



Semi-Automatic Classification Plugin Documentation

Реліз 8.1.3.1

Luca Congedo

бер. 27, 2024

1	Introduction	1
2	Plugin Installation	3
2.1	Installation in Windows 64 bit	3
2.2	Network installation in Windows 64 bit	8
2.3	Installation in Debian/Ubuntu Linux	15
2.4	Installation in macOS	20
2.5	Advanced installation using Conda	24
3	The Interface of SCP	29
3.1	SCP menu	29
3.2	SCP dock	31
3.3	Working toolbar	41
3.4	Main Interface Window	45
3.5	Spectral Signature Plot	114
3.6	Scatter Plot	118
3.7	Integration in QGIS Processing	120
4	Короткий вступ до дистанційного зондування	123
4.1	Основні поняття	124
4.2	Multispectral satellites	127
4.3	SAR satellites	132
4.4	Класифікація земельного покриття	133
4.5	Image processing	147
4.6	Перерахунок знімка у значення відбивальності	151
4.7	Перерахунок у температуру	155
4.8	Перелік посилань	156
5	Basic Tutorials	159
5.1	Tutorial 1: Basic Land Cover Classification	159
5.2	Tutorial 2: Managing input bands, the Band set tab	174
5.3	Tutorial 3: Downloading free satellite images, the Download product tab	174
6	Тематичні навчальні матеріали	175
7	Часті питання	177
7.1	Встановлення модуля	178
7.2	Передоброблення	182
7.3	Оброблення	183
7.4	Застереження	185
7.5	Помилки	185

7.6	Різне	187
-----	-----------------	-----

Introduction

Developed by Luca Congedo (ing.congedoluca@gmail.com), the **Semi-Automatic Classification Plugin** (*SCP*) is a free open source plugin for QGIS that allows for the semi-automatic classification (also known as supervised classification) of remote sensing images. It provides several tools for the download of free images, the preprocessing, the postprocessing, and the raster calculation.

The **overall objective** of *SCP* is to provide a set of intertwined tools for raster processing in order to make an automatic workflow and ease the land cover classification, which could be performed also by people whose main field is not remote sensing.

SCP exploits the parallel processing of the tools provided by *Remotior Sensus*, a Python package that allows for the processing of remote sensing images and GIS data.

This **user manual** provides information about the *Plugin Installation* (page 3) of SPC and the *The Interface of SCP* (page 29), with detailed information about all the functions. In addition, the *Короткий вступ до дистанційного зондування* (page 123) illustrates the basic concepts and definitions which are required for using the *SCP*.

For more information and tutorials visit the official site



From GIS to Remote Sensing

How to cite:

Congedo, Luca, (2021). Semi-Automatic Classification Plugin: A Python tool for the download and processing of remote sensing images in QGIS. Journal of Open Source Software, 6(64), 3172, <https://doi.org/10.21105/joss.03172>

Brief history:

The first version of the *SCP* was developed by Luca Congedo in 2012 for the «ACC Dar Project» in order to create a tool for the classification of land cover in an affordable and automatic fashion; following versions of *SCP* were developed as personal commitment to the remote sensing field and open source philosophy. *SCP* version 6 was developed in the frame of Luca Congedo's PhD in Landscape and Environment at Sapienza University of Rome. *SCP* version 7 and version 8 as personal commitment to the remote sensing field and open source philosophy.

License:

Except where otherwise noted, content of this work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](#).

Semi-Automatic Classification Plugin is free software: you can redistribute it and/or modify it under the terms of the GNU General Public License as published by the Free Software Foundation, version 3 of the License. Semi-Automatic Classification Plugin is distributed in the hope that it will be useful, but WITHOUT ANY WARRANTY; without even the implied warranty of MERCHANTABILITY or FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE. See the GNU General Public License for more details. You should have received a copy of the GNU General Public License along with Semi-Automatic Classification Plugin. If not, see <http://www.gnu.org/licenses/>.

Translators:

Language: Author name

Plugin Installation

The Semi-Automatic Classification Plugin requires the installation of [GDAL](#), [OGR](#), [NumPy](#), [SciPy](#) and [Matplotlib](#) .

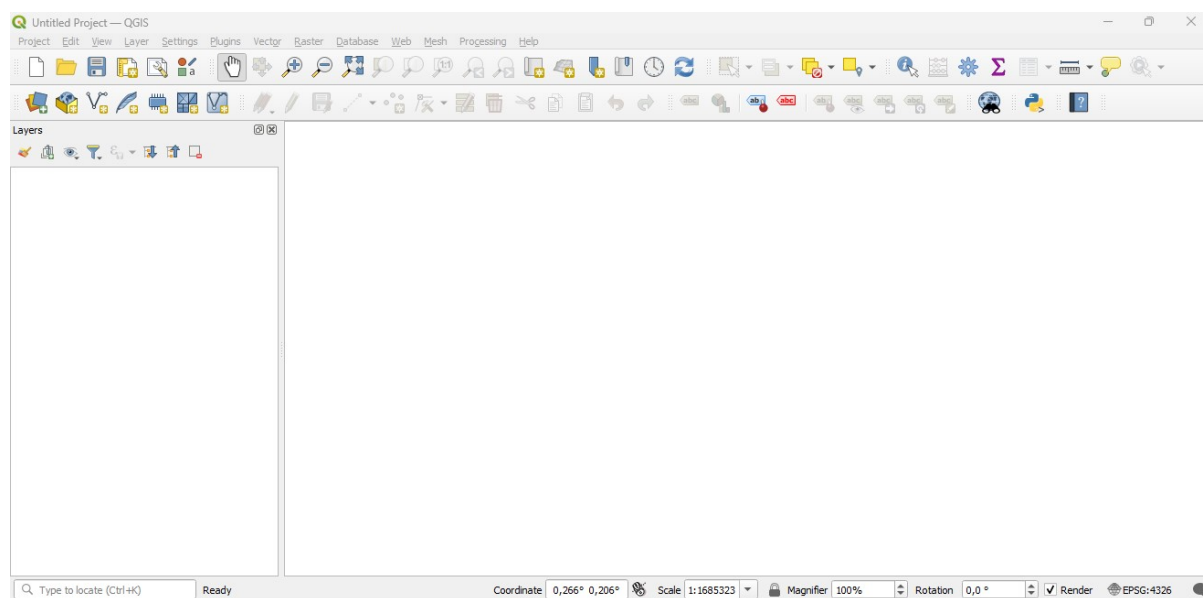
This chapter describes the installation of the Semi-Automatic Classification Plugin for the supported Operating Systems.

2.1 Installation in Windows 64 bit

2.1.1 QGIS download and installation

- Download the latest QGIS version 64 bit from [here](#) ;
- Execute the QGIS installer with administrative rights, accepting the default configuration.

Now, QGIS is installed.

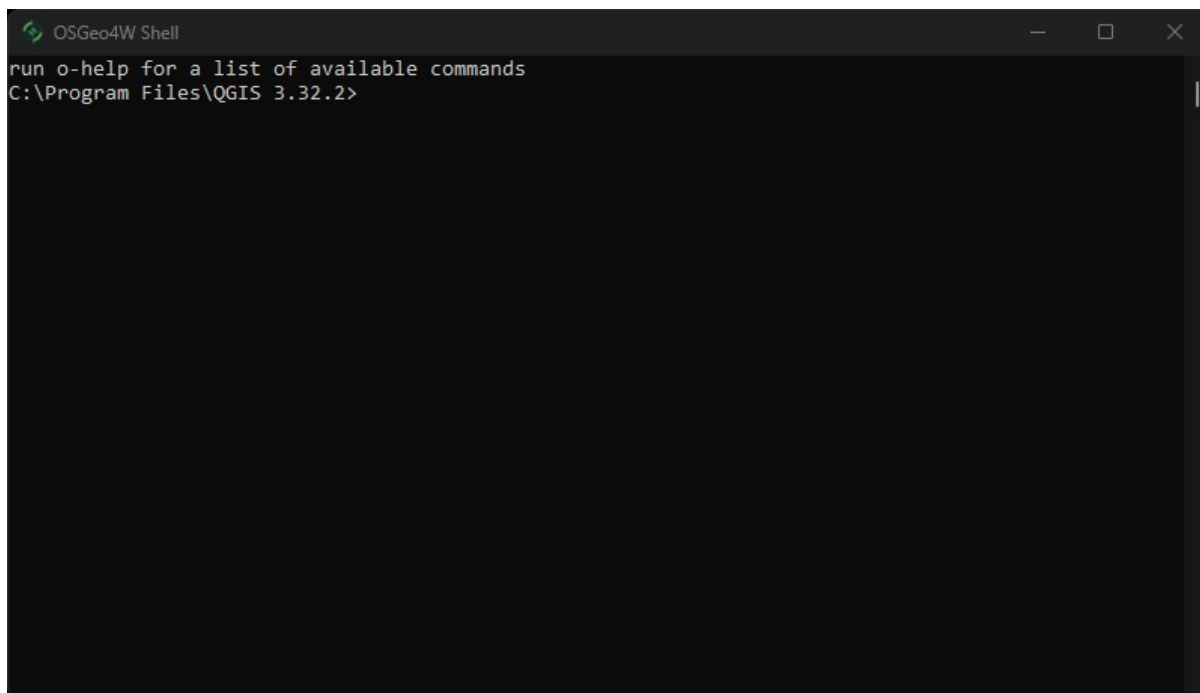


2.1.2 Installation of required dependencies

The Semi-Automatic Classification Plugin requires Remotior Sensus, GDAL, NumPy and SciPy for most functionalities. Optionally, scikit-learn and PyTorch are required for machine learning.

Therefore, we need to install the dependencies that are not included in the QGIS installation.

- Close QGIS;
- From the Start menu, open OSGeo4W Shell (administrative rights may be required);



- Enter the following command:

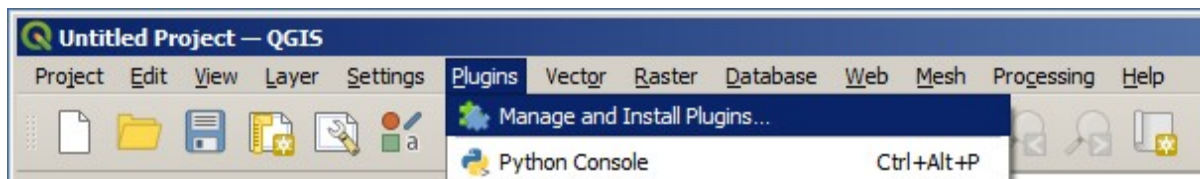
```
pip3 install --upgrade remotior-sensus scikit-learn torch
```

Follow the same procedure for updating the dependencies.

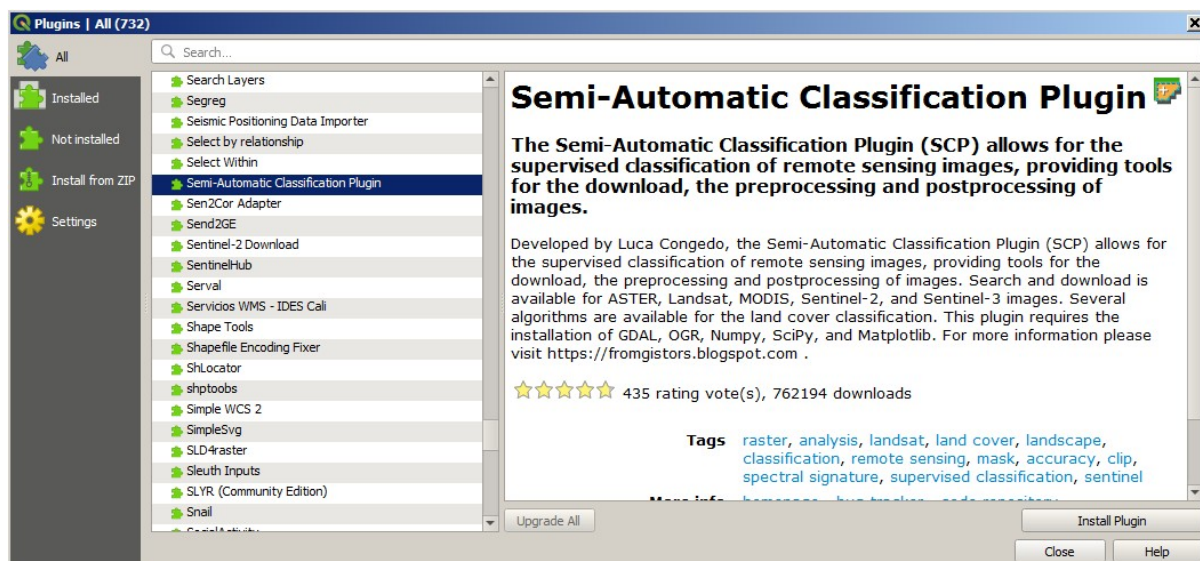
Порада: In case the library Remotior Sensus is not found, an automatic procedure will try to download it in the plugin directory, allowing for using the main functions of the Semi-Automatic Classification Plugin; however, this is not recommended as library Remotior Sensus won't be updated, and scikit-learn and PyTorch functions will not work. Alternatively, one may follow [Advanced installation using Conda](#) (page 24).

2.1.3 Semi-Automatic Classification Plugin installation

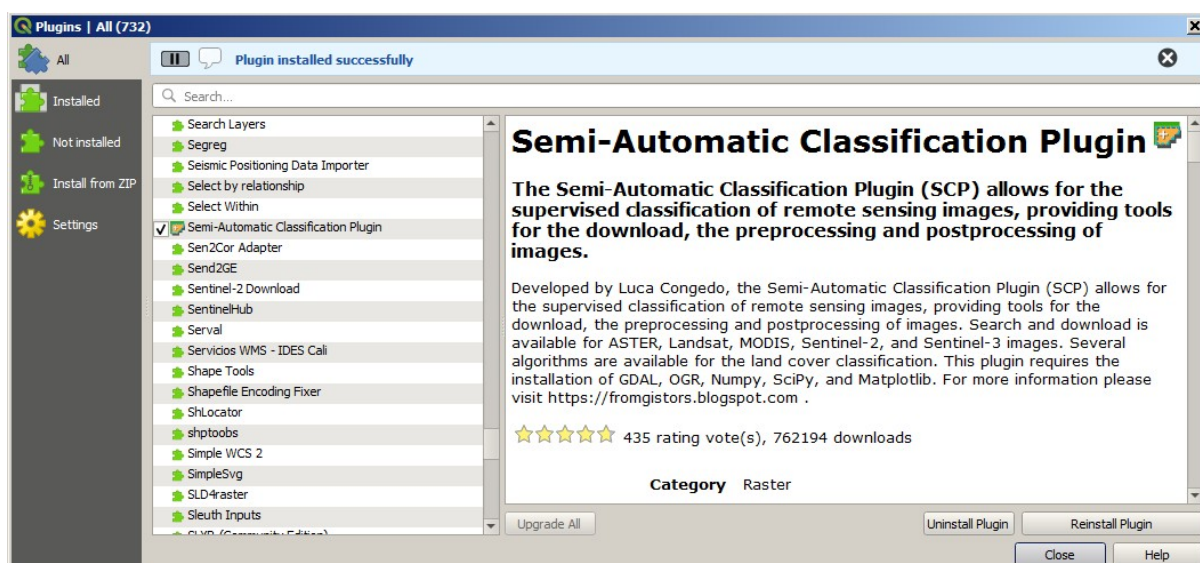
- Run QGIS;
- From the main menu, select Plugins > Manage and Install Plugins;



- From the menu **All**, select the Semi-Automatic Classification Plugin and click the button **Install plugin**;

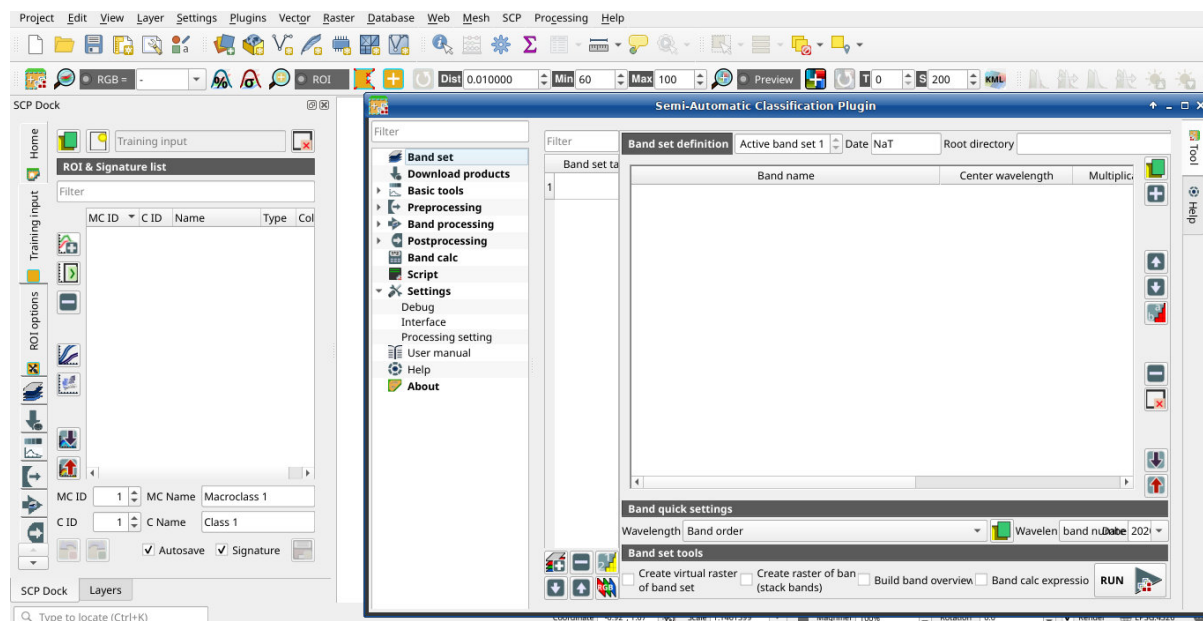



- The SCP should be automatically activated; however, be sure that the Semi-Automatic Classification Plugin is checked in the menu **Installed** (the restart of QGIS could be necessary to complete the SCP installation);

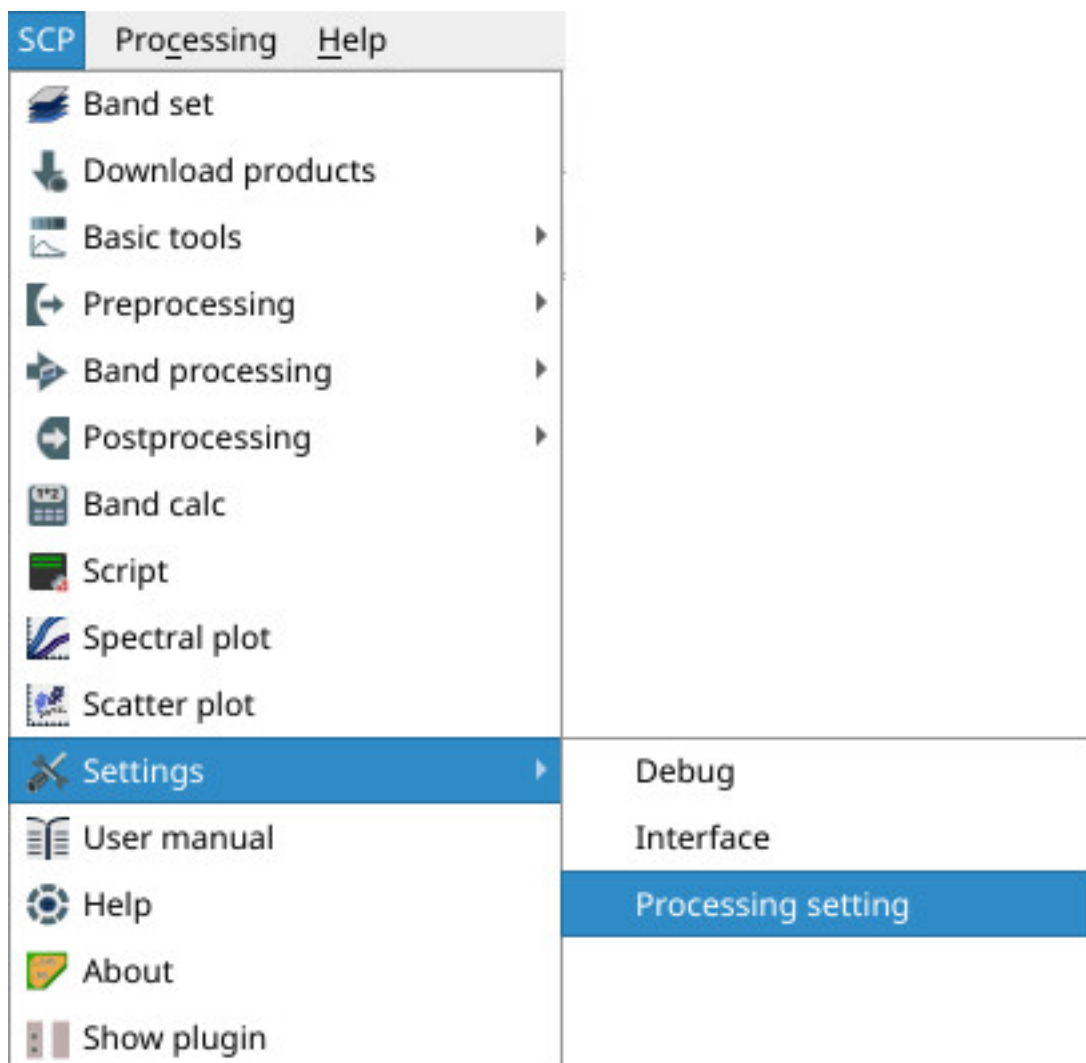


2.1.4 Configuration of the plugin

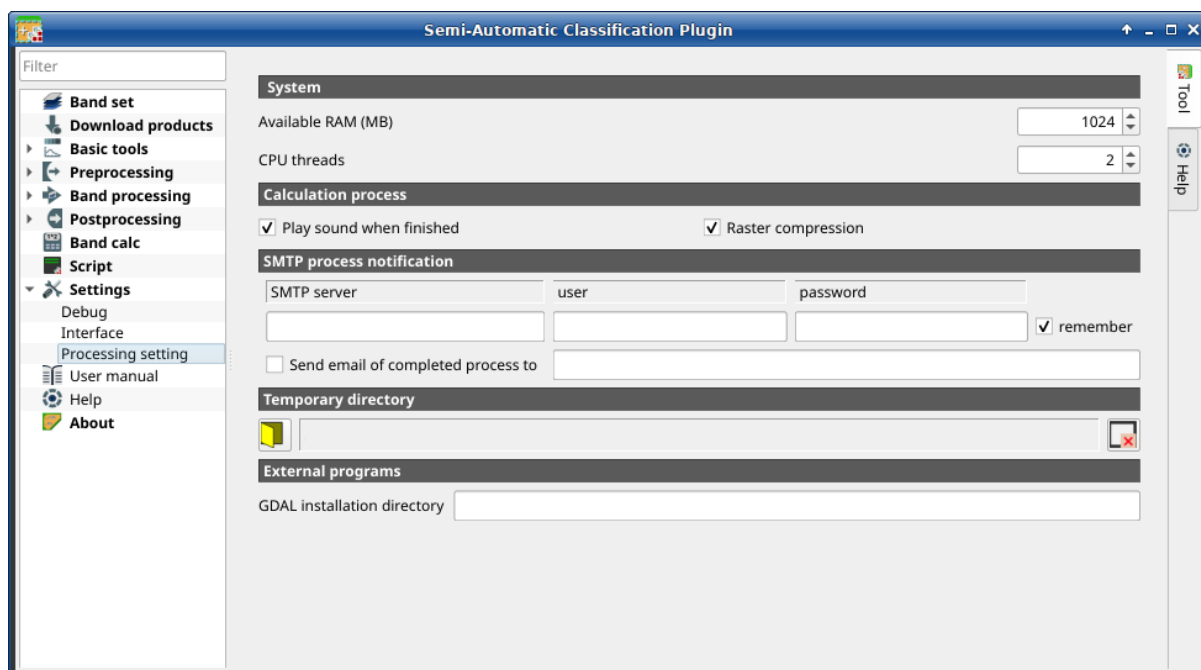
Now, the Semi-Automatic Classification Plugin is installed and a dock and a toolbar should be added to QGIS. Also, a SCP menu is available in the Menu Bar of QGIS. It is possible to move the toolbar and the dock according to your needs, as in the following image.



The configuration of available RAM is recommended in order to reduce the processing time. From the *SCP menu* (page 29) select  **Settings > Processing**.

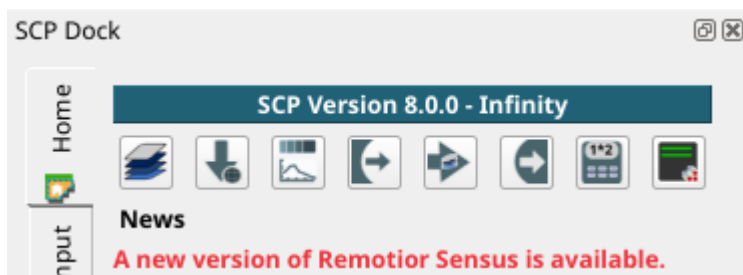


In the *Налаштування* (page 109), set the **Available RAM (MB)** to a value that should be half of the system RAM. For instance, if your system has 2GB of RAM, set the value to 1024MB.



2.1.5 Update of required dependencies

The dependency Remotior Sensus is frequently updated. The Semi-Automatic Classification Plugin can check automatically if a new version is available, and display a message in the *SCP dock* (page 31).

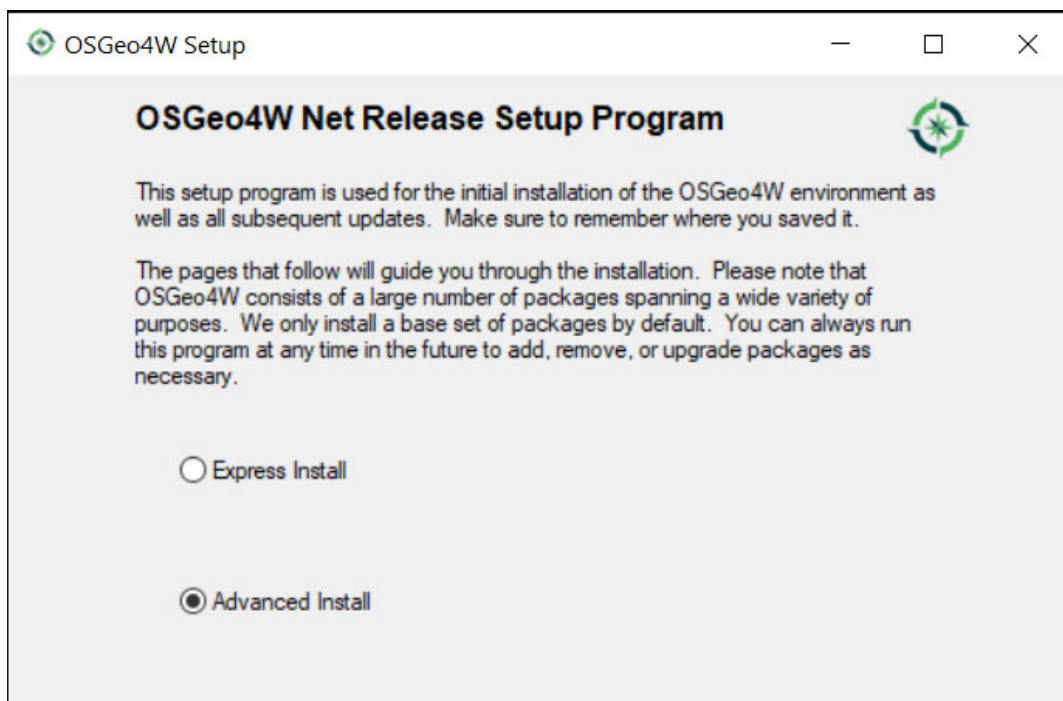


It is recommended to close QGIS and update Remotior Sensus following the same installation steps described in *Installation of required dependencies* (page 4) .

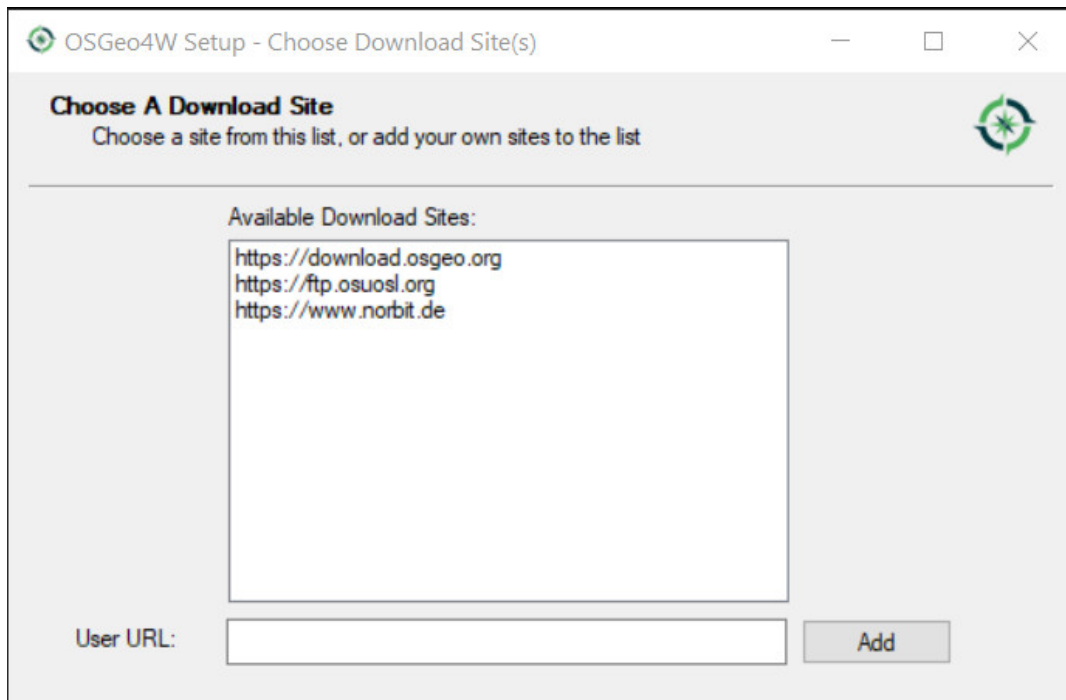
2.2 Network installation in Windows 64 bit

2.2.1 QGIS download and installation

- Download the latest QGIS version 64 bit using the OSGeo4W network installer [from here](#) ;
- Execute the QGIS installer with administrative rights and select **Advanced Install**;

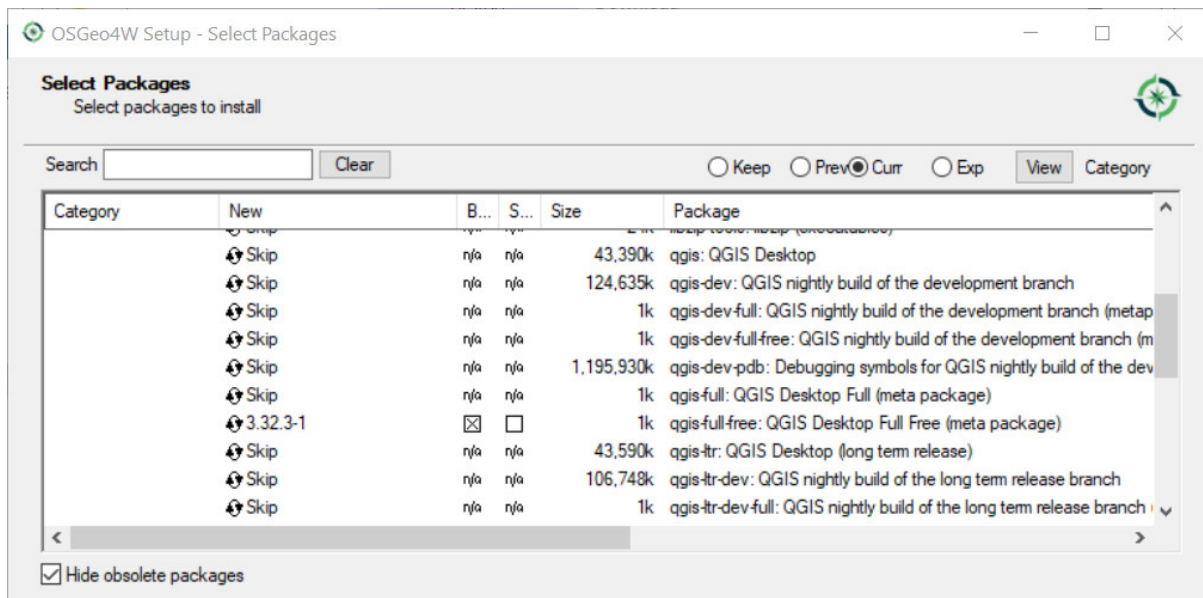


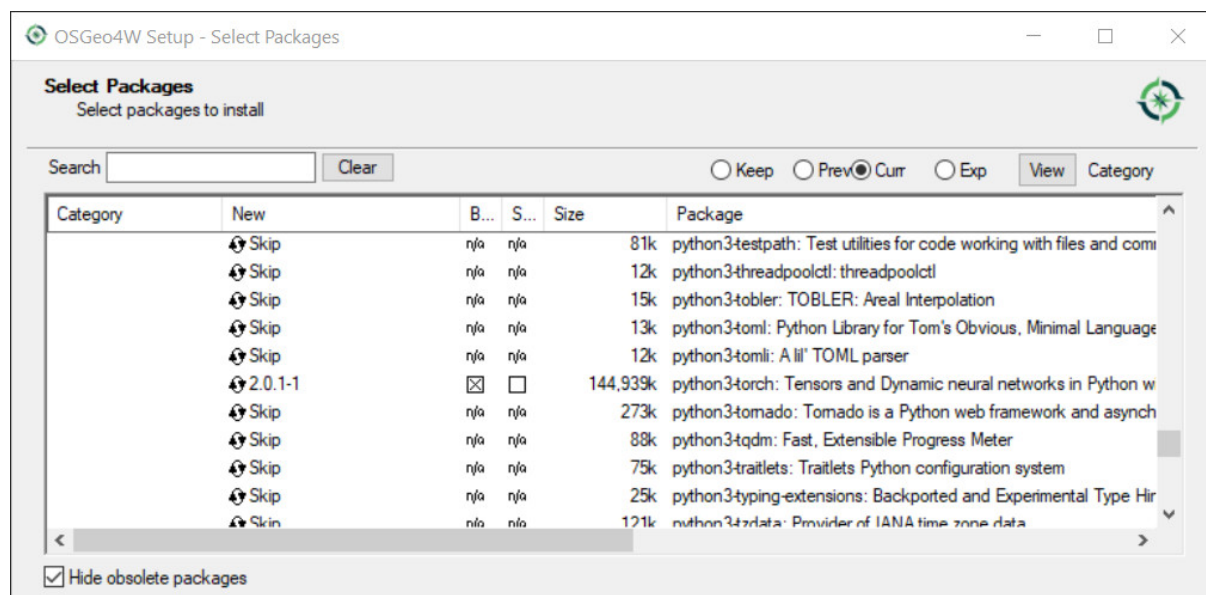
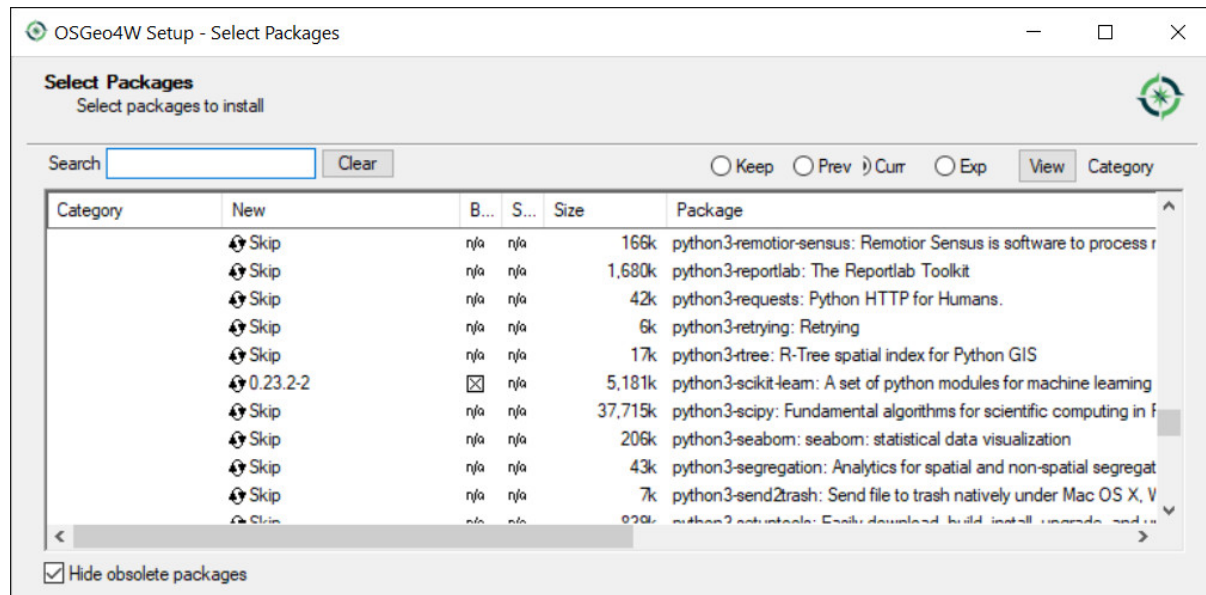
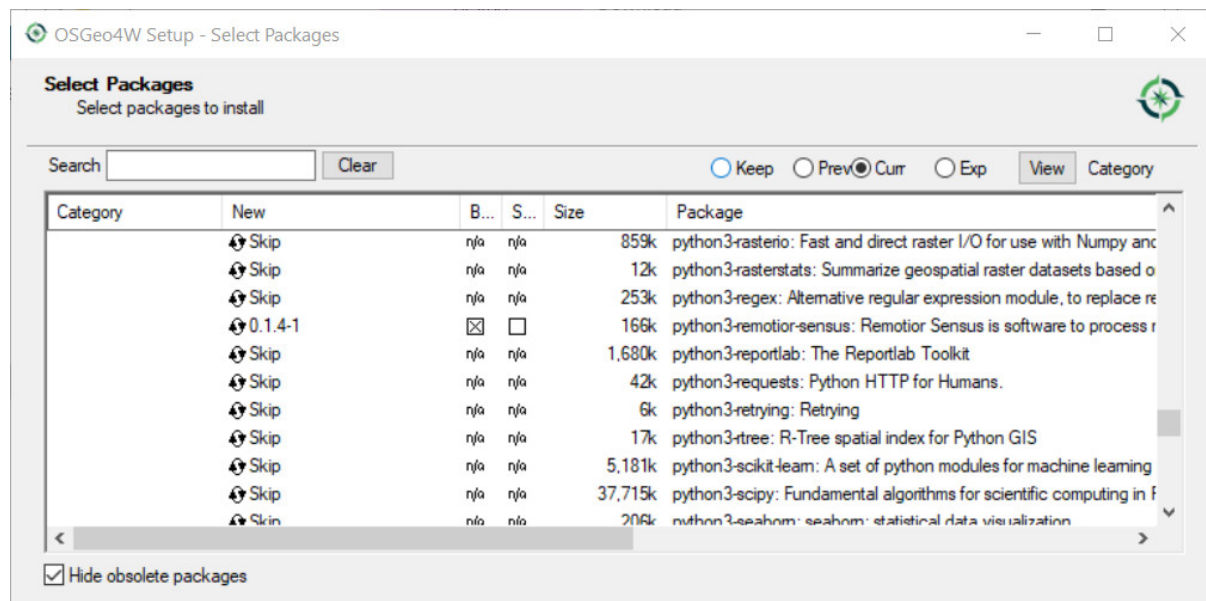
- Select **Install from Internet**; proceed selecting the default installation directory and the preferred network configuration;



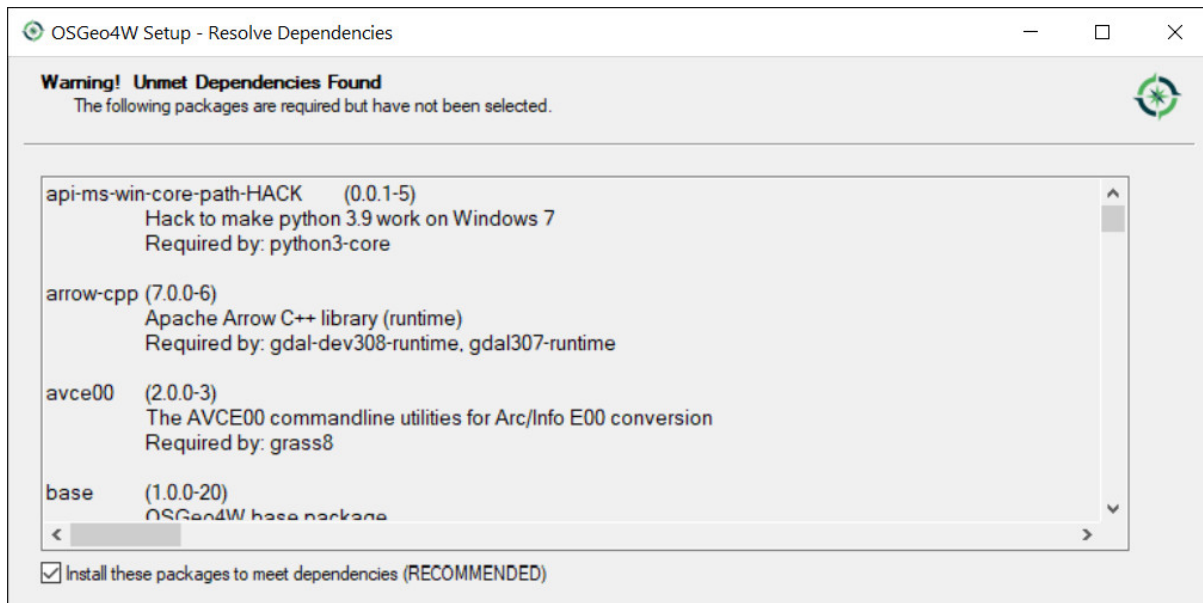
The Semi-Automatic Classification Plugin requires Remotior Sensus, GDAL, NumPy and SciPy for most functionalities. Optionally, scikit-learn and PyTorch are required for machine learning.

- In the menu **Select packages** select **All > Desktop > qgis-full-free**; also select **All > Libs > python3-remotior-sensus**, **All > Libs > python3-scikit-learn** and **All > Libs > python3-torch**;

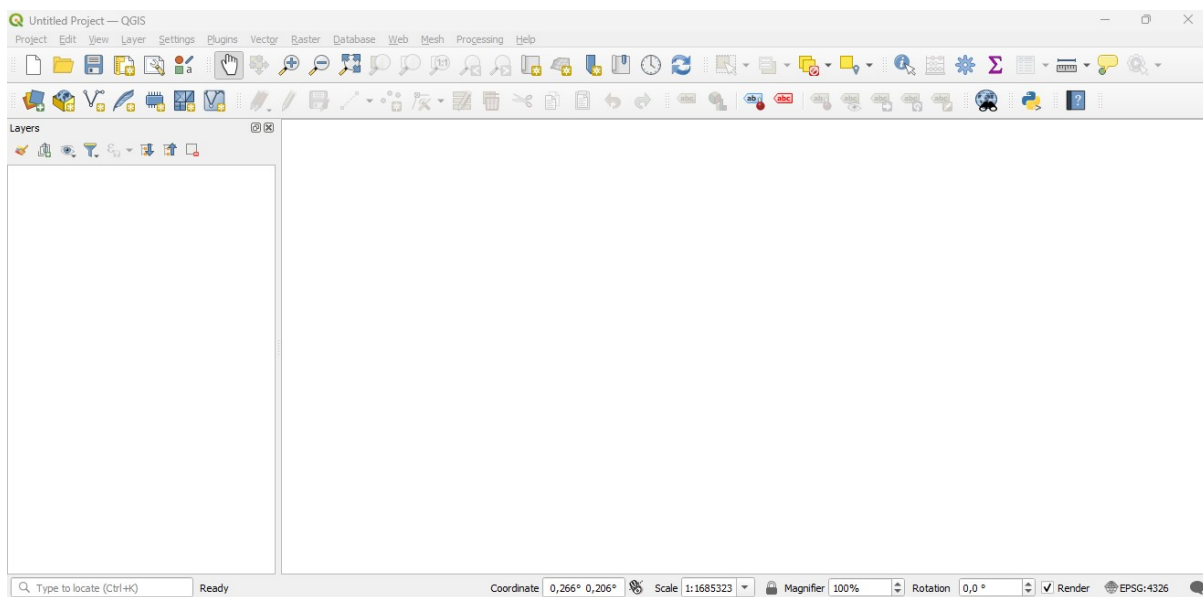




- Click **Next** and accept to install the required dependencies;

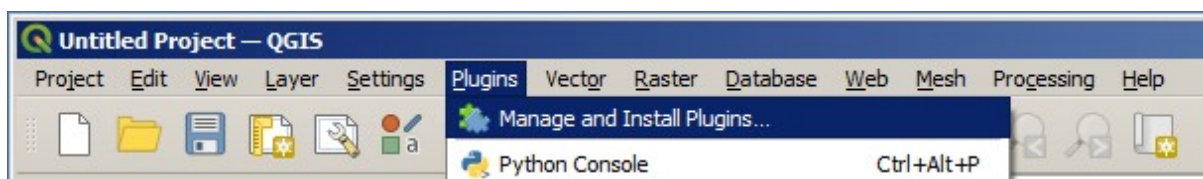


The download of the programs will start, and QGIS will be installed along with the required dependencies.

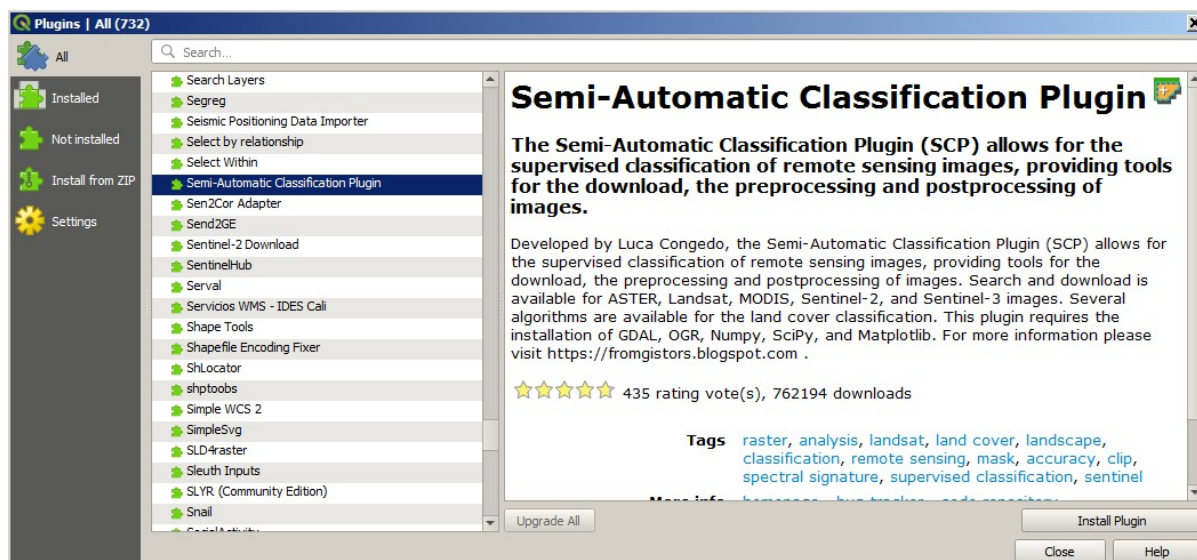


2.2.2 Semi-Automatic Classification Plugin installation

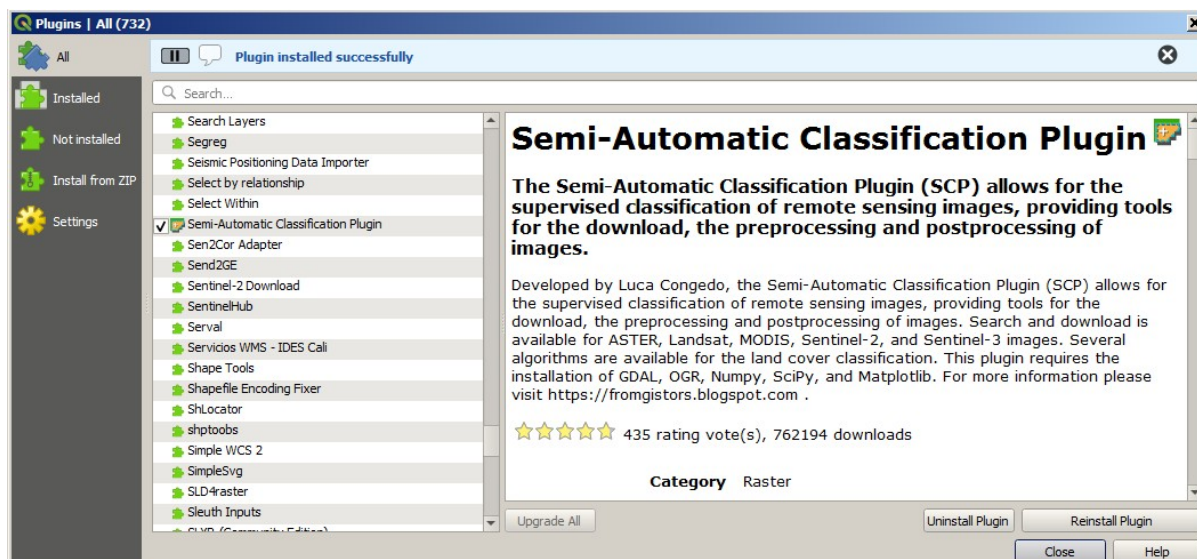
- Run QGIS;
- From the main menu, select **Plugins > Manage and Install Plugins**;



- From the menu **All**, select the **Semi-Automatic Classification Plugin** and click the button **Install plugin**;

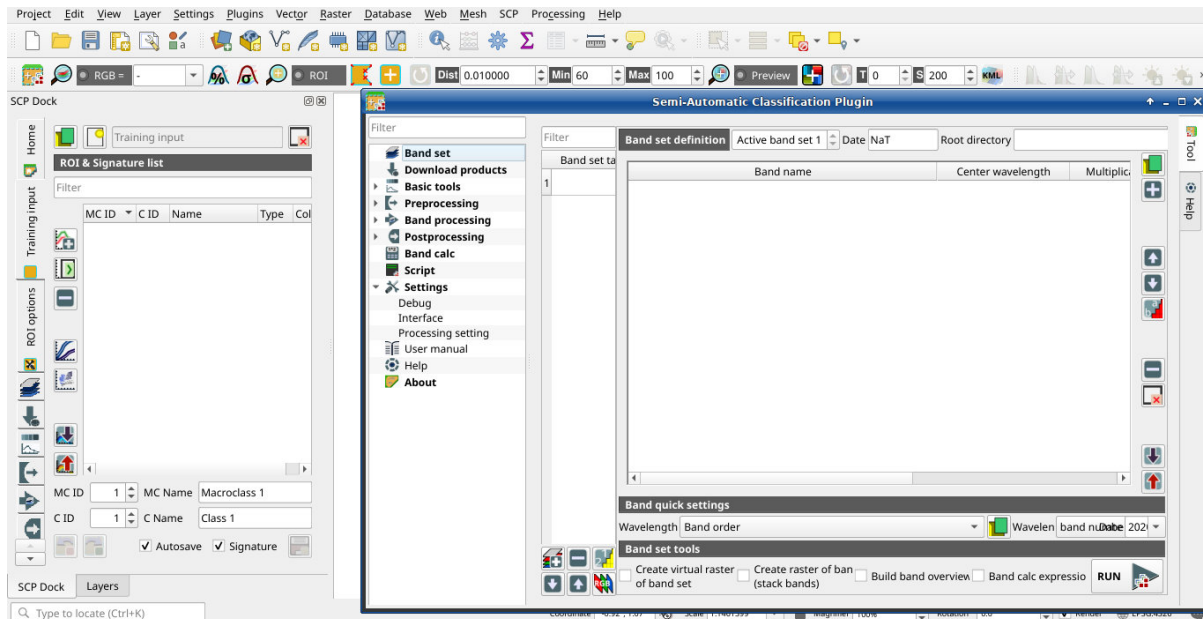



- The SCP should be automatically activated; however, be sure that the Semi-Automatic Classification Plugin is checked in the menu **Installed** (the restart of QGIS could be necessary to complete the SCP installation);

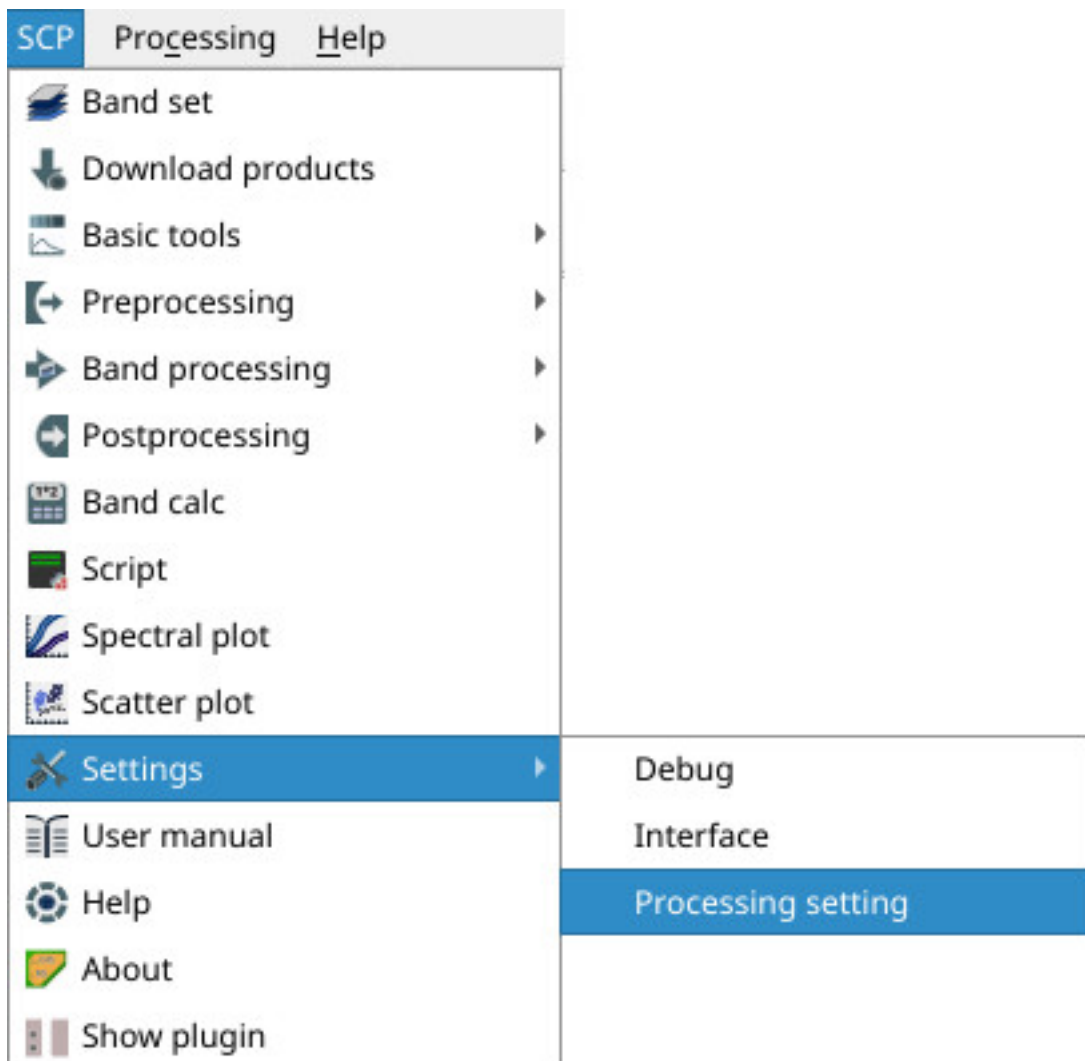


2.2.3 Configuration of the plugin

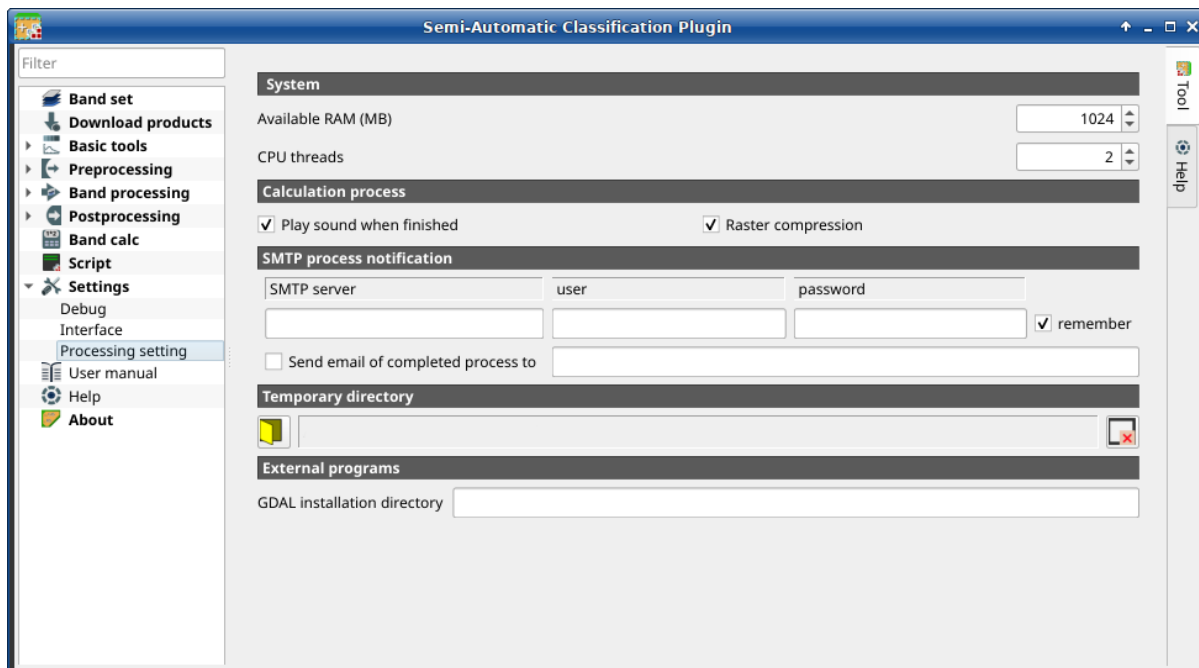
Now, the Semi-Automatic Classification Plugin is installed and a dock and a toolbar should be added to QGIS. Also, a SCP menu is available in the Menu Bar of QGIS. It is possible to move the toolbar and the dock according to your needs, as in the following image.



The configuration of available RAM is recommended in order to reduce the processing time. From the *SCP menu* (page 29) select  **Settings > Processing**.

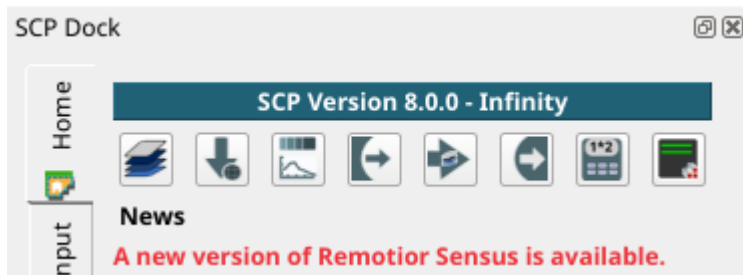


In the *Налаштування* (page 109), set the Available RAM (MB) to a value that should be half of the system RAM. For instance, if your system has 2GB of RAM, set the value to 1024MB.



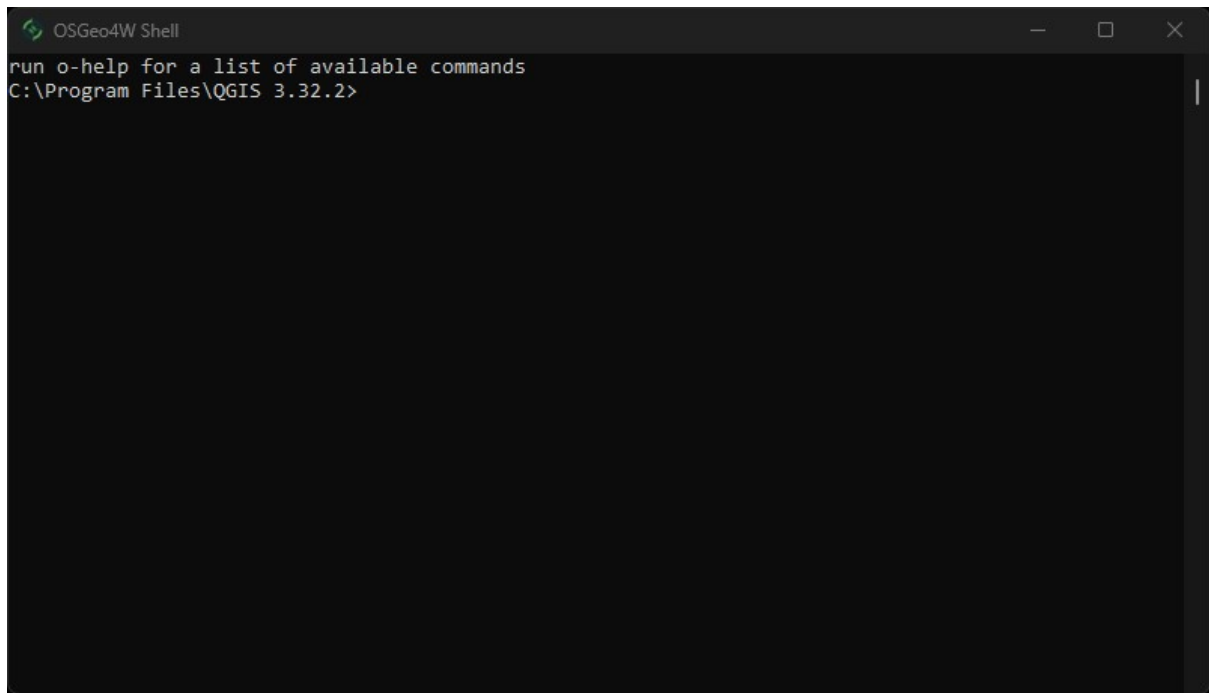
2.2.4 Update of required dependencies

The dependency Remotior Sensus is frequently updated. The Semi-Automatic Classification Plugin can check automatically if a new version is available, and display a message in the *SCP dock* (page 31).



It is recommended to close QGIS and update Remotior Sensus following the same installation steps described in *QGIS download and installation* (page 8).

In case the library Remotior Sensus is outdated, it is possible to open the OSGeo4W Shell (administrative rights may be required):



and run the following command:

```
pip3 install --upgrade remotior-sensus
```

2.3 Installation in Debian/Ubuntu Linux

2.3.1 QGIS download and installation

- Open a terminal and type:

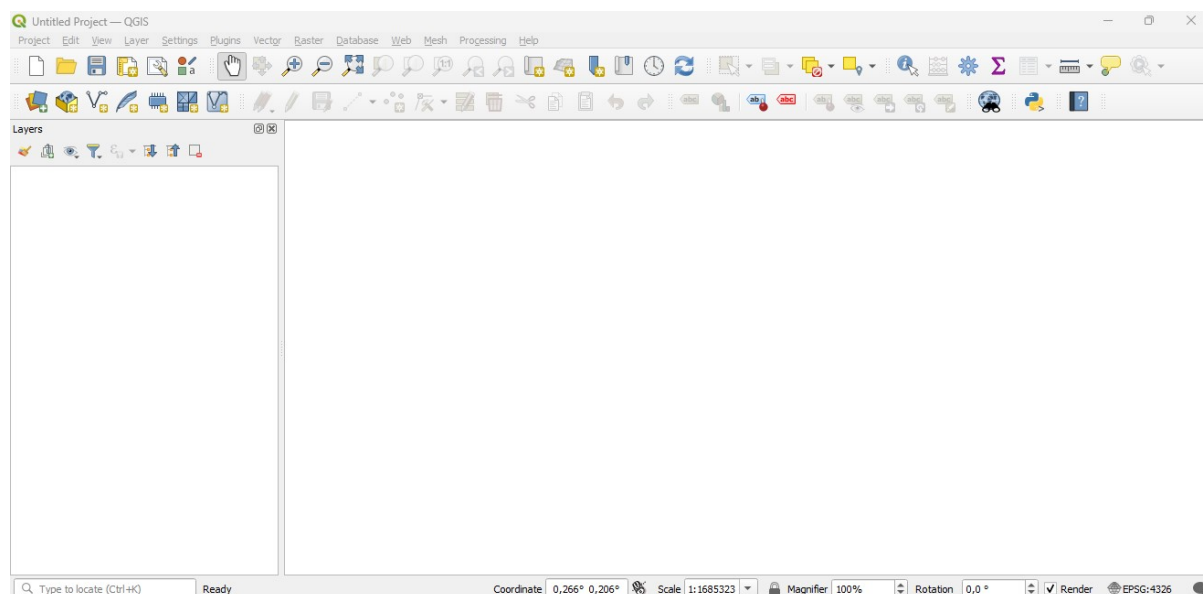
```
sudo apt-get update
```

- Press Enter and type the user password;
- Type in a terminal:

```
sudo apt-get install qgis python3-matplotlib python3-scipy
```

- Press Enter and wait until the software is downloaded and installed.

Now, QGIS is installed.



2.3.2 Installation of required dependencies

The Semi-Automatic Classification Plugin requires Remotior Sensus, GDAL, NumPy and SciPy for most functionalities. Optionally, scikit-learn and PyTorch are required for machine learning.

Therefore, we need to install the dependencies that are not included in the QGIS installation.

- Close QGIS;
- Open the terminal (administrative rights may be required);
- Enter the following command:

```
pip3 install --upgrade remotior-sensus scikit-learn torch
```

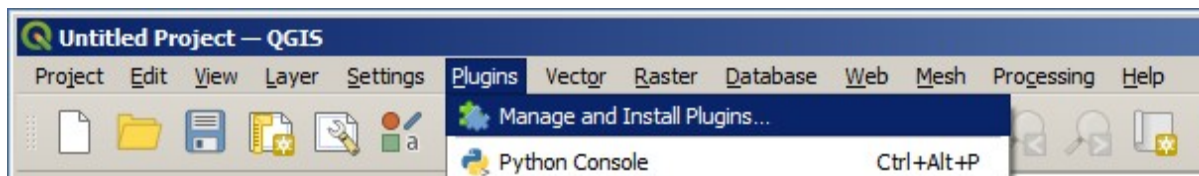
Попередження: In case you get an error message related to externally managed environment, you may use (at the risk of breaking the OS or the Python installation) the option `--break-system-packages`; alternatively, it is possible to create a virtual environment `python3 -m venv env`, install the packages in it, and start QGIS from the activated environment.

Follow the same procedure for updating the dependencies.

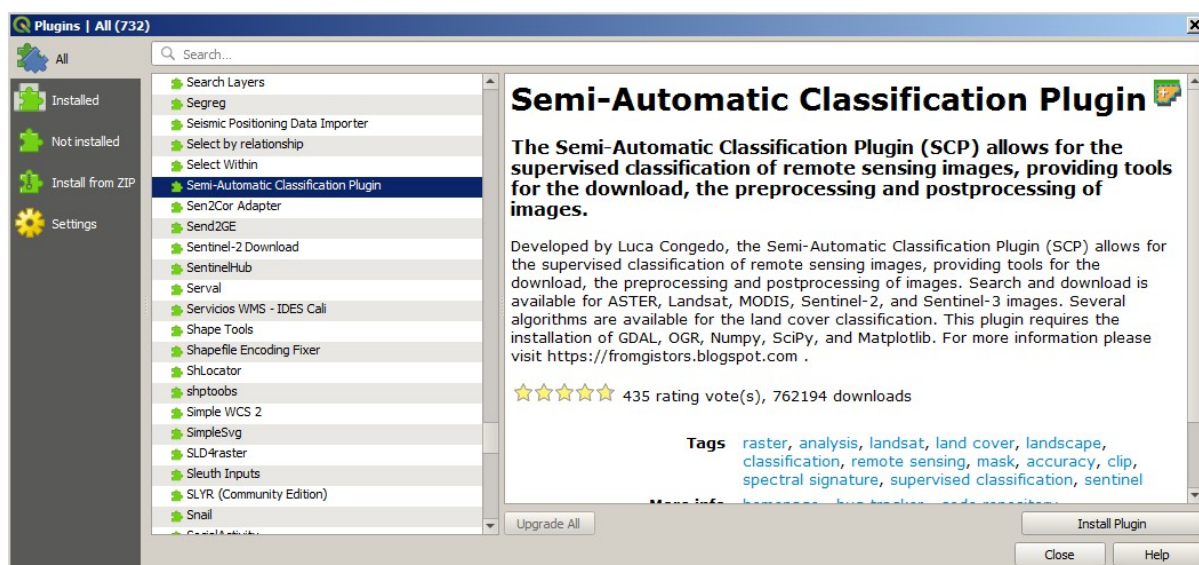
Порада: In case the library Remotior Sensus is not found, an automatic procedure will try to download it in the plugin directory, allowing for using the main functions of the Semi-Automatic Classification Plugin; however, this is not recommended as library Remotior Sensus won't be updated, and scikit-learn and PyTorch functions will not work. Alternatively, one may follow [Advanced installation using Conda](#) (page 24).

2.3.3 Semi-Automatic Classification Plugin installation

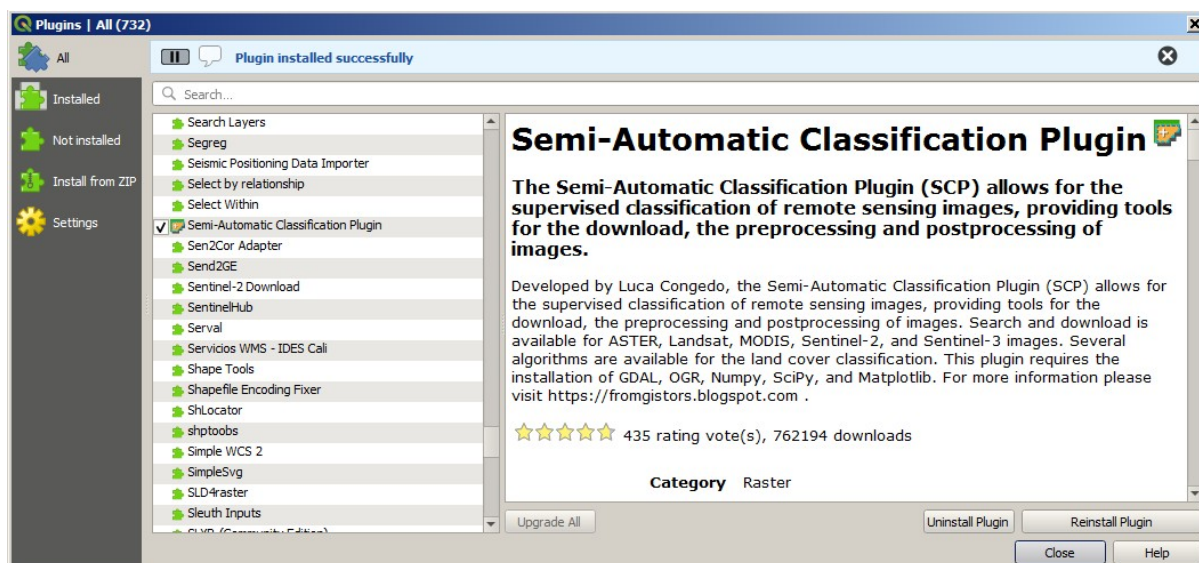
- Run QGIS;
- From the main menu, select Plugins > Manage and Install Plugins;



- From the menu All, select the Semi-Automatic Classification Plugin and click the button Install plugin;

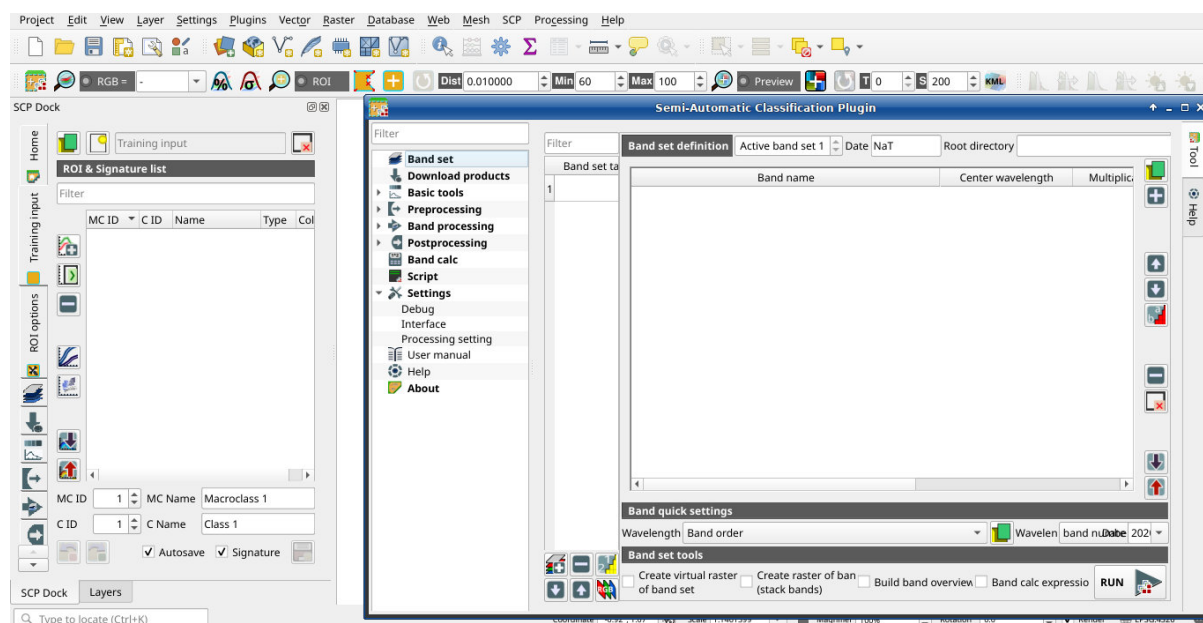



- The SCP should be automatically activated; however, be sure that the Semi-Automatic Classification Plugin is checked in the menu Installed (the restart of QGIS could be necessary to complete the SCP installation);

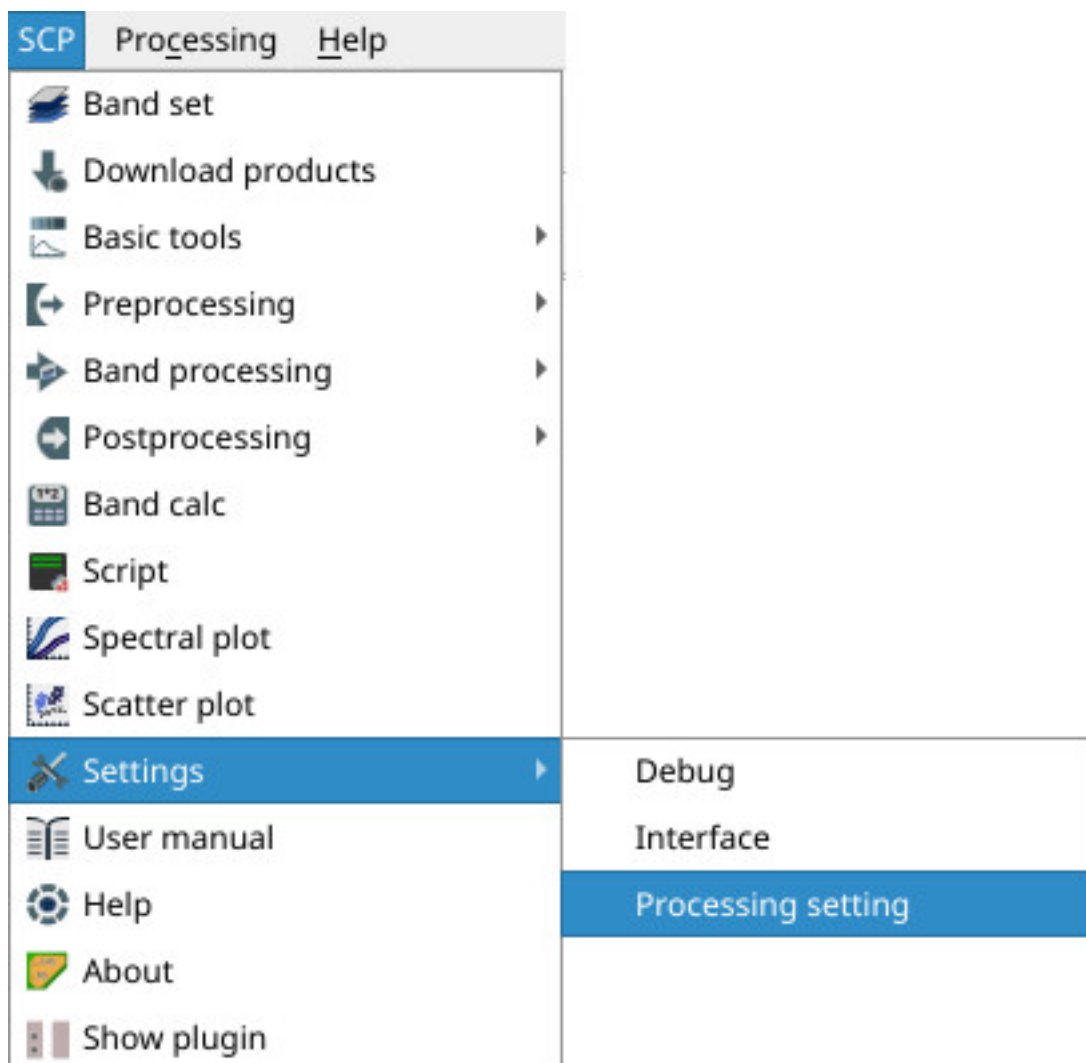


2.3.4 Configuration of the plugin

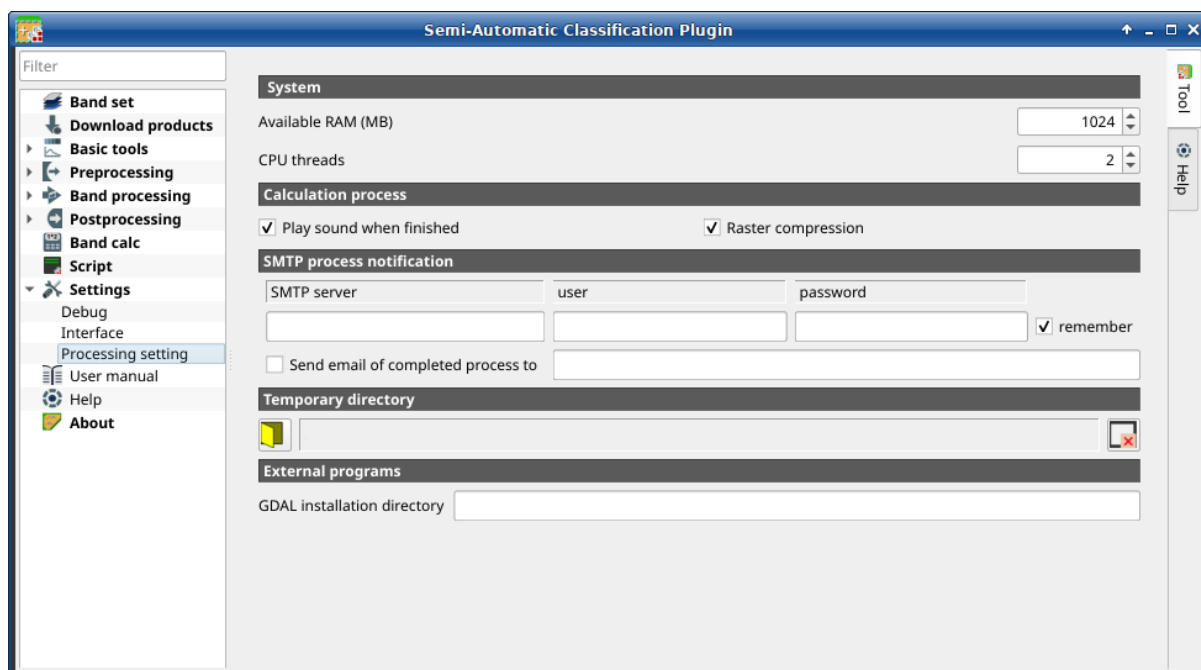
Now, the Semi-Automatic Classification Plugin is installed and a dock and a toolbar should be added to QGIS. Also, a SCP menu is available in the Menu Bar of QGIS. It is possible to move the toolbar and the dock according to your needs, as in the following image.



The configuration of available RAM is recommended in order to reduce the processing time. From the *SCP menu* (page 29) select  **Settings > Processing**.



In the *Налаштування* (page 109), set the **Available RAM (MB)** to a value that should be half of the system RAM. For instance, if your system has 2GB of RAM, set the value to 1024MB.



2.3.5 Update of required dependencies

The dependency Remotior Sensus is frequently updated. The Semi-Automatic Classification Plugin can check automatically if a new version is available, and display a message in the *SCP dock* (page 31).



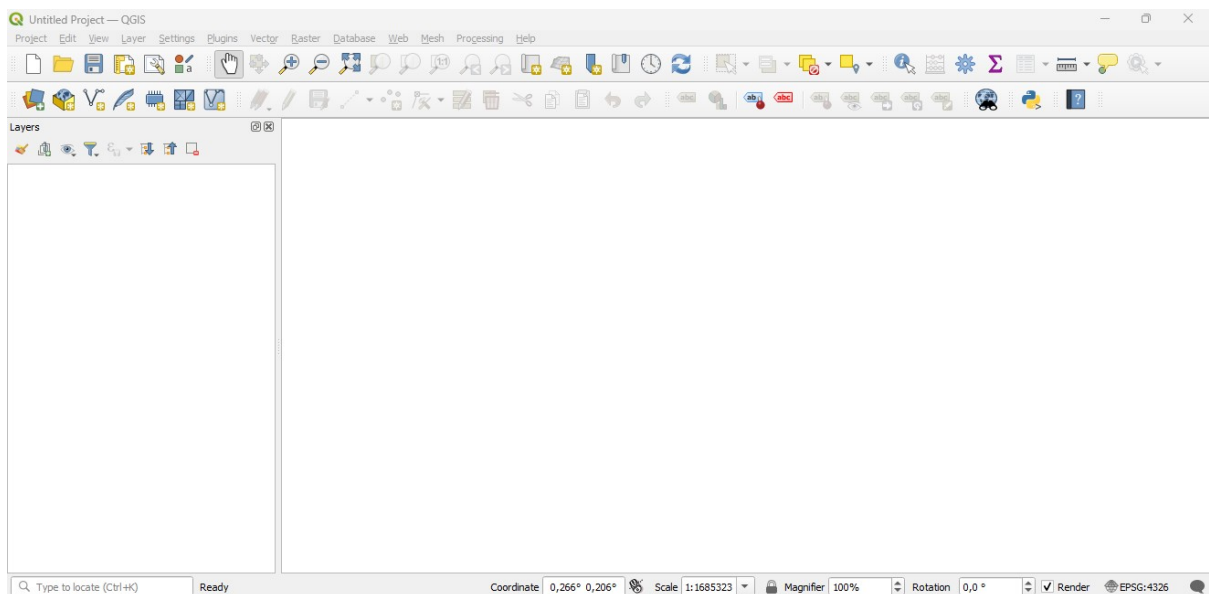
It is recommended to close QGIS and update Remotior Sensus following the same installation steps described in *Installation of required dependencies* (page 16) .

2.4 Installation in macOS

2.4.1 QGIS download and installation

- Download the latest QGIS version from [here](#) ;
- Execute the QGIS installer with administrative rights, accepting the default configuration.

Now, QGIS is installed.



2.4.2 Installation of required dependencies

The Semi-Automatic Classification Plugin requires Remotior Sensus, GDAL, NumPy and SciPy for most functionalities. Optionally, scikit-learn and PyTorch are required for machine learning.

Therefore, we need to install the dependencies that are not included in the QGIS installation.

- Close QGIS;
- Open the terminal (administrative rights may be required);
- Type the following command (you may need to adapt the path */Applications/QGIS.app* to the actual QGIS installation directory):

```
/Applications/QGIS.app/Contents/MacOS/bin/pip3 install --upgrade remotior-sensus
↪scikit-learn torch
```

or in case you installed QGIS LTR:

```
/Applications/QGIS-LTR.app/Contents/MacOS/bin/pip3 install --upgrade remotior-sensus
↪scikit-learn torch
```

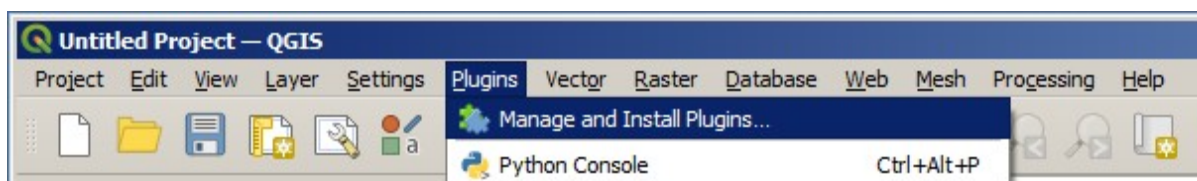
Порада: In case of error messages such as scikit-learn is already installed, you can just run `/Applications/QGIS.app/Contents/MacOS/bin/pip3 install --upgrade remotior-sensus torch`

Follow the same procedure for updating the dependencies.

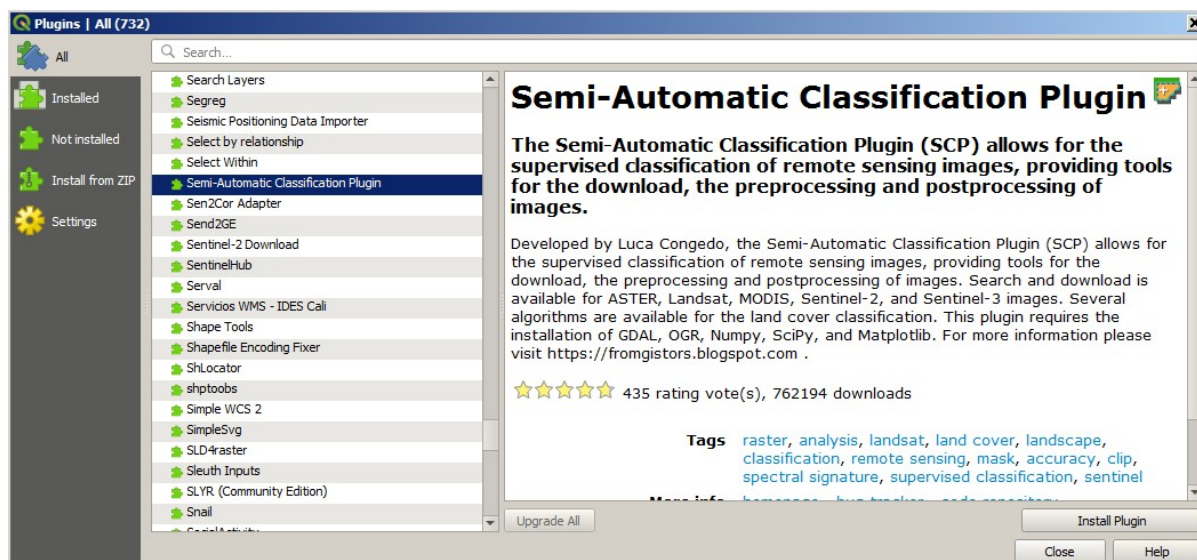
Порада: In case the library Remotior Sensus is not found, an automatic procedure will try to download it in the plugin directory, allowing for using the main functions of the Semi-Automatic Classification Plugin; however, this is not recommended as library Remotior Sensus won't be updated, and scikit-learn and PyTorch functions will not work. Alternatively, one may follow [Advanced installation using Conda](#) (page 24).

2.4.3 Semi-Automatic Classification Plugin installation

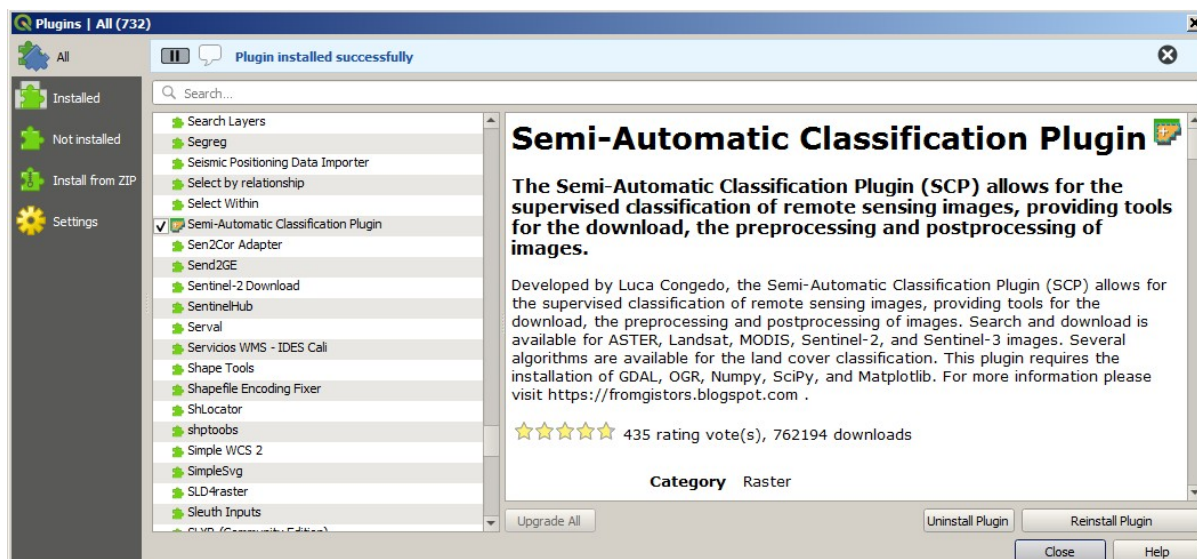
- Run QGIS;
- From the main menu, select **Plugins > Manage and Install Plugins**;



- From the menu **All**, select the Semi-Automatic Classification Plugin and click the button **Install plugin**;

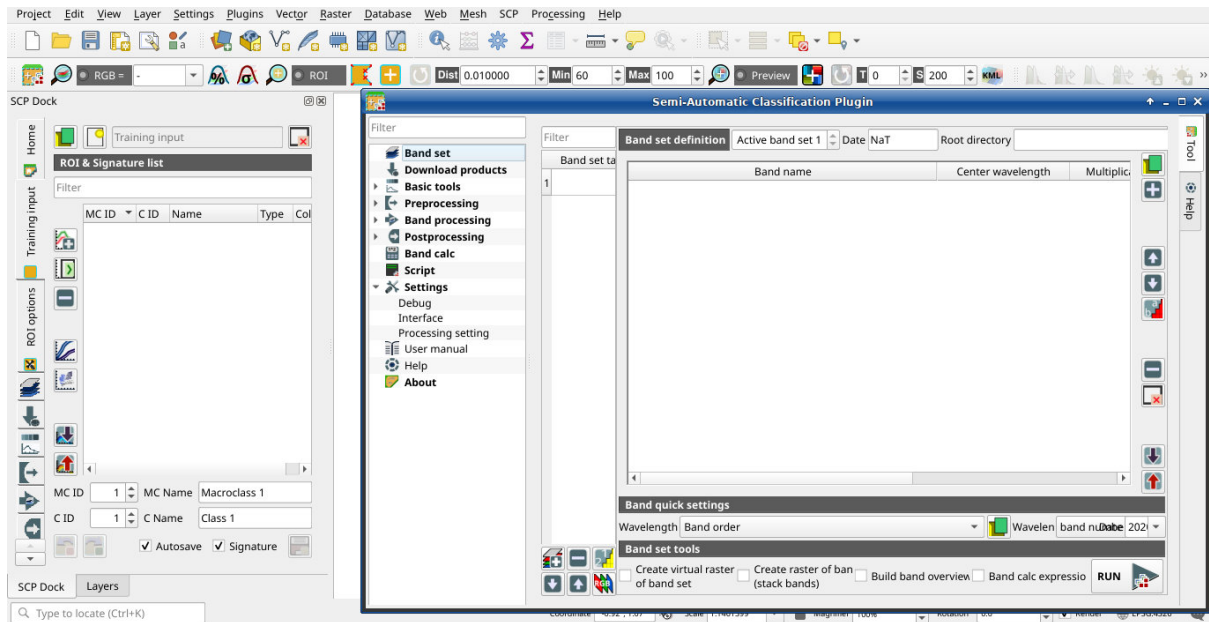



- The SCP should be automatically activated; however, be sure that the Semi-Automatic Classification Plugin is checked in the menu **Installed** (the restart of QGIS could be necessary to complete the SCP installation);

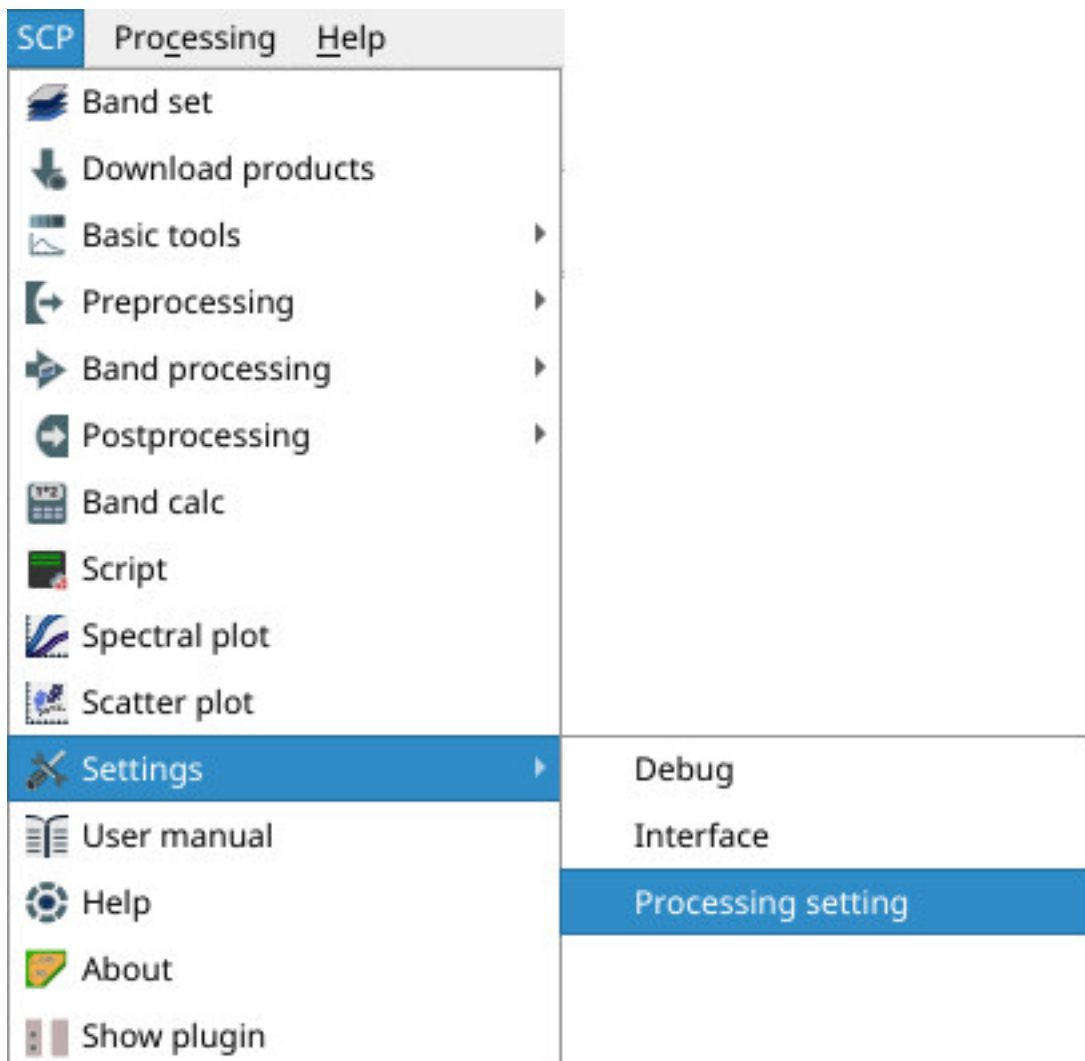


2.4.4 Configuration of the plugin

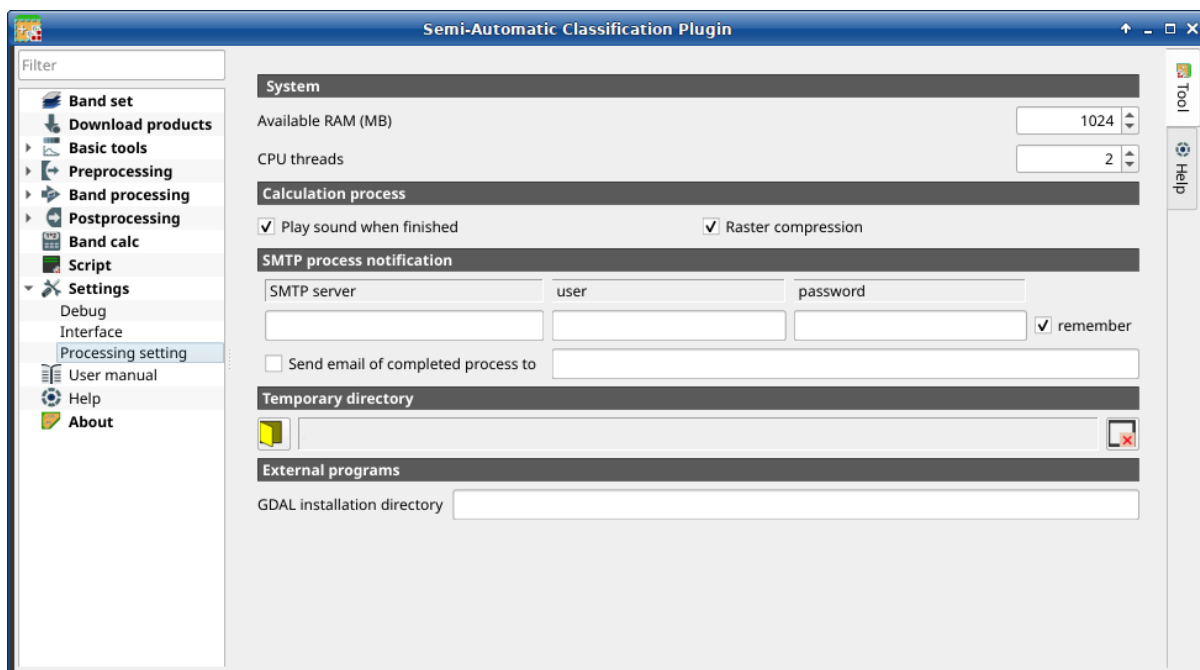
Now, the Semi-Automatic Classification Plugin is installed and a dock and a toolbar should be added to QGIS. Also, a SCP menu is available in the Menu Bar of QGIS. It is possible to move the toolbar and the dock according to your needs, as in the following image.



The configuration of available RAM is recommended in order to reduce the processing time. From the *SCP menu* (page 29) select  **Settings > Processing**.



In the *Налаштування* (page 109), set the Available RAM (MB) to a value that should be half of the system RAM. For instance, if your system has 2GB of RAM, set the value to 1024MB.



2.4.5 Update of required dependencies

The dependency Remotior Sensus is frequently updated. The Semi-Automatic Classification Plugin can check automatically if a new version is available, and display a message in the *SCP dock* (page 31).



It is recommended to close QGIS and update Remotior Sensus following the same installation steps described in *Installation of required dependencies* (page 21) .

2.5 Advanced installation using Conda

2.5.1 QGIS download and installation with the dependencies

The Semi-Automatic Classification Plugin requires Remotior Sensus, GDAL, NumPy and SciPy for most functionalities.

QGIS and the dependencies can be installed using a *Conda* environment (if you don't know *Conda* please read <https://conda-forge.org/docs>). For instance, you can use *Miniforge* to create a *Conda* environment.

Once installed conda, open the terminal and run the following commands to create a new environment:

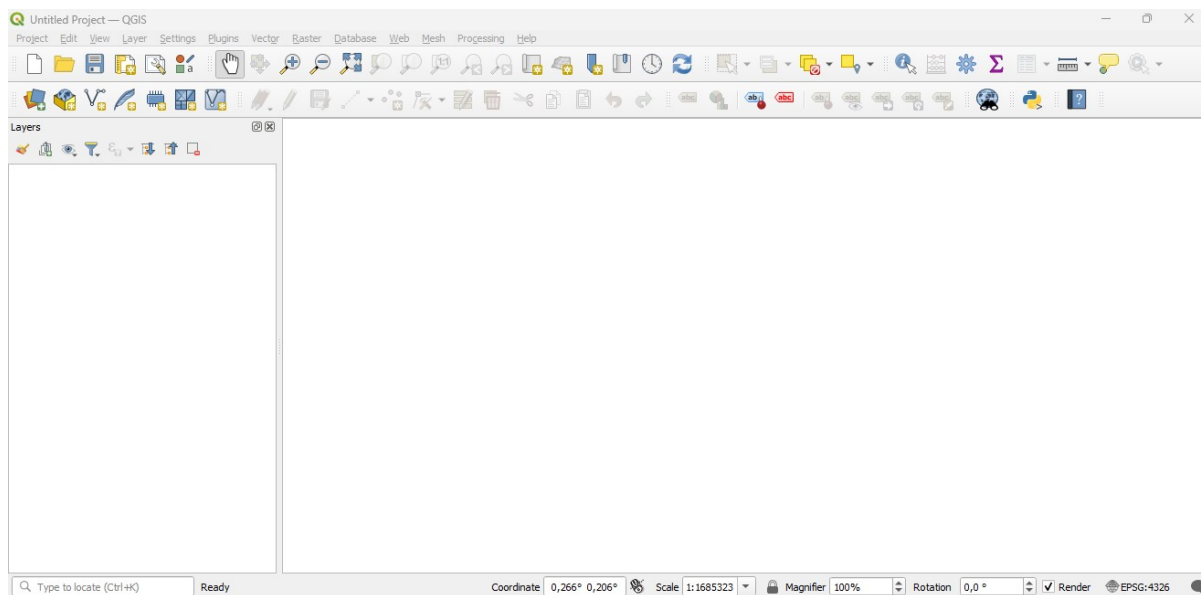

```
$ conda create -c conda-forge --name environment python=3.10
Proceed ([y]/n)? y
$ conda activate environment
```

Now install QGIS and the dependencies (it could take some time):

```
$ conda install -c conda-forge qgis gdal remotior-sensus scikit-learn pytorch
```

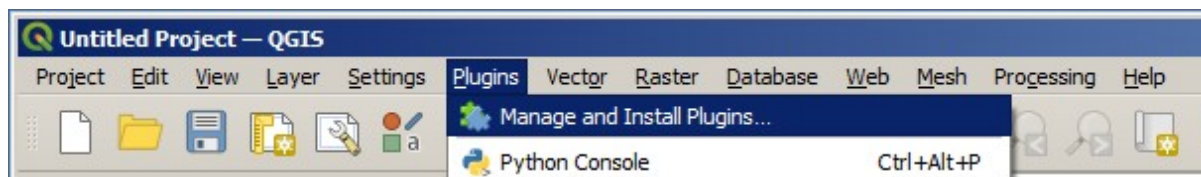
Now, QGIS is installed. To launch it run in the terminal:

```
$ qgis
```

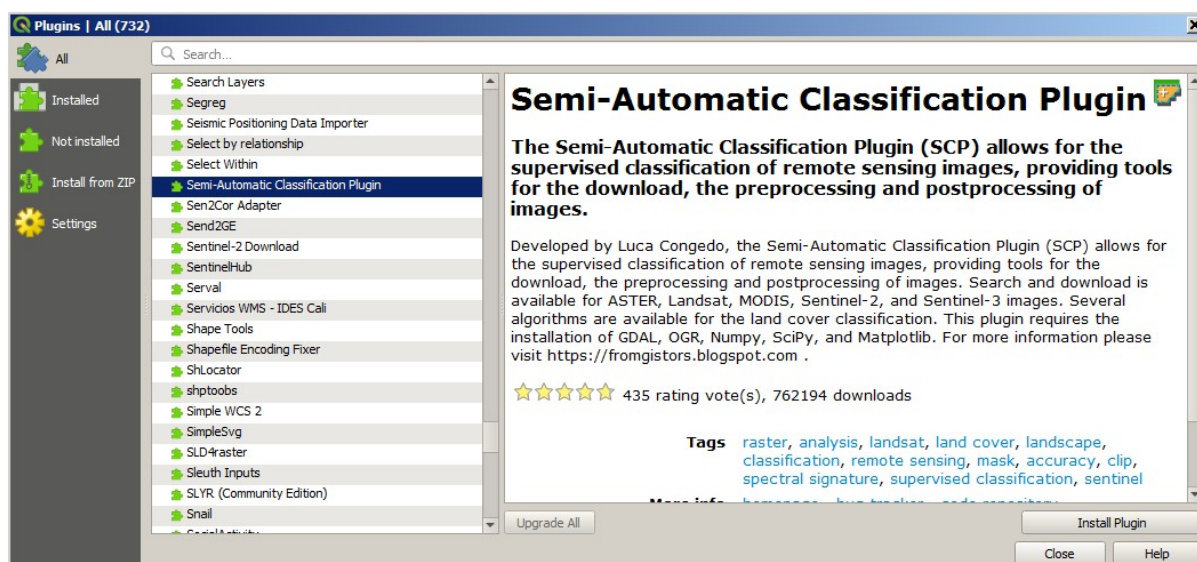


2.5.2 Semi-Automatic Classification Plugin installation

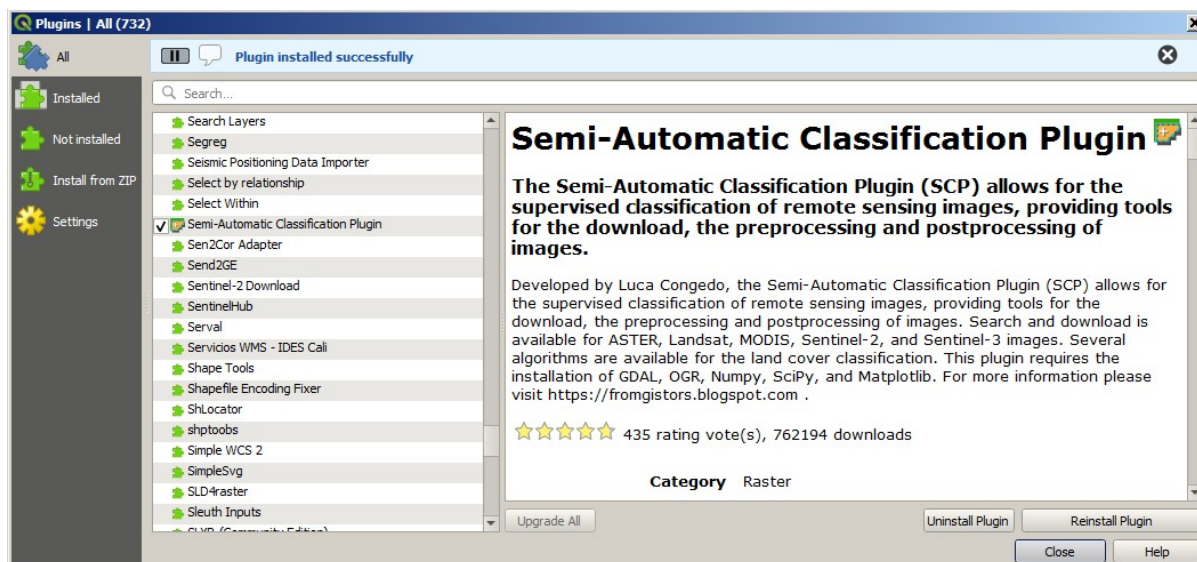
- Run QGIS;
- From the main menu, select **Plugins > Manage and Install Plugins**;



- From the menu **All**, select the **Semi-Automatic Classification Plugin** and click the button **Install plugin**;

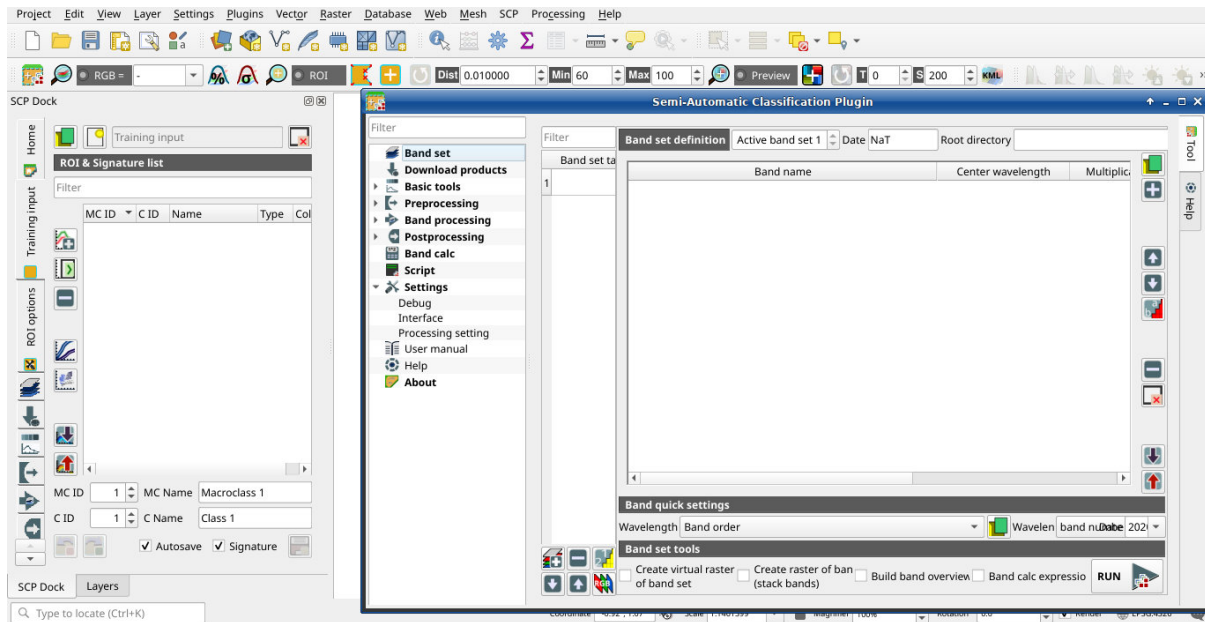



- The SCP should be automatically activated; however, be sure that the Semi-Automatic Classification Plugin is checked in the menu **Installed** (the restart of QGIS could be necessary to complete the SCP installation);

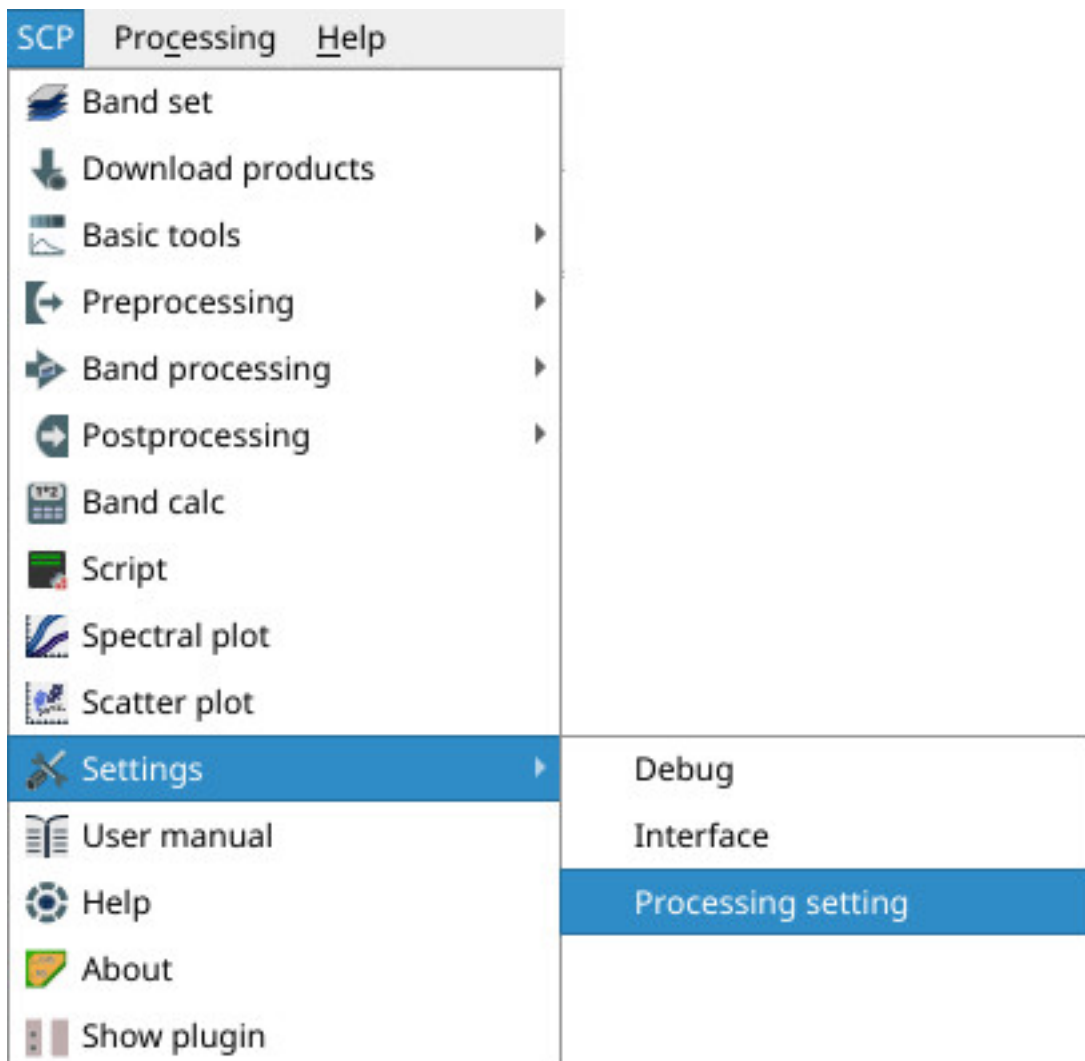


2.5.3 Configuration of the plugin

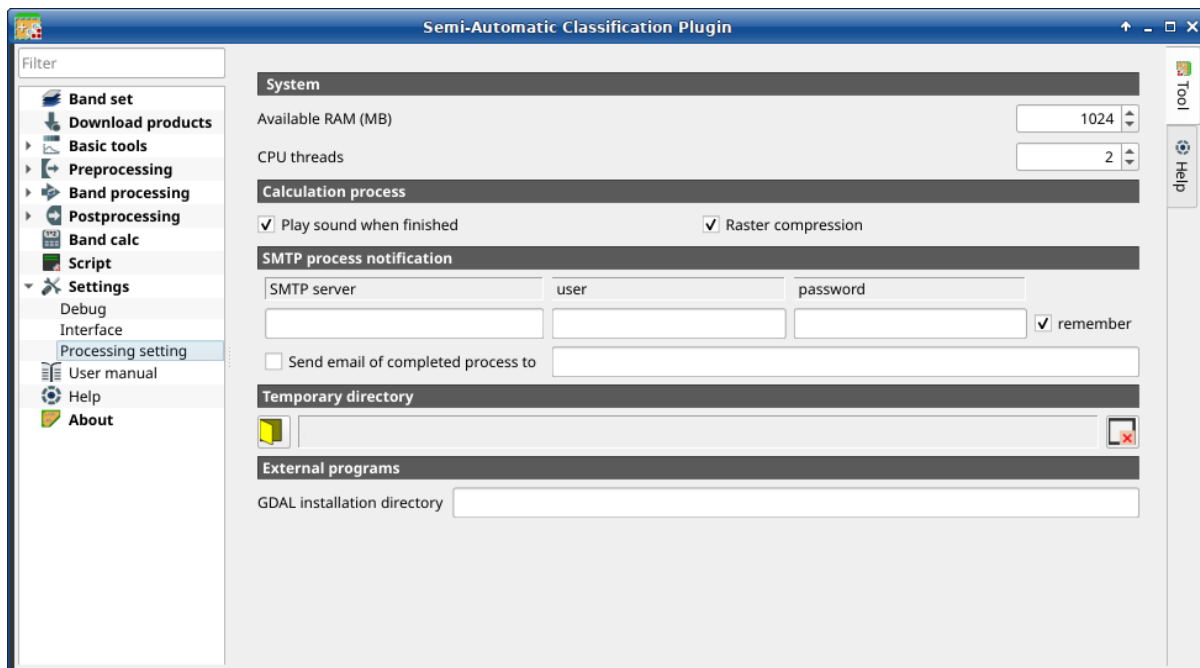
Now, the Semi-Automatic Classification Plugin is installed and a dock and a toolbar should be added to QGIS. Also, a SCP menu is available in the Menu Bar of QGIS. It is possible to move the toolbar and the dock according to your needs, as in the following image.



The configuration of available RAM is recommended in order to reduce the processing time. From the *SCP menu* (page 29) select  **Settings > Processing**.



In the *Налаштування* (page 109), set the Available RAM (MB) to a value that should be half of the system RAM. For instance, if your system has 2GB of RAM, set the value to 1024MB.



2.5.4 Update of required dependencies

The dependency Remotior Sensus is frequently updated. The Semi-Automatic Classification Plugin can check automatically if a new version is available, and display a message in the *SCP dock* (page 31).



It is recommended to close QGIS and update Remotior Sensus using activating the conda environment and running the command:

```
$ conda update -c conda-forge remotior-sensus
```

The Interface of SCP

The *SCP* interface is composed of several parts that are described in detail in the following paragraphs. The following video provides a brief introduction to the tools.

<https://www.youtube.com/watch?v=gVSSO5LPw8s>

3.1 SCP menu

The *SCP menu* allows for the selection of the main functions of the *Main Interface Window* (page 45), the *Spectral Signature Plot* (page 114), and the *Scatter Plot* (page 118).

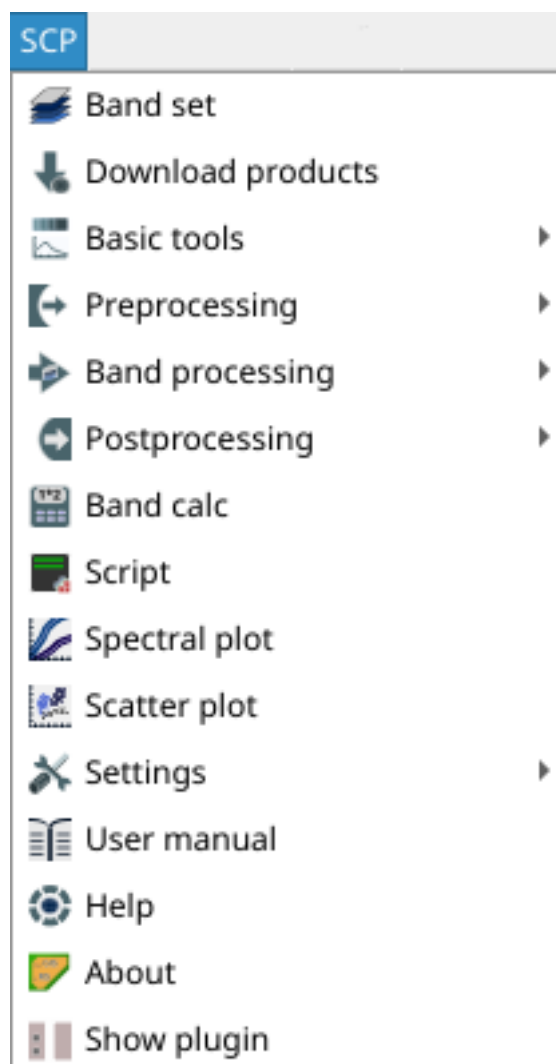




Fig. 1: *SCP menu*

	Band set (page 45)
	Download products (page 48)
	Basic tools (page 53)
	Передоброблення (page 62)
	Band processing (page 75)
	Післяоброблення (page 92)
	Band calc (page 99)
	Script (page 108)
	Налаштування (page 109)
	Spectral Signature Plot (page 114)
	Scatter Plot (page 118)
	User manual : open the online user manual in a web browser
	Online help : open the Online help in a web browser; also, a Facebook group is available for sharing information and asking for help about SCP
About	Information about the plugin
	Show plugin : show all the SCP toolbars and dock if previously hidden

3.2 SCP dock

The *SCP dock* allows for the the creation of ROIs (Regions Of Interest) and spectral signatures required for the classification of a [Band set](#) (page 45). The [Training input](#) (page 33), created with *SCP*, stores the ROI polygons and spectral signatures; depending on the algorithm, the training could be performed using ROI polygons (e.g. [Random Forest](#) (page 143)) or spectral signatures (e.g. [Картографування спектрального кута](#) (page 139)).

ROIs are polygons used for the definition of the spectral characteristics of land cover classes. Spectral signatures of classes are calculated from the ROIs or can be imported from other sources (see [Import signatures](#) (page 54)). It is worth pointing out that classification is always based on spectral signatures.

SCP allows for the creation of *temporary ROI polygons* using a region growing algorithm or drawn manually with the tools provided in the [Working toolbar](#) (page 41). These are *temporary ROI polygons* because the ROI creation is an interactive process, and one can refine the geometry according to photo-interpretation. Then, one can save *temporary ROI polygons* in the [Training input](#) (page 33) which is the actual input for classifications.

The [Training input](#) (page 33) is composed of a vector part that stores the geometries and a spectral signature part, which are managed by *SCP*. A temporary layer is added to QGIS but the actual file is saved and modified during the editing in *SCP*.

In *SCP*, land cover classes (and ROIs) are defined with a system of *Classes* (*Class ID*) and *Macroclasses* (*Macroclass ID*) (see [Класи та макрокласи](#) (page 136)) that are used for the classification process; each *Macroclass ID* is related to a *Macroclass Information* (e.g. macroclass name) and each *Class ID* is related to a *Class Information* (e.g. class name), but only *Macroclass ID* and *Class ID* are used for the classification process.

The use of the *Macroclass ID* or *Class ID* for classifications is defined with the option *Use MC ID or C ID* in the [Algorithm](#) (page 76). Using *Macroclass ID* instead of *Class ID* is useful to group materials that

Fig. 2: *SCP dock*

belong to the same land cover class but have spectral signatures that are distant enough to be considered as different materials (e.g., different types of vegetation).

The **classification** can be performed for the entire image (see [Algorithm](#) (page 76)) or for a part of it creating a [Classification preview](#) (page 44).

The *SCP dock* contains the following tabs:

- [Home](#) (page 33)
 - [SCP news](#) (page 33)
- [Training input](#) (page 33)
 - [ROI & Signature list](#) (page 36)
- [ROI options](#) (page 41)

The left side of *SCP dock* contains buttons for accessing the main functions of *SCP*.

3.2.1 Home

The tab *Home* contains the buttons for accessing the main functions of *SCP*:

	Band set (page 45)
	Basic tools (page 53)
	Download products (page 48)
	Передоброблення (page 62)
	Band processing (page 75)
	Післяоброблення (page 92)
	Band calc (page 99)
	Script (page 108)

SCP news

This section displays news about the *SCP* and related services. News are downloaded on startup (internet connection required). It can be enabled or disabled in the settings [Налаштування](#) (page 109).

3.2.2 Training input

This tool allows for the creation of the training input file (**.scpx**) required for storing ROIs and spectral signatures. The training input file is created according to the characteristics of the *active band set* defined in [Band set](#) (page 45). A new training input file should be created for every *band set*, unless the *band sets* have the same spectral characteristics and coordinate reference system.

Fig. 3: *Home*

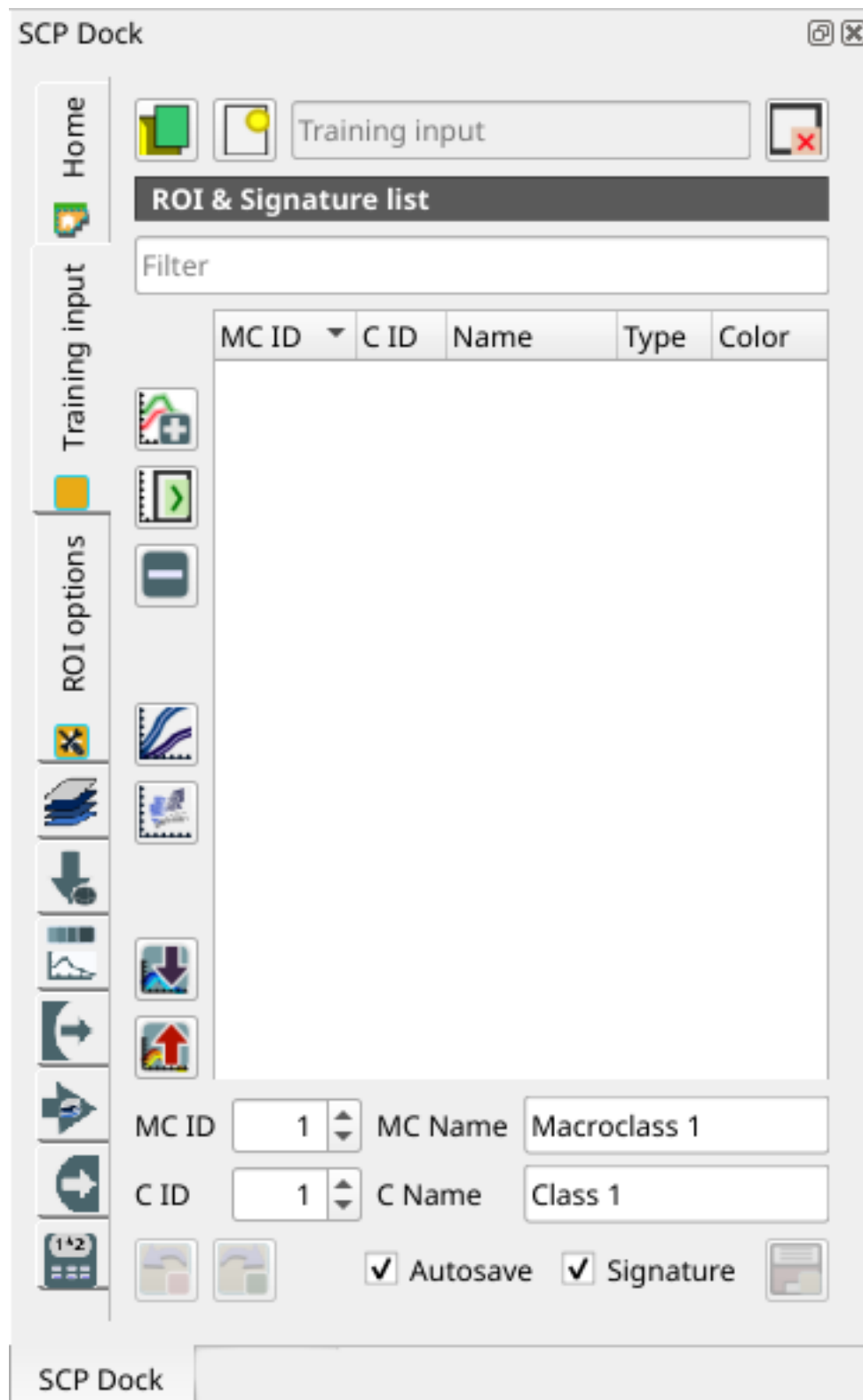






Fig. 4: Training input


Tool symbol and name	Description
	open a training input file; ROIs and spectral signatures are loaded in <i>ROI & Signature list</i> (page 36); the vector part of the training input is loaded in QGIS
	create an empty training input file (.scpx); the vector part of the training input is loaded in QGIS; also a backup file is created (a file .scpx.backup in the same directory as the file .scpx) when the QGIS project is saved; to use the backup file simply rename it deleting the ending .backup extension and open it as training input
<i>Training input</i> 	it displays the path to the training input file
	remove the training input

The training input is displayed in QGIS as vector file. ROIs and spectral signatures are displayed in the *ROI & Signature list* (page 36).

Попередження: In order to avoid data loss, do not edit the vector *Training input* using the QGIS tools. Use only the tools of *SCP* for managing the *Training input*.


ROI & Signature list

The tab *ROI & Signature list* displays the ROI polygons and spectral signatures contained in the training input file. The tab *ROI & Signature list* is structured as tree list, where every ROI is grouped in the corresponding Macroclass.

A filter for names can be defined in *Filter* .

The tree list *ROI & Signature list* has the following fields:

- **MC ID:** Macroclass ID is the root of corresponding ROIs and signatures; it can be edited with a single click; if the ID of a spectral signature is set 0, then pixels belonging to this signature are labelled as unclassified; every listed ROIs or signatures has a selection checkbox (only the spectral signatures checked in this list are used for the classification process);
- **C ID:** Class ID; it can be edited with a single click;
- **Name:** Macroclass and Class Name; it can be edited with a single click;
- **Type: type of the item:**
 - *R* = only ROI polygon;
 - *S* = only spectral signature;
 - *RS* = both ROI and spectral signature;
- **Color:** C ID color; double click to select a color for the class that is used in the classification; if the ID of a spectral signature is set 0, then pixels belonging to this signature are labelled as unclassified;

Changes in the *ROI & Signature list* are applied to the file *Training input* (page 33) only when the QGIS project is saved (but there is also the option  *Autosave*). ROIs can be edited, deleted and merged from this list.






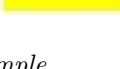
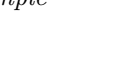
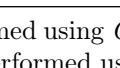
MC ID	C ID	Name	Type	Color
1		Water		
<input checked="" type="checkbox"/>	1	Lake	R&S	
<input checked="" type="checkbox"/>	1	Lake2	R&S	
2		Built-up		
<input checked="" type="checkbox"/>	2	Buildings	R&S	
<input checked="" type="checkbox"/>	2	Small buildings	R&S	
3		Vegetation		
<input checked="" type="checkbox"/>	3	Crops	R&S	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	Vegetation	R&S	
<input checked="" type="checkbox"/>	3	Vegetation2	R&S	
4		Bare soil		
<input checked="" type="checkbox"/>	4	Low vegetation	R&S	








Fig. 5: *ROI & Signature list example*

Порада: According to *Algorithm* (page 76), classifications performed using *C ID* have the colors defined for classes in the *ROI & Signature list* (page 36); classifications performed using *MC ID* have the colors defined for the macroclasses.

If an item is a ROI polygon, double click the item to zoom to that ROI in the map. Items in the list can be highlighted with the mouse left click.
















Порада: ROIs and spectral signatures can be imported from other sources (see *Import signatures* (page 54)) and exported (see *Export signatures* (page 53)).

The following tools are available.

Tool symbol and name	Description
	merge highlighted spectral signatures or ROIs obtaining a new signature calculated as the average of signature values for each band (covariance matrix is excluded)
	calculate spectral signatures of highlighted ROIs using the <i>active band set</i> in <i>Band set</i> (page 45)
	delete highlighted ROIs and signatures
	show the ROI spectral signature in the <i>Spectral Signature Plot</i> (page 114); spectral signature is calculated from the <i>Band set</i> (page 45)
	add highlighted ROIs to the <i>Scatter Plot</i> (page 118)
	open the tab <i>Import signatures</i> (page 54)
	open the tab <i>Export signatures</i> (page 53) and export highlighted items

ROI & Signature list is complementary to the *Working toolbar* (page 41) and it allows for saving ROIs to the *Training input* (page 33) defining classes and macroclasses. A *Band set* (page 45) must be defined

before the ROI creation, and ROI polygons must be inside the area of the *Band set*.

Tool symbol and name	Description
 	ROI Macroclass ID
 	ROI Macroclass Name
 	ROI Class ID
 	ROI Class Name
	undo of ROI creation from the <i>Training input</i> (page 33); it is possible to undo a maximum of 10 actions
	redo ROI creation in the <i>Training input</i> (page 33)
 	if checked, automatically save the <i>ROI & Signature list</i> to the <i>Training input</i> (page 33) every time a ROI is saved
 	if checked, while saving a ROI, the spectral signature thereof is calculated (from <i>Band set</i> (page 45) pixels under ROI polygon) and saved to <i>Training input</i> (page 33) (calculation time depends on the band number of the <i>active band set</i> in <i>Band set</i> (page 45))
	save the temporary ROI to the <i>Training input</i> (page 33) using the defined classes and macroclasses; ROI is displayed in the <i>ROI & Signature list</i> (page 36)

Right click menu

A right click on *ROI & Signature list* (page 36) allows for opening a menu containing several functions to manage ROIs and spectral signatures.

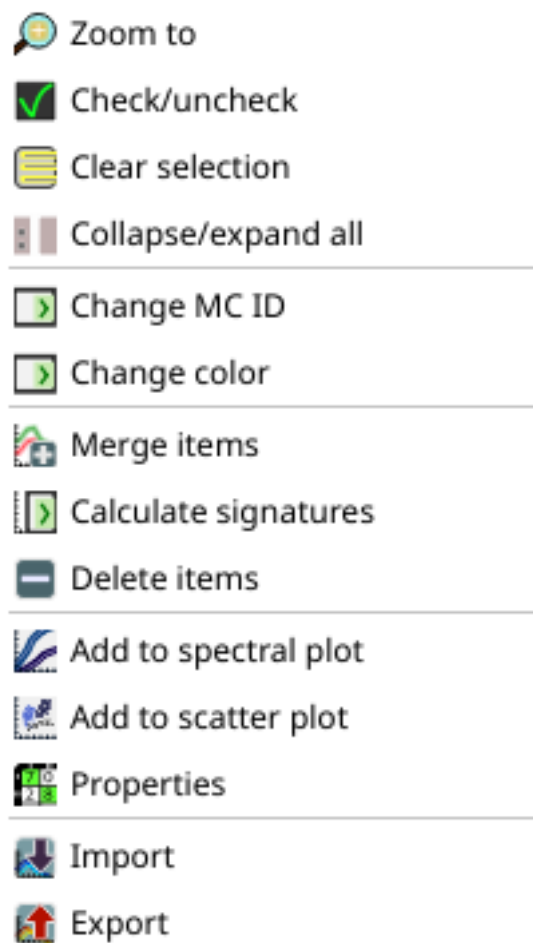



























Fig. 6: *Right click menu*

Tool symbol and name	Description
 <i>Zoom to</i>	zoom to highlighted items (if ROI polygons) in the map
 <i>Check/unc</i>	check or uncheck highlighted items
 <i>Clear selection</i>	clear selection of highlighted items
 <i>Collapse/expand all</i>	collapse or expand all macroclasses
 <i>Change MC ID</i>	edit the macroclass of highlighted items (using the value <i>MC ID</i>  displayed in <i>ROI & Signature list</i> (page 36)); if a macroclass is selected, the function is performed to all the included items
 <i>Change color</i>	select a color for the highlighted items; if a macroclass is selected, the function is performed to all the included items
 <i>Merge items</i>	merge highlighted spectral signatures or ROIs obtaining a new signature calculated as the average of signature values for each band (covariance matrix is excluded); if a macroclass is selected, the function is performed to all the included items
 <i>Calculate signatures</i>	calculate spectral signatures of highlighted ROIs using the <i>active band set</i> in <i>Band set</i> (page 45); if a macroclass is selected, the function is performed to all the included items
 <i>Delete items</i>	delete highlighted ROIs and signatures; if a macroclass is selected, the function is performed to all the included items;
 <i>Add to spectral plot</i>	show the ROI spectral signature in the <i>Spectral Signature Plot</i> (page 114); spectral signature is calculated from the <i>Band set</i> (page 45); if a macroclass is selected, the function is performed to all the included items
 <i>Add to scatter plot</i>	add highlighted ROIs to the <i>Scatter Plot</i> (page 118); if a macroclass is selected, the function is performed to all the included items
 <i>Properties</i>	show the properties of highlighted items;
 <i>Import</i>	open the tab <i>Import signatures</i> (page 54)
 <i>Export</i>	open the tab <i>Export signatures</i> (page 53) and export highlighted items

3.2.3 ROI options

ROI options are useful for displaying pixel values or improving the creation of ROIs.

Tool symbol and name	Description
 <i>Display</i>  	if the ROI creation pointer is active (see Working toolbar (page 41)), the pixel value of selected vegetation index is displayed on the map; vegetation indices available in the combo box are: * NDVI (Normalized Difference Vegetation Index); NDVI requires the near-infrared and red bands; * EVI (Enhanced Vegetation Index); EVI requires the blue, near-infrared and red bands converted to reflectance; wavelengths must be defined in the Band set (page 45); * Custom; use the custom expression defined in the following line
 	set a custom expression; expression is based on the <i>Band set</i> and bands such as band 1 is referred to as «b1», band 2 as «b2» and so on; also reference to band names such as «#NIR#» or «#RED#» can be used
 <i>Rapid ROI b.</i> 	if checked, temporary ROI is created with region growing using only one <i>Band set</i> (page 45) band (i.e. region growing is rapider); the band is defined by the <i>Band set</i> number; if unchecked, ROI is the result of the intersection between ROIs calculated on every band (i.e. region growing is slower, but ROI is spectrally homogeneous in every band)
 <i>Auto-plot</i>	calculate automatically the temporary ROI spectral signature and display it in the Spectral Signature Plot (page 114) (MC Name of this spectral signature is set <code>tempo_ROI</code>)
 <i>Auto-refresh ROI</i>	calculate automatically a new temporary ROI while <i>Region growing parameters</i> in the Working toolbar (page 41) are being changed
<i>Maximum training buffer</i> 	defines the maximum number of action for undo and redo ROIs; the higher is the number, the more is the required memory

3.3 Working toolbar

The *Working toolbar* allows for creating *temporary ROIs* and *classification previews*.

- [Image control](#) (page 43)
- [Temporary ROI](#) (page 43)
- [Classification preview](#) (page 44)

The functions are described in detail in the following paragraphs.

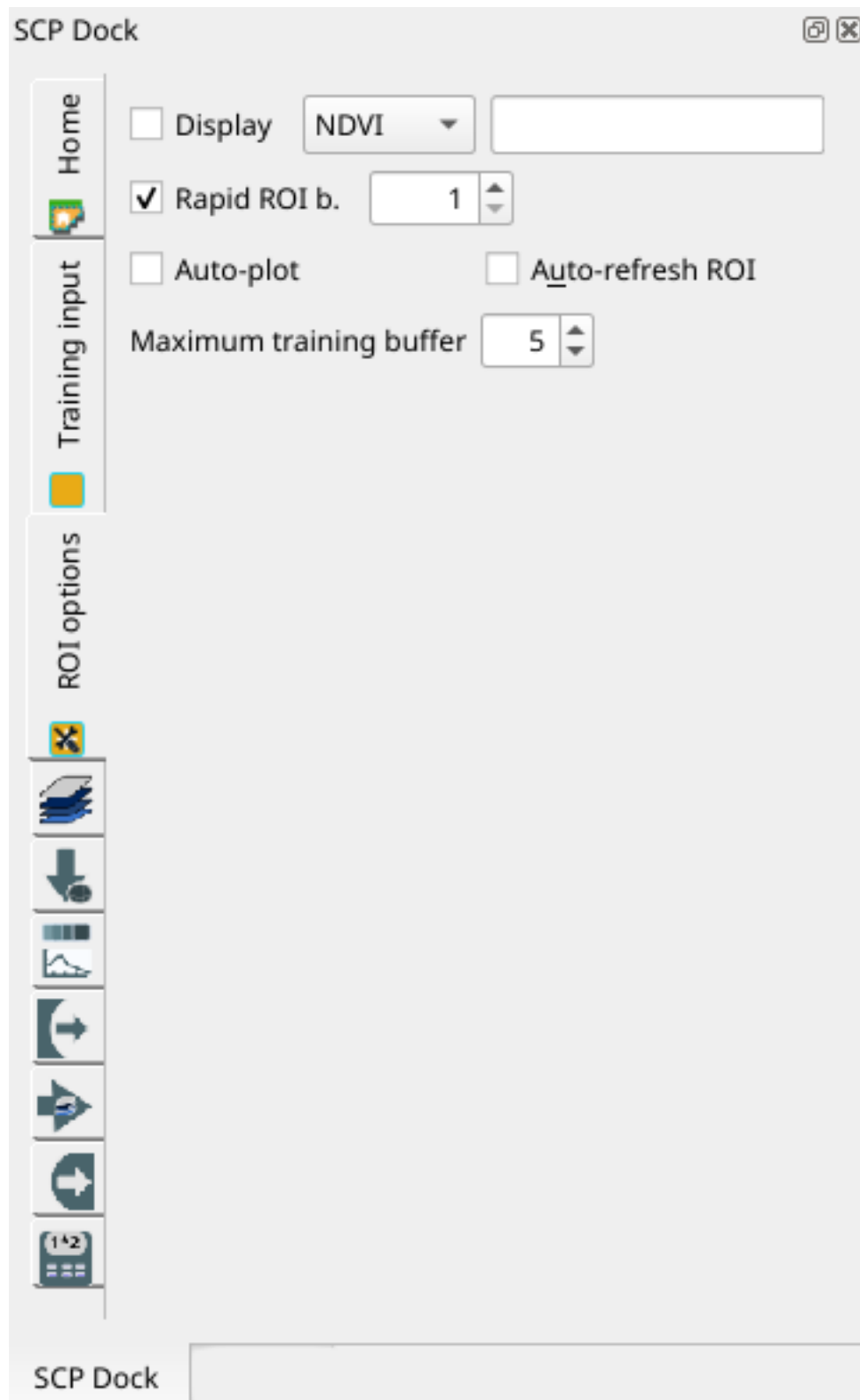









Fig. 7: *ROI options*








Fig. 8: *Working toolbar*

3.3.1 Image control

Tool symbol and name	Description
	show the <i>Main Interface Window</i> (page 45)
	zoom the map to the extent of the <i>active band set</i> in <i>Band set</i> (page 45);
 RGB=  	use the button to show/hide the <i>active band set</i> in <i>Band set</i> (page 45) in the map; from the list select a <i>Кольоровий композит</i> (page 134) that is applied to the <i>Band set</i> (page 45); new color composites can be entered typing the band numbers separated by - or ; or , (e.g. RGB = 4-3-2 or RGB = 4;3;2 or RGB = 4,3,2)
	display the input image stretching the minimum and maximum values according to cumulative count of current map extent
	display the input image stretching the minimum and maximum values according to standard deviation of current map extent







3.3.2 Temporary ROI

A *temporary ROI* is a temporary polygon displayed in the map, which can be saved permanently in the *Training input* (page 33). A *temporary ROI* can be drawn manually or using a *Алгоритм нарощування області* (page 135) (i.e. the image is segmented around a pixel seed including spectrally homogeneous pixels).

Tool symbol and name	Description
	zoom the map to the extent of <i>temporary ROI</i>
 ROI	use the button to show/hide the <i>temporary ROI</i> and the <i>Training input</i> in the map
	activate the pointer to create a <i>temporary ROI</i> by drawing a polygon in the map; left click on the map to define the ROI vertices and right click to define the last vertex closing the polygon; press the keyboard button CTRL to add a multipart polygon; press the keyboard buttons CTRL + Z for removing the last multipart polygon
	: activate the pointer to create a <i>temporary ROI</i> using the region growing algorithm; left click on the map for creating the ROI; right click on the map for displaying the spectral signature of a pixel of the <i>active band set</i> in the <i>Spectral Signature Plot</i> (page 114); press the keyboard button CTRL and left click to add a multipart polygon (new parts are not created if overlapping to other parts); press the keyboard buttons CTRL + Z for removing the last multipart polygon; press the keyboard button CTRL and right click to plot spectral signatures of the same pixel for all the <i>band sets</i>
	create a <i>temporary ROI</i> using the region growing algorithm at the same seed pixel as the previous one; it is useful after changing the <i>region growing parameters</i>

Region growing parameters: the following parameters are required for the ROI creation using a region

growing algorithm on the *Band set* (page 45):

Tool symbol and name	Description
<i>Dist</i>  	set the interval which defines the maximum spectral distance between the seed pixel and the surrounding pixels (in radiometry unit)
<i>Min</i>  	set the minimum area of a ROI (in pixel unit); this setting overrides the Range radius until the minimum ROI size is reached; if Rapid ROI on band is checked, then ROI will have at least the size defined Min ROI size ; if Rapid ROI on band is unchecked, then ROI could have a size smaller than Min ROI size
<i>Max</i>  	set the maximum width of a ROI (i.e. the side length of a square, centred at the seed pixel, which inscribes the ROI) in pixel unit

3.3.3 Classification preview








Classification preview allows for displaying temporary classifications (i.e. classification previews). Classification previews are useful for testing the algorithm in a small area of the *Band set* (page 45), before classifying the entire image which can be time consuming.

Classification preview is performed according to the parameters defined in *Algorithm* (page 76).

Попередження: ROIs and previews are performed on the active *Band set* (page 45).

After the creation of a new preview, old previews are placed in QGIS Layers inside a layer group named **Class_temp_group** and are deleted when the QGIS session is closed.

Попередження: Classification previews are automatically deleted from disk when the QGIS session is closed; a QGIS message (that can be ignored) could ask for the path of missing layers when opening a previously saved project.

Tool symbol and name	Description
	zoom the map to the extent of the last <i>Classification preview</i> (page 44)
 <i>Preview</i>	use the button to show/hide the last <i>Classification preview</i> (page 44) in the map
	activate the pointer for the creation of a <i>Classification preview</i> (page 44); left click the map to start the classification process and display the classification preview
	create a new <i>Classification preview</i> (page 44) centred at the same pixel as the previous one
<i>T</i> 	change dynamically the classification preview transparency, which is useful for comparing the classification to other layers
<i>S</i> 	size of the preview in pixel unit (i.e. the side length of a square, centred at the clicked pixel)
	create a KML file of the QGIS view

3.4 Main Interface Window

The Main Interface Window is composed of several tabs described in detail in the following paragraphs. Tabs can be selected through the tree menu at the left side or from the *SCP menu* (page 29).

3.4.1 Band set

- *Band set definition* (page 46)
- *Band quick settings* (page 47)
- *Band set table* (page 48)
- *Band set tools* (page 48)

Image input in *SCP* is named *band set*. This tab allows for the definition of one or multiple *band sets* to be used as input for classification and other tools.

Band sets are identified by numbers. The *active band set* (i.e. the one selected in *Band set definition* (page 46)) is used as input for several tools in *SCP dock* (page 31) and the *Working toolbar* (page 41). Other *SCP* tools allow for the selection of *band set* numbers.

The *Band set* definition is saved with the QGIS project.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Following a video tutorial about this tool.

<https://www.youtube.com/watch?v=DQXfBPke2J4>

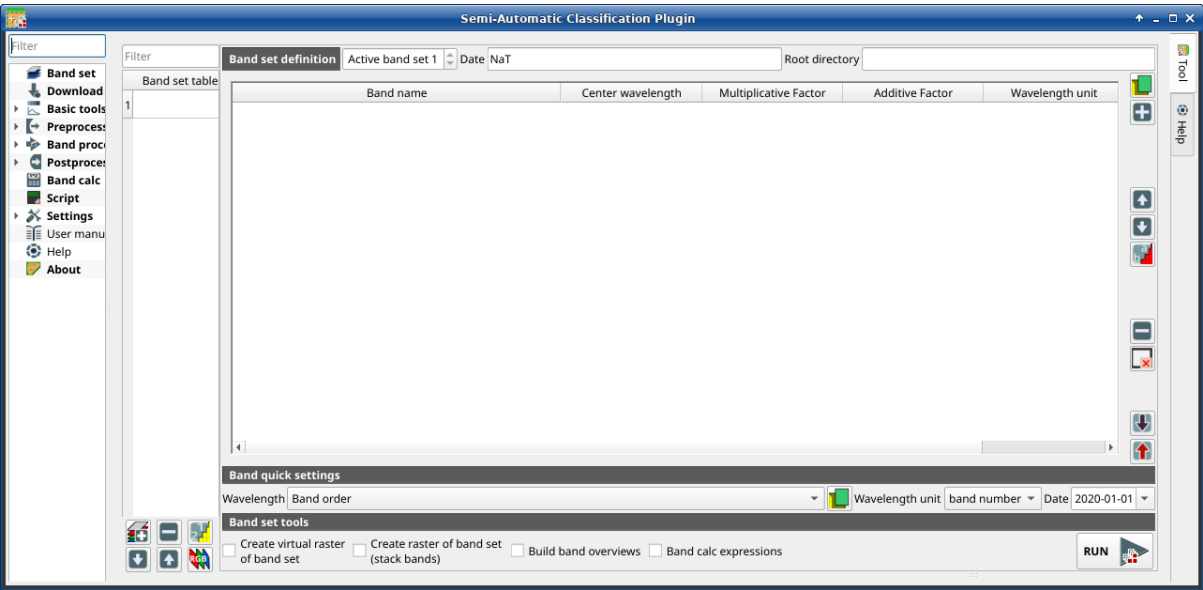


Fig. 9:  *Band set*










Band set definition

A *band set* is basically a list of bands defined as the following table.

Band name	Center wavelength	Multiplicative Factor	Additive Factor	Wavelength unit	Path	Date
name of the band (it cannot be edited)	center of the wavelength of the band	multiplicative rescaling factor	additive rescaling factor	wavelength unit	relative path of the raster	image acquisition date

It is possible to add to the *active band set* one or more bands already loaded in QGIS, or select files that are not loaded. A *Date* can be assigned to a *band set* which can be later used in other tools to select *band sets* by date. Also, a *Root directory* for band paths can be defined, which can be useful to create projects with relative paths.

The following tools are available.





Tool symbol and name	Description
	open file explorer and add raster files (preferably single band raster) to the <i>active band set</i>
	open a window to select rasters already loaded in QGIS and add them to the <i>active band set</i>
	move highlighted bands upward
	move highlighted bands downward
	sort automatically bands by name, giving priority to the ending numbers of name
	remove highlighted bands from the <i>active band set</i>
	clear all bands from <i>active band set</i>
	import a previously saved <i>active band set</i> from file
	export the <i>active band set</i> to a file

It is possible to define a multiplicative rescaling factor and additive rescaling factor for each band (for instance using the values in Landsat metadata), which are used on the fly (i.e. $\text{pixel value} = \text{original pixel value} * \text{multiplicative rescaling factor} + \text{additive rescaling factor}$) during the processing.

The *Center wavelength* of bands should be defined in order to use several functions of *SCP*. If the *Center wavelength* of bands is not defined, the band number is used and some *SCP* tools will be disabled.

Band quick settings

These tools allow for quickly set attributes of the *active band set*.







Tool symbol and name	Description
<i>Wavelength</i> 	rapid definition of band center wavelength for the following satellite sensors: * Band order * ASTER * GeoEye-1 * GOES * Landsat 8 OLI * Landsat 7 ETM+ * Landsat 4-5 TM * Landsat 1, 2, and 3 MSS * MODIS * Pleiades * QuickBird * RapidEye * Sentinel-2 * Sentinel-3 * SPOT 4, 5, and 6 * WorldView-2 and WorldView-3
	open a csv file of wavelength values (center wavelength separated by comma or new line)
<i>Wavelength unit</i> 	select the wavelength unit among: <ul style="list-style-type: none"> • <i>Band number</i>: no unit, only band number • μm: micrometres • <i>nm</i>: nanometres
<i>Date</i> 	set the date of acquisition

Band set table

The table on the left side is the *Band set table*. It includes the list of all the defined *band sets* (the names of the first bands are displayed), which can be selected with a left click. Double click on a table item can be used to define the *Active band set*.


A *Filter* can be used to display *band sets* in the table matching a name.

The following tools are available for managing *band sets*.

Tool symbol and name	Description
	add a new empty <i>band set</i>
	remove highlighted <i>band sets</i>
	sort <i>band sets</i> by date
	move highlighted <i>band sets</i> upward
	move highlighted <i>band sets</i> downward
	display the RGB color composite of selected <i>band sets</i> (a virtual raster is added in QGIS)

Band set tools

Band set tools are tools that can be executed directly on *Active band set*. Multiple tools can be selected by the corresponding check box. This can also be useful to automate the processing during image conversion.

Tool symbol and name	Description
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Create virtual raster of band set</i>	create a multiband virtual raster of <i>Active band set</i>
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Create raster of band set (stack bands)</i>	stack bands in a single multiband raster
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Build band overview</i>	build band overview of <i>Active band set</i>
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Band calc expression</i>	execute the expression defined in <i>Band calc</i> (page 99)
	execute selected tools

3.4.2 Download products

- *Search* (page 49)
 - *Search parameters* (page 50)
 - *Product list* (page 51)
 - *Download* (page 52)
- *Login data* (page 52)
 - *Login Harmonized Landsat Sentinel-2* (page 53)

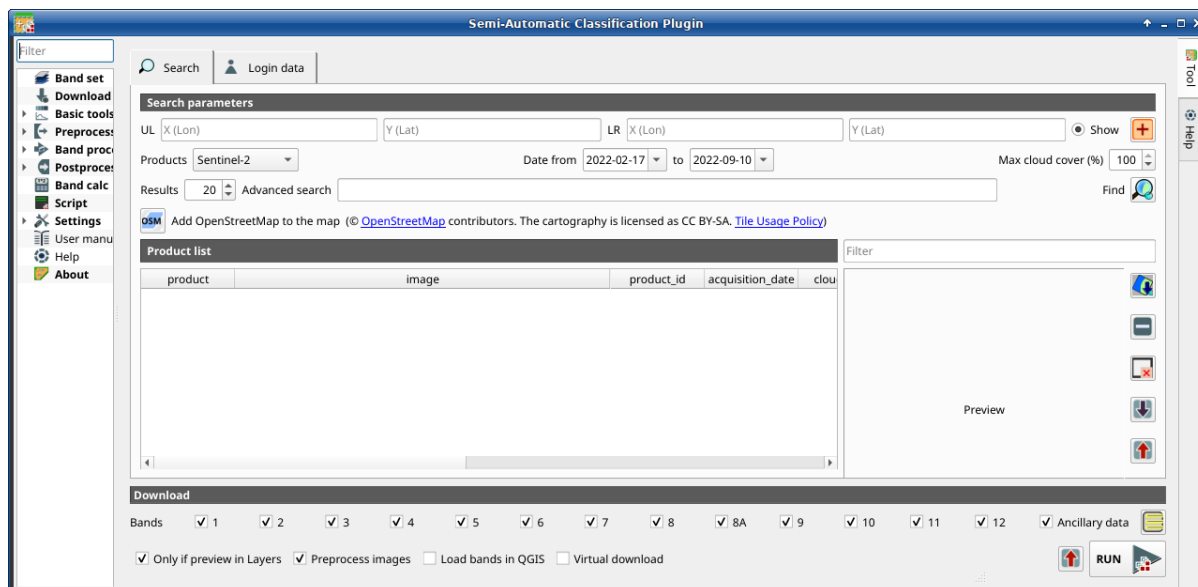



Fig. 10:  Download products

The tab  *Download products* includes the tools for searching and downloading free remote sensing images. The search and download is performed through [Remotior Sensus](#). Also, automatic conversion to reflectance of downloaded bands is available.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#).

An internet connection is required and free registration could be required depending on the download service.

Following a video tutorial about this tool.

<https://www.youtube.com/watch?v=NwL2f5Nrn3U>

Search

The *Search* tool allows for searching and downloading:

- *Sentinel-2*: Copernicus Sentinel-2 images (Level-1C and Level-2A) acquired from 2015 to present days;
- *Landsat_MPC*: Landsat Collection images acquired from August 1982 to present days, such as Landsat 5, 7, 8, 9 (data retrieved from Microsoft Planetary Computer);
- *Sentinel-2_MPC*: Copernicus Sentinel-2 Level-2A acquired from 2015 to present days (data retrieved from Microsoft Planetary Computer);
- *Landsat_HLS*: Landsat from Harmonized Landsat Sentinel-2 by NASA which are surface reflectance data product (generated with Landsat 8, Landsat 9, and Sentinel-2 data acquired from 2013 to present days) with observations every two to three days at 30m spatial resolution (more information about the [project](#));
- *Sentinel-2_HLS*: Sentinel-2 from Harmonized Landsat Sentinel-2 by NASA which are surface reflectance data product (generated with Landsat 8, Landsat 9, and Sentinel-2 data acquired from

2013 to present days) with observations every two to three days at 30m spatial resolution (more information about the [project](#));














- *MODIS_09Q1_MPC*: [MODIS Surface Reflectance 8-Day \(250m\)](#) (data retrieved from Microsoft Planetary Computer);
- *MODIS_11A2_MPC*: [MODIS Land Surface Temperature 8-Day](#) (data retrieved from Microsoft Planetary Computer);
- *ASTER_MPC*: [ASTER L1T](#) (data retrieved from Microsoft Planetary Computer);
- *Copernicus_DEM_30_MPC*: [Copernicus DEM GLO-30](#) (data retrieved from Microsoft Planetary Computer);

The download of *Harmonized Landsat Sentinel-2* requires credentials defined in [Login data](#) (page 52).

Search parameters

Define the search area by entering the coordinates (longitude and latitude) of an **Upper Left** (UL) point and **Lower Right** (LR) point and select a product to search. Optional settings are date of acquisition, maximum cloud cover, number of results (the fewer the results, the faster is the query).

The definition of a search area is required before searching the images.

Tool symbol and name	Description
	set the UL longitude X (Lon) and the UL latitude Y (Lat)
	set the LR longitude X (Lon) and the LR latitude Y (Lat)
	show or hide the search area in the map;
	define a search area by left click to set the UL point and right click to set the LR point; the search area is displayed in the map
<i>Products</i> 	set the search product
<i>Date from</i> 	set the starting date of acquisition
<i>to</i> 	set the ending date of acquisition
<i>Max cloud cover (%)</i> 	maximum cloud cover in the product
<i>Results</i> 	maximum number of products returned by the search
<i>Advanced search</i> 	some services (e.g. Sentinel-2) allows for entering search parameters; for instance, it is possible to enter the name of a granule (e.g. 33TTG)
<i>Filter</i> 	set a filter such as the Product ID (e.g. LC81910312015006LGN00); it is possible to enter multiple Product IDs separated by comma or semicolon (e.g. LC81910312015006LGN00, LC81910312013224LGN00); filter is applied to resulting products in the search area
<i>Find</i> 	find the products in the search area; results are displayed inside the table in Product list (page 51); results are added to previous results
 Add	this button allows for the display of OpenStreetMap tiles (© OpenStreetMap contributors) in the QGIS map as described in https://wiki.openstreetmap.org/wiki/QGIS . The cartography is licensed as CC BY-SA (Tile Usage Policy)

Порада: Search results (and the number thereof) depend on the defined area extent and the range of dates. In order to get more results, perform multiple searches defining smaller area extent and narrow acquisition dates (from and to).






Product list

The table *Product list* contains the results of the search. Click on any item (highlight the item) to display the image preview thereof (not all the products include image previews). Resulting products are saved with the QGIS project.

The table includes the following fields.

product_name	image_name	product_id	acquisition_date	cloud_cover	zone_or_path	zone_polygon	row	min_longitude	min_latitude	max_longitude	max_latitude	collection_code	product_size	preview	uid	reference_url
the product name (e.g., Senti2)	the image name	the product ID	the acquisition date of the product	percentage of cloud cover in the product	the zone or path depending on the product type	the WRS row	the minimum longitude of the product	the minimum latitude of the product	the maximum longitude of the product	the maximum latitude of the product	the collection code	the product size	URL of the product preview	identifier of the item	reference URL	




The following tools are available.

Tool symbol and name	Description
	display preview of highlighted images in the map; preview is roughly georeferenced on the fly (not all the products include a preview)
	remove highlighted images from the list
	remove all images from the list
	import the product list from an XML file
	export the product list to an XML file

Download

Download the products in the *Product list* (page 51). During the download it is recommended not to interact with QGIS.

Depending on the download service, it is possible to select single bands for download.

Tool name	symbol	and	Description
<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Band X</i>		select bands for download
<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Ancillary data</i>		if checked, the metadata files are selected for download
			select or deselect all bands
<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Only if preview in Layers</i>		if checked, download only those images listed in <i>Product list</i> (page 51) which are also listed in the QGIS layer panel
<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Preprocess images</i>		if checked, bands are automatically converted after the download
<input checked="" type="checkbox"/>	<i>Load bands in QGIS</i>		if checked, bands are loaded in QGIS after the download
			export the download links to a text file (.csv)
<i>RUN</i> 			start the download process of all the products listed in <i>Product list</i> (page 51)

Login data

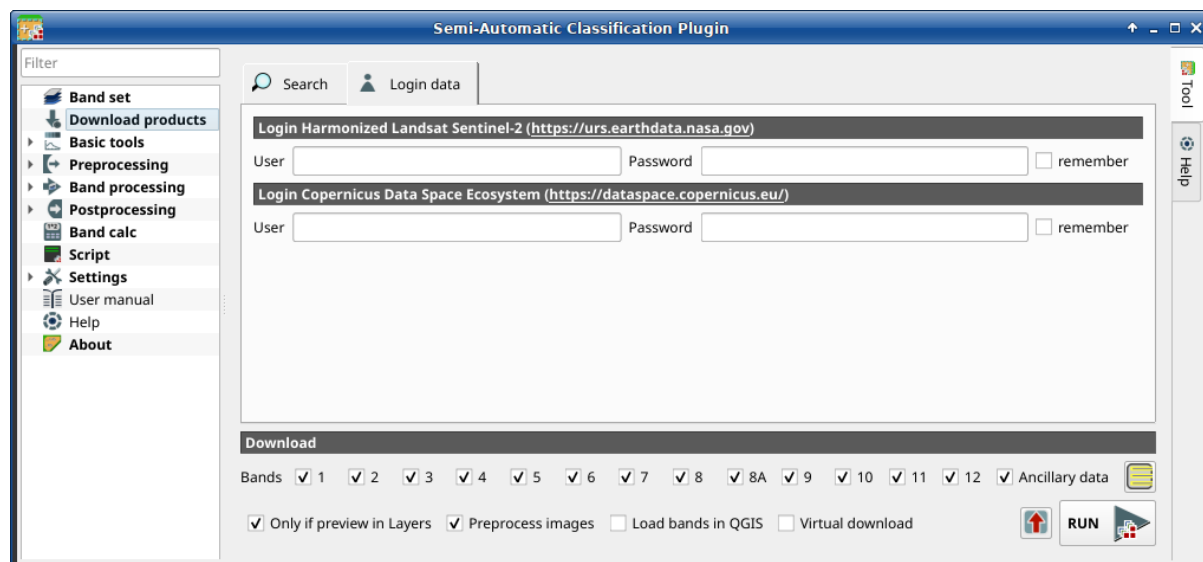








Fig. 11:  Login data

Login Harmonized Landsat Sentinel-2






The download of Harmonized Landsat Sentinel-2 requires to login using *EOSDIS Earthdata* credentials (<https://urs.earthdata.nasa.gov>) One can register for free at <https://urs.earthdata.nasa.gov/users/new> .


Tool symbol and name	Description
User  	enter the user name
Password  	enter the password
 <i>remember</i>	if checked, remember user name and password locally in QGIS

Попередження: If  *remember* is checked, the password is stored unencrypted in QGIS registry.


Login Copernicus Data Space Ecosystem

The download of Sentinel-2 is available also using *Copernicus Data Space Ecosystem* credentials (<https://dataspace.copernicus.eu>). One can register for free at <https://dataspace.copernicus.eu> .

Tool symbol and name	Description
User  	enter the user name
Password  	enter the password
 <i>remember</i>	if checked, remember user name and password locally in QGIS

Попередження: If  *remember* is checked, the password is stored unencrypted in QGIS registry.

3.4.3 Basic tools

The tab  **Basic tools** includes several tools for manipulating input data.

Export signatures

This tool allows for exporting the signatures highlighted in the *ROI & Signature list* (page 36).

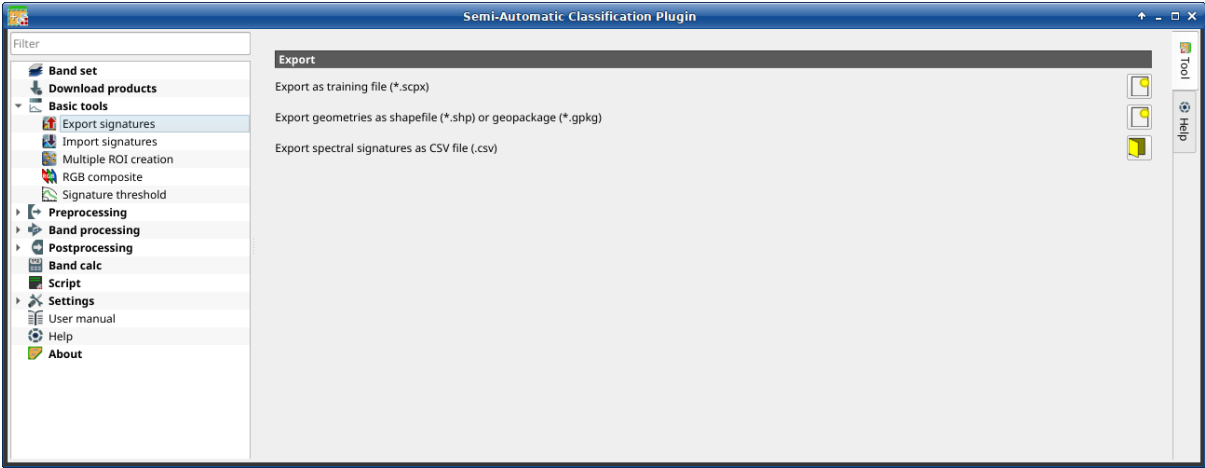





Fig. 12:  *Export signatures*

Tool symbol and name	Description
<i>Export as SCP file</i> 	create a new .scpx file and export highlighted ROIs and spectral signatures as <i>SCP</i> file (.scpx)
<i>Export as shapefile or geopackage</i> 	export highlighted ROIs (spectral signature data excluded) as a new shapefile (.shp) or geopackage (.gpkg)
<i>Export spectral signatures as CSV file</i> 	open a directory, and export highlighted spectral signatures as individual CSV files (.csv) separated by semicolon (;)


Import signatures

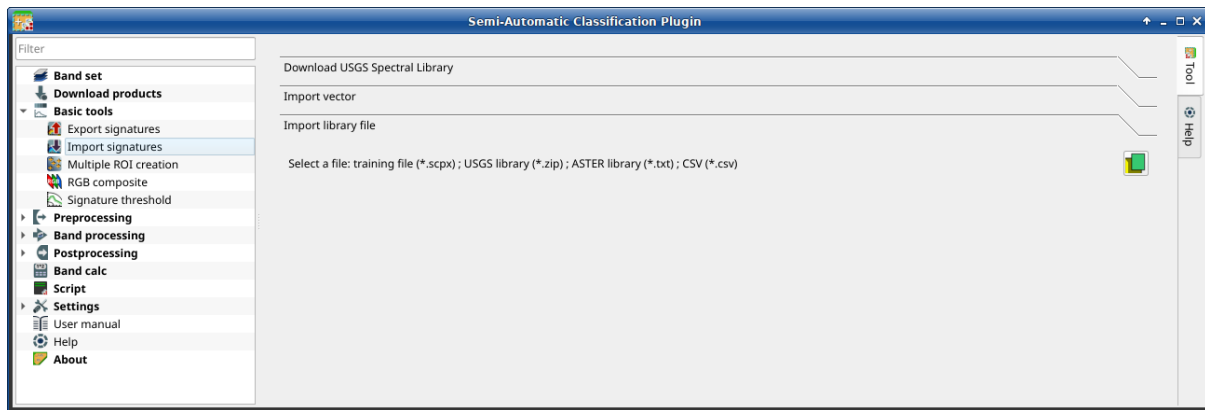
- *Import library file* (page 54)
- *Import vector* (page 55)
- *Download USGS Spectral Library* (page 56)

The tab  *Import signatures* allows for importing spectral signatures from various sources.

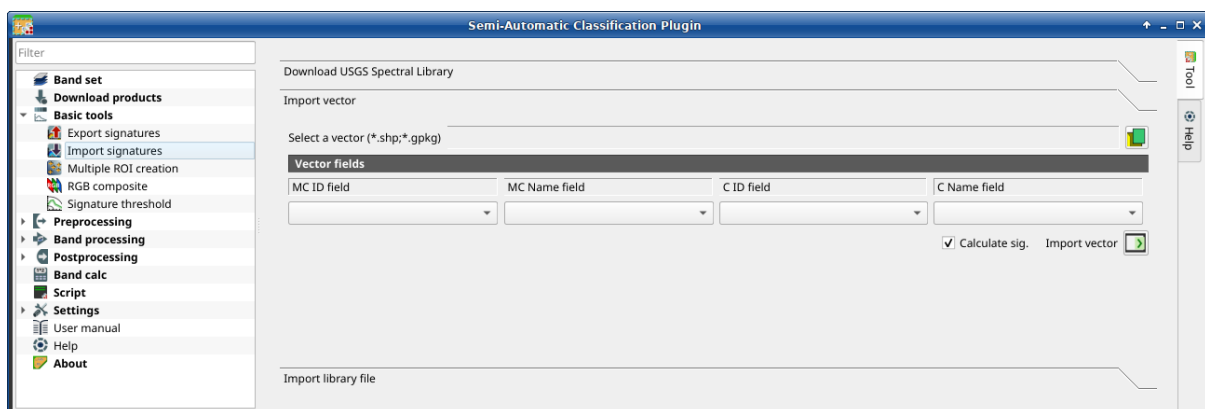
Import library file

This tool allows for importing spectral signatures from various sources: a previously saved *Training input* (page 33) (.scpx file); a USGS Spectral Library (.asc file); a previously exported .csv file. In case of USGS Spectral Library, the library is automatically sampled according to the image band wavelengths defined in the *Band set* (page 45), and added to the *ROI & Signature list* (page 36);








Tool symbol and name	Description
<i>Select a file</i> 	open a file to be imported in the <i>Training input</i> (page 33)

Fig. 13: *Import library file*

Import vector

Fig. 14: *Import vector*

This tool allows for importing a vector (shapefile or geopackage), selecting the corresponding fields of the *Training input* (page 33).

Tool symbol and name	Description
 Select a vector	open a vector
 MC ID field	select the vector field corresponding to MC ID
 MC Name field	select the vector field corresponding to MC Name
 C ID field	select the vector field corresponding to C ID
 C Name field	select the vector field corresponding to C Name
 Calculate sig.	if checked, the spectral signature is calculated while the ROI is saved to <i>Training input</i> (page 33)
 Import vector	import all the vector polygons as ROIs in the <i>Training input</i> (page 33)

Download USGS Spectral Library

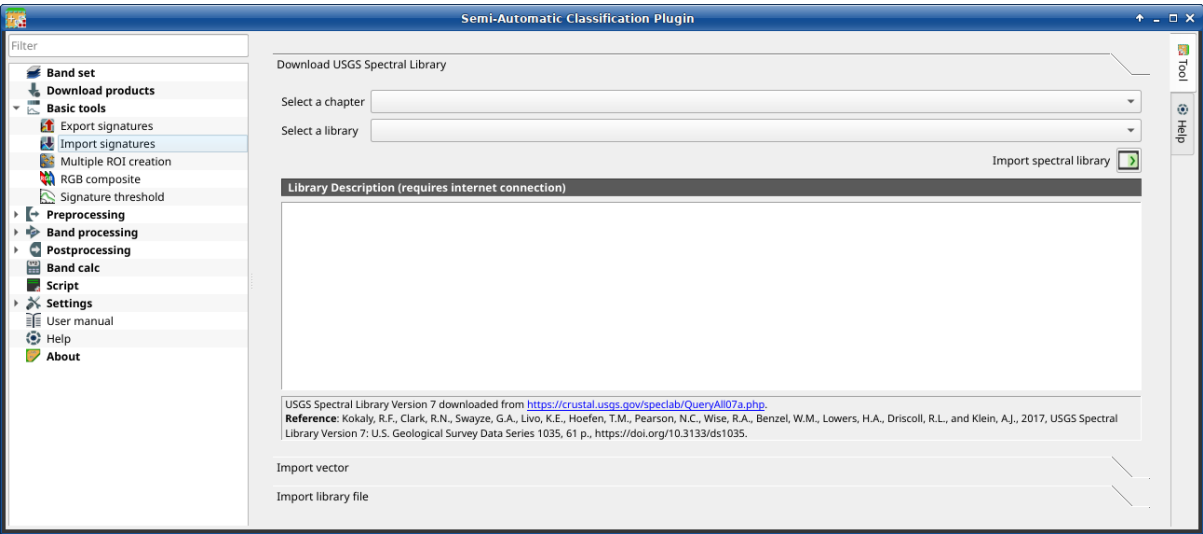


Fig. 15: Download USGS Spectral Library

The tab *Download USGS Spectral Library* allows for the download of the **USGS spectral library** (Clark, R.N., Swayze, G.A., Wise, R., Livo, E., Hoefen, T., Kokaly, R., Sutley, S.J., 2007, USGS digital spectral library splib06a: U.S. Geological Survey, Digital Data Series 231).

The libraries are grouped in chapters including Minerals, Mixtures, Coatings, Volatiles, Man-Made, Plants, Vegetation Communities, Mixtures with Vegetation, and Microorganisms.

An internet connection is required.

Tool symbol and name	Description
<i>Select a chapter</i> 	select one of the library chapters; after the selection, chapter libraries are shown in <i>Select a library</i>
<i>Select a library</i> 	select one of the libraries; the library description is displayed in the frame <i>Library description</i>
<i>Import spectral library</i> 	download the library and add the sampled spectral signature to the <i>ROI & Signature list</i> (page 36) using the parameters defined for class and macroclass; the library is automatically sampled according to the image band wavelengths defined in the <i>active band set</i> in <i>Band set</i> (page 45), and added to the <i>ROI & Signature list</i> (page 36)

Порада: Spectral libraries downloaded from the **USGS Spectral Library** can be used with Minimum Distance or Spectral Angle Mapping algorithms, but not Maximum Likelihood because this algorithm needs the covariance matrix that is not included in the spectral libraries.

Multiple ROI Creation

- *Create random points* (page 58)
- *Point coordinates and ROI definition* (page 58)

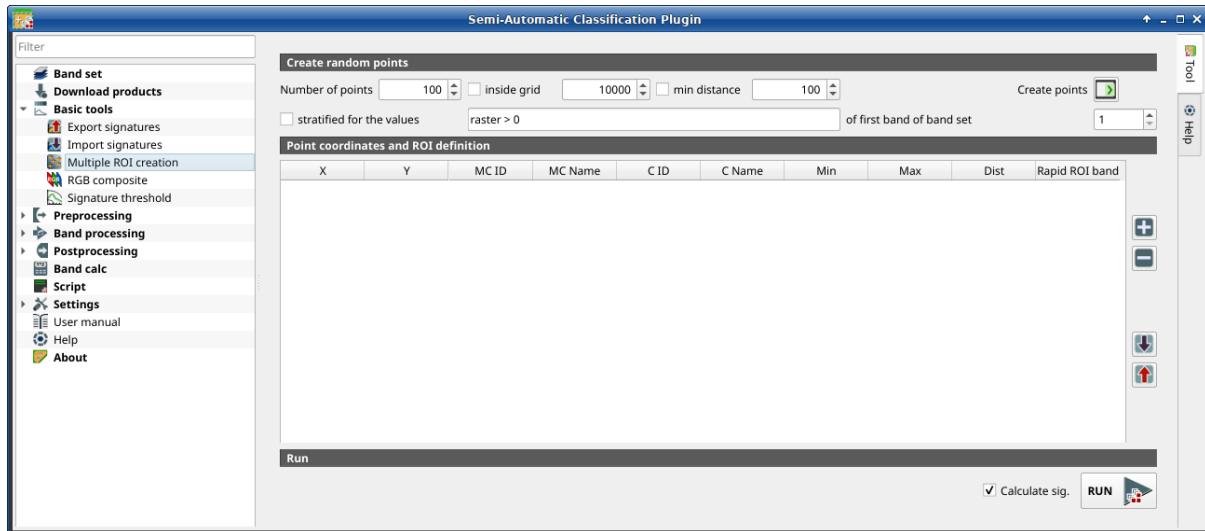









Fig. 16:  *Multiple ROI Creation*

This tab allows for the automatic creation of ROIs, useful for the rapid classification of multi-temporal images, or for accuracy assessment. Given a list of point coordinates and ROI options, this tool performs the region growing of ROIs. Created ROIs are automatically saved to the *Training input* (page 33). The *active band set* in *Band set* (page 45) is used for calculations.

Create random points







Tool symbol and name	Description
<div>Number of points </div>	set a number of points that will be created when <i>Create points</i>  is clicked
<div><input checked="" type="checkbox"/> inside grid </div>	if checked, the <i>band set</i> area is divided in cells where the size thereof is defined in the combobox (image unit, usually meters); points defined in Number of random points are created randomly within each cell
<div><input checked="" type="checkbox"/> min distance </div>	if checked, random points have a minimum distance defined in the combobox (image unit, usually meters); setting a minimum distance can result in fewer points than the number defined in <i>Number of points</i>
<div>Create points </div>	create random points inside the <i>band set</i> area
<div><input checked="" type="checkbox"/> stratified for the values </div>	if checked, create random points inside the values defined in the expression calculated for the first band of the defined band set; the expression must include the variable raster ; multiple expressions can be entered separated by semicolon (;) but the total number of stratified points is the same as the defined <i>Number of points</i>
<div>of the first band of band set </div>	defines the <i>band set</i> in <input checked="" type="checkbox"/> <i>stratified for the values</i>

Point coordinates and ROI definition

The table *Point coordinates and ROI definition* contains the following fields.

X	Y	MC ID	MC Name	C ID	C Name	Min	Max	Dist	Rapid ROI band
point X coordinate (float)	point Y coordinate (float)	ROI Macro ID (int)	ROI Macro Name (text)	ROI Class ID (int)	ROI Class Name (text)	the minimum of a ROI (in pixel unit)	the maximum of a ROI (in pixel unit)	the interval which defines the maximum spectral distance between the seed pixel and the surrounding pixels (in radiometry unit)	if a band number is defined, ROI is created only using the selected band, similarly to <i>Rapid ROI band</i> in <i>ROI & Signature list</i> (page 36)

The following tools are available.

Tool symbol and name	Description
	add a new row to the table; all the table fields must be filled for the ROI creation
	delete the highlighted rows from the table
	import a point list from text file or a point shapefile to the table; in case of text file, every line must contain values separated by tabs of X, Y, MC ID, MC Name, Class ID, C Name, Min, Max, Dist, and optionally the Rapid ROI band; in case of shapefile, only point coordinates are imported
	export the point list to text file
	if checked, the spectral signature is calculated while the ROI is saved to <i>Training input Calculat</i> (page 33) <i>sig.</i>
	start the ROI creation process for all the points and save ROIs to the <i>Training input</i> (page 33)

RGB composite

- *RGB composite* (page 60)
- *Automatic RGB* (page 60)

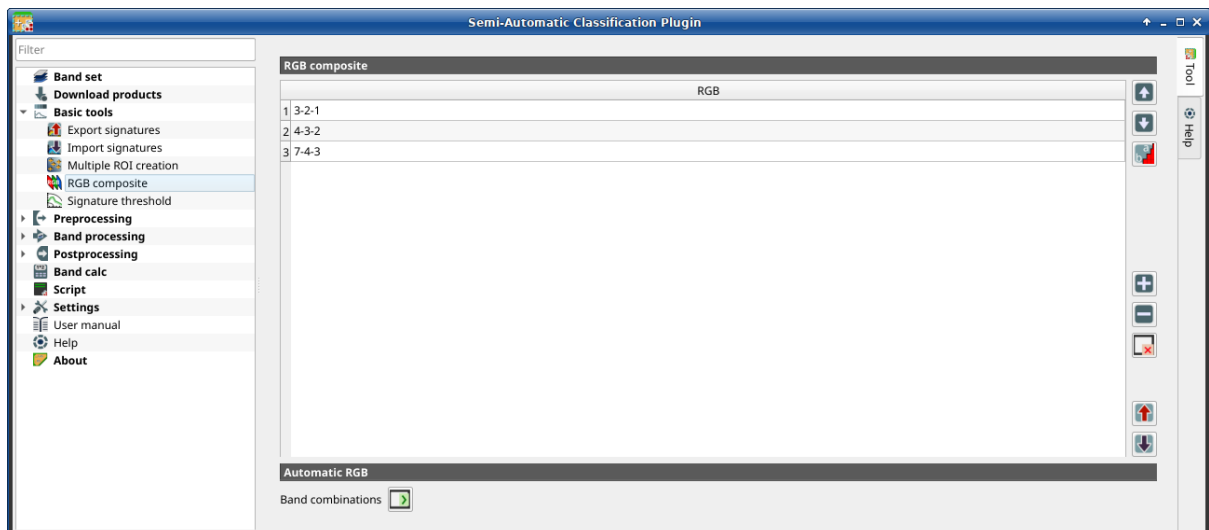










Fig. 17:  *RGB composite*


This tab allows for managing the RGB *Кольоровий композит* (page 134) used in the list *RGB=* of the *Image control* (page 43).

RGB composite

The table *RGB composite* contains the field *RGB* that allows for entering an RGB combination.

Tool symbol and name	Description
	move highlighted RGB combination upward
	move highlighted RGB combination downward
	automatically sort RGB combinations by name
	add a row to the table
	remove highlighted rows from the table
	clear all RGB combinations from <i>RGB list</i>
	export the <i>RGB list</i> to a file (i.e. <i>.csv</i>)
	import a previously saved <i>RGB list</i> from file (i.e. <i>.csv</i>)

Automatic RGB

Tool symbol and name	Description
<i>Band combinations</i> 	add the combinations of all bands (i.e. permutation) to the <i>RGB composite</i> (page 60) (e.g. 1-2-3, 1-2-4, ..., 3-2-1)

Signature threshold

- *Signature threshold* (page 61)
- *Automatic thresholds* (page 61)

This tab allows for the definition of a classification threshold (only for Minimum Distance, Maximum Likelihood, and Spectral Angle Mapping algorithms) for each spectral signature. All the signatures contained in the *Training input* (page 33) are listed. Thresholds defined in this tool are applied to classification only if *Threshold* value in *Algorithm* (page 76) is 0.

This is useful for improving the classification results, especially when spectral signatures are similar. Thresholds of signatures are saved in the *Training input* (page 33).

If threshold is 0 then no threshold is applied and all the image pixels are classified. Depending on the selected *Algorithm* (page 76) the threshold value is evaluated differently:

- for Minimum Distance, pixels are unclassified if distance is greater than threshold value;
- for Maximum Likelihood, pixels are unclassified if probability is less than threshold value (max 100);
- for Spectral Angle Mapping, pixels are unclassified if spectral angle distance is greater than threshold value (max 90).

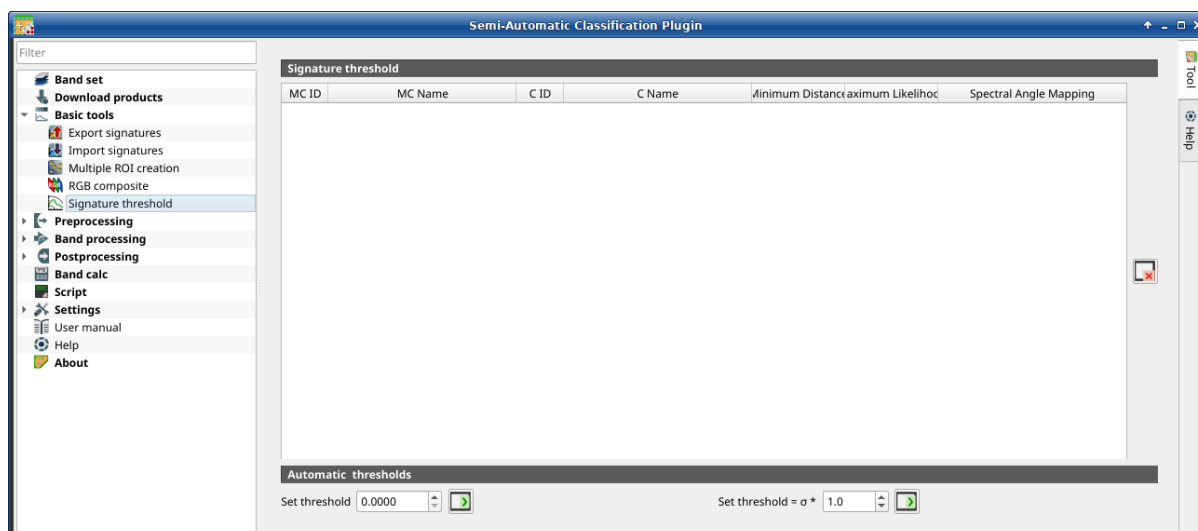


Fig. 18:  *Signature threshold*





Signature threshold

The table *Signature threshold* contains the following fields.


MC ID	MC Name	C ID	C Name	MD Threshold	ML Threshold	SAM Threshold
si- gnature Macrocla ID	si- gnature Macroclas Name	si- gnature Class ID	si- gnature Class Name	Minimum Di- stance threshold; this value can be edited	Maximum Likeli- hood threshold; this value can be edited	Spectral Angle Mapping threshold; this value can be edited

- : reset all signatures thresholds to 0 (i.e. no threshold used);

Automatic thresholds

Tool symbol and name	Description
<i>Set threshold</i>  	set the defined value as threshold for all the highlighted signatures in the table
<i>Set threshold = *</i>  	for all the highlighted signatures, set an automatic threshold calculated as the distance (or angle) between mean signature and $(\text{mean signature} + (\sigma * v))$, where σ is the standard deviation and v is the defined value; currently works for Minimum Distance and Spectral Angle Mapping

3.4.4 Передоброблення

Вкладка  *Передоброблення* надає доступ до декількох інструментів для роботи з даними, які стануть у нагоді до початку безпосередньо процесу класифікації.

Clip raster bands

- *Clip band set* (page 62)
- *Clip coordinates* (page 63)

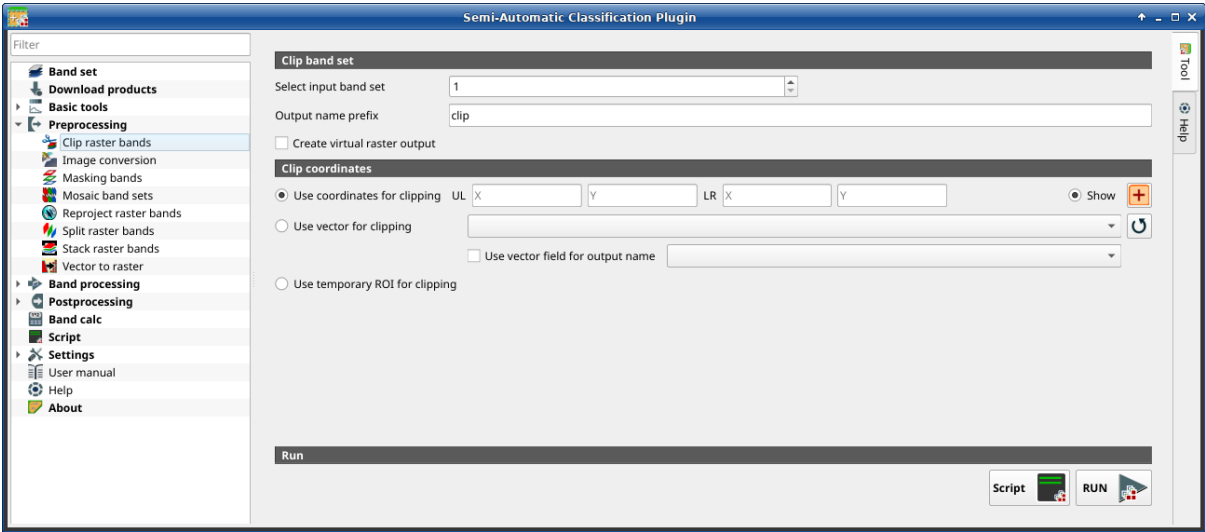






Fig. 19: *Clip multiple rasters*

This tab allows for cutting several image bands at once, using a rectangle defined with point coordinates or a boundary defined with a vector.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Clip band set

Tool symbol and name	Description
Select input band set 	select the input <i>Band set</i> (page 45) to be clipped
 Use value as NoData 	if checked, set the value for NoData pixels (e.g. pixels outside the clipped area)
Output name prefix 	set the prefix for output file names (default is clip)

Clip coordinates

Set the Upper Left (UL) and Lower Right (LR) point coordinates of the rectangle used for clipping; it is possible to enter the coordinates manually. Alternatively use a vector.
















Tool symbol and name	Description
 <i>Use coordinates for clipping</i>	if checked, use defined coordinates for clipping bands
UL X 	set the UL X coordinate
UL Y 	set the UL Y coordinate
LR X 	set the LR X coordinate
LR Y 	set the LR Y coordinate
 <i>Show</i>	show or hide the clip area drawn in the map
	define a clip area by drawing a rectangle in the map; left click to set the UL point and right click to set the LR point; the area is displayed in the map
 <i>Use vector for clipping</i> 	if checked, use the selected vector (already loaded in QGIS) for clipping; UL and LR coordinates are ignored
 <i>Use vector field for output name</i> 	if checked, a vector field is selected for clipping while iterating through each vector polygon and the corresponding field value is added to the output name
 <i>Use temporary ROI for clipping</i>	if checked, use a <i>Temporary ROI</i> (page 43) for clipping; UL and LR coordinates are ignored
	refresh layer list
<i>Script</i> 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function

Image conversion

- *Image conversion* (page 64)
- *Metadata* (page 65)

This tool allows for the conversion of several products to reflectance. Depending on the processing level of the source product, the conversion can be to the physical measure of Top Of Atmosphere reflectance (TOA), or the application of a simple atmospheric correction using the DOS1 method (Dark Object Subtraction 1), which is an image-based technique (for more information about conversion to TOA and DOS1 correction, see *Перерахунок знімка у значення відбивальності* (page 151)). In case the source product is already provided as surface reflectance level, the rescaling factors are applied to convert the DN to decimal values.

The following products can be processed:

- **Sentinel-2** images Level-1C;
- **Sentinel-2** images Level-2A;
- **Landsat 1, 2, 3 MSS, 4, 5, 7, 8, 9** images Collection 2 Level-2;

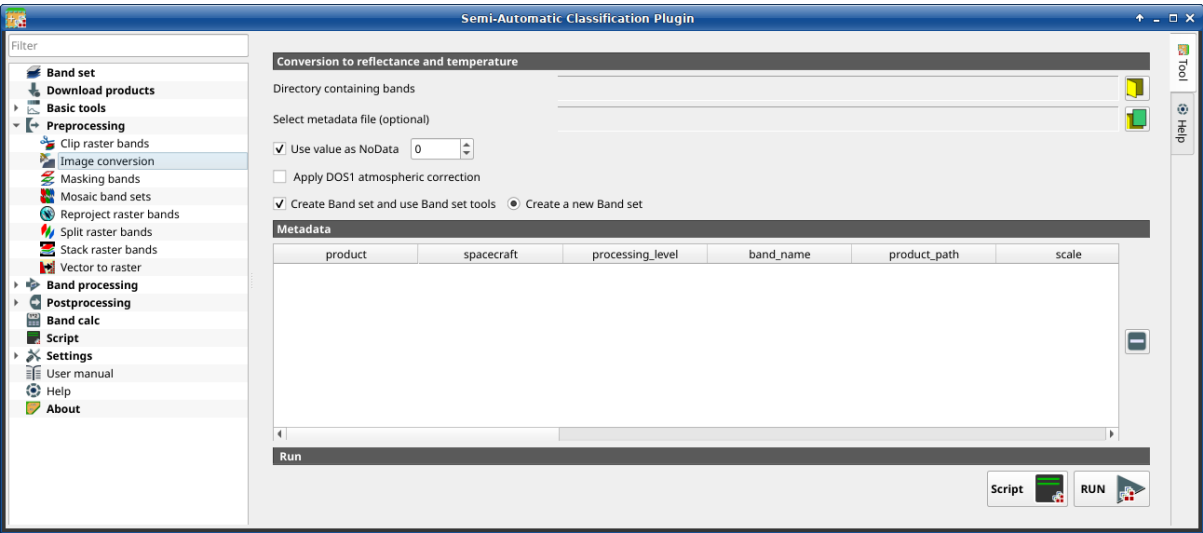









Fig. 20: Image conversion

- Harmonized Landsat Sentinel-2.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Image conversion

Once the input is selected, available bands are listed in the metadata table.

Tool symbol and name	Description
 <i>Directory containing bands</i>	open a directory containing product bands; names of bands must end with the corresponding number; if the metadata file is included in this directory then <i>Metadata</i> (page 65) is automatically filled
 <i>Select metadata file</i>	select the metadata file if not included in the <i>Directory containing bands</i> ; for Sentinel-2, the metadata file is a .xml file whose name contains MTD_MSIL1C.
 <i>Use value as NoData</i> 	if checked, pixels having NoData value are not counted during conversion and the DOS1 calculation of DNmin; it is useful when image has a black border (usually pixel value = 0)
 <i>Apply DOS1 atmospheric correction</i>	if checked, the <i>Корекція DOS1</i> (page 152) is applied to all the bands
 <i>Create Band set and use Band set tools</i>	if checked, bands are added to the active <i>Band set</i> after the conversion; also, the <i>Band set</i> is processed according to the tools checked in the <i>Band set</i> (page 45)
 <i>Add bands in a new Band set</i>	if checked, bands are added to a new empty <i>Band set</i> after the conversion

Порада: For the best spectral precision one should download Surface Reflectance products (e.g., for

Sentinel-2 the Level-2A Products).

Попередження: For Sentinel-2 L2A images downloaded as .zip file, all the .jp2 files must be moved inside the same directory and renamed according to the band number in the ending (e.g. from name_02_10m.jp2 to name_02.jp2).


Metadata

Metadata are required for the process to identify the product. If the *Metadata* file is not inside the input directory, one can define the file path in *Select metadata file*. In the *Metadata*, all the bands found in are listed.



The table *Metadata* contains the following fields.

product	spacecraft	processing_level	band	product	scale	offset	nodat	date	k1	k2	band	e_sun	earth_sun_distance
product name (e.g., Sentinel 2)	spacecraft name (e.g., Sentinel 2)	processing level of the product (e.g., Level-2)	name of the band	path of the band	scale of the band	offset of the band	nodat value of the band	date of acquisition of the product	k1 parameter for Landsat thermal conversion	k2 parameter for Landsat thermal conversion	band number	solar irradiance of band	Earth-Sun distance

It is possible to remove bands from the table, to exclude these bands from the conversion.

Tool symbol and name	Description
	remove highlighted bands from the table <i>Metadata</i>

Bands having different spatial resolution are not resampled at this stage. However, when using these bands in a classification process, all the bands are resampled on the fly to the highest spatial resolution with nearest neighbor.

Tool symbol and name	Description
 <i>Script</i>	add this function to the Script (page 108)
 <i>RUN</i>	run this function

Порада: To reduce file size, output files are saved as data type UInt16 with scale 0.0001, which are interpreted as Float32 type by GDAL.

Masking bands

- *Mask of band set* (page 67)

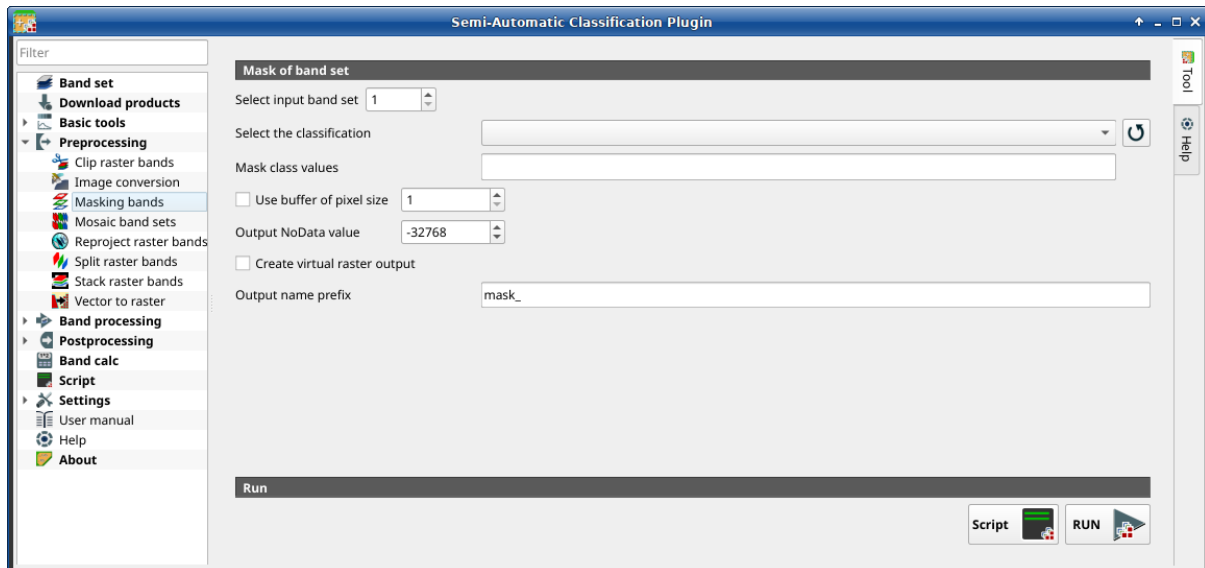











Fig. 21: *Masking bands*

This tool allows for masking bands, based on the values of a raster mask, creating an output masked band for each band of the *Band set* (page 45). NoData is set in all the bands of the *Band set* (page 45) for pixels corresponding to the mask.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Mask of band set

Tool symbol and name	Description
	select the input <i>Band set</i> (page 45) to be masked
	select a classification raster (already loaded in QGIS) which contains a mask class
	refresh layer list
	set the class values to be masked; class values must be separated by , and - can be used to define a range of values (e.g. 1, 3-5, 8 will select classes 1, 3, 4, 5, 8); if the text is red then the expression contains errors
	if checked, a buffer is created for masked area, corresponding to the defined number of pixels; this can be useful to dilate masked area
	set the value of NoData pixels corresponding to the mask
	set the prefix for output file names (default is mask_)
	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
	run this function

Mosaic of band sets

- *Mosaic of band sets* (page 68)

This tool allows for the mosaic of band sets, merging the corresponding bands of two or more band sets defined in the *Band set* (page 45). An output band is created for every corresponding set of bands in the band sets. NoData values of one band set are replaced by the values of the other band sets.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

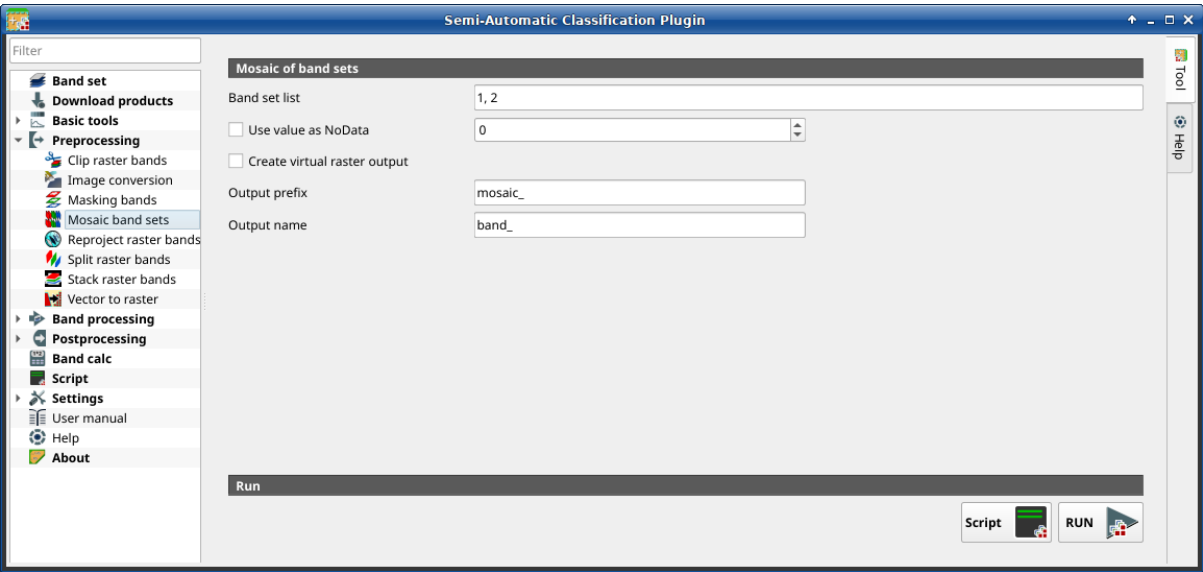








Fig. 22: Mosaic band sets

Mosaic of band sets

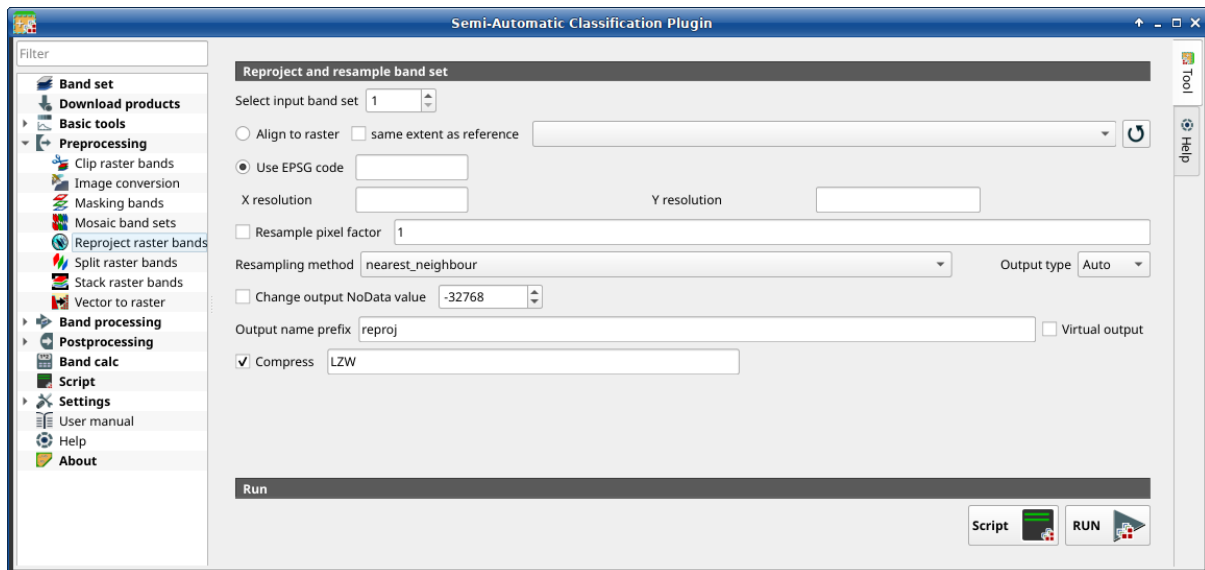
Tool symbol and name	Description
 <i>Band set list</i>	list if band sets defined in the <i>Band set</i> (page 45); in case of overlapping images, the pixel values of the first band set in the list are assigned
 <i>Use value as NoData</i>	if checked, set the value of NoData pixels, ignored during the calculation
 <i>Create virtual raster output</i>	if checked, output is created as virtual raster .vrt composed of as many .tif files as the number of threads defined in <i>System</i> (page 112); for large rasters this can speed up the process
 <i>Output prefix</i>	set the prefix for output file names (default is mosaic)
 <i>Script</i>	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
 <i>RUN</i>	run this function

Reproject raster bands





















- *Reproject raster bands* (page 70)

This tab allows for reprojecting bands in a *Band set* (page 45) and perform other raster operations.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Fig. 23: *Reproject raster bands*

Reproject raster bands

Tool name	symbol	and	Description
Select input band set			select the input <i>Band set</i> (page 45) to be reprojected
	<i>Align to raster</i>		if checked, use the same coordinate reference system and pixel size as the selected reference
	<i>same extent as reference</i>		if checked, the output extent will be the same as the reference
			refresh layer list
	<i>Use EPSG code</i>		if checked, use the EPSG code for defining the output coordinate reference system
<i>X resolution</i>			set X pixel resolution
<i>Y resolution</i>			set Y pixel resolution
	<i>Resample pixel factor</i>		if checked, new pixel size will be the original size times this factor
<i>Resampling method</i>			select the resampling method; options are: nearest_neighbour, average, sum, maximum, minimum, mode, median, first_quartile, third_quartile
<i>Output type</i>			select the output raster type; options are: Auto (same as input), Float32, Int32, UInt32, Int16, UInt16, Byte
	<i>Change output NoData value</i>		if checked, set a new value for NoData pixels
<i>Output name prefix</i>			set the prefix for output file names (default is reproj)
<i>Compress</i>			if checked, set the compression method (e.g., LZW, DEFLATE)
<i>Script</i>			add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i>			run this function

Split raster bands

- *Raster list* (page 71)

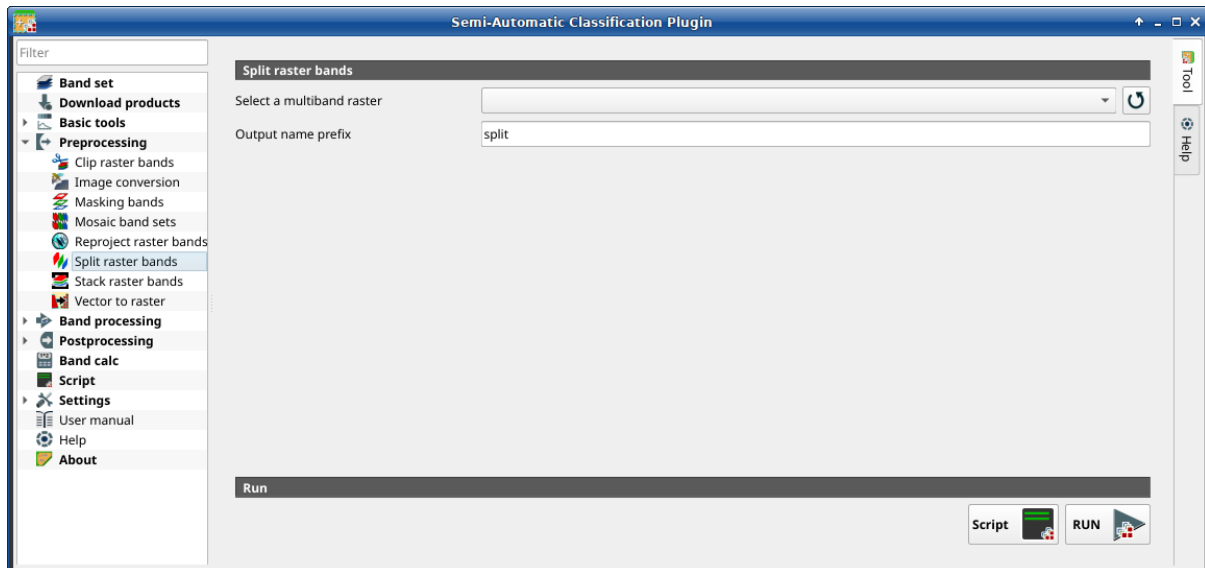







Fig. 24: *Split raster bands*

Split a multiband raster to single bands.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Raster list

Tool symbol and name	Description
<i>Select a multiband raster</i> 	select the input raster
	refresh layer list
<i>Output name prefix</i> 	set the prefix for output file names (default is <code>split</code>)
<i>Script</i> 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function

Stack raster bands

- *Stack band set* (page 72)

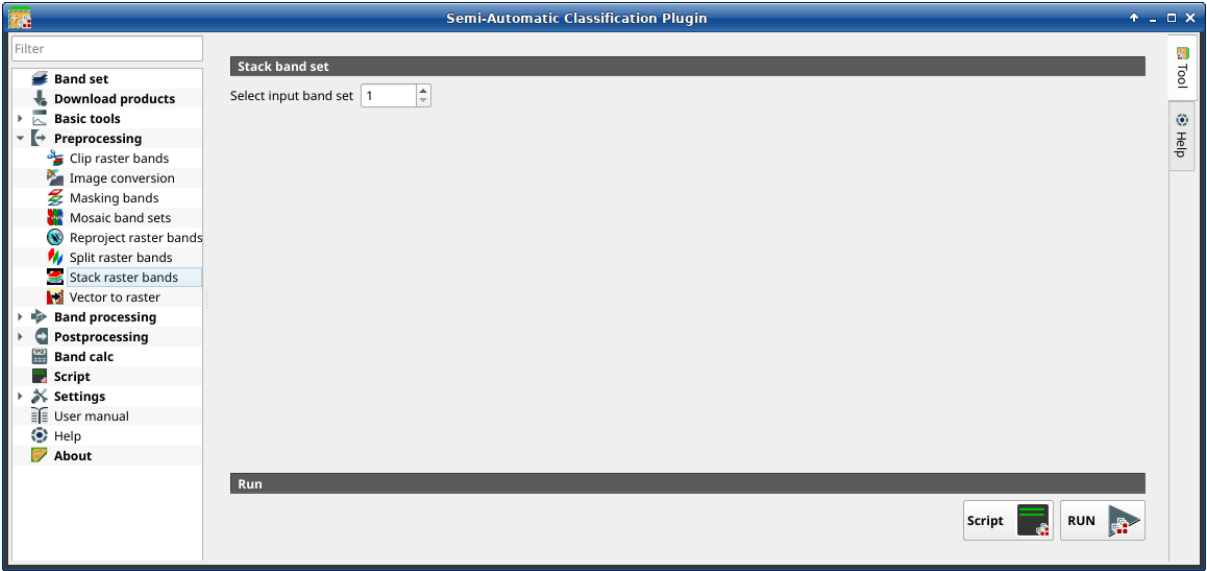





Fig. 25: *Stack raster bands*

Stack all the bands in a *Band set* (page 45) into a multiband raster.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

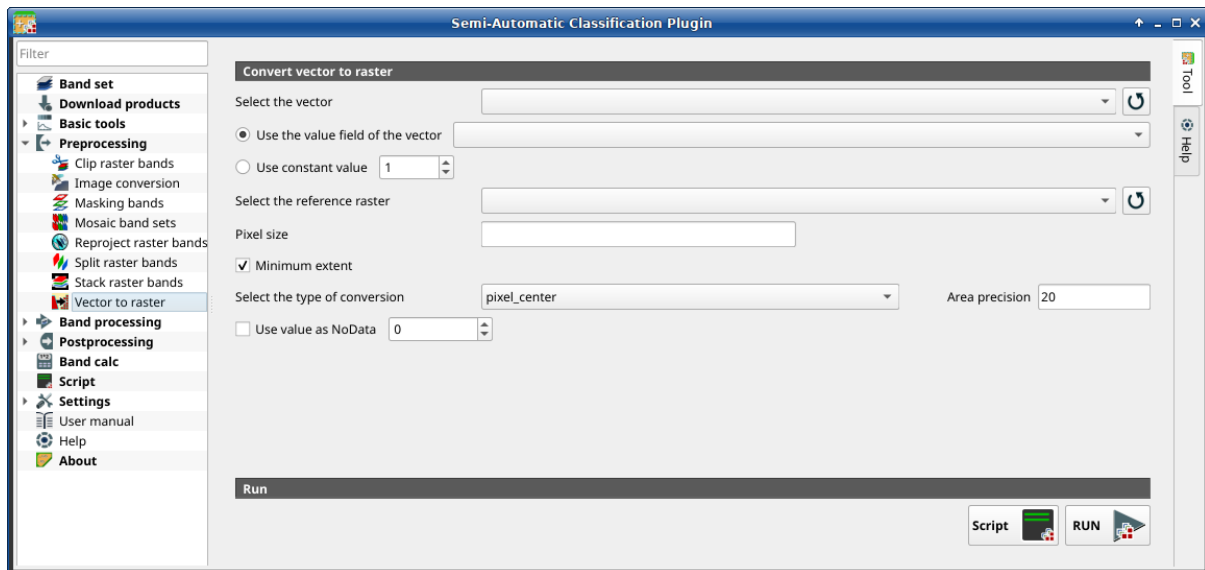
Stack band set

Tool symbol and name	Description
<i>Select input band set</i> 	select the input <i>Band set</i> (page 45) to be stacked
<i>Script</i> 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function


















Vector to raster

This tab allows for the conversion of a vector (polygon) to raster format.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Fig. 26: *Vector to raster*

Convert vector to raster

Tool symbol and name	Description
<i>Select the vector</i> 	select a vector already loaded in QGIS
	refresh layer list
 <i>Use the value field of the vector</i> 	if checked, the selected field is used as attribute for the conversion; pixels of the output raster have the same values as the vector attribute
 <i>Use constant value</i> 	if checked, the polygons are converted to raster using the selected constant value
<i>Select the reference raster</i> 	select a reference raster; pixels of the output raster have the same size and alignment as the reference raster
	refresh layer list
<i>Pixel size</i> 	set the size of pixel of output raster
 <i>Minimum extent</i>	if checked, the output raster has the minimum vector extent; otherwise, output extent is the same as the <i>Select the reference raster</i> 
<i>Select the type of conversion</i> 	<p>select the type of conversion among:</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>pixel_center</i>: during the conversion, vector is compared to the reference raster; output raster pixels are attributed to a polygon if pixel center is within that polygon • <i>all_touched</i>: during the conversion, vector is compared to the reference raster; output raster pixels are attributed to a polygon if pixel touches that polygon • <i>area_based</i>: during the conversion, output raster pixels are attributed based on area proportion of polygons
<i>Area precision</i> 	for <i>area_based</i> method, the higher the value, the higher is the precision in the calculation of area proportion (and the time required for calculation)
 <i>Use value as NoData</i> 	if checked, set a value for NoData pixels
<i>Script</i> 	add this function to the Script (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function

3.4.5 Band processing

The tab  *Band processing* provides several functions that can be applied to the *Band set* (page 45).

Classification

- *Input* (page 76)
- *Algorithm* (page 76)
 - *Maximum Likelihood* (page 76)
 - *Minimum Distance* (page 78)
 - *Multi-layer Perceptron* (page 79)
 - *Random Forest* (page 80)
 - *Spectral Angle Mapping* (page 82)
 - *Support Vector Machine* (page 83)
- *Run* (page 84)

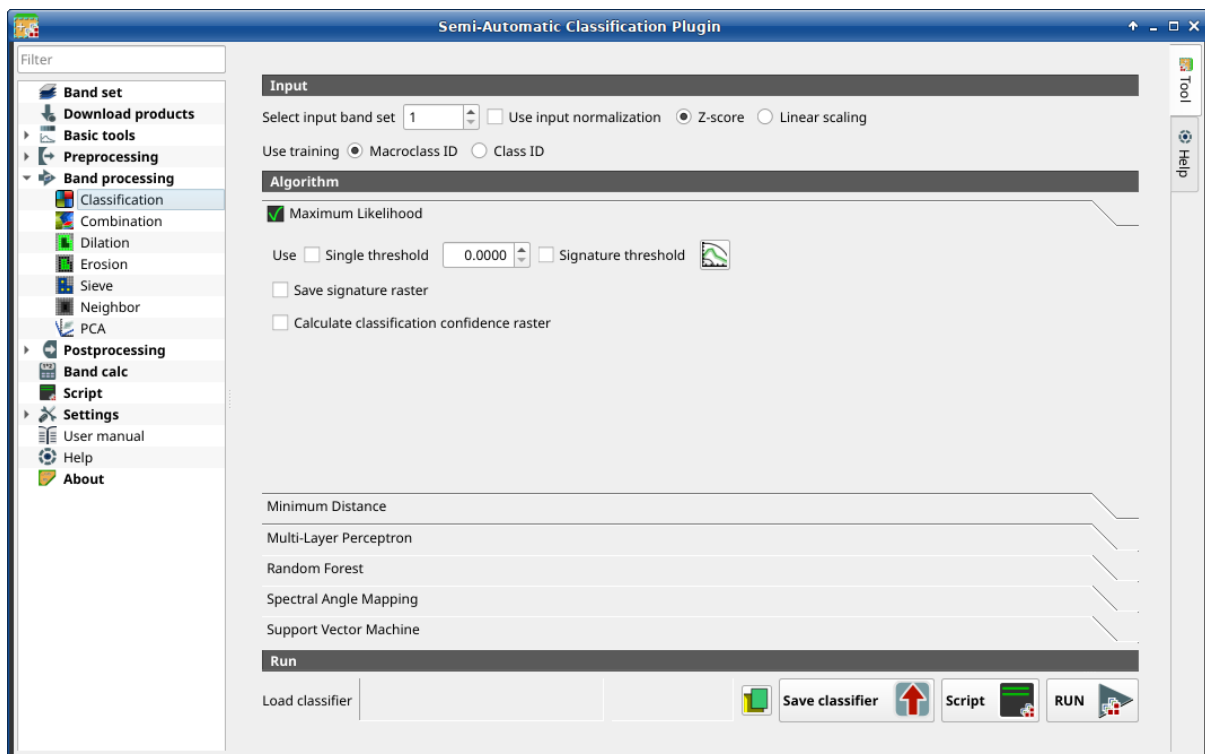


Fig. 27: *Classification*

This tab allows for the classification of the *Band set* (page 45) using the spectral signatures checked in *ROI & Signature list* (page 36). Several classification options are set in this tab which affect the classification process also during the *Classification preview* (page 44).

This tool allows for the selection of one the following algorithms:



- *Maximum Likelihood* (page 76)
- *Minimum Distance* (page 78)

- *Multi-layer Perceptron* (page 79)
- *Random Forest* (page 80)
- *Spectral Angle Mapping* (page 82)
- *Support Vector Machine* (page 83)

Also, it is possible to save and load a trained classifier.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Input

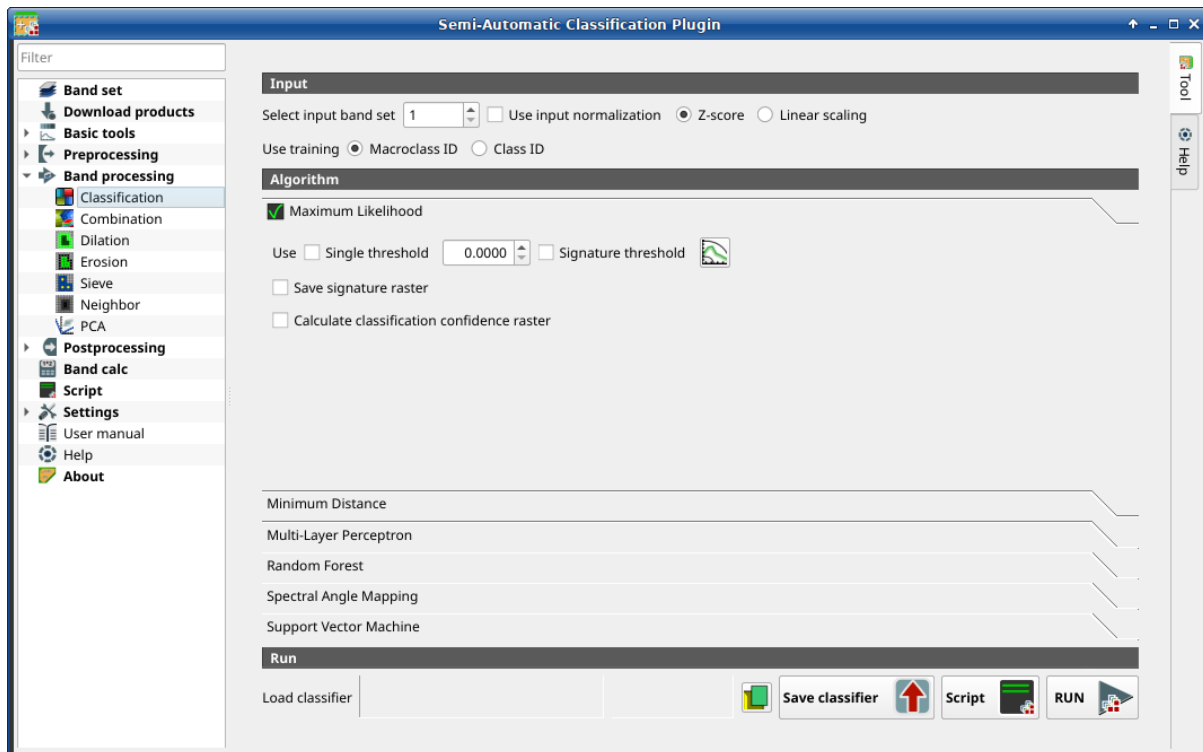
Tool symbol and name	Description
Select input band set 	select the input <i>Band set</i> (page 45) to be classified
<input checked="" type="checkbox"/> Use input normalization 	if checked, normalize the input based on the selected method
<input type="radio"/> Z-score	if checked with <input checked="" type="checkbox"/> Use input normalized, Z-score normalization of input is performed
<input type="radio"/> Linear scaling	if checked with <input checked="" type="checkbox"/> Use input normalized, Linear scaling normalization of input is performed
Use training <input type="radio"/> Macroclass ID	if checked, the classification is performed using
Use training <input type="radio"/> Class ID the Macroclass ID (code <i>MC ID</i> of the signature)	if checked, the classification is performed using the Class ID (code <i>C ID</i> of the signature)






Algorithm

This tool allows for the selection of the classification algorithm. The algorithm tab includes the available parameters.

Maximum Likelihood

Use the *Максимальної вірогідності* (page 138) algorithm.

Fig. 28: *Maximum Likelihood*

Tool symbol and name	Description
<i>Use single threshold</i> 	if checked, it allows for the definition of a classification threshold (applied to all the spectral signatures); pixels are unclassified if probability is less than threshold value (max 100)
<i>Signature threshold</i> 	if checked, thresholds <i>Signature threshold</i> (page 60) are evaluated
	open the <i>Signature threshold</i> (page 60) for the definition of signature thresholds
 <i>Save signature raster</i>	if checked, in addition to the classification raster, for each spectral signature a raster is saved in the same output directory, which represents the distance between pixel and signature
 <i>Calculate classification confidence raster</i>	if checked, calculate classification confidence raster

Minimum Distance

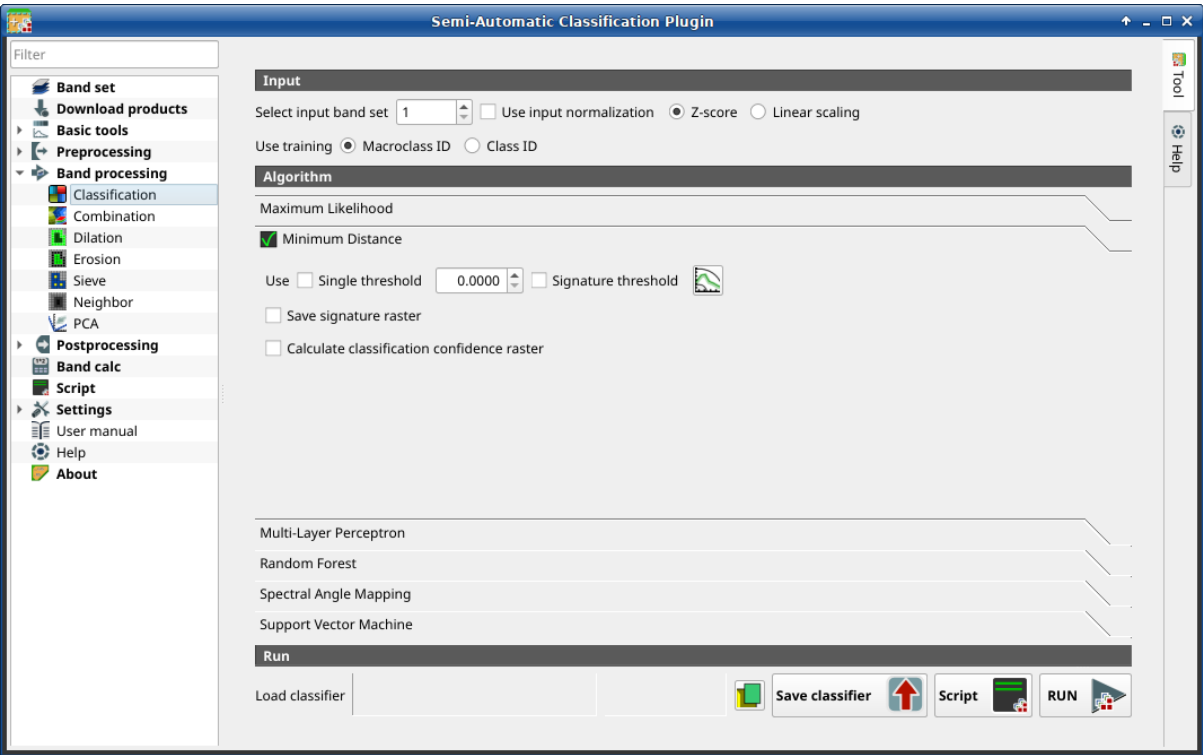







Fig. 29: Minimum Distance

Use the *Мінімальної відстані* (page 137) algorithm.

Tool symbol and name	Description
<i>Use single threshold</i> 	if checked, it allows for the definition of a classification threshold (applied to all the spectral signatures); pixels are unclassified if distance is greater than threshold value
<i>Signature threshold</i> 	if checked, thresholds <i>Signature threshold</i> (page 60) are evaluated
	open the <i>Signature threshold</i> (page 60) for the definition of signature thresholds
 <i>Save signature raster</i>	if checked, in addition to the classification raster, for each spectral signature a raster is saved in the same output directory, which represents the distance between pixel and signature
 <i>Calculate classification confidence raster</i>	if checked, calculate classification confidence raster

Multi-layer Perceptron

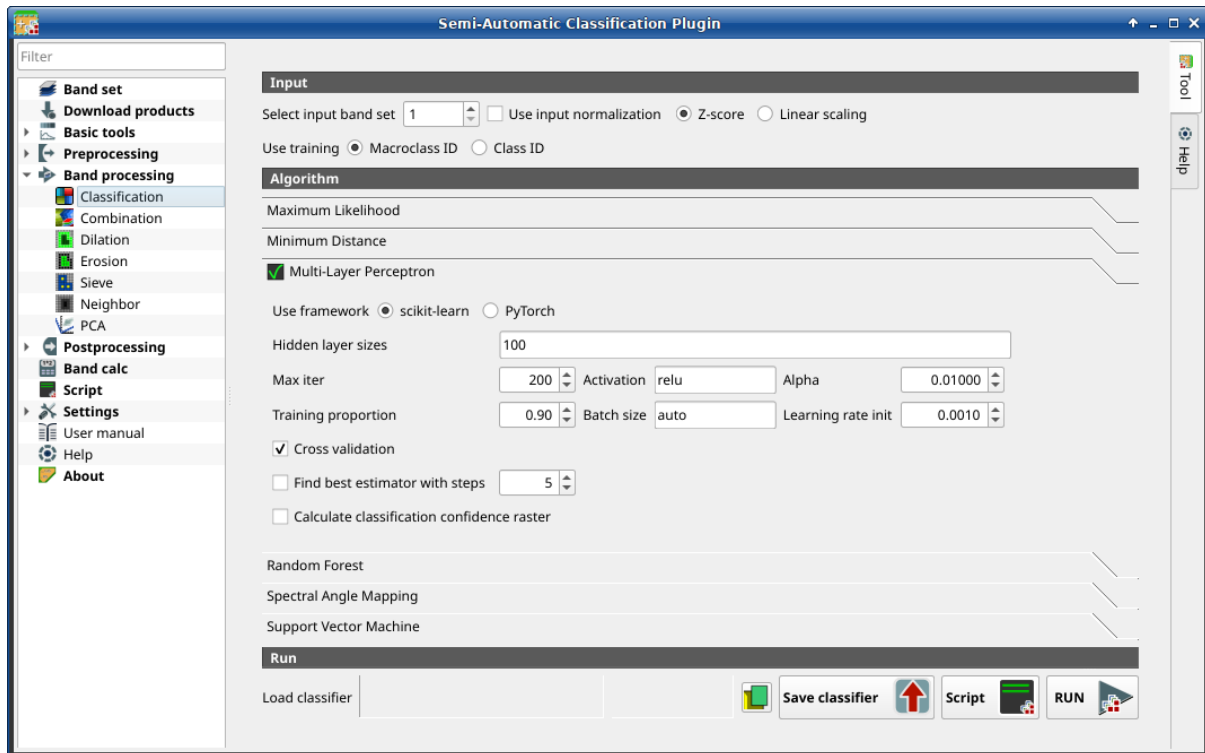

















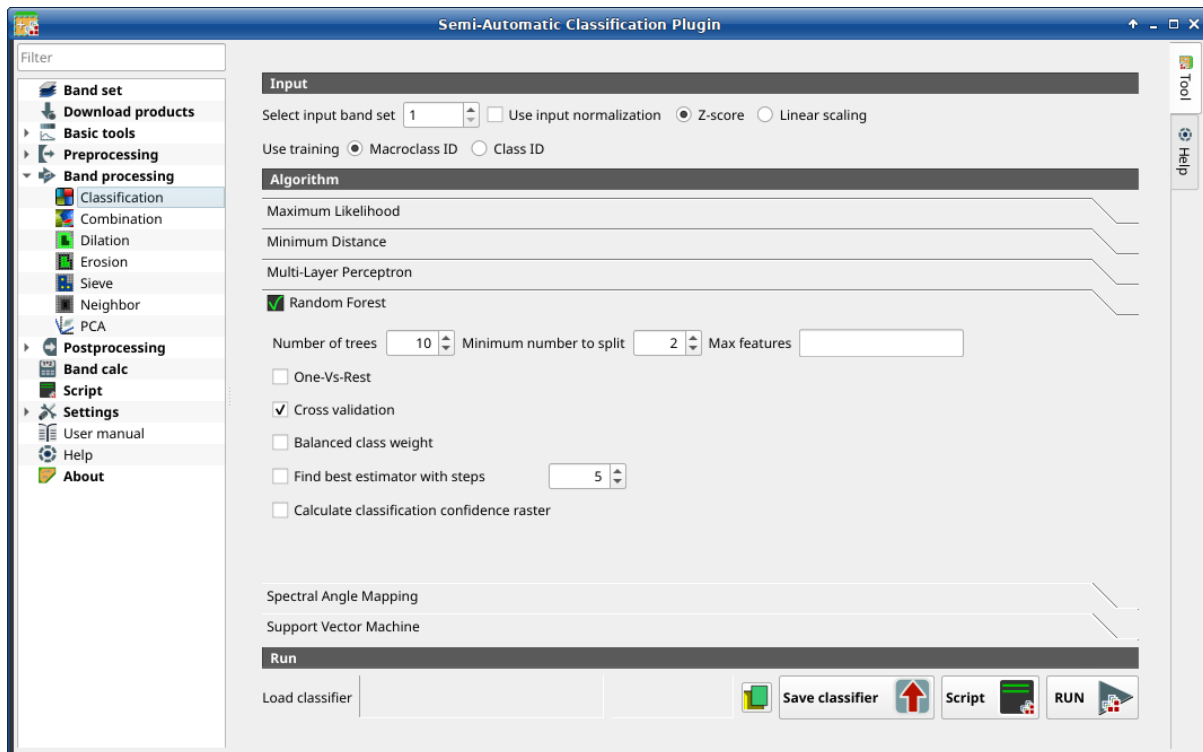
Fig. 30: *Multi-layer Perceptron*

Use the *Multi-Layer Perceptron* (page 143) algorithm.

Tool symbol and name	Description
 <i>Use framework scikit-learn</i>	if checked, use scikit-learn framework (read this)
 <i>Use framework PyTorch</i>	if checked, use PyTorch framework (read about this)
<i>Hidden layer sizes</i> 	list of values separated by comma, where each value defines the number of neurons in a hidden layer (e.g.: 200, 100 for two hidden layers of 200 and 100 neurons respectively)
<i>Max iter</i> 	set the maximum number of iterations
<i>Activation</i> 	set the activation function (default: relu)
<i>Alpha</i> 	set the weight decay (also L2 regularization term) for Adam optimizer
<i>Training proportion</i> 	set the proportion of data to be used as training and the remaining part as test
<i>Batch size</i> 	set the number of samples per batch for optimizer; if auto, the batch is the minimum value between 200 and the number of samples
<i>Learning rate init</i> 	set initial learning rate
 <i>Cross validation</i> 	if checked, perform cross validation
 <i>Find best estimator with steps</i> 	if checked, find the best estimator iteratively with a number of steps
 <i>Calculate classification confidence raster</i> 	if checked, calculate classification confidence raster

Random Forest

Use the *Random Forest* (page 143) algorithm.

Fig. 31: *Random Forest*

Tool symbol and name	Description
<i>Number of trees</i>	set the number of trees
<i>Minimum number to split</i>	set the minimum number of samples required to split an internal node
<i>Max features</i>	for node splitting, if empty all features are considered; if sqrt the square root of all the features, if integer number the number of features; if float number a fraction of all the features
<i>One-Vs-Rest</i>	if checked, perform One-Vs-Rest classification (read more)
<i>Cross validation</i>	if checked, perform cross validation
<i>Balanced class weight</i>	if checked, balanced weight is computed inversely proportional to class frequency
<i>Find best estimator with steps</i>	if checked, find the best estimator iteratively with a number of steps
<i>Calculate classification confidence raster</i>	if checked, calculate classification confidence raster

Spectral Angle Mapping

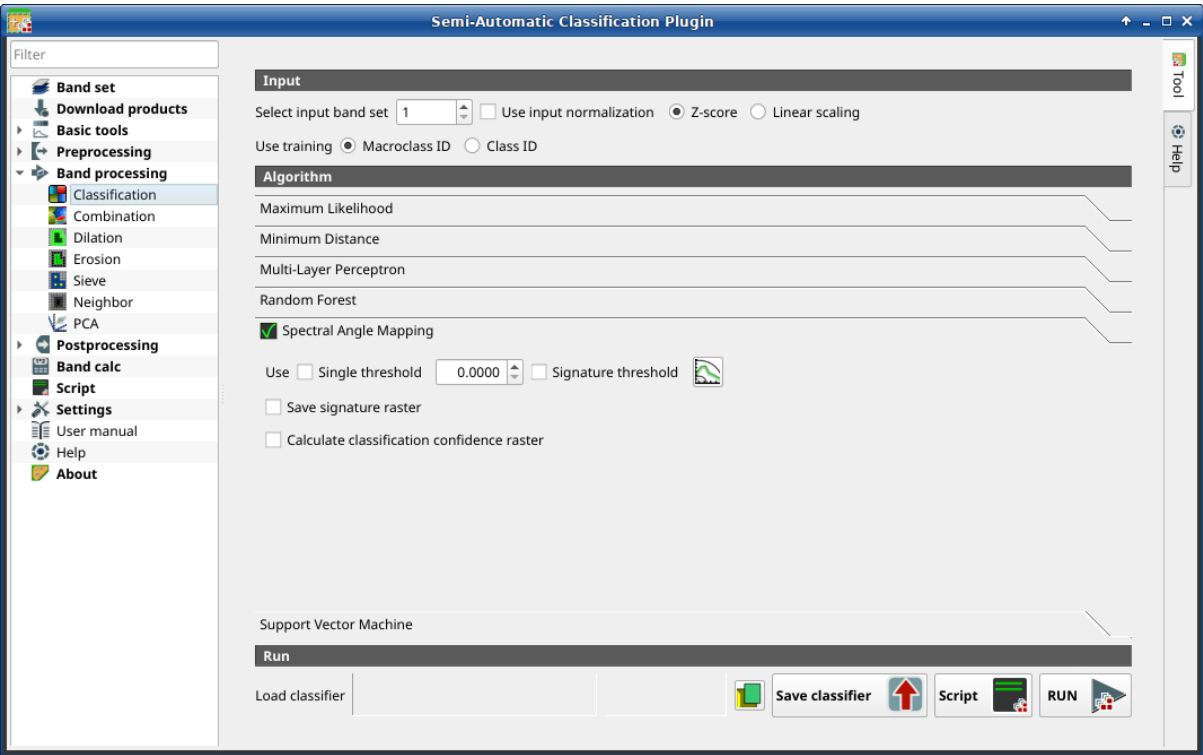







Fig. 32: Spectral Angle Mapping

Use the *Картографування спектрального кута* (page 139) algorithm.

Tool name	symbol	and	Description
<i>Use single threshold</i>			if checked, it allows for the definition of a classification threshold (applied to all the spectral signatures); pixels are unclassified if spectral angle distance is greater than threshold value (max 90)
<i>Signature threshold</i>			if checked, thresholds <i>Signature threshold</i> (page 60) are evaluated
			open the <i>Signature threshold</i> (page 60) for the definition of signature thresholds
	<i>Save signature raster</i>		if checked, in addition to the classification raster, for each spectral signature a raster is saved in the same output directory, which represents the distance between pixel and signature
	<i>Calculate classification confidence raster</i>		if checked, calculate classification confidence raster

Support Vector Machine

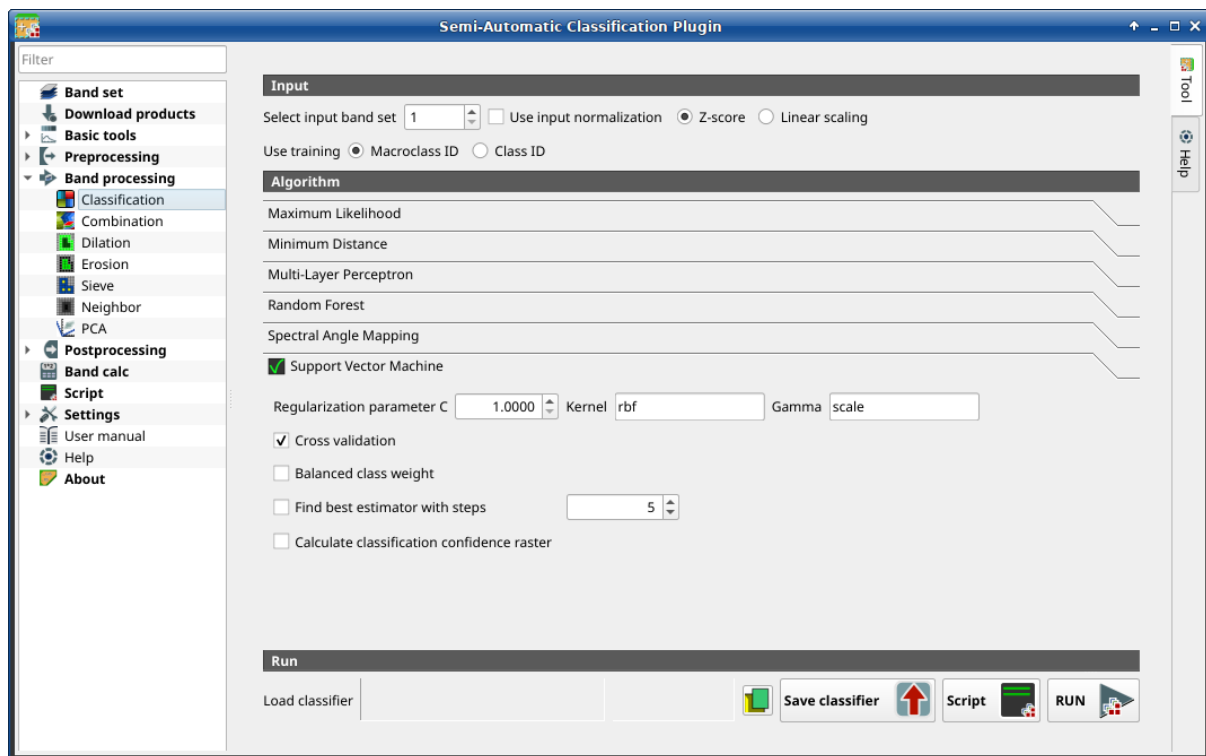


Fig. 33: Support Vector Machine




Use the *Support Vector Machine* (page 144) algorithm.

Tool symbol and name	Description
<i>Regularization parameter C</i>	set the regularization parameter C
<i>Kernel</i>	set the kernel (default: rbf)
<i>Gamma</i>	set the kernel coefficient gamma (default: scale)
<i>Cross validation</i>	if checked, perform cross validation
<i>Balanced class weight</i>	if checked, balanced weight is computed inversely proportional to class frequency
<i>Find best estimator with steps</i>	if checked, find the best estimator iteratively with a number of steps
<i>Calculate classification confidence raster</i>	if checked, calculate classification confidence raster

Run

It is possible to run the classification, or save and load a trained classifier.

Classification raster is a file `.tif` (a QGIS style file `.qml` is saved along with the classification); also other outputs can be optionally calculated. Outputs are loaded in QGIS after the calculation.

Tool symbol and name	Description
 <i>Load classifier</i>	open an already save classifier file (<code>.rsmo</code>)
 <i>Save classifier</i>	save the classifier to file (<code>.rsmo</code>), in order to be loaded later
 <i>RUN</i>	run this function

Combination

- *Combination of band values* (page 85)

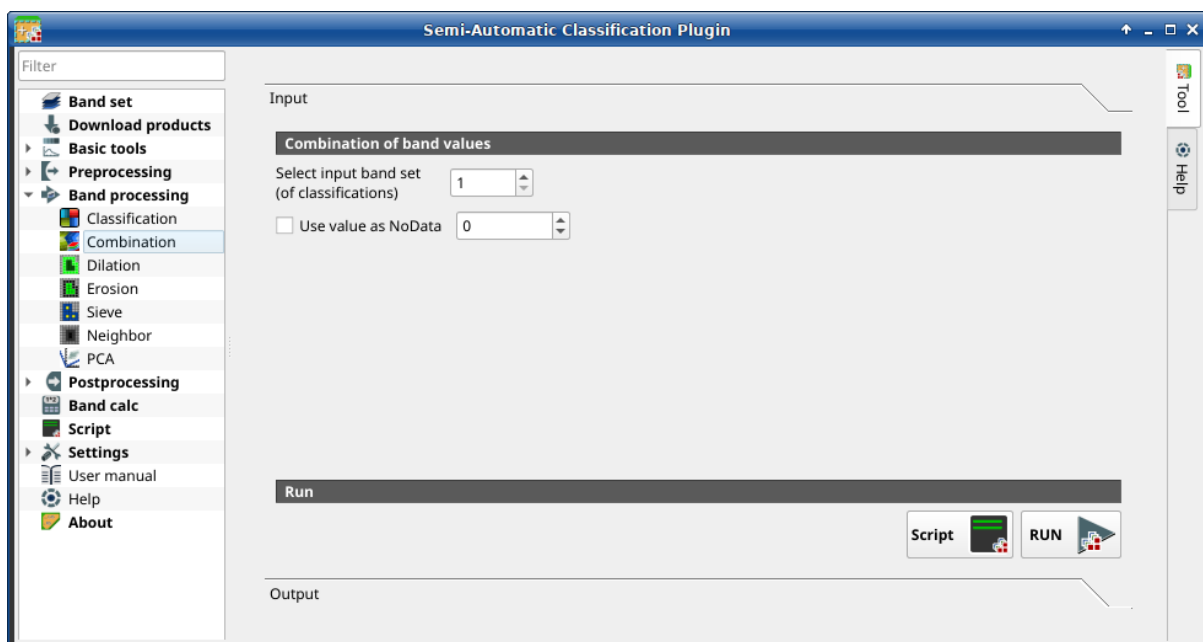






Fig. 34: *Combination*

This tab allows for the combination of bands loaded in a *Band set* (page 45). This tool is intended for combining classifications in order to get a raster where each value corresponds to a combination of class values. Raster values must be integer type. A combination raster is produced as output and the area of each combination is reported in a `.csv` file.

This tool supports **virtual raster output**; if the output file name ends with `.vrt` then the output is created as virtual raster composed of as many `.tif` files as the number of CPU threads defined in *System* (page 112); for large rasters this can speed up the process.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Combination of band values

Tool symbol and name	Description
<i>Select input band set (of classifications)</i> 	select the input <i>Band set</i> (page 45)
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Use value as NoData</i> 	if checked, set the value of NoData pixels, ignored during the calculation
<i>Script</i> 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function

The list of combinations and the area thereof will be displayed in the tab **Output**.

Dilation

- *Dilation* (page 86)

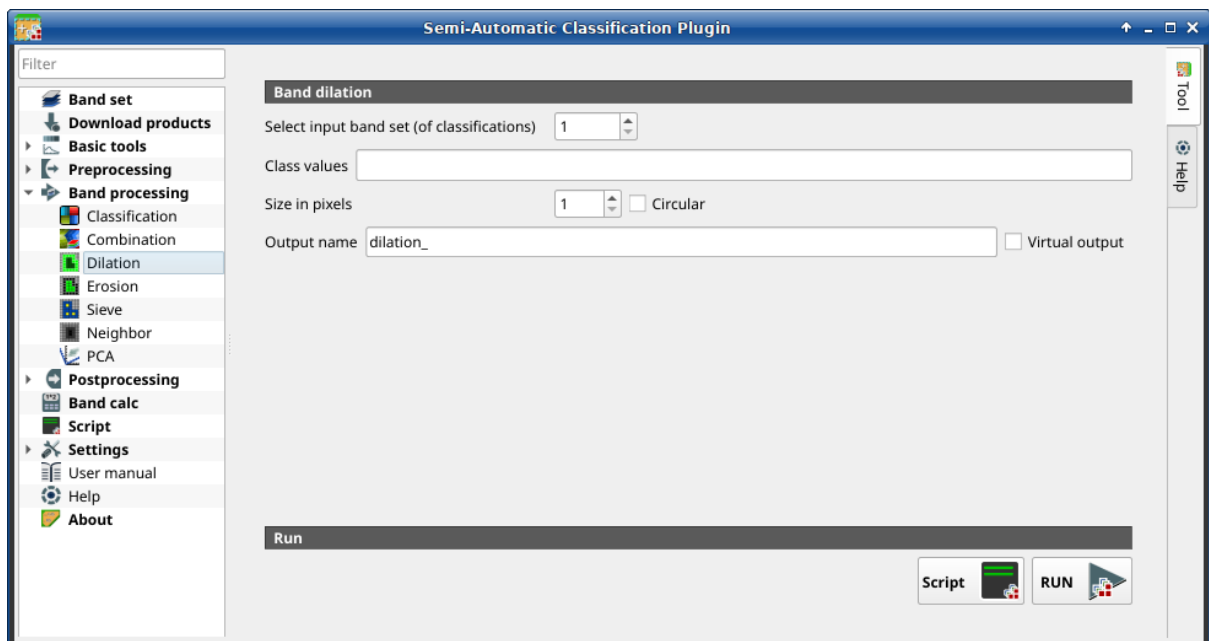









Fig. 35: *Dilation*

This tab allows for dilating the border of a class patch, defining the class values to be dilated and the number of pixels from the border. It is useful for classification refinement.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Dilation

Tool symbol and name	Description
<i>Select input band set (of classifications)</i> 	select the input <i>Band set</i> (page 45)
<i>Class values</i> 	set the class values to be dilated; class values must be separated by , and - can be used to define a range of values (e.g. 1, 3-5, 8 will select classes 1, 3, 4, 5, 8); if the text is red then the expression contains errors
<i>Size in pixels</i> 	number of pixels to be dilated from the border
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Circular</i> 	if checked, the dilation will be circular, similar to a buffer
<i>Output name</i>	set the name prefix for output files
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Virtual output</i> 	if checked, the output is created as virtual raster composed of as many .tif files as the number of CPU threads defined in <i>System</i> (page 112)
<i>Script</i> 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function

Erosion

- *Erosion* (page 87)

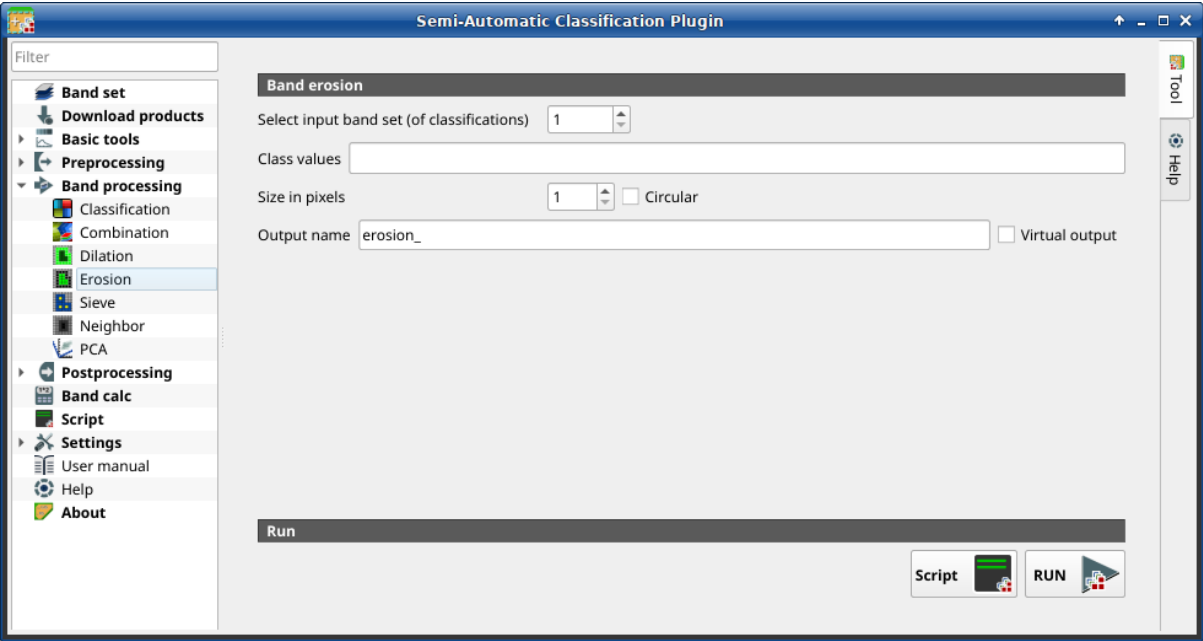











Fig. 36: *Erosion*

This tab allows for removing the border of a class patch (erosion), defining the class values to be eroded and the number of pixels from the border. It is useful for classification refinement.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Erosion

Tool symbol and name	Description
<i>Select input band set (of classifications)</i> 	select the input <i>Band set</i> (page 45)
<i>Class values</i> 	set the class values to be eroded; class values must be separated by , and - can be used to define a range of values (e.g. 1, 3-5, 8 will select classes 1, 3, 4, 5, 8); if the text is red then the expression contains errors
<i>Size in pixels</i> 	number of pixels to be eroded from the border
 <i>Circular</i> 	if checked, the erosion will be circular, similar to a buffer
<i>Output name</i>	set the name prefix for output files
 <i>Virtual output</i> 	if checked, the output is created as virtual raster composed of as many .tif files as the number of CPU threads defined in <i>System</i> (page 112)
<i>Script</i> 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function

Sieve

- *Sieve* (page 88)

This tab allows for the replacement of isolated pixel values with the value of the largest neighbour patch. It is useful for removing small patches from a classification.

It is possible to chose 4 **pixel connection** (in a 3x3 window, diagonal pixels are not considered connected) or 8 **pixel connection** (in a 3x3 window, diagonal pixels are considered connected).

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

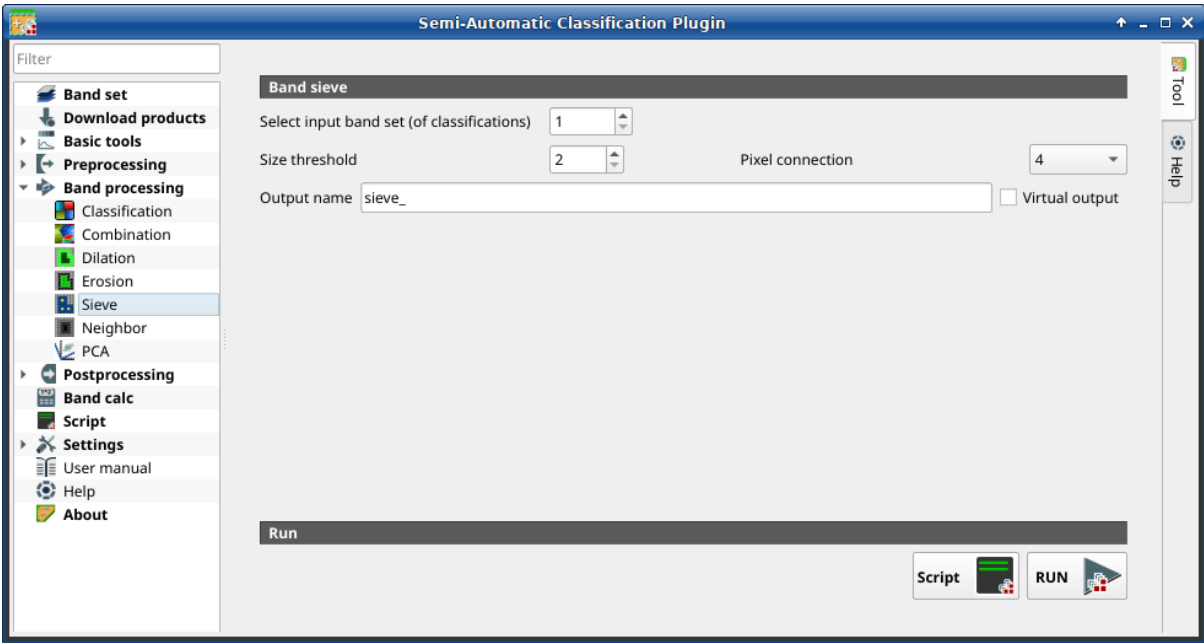








Fig. 37: Sieve

Sieve

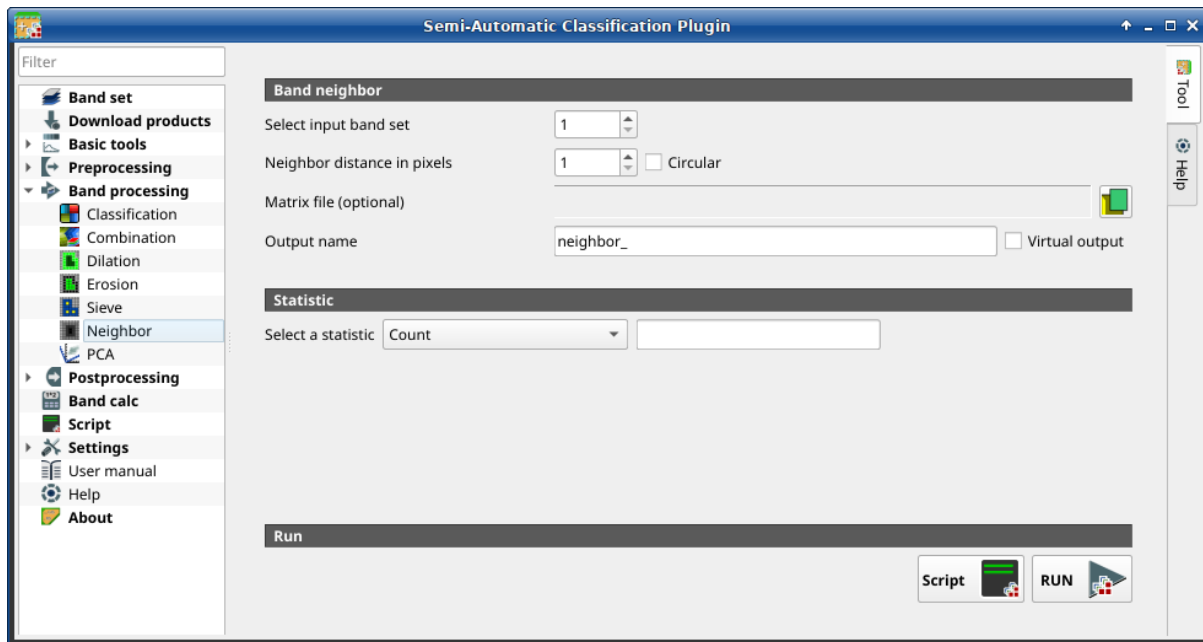
Tool symbol and name	Description
<i>Select input band set (of classifications)</i> 	select the input <i>Band set</i> (page 45)
<i>Size threshold</i> 	size of threshold in number of pixels
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Pixel connection</i> 	select between 4 pixel connection or 8 pixel connection
<i>Output name</i>	set the name prefix for output files
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Virtual output</i> 	if checked, the output is created as virtual raster composed of as many .tif files as the number of CPU threads defined in <i>System</i> (page 112)
<i>Script</i> 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function

Neighbor

- *Neighbor* (page 90)
- *Statistic* (page 90)
- *Run* (page 90)

This tool allows for the calculation of several neighbor pixels statistics for every band of a band set defined in the *Band set* (page 45).

The statistics are calculated for every pixel of the input raster considering the values of the neighbor

Fig. 38: *Neighbor*

pixels. Neighbor pixels are defined through a distance or through a custom matrix.






For example, the following matrix represents the neighbor pixels within a distance of 1 pixel from a central pixel, resulting in a 3x3 matrix.

Neighbor	Neighbor	Neighbor
Neighbor	Center	Neighbor
Neighbor	Neighbor	Neighbor

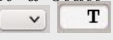
Several statistics are available. The statistic **Sum** will result in a raster convolution. For instance, this can be useful to apply an image filter to all the bands of a band set for photointerpretation.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#).



Neighbor

Tool symbol and name	Description
<i>Select input band set</i> 	select the input <i>Band set</i> (page 45)
<i>Neighbor distance in pixels</i> 	create a window defining the size based on the distance from the center (in number of pixels)
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Circular</i> 	if checked, the window will be circular
<i>Matrix file (optional)</i> 	select a .csv file containing the structure of the window
<i>Output name</i>	set the name prefix for output files
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Virtual output</i> 	if checked, the output is created as virtual raster composed of as many .tif files as the number of CPU threads defined in <i>System</i> (page 112)

Statistic

Tool symbol and name	Description
<i>Select a statistic</i> 	select a statistic among: Count, Max, Mean, Median, Min, Percentile, StandardDeviation, Sum. For Percentile statistic it is possible to enter the percentile value.

Run

- *Script* 
 - add this function to the *Script* (page 108)
- *RUN* 
 - run this function

PCA

- *PCA* (page 91)

This tab allows for the PCA (*Аналіз головних компонент* (page 147)) of bands loaded in the *Band set*. A report .txt is saved along with the PCA bands, containing the covariance matrix, correlation matrix, eigen vectors, and eigen values.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

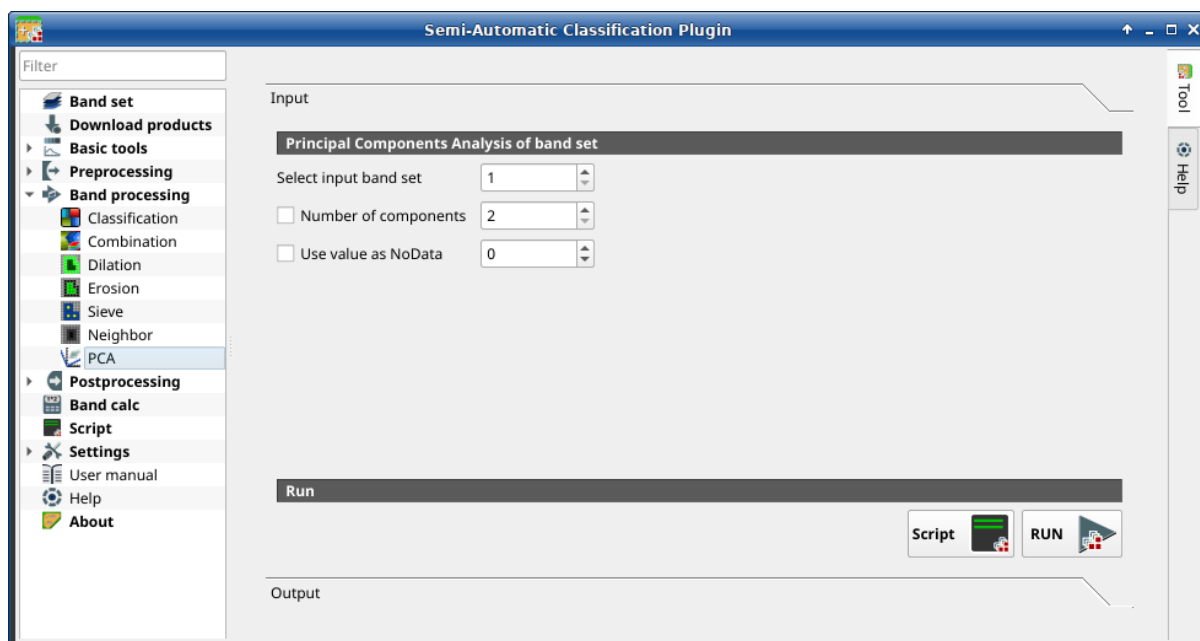









Fig. 39: PCA

PCA

Tool symbol and name	Description
<i>Select input band set</i> 	select the input <i>Band set</i> (page 45)
 <i>Number of components</i> 	set the number of components to be calculated
 <i>Use value as NoData</i> 	if checked, set the value of NoData pixels, ignored during the calculation
<i>Script</i> 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function

The **Output** tab will display the Principal Components Analysis details (Covariance matrix, Correlation matrix, Eigenvectors, and Eigenvalues).

3.4.6 Післяоброблення

Вкладка  *Післяоброблення* надає доступ до декількох функцій, що можуть бути застосовані до вихідних результатів класифікації.

Accuracy

- [Accuracy](#) (page 93)

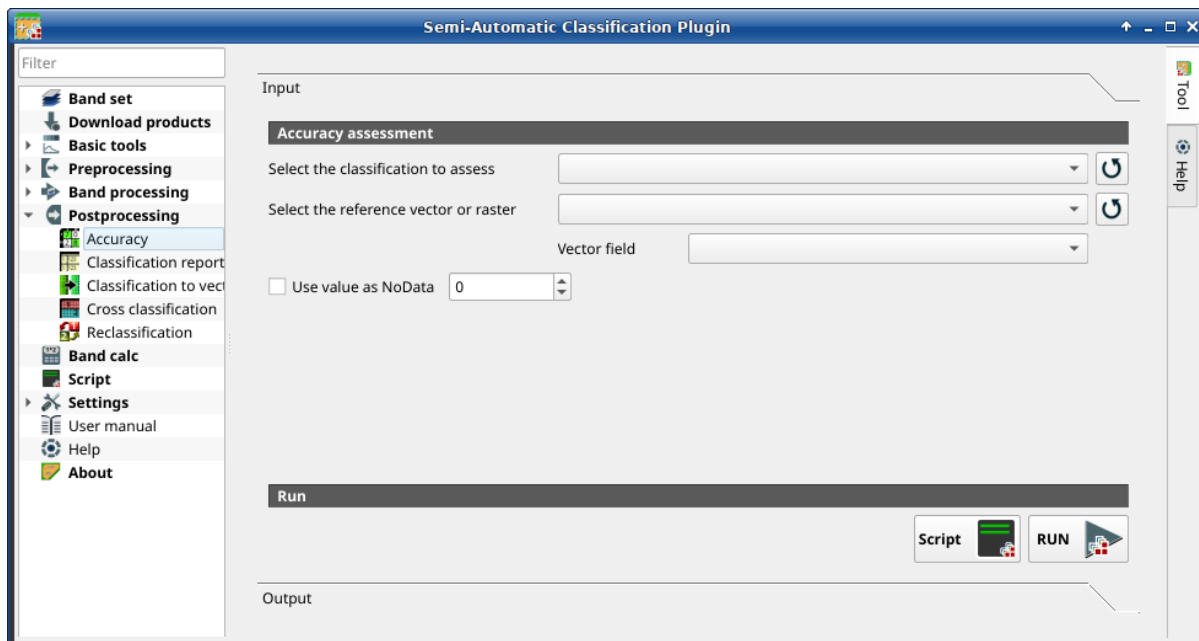


Fig. 40: *Accuracy*

This tab allows for the validation of a classification (read [Оцінка точності](#) (page 146)).

Classification is compared to a reference raster or reference vector (which is automatically converted to raster). If a vector is selected as reference, it is possible to choose a field describing class values.











Several statistics are calculated such as overall accuracy, user's accuracy, producer's accuracy, and Kappa hat. In particular, these statistics are calculated according to the area based error matrix where each element represents the estimated area proportion of each class. This allows for estimating the unbiased user's accuracy and producer's accuracy, the unbiased area of classes according to reference data, and the standard error of area estimates.

The output is an **error raster** that is a **.tif** file showing the errors in the map, where pixel values represent the categories of comparison (i.e. combinations identified by the **ErrorMatrixCode** in the error matrix) between the classification and reference. Also, a text file containing the error matrix (i.e. a **.csv** file separated by tab) is created with the same name defined for the **.tif** file.

This tool supports **virtual raster output**; if the output file name ends with **.vrt** then the output is created as virtual raster composed of as many **.tif** files as the number of CPU threads defined in *System* (page 112); for large rasters this can speed up the process.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Accuracy

Tool symbol and name	Description
<i>Select the classification to assess</i> 	select a classification raster (already loaded in QGIS)
	refresh layer list
<i>Select the reference vector or raster</i> 	select a raster or a vector (already loaded in QGIS), used as reference layer (ground truth) for the accuracy assessment
	refresh layer list
<i>Vector field</i>  	if a vector is selected as reference, select a vector field containing numeric class values
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Use value as NoData</i>	if checked, set the value of NoData pixels, ignored during the calculation
 	
<i>Script</i> 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function

Classification report

- *Classification report* (page 94)

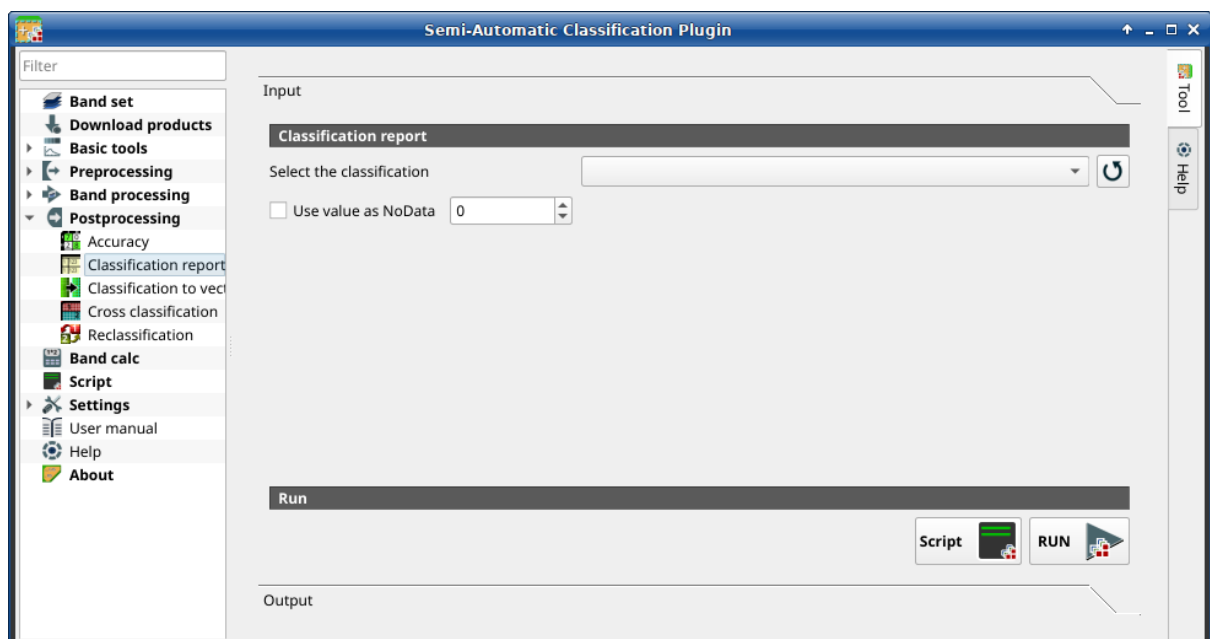








Fig. 41: *Classification report*

This tab allows for the calculation of class statistics such as number of pixels, percentage and area (area unit is defined from the image itself).

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Classification report

Tool symbol and name	Description
Select the classification 	select a classification raster (already loaded in QGIS)
	refresh layer list
 Use value as NoData 	if checked, set the value of NoData pixels, ignored during the calculation
Script 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
RUN 	run this function

The tab Output will display the report.

Classification to vector

- *Classification to vector* (page 95)
- *Symbology* (page 95)
- *Run* (page 95)

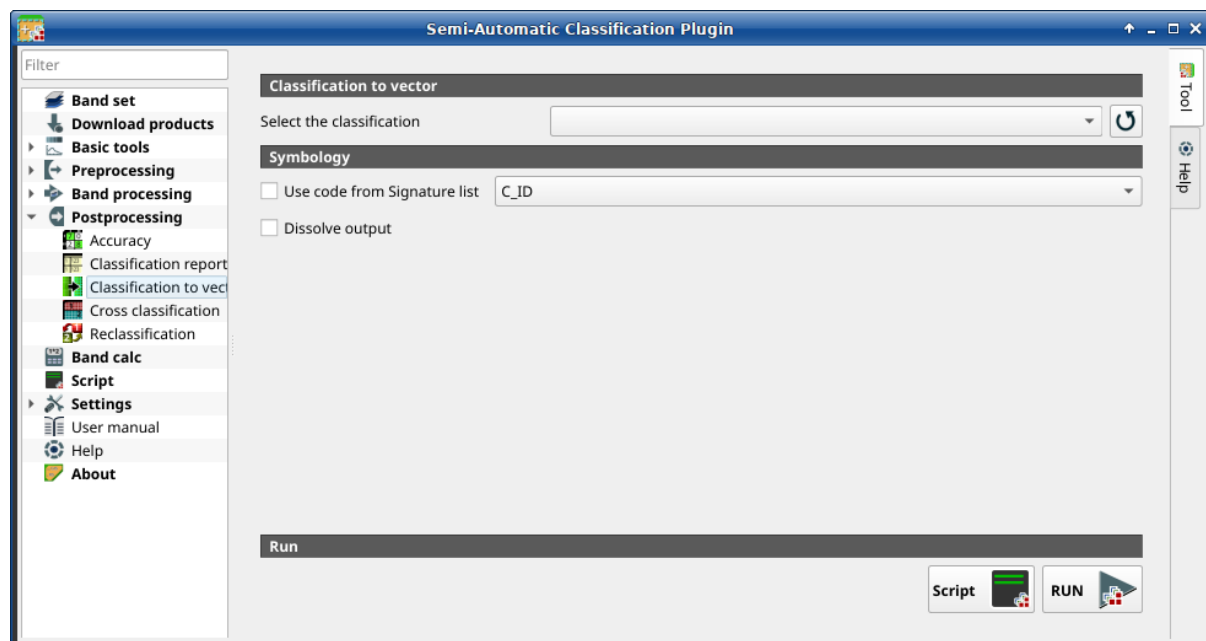




Fig. 42: *Classification to vector*

This tab allows for the conversion of a classification raster to vector GeoPackage (.gpkg) . Parallel processes are used for the conversion, resulting in a vector output which is split in as many portions as




the process numbers. The argument dissolve allows for merging these portions, but it requires additional processing time depending on vector size.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#).



Classification to vector

Tool symbol and name	Description
<i>Select the classification</i> 	select a classification raster (already loaded in QGIS)
	refresh layer list

Symbology

Tool symbol and name	Description
<ul style="list-style-type: none">  <i>Use code from Signature list</i>  	if checked, color and class information are defined from <i>ROI & Signature list</i> (page 36) * MC ID: use the ID of macroclasses * C ID: use the ID of classes
<ul style="list-style-type: none">  <i>Dissolve output</i> 	if checked, dissolve adjacent polygons having the same values

Run

- *Script* 
 - add this function to the *Script* (page 108)
- *RUN* 
 - run this function

Cross classification

- *Cross classification* (page 96)

This tab allows for the calculation of a cross classification raster and matrix. Classification is compared to a reference raster or reference vector (which is automatically converted to raster). This is useful for calculating the area for every combination between reference classes and classification values. If a vector is selected as reference, it is possible to choose a field describing class values.

The output is a **cross raster** that is a **.tif** file where pixel values represent the categories of comparison (i.e. combinations identified by the **CrossMatrixCode**) between the classification and reference. Also, a text file containing the cross matrix (i.e. a **.csv** file) is created with the same name defined for the **.tif** file.

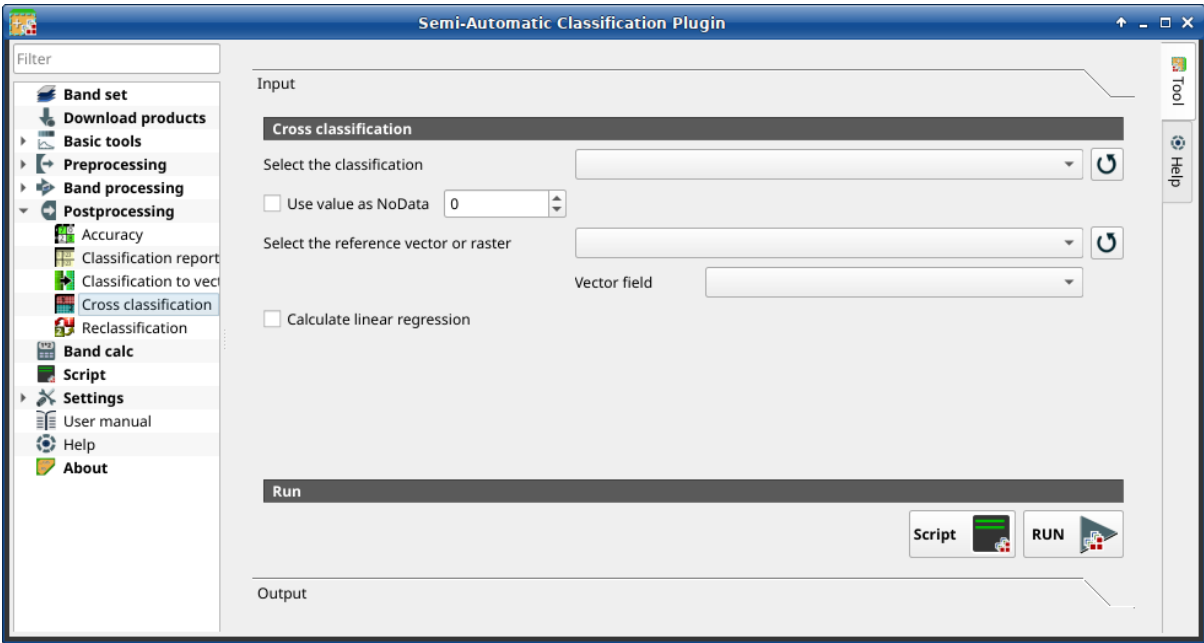


Fig. 43: Cross classification

This tool supports **virtual raster output**; if the output file name ends with `.vrt` then the output is created as virtual raster composed of as many `.tif` files as the number of CPU threads defined in *System* (page 112); for large rasters this can speed up the process.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Cross classification

Tool symbol and name	Description
<i>Select the classification</i>	select a classification raster (already loaded in QGIS)
	refresh layer list
<i>Use value as NoData</i>	if checked, set the value of NoData pixels, ignored during the calculation
<i>Select the reference vector or raster</i>	select a raster or a vector (already loaded in QGIS), used as reference layer
	refresh layer list
<i>Vector field</i>	if a vector is selected as reference, select a vector field containing numeric class values
<i>Calculate linear regression</i>	if checked, calculate linear regression between the two input layers
<i>Script</i>	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i>	run this function

Reclassification

- *Cross classification* (page 97)
- *Values* (page 98)
- *Symbology* (page 98)
- *Run* (page 99)

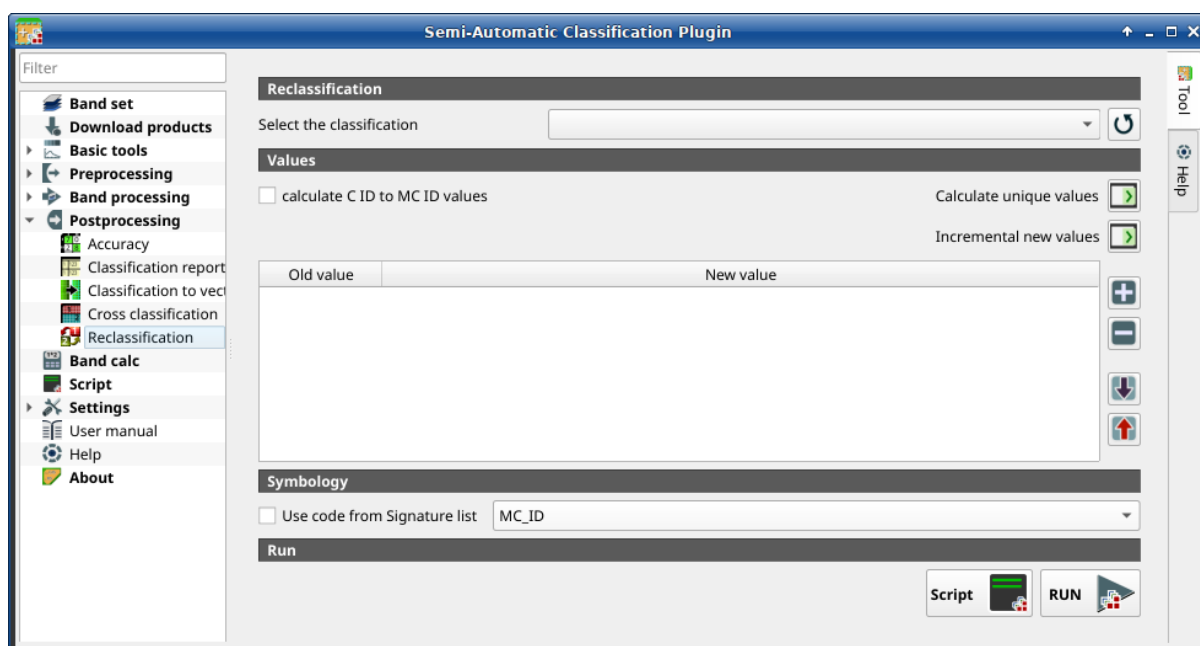




Fig. 44: *Reclassification*

This tab allows for the reclassification (i.e. assigning a new class code to raster pixels). In particular, it eases the conversion from C ID to MC ID values.









This tool supports **virtual raster output**; if the output file name ends with `.vrt` then the output is created as virtual raster composed of as many `.tif` files as the number of CPU threads defined in *System* (page 112); for large rasters this can speed up the process.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#).

Cross classification

Tool symbol and name	Description
<i>Select the classification</i> 	select a classification raster (already loaded in QGIS)
	refresh layer list

Values

Tool symbol and name	Description
	if checked, the reclassification table is filled according to the <i>ROI & Signature list</i>
<i>calculate C ID to MC ID values</i>	(page 36) when <i>Calculate unique values</i>  is clicked
<i>Calculate unique values</i> 	calculate unique values in the classification and fill the reclassification table
<i>Incremental new values</i> 	calculate a new incremental value (e.g. 1, 2, 3, ...) for every old value and fill the reclassification table
	add a row to the table
	remove highlighted rows from the table
	import rules from a text file .csv separated by comma having the following structure Old_value,New_value (where Old_value can be also an expression and New_value is an integer value) for instance:: raster < 1,1 (raster > 1) & (raster < 3),2 raster < 3,3
	export the reclassification table to a text file (.csv) that can be imported later



The reclassification table is structured with the following fields.

Old value	New value
value or expression defining old values to be reclassified	integer value for the corresponding Old value



Old value can be a value or an expressions defined using the variable name **raster** (custom names can be defined in *Variable name for expressions* (page 111)), following Python operators (e.g.:

- **raster** > 3 select all pixels having value > 3 ;
- (**raster** > 5) | (**raster** < 2) select all pixels having value > 5 or < 2 ;
- (**raster** >= 2) & (**raster** <= 5) select all pixel values between 2 and 5.

Symbology

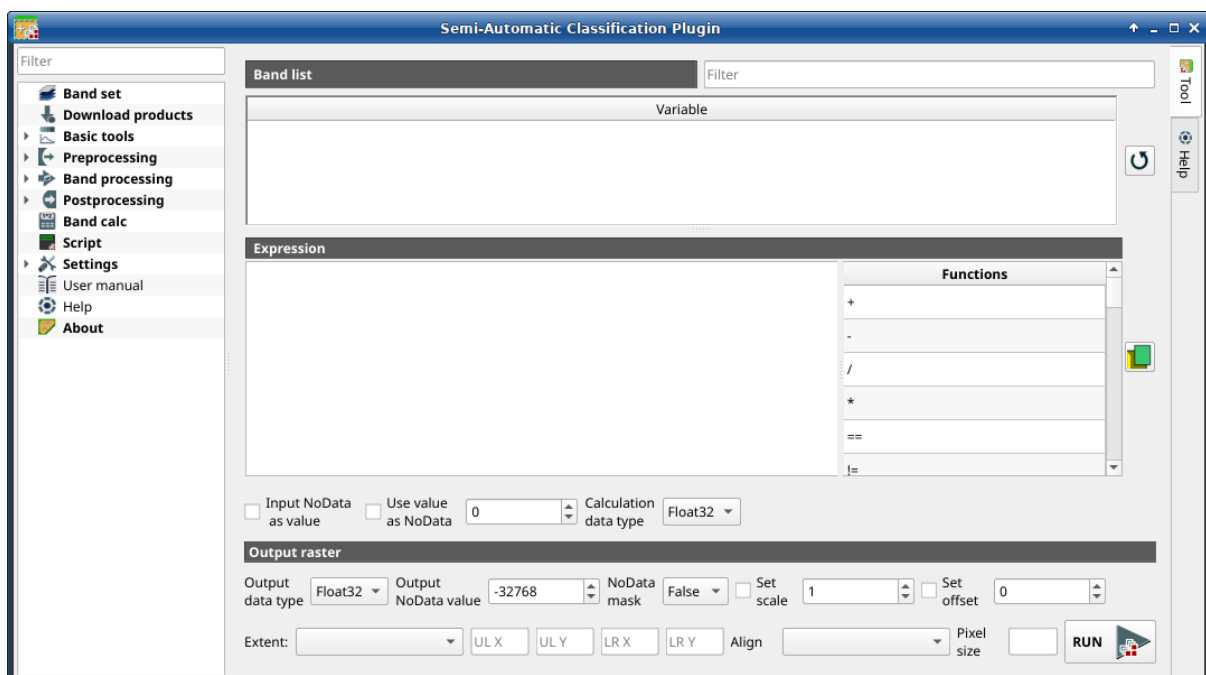
Tool symbol and name	Description
 <i>Use code from Signature list</i> 	<p>if checked, color and class information are defined from <i>ROI & Signature list</i> (page 36):</p> <ul style="list-style-type: none"> • MC ID: use the ID of macroclasses • C ID: use the ID of classes

Run

Tool symbol and name	Description
<i>Script</i> 	add this function to the <i>Script</i> (page 108)
<i>RUN</i> 	run this function

3.4.7 Band calc

- *Band list* (page 100)
- *Expression* (page 100)
- *Output raster* (page 101)
- *Input variables* (page 102)
- *Output variables* (page 103)
- *Functions* (page 105)
 - *Conditional* (page 105)
 - *Logical* (page 105)
 - *Statistics* (page 105)
 - *Operations* (page 106)
 - *Indices* (page 106)
 - *Variables* (page 106)

Fig. 45: *Band calc*




The **Band calc** allows for the **raster calculation for bands** (i.e. calculation of pixel values) using **NumPy functions**. **Band calc** can also work with multiple expression lines to perform multiple calculation at a time; several iteration functions are available for *Band sets* allowing for performing multi-temporal calculations.

This tool supports **virtual raster output**; if the output file name ends with **.vrt** then the output is created as virtual raster composed of as many **.tif** files as the number of CPU threads defined in *System* (page 112); for large rasters this can speed up the process.

Raster bands must be already loaded in QGIS. Input rasters can also be in different projection, but the output will have the projection of the reference raster.

Порада: Information about APIs of this tool in Remotior Sensus at this [link](#) .

Band list

Tool symbol and name	Description
 <i>Band list</i>	table containing a list of single band rasters (already loaded in QGIS) and <i>Input variables</i> (page 102) defined from <i>Band set</i>
<i>Filter</i> 	filter the variable list
	refresh band list

Expression

Enter a mathematical expression for raster bands. In particular, NumPy functions can be used with the prefix *np.* (e.g. `np.log10(raster1)`). For a list of NumPy functions see [the NumPy page](#) .

The expression can work with *Variable* between ". Double click on any item in the *Band list* (page 100) for adding the name thereof to the expression.

If text color in the *Expression* is green, then the syntax is correct; if text color is red, then the syntax is incorrect and it is not possible to execute the calculation.






It is possible to enter multiple expressions separated by newlines such as the following example:

```
"raster1" + "raster2"
"raster3" - "raster4"
```

The above example calculates two new rasters in the output directory with the suffix **_1** (e.g. `calc_raster_1`) for the first expression and **_2** (e.g. `calc_raster_2`) for the second expression. Also, it is possible to define the output name using the symbol **@** followed by the name, such as the following example:

```
"raster1" + "raster2" @calc_1
"raster3" - "raster4" @calc_2
```

Input variables (page 102) and *Output variables* (page 103) can be used in the expression.

Tool symbol and name	Description
 <i>Input NoData as value</i>	if checked, input NoData pixels are replaced by NoData value and accounted in calculation
 <i>Use value as NoData</i> 	if checked, selected value is used as NoData during calculation
<i>Calculation data type</i>	select the data type used during calculation as Float32 (default), Int32, Int16, UInt32, UInt16, Byte; for instance, if Int32 is selected, input float values will be evaluated as integer
 <i>Functions</i>	list of <i>Functions</i> (page 105) names (double click to copy one in the expression) such as mathematical, conditional, logical, statistics, indices, and custom
	open a text file (.txt) containing custom expressions to be listed in <i>Functions</i>











A text file can be loaded for adding expressions to the *Functions*. The text must contain an expression for each line; each line must be in the form **expression_name; expression** (separated by ;) where the **expression_name** is the expression name that is displayed in the *Functions*. Opening an empty text file will remove custom expressions from the *Functions*. Following an example of text content:

```
NDVI; ( "#NIR#" - "#RED#" ) / ( "#NIR#" + "#RED#" ) @NDVI
EVI; 2.5 * ( "#NIR#" - "#RED#" ) / ( "#NIR#" + 6 * "#RED#" - 7.5 * "#BLUE#" + 1 ) @EVI
SR; ( "#NIR#" / "#RED#" ) @SR
```

Output raster

The output raster is a .tif file, with the same spatial resolution and projection of input rasters; if input rasters have different spatial resolutions, then the highest resolution (i.e. minimum pixel size) is used for output raster.

Порада: If multiple lines are entered in Expression or output name are defined in line, a directory selection instead of a file selection is prompted for output.

Tool symbol and name	Description
<i>Output data type</i> 	select the output data type as Float32 (default), Int32, Int16, UInt32, UInt16, Byte; it can be different from <i>Calculation data type</i>
<i>Output NoData value</i>  <i>NoData mask</i> 	set the value of NoData pixels in output raster manage NoData at pixel level; if True, then output is NoData if any input is NoData; if False, then output is NoData if all the inputs are NoData; if None, then NoData is not applied to output
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Set scale</i>  	if checked, set a scale in output raster (and output values are divided by scale)
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Set offset</i>  	if checked, set an offset in output raster (and offset is subtracted to output values)
<i>Extent</i>  <i>UL X UL Y LR X LR Y</i>	<p>set the extent of the output raster among:</p> <ul style="list-style-type: none"> • „<i>Union</i>“: the extent union of input rasters • „<i>Map extent</i>“: the extent of the map currently displayed • „<i>Intersection</i>“: the extent intersection of input raster extents (i.e. minimum extent) • „<i>Custom</i>“: coordinates defined in <i>UL X UL Y LR X LR Y</i> • <i>Layer name</i>: the extent of the selected layer
<i>Align</i> 	align the output raster to a specific <i>Layer name</i> or „ <i>Default</i> “ for automatic alignment to input rasters
<i>Pixel size</i> 	set pixel size
<i>RUN</i> 	run this function; it is disabled if the expression syntax is not correct

Input variables

The following variables related to the *Band set* (page 45) are available (please note that the character " is always required):

- *bandset#b BAND_NUMBER*: bands in the active *Band set* can be referenced directly; the following example refers to band 1 of the active *Band set*:

```
"bandset#b1"
```

- *bandset BANDSET_NUMBER b BAND_NUMBER*: bands in the *Band set* can be referenced directly; the following example refers to band 1 of the *Band set* 1:

```
"bandset1b1"
```

- *bandset{ BANDSET_NUMBER_LIST }b BAND_NUMBER*: list of all the bands X of all the *Band sets* matching a list between curly brackets (e.g. {1,2,3}) or range of *Band sets* separated by colon (e.g. {1:3}) or a list of ranges of *Band sets* (e.g. {1:3, 5:8}), which is equivalent to

[bandset1bX, bandset2bX, ..., bandsetNbX]; this variable can be used in expressions that accept band lists such as the sum:

```
sum("bandset{1,3}b1")
```

- *bandset#b**: list of all the bands of active *Band set*, which is equivalent to [bandset#b1, bandset#b2, ..., bandset#bX]; to be used in expressions that accept band lists such as the maximum value:

```
max("bandset#b*")
```

- *bandset BANDSET_NUMBER b**: list of all the bands of *Band set* N, which is equivalent to [bandsetNb1, bandsetNb2, ..., bandsetNbX]; to be used in expressions that accept band lists such as the minimum value:

```
min("bandset1b*")
```

- *bandset*b BAND_NUMBER*: list of all the bands X of all the *Band sets*, which is equivalent to [bandset1bX, bandset2bX, ..., bandsetNbX]; to be used in expressions that accept band lists such as the mean value:

```
mean("bandset*b1")
```

- *bandset{ DATE }b BAND_NUMBER*: list of all the bands X of all the *Band sets* matching a list of dates (format yyyy-mm-dd) between curly brackets (e.g. {2019-01-01,2019-07-31}) or range of dates separated by colon (e.g. {2019-01-01:2019-07-31}) or a list of ranges of dates (e.g. {2019-01-01:2019-01-31, 2019-04-01:2019-07-31}), which is equivalent to [bandset2bX, bandset5bX, ..., bandsetNbX]; *Band sets* dates are defined in *Band set definition* (page 46); this variable can be used in expressions that accept band lists such as the median value:

```
median("bandset{2019-01-01,2019-07-31}b1")
```

- «#BLUE#»: the band with the center wavelength closest to 0.475 μm ;
- «#GREEN#»: the band with the center wavelength closest to 0.56 μm ;
- «#RED#»: the band with the center wavelength closest to 0.65 μm ;
- «#NIR#»: the band with the center wavelength closest to 0.85 μm ; for example:

```
( "#NIR#" - "#RED#" ) / ( "#NIR#" + "#RED#" )
```

Output variables

Output names can be defined in the expression line entering the symbol @ followed by the name, such as the following example:

```
"raster1" * 2 @first_calculation
```

If the output name is defined in the expression, an output directory will be selected after clicking the button *RUN*.

Попередження: It is recommended to avoid the use of characters # and @ in the output raster name.

It is possible to set the **output path** directly by defining the output name with this structure @path@name, such as:

```
"raster1" * 2 @/home/user@first_calculation
```

The directory will be created if it does not exist.

It is possible to create a **temporary output** (saved in the temporary directory) with @temp@ followed by output name, such as:

```
"raster1" * 2 @temp@first_calculation
```

The **output name** of calculation can be used as **input variable** for the following calculations; for example:

```
"raster1" * 2 @first_calculation  
"first_calculation" + 5 @temp@second_calculation  
"second_calculation" - "raster1" @/home/user@third_calculation
```

It is possible to **add the calculation result to a Band set** using the symbol % followed by the *Band set* number such as:

```
"raster1" @first_calculation%1
```

It is possible to **add the calculation result to the active Band set** using the symbol % followed by the symbol # such as:

```
"raster1" @first_calculation%#
```

Also, variables for output name are available:

- #BANDSET#: the name of the first band in the *Band set* (page 45);
- #DATE#: the current date and time (e.g. 20161110_113846527764);

Using the symbol @ followed by the variable #BANDSET# can save the raster calculation inside the **directory containing the first band** of the active band set, such as:

```
"raster1" @#BANDSET#@first_calculation
```

If the output name is defined with the extension .vrt, the output will be a **virtual raster** referencing the single .tif files calculated by parallel processing. For instance, the following expression will calculate the raster with parallel processing and the output will be a .vrt:

```
"raster1" @first_calculation.vrt
```

Virtual file is useful to reduce calculation time of parallel processing by avoiding the writing of the entire output raster.

Попередження: A .vrt virtual file is a text file containing the reference to existing .tif files. Moving the .vrt virtual file or the .tif files in different directories can make the virtual file unusable.

Functions

Conditional

- *where*: conditional expression according to the syntax `where(condition , value if true, value if false)` for example:

```
where("raster1" == 1, 2, "raster1")
```

Parenthesis are required for multiple conditions for instance to select pixel values between 1 and 3:

```
where( ("raster1" > 1) & ("raster1" < 3), 2, "raster1")
```

Nested conditions can be defined such as:

```
where( ("raster1" > 1) & ("raster1" < 3), 2, "raster1")
```

Logical

- *AND*: AND;
- *OR*: OR;
- *XOR*: XOR;
- *NOT*: NOT;

Statistics

A band list between square brackets or *Input variables* (page 102) are required arguments.

- *max*: maximum; for instance:

```
max(["raster1", "raster2", "raster3"])
```

- *min*: minimum; for instance:

```
min(["bandset#b*"])
```

- *mean*: mean; for instance:

```
mean("bandset*b1")
```

- *median*: median; for instance:

```
median("bandset{2019-01-01,2019-07-31}b1")
```

- *percentile*: percentile calculation; the expression must have this structure `percentile([band_list], percentile_value)`; for instance, the following expression calculates the 10th percentile of active band set:

```
percentile("bandset#b*", 10)
```

- *std*: standard deviation; for instance:

```
std("bandset{1,3}b1")
```

- *sum*: sum; for instance:

```
sum("bandset{1:5}b1")
```

Operations

- *sin*: sine; for instance:

```
sin("raster1")
```

- *cos*: cosine;
- *tan*: tangent;
- *asin*: inverse sine;
- *acos*: inverse cosine;
- *atan*: inverse tangent;
- *exp*: natural exponential;
- *ln*: natural logarithm;
- *log*: base 10 logarithm;

Indices

- *NDVI*: if selected, the NDVI calculation is entered in the *Expression*:

```
( "#NIR#" - "#RED#" ) / ( "#NIR#" + "#RED#" ) @ NDVI
```

- *EVI*: if selected, the EVI calculation is entered in the *Expression*:

```
2.5 * ( "#NIR#" - "#RED#" ) / ( "#NIR#" + 6 * "#RED#" - 7.5 * "#BLUE#" + 1 ) @ EVI
```

- *NBR*: if selected, the NBR calculation is entered in the *Expression*:

```
( "#NIR#" - "#SWIR2#" ) / ( "#NIR#" + "#SWIR2#" ) @NBR
```

Variables

- *nodata*: NoData value of raster (e.g. `nodata("raster1")`); it can be used as value in the expression:

```
where("raster1" == nodata("raster1"), 0, "raster1")
```

- *forbandsets*: it allows for the iteration over *Band sets* defined between square brackets; a range of *Band sets* separated by colon (e.g. `forbandsets[1:3]`) or a list separated by commas (e.g. `forbandsets[1,2,3]`); `forbandsets` must be entered in the first line of expressions (not compatible with `forbandsinbandset`), for instance:

```
forbandsets[1:3]
"bandset#b1" @#BANDSET#
```

During the iteration, the *Input variables* (page 102) related to the active *Band set* are replaced by the iterator, therefore the expression:

```
forbandsets[1:3]
"bandset#b1" @#BANDSET#
```

is equivalent to:

```
"bandset1b1" @calc1
"bandset2b1" @calc2
"bandset3b1" @calc3
```

It is possible to enter a string (or a list of strings separated by comma ,) after the square bracket] to filter *Band sets* by the name of first band in *Band set*; for instance, the following expression will iterate the first 3 *Band sets* selecting only the *Band set* whose name of the first band includes RT:

```
forbandsets[1,2,3]RT
```

Also, *forbandsets*: allows for the iteration over *Band sets* dates (format yyyy-mm-dd, defined in *Band set definition* (page 46)) between square brackets, such as the following examples:

Iterating over a range of dates:

```
forbandsets[2020-01-01:2020-07-31]
"bandset#b1" @#BANDSET#
```

Iterating over a list of dates:

```
forbandsets[2020-02-01,2020-03-11,2020-04-21]
"bandset#b1" @#BANDSET#
```

Iterating over a list of ranges of dates:

```
forbandsets[2010-01-01:2010-06-31, 2010-08-01:2010-08-31, 2010-10-01:2010-12-31]
"bandset#b1" @#BANDSET#
```

During the iteration, the *Input variables* (page 102) related to the active *Band set* are replaced by the iterator.

It is possible to enter a string (or a list of strings separated by comma ,) after the square bracket] to filter *Band sets* by the name of first band in *Band set*; for instance, the following expression will iterate the *Band sets* in the range selecting only the *Band set* whose name of the first band includes RT:

```
forbandsets[2020-01-01:2020-07-31]RT
```

- *forbandsinbandset*: it allows for the iteration over bands in a *Band set* or a range of *Band sets* between square brackets; *forbandsinbandset* must be entered in the first line of expressions (not compatible with *forbandsets*); the variable #BAND# must be used to refer to the iterated band such as the following examples:

Iterating over the bands of the first *Band set* (note the " in the expression):

```
forbandsinbandset[1]
where("#BAND#" > 1, 1, 2) @#BAND#)
```

Iterating over all the bands of *Band sets* from 1 to 3:

```
forbandsinbandset[1:3]
where("#BAND#" > 1, 1, 2) @#BAND#)
```

- #BAND#:
- #BANDSET#: the name of the first band in the *Band set* (page 45);
- #DATE#: the current date and time (e.g. 20161110_113846527764);
- @: character @;

3.4.8 Script

- *Script* (page 108)

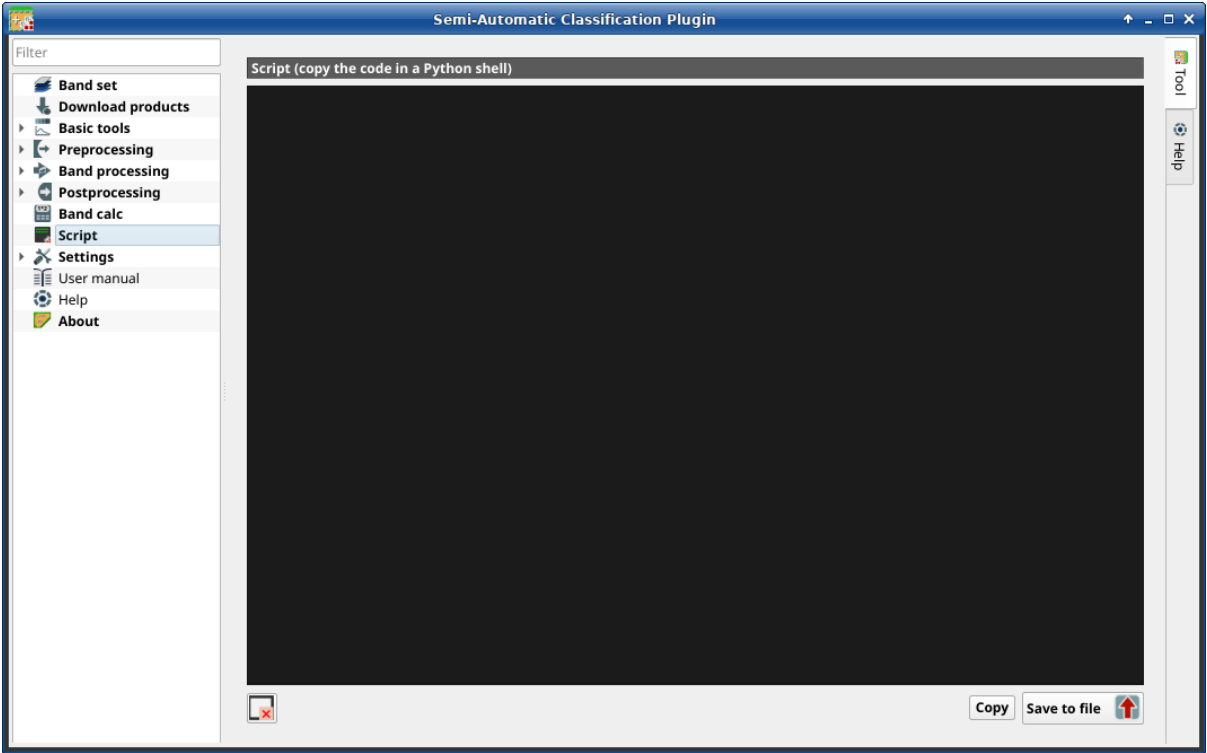




Fig. 46: *Script*


This tab displays the output of the *Script* buttons that are available in several tools, which ease the creation of Python scripts using [Remotior Sensus](#).

It is possible to edit or copy the Python code and run it in a Python shell. New code is appended to the existing one, when using the *Script* buttons.

Script

Tool symbol and name	Description
	clear the content of the script
<i>Copy</i>	copy the content of the script to the clipboard
<i>Save to file</i> 	save the script to file .py

3.4.9 Налаштування

Вкладка  *Налаштування* забезпечує пристосування *SCP* до вимог користувача.

Debug

- *Log file* (page 110)
- *Test* (page 110)

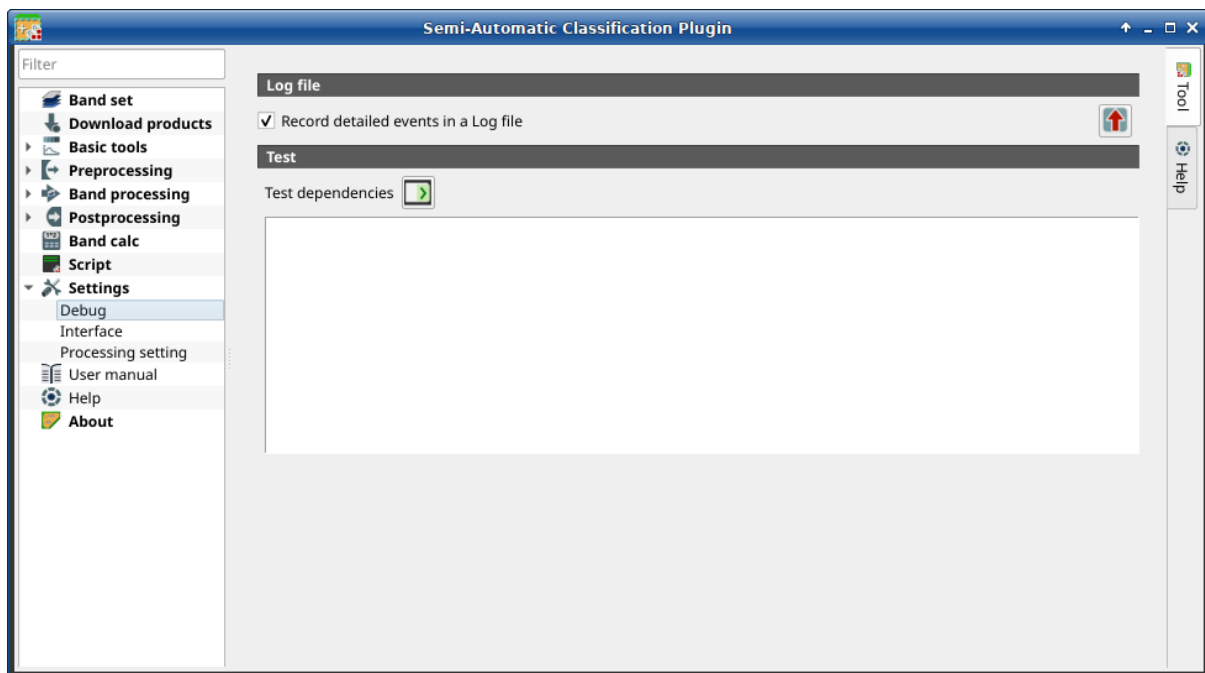





Fig. 47: *Debug*

This tab allows for the debug of *SCP* in case of issues, and the check of *SCP* dependencies.

Log file

Tool symbol and name	Description
<i>Record detailed events in a Log file</i> 	if checked, start recording detailed events in a Log file
	export the Log file to a .txt file

Test

Tool symbol and name	Description
<i>Test dependencies</i> 	test <i>SCP</i> dependencies (NumPy, SciPy, Matplotlib, GDAL, PyTorch, scikit-learn, Remotior Sensus, Multiprocess, Internet connection)

Interface

- *ROI style* (page 111)
- *Variable name for expressions* (page 111)
- *Temporary group name* (page 111)
- *Dock* (page 111)

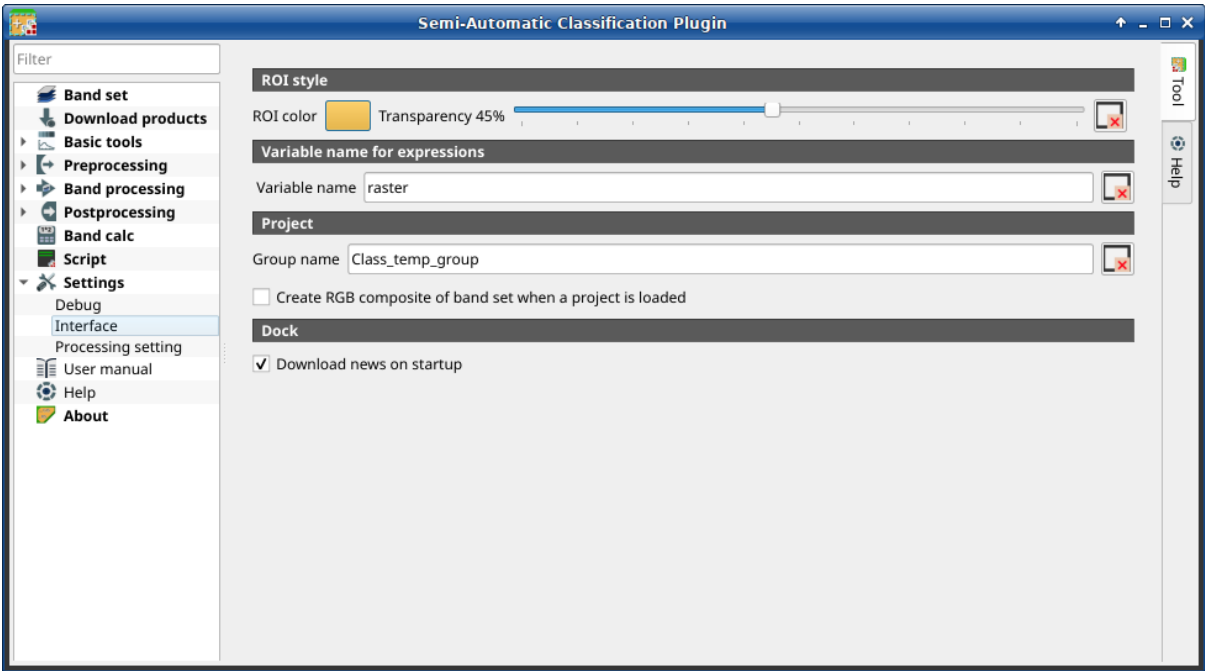






Fig. 48: *Interface*

This tab includes a few advanced settings of the *SCP* interface.




ROI style

Change ROI color and transparency for a better visualization of temporary ROIs on the map.





Tool symbol and name	Description
<i>ROI color</i> 	button for changing ROI color
<i>Transparency</i>  	change ROI transparency
	reset ROI color and transparency to default

Variable name for expressions


Set the variable name used in expressions of the *Reclassification* (page 97).

Tool symbol and name	Description
<i>Variable name</i>  	set variable name (default is raster)
	reset variable name to default

Temporary group name

Tool symbol and name	Description
<i>Group name</i>  	set group name (default is Class_temp_group)
	reset group name to default
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Create RGB composite of band set when a project is loaded</i> 	if checked, a RGB composite of active band set is added to the map when a project is loaded

Dock

Tool symbol and name	Description
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Download news on startup</i> 	if checked, news about the <i>SCP</i> and related services are downloaded on startup and displayed in <i>Dock</i> ; also, it checks for updates of Remotior Sensus

Processing setting

- *System* (page 112)
- *Calculation process* (page 113)
- *SMTP process notification* (page 113)
- *Temporary directory* (page 113)
- *External programs* (page 114)

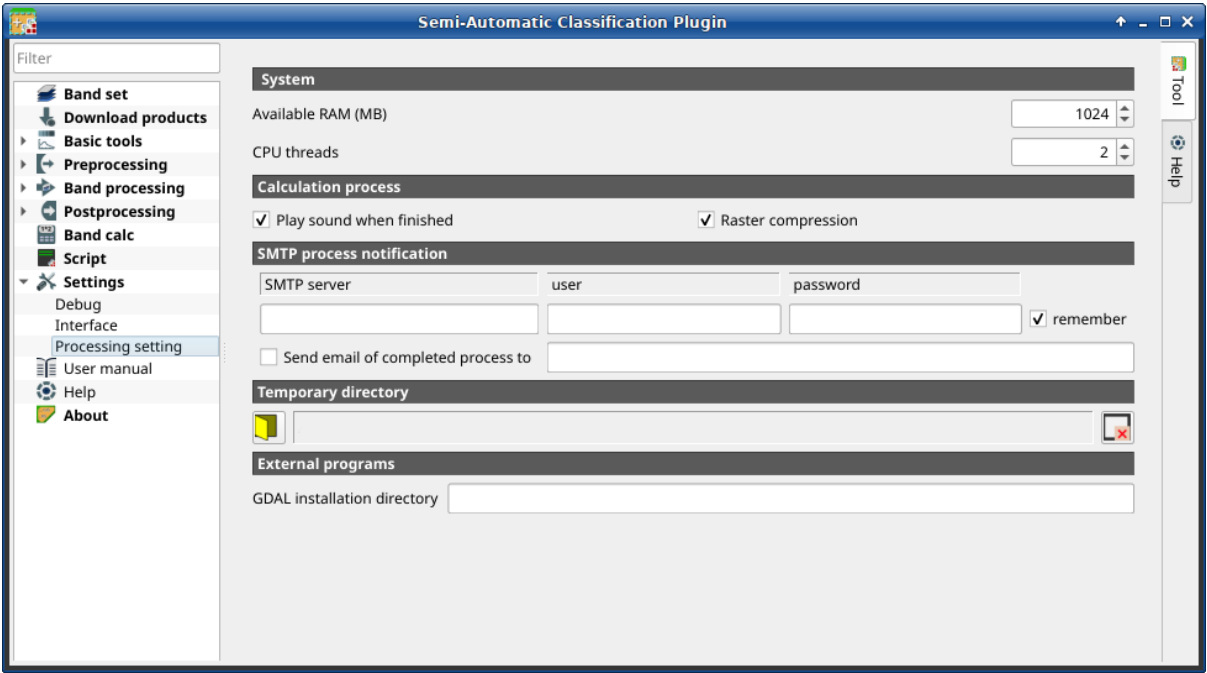




Fig. 49: Processing





System


Tool	symbol	Description
Available RAM (MB)		set the available RAM (in MB) that is used during the processes in order to improve the SCP performance; this value should be half of the system RAM (e.g. 1024MB if system has 2GB of RAM)
CPU threads		set the number of threads available for processing; it is recommended to set a value lower than the maximum number of system threads (e.g. if the system has 4 available threads set value 3)

Calculation process




Tool symbol and name	Description
 <i>Play sound when finished</i>	if checked, play a sound when the process is completed
 <i>Raster compression</i>	if checked, a lossless compression (DEFLATE or PACKBITS) is applied to raster outputs in order to save disk space; it is recommended to check this option to save disk space, or uncheck to faster the calculation

SMTP process notification

Tool symbol and name	Description
 <i>SMTP server</i>	the SMTP server to login for sending a notification email when all the <i>SCP</i> processes are finished (a notification is sent also in case of error, but not in case of crash)
 <i>user</i>	the SMTP server user
 <i>password</i>	the SMTP server password
 <i>Send email of completed process to</i>	a list of addresses (separated by comma) to send the notification email to


Попередження: If  *remember* is checked, the password is stored unencrypted in QGIS registry.

Temporary directory

Tool symbol and name	Description
 	select a new temporary directory where temporary files are saved during the processing; the path to the current temporary directory is displayed; default is a system temporary directory
	reset to default temporary directory

External programs

Some tools require external programs to perform the processing.

Tool symbol and name	Description
<i>GDAL installation directory</i> 	enter the path to the GDAL directory containing tools such as gdal_translate and gdalwarp (e.g. /usr/bin); this parameter is usually not required

3.5 Spectral Signature Plot

The window *Spectral Signature Plot* includes several functions for displaying spectral signature values as a function of wavelength (defined in the *Band set* (page 45)). Signatures can be added to the *Spectral Signature Plot* through the *SCP dock* (page 31).

Overlapping signatures (belonging to different classes or macroclasses) are highlighted in orange in the table *Signature list* (page 115); the overlapping check is performed considering *MC ID* or *C ID* according to the setting Use ☒ *MC ID* ☒ *C ID* in *Classification* (page 75). Overlapping signatures sharing the same *ID* are not highlighted.

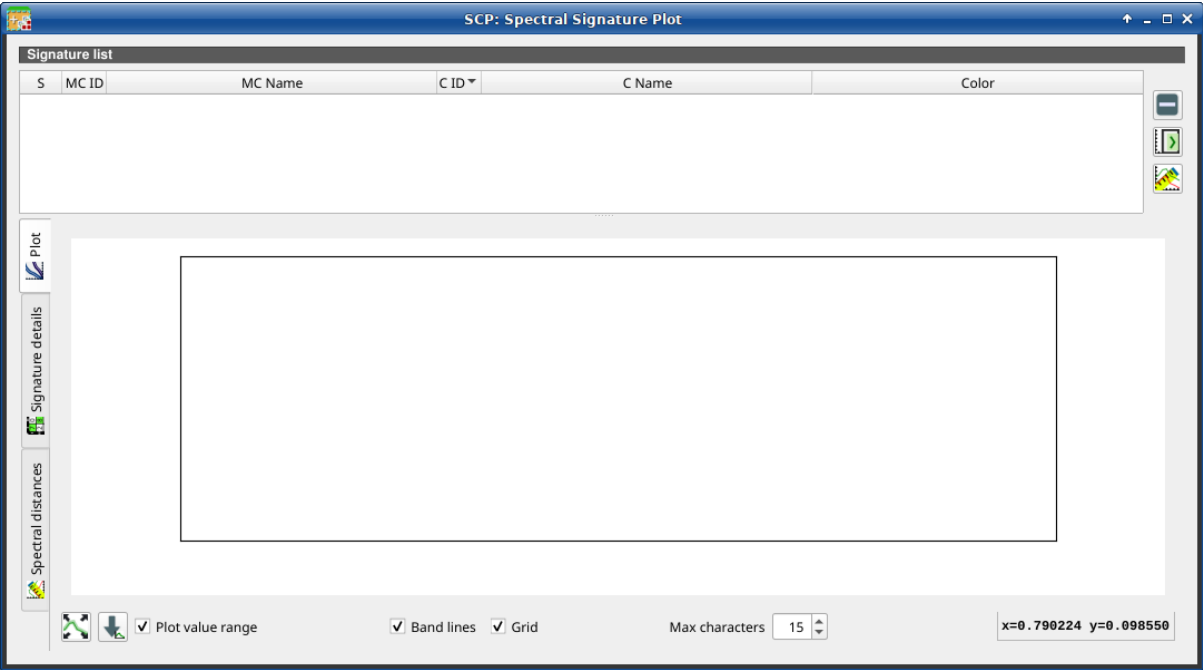





Fig. 50: *Spectral Signature Plot*

3.5.1 Signature list

The *Signature list* is a table that includes the spectral signatures added from the *SCP dock* (page 31).

S	MC ID	MC Name	C ID	C Name	Color
checkbox checked, the signature is displayed in the plot	field; if spectral signature is displayed	si- gnature Macrocla ID	si- gnature Macroclas ID	si- gnature Class Name	signature color; also, the combination <i>MC ID-C ID</i> is displayed in case of overlap with other signatures




The following tools are available.

Tool symbol and name	Description
	remove highlighted signatures from this list
	add highlighted spectral signatures to <i>ROI & Signature list</i> (page 36)
	calculate the spectral distances of spectral signatures displayed in the plot; distances are reported in the tab <i>Spectral distances</i> (page 116)

Plot

Left click and hold inside the plot to **move** the view of the plot. Use the **mouse wheel** to **zoom in and out** the view of the plot. **Right click** and hold inside the plot to **zoom in a specific area** of the plot. Legend inside the plot can be moved using the mouse.

The following tools are available.

Tool symbol and name	Description
	automatically fit the plot to data
	save the plot image to file (available formats are .jpg, .png, and .pdf)
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Plot value range</i>	if checked, plot the value range for each signature with a semi-transparent area
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Band lines</i>	if checked, display a vertical line for each band (center wavelength)
<input checked="" type="checkbox"/> <i>Grid</i>	if checked, display a grid
<i>Max characters</i> 	set the maximum length of text in the legend
<i>x y</i>	display x y coordinates of mouse cursor inside the plot

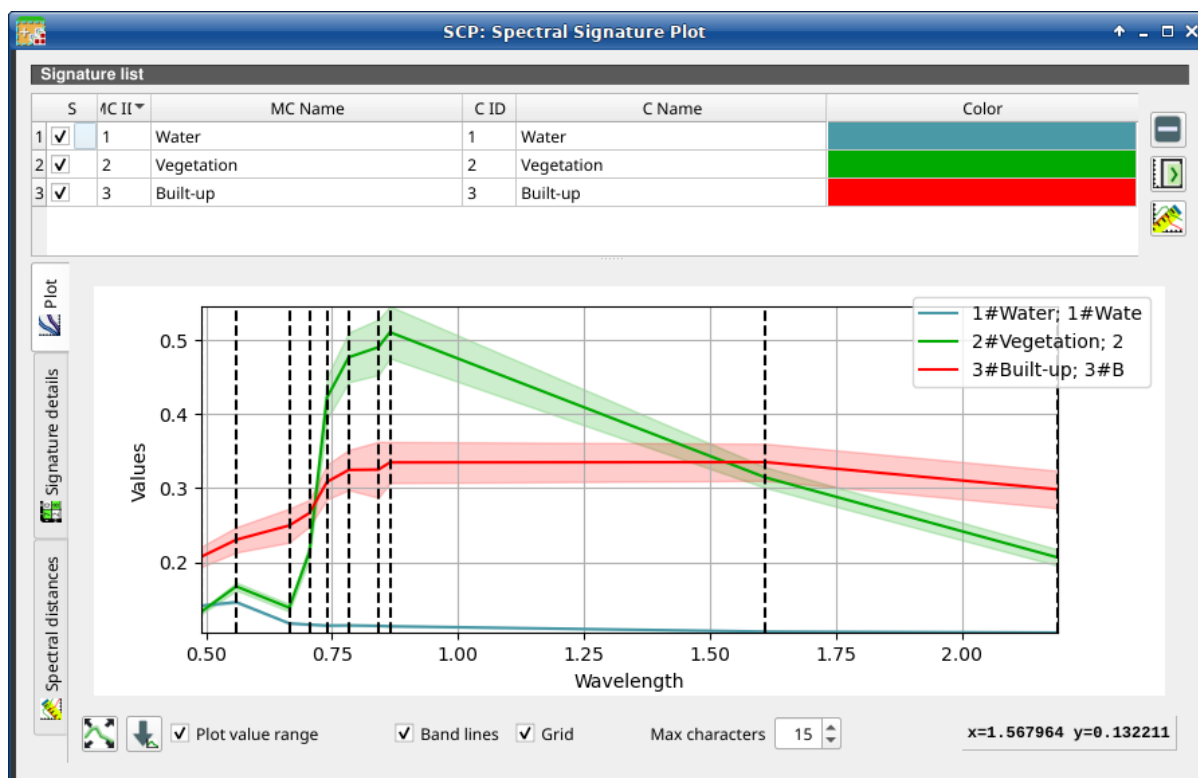


Fig. 51: Spectral Signature: Example of plot

Signature details

Display the details about spectral signatures (i.e. Wavelength, Values, and Standard deviation). In case of signatures calculated from ROIs, the ROI size (number of pixels) is also displayed.

Spectral distances

Display spectral distances of signatures (see *Signature list* (page 115)), which are useful for assessing ROI separability (see *Спектральна відстань* (page 144)).

The following spectral distances are calculated :

- *Спектральний кут* (page 144): range [0 = identical, 90 = different]; useful in particular for *Картографування спектрального кута* (page 139) classifications
- *Евклідова відстань* (page 145): useful in particular for *Мінімальної відстані* (page 137) classifications
- *Подібність Брея-Кертіса* (page 145): range [0 = different, 100 = identical]; useful in general

Values are displayed in red if signatures are particularly similar.

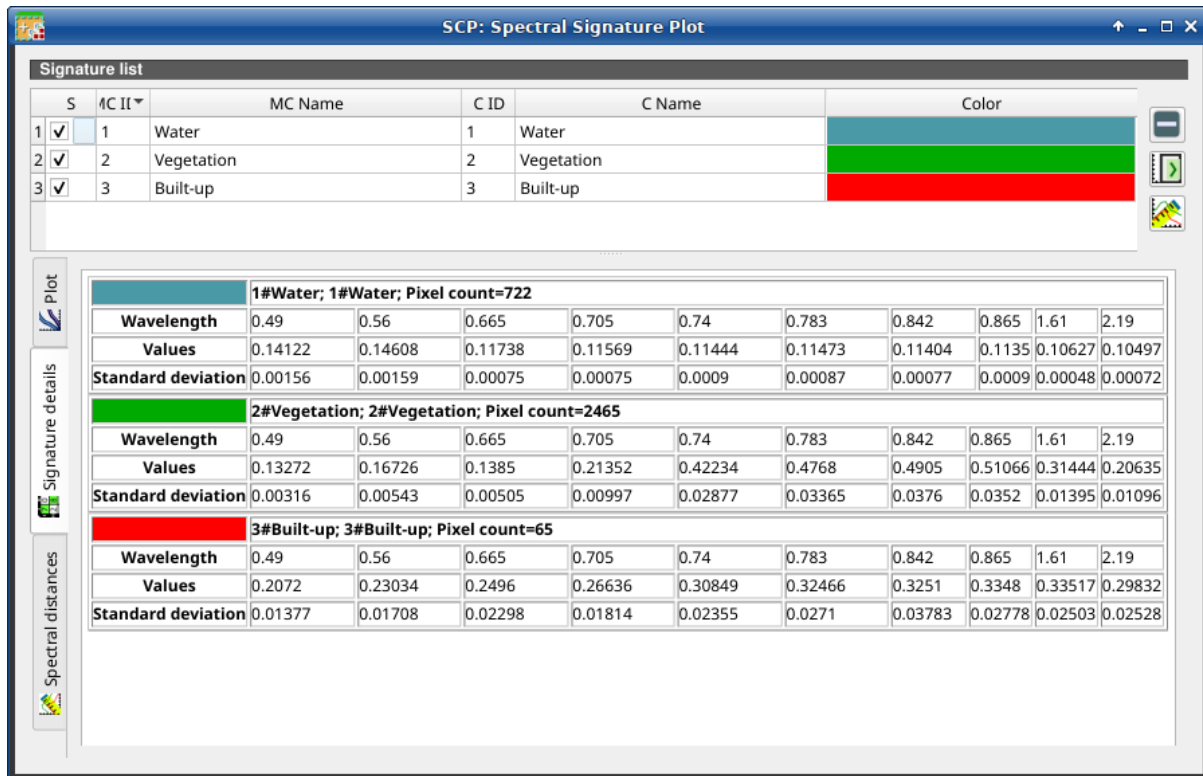


Fig. 52: Spectral Signature: Example of signature details

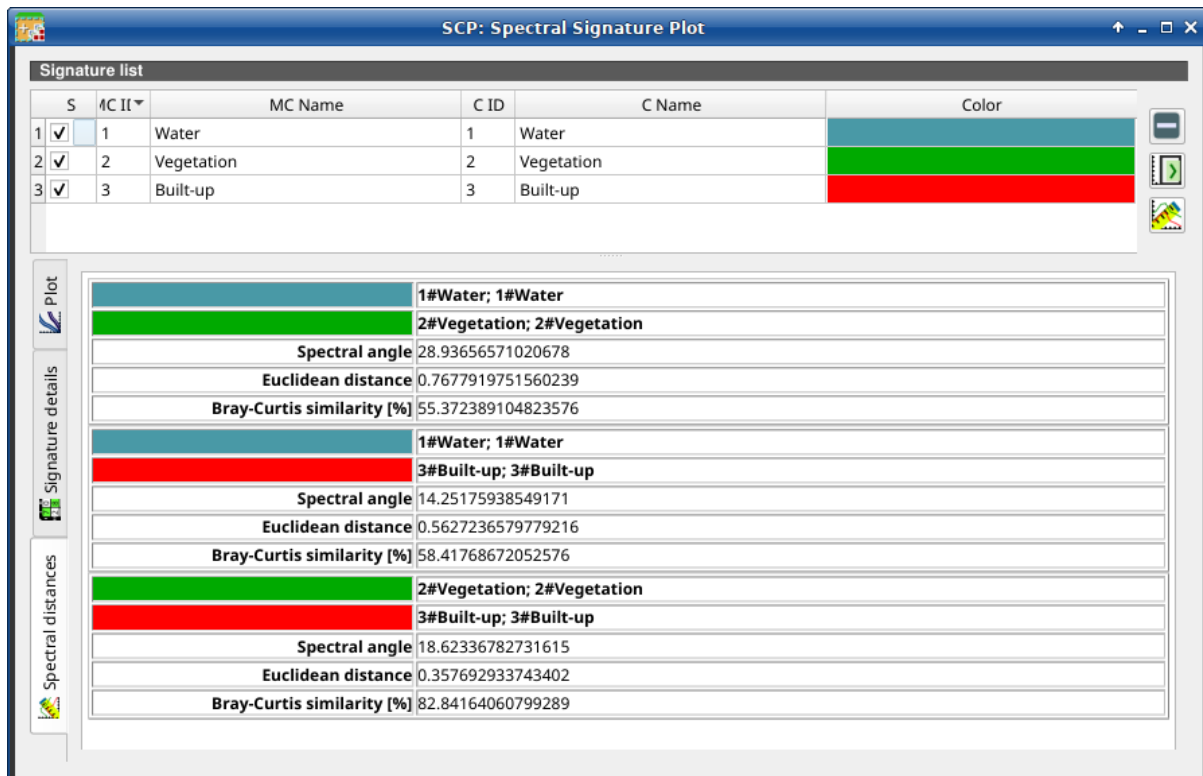


Fig. 53: Spectral Signature: Example of spectral distances

3.6 Scatter Plot

The window *Scatter plot* displays pixel values for two raster bands as points in the 2D space. Scatter plots are useful for assessing ROI separability between two bands.

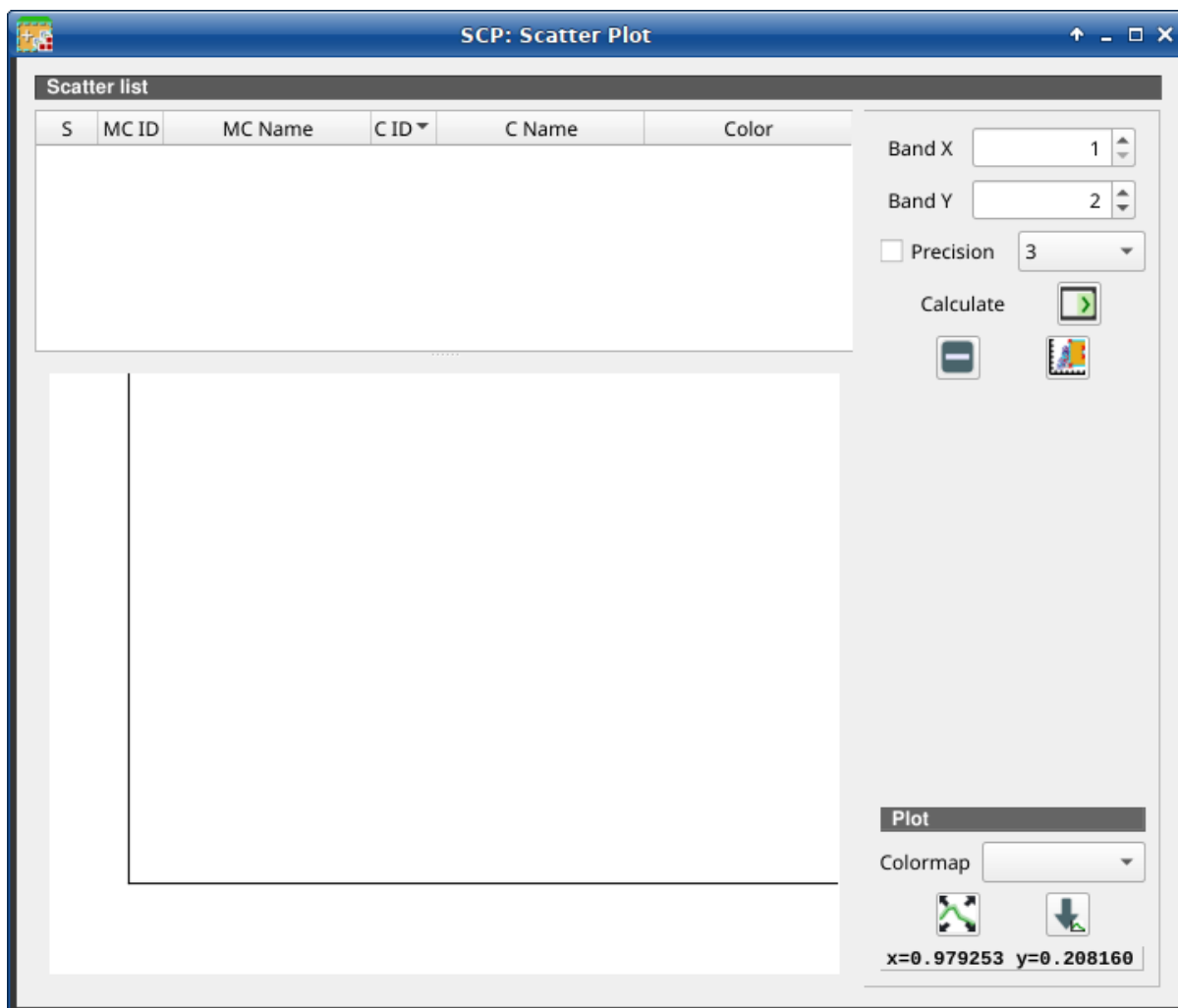


Fig. 54: *Scatter Plot*










The functions are described in detail in the following paragraphs.

3.6.1 Scatter list

The *Scatter list* is a table that includes the spectral signatures added from the [SCP dock](#) (page 31).

S	MC ID	MC Name	C ID	C Name	Color
checkbox	signature	signature	si-	signature	si-
field; if checked, the spectral signature is displayed in the plot	Macroclass ID	Macroclass Name	gnature Class ID	Class Name	gnature color

The following tools are available.

Tool symbol and name	Description
<i>Band</i> 	X X band of the plot
<i>Band</i> 	Y Y band of the plot
	remove highlighted signatures from this list
	add highlighted spectral signatures to <i>ROI & Signature list</i> (page 36)
 <i>Precision</i> 	use custom precision for calculation (precision should be selected according significant digits): * 4 = 10^{-4} * 3 = 10^{-3} * 2 = 10^{-2} * 1 = 10^{-1} * 0 = 1 * -1 = 10^{-2} * -3 = 10^3
<i>Calculate</i> 	calculate the scatter plot for the ROIs checked in the list
	remove highlighted signatures from this list
	add a temporary scatter plot to the list (as MC Name = tempScatter) and start the plot calculation of the last temporary ROI (see <i>Working toolbar</i> (page 41))

Попередження: Using a precision value that is too high can result in slow calculation or failure.

Plot

Left click and hold inside the plot to **move** the view of the plot. Use the **mouse wheel** to **zoom in and out** the view of the plot. **Right click** and hold inside the plot to **zoom in a specific area** of the plot.






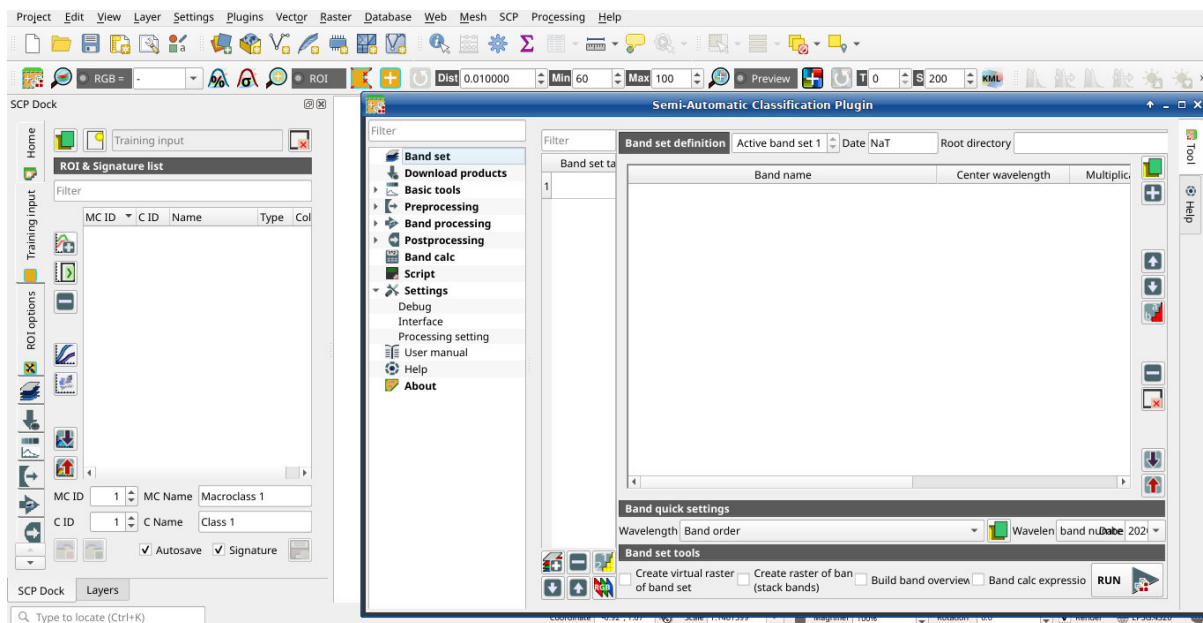
Tool symbol and name	Description
<i>Colormap</i>  	select a colormap that is applied to highlighted scatter plots in the list when  is clicked; if no scatter plot is highlighted then the colormap is applied to all the scatter plots
	automatically fit the plot to data
	save the plot image to file (available formats are .jpg, .png, and .pdf)
<i>x y</i>	display x y coordinates of mouse cursor inside the plot



Fig. 55: Example Scatter Plot

3.7 Integration in QGIS Processing

Several *SCP* tools can be accessed from the QGIS Processing Toolbox, and can be used to create models. The tools are available in the menu *Semi-Automatic Classification Plugin*.



The functions described in the following paragraphs use these conventions:

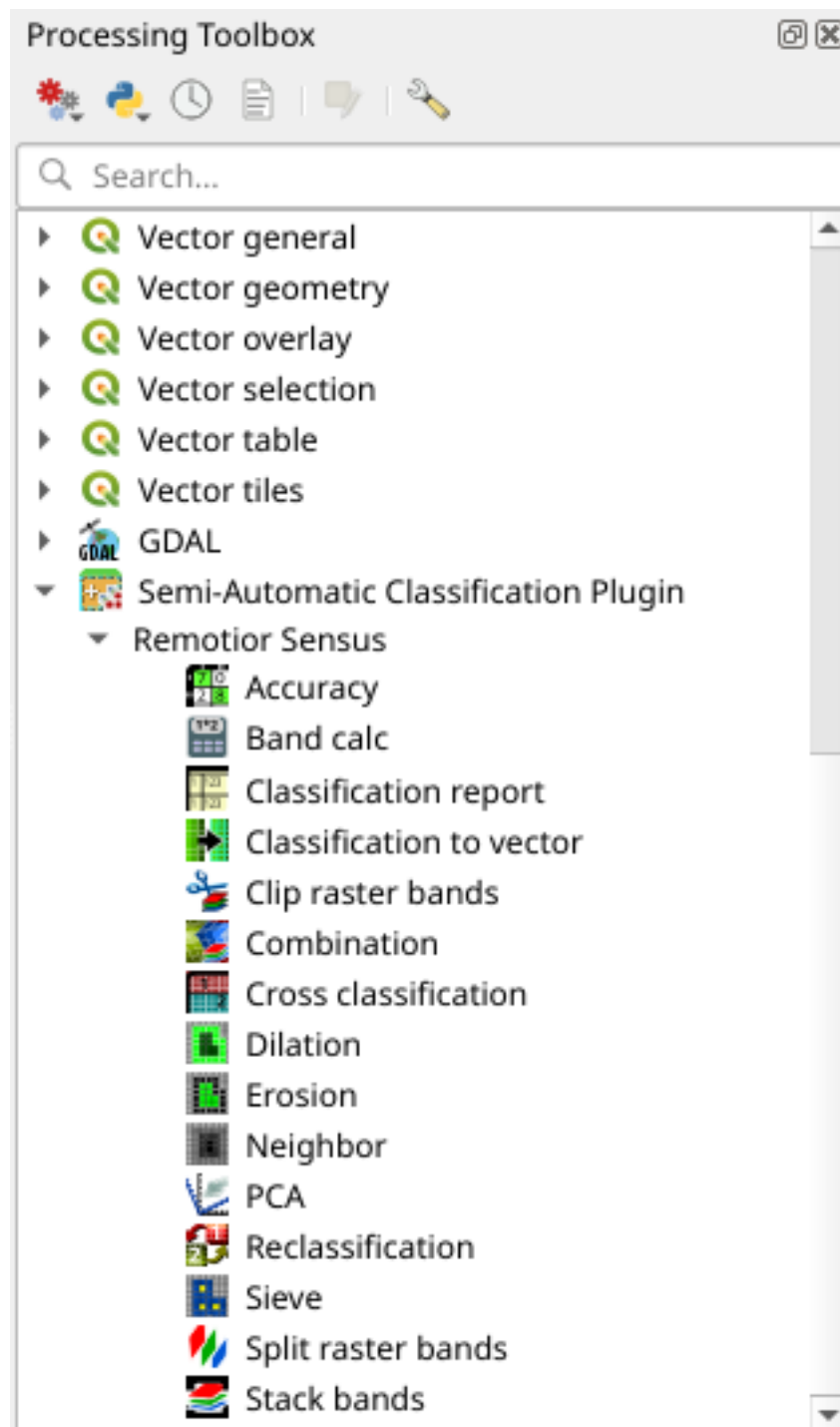











Fig. 56: *Integration in QGIS Processing Toolbox*

	Input date
	Input text
	List
	Input number
	Optional
	Configuration stored in the active project of QGIS
	Configuration stored in QGIS registry
	Slider
	Table

Короткий вступ до дистанційного зондування

- *Основні поняття* (page 124)
 - *Поняття ГИС* (page 124)
 - *Поняття дистанційного зондування* (page 124)
 - *Сенсори* (page 125)
 - *Енергетична світність та відбивальна здатність* (page 125)
 - *Спектральна сигнатура* (page 127)
 - *Земельний покрив* (page 127)
- *Multispectral satellites* (page 127)
 - *Landsat Satellites* (page 127)
 - *Супутник Sentinel-2* (page 129)
 - *Sentinel-3 Satellite* (page 129)
 - *Супутник ASTER* (page 130)
 - *Продукти MODIS* (page 131)
 - *GOES Products* (page 132)
- *SAR satellites* (page 132)
 - *Sentinel-1 Satellites* (page 133)
- *Класифікація земельного покриву* (page 133)
 - *Контрольована класифікація* (page 134)
 - *Кольоровий композит* (page 134)
 - *Навчальні області* (page 135)
 - *Класи та макрокласи* (page 136)
 - *Алгоритми класифікації* (page 137)
 - *Machine Learning* (page 143)

- *Спектральна відстань* (page 144)
- *Результат класифікації* (page 145)
- *Оцінка точності* (page 146)
- *Image processing* (page 147)
 - *Аналіз головних компонент* (page 147)
 - *Панхроматичне об'єднання* (page 147)
 - *Спектральні індекси* (page 148)
 - *Clustering* (page 149)
- *Перерахунок знімка у значення відбивальності* (page 151)
 - *Енергетична світність на апертурі сенсора* (page 151)
 - *Відбивальність на поверхні атмосфери (TOA)* (page 151)
 - *Відбивальність поверхні* (page 152)
 - *Корекція DOS1* (page 152)
- *Перерахунок у температуру* (page 155)
 - *Перерахунок у яскравісну температуру на супутнику* (page 155)
 - *Оцінювання температури земної поверхні* (page 156)
- *Перелік посилань* (page 156)

4.1 Основні поняття

This chapter provides basic definitions about GIS and remote sensing.

4.1.1 Поняття ГІС

There are several definitions of **GIS** (Geographic Information Systems), which is not simply a program. In general, GIS are systems that allow for the use of geographic information (data have spatial coordinates). In particular, GIS allow for the view, query, calculation and analysis of spatial data, which are mainly distinguished in raster or vector data structures. Vector is made of objects that can be points, lines or polygons, and each object can have one or more attribute values; a raster is a grid (or image) where each cell has an attribute value (Fisher and Unwin, 2005). Several GIS applications use raster images that are derived from remote sensing.

4.1.2 Поняття дистанційного зондування

В загальному розумінні **дистанційне зондування** це «наука та технологія за допомогою яких характеристики об'єктів інтересу можуть ідентифікуватись, вимірюватись та аналізуватись за відсутності безпосереднього контакту» (JARS, 1993).

У вузькому розумінні дистанційне зондування це вимірювання енергії, що випромінюється від земної поверхні. Якщо джерелом енергії, що вимірюється, є Сонце, то це **пасивне дистанційне зондування** і результатом такого вимірювання може бути цифровий знімок (Richards and Jia, 2006). Якщо енергія, що вимірюється, випромінюється не Сонцем, а платформою сенсора, такою як радарні сенсори, що працюють у мікрохвильовому діапазоні, то це **активне дистанційне зондування** (Richards and Jia, 2006).

Електромагнітний спектр це «система, що класифікує за довжиною хвилі всю енергію (від короткохвильової космічної до довгохвильової радіо), що гармонічно рухається з постійною швидкістю

світла» (NASA, 2013). Пасивні сенсори вимірюють енергію з оптичних областей електромагнітного спектра: видимої, ближньої інфрачервоної (ІЧ), короткохвильової ІЧ та теплової ІЧ (див. Рисунок *Електромагнітний спектр* (page 126)).

Взаємодія між сонячною енергією та матеріалами залежить від довжини хвилі; сонячна енергія проходить від Сонця до Землі, а потім до сенсора. Вздовж цього шляха **сонячна енергія** (NASA, 2013):

- **Проникла** - енергія проходить через з зміною у швидкості відповідно до індексу заломлювання для двох середовищ, про які йде мова.
- **Поглинена** - енергія передається об'єкту через електронні або молекулярні реакції.
- **Відбита** - енергія повертається незміненою з кутом відбивання, що дорівнює куту надходження. Відбивальна здатність це відношення відбитої енергії до тієї, що надійшла до тіла. Довжина хвилі відбитої (а не поглиненої) енергії визначає колір об'єкта.
- **Розсіяна** - напрямок поширювання енергії змінюється випадково. Розсіювання Рейлі та Мі - два найбільш важливі типи розсіювання в атмосфері.
- **Випромінена** - в дійсності, енергія спочатку поглинається, а потім випромінюється знову, зазвичай на довших довжинах хвиль. Об'єкт розігрівається.

4.1.3 Сенсори

Сенсори можуть знаходитись на борті літака або супутника, вимірюючи електромагнітну радіацію у деяких визначених діапазонах (які зазвичай називаються каналами). В результаті, вимірювання квантуються та перетворюються на цифрове зображення, кожен елемент якого (тобто піксель) має дискретне значення в одиницях цифрових чисел (Digital Number - DN) (NASA, 2013). Результуючі зображення мають різні характеристики (вирізняльні здатності) залежно від сенсора. Виділяють декілька типів **вирізняльної здатності**:

- **Просторова вирізняльна здатність**, зазвичай відповідає розміру пікселя, «це вирізняльна здатність інструмента, необхідна для виокремлення об'єктів, що залежить від розміру детектора, фокусної відстані та висоти сенсора» (NASA, 2013); просторову родільну здатність також називають геометричною роздільною здатністю або IFOV;
- **Спектральна вирізняльна здатність** це кількість та положення електромагнітних спектрів (що визначаються двома довжинами хвиль) спектральних каналів (NASA, 2013) багатоспектральних сенсорів, кожному каналу відповідає зображення;
- **Радіометрична вирізняльна здатність**, зазвичай вимірюється у бітах (двійкових цифрах), це діапазон можливих значень яскравості, який для знімка відповідає максимальному діапазону DN; наприклад, знімок з вирізняльною здатністю 8 біт має 256 рівнів яскравості (Richards and Jia, 2006);
- Для супутникових сенсорів, є також **часова вирізняльна здатність**, яка відповідає часу, необхідному для повторного перегляду тієї самої ділянки Землі (NASA, 2013).

4.1.4 Енергетична світність та відбивальна здатність

Сенсори вимірюють **енергетичну світність**, яка відповідає яскравості у заданому напрямку до сенсора; також доцільно вирізняти **відбивальну здатність** як відношення відбитої до загальної енергії.

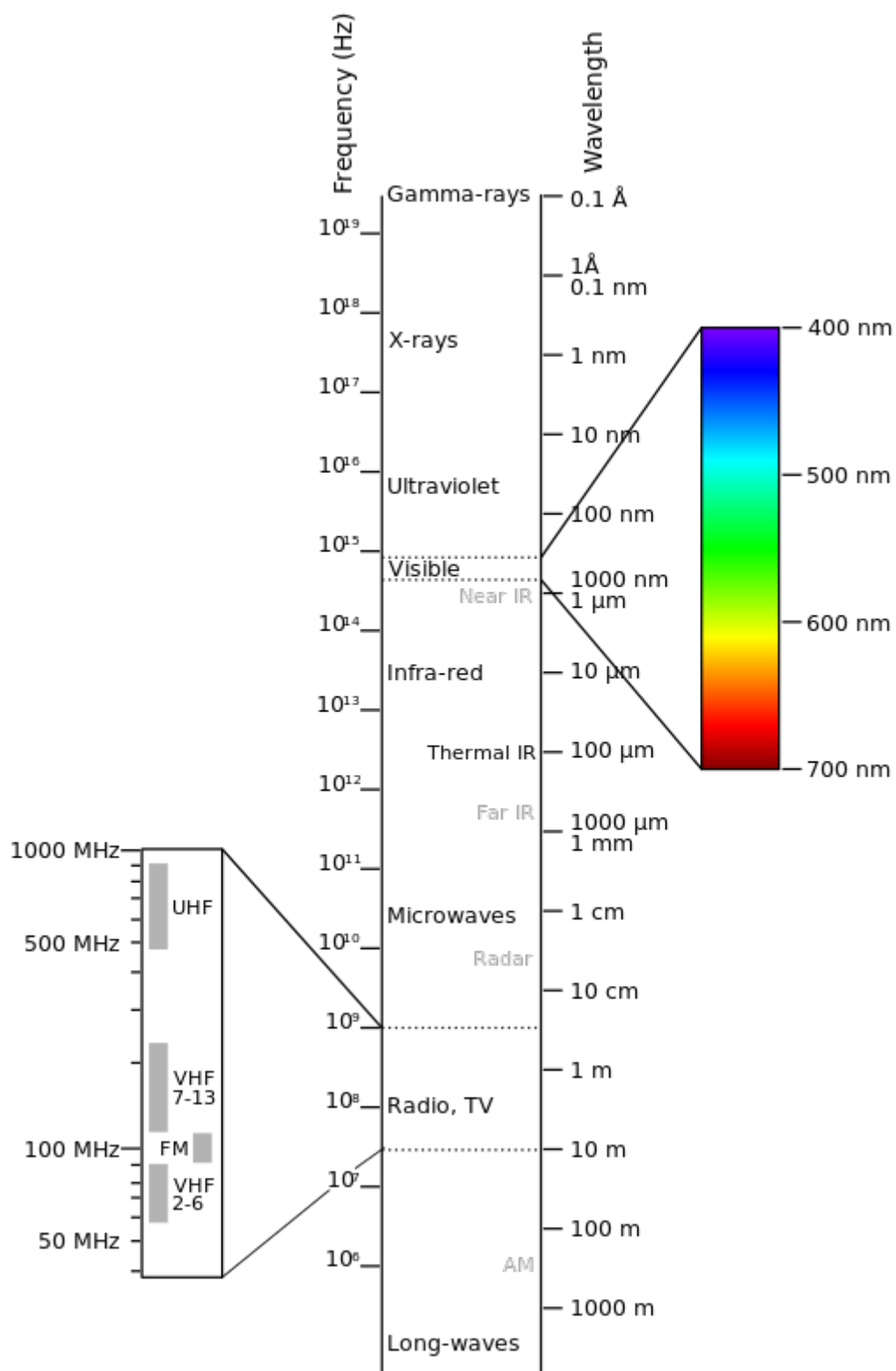


Fig. 1: Електромагнітний спектр
 за Victor Blacus (SVG версія File:Electromagnetic-Spectrum.png)
 [CC-BY-SA-3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)]
 за посередництвом Wikimedia Commons
<http://commons.wikimedia.org/wiki/File%3AElectromagnetic-Spectrum.svg>

4.1.5 Спектральна сигнатура

The **spectral signature** is the reflectance as a function of wavelength (see Figure *Криві спектральної відбивальної здатності для чотирьох різних цілей* (page 127)); each material has a unique signature, therefore it can be used for material classification (NASA, 2013).

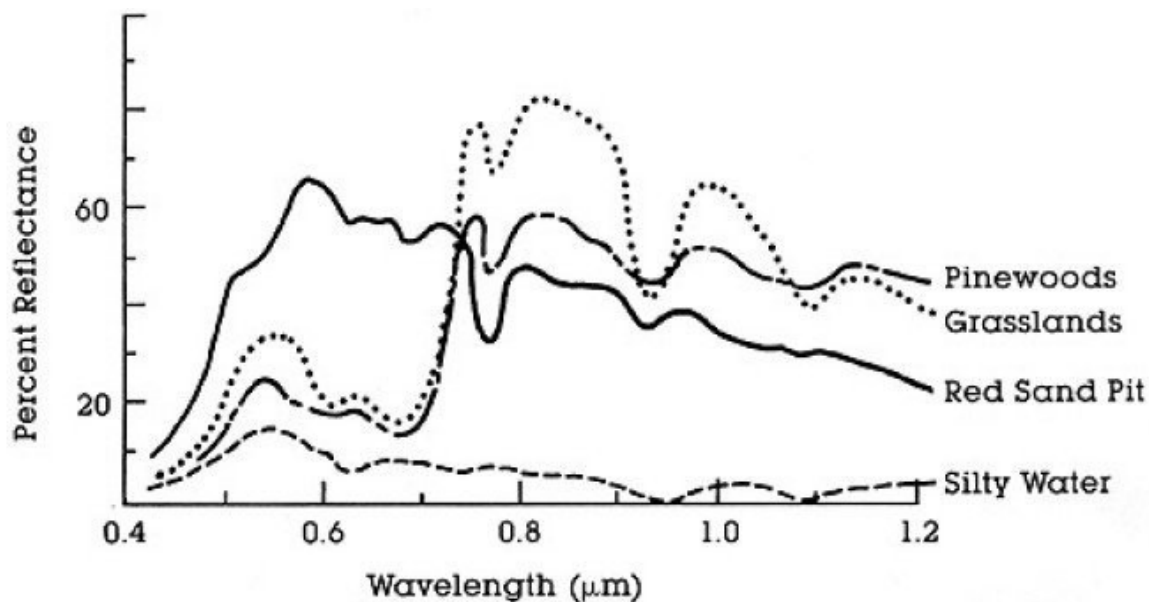


Fig. 2: Криві спектральної відбивальної здатності для чотирьох різних цілей
(за NASA, 2013)

4.1.6 Земельний покрив

Земельний покрив це матеріал на земній поверхні такий як ґрунт, рослинність, вода, асфальт тощо (Fisher and Unwin, 2005). Кількість та вид класів земельного покриття, що можуть бути ідентифіковані на знімку, можуть істотно різнитися залежно від вирізняльної здатності сенсора, .

4.2 Multispectral satellites

There are several satellites with different characteristics that acquire multispectral images of earth surface. The following satellites are particularly useful for land cover monitoring because images are provided for free and can be downloaded directly from *SCP*; data have been acquired for the past few decades and the archive is continuously growing with recent images.

4.2.1 Landsat Satellites

Landsat це серія багатоспектральних супутників, розроблених NASA (Національним управлінням з аеронавтики і дослідження космічного простору США), з початку 1970-х.

Знімки Landsat широко вживані у дослідженнях довкілля. Вирізняльні здатності сенсорів Landsat 4 та Landsat 5 наведені в таблиці нижче (за http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php); часова вирізняльна здатність Landsat становить 16 днів (NASA, 2013).

Канали Landsat 4 та Landsat 5

Канали Landsat 4, Landsat 5	Довжина хвилі [мікрометри]	Вирізняльна здатність [метри]
Канал 1 - Синій	0.45 - 0.52	30
Канал 2 - Зелений	0.52 - 0.60	30
Канал 3 - Червоний	0.63 - 0.69	30
Канал 4 - Близький інфрачервоний (NIR)	0.76 - 0.90	30
Канал 5 - SWIR	1.55 - 1.75	30
Канал 6 - Тепловий інфрачервоний	10.40 - 12.50	120 (передискретизована до 30)
Канал 7 - SWIR	2.08 - 2.35	30

Вирізняльні здатності сенсора Landsat 7 наведено в таблиці нижче (за http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php); часова вирізняльна здатність Landsat становить 16 днів (NASA, 2013).

Канали Landsat 7

Landsat 7 Bands	Довжина хвилі [мікрометри]	Вирізняльна здатність [метри]
Канал 1 - Синій	0.45 - 0.52	30
Канал 2 - Зелений	0.52 - 0.60	30
Канал 3 - Червоний	0.63 - 0.69	30
Канал 4 - Близький інфрачервоний (NIR)	0.77 - 0.90	30
Канал 5 - SWIR	1.57 - 1.75	30
Канал 6 - Тепловий інфрачервоний	10.40 - 12.50	60 (передискретизована до 30)
Канал 7 - SWIR	2.09 - 2.35	30
Канал 8 - Панхроматичний	0.52 - 0.90	15

Вирізняльні здатності сенсора Landsat 8 наведено в таблиці нижче (за http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php); часова вирізняльна здатність Landsat становить 16 днів (NASA, 2013).

Канали Landsat 8

Landsat 8 Bands	Довжина хвилі [мікрометри]	Вирізняльна здатність [метри]
Канал 1 - Узбережний аерозоль	0.43 - 0.45	30
Канал 2 - Синій	0.45 - 0.51	30
Канал 3 - Зелений	0.53 - 0.59	30
Канал 4 - Червоний	0.64 - 0.67	30
Канал 5 - Близький інфрачервоний (NIR)	0.85 - 0.88	30
Канал 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
Канал 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
Канал 8 - Панхроматичний	0.50 - 0.68	15
Канал 9 - Пір'їсті хмари	1.36 - 1.38	30
Канал 10 - Тепловий інфрачервоний (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100 (передискретизована до 30)
Канал 11 - Тепловий інфрачервоний (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100 (передискретизована до 30)

Великий архів знімків безкоштовно доступний від [Геологічної служби США](#). Для більш докладної

інформації щодо безкоштовного завантаження знімків Landsat [читайте](#) .

Знімки ідентифікуються траєкторіями та рядками WRS (Глобальна система місцезнаходження для Landsat [Worldwide Reference System for Landsat](#)).

4.2.2 Супутник Sentinel-2

Sentinel-2 це багатоспектральний супутник, розроблений Європейським космічним агентством (European Space Agency - ESA) в рамках програми моніторингу земель [Copernicus](#) . Sentinel-2 має 13 спектральних каналів з просторовою вирізняльною здатністю 10 м, 20 м та 60 м залежно від каналу, як наведено у таблиці нижче (ESA, 2015).

Канали Sentinel-2

Канали Sentinel-2	Центральна довжина хвилі [мікрометри]	Вирізняльна здатність [метри]
Канал 1 - Узбережний аерозоль	0.443	60
Канал 2 - Синій	0.490	10
Канал 3 - Зелений	0.560	10
Канал 4 - Червоний	0.665	10
Канал 5 - Червоний край рослинності	0.705	20
Канал 6 - Червоний край рослинності	0.740	20
Канал 7 - Червоний край рослинності	0.783	20
Канал 8 - NIR	0.842	10
Канал 8А - Червоний край рослинності	0.865	20
Канал 9 - Водяна пара	0.945	60
Канал 10 - SWIR - Пір'їсті хмари	1.375	60
Канал 11 - SWIR	1.610	20
Канал 12 - SWIR	2.190	20

Sentinel-2 images are freely available from the ESA website <https://scihub.copernicus.eu>.

4.2.3 Sentinel-3 Satellite

Sentinel-3 is a satellite developed by the European Space Agency (ESA) in the frame of [Copernicus](#) land monitoring services. It carries several instruments, in particular the Ocean and Land Colour Instrument (OLCI) is a push-broom imaging spectrometer acquiring 21 bands in the range 0.4-1.02 m with a swath width of 1,270km and 300m spatial resolution (ESA, 2013). The revisit time is about 2 days.

Sentinel-3 Bands

Sentinel-3 Bands	Центральна довжина хвилі [мікрометри]
Oa1	0.400
Oa2	0.4125
Oa3	0.4425
Oa4	0.490
Oa5	0.510
Oa6	0.560
Oa7	0.620
Oa8	0.665
Oa9	0.67375
Oa10	0.68125
Oa11	0.70875
Oa12	0.75375
Oa13	0.76125
Oa14	0.764375
Oa15	0.7675
Oa16	0.77875
Oa17	0.865
Oa18	0.885
Oa19	0.900
Oa20	0.940
Oa21	1.020

4.2.4 Супутник ASTER

Супутник **ASTER** (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Покращений космічний радіометр теплового випромінювання та відбивання) був запущений у 1999 за співробітництва між Міністерством міжнародної торгівлі та індустрії Японії (Japanese Ministry of International Trade and Industry - MITI) та NASA. ASTER має 14 каналів вирізняльна здатність яких змінюється відповідно до довжини хвилі: 15 м у видимому та ближньому інфрачервоному, 30 м у короткохвиловому інфрачервоному та 90 м у тепловому інфрачервоному (USGS, 2015). Канали ASTER охарактеризовано в таблиці нижче (через вихід з ладу сенсора дані **SWIR**, отримані після 1 квітня 2008 недоступні). Додатковий канал 3В (ближній інфрачервоний оберненого назад огляду) забезпечує стерео покриття.

Канали ASTER

Канали ASTER	Довжина хвилі [мікрометри]	Вирізняльна здатність [метри]
Канал 1 - Зелений	0.52 - 0.60	15
Канал 2 - Червоний	0.63 - 0.69	15
Канал 3N - Ближній інфрачервоний (NIR)	0.78 - 0.86	15
Канал 4 - SWIR 1	1.60 - 1.70	30
Канал 5 - SWIR 2	2.145 - 2.185	30
Канал 6 - SWIR 3	2.185 - 2.225	30
Канал 7 - SWIR 4	2.235 - 2.285	30
Канал 8 - SWIR 5	2.295 - 2.365	30
Канал 9 - SWIR 6	2.360 - 2.430	30
Канал 10 - TIR 1	8.125 - 8.475	90
Канал 11 - TIR 2	8.475 - 8.825	90
Канал 12 - TIR 3	8.925 - 9.275	90
Канал 13 - TIR 4	10.25 - 10.95	90
Канал 14 - TIR 5	10.95 - 11.65	90

4.2.5 Продукти MODIS

The **MODIS** (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) is an instrument operating on the Terra and Aqua satellites launched by NASA in 1999 and 2002 respectively. Its temporal resolutions allows for viewing the entire Earth surface every one to two days, with a swath width of 2,330km. Its sensors measure 36 spectral bands at three spatial resolutions: 250m, 500m, and 1,000m (see https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis).

Доступні декілька продуктів, таких як відбивальність поверхні та вегетаційні індекси. В цьому посібнику ми розглядаємо канали відбивальності поверхні доступні з просторовою вирізняльною здатністю 250 м та 500 м (Vermote, Roger, & Ray, 2015).

Канали MODIS

Канали MODIS	Довжина хвилі [мікрометри]	Вирізняльна здатність [метри]
Канал 1 - Червоний	0.62 - 0.67	250 - 500
Канал 2 - Близький інфрачервоний (NIR)	0.841 - 0.876	250 - 500
Канал 3 - Синій	0.459 - 0.479	500
Канал 4 - Зелений	0.545 - 0.565	500
Канал 5 - SWIR 1	1.230 - 1.250	500
Канал 6 - SWIR 2	1.628 - 1.652	500
Канал 7 - SWIR 3	2.105 - 2.155	500

Наступні продукти (Версія 6, див. https://lpdaac.usgs.gov/dataset_discovery/modis/modis_products_table) доступні для завантаження (Vermote, Roger, & Ray, 2015):

- MOD09GQ: щоденна відбивальність з просторовою вирізняльною здатністю 250 м за Terra MODIS;
- MYD09GQ: щоденна відбивальність з просторовою вирізняльною здатністю 250 м за Aqua MODIS;
- MOD09GA: щоденна відбивальність з просторовою вирізняльною здатністю 500 м за Terra MODIS;
- MYD09GA: щоденна відбивальність з просторовою вирізняльною здатністю 500 м за Aqua MODIS;
- MOD09Q1: відбивальність з просторовою вирізняльною здатністю 250 м, як композит MOD09GQ (кожний піксель містить найкраще можливе спостереження за 8-денний період);
- MYD09Q1: відбивальність з просторовою вирізняльною здатністю 250 м, як композит MYD09GQ (кожний піксель містить найкраще можливе спостереження за 8-денний період);
- MOD09A1: відбивальність з просторовою вирізняльною здатністю 250 м, як композит MOD09GA (кожний піксель містить найкраще можливе спостереження за 8-денний період);
- MYD09A1: відбивальність з просторовою вирізняльною здатністю 250 м, як композит MYD09GA (кожний піксель містить найкраще можливе спостереження за 8-денний період);

4.2.6 GOES Products

The **Geostationary Operational Environmental Satellite-R Series (GOES-R)** are geostationary satellites developed for weather monitoring by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and the NASA (NOAA, 2020).

GOES constellation is composed of **GOES-R** satellite (also known as GOES-16 that replaced GOES-13 on December 2017), and **GOES-S** satellite (also known as GOES-17, operational since February 2019). Other satellites (GOES-T and GOES-U) are planned to be launched in the future. For more information please visit <https://www.goes-r.gov/mission/mission.html>.

GOES geostationary satellites monitor continuously the same area, a very large portion of Earth surface with three geographic coverage regions: Full Disk, Continental United States (CONUS), and Mesoscale. In particular, Full Disk products have hemispheric coverage of 83° local zenith angle, and images are acquired every 5-15 minutes. GOES-16 monitors from 75.2 degrees west longitude, including America, the Atlantic Ocean, and the west coast of Africa. GOES-17 monitors from 137.2 degrees west longitude, including the Pacific Ocean.

GOES sensors include several spectral bands.

GOES Bands

GOES Bands	Центральна довжина хвилі [мікрометри]	Вирізняльна здатність [метри]
Канал 1 - Синій	0.47	1000
Канал 2 - Червоний	0.64	500
Band 3 - Near Infrared (NIR)	0.87	1000
Band 4 - SWIR - Cirrus	1.38	2000
Канал 5 - SWIR	1.61	1000
Band 6 - SWIR	2.25	2000

4.3 SAR satellites

Synthetic Aperture Radar (SAR) is a technique of active remote sensing that is the sensor platform emits microwaves in order to acquire images of the ground (Richards and Jia, 2006). In fact, the sensor platform emits the radiation (at a specific wavelength) and measures the magnitude and the phase of radiation that bounces back from the ground to the sensor.

Unlike passive sensors, SAR systems can work day and night and can penetrate clouds allowing for the monitoring of surface also with adverse meteorological conditions; depending on the microwave wavelength, the radiation can penetrate different types of materials allowing for different applications (NASA, 2020).

The main SAR systems can be divided according to the wavelength as illustrated in the following table (NASA, 2020):

Main SAR Bands

Ка- нал	Wavelength [centi- meters]	Application
X	3.8 – 2.4	High Resolution SAR, urban monitoring, ice and snow, little penetration into vegetation cover
C	7.5 – 3.8	global mapping, change detection, ice, low penetration into vegetation cover
S	15 – 7.5	global mapping, agriculture monitoring, medium penetration into vegetation cover
L	30 – 15	Medium resolution SAR, biomass and vegetation mapping, high penetration into vegetation cover

Usually, SAR sensors can emit and measure different polarizations (i.e. orientation of the microwaves of the electric field), for instance vertical (i.e. polarization oriented in the vertical direction in antenna coordinates) and horizontal (i.e. polarization oriented in the horizontal direction in antenna coordinates) (ESA, 2020).

SAR systems can acquire in both ascending and descending orbits, however the acquired images are affected by the different acquisition geometries, which should be considered when mixing ascending and descending images.

Acquisitions are called **swaths** and usually they are composed of sub-swaths. With particular acquisition modes, the resolution of pixels along track (the side parallel to the flight direction) can be different than slant-range (the side perpendicular to the flight direction).

SAR phase information is used to perform interferometry (also InSAR) to measure the distance from the sensor to the target (NASA, 2020).

For more information, please read the [ESA introduction to SAR](#) and the [NASA definition of SAR](#).

4.3.1 Sentinel-1 Satellites

Sentinel-1 is a [Copernicus mission](#) of satellites that operate at C-band to provide SAR imagery at medium resolution (about 10m).

The Sentinel-1 constellation provides high revisit time (about 5 days), a wide swath (250 km), and acquires images in different operational modes. The primary operation mode on land is the Interferometric Wide swath (IW), which is data is acquired in three swaths using the Terrain Observation with Progressive Scanning SAR (TOPSAR) imaging technique (ESA, 2020b).

The Level-1 products systematically delivered by Copernicus are Single Look Complex (SLC, data comprising complex imagery with amplitude and phase) and **Ground Range Detected** (GRD, Level-1 data with multi-looked intensity only).

Sentinel-1 supports dual polarization, which are horizontal (H) or vertical (V); VV and VH polarimetric channels are available to classify and analyze land cover such as built-up areas or vegetation.

4.4 Класифікація земельного покриття

This chapter provides basic definitions about land cover classifications.

4.4.1 Контрольована класифікація

Напівавтоматична класифікація (також контрольована класифікація) це техніка обробки зображень, яка дозволяє визначити матеріали на знімку відповідно до їх спектральних сигнатур. Існує декілька видів алгоритмів класифікації, але головна мета це створення тематичної карти земельного покриття.

Обробка зображень та просторовий ГІС-аналіз потребують спеціалізованого програмного забезпечення такого як Semi-Automatic Classification Plugin для QGIS.

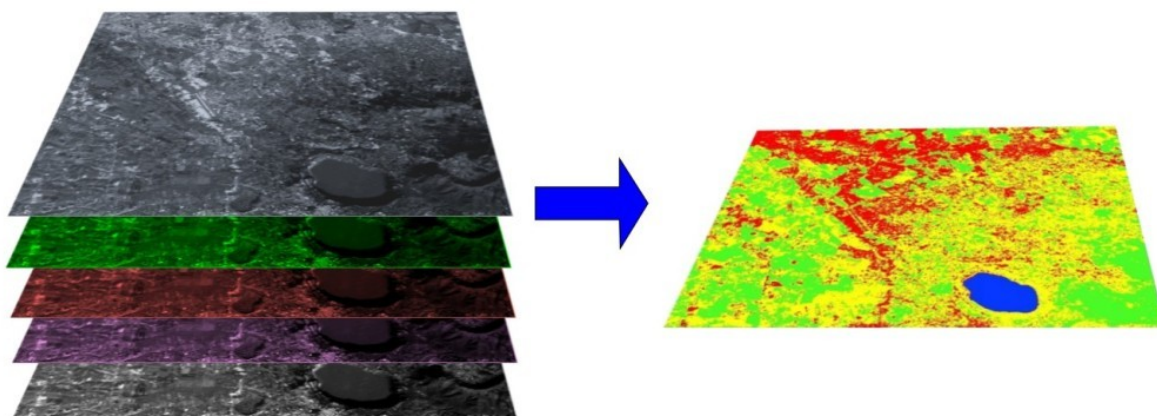


Fig. 3: Багатоспектральне зображення оброблене для створення класифікації земельного покриття (Знімок Landsat надано USGS)

4.4.2 Кольоровий композит

Зазвичай створюється комбінація трьох індивідуальних монохромних зображень, в якій кожному призначається певний колір; така комбінація називається **кольоровий композит** та корисна для візуальної інтерпретації (NASA, 2013). Кольорові композити можуть бути описані наступним виразом:

$$\langle R \ G \ B = Br \ Bg \ Bb \rangle$$

де:

- R відповідає Червоному;
- G відповідає Зеленому;
- B відповідає Синьому;
- Br це номер каналу, що асоціюється з червоним кольором;
- Bg це номер каналу, що асоціюється з зеленим кольором;
- Bb це номер каналу, що асоціюється з синім кольором.

Наступний рисунок *Кольоровий композит знімка Landsat 8* (page 135) демонструє кольоровий композит «R G B = 4 3 2» знімка Landsat 8 (для Landsat 7 аналогічний кольоровий композит це R G B = 3 2 1; для Sentinel-2 це R G B = 4 3 2) та кольоровий композит «R G B = 5 4 3» (для Landsat 7 аналогічний кольоровий композит це R G B = 4 3 2; для Sentinel-2 це R G B = 8 4 3). Композит «R G B = 5 4 3» корисний для інтерпретації зображень тому що пікселі з рослинністю виглядають червоними (здорова рослинність відбиває значну частину надхідного світла в ближній інфрачервоній зоні, що проявляється у вищих значеннях відбивальності для каналу 5, а відтак і вищих значеннях для пов'язаного червоного кольору).

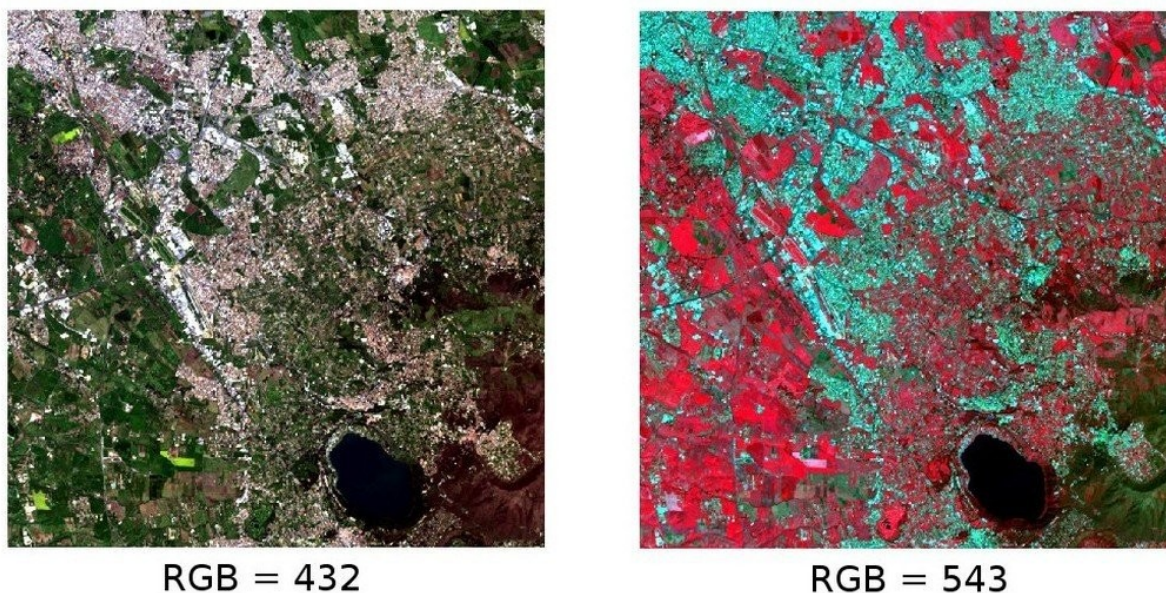


Fig. 4: Кольоровий композит знімка Landsat 8
Дані доступні з Геологічної служби США

4.4.3 Навчальні області

Зазвичай, контрольована класифікація потребує, щоб користувач визначив одну або декілька областей інтересу (Regions of Interest - ROI або навчальних областей) для кожного класу земельного покриття, що визначається на знімку. **ROI** це полігони окреслені навколо однорідних ділянок зображення, що накладаються на пікселі, які належать до одного класу земельного покриття.

Алгоритм нарощування області

Алгоритм нарощування області дозволяє вибрати пікселі подібні до насінини з урахуванням **спектральної подібності** (тобто спектральної відстані) прилеглих пікселів. В *SCP* алгоритм нарощування області доступний для створення навчальних областей. Параметр **відстань** пов'язаний з подібністю значень пікселів (чим нижче значення, тим більш подібні вибрані пікселі) до насінини (вибраної клацанням на пікселі). Додатковий параметр це **максимальна ширина**, яка є довжиною сторони квадрата з центром в пікселі-насінині, до якого вписана навчальна область (якби всі пікселі мали одні і ті самі значення, то навчальна область також була б квадратною). **Мінімальний розмір** використовується в якості обмеження (поокремо для кожного каналу) при виборі пікселів, що є більш подібними до насінини, доки їх кількість не досягне принаймні мінімального розміру.

На рисунку *Приклад нарощування області* (page 136) центральний пісель використовується в якості насінини (а) для нарощування області одного каналу (b) з параметром спектральної відстані = 0.1; подібні пікселі вибираються для створення навчальної області (с та d).

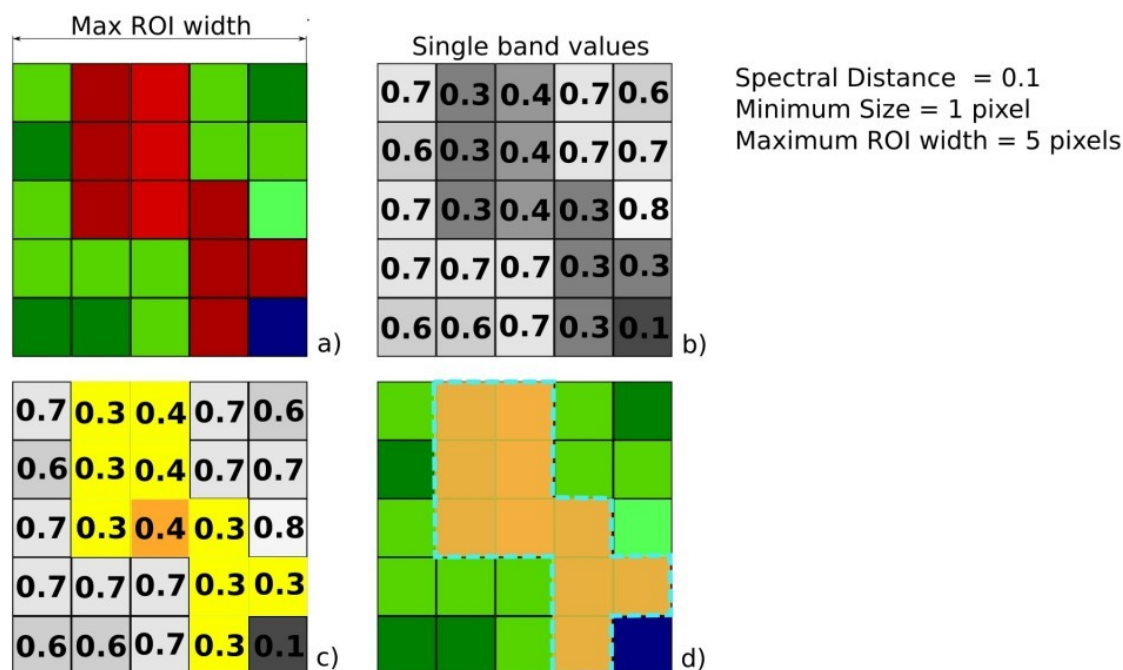


Fig. 5: Приклад нарощування області

4.4.4 Класи та макрокласи

Класи земельного покриття ідентифікуються за довільними кодами ID (тобто унікальними ідентифікаторами). SCP дозволяє призначати **ID макрокласу** (тобто MC ID) та **ID класу** (тобто C ID), які є кодами-ідентифікаторами класів земельного покриття. **Макроклас** це група ROI, що мають різні ID класу, які є зручними за необхідності класифікувати матеріали, що характеризуються різними спектральними сигнатурами, але належать до одного класу земельного покриття. Наприклад, можна відділити траву (ID класу = 1 та ID макрокласу = 1) та дерева (ID класу = 2 та ID макрокласу = 1) як клас рослинності (ID макрокласу = 1). Як показано в таблиці нижче, декілька ID класів можуть бути віднесені до одного і того самого ID макрокласу, але один і той самий ID класу не може бути віднесений до багатьох ID макрокласів.

Приклад макрокласів

Назва макрокласу	ID макрокласу	Назва класу	ID класу
Рослинність	1	Трава	1
Рослинність	1	Дерева	2
Забудова	2	Будівлі	3
Забудова	2	Дороги	4

Відтак, як показано на рис. *Приклад макрокласу* (page 137), класи є підмножинами макрокласу.

Якщо цілі дослідження не вимагають використання макрокласу, тоді один і той самий ID макрокласу може бути призначений всім ROI (наприклад, ID макрокласу = 1) та значення макрокласу не братимуться до уваги в процесі класифікації.

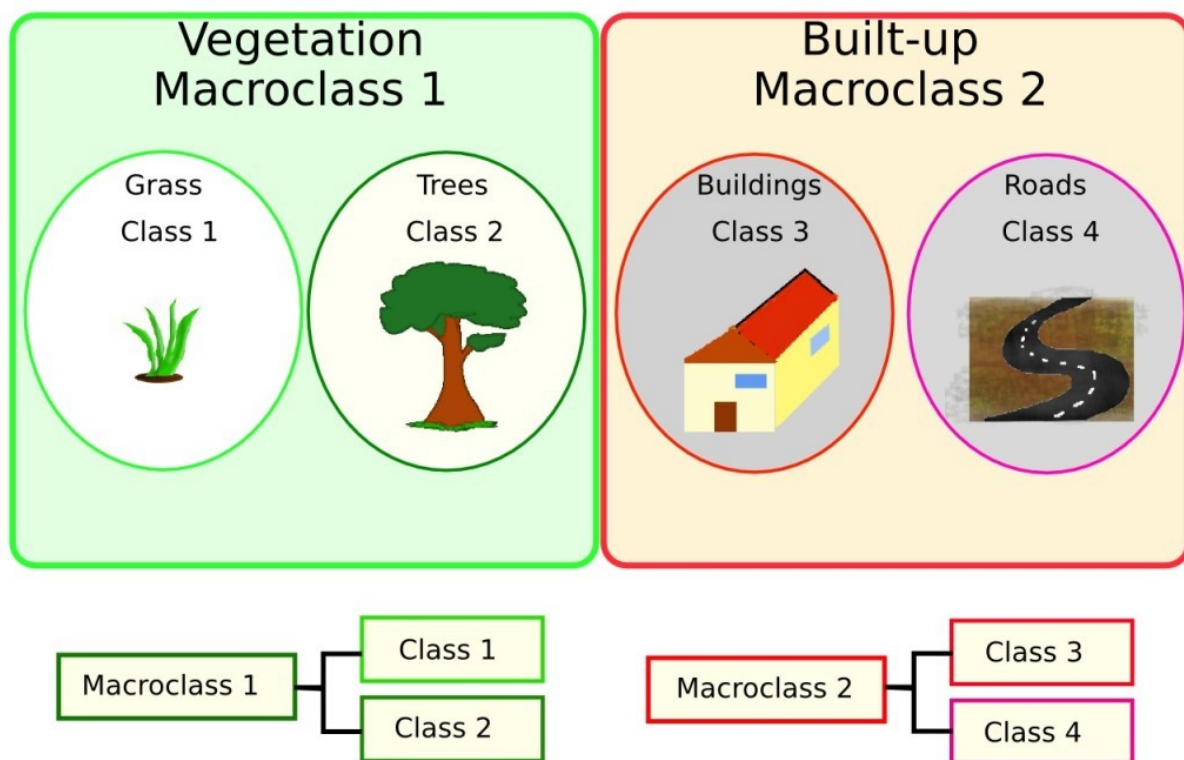


Fig. 6: Приклад макрокласу

4.4.5 Алгоритми класифікації

Спектральні сигнатури (спектральні характеристики) визначених класів земельного покриття розраховуються з урахуванням значень пікселів кожної ROI, що має той самий ID класу (або ID макрокласу). Відтак, алгоритм класифікації класифікує все зображення шляхом співставлення спектральних характеристик кожного пікселя з спектральними характеристиками визначених класів земельного покриття. *SCP* здатний реалізовувати наступні алгоритми класифікації.

Мінімальної відстані

Алгоритм мінімальної відстані розраховує Евклідову відстань $d(x, y)$ між спектральними сигнатурами пікселів зображення та навчальними спектральними сигнатурами за наступною формулою:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

де:

- x = вектор спектральної сигнатури пікселя зображення;
- y = вектор спектральної сигнатури навчальної області;
- n = кількість каналів знімка.

Відтак, відстань розраховується для кожного пікселя на знімку з присвоєнням класу найближчої спектральної сигнатури відповідно до наступної дискримінантної функції (з змінами за Richards and Jia, 2006):

$$x \in C_k \iff d(x, y_k) < d(x, y_j) \forall k \neq j$$

де:

- C_k = клас земельного покриття k ;
- y_k = спектральна сигнатура класу k ;
- y_j = спектральна сигнатура класу j .

Є можливість визначення порогової величини T_i з метою виключення з класифікації пікселів, що знаходяться нижче цього значення:

$$x \in C_k \iff d(x, y_k) < d(x, y_j) \forall k \neq j$$

and

$$d(x, y_k) < T_i$$

Максимальної вірогідності

Maximum Likelihood algorithm calculates the probability distributions for the classes, related to Bayes' theorem, estimating if a pixel belongs to a land cover class. In particular, the probability distributions for the classes are assumed the of form of multivariate normal models (Richards & Jia, 2006). In order to use this algorithm, a sufficient number of pixels is required for each training area allowing for the calculation of the covariance matrix. The discriminant function, described by Richards and Jia (2006), is calculated for every pixel as:

$$g_k(x) = \ln p(C_k) - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_k| - \frac{1}{2} (x - y_k)^t \Sigma_k^{-1} (x - y_k)$$

де:

- C_k = клас земельного покриття k ;
- x = вектор спектральної сигнатури пікселя зображення;
- $p(C_k)$ = імовірність, що вірний клас це C_k ;
- $|\Sigma_k|$ = визначник матриці коваріації даних в класі C_k ;
- Σ_k^{-1} = обернена матриця коваріації;
- y_k = вектор спектральної сигнатури класу k .

Таким чином:

$$x \in C_k \iff g_k(x) > g_j(x) \forall k \neq j$$

Також є можливість визначення порогової величини дискримінантної функції з метою виключення з класифікації пікселів, що знаходяться нижче цього значення. З урахуванням порогової величини T_i умова класифікації набуває вигляду:

$$x \in C_k \iff g_k(x) > g_j(x) \forall k \neq j$$

and

$$g_k(x) > T_i$$

Класифікація за алгоритмом максимальної вірогідності є однією з найбільш поширених контрольованих класифікацій, однак процес класифікації може бути повільнішим порівняно з *Мінімальної відстані* (page 137).

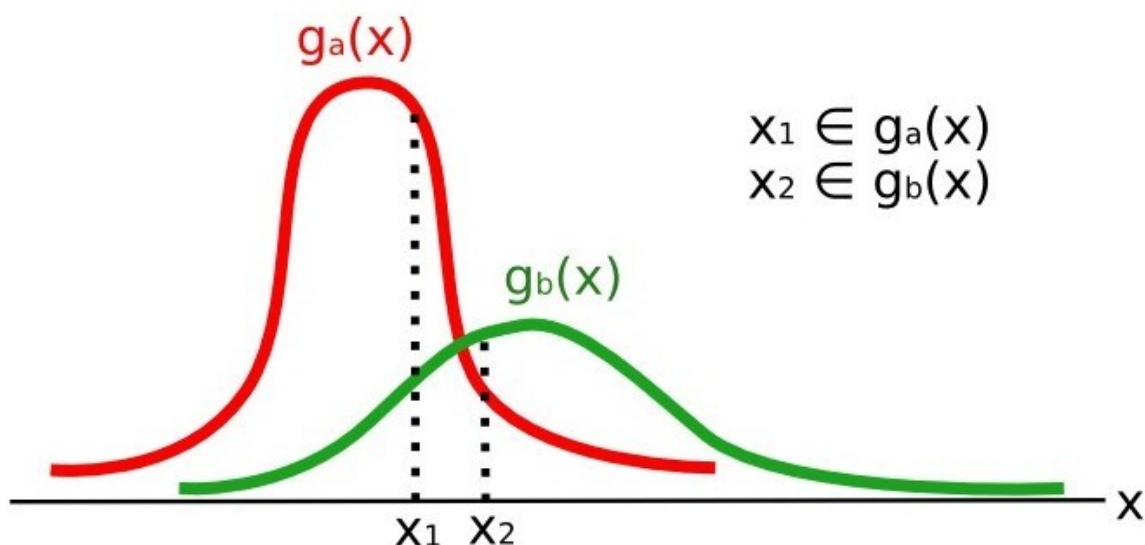


Fig. 7: Приклад максимальної вірогідності

Картографування спектрального кута

Алгоритм картографування спектрального кута розраховує спектральний кут між спектральними сигнатурами пікселів зображення та навчальними спектральними сигнатурами. Спектральний кут θ визначається як (Kruse et al., 1993):

$$\theta(x, y) = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{(\sum_{i=1}^n x_i^2)^{\frac{1}{2}} * (\sum_{i=1}^n y_i^2)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

Де:

- x = вектор спектральної сигнатури пікселя зображення;
- y = вектор спектральної сигнатури навчальної області;
- n = кількість каналів знімка.

Відтак піксель належить до класу, що має найменший кут, тобто:

$$x \in C_k \iff \theta(x, y_k) < \theta(x, y_j) \forall k \neq j$$

де:

- C_k = клас земельного покриття k ;
- y_k = спектральна сигнатура класу k ;
- y_j = спектральна сигнатура класу j .

З метою виключення з класифікації пікселів нижче цього значення можливо призначити порогову величину T_i :

$$x \in C_k \iff \theta(x, y_k) < \theta(x, y_j) \forall k \neq j$$

and

$$\theta(x, y_k) < T_i$$

Алгоритм картографування спектрального кута широко застосовується, особливо з гіперспектральними даними.

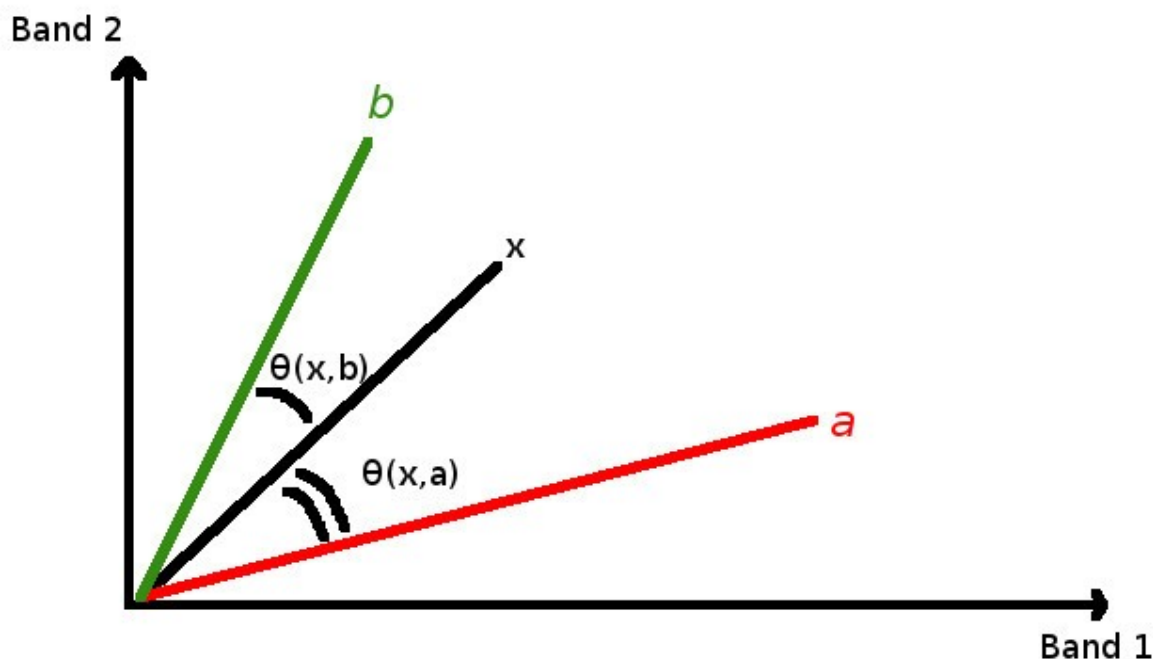


Fig. 8: Приклад картографування спектрального кута

Класифікація паралелепіпеда

Класифікація паралелепіпеда це алгоритм, який враховує діапазон значень для кожного каналу, формуючи багатовимірний паралелепіпед, що визначає клас земельного покриття. Піксель відноситься до класу, якщо його значення знаходяться всередині паралелепіпеда. Одним з основних обмежень є те, що пікселі, сигнатури яких знаходяться в областях перекриття двох або більше паралелепіпедів, не можуть бути класифіковані (Richards and Jia, 2006).

Класифікація сигнатур земельного покриття

This classification allows for the definition of spectral thresholds for each training input signature (a minimum value and a maximum value for each band). The thresholds of each training input signature define a spectral region belonging to a certain land cover class.

Спектральні сигнатури пікселів зображення порівнюються з спектральними навчальними сигнатурами; піксель належить до класу X , якщо його спектральна сигнатура повністю міститься в спектральній області, що визначається класом X . У випадку, якщо пікселі потрапляють до області перекриття або поза межі будь-якої спектральної області, є можливість застосувати додаткові алгоритми класифікації (наприклад, *Мінімальної відстані* (page 137), *Максимальної вірогідності* (page 138), *Картографування спектрального кута* (page 139)) з урахуванням спектральних характеристик первинних входових сигнатур.

Рисунок нижче схематично ілюструє *Класифікація сигнатур земельного покриття* для простого випадку двох спектральних каналів x та y . Визначені користувачем спектральні області означають три класи (g_a , g_b та g_c). Точка p_1 належить до класу g_a , а точка p_2 - до класу g_b . Однак точка p_3 потрапляє всередину спектральних областей обох класів g_b та g_c (області, що перекриваються); в такому випадку точка p_3 залишиться некласифікованою або буде класифікована за додатковим алгоритмом класифікації. Точка p_4 знаходиться поза межами будь-якої спектральної області, тому вона залишиться некласифікованою або буде класифікована за додатковим алгоритмом класифікації. За умови, що точка p_4 належить до класу g_c , спектральна область може бути розширена, щоб включити точку p_4 .

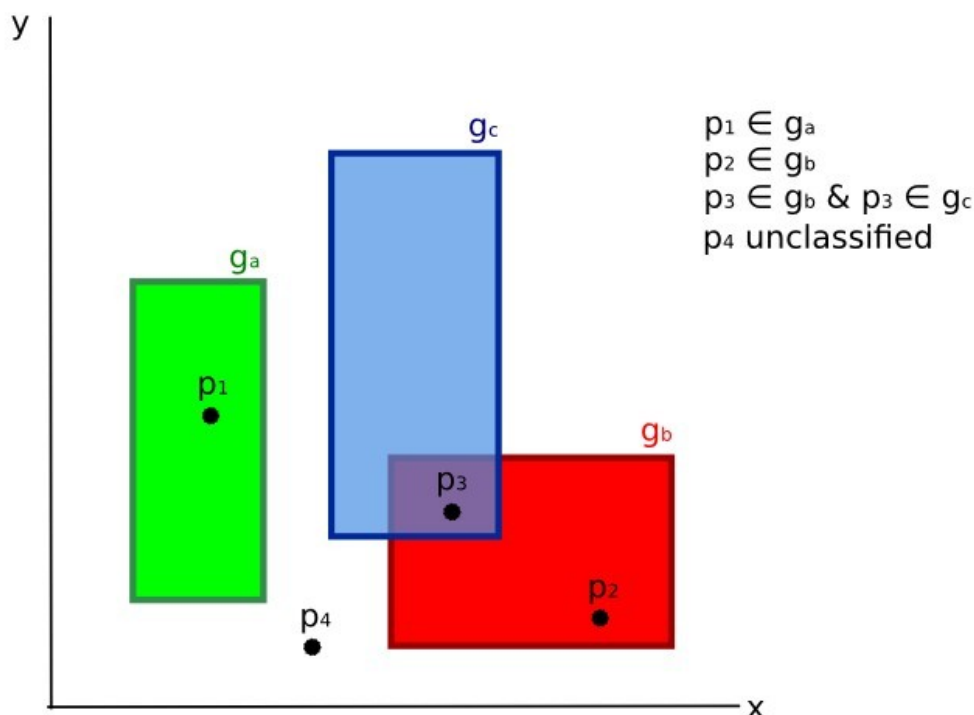


Fig. 9: Класифікація сигнатур земельного покриття

Це є подібним до *Класифікація паралелепіпеда* (page 140), за виключенням того, що спектральні області визначаються користувачем і їх верхній та нижній ліміти можуть бути призначені незалежно. Спектральні області можна уявити як набір спектральних сигнатур всіх пікселів, що належать до одного класу.

На рисунку *Графік спектральних діапазонів* (page 142) показано спектральні діапазони трьох класів (g_a , g_b та g_c); кольорові лінії всередині діапазонів (тобто напівпрозорі області) представляють спектральні сигнатури пікселів, що визначають верхній та нижній ліміти відповідних діапазонів. Піксель p_1 (крапкова лінія) належить до класу g_b тому що його спектральна сигнатура знаходиться повністю всередині діапазону класу g_b (у верхньому ліміті); піксель p_2 (пунктирна лінія) не класифікований, тому що його спектральна сигнатура не входить повністю до жодного діапазону; піксель p_3 (крапкова лінія) належить до класу g_a .

Варто зазначити, що ці спектральні порогові величини можуть бути застосовані до будь-якої сигнатури, безвідносно її спектральних характеристик; ця функція може бути дуже корисною для відокремлення подібних спектральних сигнатур, що відрізняються лише в одному каналі, з визначенням порогових величин, які включають або виключають конкретні сигнатури. Фактично, класи відокремлюються коректно якщо їх спектральні області не перекриваються принаймні в одному каналі. Звичайно, навіть за наявності перекриття спектральних областей є можливість, що жоден піксель не потрапить до області перекриття і не буде невірно класифікований; верхній (або нижній) ліміт області не передбачає існування на зображенні будь-якої спектральної сигнатури, що має максимальне (або мінімальне) значення діапазону за всіма каналами (наприклад піксель p_1 рисунка *Графік спектральних діапазонів* (page 142) не міг би існувати).

Однією з головних переваг *Класифікації сигнатур земельних покриттів* є можливість вибору пікселів та включення їх сигнатур до спектрального діапазону; відтак, класифікація повинна бути безпосереднім представленням класу, що очікується для кожної спектральної сигнатури. Це дуже доречно для класифікації єдиного класу земельного покриття (визначеного за специфічними спектральними пороговими величинами) та залишає некласифікованою іншу частину зображення, яка не представляє інтересу для цілей класифікації.

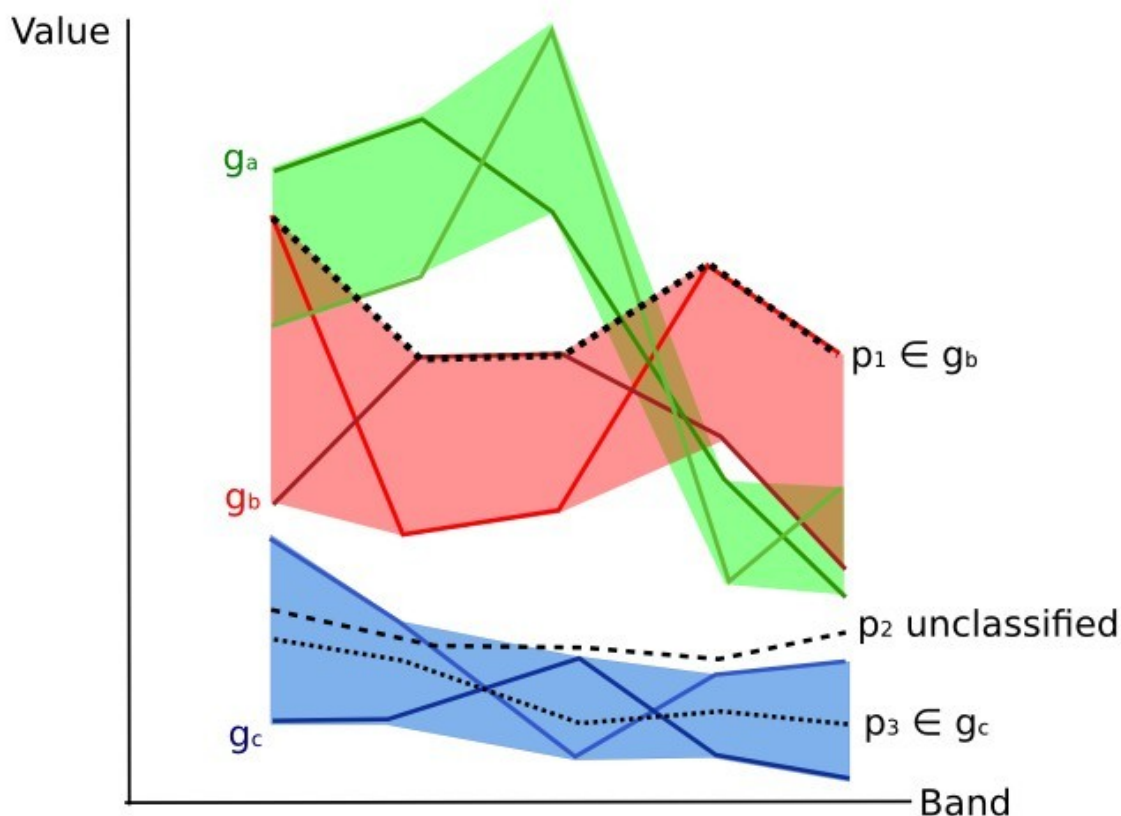


Fig. 10: Графік спектральних діапазонів

Растр алгоритму

Растр алгоритму представляє «відстань» (відповідно до визначення алгоритму класифікації) пікселя зображення до певної спектральної сигнатури.

Здебільшого растр алгоритму створюється для кожної спектральної сигнатури, використаної в якості навчальних входових даних. Значення кожного пікселя це результат розрахунків алгоритму для конкретної спектральної сигнатури. Відтак, піксель належить до класу X якщо значення растра алгоритму, що відповідає класу X є найнижчим у випадку *Мінімальної відстані* (page 137) або *Картографування спектрального кута* (page 139) (або найвищим у випадку *Максимальної вірогідності* (page 138)).

Залежно від класифікації може бути зроблена комбінація растрів алгоритму, щоб створити растр найменших «відстаней» (тобто пікселі мають значення растра алгоритму, що співвідноситься з класом до якого вони належать за класифікацією). Таким чином, цей растр може бути корисним для визначення пікселів, що потребують додаткового збору подібних спектральних сигнатур (див. *Classification preview* (page 44)).

4.4.6 Machine Learning

Machine Learning is a broad set of classification techniques that aim to build mathematical models based on training data.

In general, Machine Learning algorithms split the data in (ESA, 2019):

- Training Dataset: the sample data used to fit the model;
- Validation Dataset: the sample data used to tune the model parameters to fit on the training dataset;
- Test Dataset: the sample data used to provide an evaluation of the final model;

Usually, the training and model evaluation are performed iteratively.

Random Forest

Random Forest is a particular machine learning technique, based on the iterative and random creation of decision trees (i.e. a set of rules and conditions that define a class).

First, the input features should be defined, which can be spectral bands or ancillary rasters. *Навчальні області* (page 135) should be created to define the classes used for training the model.

Random Forest calculates several random decision trees, based on the following parameters:

- number of training samples: is the number of training data (pixels) randomly used to train the model; it should be set lower than total training input pixels;
- number of trees: is the number of decision trees; the more the number of trees, the more is the model accuracy, but it also increases the calculation time.

For instance, a decision tree could be defined as:

- class 1 = band 1 > 0.1 -> band 2 < 0.3 -> band 3 > 0.4
- class 2 = band 1 > 0.4 -> band 2 > 0.6 -> band 3 < 0.1
- class 3 = band 1 < 0.7 -> band 2 > 0.1 -> band 3 < 0.5

Random Forest creates several decision trees randomly. Usually, the **Gini coefficient** is calculated to split the trees. Therefore, a model based on the decision trees is created and used to classify all the pixels.

A pixel is classified according to the majority vote of decision trees, for example a pixel is classified as class 1 if most decision trees evaluated it as class 1. Also, a confidence layer is produced, which measures the uncertainty of the model based on training data.

Random Forest can be used to evaluate the importance of input features, according to the contribution thereof to the model.

Multi-Layer Perceptron

Multi-Layer Perceptron is a supervised classification algorithm that is based on the definition of an artificial neural network. A Multi-Layer Perceptron is made of an input layer, one or more hidden layers (made of a defined number of neurons that are fully connected by non-linear activation functions), and the output layer (also read this [documentation](#)

Several parameters can be defined as described [here](#)

Support Vector Machine

Support Vector Machine is a supervised classification algorithm that is based on the calculation of hyperplanes in order to separate input data values.

Several parameters can be defined as described at this [link](#)

4.4.7 Спектральна відстань

Для того, щоб оцінити, чи подібні класи настільки, що це може призвести до помилок класифікації, доцільно оцінювати спектральну відстань (або відокремність) між навчальними сигнатурами та пікселями. В SCP реалізовано наступні алгоритми для оцінки подібності спектральних сигнатур.

Відстань Джефріса-Мацусіти

Відстань Джефріса-Мацусіти розраховує відокремність двох розподілів імовірностей. Це може бути особливо змістовно для оцінювання результатів класифікацій *Максимальної вірогідності* (page 138).

Відстань Джефріса-Мацусіти J_{xy} розраховується як (Richards and Jia, 2006):

$$J_{xy} = 2 \left(1 - e^{-B} \right)$$

де:

$$B = \frac{1}{8} (x - y)^t \left(\frac{\Sigma_x + \Sigma_y}{2} \right)^{-1} (x - y) + \frac{1}{2} \ln \left(\frac{|\frac{\Sigma_x + \Sigma_y}{2}|}{|\Sigma_x|^{\frac{1}{2}} |\Sigma_y|^{\frac{1}{2}}} \right)$$

де:

- x = вектор першої спектральної сигнатури;
- y = вектор другої спектральної сигнатури;
- Σ_x = матриця коваріації вибірки x ;
- Σ_y = матриця коваріації вибірки y ;

Відстань Джефріса-Мацусіти асимптотна до 2, коли сигнатури абсолютно різні, і наближається до 0, коли сигнатури ідентичні.

Спектральний кут

Спектральний кут найбільш придатний для оцінки алгоритму *Картографування спектрального кута* (page 139). Спектральний кут θ визначається як (Kruse et al., 1993):

$$\theta(x, y) = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right)^{\frac{1}{2}} * \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}} \right)$$

Де:

- x = вектор спектральної сигнатури пікселя зображення;
- y = вектор спектральної сигнатури навчальної області;
- n = кількість каналів знімка.

Спектральний кут іде від 0, коли сигнатури ідентичні, до 90, коли сигнатури абсолютно різні.

Евклідова відстань

Евклідова відстань особливо корисна для оцінювання результатів класифікацій *Мінімальної відстані* (page 137). Фактично відстань визначається як:

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

де:

- x = вектор першої спектральної сигнатури;
- y = вектор другої спектральної сигнатури;
- n = кількість каналів знімка.

Евклідова відстань дорівнює 0 якщо сигнатури ідентичні і зростає із зростанням спектральної відстані між сигнатурами.

Подібність Брея-Кертиса

Подібність Брея-Кертиса це статистика, що використовується для оцінювання спорідненості між двома вибірками ([читайте](#)). Вона корисна загалом для оцінки подібності спектральних сигнатур, подібність Брея-Кертиса $S(x, y)$ розраховується як:

$$S(x, y) = 100 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n |(x_i - y_i)|}{\sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n y_i} \right) * 100$$

де:

- x = вектор першої спектральної сигнатури;
- y = вектор другої спектральної сигнатури;
- n = кількість каналів знімка.

Подібність Брея-Кертиса розраховується у відсотках і змінюється від 0, коли сигнатури абсолютно різні, до 100, коли спектральні сигнатури ідентичні.

4.4.8 Результат класифікації

Результатом процесу класифікації є растр (дивіться приклад класифікації Landsat на рисунку *Класифікація Landsat* (page 145)), де значення пікселів співвідносяться з унікальними ідентифікаторами класів і кожний колір представляє клас земельного покриття.

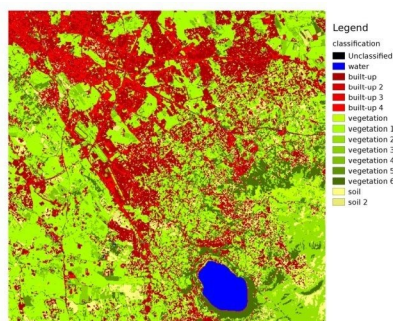


Fig. 11: *Класифікація Landsat*
Дані доступні з Геологічної служби США

Певна кількість помилок може таплятися в класифікації земельного покриття (тобто пікселі віднесені до помилкового класу земельного покриття) через спектральну подібність класів або невірне визначення класу під час збору ROI.

4.4.9 Оцінка точності

Після процесу класифікації доцільно оцінити точність класифікації земельного покриття з метою ідентифікації та вимірювання похибок карти. Зазвичай **оцінка точності** виконується з розрахунком матриці похибок, яка є таблицею, що порівнює інформацію карти з контрольними даними (тобто з даними підсупутникових спостережень) для певної кількості пробних ділянок (Congalton and Green, 2009)..

Наступна таблиця схематично зображує матрицю похибок, де k це число класів, що ідентифікуються в класифікації земельного покриття, а n це загальна кількість зібраних елементів вибірки. Елементи основної діагоналі (a_{ii}) це кількість вірно ідентифікованих елементів, а інші елементи являють собою похибку класифікації.

Схема матриці похибок

	Підсупутникове спостереження 1	Підсупутникове спостереження 2	...	Підсупутникове спостереження k	Сума
Клас 1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1k}	a_{1+}
Клас 2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2k}	a_{2+}
...
Клас k	a_{k1}	a_{k2}	...	a_{kk}	a_{k+}
Сума	a_{+1}	a_{+2}	...	a_{+k}	n

Відтак, можливо розрахувати загальну точність як відношення кількості елементів, що класифіковані вірно (сума основної діагоналі), до загальної кількості елементів вибірки n (Congalton and Green, 2009).

The overall accuracy (also expressed in percentage) is defined as:

$$O = \sum_{i=1}^k a_{ii}/n$$

The user's accuracy for each class is defined as the ratio (also expressed in percentage) between correct samples and the row total:

$$U_i = a_{ii}/a_{i+}$$

The commission error $CE_i = 1 - U_i$ corresponds to pixels classified as class i that actually belong to a different class.

The producer's accuracy for each class is calculated as the ratio (also expressed in percentage) between correct samples and the column total:

$$P_i = a_{ii}/a_{+i}$$

The omission error $OE_i = 1 - P_i$ corresponds to pixels actually belonging to class i that were classified erroneously as a different class.

It is recommended to calculate the area based error matrix (Olofsson et al., 2014) where each element represents the estimated area proportion of each class. This allows for estimating the unbiased user's accuracy and producer's accuracy, the unbiased area of classes according to reference data, and the standard error of area estimates.

For further information, the following documentation is freely available: [Landsat Data Users Handbook](#).

4.5 Image processing

Remote sensing images can be processed in various ways in order to obtain classification, indices, or other derived information that can be useful for land cover characterization.

4.5.1 Аналіз головних компонент

Аналіз головних компонент (Principal Component Analysis - PCA) це метод зменшення вимірності змінних (каналів) до головних компонент (JARS, 1993).

Трансформація головних компонент надає новий набір каналів (головних компонент), які мають наступні характеристики: головні компоненти не корелюють; кожна наступна компонента має дисперсію меншу, ніж попередня компонента. Відтак, це ефективний метод виокремлення інформації та ущільнювання даних (Ready and Wintz, 1973).

У випадку знімка з N спектральними каналами головні компоненти отримуються розрахунком матриці (Ready and Wintz, 1973; Richards and Jia, 2006):

$$Y = D^t X$$

де:

- Y = вектор головних компонент
- D = матриця власних векторів матриці коваріації C_x в просторі X
- t позначає транспонування вектора

А X розраховується як:

$$X = P - M$$

- P = вектор спектральних значень, що відповідають кожному пікселю
- M = вектор середніх значень, що відповідають кожному каналу

Відтак, середнє X , що відповідає кожному каналу становить 0. D формується власними векторами (матриці коваріації C_x), впорядкованими як власні числа від максимуму до мініму, для отримання максимальної дисперсії у першій компоненті. Таким чином, головні компоненти не корелюють та кожна наступна компонента має дисперсію меншу, ніж попередня (Ready and Wintz, 1973).

Зазвичай перші дві компоненти містять понад 90% дисперсії. Наприклад, перша головна компонента може бути відображена у *Кольоровий композит* (page 134) для підкреслення класів *Земельний покрив* (page 127) або використана в якості вхідових даних для *Контрольована класифікація* (page 134).

4.5.2 Панхроматичне об'єднання

Панхроматичне об'єднання або пан-шарпєнинг це поєднання спектральної інформації багатоспектральних каналів (MS), які мають нижчу вирізняльну здатність (для каналів Landsat просторова вирізняльна здатність становить 30 м), з просторовою вирізняльною здатністю панхроматичного каналу (PAN), яка для Landsat 7 та 8 становить 15 м. Результатом є багатоспектральне зображення з просторовою вирізняльною здатністю панхроматичного каналу (тобто 15 м). В *SCP* застосовується перетворення Бровєя, де перетворені значення кожного багатоспектрального каналу розраховуються як (Johnson, Tateishi and Hoan, 2012):

$$MSpan = MS * PAN / I$$

де I це Інтєнсивність, яка є функцією багатоспектральних каналів.

Відповідно до декількох тестів, проведених з застосуванням *SCP*, для *I* визначено наступні вагові коефіцієнти. Для Landsat 8, Інтенсивність розраховується як:

$$I = (0.42 * Blue + 0.98 * Green + 0.6 * Red) / 2$$

Для Landsat 7, Інтенсивність розраховується як:

$$I = (0.42 * Blue + 0.98 * Green + 0.6 * Red + NIR) / 3$$



Fig. 12: Приклад знімка Landsat 8, який був підданий панхроматичному об'єднанню. Ліворуч первинні багатоспектральні канали (30 м); праворуч панхроматично об'єднані (15 м)

Дані доступні з Геологічної служби США

4.5.3 Спектральні індекси

Спектральні індекси це математичні дії між спектральними каналами спрямовані на отримання інформації про рослинний покрив (JARS, 1993). Один з найбільш популярних індексів це **вегетацийний індекс нормалізованої різниці** (англ. Normalized Difference Vegetation Index - NDVI), що визначається як (JARS, 1993):

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Значення NDVI варіюють від -1 до 1. Густа та здорова рослинність демонструє вищі значення, а ділянки без рослинного покриття характеризуються низькими значеннями NDVI.

Інший індекс це **підсилений вегетацийний індекс** (англ. Enhanced Vegetation Index - EVI), який намагається враховувати атмосферні ефекти, такі як енергетична світність, відбита від атмосфери, розраховуючи різницю між синім та червоним каналами (Didan, et al., 2015). EVI визначається як:

$$EVI = G(NIR - Red) / (NIR + C_1 Red - C_2 Blue + L)$$

де: *G* масштабний коефіцієнт, *C₁* та *C₂* коефіцієнти атмосферних ефектів та *L* фактор для урахування диференційного NIR та червоного випромінювання через рослинний полог. Типові значення коефіцієнтів становлять: *G* = 2.5, *L* = 1, *C₁* = 6, *C₂* = 7.5 (Didan, et al., 2015).

4.5.4 Clustering

Clustering is the grouping of pixels based on spectral similarity (e.g. *Евклідова відстань* (page 145) or *Спектральний кут* (page 144)) calculated for a multispectral image (Richards and Jia, 2006).

Clustering can be used for unsupervised classification or for the automatic selection of spectral signatures. It is worth noticing that, while *Контрольована класифікація* (page 134) produces a classification with the classes identified during the training process, the classes produced by clustering (i.e. clusters) have no definition and consequently the user must assign a land cover label to each class.

The main advantage of clustering resides in automation. Of course, clusters do not necessarily represent a particular land cover type and additional processing could be required for producing an accurate classification.

There are several types of clustering, mainly based on iterative methods; the following are the algorithms provided in *SCP*.

K-means

The K-means method is based on the calculation of the average spectral signature of clusters (Wikipedia, 2017; JARS, 1993).

At first, the user defines the number of clusters expected in the image, which correspond to as many spectral signatures (i.e. seeds). Starting spectral signatures can be selected in various ways (e.g. randomly, provided by the user, calculated automatically from image values).

During the first iteration clusters are produced calculating the pixel spectral distance with initial spectral signatures. The algorithms *Евклідова відстань* (page 145) or *Спектральний кут* (page 144) can be used for distance calculation. Pixels are assigned according to the most similar spectral signature, therefore producing clusters.

Then, the average spectral signature is calculated for each cluster of pixels, resulting in the spectral signatures that will be used in the following iteration.

This process continues iteratively producing clusters and mean spectral signatures, until one of the following condition is verified:

- the spectral distance between the spectral signatures produced in this iteration with the corresponding ones produced in the previous iteration is lower than a certain threshold;
- the maximum number of iterations is reached.

After the last iteration, a raster of clusters is produced using the spectral signatures derived from the last iteration.

ISODATA

The ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) method is similar to K-means but with the additional steps of merging clusters having similar spectral signatures and splitting clusters having too high variability (i.e. standard deviation) of spectral signatures (Ball & Hall, 1965). Following, the *SCP* implementation of ISODATA is described.

At first, the user defines the number of clusters expected in the image, which correspond to as many spectral signatures (i.e. seeds). Starting spectral signatures can be selected in various ways (e.g. randomly, provided by the user, calculated automatically from image values). Initial parameters provided by user are:

- C = number of desired clusters
- N_{min} = minimum number of pixels for a cluster
- σ_t = maximum standard deviation threshold for splitting
- D_t = distance threshold for merging

During the first iteration clusters are produced calculating the *Евклідова відстань* (page 145) of pixels with initial spectral signatures. Pixels are assigned according to the most similar spectral signature, therefore producing clusters.

Therefore, the following parameters are calculated:

- N_i = number of pixels of cluster i
- S_i = average spectral signature of cluster i
- $AVERAGEDIST_i$ = average distance of cluster i with the seed spectral signature
- $AVERAGEDISTANCE$ = overall average distance of all clusters
- σ_{ij} = standard deviation of cluster i in band j
- σmax_i = maximum standard deviation of cluster i (i.e. $\max(\sigma_{ij})$)
- k_i = band where σmax_i occurred
- Sk_i = value of S_i at band k_i
- P = number of clusters

Then, for each cluster i , if $N_i < N_{min}$, then the cluster i is discarded.

If $P \leq C$ then try to split clusters. For each cluster i :

- If $\sigma max_i > \sigma_t$:
 - If $((AVERAGEDIST_i > AVERAGEDISTANCE) \text{ AND } (N_i > (2 * N_{min} + 2))) \text{ OR } (C > 2 * P)$:
 - * create a new spectral signature $S_{p+1} = S_i$
 - * in S_i set the value $Sk_i = Sk_i + \sigma max_i$
 - * in S_{p+1} set the value $Sk_{p+1} = Sk_i - \sigma max_i$
 - * $P = P + 1$
 - * start a new iteration

If $P > (2 * C)$ then try to merge clusters.

- For each combination xy of spectral signatures calculate $D_{xy} = \text{Евклідова відстань}$ (page 145) of spectral signatures S_x and S_y .
- If the minimum D_{xy} is greater than D_t :
 - $S_{\{i\}} = (N_i * S_{\{i\}} + N_j * S_{\{j\}}) / (N_i + N_j)$
 - discard $S_{\{j\}}$
 - $P = P - 1$
 - start a new iteration

After the last iteration, a raster of clusters is produced using the spectral signatures derived from the last iteration. The number of clusters can vary according to the processes of splitting and merging.

4.6 Перерахунок знімка у значення відбивальності

В цьому розділі наведено інформацію щодо способу перерахунку у значення відбивальності, реалізованому у *SCP*.

4.6.1 Енергетична світність на апертурі сенсора

Енергетична світність це “потік енергії (переважно випромінної або надхідної) на одиницю просторового кута поверхні, що залишає одиницю площі поверхні в заданому напрямку”, “Енергетична світність вимірюється сенсором та певною мірою залежить від відбивальності” (NASA, 2011, р. 47).

Знімки, такі як Landsat або Sentinel-2, складаються з декількох каналів та файлу метаданих, який містить інформацію необхідну для перерахунку у значення відбивальності.

Landsat images are provided in radiance, scaled prior to output. For Landsat images **Spectral Radiance at the sensor’s aperture** (L_λ , measured in [watts/(meter squared * ster * μm))] is given by (<https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>):

$$L_\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L$$

де:

- M_L = залежний від каналу множильний коефіцієнт перемасштабовування з метаданих Landsat (RADIANCE_MULT_BAND_x, де x це номер каналу)
- A_L = залежний від каналу адитивний коефіцієнт перемасштабовування з метаданих Landsat (RADIANCE_ADD_BAND_x, де x це номер каналу)
- Q_{cal} = дискретизовані та калібровані значення пікселів стандартного продукту (DN)

Знімки Sentinel-2 (Level-1C) постачаються вже попередньо змасштабованими у *Відбивальність на поверхні атмосфери (TOA)* (page 151) (ESA, 2015).

4.6.2 Відбивальність на поверхні атмосфери (TOA)

Знімки у значеннях енергетичної світності можуть бути перераховані у відбивальність на поверхні атмосфери (TOA) (комбіновану відбивальність земної поверхні та атмосфери) з метою зменшення мінливості між сценами шляхом нормування значень енергетичної освітленості сонцевим промінням. Відбивальність TOA (ρ_p), яка є безрозмірним відношенням відбитої до загальної потужності енергії (NASA, 2011), розраховується як:

$$\rho_p = (\pi * L_\lambda * d^2) / (ESUN_\lambda * \cos\theta_s)$$

де:

- L_λ = спектральна густина енергетичної світності на апертурі сенсора (енергетична світність на супутнику)
- d = Earth-Sun distance in astronomical units (provided with Landsat 8 metadata file, and an excel file is available from http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/excel_docs/d.xls)
- $ESUN_\lambda$ = середня екзоатмосферна енергетична освітленість сонцевим промінням
- θ_s = сонцевий зенітний кут в градусах, який дорівнює $\theta_s = 90^\circ - \theta_e$, де θ_e це висота Сонця

Варто зауважити, що дані Landsat 8 постачаються з залежними від каналу коефіцієнтами перемасштабовування, які дозволяють здійснювати безпосереднє перерахування з DN до відбивальності TOA.

Sentinel-2 images are already provided in scaled TOA reflectance, which can be converted to TOA reflectance with a simple calculation using the Quantification Value provided in the metadata (see https://sentinel.esa.int/documents/247904/349490/S2_MSI_Product_Specification.pdf).

Sentinel-3 images are already provided in scaled TOA radiance. Conversion to reflectance is performed applying the coefficients `scale_factor` and `add_offset` provided in the metadata of each band. The ancillary raster `tie_geometries.nc` provides the value of sun zenith angle and the ancillary raster `instrument_data` provides information about the solar flux for each band, which are used for the conversion to reflectance with the correction for sun angle. In addition, the georeferencing of the bands is performed using the ancillary raster `geo_coordinates.nc` which provides coordinates of every pixel.

4.6.3 Відбивальність поверхні

Для вимірювання відбивальності на земній поверхні повинен бути врахований вплив атмосфери (тобто збурення відбивальності, яке залежить від довжини хвилі).

Відповідно до Moran et al. (1992), **відбивальність земної поверхні** (ρ) це:

$$\rho = [\pi * (L_{\lambda} - L_p) * d^2] / [T_v * ((ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s * T_z) + E_{down})]$$

де:

- L_p енергетична світність, відбита від атмосфери
- T_v пропусальна здатність атмосфери в напрямку огляду
- T_z пропусальна здатність атмосфери в напрямку освітлення
- E_{down} низхідна енергетична освітленість розсіяним промінням

Таким чином, для розрахунку ρ необхідно провести декілька атмосферних вимірювань (з метою отримання поправок на підставі абсолютних фізичних величин). В якості альтернативи можна скористатись **відносними техніками на основі знімка**, які не передбачають проведення позалабораторних вимірювань під час отримання знімка. Варто зазначити, що для даних Landsat 8 доступні **Surface Reflectance High Level Data Products** (для більш докладної інформації читайте http://landsat.usgs.gov/CDR_LSR.php).

4.6.4 Корекція DOS1

The **Dark Object Subtraction** (DOS) is a family of image-based atmospheric corrections. Chavez (1996) explains that «the basic assumption is that within the image some pixels are in complete shadow and their radiances received at the satellite are due to atmospheric scattering (path radiance). This assumption is combined with the fact that very few targets on the Earth's surface are absolute black, so an assumed one-percent minimum reflectance is better than zero percent». It is worth pointing out that the accuracy of image-based techniques is generally lower than physically-based corrections, but they are very useful when no atmospheric measurements are available as they can improve the estimation of land surface reflectance. The **path radiance** is given by (Sobrino et al., 2004):

$$L_p = L_{min} - L_{DO1\%}$$

де:

- L_{min} = «radiance that corresponds to a digital count value for which the sum of all the pixels with digital counts lower or equal to this value is equal to the 0.01% of all the pixels from the image considered» (Sobrino et al., 2004, p. 437), therefore the radiance obtained with that digital count value (DN_{min})
- $L_{DO1\%}$ = енергетична світність темного об'єкта, що за припущенням має значення відбивальності 0.01

Зокрема для знімків Landsat:

$$L_{min} = M_L * DN_{min} + A_L$$

Знімки Sentinel-2 перераховуються у значення енергетичної світності до проведення розрахунків DOS1.

The **radiance of Dark Object** is given by (Sobrino et al., 2004):

$$L_{DO1\%} = 0.01 * [(ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s * T_z) + E_{down}] * T_v / (\pi * d^2)$$

Таким чином, **енергетична світність, відбита від атмосфери**, становить:

$$L_p = M_L * DN_{min} + A_L - 0.01 * [(ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s * T_z) + E_{down}] * T_v / (\pi * d^2)$$

Існує декілька технік DOS (зокрема DOS1, DOS2, DOS3, DOS4), що ґрунтуються на різних припущеннях щодо T_v , T_z та E_{down} . Найпростішим методом є **DOS1**, який виходить з наступних припущень (Moran et al., 1992):

- $T_v = 1$
- $T_z = 1$
- $E_{down} = 0$

Таким чином, **енергетична світність, відбита від атмосфери**, становить:

$$L_p = M_L * DN_{min} + A_L - 0.01 * ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s / (\pi * d^2)$$

Результуюча **відбивальність земної поверхні** визначається за:

$$\rho = [\pi * (L_{\lambda} - L_p) * d^2] / (ESUN_{\lambda} * \cos\theta_s)$$

В наступній таблиці наведено значення ESUN [W / (m² * μm)] для сенсорів Landsat.

Значення ESUN для каналів Landsat

Ка- нал	Landsat MSS*	1	Landsat MSS*	2	Landsat MSS*	3	Landsat TM*	4	Landsat TM*	5	Landsat ETM+**	7
1							1983		1983		1970	
2							1795		1796		1842	
3							1539		1536		1547	
4	1823		1829		1839		1028		1031		1044	
5	1559		1539		1555		219.8		220		225.7	
6	1276		1268		1291							
7	880.1		886.6		887.9		83.49		83.44		82.06	
8											1369	

* за Chander, Markham, & Helder (2009)

** за http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/data_prod/prog_sect11_3.html

For **Landsat 8**, ESUN can be calculated as (from <http://grass.osgeo.org/grass65/manuals/i.landsat.toar.html>):

$$ESUN = (\pi * d^2) * RADIANCE_MAXIMUM / REFLECTANCE_MAXIMUM$$

де значення RADIANCE_MAXIMUM та REFLECTANCE_MAXIMUM наведені в метаданих знімка.

Значення ESUN [W / (m² * μm)] для сенсора **Sentinel-2** (наведені в метаданих знімка) містяться в наступній таблиці.

Значення ESUN для каналів Sentinel-2

Канал	Sentinel-2
1	1913.57
2	1941.63
3	1822.61
4	1512.79
5	1425.56
6	1288.32
7	1163.19
8	1036.39
8A	955.19
9	813.04
10	367.15
11	245.59
12	85.25

ESUN [$\text{W} / (\text{m}^2 * \mu\text{m})$] values for **ASTER** sensor are illustrated in the following table (from Finn et al., 2012).

Значення ESUN для каналів ASTER

Канал	ASTER
1	1848
2	1549
3	1114
4	225.4
5	86.63
6	81.85
7	74.85
8	66.49
9	59.85

Приклад порівняння відбивальності TOA, DOS1 скоригованої відбивальності та Landsat Surface Reflectance High Level Data Products (підсупутникове спостереження) наведено на Рисунку *Спектральні сигнатури пікселя забудови* (page 154).

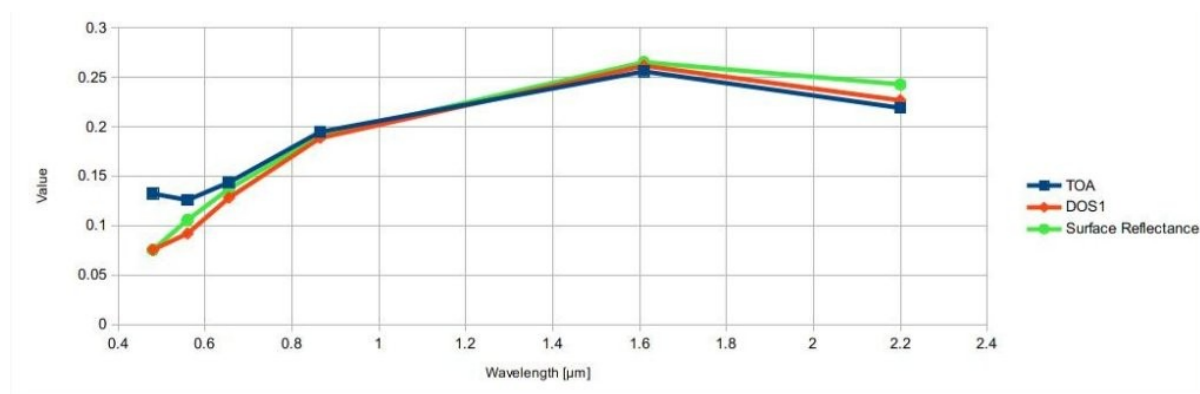


Fig. 13: *Спектральні сигнатури пікселя забудови*

Порівняння відбивальності TOA, DOS1 скоригованої відбивальності та Landsat Surface Reflectance High Level Data Products

4.7 Перерахунок у температуру

В цьому розділі наведено основну інформацію щодо способу перерахунку у **яскравісну температуру на супутнику**, реалізованому у *SCP* та оцінки **температури земної поверхні**.

4.7.1 Перерахунок у яскравісну температуру на супутнику

For thermal bands, the conversion of DN to At-Satellite Brightness Temperature is given by (from <https://www.usgs.gov/core-science-systems/nli/landsat/using-usgs-landsat-level-1-data-product>):

$$T_B = K_2 / \ln[(K_1 / L_\lambda) + 1]$$

де:

- K_1 = залежна від каналу стала термального перерахунку (Вт/м кв. * стерadian * μm)
- K_2 = залежна від каналу стала термального перерахунку (Кельвін)

та L_λ спектральна густина енергетичної світності на апертурі сенсора, що вимірюється у Вт/(м кв. * стерadian * μm).

Сталі K_1 та K_2 для сенсорів Landsat наведено в наступній таблиці.

Сталі термального перерахунку для Landsat

Стала	Landsat 4*	Landsat 5*	Landsat 7**
K_1	671.62	607.76	666.09
K_2	1284.30	1260.56	1282.71

* за Chander & Markham (2003)

** за NASA (2011)

Для **Landsat 8** значення K_1 та K_2 наводяться в файлі метаданих знімка.

K_1 та K_2 розраховуються як (Jimenez-Munoz & Sobrino, 2010):

$$K_1 = c_1 / \lambda^5$$

$$K_2 = c_2 / \lambda$$

де (Mohr, Newell, & Taylor, 2015):

- c_1 = перша стала випромінювання = $1.191 * 10^{-16} W m^2 sr^{-1}$
- c_2 = друга стала випромінювання = $1.4388 * 10^{-2} mK$

Таким чином, для каналів ASTER K_1 та K_2 наведено в наступній таблиці.

Сталі термального перерахунку для ASTER

Стала	Канал 10	Канал 11	Канал 12	Канал 13	Канал 14
K_1	$3.024 * 10^3$	$2.460 * 10^3$	$1.909 * 10^3$	$8.900 * 10^2$	$6.464 * 10^2$
K_2	$1.733 * 10^3$	$1.663 * 10^3$	$1.581 * 10^3$	$1.357 * 10^3$	$1.273 * 10^3$

4.7.2 Оцінювання температури земної поверхні

Several studies have described the estimation of Land Surface Temperature. Land Surface Temperature can be calculated from At-Satellite Brightness Temperature T_B as (Weng et al., 2004):

$$T = T_B / [1 + (\lambda * T_B / c_2) * \ln(e)]$$

де:

- λ = довжина хвилі випроміненої енергетичної світності
- $c_2 = h * c / s = 1.4388 * 10^{-2}$ м К
- h = стала Планка = $6.626 * 10^{-34}$ Дж с
- s = стала Больцмана = $1.38 * 10^{-23}$ Дж/К
- c = швидкість світла = $2.998 * 10^8$ м/с

Значення λ для термальних каналів супутників Landsat та ASTER можуть бути розраховані з таблиць в *Landsat Satellites* (page 127) та *Супутник ASTER* (page 130).

Several studies used NDVI for the estimation of land surface emissivity (Sobrino et al., 2004); other studies used a land cover classification for the definition of the land surface emissivity of each class (Weng et al. 2004). For instance, the emissivity (e) values of various land cover types are provided in the following table (from Mallick et al., 2012).

Значення випромінює

Тип земної поверхні	Випромінює e
Ґрунт	0.928
Трава	0.982
Асфальт	0.942
Бетон	0.937

4.8 Перелік посилань

- Ball, G. H. & Hall, D. J., 1965. ISODATA. A novel method of data analysis and pattern classification. Menlo Park: Stanford Research Institute.
- Chander, G. & Markham, B., 2003. Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 41, 2674 - 2677
- Chavez, P. S., 1996. Image-Based Atmospheric Corrections - Revisited and Improved Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, [Falls Church, Va.] American Society of Photogrammetry, 62, 1025-1036
- Congalton, R. and Green, K., 2009. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. Boca Raton, FL: CRC Press
- Didan, K.; Barreto Munoz, A.; Solano, R. & Huete, A., 2015. MODIS Vegetation Index User's Guide. Collection 6, NASA
- ESA, 2020. Sentinel-1 SAR Definitions. Available at <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/definitions>
- ESA, 2020b. Sentinel-1 SAR Definitions. Available at <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/overview>

- ESA, 2019. A machine learning glossary. Available at <https://blogs.esa.int/philab/2019/03/29/a-machine-learning-glossary/>
- ESA, 2015. Sentinel-2 User Handbook. Available at https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook
- ESA, 2013. Sentinel-3 User Handbook. Available at https://sentinels.copernicus.eu/documents/247904/685236/Sentinel-3_User_Handbook
- Finn, M.P., Reed, M.D, and Yamamoto, K.H., 2012. A Straight Forward Guide for Processing Radiance and Reflectance for EO-1 ALI, Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, and ASTER. Unpublished Report from USGS/Center of Excellence for Geospatial Information Science, 8 p, http://cegis.usgs.gov/soil_moisture/pdf/A%20Straight%20Forward%20guide%20for%20Processing%20Radiance%20and%20Reflectance_V_24Jul12.pdf
- Fisher, P. F. and Unwin, D. J., eds., 2005. Representing GIS. Chichester, England: John Wiley & Sons
- JARS, 1993. Remote Sensing Note. Japan Association on Remote Sensing. Режим доступу: http://www.jars1974.net/pdf/rsnote_e.html
- Jimenez-Munoz, J. C. & Sobrino, J. A., 2010. A Single-Channel Algorithm for Land-Surface Temperature Retrieval From ASTER Data IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 7, 176-179
- Johnson, B. A., Tateishi, R. and Hoan, N. T., 2012. Satellite Image Pansharpening Using a Hybrid Approach for Object-Based Image Analysis ISPRS International Journal of Geo-Information, 1, 228. Available at <http://www.mdpi.com/2220-9964/1/3/228>
- Kruse, F. A., et al., 1993. The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging spectrometer. Data Remote Sensing of Environment
- Mallick, J.; Singh, C. K.; Shashtri, S.; Rahman, A. & Mukherjee, S., 2012. Land surface emissivity retrieval based on moisture index from LANDSAT TM satellite data over heterogeneous surfaces of Delhi city International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 19, 348 - 358
- Mohr, P. J.; Newell, D. B. & Taylor, B. N., 2015. CODATA Recommended Values of the Fundamental Physical Constants: 2014 National Institute of Standards and Technology, Committee on Data for Science and Technology
- Moran, M.; Jackson, R.; Slater, P. & Teillet, P., 1992. Evaluation of simplified procedures for retrieval of land surface reflectance factors from satellite sensor output Remote Sensing of Environment, 41, 169-184
- NASA, 2020. What is Synthetic Aperture Radar?. Available at <https://earthdata.nasa.gov/learn/what-is-sar>
- NASA, 2013. Landsat 7 Science Data User's Handbook. Available at <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-7-data-users-handbook>
- NASA, 2011. Landsat 7 Science Data Users Handbook Landsat Project Science Office at NASA's Goddard Space Flight Center in Greenbelt, 186 http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf
- NOAA, 2020. GOES-R Series. Available at <https://www.ncdc.noaa.gov/data-access/satellite-data/goes-r-series-satellites>
- Olofsson, P.; Foody, G. M.; Herold, M.; Stehman, S. V.; Woodcock, C. E. & Wulder, M. A., 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment, 148, 42 – 57
- Ready, P. and Wintz, P., 1973. Information Extraction, SNR Improvement, and Data Compression in Multispectral Imagery. IEEE Transactions on Communications, 21, 1123-1131
- Richards, J. A. and Jia, X., 2006. Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction. Berlin, Germany: Springer

- Sobrino, J.; Jiménez-Muñoz, J. C. & Paolini, L., 2004. Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5 Remote Sensing of Environment, Elsevier, 90, 434-440
- USGS, 2015. Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Level 1 Precision Terrain Corrected Registered At-Sensor Radiance Product (AST_L1T). AST_L1T Product User's Guide. USGS EROS Data Center.
- Vermote, E. F.; Roger, J. C. & Ray, J. P., 2015. MODIS Surface Reflectance User's Guide. Collection 6, NASA
- Weng, Q.; Lu, D. & Schubring, J., 2004. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment, Elsevier Science Inc., Box 882 New York NY 10159 USA, 89, 467-483
- Wikipedia, 2017. k-means clustering. Available at https://en.wikipedia.org/wiki/K-means_clustering

The following are very basic tutorials for land cover classification using the Semi-Automatic Classification Plugin (*SCP*). It is assumed that you have a basic knowledge of QGIS (you can find a guide to QGIS interface at [this page](#)).

5.1 Tutorial 1: Basic Land Cover Classification

The following is a basic tutorial about the land cover classification using the Semi-Automatic Classification Plugin (*SCP*). It is assumed that you have a basic knowledge of QGIS. Following the video of the tutorial.

<https://www.youtube.com/watch?v=7SZDCFXjIbA>

- *Tutorial 1: Basic Land Cover Classification* (page 159)
 - *Download the Data* (page 160)
 - *Define the Band set and create the Training Input File* (page 160)
 - *Create the ROIs* (page 162)
 - *Create a Classification Preview* (page 166)
 - *Create the Classification Output* (page 172)

5.1.1 Tutorial 1: Basic Land Cover Classification

This is a basic tutorial about the use of *SCP* for the classification of a multispectral image. It is recommended to read the *Короткий вступ до дистанційного зондування* (page 123) before following this tutorial.

The purpose of the classification is to identify the following land cover classes:

1. Water;
2. Built-up;
3. Vegetation;

4. Soil.

The basic steps are:

1. the definition of input data (image bands) in a *Band set* (page 45);
2. the creation of a *Training input* (page 33) to collect training areas to train the classification algorithm;
3. the *Classification* (page 75) of input data.

Download the Data


Other tutorials will show how to search and download satellite images within *SCP*. In this tutorial we are going to use a *Супутников Sentinel-2* (page 129) image, already converted to reflectance and clipped to the study area, downloading a *.zip* file (which contains modified Copernicus Sentinel data 2023).

The study area of this tutorial covers part of the Lake Garda in the Northern Italy. Download the *.zip* file from this [link](#) and extract the directory containing the image bands.

Define the Band set and create the Training Input File

We are going to use a subset of *Супутников Sentinel-2* (page 129) image (*Copernicus* land monitoring services) and use the bands illustrated in the following table.

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength [micrometers]	Resolution [meters]
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

First, we need to define the *Band set* which is the input image for *SCP* classification. Open the tab *Band set* (page 45) clicking the button  in the *SCP menu* (page 29) or the *SCP dock* (page 31).

Click the button  to select the *.tif* files from the extracted directory to the *Band set* tab.

Порада: It is possible to define multiple *Band sets*. It is also possible to add to a *Band set* bands that are already loaded in QGIS. Each *Band set* definition is saved with the QGIS project.

In the table *Band set definition*, we need to order the band names in ascending order and assign the center wavelength to each bands (required for spectral signature calculation). We can do this in one step by selecting *Sentinel-2* in the *Wavelength* list of the *Band quick settings* (page 47).

We can display a *Кольоровий композит* (page 134) of bands: Near-Infrared, Red, and Green.

Порада: If a *Band set* (page 45) is defined, a temporary virtual raster (named *Virtual Band Set 1*) is created automatically, which allows for the display of a *Кольоровий композит* (page 134).

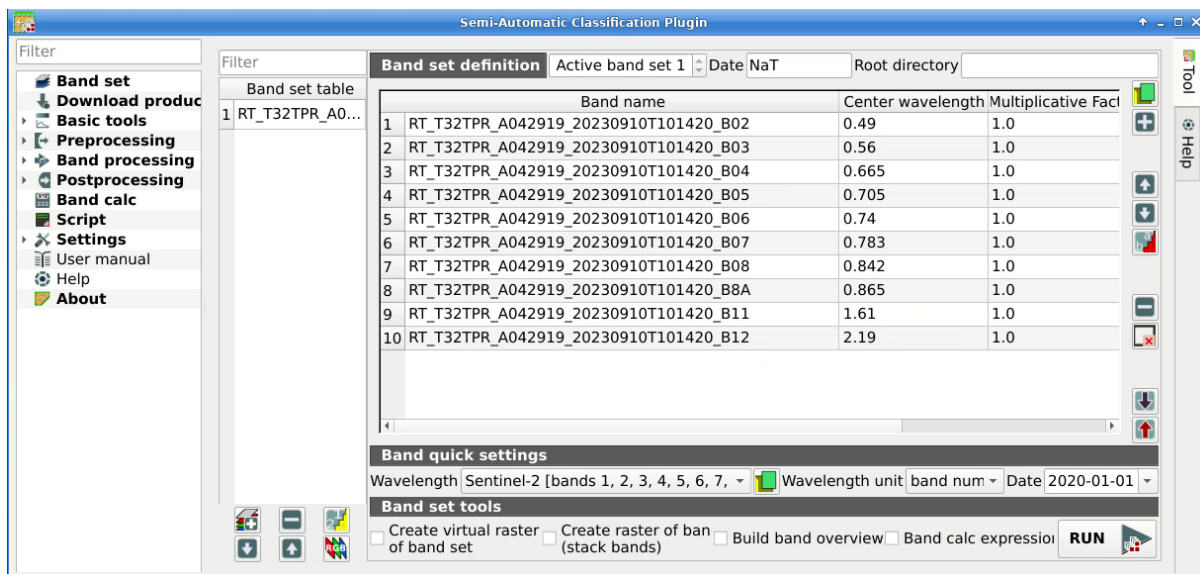


Fig. 1: Definition of a band set

In the *Working toolbar* (page 41), click the list *RGB=* and select the item 7-3-2 (corresponding to the band numbers in *Band set* (page 45)). You can see that *Virtual Band Set 1* is added to QGIS Layers as multiband image, and the displayed bands correspond to the selected color composite.

Because we selected Near-Infrared, Red, and Green bands, in the map, vegetation is highlighted in red. Selecting the color composite 3-2-1, natural colors would be displayed.

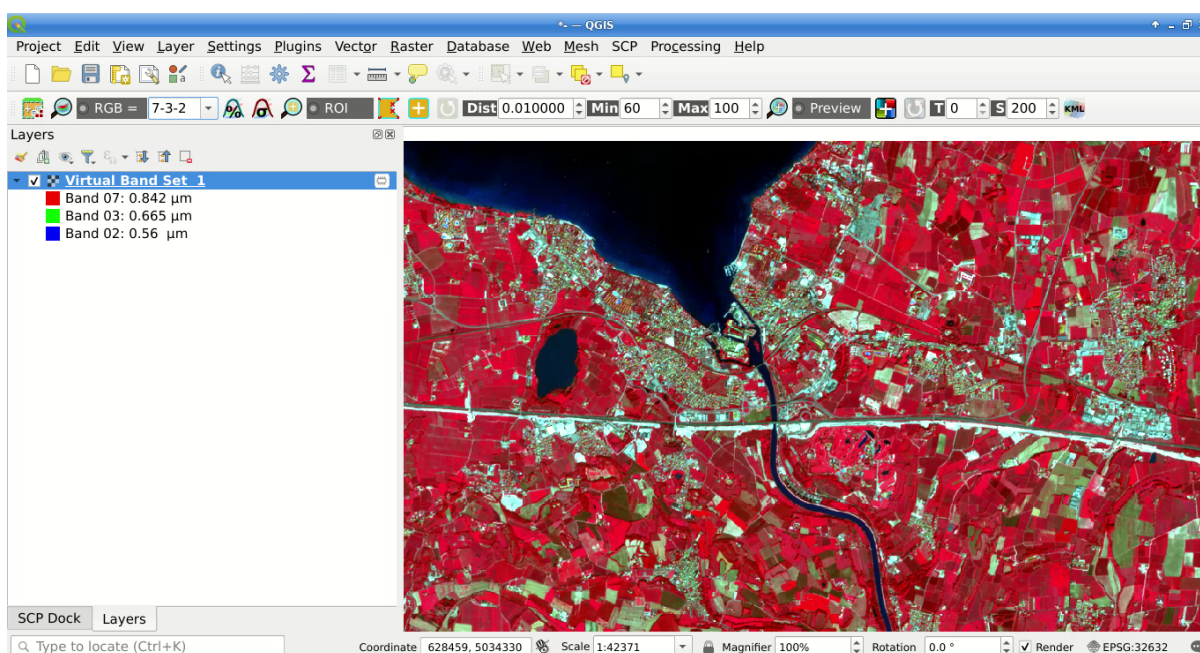



Fig. 2: Color composite RGB=7-3-2

After *Band set* (page 45) creation, we need to create a *Training input* (page 33) file in order to collect *Навчальні області* (page 135) (ROIs) and calculate the *Спектральна сигнатура* (page 127) thereof (which are required to train the classification algorithm).

In the *SCP dock* (page 31) select the tab *Training input* (page 33) and click the button  to create the *Training input* (define a name such as `training.scpx`).

Порада: A *Training input* is a *.scpx* file which stores the geometries and the spectral signatures. Once it is created, it is configured with the wavelength properties of the corresponding *Band set*. To use a *Training input* create with a different *Band set*, one should create a new *Training input*, and then import

the existing *Training input* with  *Import library file* (page 54) .

The path of the file is displayed and a vector is added to QGIS layers with the same name as the *Training input*.

Попередження: In order to prevent data loss, one should not edit the *Training input* using QGIS vector tools.

Create the ROIs


We are going to create ROIs defining the *Класи та макрокласи* (page 136). Each ROI is identified by a Class ID (i.e. C ID), and each ROI is assigned to a land cover class through a Macroclass ID (i.e. MC ID).

Macroclasses are composed of several materials having different spectral signatures; in order to achieve good classification results we should separate spectral signatures of different materials, even if belonging to the same macroclass. Thus, we are going to create several ROIs for each macroclass (setting the same *MC ID*, but assigning a different *C ID* to every ROI).

We are going to use the Macroclass IDs defined in the following table.


Macroclass name	Macroclass ID
Water	1
Built-up	2
Vegetation	3
Soil	4

Порада: ROIs can be created by manually drawing a polygon or with an automatic region growing algorithm.

In the map zoom over the dark blue area in the upper left corner of the image which is a water body. To manually create a ROI inside the dark area, click the button  in the *Working toolbar* (page 41). Left click on the map to define the ROI vertices and right click to define the last vertex closing the polygon. An orange semi-transparent polygon is displayed over the image, which is a temporary polygon (i.e., it is not saved in the *Training input* (page 33)).

Порада: You can draw temporary polygons (the previous one will be overridden) until the shape covers the intended area.

If the shape of the temporary polygon sufficiently covers the water area, we can save it to the *Training input* (page 33).

Open the *Training input* (page 33) to define the *Класи та макрокласи* (page 136) . In the *ROI & Signature list* (page 36) set *MC ID* = 1 and *MC Name* = **Water**; also set *C ID* = 1 and *C Name* = **Lake**. Now click  to save the ROI in the *Training input*.

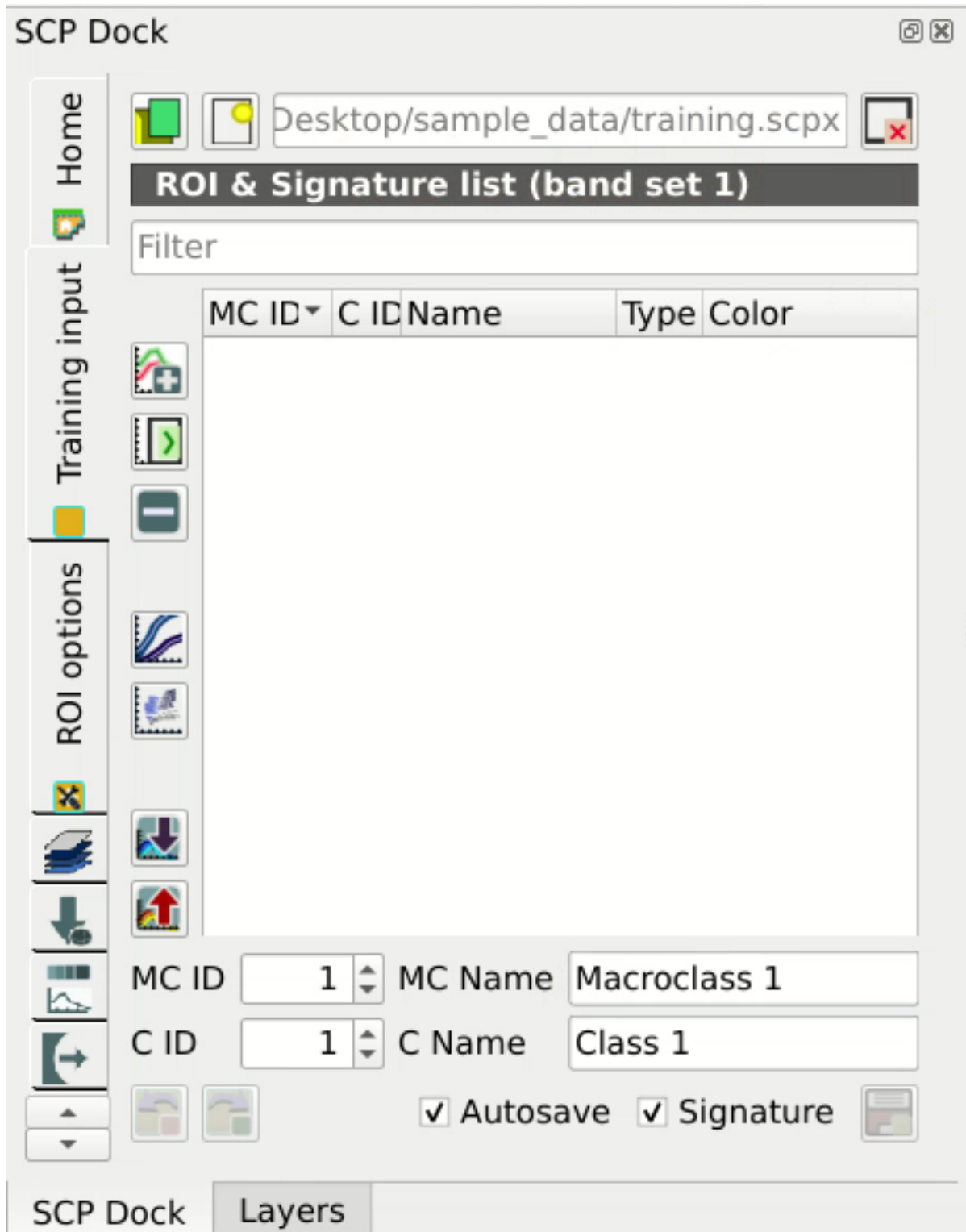


Fig. 3: Definition of Training input in SCP




Fig. 4: A temporary ROI created manually

After a few seconds, the ROI is listed in the *ROI & Signature list* (page 36) and the spectral signature is calculated (because ☒ *Signature* is checked).

As you can see, the *C ID* in *ROI & Signature list* (page 36) is automatically increased by 1. Saved ROI is displayed as a dark polygon in the map and the temporary ROI is removed. Also, in the *ROI & Signature list* (page 36) you can notice that the *Type* is *RS* (i.e., ROI and spectral signature), meaning that the ROI spectral signature was calculated and saved in the *Training input*.

Now we are going to create a second ROI for the built-up class using the automatic region growing algorithm. Zoom near the center of the image. In *Working toolbar* (page 41) set the *Dist* value to 0.03


. Click the button  in the *Working toolbar* (page 41) and click over the light blue area of the map. After a while the orange semi-transparent polygon is displayed over the image.

Порада: *Dist* value should be set according to the range of pixel values; in general, increasing this value creates larger ROIs.

In the *ROI & Signature list* (page 36) set *MC ID* = 2 and *MC Name* = Built-up ; also set *C ID* = 2 (it should be already set) and *C Name* = Buildings.

Again, the *C ID* in *ROI & Signature list* (page 36) is automatically increased by 1.

Create a ROI for the class **Vegetation** (red pixels in color composite RGB=7-3-2) and a ROI for the class **Soil** (bare soil or low vegetation) (yellow pixels in color composite RGB=7-3-2) following the same steps described previously. The following images show a few examples of these classes identified in the map.

Порада: It is possible to display the *Spectral signatures* of created ROIs in the  *Spectral Signature Plot* (page 114).

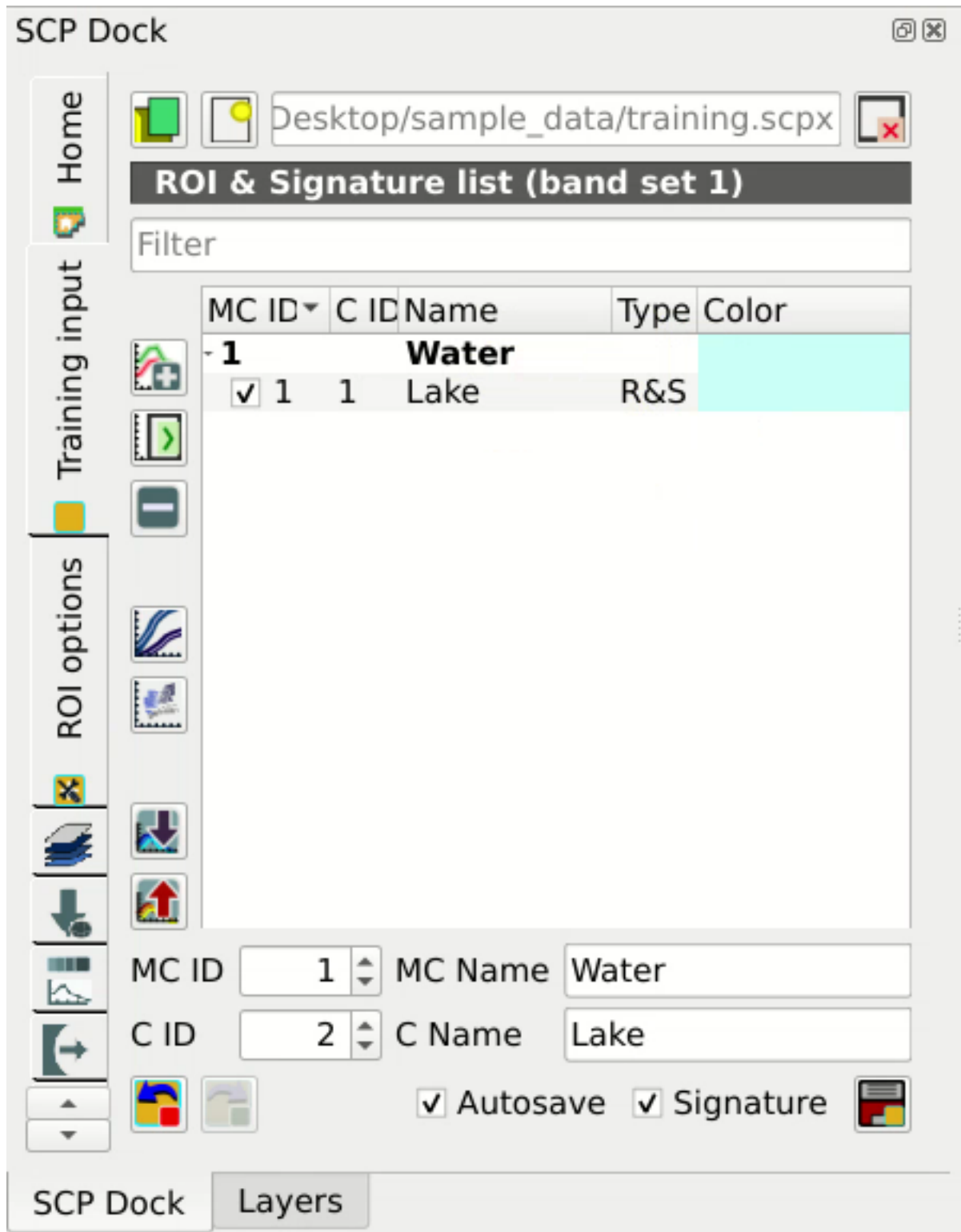


Fig. 5: The ROI saved in the Training input



Fig. 6: A temporary ROI created with the automatic region growing algorithm


Create a Classification Preview

The classification process is based on collected ROIs (and spectral signatures thereof). It is useful to create a *Classification preview* (page 44) in order to assess the results (influenced by spectral signatures) before the final classification. In case the results are not good, we can collect additional ROIs to better classify land cover.

Before running a classification (or a preview), set the color of land cover classes that will be displayed in the classification raster. In the *ROI & Signature list* (page 36), double click the color (in the column *Color*) of each ROI to choose a representative color of each class. Also, we need to set the color for macroclasses in *ROI & Signature list* (page 36).

Now we need to select the classification algorithm. In this tutorial we are going to use the *Максимальної вірогідності* (page 138).

Open the tool *Classification* (page 75) to set the use of classes or macroclasses. Check *Use* ☒ *Class ID* and in *Algorithm* (page 76) select the *Maximum Likelihood*. The *input band set* is 1 because it is the number of the band set containing the image (bands) that we want to classify.

In *Classification preview* (page 44) set *Size* = 300; click the button  and then left click a point of the image in the map. The classification process should be rapid, and the result is a classified square centered in the clicked coordinates.

Previews are temporary rasters (deleted after QGIS is closed) placed in a group named *Class_temp_group* in the QGIS panel *Layers*. Now in *Classification* (page 75) check *Use* ☒ *MC*

ID and click the button  in *Classification preview* (page 44). The preview now represents the colors defined for macroclass.

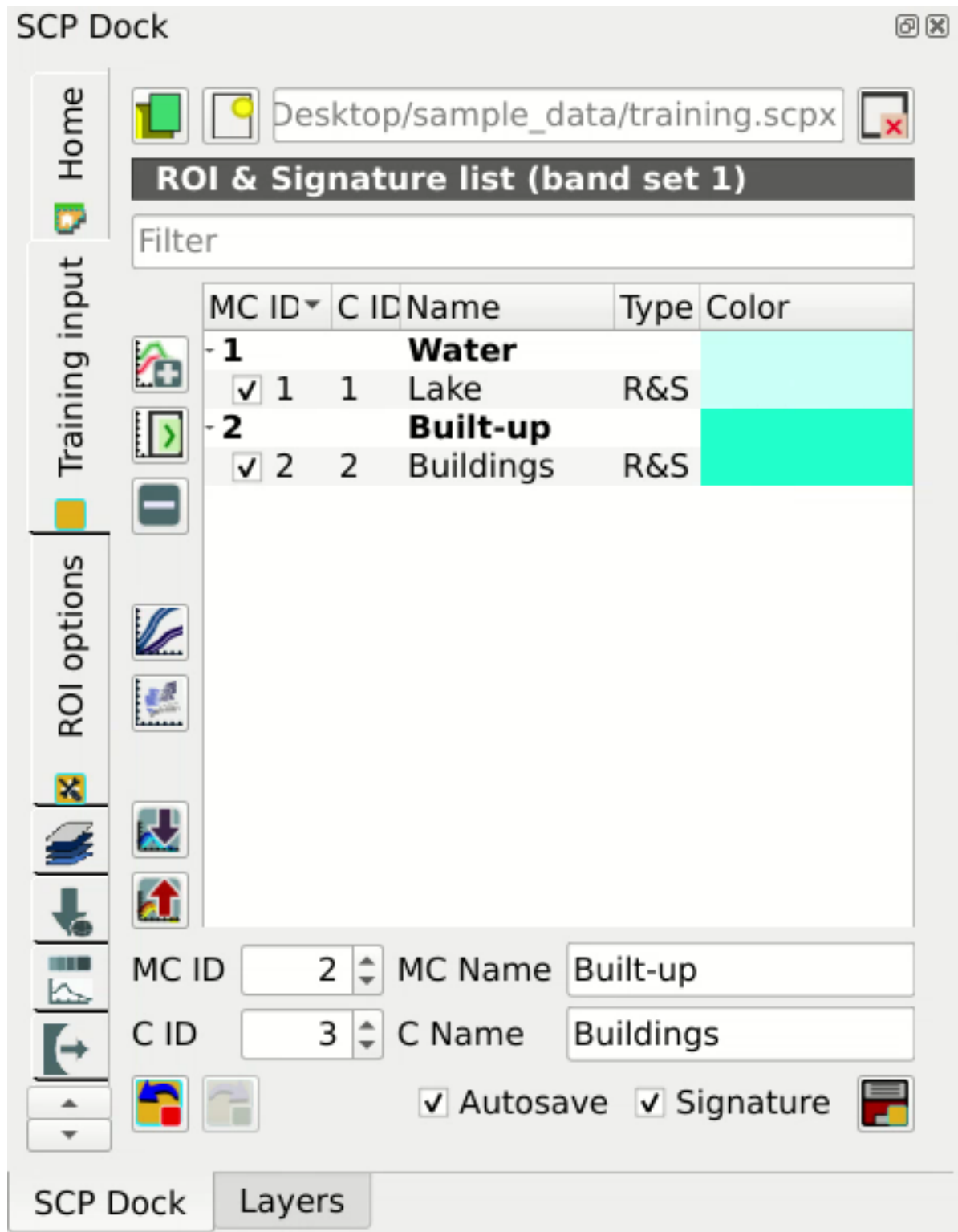


Fig. 7: The ROI saved in the Training input

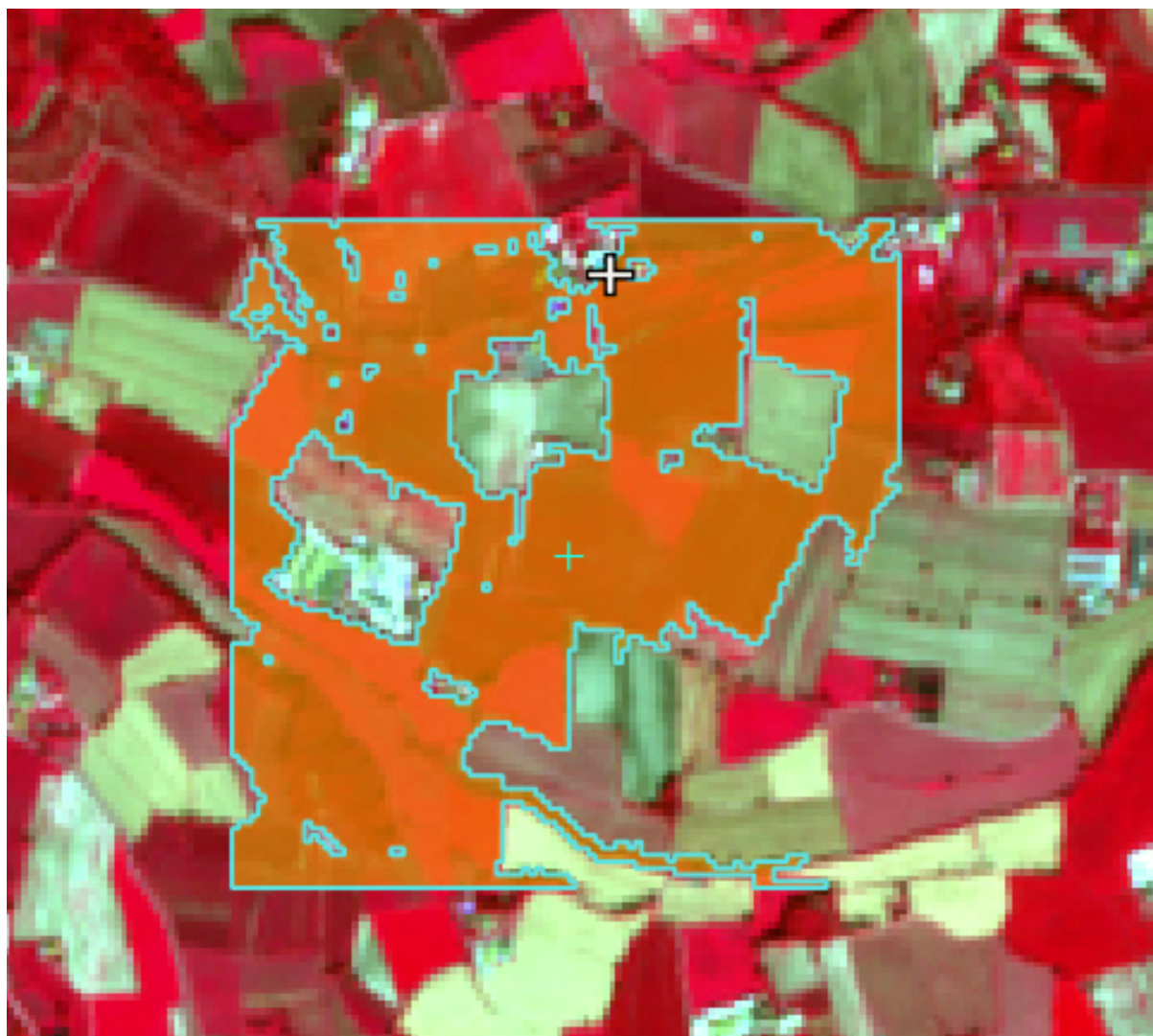


Fig. 8: *Vegetation. Color composite RGB = 7-3-2*



Fig. 9: *Soil. Color composite RGB = 7-3-2*

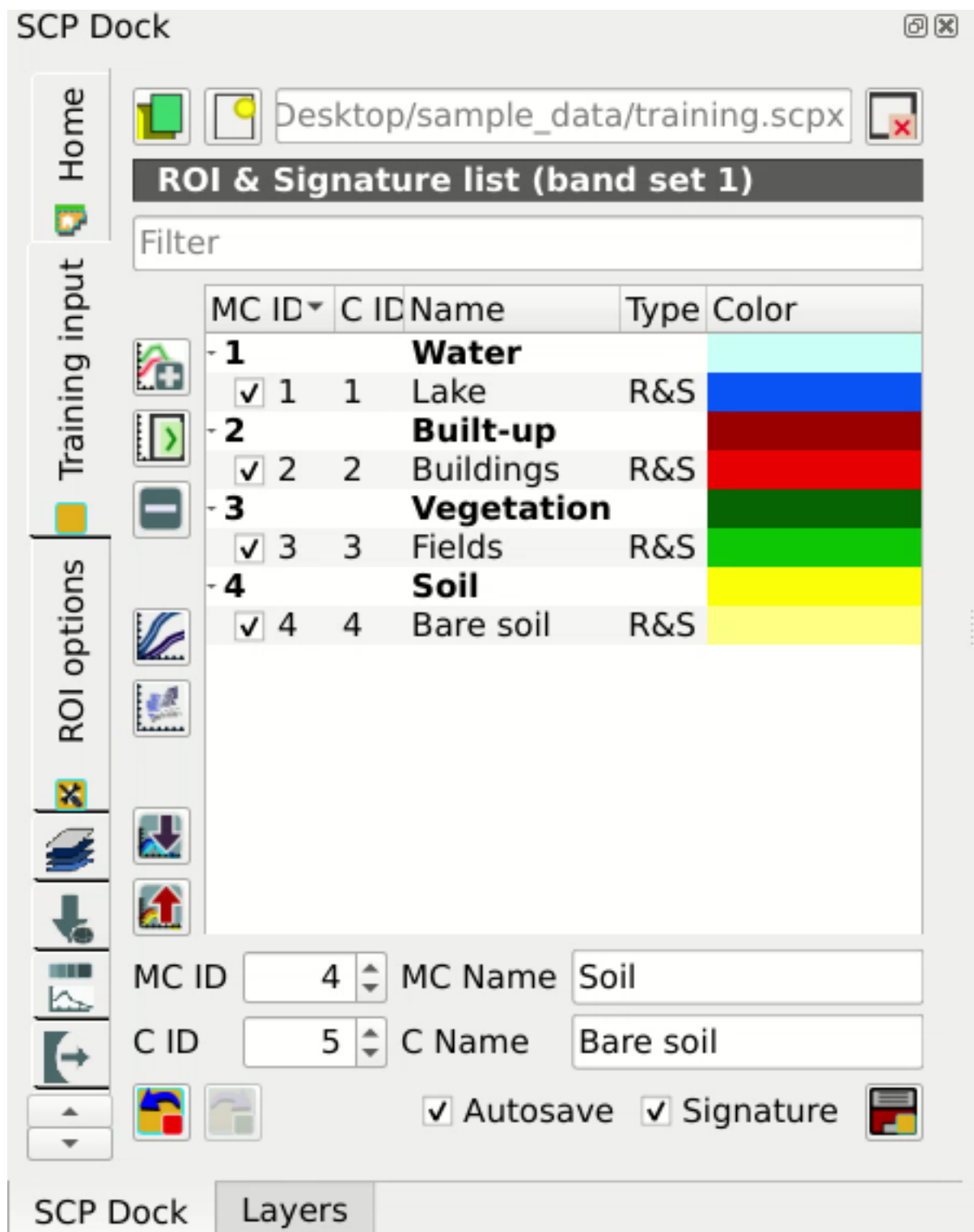


Fig. 10: Definition of class colors

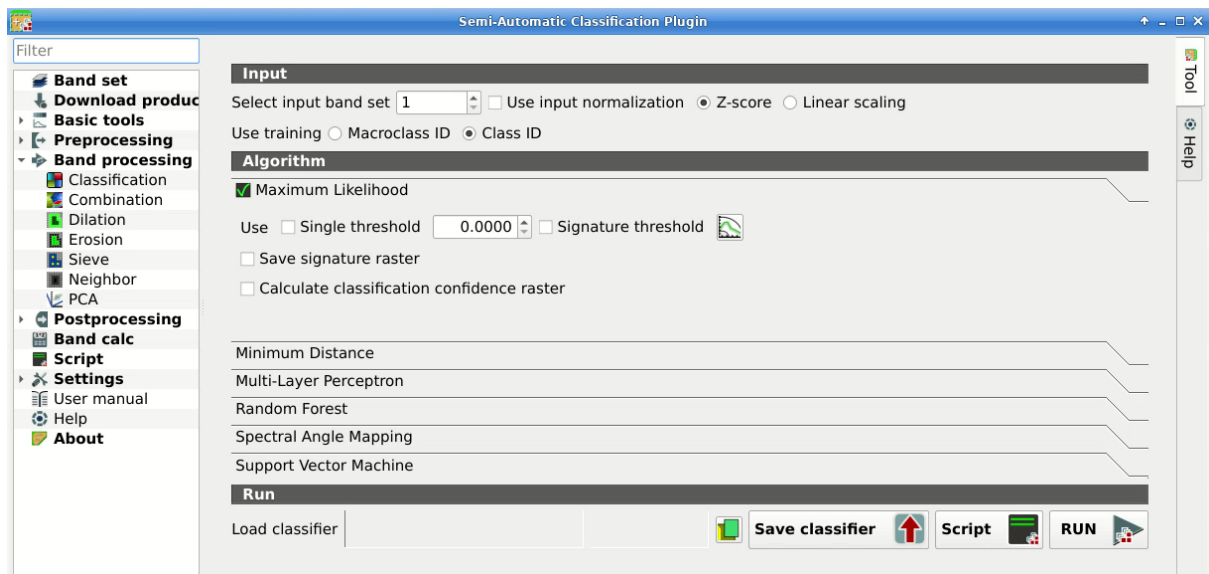


Fig. 11: *Setting the algorithm and using C ID*



Fig. 12: *Classification preview displayed over the image using C ID*

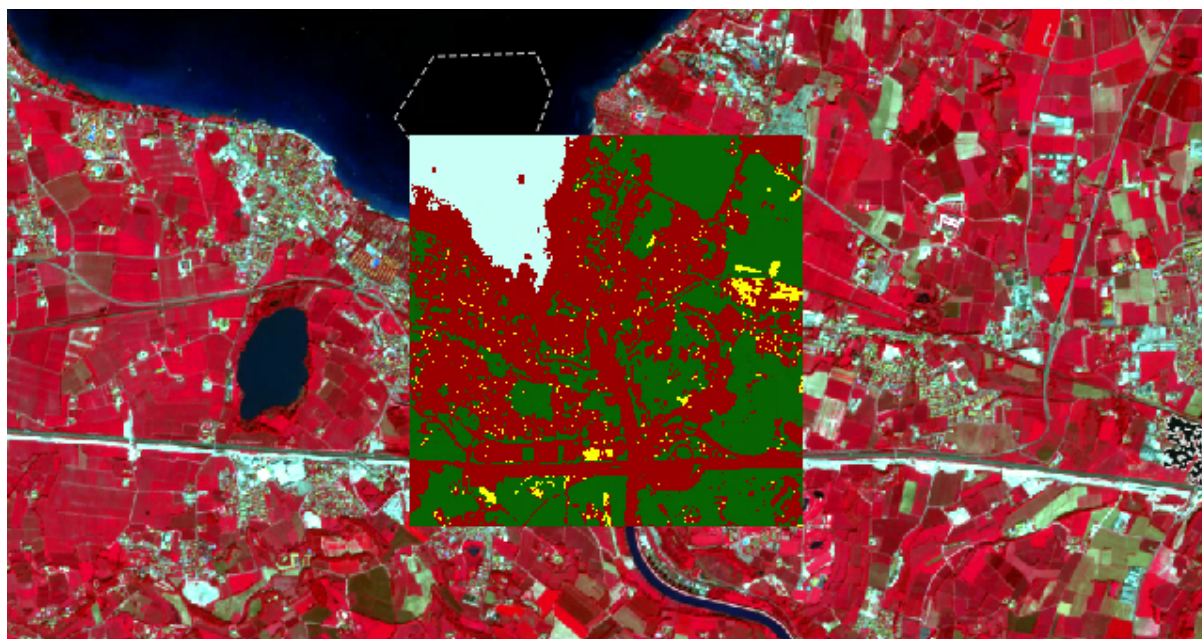






Fig. 13: *Classification preview displayed over the image using MC ID*

Порада: It is useful to perform a classification preview every time a ROI (or a spectral signature) is added to the *ROI & Signature list* (page 36), in order to assess the contribution thereof to the classification; if the ROI causes errors, it can be removed from the *Training input* with the button .

Create the Classification Output

Assuming that the results of classification previews show a good agreement with the image (i.e. pixels are assigned to the correct class defined in the *ROI & Signature list* (page 36)), we can perform the actual land cover classification of the whole image.

In *Classification* (page 75) check *Use*  *Macroclass ID*. Click the button *Run* (page 84)  and define the path of the classification output, which is a raster file (.tif).

Порада: If  *Play sound when finished* is checked in *Calculation process* (page 113) settings, a sound is played when the process is finished.

Well done! You have just performed your first land cover classification.

However, you can see that there are several classification errors, because the number of ROIs (spectral signatures) is insufficient.

In other tutorials we are going to learn about the download and preprocessing of bands, the classification algorithms, and the postprocessing of classifications.

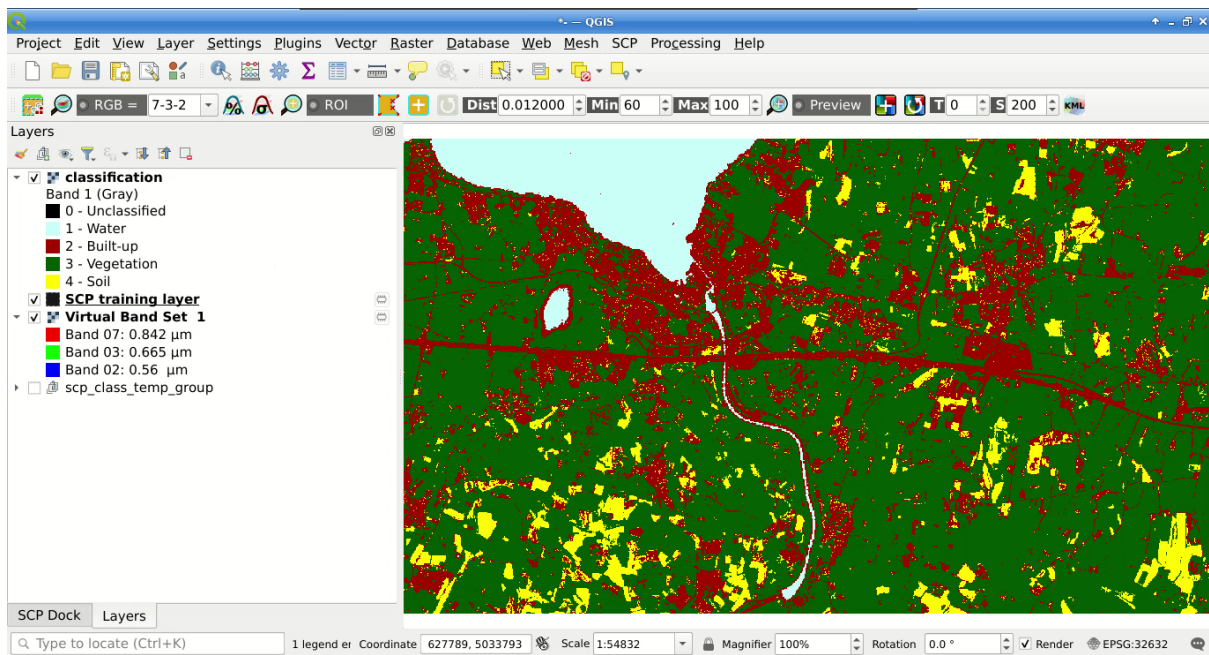


Fig. 14: Result of the land cover classification

- 1 - Water
- 2 - Built-up
- 3 - Vegetation
- 4 - Soil

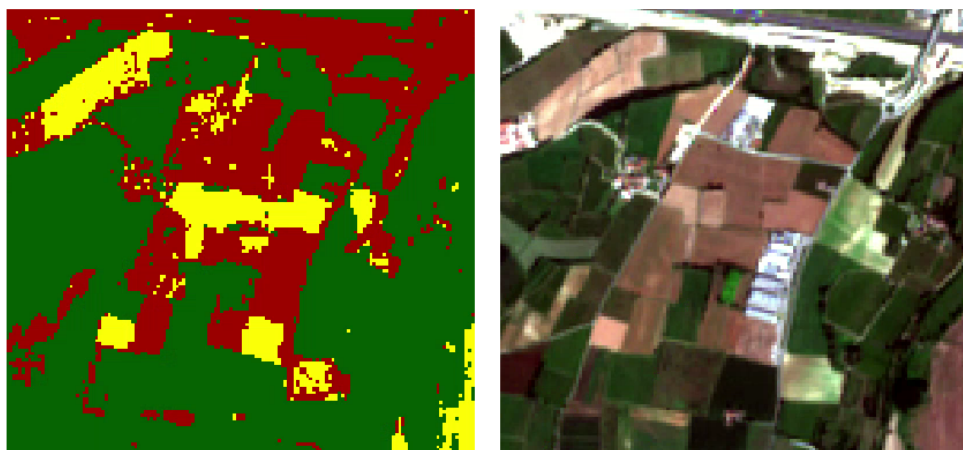


Fig. 15: Example of error: Soil classified as Built-up

5.2 Tutorial 2: Managing input bands, the Band set tab

The following is a basic tutorial about the *Band set* (page 45) tab, which allows for managing input bands.

Following the video of the tutorial.

<https://www.youtube.com/watch?v=DQXfBPke2J4>

5.3 Tutorial 3: Downloading free satellite images, the Download product tab

The following is a basic tutorial about the *Download products* (page 48) tab, which allows for downloading free satellite images such as Landsat and Sentinel-2.

Following the video of the tutorial.

<https://www.youtube.com/watch?v=NwL2f5Nr3U>

Тематичні навчальні матеріали

Нижче наведено перелік тематичних навчальних матеріалів. Перш ніж переходити до їх вивчення, рекомендовано ознайомитись з *Basic Tutorials* (page 159).

If you have comments or questions please join the [Facebook group](#) .

Before asking, please check the official site [From GIS to Remote Sensing](#) and the following Frequently Asked Questions.

- *Встановлення модуля* (page 178)
 - *Як встановити модуль вручну?* (page 178)
 - *Як встановити модуль з офіційного репозиторія SCP?* (page 178)
 - *Can I use the previous version 7 of SCP?* (page 180)
- *Передоброблення* (page 182)
 - *Які канали зображення потрібно використовувати для напіваавтоматичної класифікації?* (page 182)
 - *Які канали Landsat можуть бути перераховані SCP у відбивальність?* (page 183)
 - *Can I apply the conversion to Sentinel-2 images downloaded from the web?* (page 183)
 - *Can I apply the conversion to Sentinel-2 L2A downloaded from the web?* (page 183)
 - *Чи можу я застосувати перерахунок даних Landsat та корекцію DOS до обрізаних каналів?* (page 183)
 - *Чи можу я застосовувати корекцію DOS до каналів з чорною межею (тобто зі значеннями NoData)?* (page 183)
 - *Як прибрати з зображення хмарний покрив?* (page 183)
- *Оброблення* (page 183)
 - *Я отримую помилки класифікації. Як я можу покращити точність?* (page 183)
 - *Чи можливо використовувати одні і ті самі навчальні входові дані для декількох зображень?* (page 184)
 - *Яка різниця між класами та макрокласами?* (page 184)
 - *Чи можу я використовувати SCP для обробки зображень, отриманих дронами, або аерофотозніmkів?* (page 184)

- Чому при визначенні температури поверхні використовується лише канал 10 Landsat 8? (page 184)
- How can I speed up the processing? (page 184)
- How do I perform accuracy assessment and how to design the number of samples? (page 185)
- Застереження (page 185)
 - Застереження [12]: Дана сигнатура буде виключена при використанні алгоритму Максимальної вірогідності. Чому? (page 185)
- Помилки (page 185)
 - Як я можу повідомити про помилку? (page 185)
- Різне (page 187)
 - Що я можу робити з SCP? (page 187)
 - Як долучитись та сприяти SCP (page 188)
 - Як я можу перекласти цей посібник на іншу мову? (page 188)
 - Де знаходиться вихідний код SCP? (page 189)

7.1 Встановлення модуля

7.1.1 Як встановити модуль вручну?

SCP може бути встановлений вручну (це може бути корисно, коли відсутнє Інтернет-з'єднання або необхідне встановлення на багатьох комп'ютерах) наступним чином:

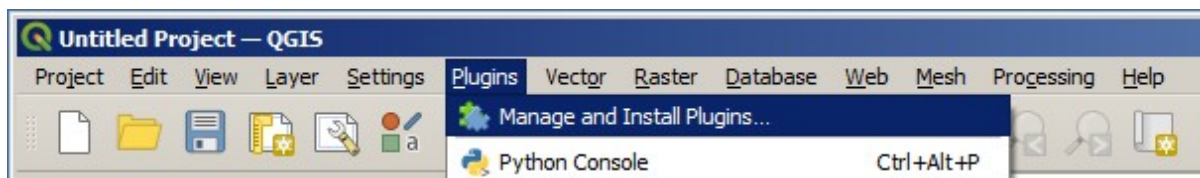
1. завантажте zip-архів SCP з <https://github.com/semiautomaticgit/SemiAutomaticClassificationPlugin/archive/master.zip> ;
2. розпакуйте вміст архіву (декілька файлів таких як COPYING.txt та каталогів таких як ui) у новий каталог з назвою SemiAutomaticClassificationPlugin (без -master);
3. open the QGIS plugins directory (in Windows usually C:\Users\username\AppData\Roaming\QGIS\QGIS3\profiles\default\python\plugins, in Linux and Mac usually /home/username/.local/share/QGIS/QGIS3/profiles/default/python/plugins) and delete the folder SemiAutomaticClassificationPlugin if present;
4. скопіюйте каталог SemiAutomaticClassificationPlugin до каталогу модулів QGIS;
5. модуль встановлено; запустіть QGIS, відкрийте Plugin Manager та переконайтесь, що Semi-Automatic Classification Plugin увімкнено.

7.1.2 Як встановити модуль з офіційного репозиторія SCP?

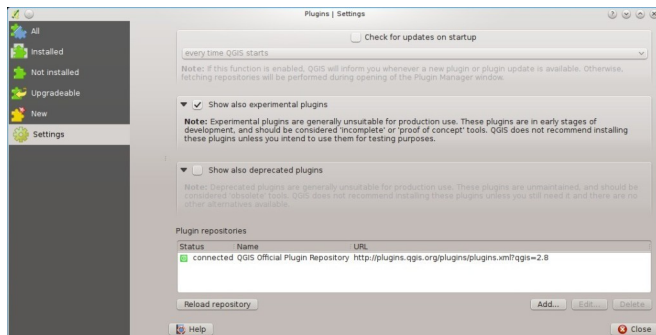
SCP можливо встановити, використовуючи офіційний репозиторій. Цей репозиторій забезпечує встановлення самої останньої версії SCP (**master**), подекуди ще до того, як вона з'явиться в репозиторії QGIS. Це може знадобитись, коли ви потребуєте виправлення помилки або нової функції, яка ще недоступна у версії, наявній в офіційному репозиторії QGIS. Крім того, версія **master** з репозиторію SCP може бути встановлена одночасно з версією, доступною з офіційного репозиторію QGIS.

Для того, щоб встановити модуль з репозиторію SCP, виконайте наступні кроки:

- Запустіть QGIS;
- З головного меню виберіть *Plugins` > Manage and Install Plugins*;



- Клацніть **Settings** та натисніть кнопку **Add**;



- В **Repository details** введіть:

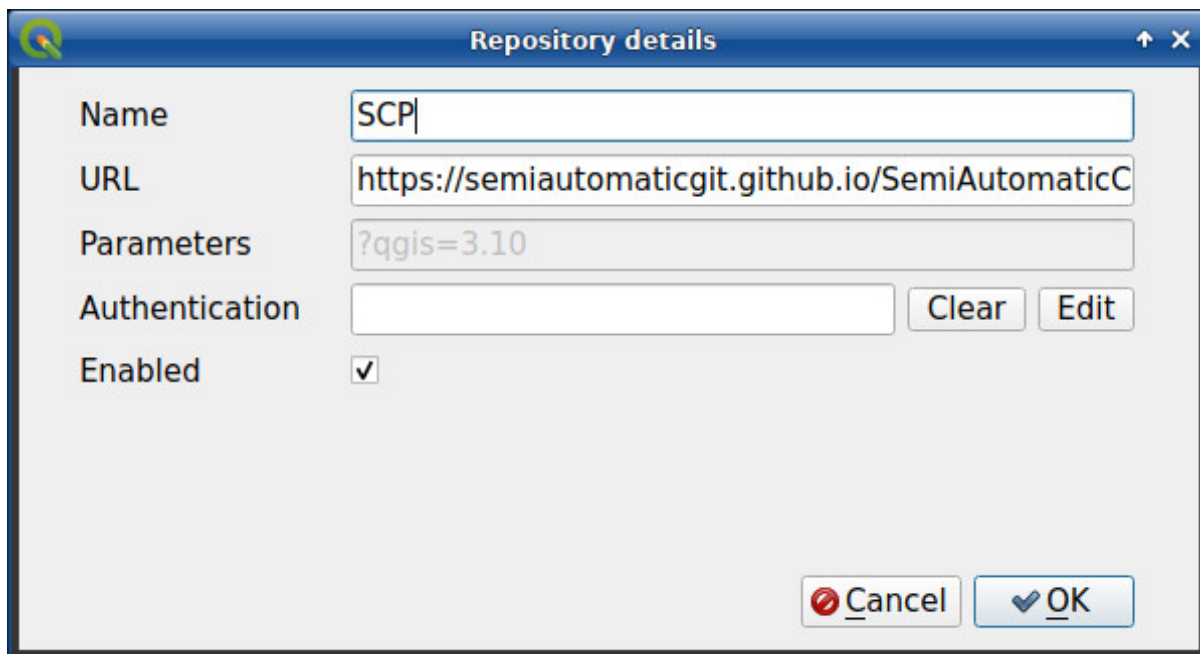
Назва:

SCP

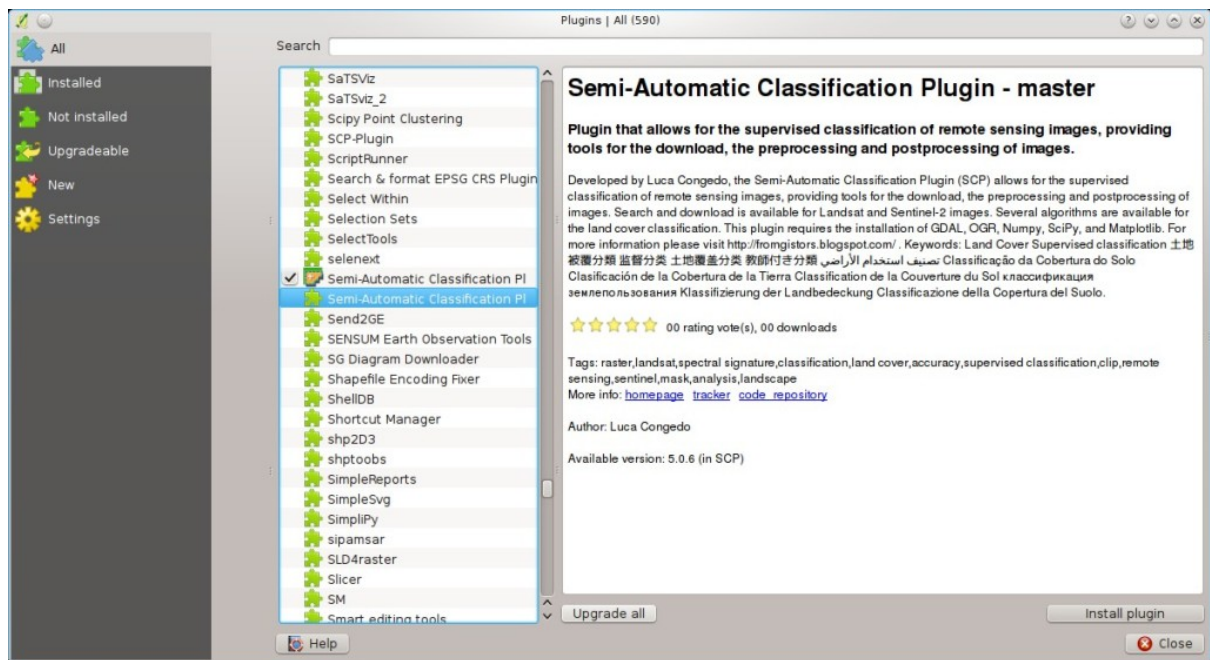
URL:

<https://semiautomaticgit.github.io/SemiAutomaticClassificationPlugin/repository.xml>

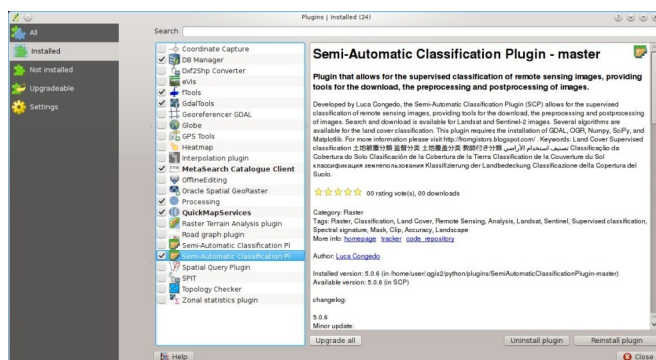
та клацніть **OK**;



- Після оновлення репозиторію елемент **Semi-Automatic Classification Plugin - master** повинен бути у переліку з іншими модулями;



- З меню All виберіть Semi-Automatic Classification Plugin - master та натисніть кнопку Install plugin; найбільш остання версія SCP повинна бути автоматично активована (ігноруйте помилки, для завершення встановлення SCP може знадобитись перезапуск QGIS); можливо вимкнути інший SCP, встановлений з репозиторію QGIS;

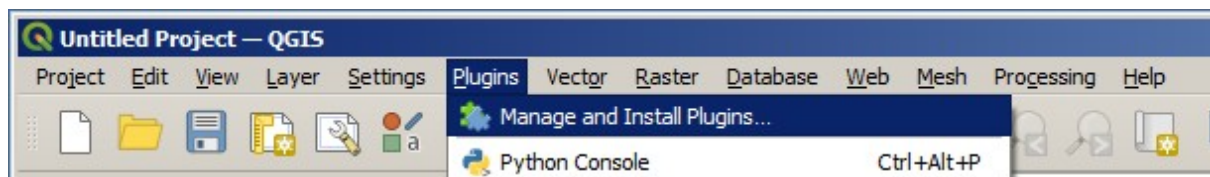


7.1.3 Can I use the previous version 7 of SCP?

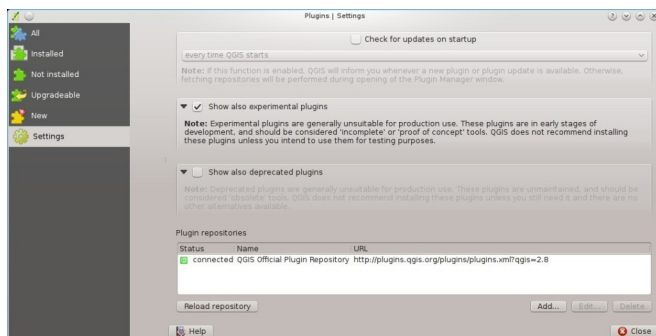
It is possible to install the previous version 7 of SCP using the official repository. Also, this version can be installed along with the SCP version 8.

Для того, щоб встановити модуль з репозиторію SCP, виконайте наступні кроки:

- Запустіть QGIS;
- З головного меню виберіть *Plugins` > Manage and Install Plugins*;



- Клацніть Settings та натисніть кнопку Add;



- В Repository details введіть:

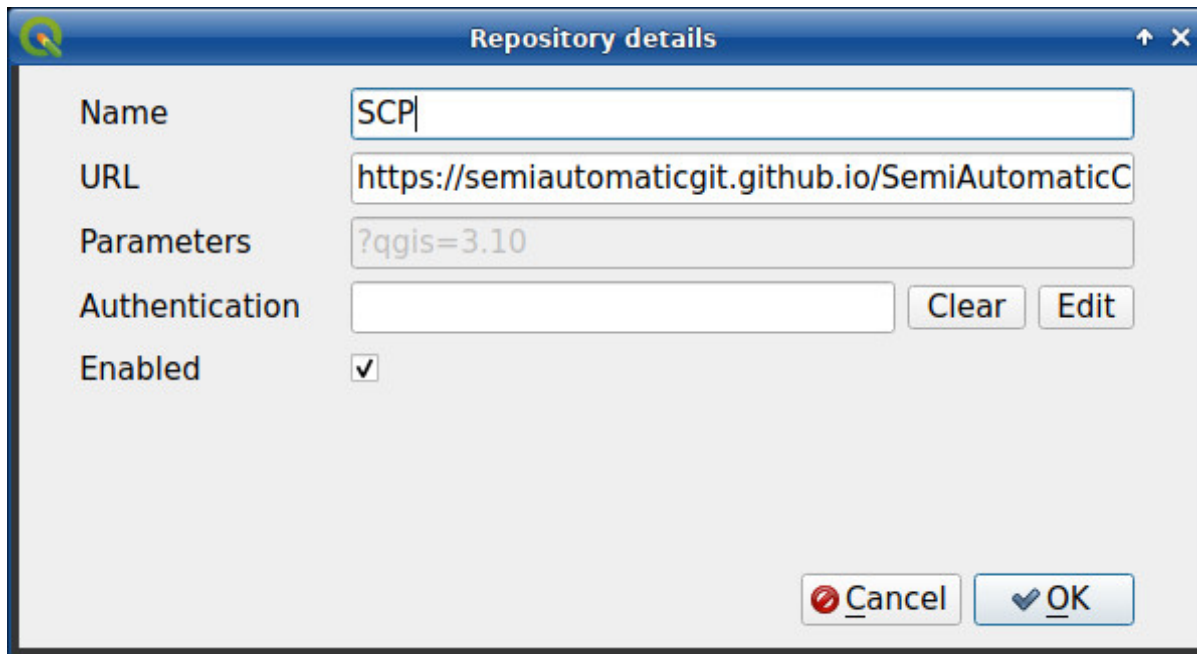
Назва:

SCP

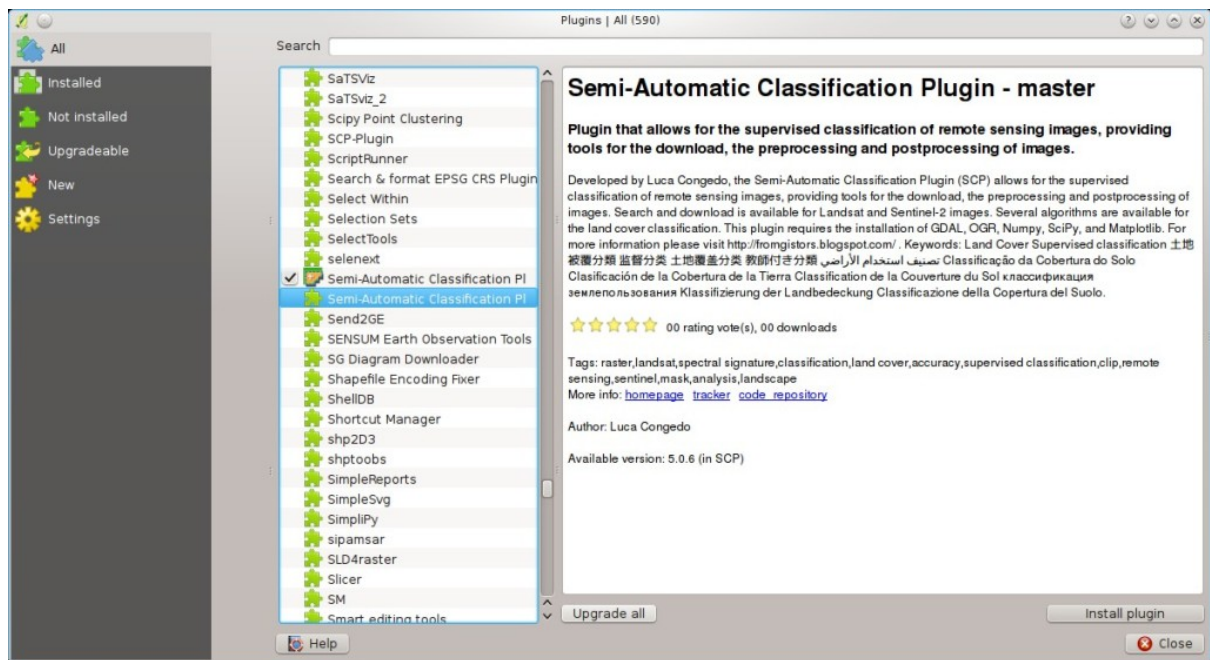
URL:

https://semiautomaticgit.github.io/SemiAutomaticClassificationPlugin_v7/repository.xml

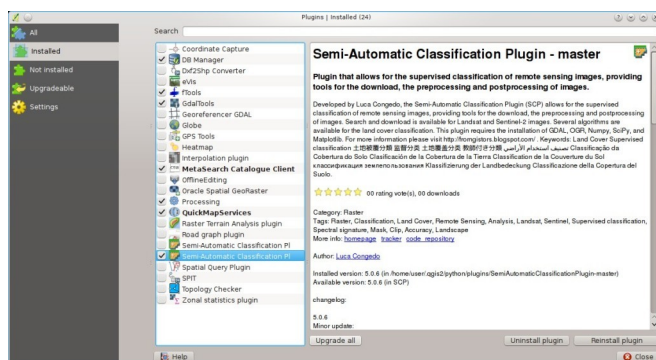
та клацніть OK;



- Після оновлення репозиторію елемент Semi-Automatic Classification Plugin - master повинен бути у переліку з іншими модулями;



- З меню All виберіть Semi-Automatic Classification Plugin - master та натисніть кнопку Install plugin; найбільш остання версія SCP повинна бути автоматично активована (ігноруйте помилки, для завершення встановлення SCP може знадобитись перезапуск QGIS); можливо вимкнути інший SCP, встановлений з репозиторію QGIS;



7.2 Передоброблення

7.2.1 Які канали зображення потрібно використовувати для напівавтоматичної класифікації?

Загалом, бажано уникати термальних інфрачервоних каналів. Якщо ви використовуєте Landsat 4, 5 або 7, то вам слід обирати канали : 1, 2, 3, 4, 5, 7, уникаючи каналу 6, який є термальним інфрачервоним; для Landsat 8 ви повинні обирати канали: 2, 3, 4, 5, 6, 7. Каналу 1 Landsat 8 зазвичай уникають, тому що він дуже подібний до синього каналу і переважно використовується для вивчення аерозолів зони узбережжя. Термальний інфрачервоний канал Landsat виключається з класифікації, тому що його значення переважно пов'язані з температурою об'єктів.

Для зображень Sentinel-2 можна використовувати канали: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8A, 11, 12.

7.2.2 Які канали Landsat можуть бути перераховані SCP у відбивальність?

All Landsat 1,2, and 3 MSS and Landsat 4, 5, 7, and 8 images downloaded from <http://earthexplorer.usgs.gov/> and processed with the Level 1 Product Generation System (LPGS) can be converted to reflectance automatically by the SCP; products generated by the LPGS have a MTL file included that is required for the conversion.

7.2.3 Can I apply the conversion to Sentinel-2 images downloaded from the web?

Yes, you can convert also images downloaded from the web (actually the conversion is recommended). You should move all the bands (.jp2 files) and if available the .xml file whose name contains MDT_SAFL1C in the same directory. Then select this directory in *Image conversion* (page 64). Images are converted to reflectance.

7.2.4 Can I apply the conversion to Sentinel-2 L2A downloaded from the web?

Yes, you should move all the .jp2 files inside the same directory and rename the files with the band number in the ending of the name (e.g. from name_02_10m.jp2 to name_02.jp2) Then select this directory in *Image conversion* (page 64). Images are converted to reflectance.

7.2.5 Чи можу я застосувати перерахунок даних Landsat та корекцію DOS до обрізаних каналів?

Так, ви можете провести відтинання знімків до того, як перераховувати у відбивальність, а потім скопіювати файл MTL (який міститься в оригінальному наборі даних Landsat) до каталогу з обрізаними каналами. Якщо ви бажаєте застосувати корекцію DOS (яка є відносною технікою, що ґрунтується на знімку), то потрібно спочатку перерахувати оригінальні дані каналів Landsat (для всього зображення), а після цього провести відтинання виходових результатів перерахунку (тобто каналів, перерахованих у відбивальність).

7.2.6 Чи можу я застосовувати корекцію DOS до каналів з чорною межею (тобто зі значеннями NoData)?

If you want to apply the DOS correction to an entire band which has NoData values (the black border with value = 0) then you have to check the checkbox **Use value as NoData** and set the value to 0. This is because DOS is an image based technique, and NoData values must be excluded from the calculation.

7.2.7 Як прибрати з зображення хмарний покрив?

DOS1 correction does not remove clouds from the image. However, Landsat 8 images include Band 9 that identifies clouds (see this [NASA site](#)). You can use this band for the creation of a mask.

7.3 Оброблення

7.3.1 Я отримую помилки класифікації. Як я можу покращити точність?

Several materials have similar spectral signatures (e.g. soil and built-up, or forest and other types of dense low vegetation), which can cause classification errors if ROIs, and spectral signatures thereof, are not acquired correctly. In order to improve the results, you can try to collect more ROIs over these areas, in order to train the algorithm for these very similar areas, also, display the spectral signatures of these areas in *Spectral Signature Plot* (page 114) to assess their similarity. You can also use a *Signature*

threshold (page 60) for these signatures in order to reduce the variability thereof (only pixels very similar to the input signatures will be classified).

7.3.2 Чи можливо використовувати одні і ті самі навчальні входові дані для декількох зображень?

Так, це можливо, якщо всі зображення мають однакову кількість каналів. Однак, якщо зображення отримані у різні місяці, зміни земельного покриття (особливо, стан рослинності) впливатимуть на спектральні сигнатури (тобто один і той самий піксель матиме різні спектральні сигнатури у різні періоди). Атмосферні ефекти також можуть по-різному впливати на зображення. Це може знизити точність класифікації. Тому доцільно завжди збирати ROI та спектральні сигнатури для кожного зображення.

7.3.3 Яка різниця між класами та макрокласами?

Дивіться будь ласка *Класи та макрокласи* (page 136).

7.3.4 Чи можу я використовувати SCP для обробки зображень, отриманих дронами, або аерофотознімків?

Так, ви можете працювати з ними, якщо вони мають не менше 4 каналів. Якщо кількість каналів менша, то напівавтоматичні алгоритми не здатні вірно класифікувати земельний покрив. Існують також альтернативні методи класифікації, такі наприклад як об'єктно-орієнтована класифікація, не реалізована у SCP.

7.3.5 Чому при визначенні температури поверхні використовується лише канал 10 Landsat 8?

Було розроблено декілька методів для оцінювання температури земної поверхні. Метод оцінювання температури, описаний в навчальному практикумі, потребує лише одного каналу. Більше того, USGS рекомендує користувачам утримуватись від урахування даних каналу 11 Landsat 8 при кількісному аналізі даних теплового інфрачервоного сенсора (див. *Зміни в даних теплового інфрачервоного сенсора (TIRS) від USGS*).

7.3.6 How can I speed up the processing?

In order to speed up the processing you should set the available RAM and the number of threads available in *System* (page 112). *Available RAM (MB)* should be half of the system RAM (e.g. 1024MB if system has 2GB of RAM) or more if the system has a large amount of RAM (e.g. 10240MB if system has 16GB of RAM). *CPU threads* should be a value lower than the maximum number of system threads (e.g. if the system has 4 available threads set value 3).

Also, several tools allow for selecting the output format *.vrt* avoiding the time required to create a unique *.tif* raster (after multiprocessing), especially useful for large rasters.

7.3.7 How do I perform accuracy assessment and how to design the number of samples?

Accuracy assessment is described in [this tutorial](#).

Sample design is required to provide an adequate number of samples for each class, as described in «Olofsson, et al., 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment, 148, 42 – 57».

The number of samples (N) should be calculated as (Olofsson, et al., 2014):

$$N = \left(\sum_{i=1}^c (W_i - S_i) / S_o \right)^2$$

де:

- W_i = mapped area proportion of class i ;
- S_i = standard deviation of stratum i ;
- S_o = expected standard deviation of overall accuracy;
- c = total number of classes;

To stratify the sample we should conjecture user's accuracy and standard deviations of strata (Olofsson, et al., 2014). One can hypothesize that user's accuracy is lower and standard deviations S_i is higher for classes having low area proportion, but of course these values should be carefully evaluated.

This requires some conjectures about overall accuracy and user's accuracy of each class. We should base these conjectures on previous studies.

As starting values, we could assume $S_o = 0.01$ and perform a rough accuracy assessment with random samples, and eventually calculate the S_i to perform the sampling design. Alternatively, one could start with $S_i = 0.5$ for all the classes. Basically the higher is S_i , the larger is the number of samples for that class.

7.4 Застереження



7.4.1 Застереження [12]: Дана сигнатура буде виключена при використанні алгоритму Максимальної вірогідності. Чому?

ROI занадто маленька (або занадто однорідна) для алгоритму [Максимальної вірогідності](#) (page 138), тому що ця ROI має сингулярну (вироджену) матрицю коваріації. Ви повинні створити більшу ROI або не використовувати алгоритм Максимальної вірогідності для класифікації.

7.5 Помилки

7.5.1 Як я можу повідомити про помилку?

Якщо ви виявили помилку Semi-Automatic Classification Plugin, будь ласка виконайте ці кроки, щоб зібрати необхідну інформацію (файл журналу):

1. закрийте QGIS, якщо вона відкрита;
2. open QGIS, open the Plugin tab [Debug](#) (page 109) and check the checkbox  *Records detailed events in a log file* ;
3. click the button *Test dependencies*  in the tab [Debug](#) (page 109) ;

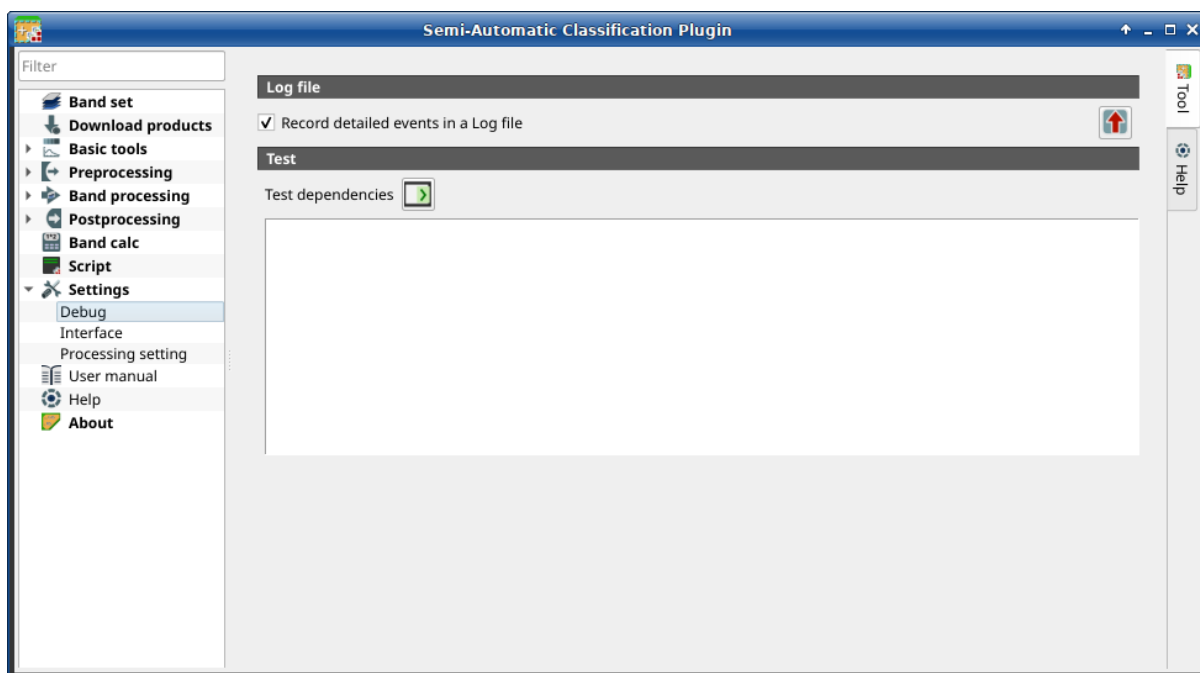


Fig. 1: Налаштування

4. завантажте дані до QGIS (або відкрийте проект QGIS, що був збережений раніше) та повторіть всі кроки, що призводять до помилки в роботі модуля;
 - якщо проблема імовірно пов'язана з даними зображення, будь ласка використайте цей тестовий набір даних ;
5. якщо з'являється повідомлення про помилку (як на наступному рисунку), скопіюйте весь вміст повідомлення до текстового файлу;

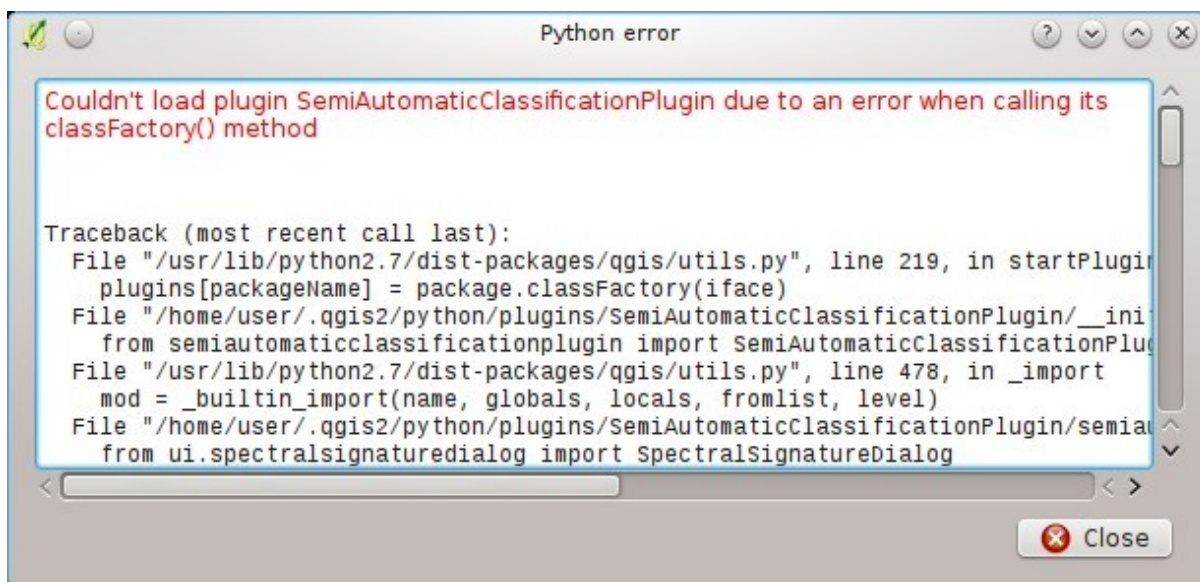



Fig. 2: Повідомлення про помилку

6. open the tab *Debug* (page 109) and uncheck the checkbox ☒ *Records events in a log file*, then click the button  and save the **log file** (which is a text file containing information about the Plugin processes);

7. відкрийте **log-файл** та скопіюйте весь його вміст;
8. join the Facebook [group](#) , create a new post and copy the error message and the **log file** (or attach them).

7.6 Різне

7.6.1 Що я можу робити з SCP?

SCP дозволяє проводити **класифікацію земельного покриття** зображень дистанційного зондування за допомогою *Контрольована класифікація* (page 134). Ви можете створити растр земельного покриття, використавши один з *Алгоритми класифікації* (page 137), доступних у *SCP*. Ці алгоритми потребують спектральних сигнатур або ROI в якості вхідних даних (для визначень будь ласка див. *Короткий вступ до дистанційного зондування* (page 123)), які визначають класи земельного покриття, що будуть ідентифіковані за зображенням.

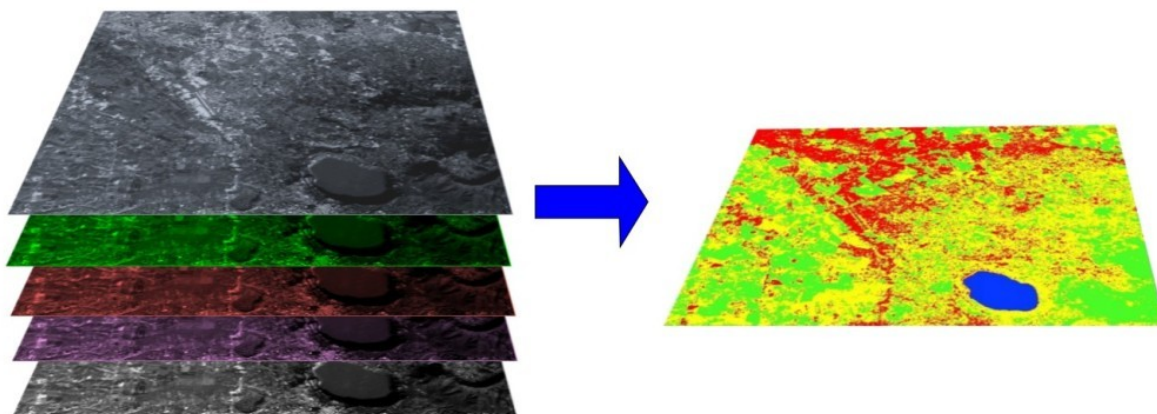


Fig. 3: Багатоспектральне зображення оброблене для створення класифікації земельного покриття (Знімок Landsat надано USGS)

SCP can work with **multispectral images** acquired by satellites, airplanes, or drones. Also, *SCP* allows for the direct search and download of free images (see *Download products* (page 48)). You cannot use orthophotos with less than 4 bands and LIDAR data with *SCP*.

Вхідове зображення у *SCP* називається *Band set* (page 45), який використовується як вхідові дані для класифікації. *SCP* надає декілька інструментів для *Передоброблення* (page 62) завантажених зображень, таких як перерахунок у відбивальність та маніпулювання каналами.

Spectral Signature Plot (page 114) та *Scatter Plot* (page 118) забезпечують **аналіз спектральних сигнатур та ROI**. Крім того, декілька *Basic tools* (page 53) доступні для спрощення створення ROI та редагування спектральних сигнатур.

Raster calculation is available through the seamless integration of the tool *Band calc* (page 99) with bands in the *Band set* (page 45), calculating mathematical expressions and spectral indices.

See the *Basic Tutorials* (page 159) for more information and examples.

7.6.2 Як долучитись та сприяти SCP

Ви можете зробити внесок до *SCP* через виправлення та додавання функціональних можливостей (див. *Де знаходиться вихідний код SCP?* (page 189)) або переклад посібника користувача (див. *Як я можу перекласти цей посібник на іншу мову?* (page 188)).

7.6.3 Як я можу перекласти цей посібник на іншу мову?

Цей посібник користувача легко перекласти на іншу мову, тому що він написаний мовою розмітки reStructuredText (з використанням Sphinx). Тому ваш внесок є принциповим для перекладу посібника вашою мовою. Наступна інструкція ілюструє основні кроки з перекладу, які можуть бути здійснені:

- з використанням онлайн-сервісу Transifex;
- з використанням gettext .po файлів.

Before translating, please [read this document](#) from the QGIS translation guide, which helps you understand the reStructuredText.

Метод 1. Переклад з використанням безкоштовного онлайн-сервісу Transifex

Це мабуть найпростіший спосіб перекладу посібника користувача з використанням онлайн-сервісу.

1. Приєднайтесь до проекту Semi-automatic Classification Manual

Go to the page <https://www.transifex.com/semi-automatic-classification/semi-automatic-classification-plugin-manual> and click the button **Help translate**. You can sign in using your Google or Facebook account, or with a free registration.

2. Select your language

Select your language and click the button **Join team**. If your language is not listed, click the button **Request language**.

3. Переклад

There are several files to be translated, which refer to the sections of the SCP documentation. To translate the SCP interface you should select the file `semiautomaticclassificationplugin.ts`.

Метод 2. Переклад з використанням gettext .po файлів

Для того, щоб використовувати цей метод, ви повинні бути знайомі з GitHub. Цей метод перекладу дозволяє здійснювати переклад PO файлів локально.

1. Завантажте файли перекладу

Перейдіть до проекту GitHub https://github.com/semiautomaticgit/SemiAutomaticClassificationManual_v4/tree/master/locale та завантажте .po файли вашої мови (ви можете додати свою мову, якщо її немає в переліку) або ви можете форкнути репозиторій. Кожний .po файл це текстовий файл, що відповідає певному розділу посібника користувача.

2. Відредагуйте файли перекладу

Тепер ви можете редагувати .po файли. Ці файли зручно редагувати з використанням наступних програм: наприклад **Poedit** для Windows та Mac OS X або **Gtranslator** для Linux або **OmegaT** (на основі Java) для Windows, Linux та Mac OS X. Ці редактори забезпечують простий переклад для кожного речення посібника користувача.

7.6.4 Де знаходиться вихідний код SCP?

The source code of SPC is available at the following link <https://github.com/semiautomaticgit/SemiAutomaticClassificationPlugin>