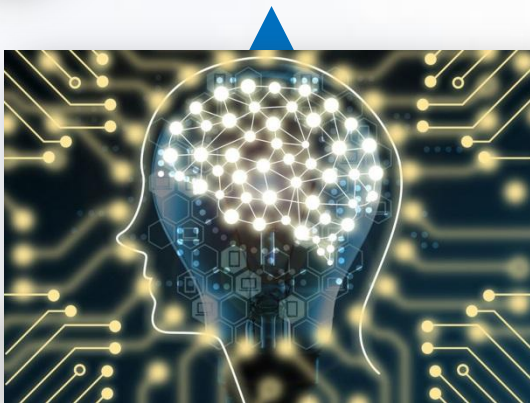
50 100 150 200 250 300 350 400

Таблица параметров эталонных областей

Поле разметки эталонных областей обучающей выборки

# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

## Интерфейс конфигурации нейронной сети



ПО «Термит»  
использует стандартный  
пакет нейронных сетей  
MATLAB  
**Neural Network Start**

### Топология ИНС

### Обучение ИНС

**Network Architecture**  
Set the dimensions of the self-organizing map's output layer.

Hidden Layer  
Define a pattern recognition neural network. (patternnet)  
Number of Hidden Neurons: 10

Recommendation  
Return to this panel and change the number of neurons if the network does not perform well after training.

Neural Network

Change settings if desired, then click [Next] to continue.

Neural Network Start Welcome Back Next Cancel

**Train Network**  
Train the network to classify the inputs according to the targets.

Train Network  
Train using scaled conjugate gradient backpropagation. (trainscg)  
Retrain

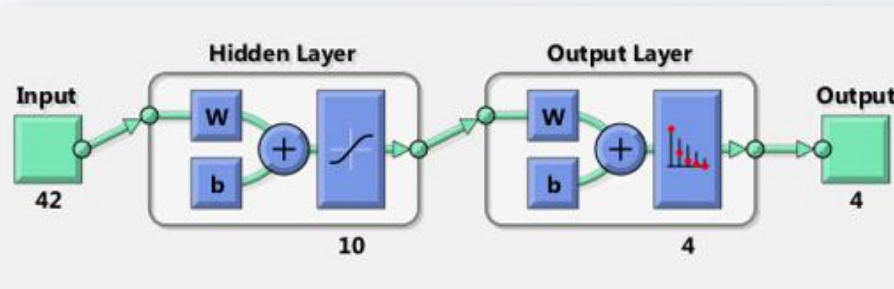
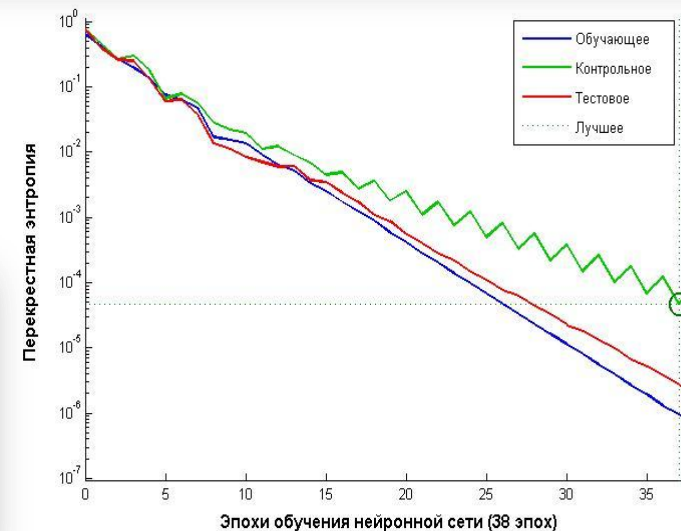
Results

	Samples	CE	%E
Training:	2081	3.93528e-0	4.80538e-2
Validation:	446	11.13514e-0	0
Testing:	446	11.13385e-0	4.48430e-1

Plot Confusion Plot ROC

Notes

- Training multiple times will generate different results due to different initial conditions and sampling.
- Minimizing Cross-Entropy results in good classification. Lower values are better. Zero means no error.
- Percent Error indicates the fraction of samples which are misclassified. A value of 0 means no misclassifications, 100 indicates maximum misclassifications.



**Welcome to Neural Network Start**  
Learn how to solve problems with neural networks.

Getting Started Wizards More Information

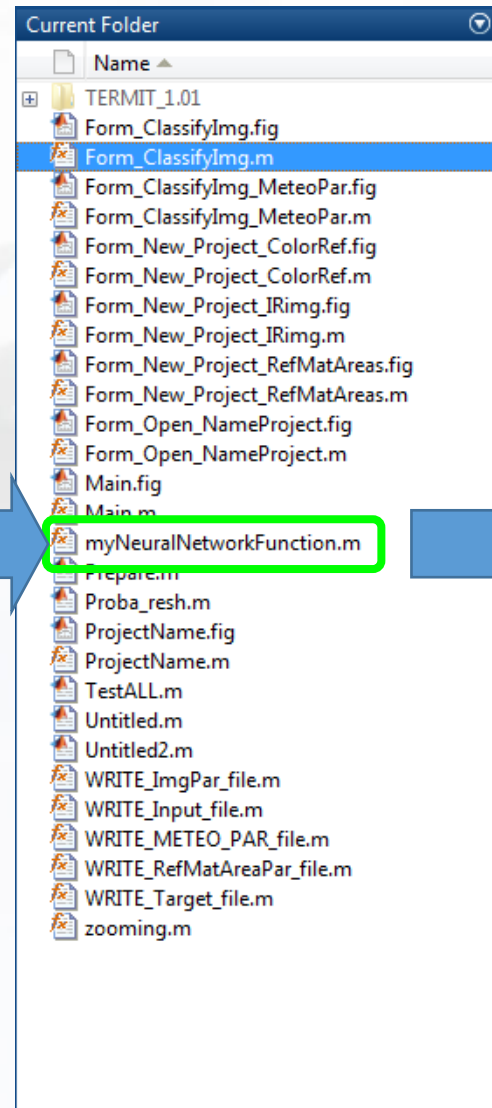
Each of these wizards helps you solve a different kind of problem. The last panel of each wizard generates a MATLAB script for solving the same or similar problems. Example datasets are provided if you do not have data of your own.

- Input-output and curve fitting.
  - Fitting app (nftool)
- Pattern recognition and classification.
  - Pattern Recognition app (nprtool)
- Clustering.
  - Clustering app (nctool)
- Dynamic Time series.
  - Time Series app (ntstool)



# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

## Интерфейс конфигурации нейронной сети



```

Editor - Untitled2*
Untitled2* x +
1 function [Y,Xf,Af] = myNeuralNetworkFunction(X,~,~)
2 %MYNEURALNETWORKFUNCTION neural network simulation function.
3
4 % Generated by Neural Network Toolbox function genFunction, 2
5
6 % [Y] = myNeuralNetworkFunction(X,~,~) takes these arguments:
7
8 % X = 1xTS cell, 1 inputs over TS timesteps
9 % Each X{1,ts} = 28xQ matrix, input #1 at timestep ts.
10
11 % and returns:
12 % Y = 1xTS cell of 1 outputs over TS timesteps.
13 % Each Y{1,ts} = 4xQ matrix, output #1 at timestep ts.
14
15 % where Q is number of samples (or series) and TS is the numb
16
17 %#ok<*RPMT0>
18
19 % ===== NEURAL NETWORK CONSTANTS =====
20
21 % Input 1
22 x1_step1_remove = [5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19
23 x1_step1_keep = [1 2 3 4];
24 x1_step2_xoffset = [39;4;0;0];
25 x1_step2_gain = [0.00925925925925926;0.00796812749003984;0.
26 x1_step2_ymin = -1;
27
28
  
```

В результате обучения ИНС формируется файл-функция **myNeuralNetworkFunction.m**, содержащая весовые коэффициенты нейронных связей обученной ИНС

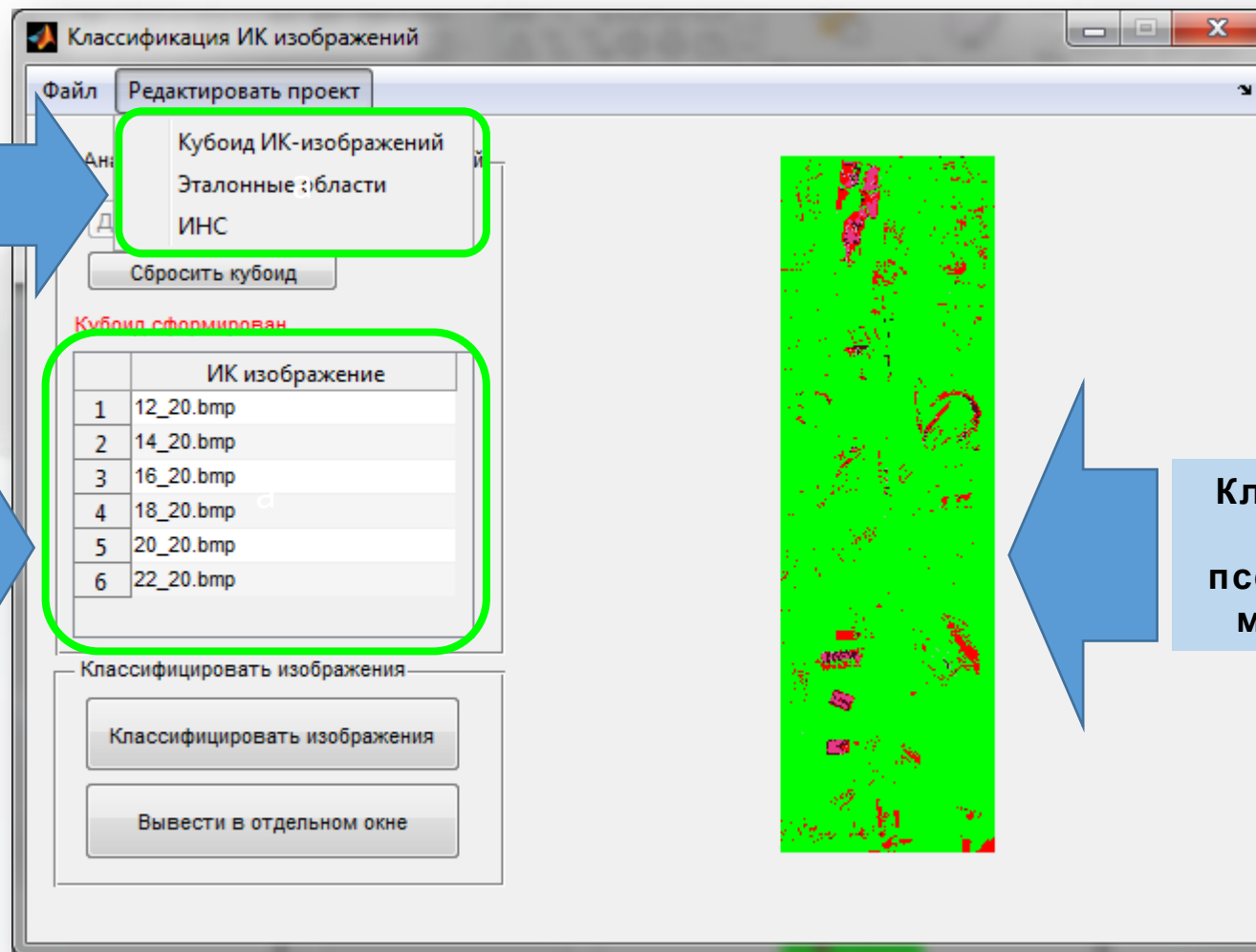
# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

## Интерфейс построения и вывода результирующих классифицированных изображений

В ПО имеется возможность вносить изменения в:

1. Набор ИК изображений обучающей выборки
2. Разметку эталонных областей
3. Структуру и обучение ИНС

Поле формирования кубоида ИК изображений классифицируемой выборки



Классифицированное изображение в псевдоцветах классов материалов по ТФП

# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ

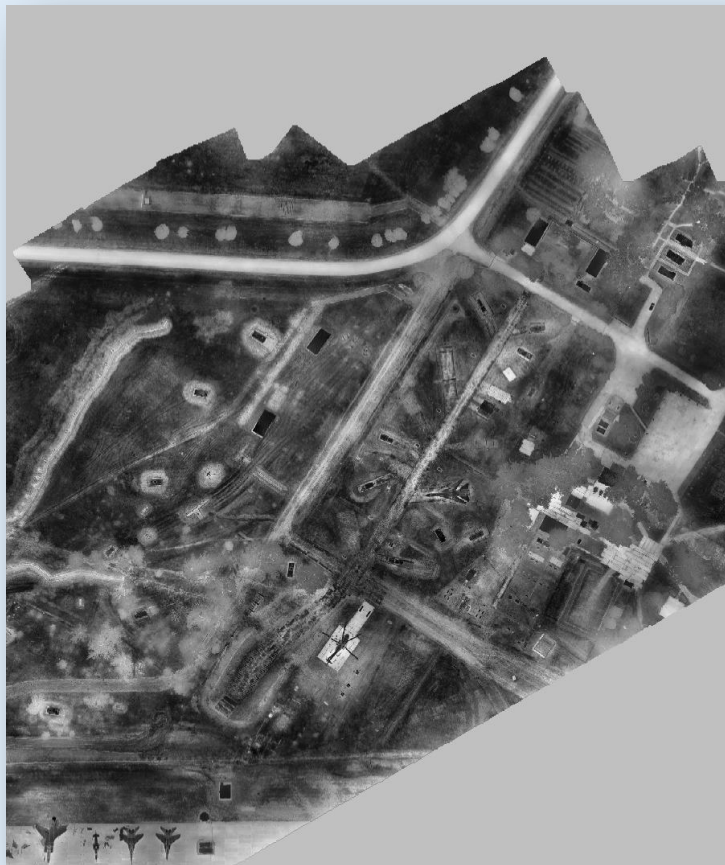
### Район №1

### Район №2

Дата проведения:  
20.06.17 – 21.06.17 гг.

Метеорологические условия

t	Ta, C	U, %	Ff, м/с	N
00.00	19.0	77	0-1	0-1
03.00	18.0	80	0-1	0-1
06.00	20.0	89	1-2	3-4
09.00	25.0	65	2-3	3-4
12.00	29.0	53	2-3	3-4
15.00	31.0	42	1-2	4-5



Дата проведения:  
27.07.21 – 28.07.21 гг.

Метеорологические условия

t	Ta, C	U, %	Ff, м/с	N
00.00	15.0	81	0-1	2-3
03.00	15.0	87	2-3	0-1
06.00	14.0	93	2-3	3-4
09.00	21.0	67	3-5	4-5
12.00	25.0	49	3-5	4-5
15.00	27.0	38	2-3	4-5



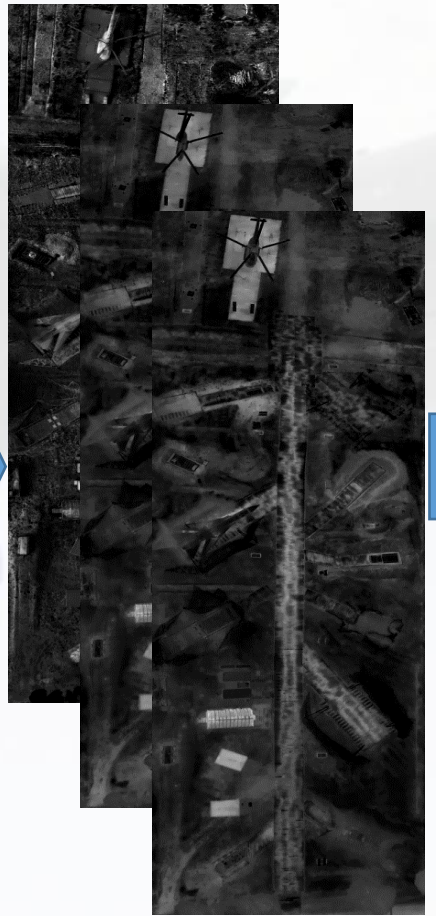
# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ

Исходное видимое изображение



Кубоид ИК изображений

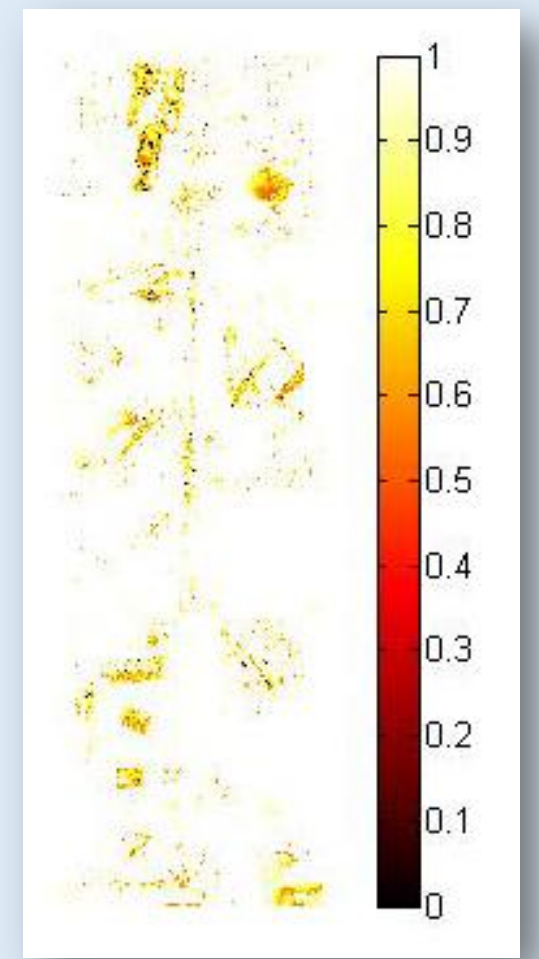


Классифицированное изображение по классам материалов



- - Грунт с травой
- - Бетон ПАГ
- - Открытый грунт
- - Металл
- - Неклассифицированные области

Изображение распределения вероятностей распознавания классов материалов





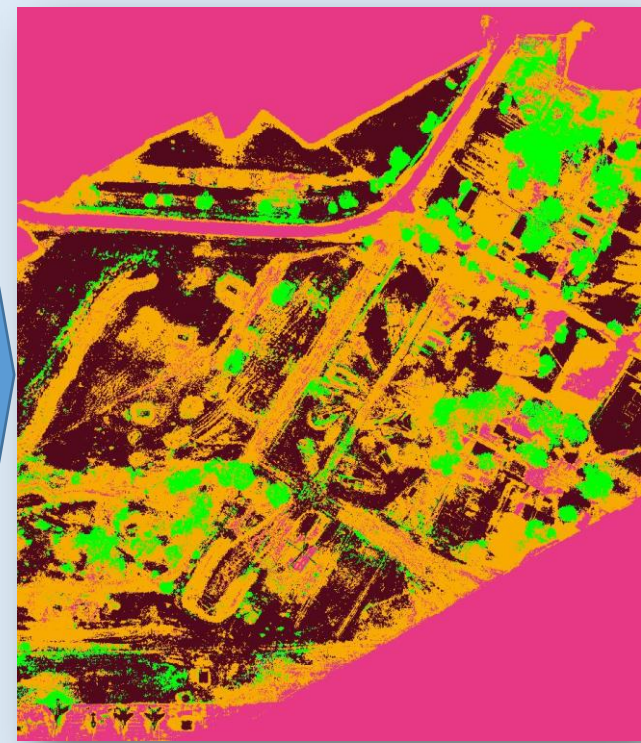
# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АПРОБАЦИЯ

Исходное ИК изображение

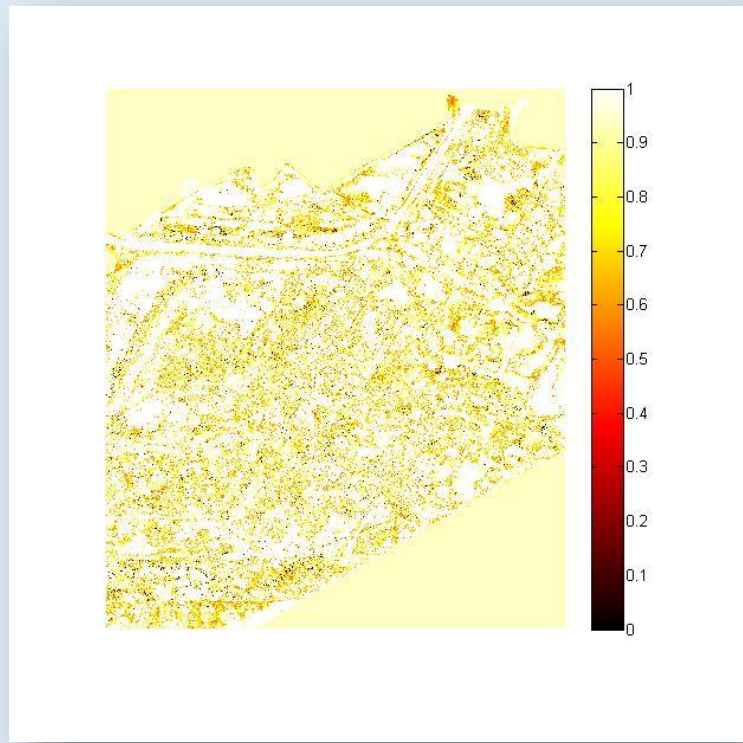


Классифицированное изображение



-  - Грунт с травой
-  - Асфальт
-  - Открытый грунт
-  - Деревья
-  - Неклассифицированные области

Изображение распределения вероятностей распознавания классов материалов

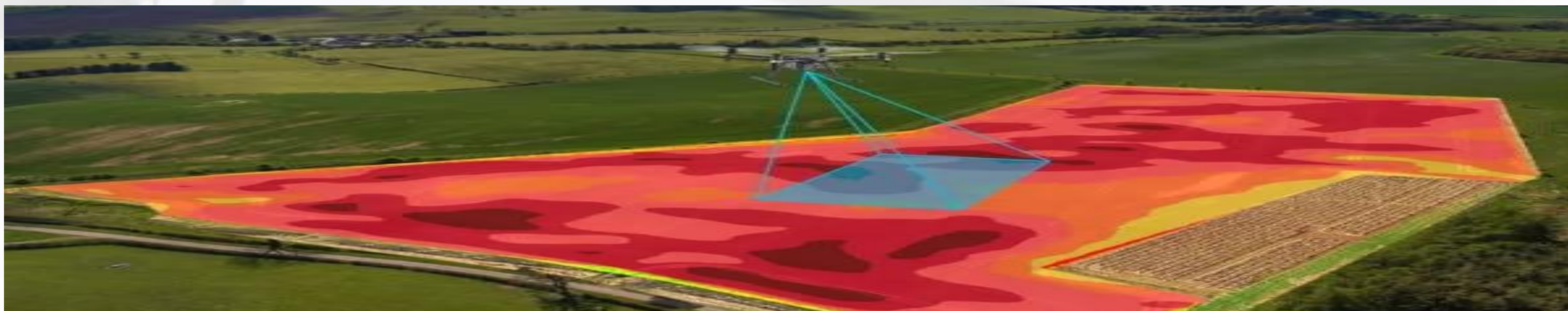




# Программное обеспечение классификации разновременных инфракрасных изображений аэрокосмического мониторинга по теплофизическим параметрам с применением искусственных нейронных сетей

## ВЫВОДЫ

1. Разработанное ПО позволяет производить классификацию подстилающей поверхности по теплофизическим параметрам (типам материалов) по разновременным ИК изображениям района дистанционного мониторинга, а также оценивать вероятность отнесения пикселей изображения к тому или иному классу материала.
2. Результаты, получаемые с применением представленного ПО могут быть использованы как самостоятельно либо комплексированы с другими источниками информации (видимые, ИК, радиолокационные изображения) для их последующего анализа;
3. Разработанное ПО может быть применено для решения задач дистанционного мониторинга с применением БПЛА.



A white military transport aircraft, likely an Ilyushin Il-76, is shown in flight against a cloudy sky. The aircraft is viewed from a low angle, showing its wings and tail. The text "СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!" is overlaid on the aircraft in a large, bold, blue font.

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!!!**