

Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины»

А. С. СОКОЛОВ

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
В ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ**

**РАБОТА С ДАННЫМИ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Практическое пособие

для студентов
специальности 1-33 01 02 «Геоэкология»

Гомель
ГГУ им. Ф. Скорины
2024

УДК 910.2:004.9:502/504(076)
ББК 26.190я73+20.1я73
С594

Рецензенты:

кандидат сельскохозяйственных наук В. В. Дробышевская,
кандидат географических наук С. В. Андрушко

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом
учреждения образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»

Соколов, А. С.

С594 Геоинформационные системы в экологии и природопользовании. Работа с данными дистанционного зондирования Земли : практическое пособие / А. С. Соколов ; Гомельский гос. ун-т им. Ф. Скорины. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2024. – 44 с.
ISBN 978-985-32-0055-3

Практическое пособие разработано в соответствии с учебной программой дисциплины «Геоинформационные системы в экологии и природопользовании» и посвящено получению космических снимков, глобальных цифровых моделей рельефа и других материалов посредством программы QGIS, расчёту вегетационных индексов и анализу их пространственного распределения, созданию и анализу векторных и растровых цифровых моделей рельефа на основе данных космической съёмки.

Адресовано студентам специальности 1-33 01 02 «Геоэкология».

УДК 910.2:004.9:502/504(076)
ББК 26.190я73+20.1я73

ISBN 978-985-32-0055-3

© Соколов А. С., 2024
© Учреждение образования
«Гомельский государственный университет
имени Франциска Скорины», 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Получение данных дистанционного зондирования Земли и других данных с помощью модулей QGIS.....	5
2. Расчёт вегетационных индексов и составление карт их распределения.....	18
3. Моделирование рельефа на основе данных глобальных цифровых моделей рельефа.....	25
Литература.....	44

ВВЕДЕНИЕ

Геоинформационные системы (ГИС) получили широкое применение в области экологии и природопользования, так как считаются необходимым инструментом для создания электронных карт, с помощью которых возможно фиксировать показатели и следить за состоянием окружающей среды различных территорий. Проведение геомоделирования и создание моделей имитаций явлений, которые происходят в окружающей среде, также входят в перечень возможностей ГИС.

Геоинформационные технологии предоставляют информационный подход для описания процессов в экосистемах и геосистемах с помощью количественных данных. Они также предоставляют научно обоснованные методы оценки состояния различных компонентов путем моделирования механизмов и процессов.

Одним из основных источников информации для решения задач в области экологии и природопользования с помощью ГИС являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), включающие в себя снимки различного разрешения в оптическом, тепловом и радиодиапазоне, глобальные модели рельефа, созданные с помощью радиометрической съёмки и другие материалы, а также продукты, созданные на их основе.

В предлагаемом пособии описаны методы работы с данными ДЗЗ и производными материалами в основном с использованием свободно распространяемой ГИС QGIS. Эта ГИС позволяет просматривать и настраивать векторные и растровые данные в разных форматах и проекциях без необходимости преобразования внутреннего или общего формата. Кроме того, в QGIS имеется функция создания и редактирования векторных данных, а также возможность экспорта их в различные форматы. За счет модульной архитектуры система может быть адаптирована к большому количеству самых разнородных задач.

1. ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ДРУГИХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ МОДУЛЕЙ QGIS

Растровые и векторные данные из внешних источников в геоинформационной системе QGIS могут быть получены посредством модулей (плагинов). Большинство модулей можно скачать из официального репозитория. Для подключения модулей в ГИС QGIS используется команда **Модули > Управление модулями**. Открывается окно *Модули* (рисунок 1). В нём в левой части показаны разделы Все, Установленные (с помощью которого можно посмотреть, какие модули уже установлены), Не установленные (показывают, какие модули можно установить), Установить из ZIP файла (для установки модулей не через официальный репозиторий), Параметры. К настоящему времени разработано и возможно установить более 1 000 модулей, расширяющих возможности QGIS. Найти нужный модуль можно в строке поиска вверху, скачать – выделив его мышью и нажав кнопку **Установить модуль**.

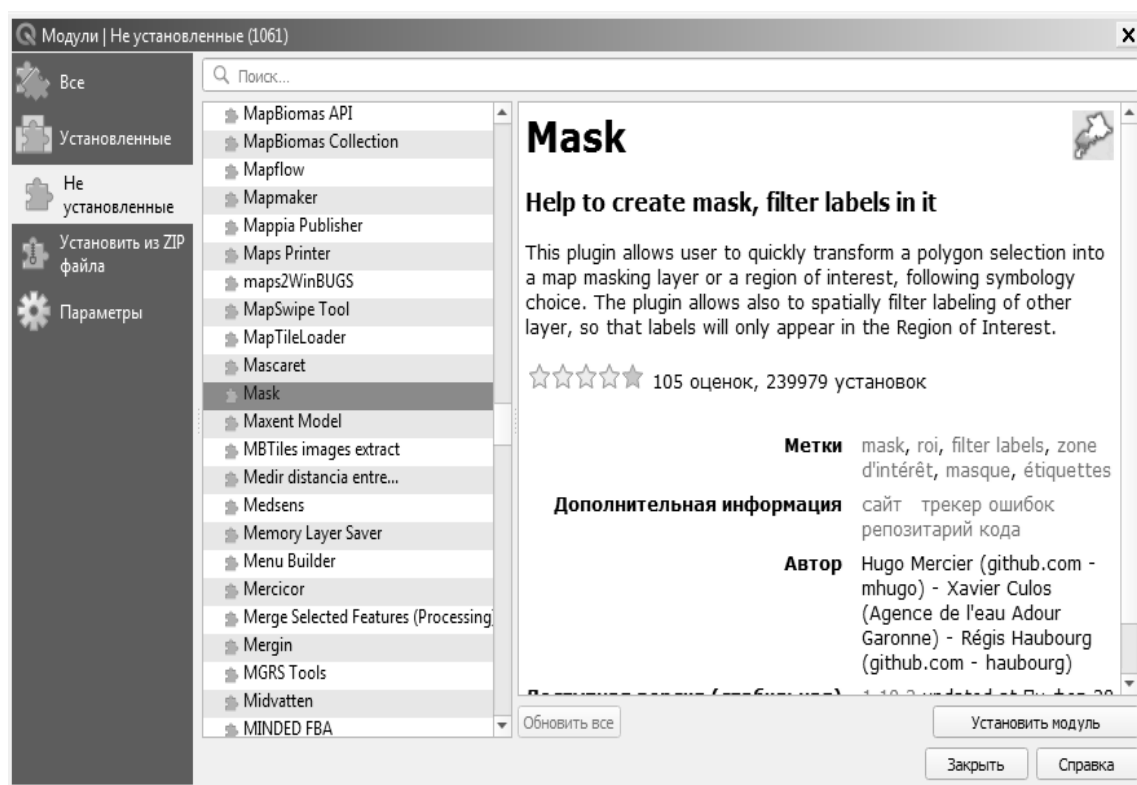


Рисунок 1 – Окно *Модули*

1. Установка картографических подложек. Картографические подложки могут использоваться как базовый слой проекта и позволяют

быстрее ориентироваться в других геоданных. Наиболее известна картографическая подложка OpenStreetMap (OSM), которую можно подключить, дважды щёлкнув на соответствующий пункт в меню XYZ Tiles окна *Браузер* (рисунок 2).

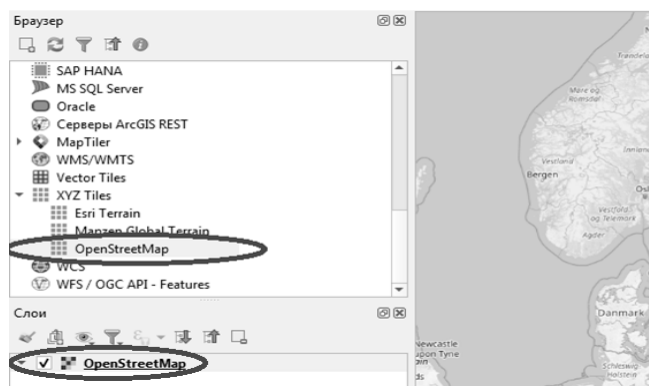



Рисунок 2 – Подключение подложки OpenStreetMap

Большое количество картографических подложек (спутниковые снимки, изображения web-картографических сервисов, кадастровые карты, тематические карты из более тысячи различных сервисов, перечисленных на странице <https://qms.nextgis.com/>) можно получить через модуль QuickMapServices. После его установки необходимо выбрать команды **Интернет > QuickMapServices > Настройки**, вкладка *Дополнительные сервисы*, нажмите кнопку **Получить дополнительные источники данных**. Появится кнопка расширения , с помощью которой (или с помощью команды **Интернет > QuickMapServices**) можно выбрать одну из наиболее популярных подложек для загрузки (рисунок 3).

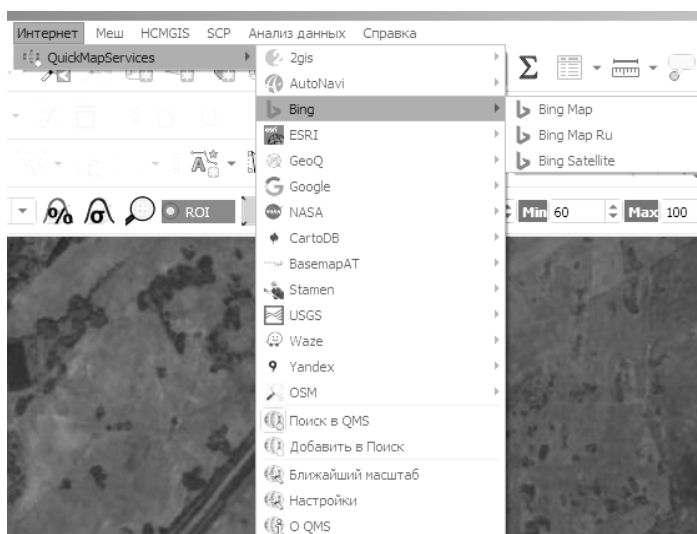


Рисунок 3 – Основные сервисы модуля QMS


Для получения других подложек из данного модуля следует воспользоваться инструментом поиска  или командой **Интернет > QuickMapServices > Поиск в QMS**. В правой нижней части окна *QGIS* появится панель поиска, где в поисковой строке необходимо начать вводить название материалов, которые необходимо получить (в примере на рисунке 4 это космические снимки спутника Sentinel-2). Ниже будут показаны данные, соответствующие вводимому запросу, подключить которые можно с помощью кнопки **Добавить**.



Рисунок 4 – Панель поиска QMS

В компьютерах, подключённых к корпоративным сетям, загрузка данных может блокироваться, в этом случае необходимо выбрать команду **Настройки > Параметры > Сеть** и поставить галочку на пункт *Использовать прокси для доступа к web-ресурсам*.

Для сохранения на диск нужного фрагмента подложки (и вообще, любых растровых слоёв) в виде отдельного геокодированного растрового изображения необходимо с помощью щелчка правой кнопкой мыши на слое данной подложке в панели *Слои* вызвать контекстное меню и выбрать команду **Экспорт > Сохранить как**. В окне *Сохранить растр как...* выбрать пункт *Данные* (если необходимо сохранить не вид самого изображение на экране, а какие-либо числовые данные, привязанные к каждому пикселу растра, например, для растровых моделей рельефа это может быть значение высоты) либо *Изображение* (если необходимо сохранить только изображение), убрать галочку с пункта


Создать VRT, выбрать формат файла (по умолчанию GeoTIFF), выбрать название и расположение сохраняемого файла в пункте *Имя файла*, систему координат слоя, а также определить охват, то есть границы файла. В этом пункте можно либо вручную задать координаты границ файла, либо воспользоваться одним из вспомогательных инструментов – *Охват текущего слоя* (сохраняет всё изображение, не подходит для подложек, так как они, как правило, охватывают весь мир или его крупные части), *Охват окна* (сохраняет часть изображения, которая в данный момент визуализирована в окне программы). Также можно сохранить часть изображения на растровом слое в границах какого-либо другого открытого слоя (тогда в пункте *Calculate from* в меню *Слой* необходимо выбрать этот слой).

Далее необходимо выбрать разрешение слоя вертикальное и горизонтальное, соответствующее количеству столбцов и строк пикселей в сохраняемом изображении (оно показано в соответствующей строке окна). Эти величины зависят от пространственного размера конкретного изображения и необходимой степени детальности. Чем выше разрешение, тем больший объём памяти оно занимает. Кнопка **ОК** запускает процесс скачивания; если поставить галочку на пункт *Добавить сохранённый слой на карту*, то после загрузки оно появится в окне программы в виде отдельного слоя.

Ряд растровых подложек, в том числе космоизображений, из различных сервисов (Google, Carto, ESRI) можно получить с помощью модуля HCMGIS. Кроме них с помощью данного модуля можно получить и векторные слои данных, например, данные OSM для отдельных стран из OSM Geofabrik, слои различных уровней административного деления всех стран из GDAL и WOF и др. Для получения слоёв административного деления выбрать команду **HCMGIS** (которая появится после установки модуля) > **Download OpenData** > **Global Administrative Areas by Country from GDAL** или **Global Administrative Areas by Country from WOF**, в появившемся окне выбрать страну, папку для сохранения файлов слоёв и нажать **Применить** для начала скачивания.



Помимо получения растровых и векторных данных модуль HCMGIS имеет ряд инструментов пространственных операций – создание осевой линии рек, дорог и других линейных структур, а также в промежутках между полигонами, поиск ближайшей/самой дальней пары точек, наибольшего пустого круга из набора точек; объединение/разделение полей данных, преобразование данных CSV в слой точек и некоторые другие.

2. Скачивание космических снимков. Космические снимки в виде набора изображений в различных спектральных диапазонах можно скачать в QGIS с помощью модуля Semi-Automatic Classification Plugin. Он позволяет не только скачивать снимки, но и является мощным инструментом по их дешифрированию и анализу.

Для поиска и загрузки снимков необходимо предварительно включить слой OpenStreetMap, и приблизить на экране район, для которого необходимо скачать снимок. В окне *Semi-Automatic Classification Plugin* слева выбрать раздел Downloads products. Для скачивания снимков необходимо предварительно зарегистрироваться на сайте <https://urs.earthdata.nasa.gov> и ввести полученные логин и пароль во вкладке. Выбор параметров снимка осуществляется во вкладке *Search* (рисунок 5). Здесь необходимо определить область, для которой осуществляется поиск снимка. Её можно задать вручную в строке координат (обозначена цифрой (1) на рисунке 5), введя координаты правого верхнего и левого нижнего углов прямоугольной области либо с помощью кнопки  (в строке координат справа) отметить нужную территорию на карте (слое OpenStreetMap), щёлкнув сперва на левый верхний угол правой кнопкой мыши, а затем на правый нижний угол левой кнопкой мыши. Нет необходимости стремиться к точному выделению необходимой области, так как размер скачиваемого снимка очень большой, и он будет скачиваться целиком, а не в точности на выделенную область.

Затем выбрать тип скачиваемого продукта (2): данные спутников Sentinel-2 или серии Landsat, данные спектрорадиометра MODIS спутников Terra и Aqua, данные комплекса Aster спутника Terra, цифровую модель рельефа Copernicus.

Далее выбрать временной промежуток, для которого осуществляется поиск снимков (3), максимальную степень покрытия облаками площади снимка (4), максимальное количество показанных снимков из числа найденных, соответствующих введённым параметрам (5), если необходимо показать все снимки, следует указать 999.

Процесс поиска запускает кнопка  Find. Результаты поиска отображаются в окне (6), где показан список найденных снимков и их характеристики – порядковый номер (по хронологии), тип продукта, название, дата съёмки, степень покрытия облаками, координаты границ снимка и другие параметры. В данном окне будут показаны все снимки, на которых полностью или частично отображается выбранная в строке координат область. Если в окне (6) выделить один из снимков мышью, то в окне (7) появится его уменьшенное изображение в естественных цветах для визуальной оценки. Кнопка  справа от окна (7) позволяет для этого же загрузить цветное геокодированное изображение снимка низкого качества в окно *QGIS* в натуральном размере.

Search parameters

UL 61.005608665657 53.204678268848 53.173275010552

LR 61.016912912824

Date from 2023-03-24 to 2024-03-23

Max cloud cover (%) 10

Products Sentinel-2_HLS

Results 999

Advanced search

OSM Add OpenStreetMap to the map (© OpenStreetMap contributors. The cartography is licensed as CC BY-SA. Tile Usage Policy)

Product list

product	image	product_id	acquisition_date	cloud_cov
100 Sentinel-2_HLS	HLS.S30.T41IULU.2023154T070629.v2.0	HLS.S30.T41IULU...	2023-06-03	2
101 Sentinel-2_HLS	HLS.S30.T41IULU.2023156T065621.v2.0	HLS.S30.T41IULU...	2023-06-05	0
102 Sentinel-2_HLS	HLS.S30.T41IULU.2023161T065629.v2.0	HLS.S30.T41IULU...	2023-06-10	6
103 Sentinel-2_HLS	HLS.S30.T41IULU.2023181T065629.v2.0	HLS.S30.T41IULU...	2023-06-30	1
104 Sentinel-2_HLS	HLS.S30.T41IULU.2023189T070631.v2.0	HLS.S30.T41IULU...	2023-07-08	2
105 Sentinel-2_HLS	HLS.S30.T41IULU.2023191T065629.v2.0	HLS.S30.T41IULU...	2023-07-10	4
106 Sentinel-2_HLS	HLS.S30.T41IULU.2023211T065629.v2.0	HLS.S30.T41IULU...	2023-07-30	9
107 Sentinel-2_HLS	HLS.S30.T41IULU.2023264T070629.v2.0	HLS.S30.T41IULU...	2023-09-21	0
108 Sentinel-2_HLS	HLS.S30.T41IULU.2023289T070851.v2.0	HLS.S30.T41IULU...	2023-10-16	9
109 Sentinel-2_HLS	HLS.S30.T41IULU.2023341T070259.v2.0	HLS.S30.T41IULU...	2023-12-07	0

Download

Bands 1 2 3 4 5 6 7 8 8A 9 10 11 12 Ancillary data



Only if preview in Layers Preprocess images Load bands in QGIS Virtual download



RUN

1: Search parameters section
 2: Product list table
 3: Max cloud cover (%) field
 4: Find button
 5: Download products button
 6: Product list table
 7: Satellite image
 8: Download bands section


Рисунок 5 – Окно раздела Download Products модуля Semi-Automatic Classification Plugin (обозначения в тексте)


Оно также позволяет визуально оценить пригодность снимка для дальнейшей работы с ним, например, чтобы определить, хорошо ли видна нужная территория на выбранном снимке, точные границы снимка, характер облачности и т. д.

Кнопка  позволяет очистить список полностью, например, для нового поиска (если его не очистить, но результаты нового поиска будут добавляться к уже существующим), кнопка  позволяет убрать из списка выбранные снимки.

В итоге, когда снимок выбран, необходимо удалить все остальные снимки из списка кнопкой , выбрать в разделе Download внизу (8), какие именно каналы (спектральные диапазоны) из существующих в данном типе продукта необходимо загрузить и отметить их галочкой (по умолчанию галочки стоят на всех каналах, а также на пункте *Ancillary Data*, который позволяет дополнительно загрузить файл с дополнительной информацией о снимке), убрать галочку с пункта *Only if preview in Layers* и поставить галочку на пункт *Load bands in QGIS*, для того, чтобы скачанные слои были сразу загружены в QGIS. После всего этого для начала скачивания нажать кнопку **Run**  и выбрать папку для сохранения.

После скачивания снимка программа автоматически осуществляет его атмосферную радиометрическую коррекцию и также сохраняет уже скорректированный снимок в выбранную папку в папке с префиксом RT в названии.

3. Скачивание глобальных цифровых моделей рельефа. Цифровые модели рельефа (ЦМР) доступны для скачивания с помощью модуля OpenTopography DEM Downloader. Окно для задания параметров скачивания вызывается кнопкой  (рисунок 6). Предварительно нужно зарегистрироваться на сайте <https://opentopography.org> и получить API-ключ. В окне модуля в меню Select DEM to download выбрать конкретную модель из предложенных вариантов – SRTM (разрешением 30 и 90 м), Copernicus, ALOS и др.

Затем в строке *Define extent to download* определить охват изображения, то есть границы, в пределах которых скачается ЦМР. Это можно осуществить с помощью кнопки вызова контекстного меню (рисунок 7). В строке *Output Raster* с помощью кнопки  можно выбрать папку для сохранения и название файла. По умолчанию файл загружается в виде временного слоя, который можно сохранить позже, в противном случае он не сохранится после закрытия программы. После скачивания (кнопка **Выполнить**) слой рельефа загрузится в окне программы в виде слоя.

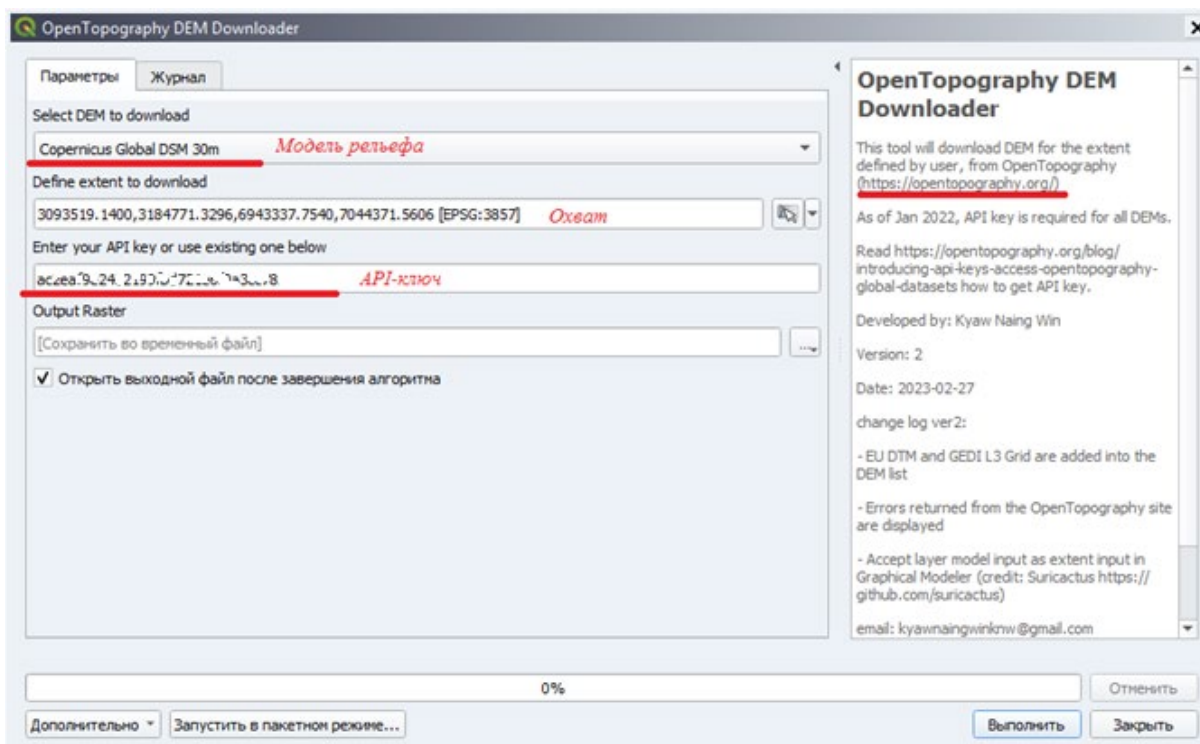
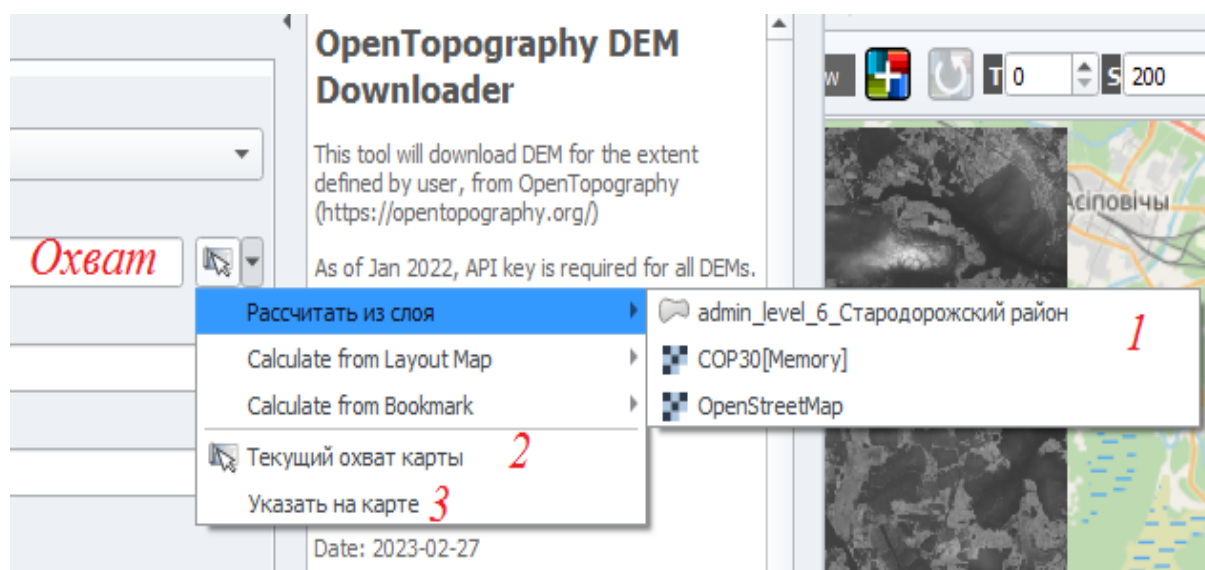



Рисунок 6 – Окно модуля OpenTopography DEM Downloader




- 1 – рассчитать из существующего слоя, то есть границы модели рельефа будут такими же, как границы выбранного другого слоя;
- 2 – текущий охват карты, то есть модель рельефа скачивается на всю территорию, отображённую в данный момент в окне карты;
- 3 – указать на карте, то есть при выборе данного варианта необходимо мышью выделить прямоугольник на карте, в пределах которого скачивается модель рельефа

Рисунок 7 – Определение охвата для скачивания ЦМР

4. Скачивание векторных слоёв из проекта OpenStreetMap.

Для работы с данными OSM предназначены несколько модулей QGIS. Модуль OSMInfo позволяет получить информацию об объектах, изображённых на карте-подложке OSM. После установки модуля появляется кнопка , нажав на которую курсор приобретает вид синей стрелки, кликнув которой на любую точку слоя, можно получить информацию об объектах, включающих эту точку.

Модуль QuickOSM позволяет скачать слои определённых объектов по их атрибутам или всех объектов как в пределах прямоугольной области, так и в пределах определённой территории (например, административного района или населённого пункта). Нажатие кнопки , появляющейся после загрузки модуля либо выполнения команды **Вектор > Quick OSM > Quick OSM** вызывает окно *QuickOSM*, предназначенное для установления параметров скачивания (рисунок 8).

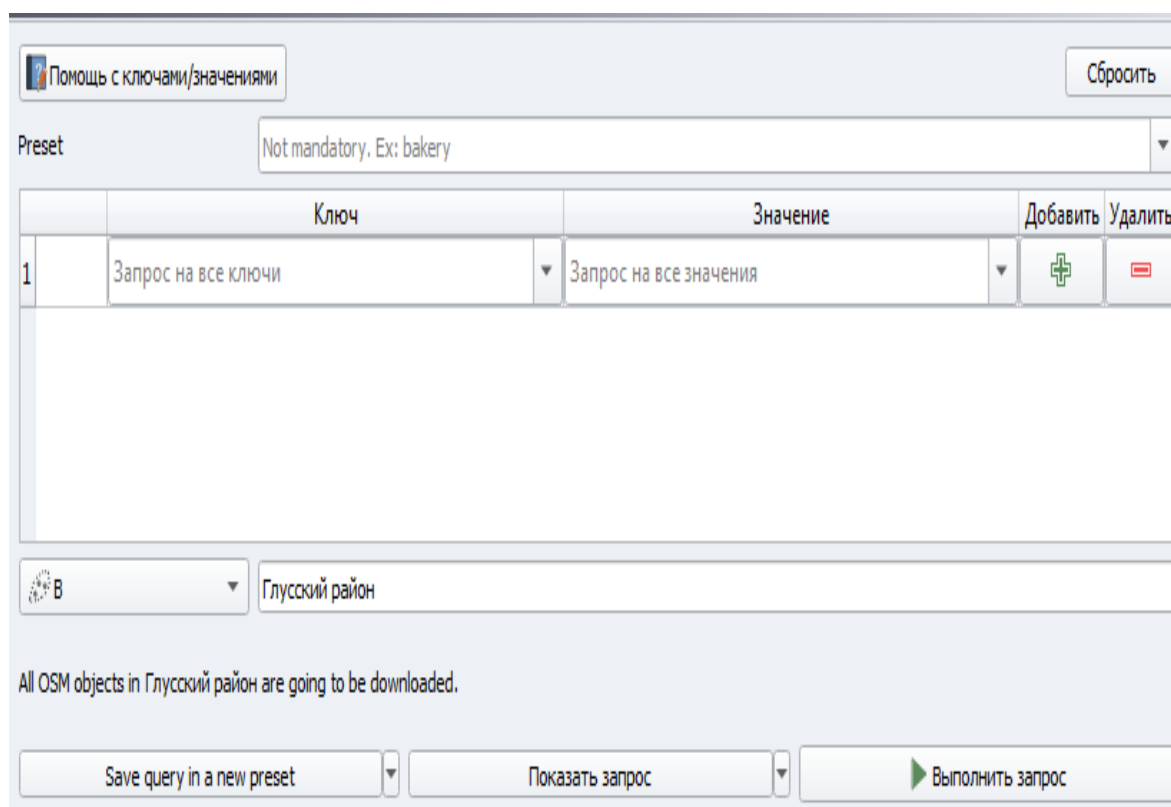


Рисунок 8 – Окно *QuickOSM*

В простейшем случае, если не выбирать никаких атрибутов, то будут скачаны точечные, линейный и полигональный слои со всеми имеющимися на них соответствующими объектами в пределах определённой заданной территории. Охват территории определяется с помощью контекстного меню, где возможны следующие варианты:


– «В» – скачиваются все объекты в пределах площадного объекта, название которого следует вписать в строку справа; это может быть страна, область, район, населённый пункт и другой площадной объект, название которого имеется в базе данных OSM;

– «Покрывать слой» – скачиваются все объекты в пределах объектов открытого слоя; при этом нужно выбрать такой слой в контекстном меню справа;

– «Покрывать холст» – скачиваются все объекты в пределах области, отображённой в окне *QGIS*;

– «Вокруг» – скачиваются все объекты на определённом расстоянии от заданного, название которого необходимо ввести в строку справа; величину расстояния также необходимо указать справа от названия объекта.

Кнопка **Выполнить запрос** запускает процесс скачивания. Скачанные точечный, линейный и полигональный слои открываются в программе в виде временных слоёв.

В связи с тем, что скачанные слои данных OSM включают абсолютно все объекты с соответствующей геометрией (то есть очень большое число разнородных объектов и сложной структурой таблицы атрибутивной информации), они, как правило, непригодны для непосредственного использования при дальнейшем анализе данных. Необходимо последовательно извлекать из общего массива объекты определённых классов с помощью инструментов раздела Вектор–Выборка панели инструментов анализа данных (**Анализ данных > Панель инструментов**; если команда **Анализ данных** отсутствует в командной строке, необходимо подключить её: **Модули > Управление модулями**, выбрать раздел Установленные, поставить галочку напротив модуля  Processing).

Если необходимо скачать не все, а только определённые классы объектов, то необходимо указать их в полях *Ключи* и *Значения*. При этом необходимо знать названия полей, в которых записывается информация об идентификации объектов данных классов и значения, применяемые для их идентификации. Эту информацию можно найти на информационном ресурсе, посвящённом проекту OSM https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Category:RU:Объекты_карты или на сайте <https://softculture.cc/blog/entries/articles/osm-tags-1#title-2.8>.

Следует быть внимательным при задании ключей и значений, так как встречаются ситуации, когда схожие объекты идентифицируются с помощью разных тегов (тег в данном случае представляет собой идентификатор объекта вида *ключ=значение*. Например, леса могут иметь теги *natural=wood* и *landuse=forest*. Особо охраняемые природные террито-

рии имеют тег `boundary=protected_areas`, однако конкретно национальные парки – `boundary=national_park` и т. д. Полигоны административных единиц имеют следующие теги (на примере Беларуси):

- `admin_level=2` – страна;
- `admin_level=4` – область;
- `admin_level=6` – районы;
- `admin_level=8` – сельсоветы и городские населённые пункты;
- `admin_level=10` – сельские населённые пункты.

Если необходимо скачать объекты с различными тегами, то с помощью кнопок **Добавить** и **Удалить** осуществляется добавление и удаление строк с соответствующими тегами в таблицу ключей и значений (рисунок 9). При добавлении второй и последующих строк необходимо выбрать оператор **Or** (если нужно скачать и все объекты с одним тегом, и все объекты с другим) или **And** (если скачиваются объекты, содержащие оба тега одновременно).

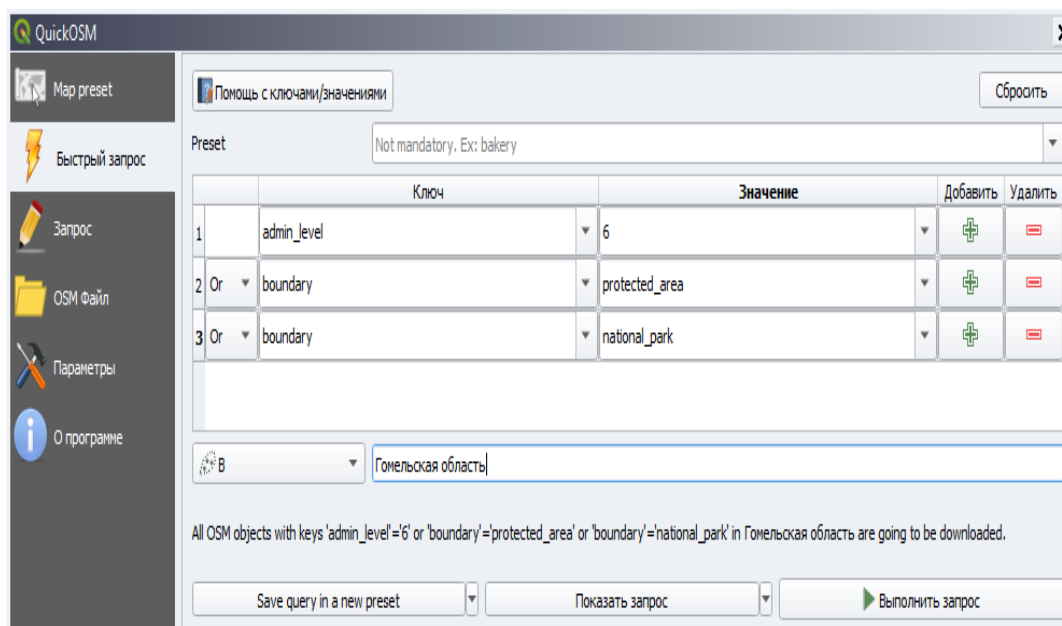



Рисунок 9 – Заполнение строк ключей и значений в окне *QuickOSM*

Модуль *OSMDownloader* также позволяет скачивать данные OSM. После его установки появляется кнопка , при нажатии на которую курсор приобретает форму крестика, которым необходимо выделить на карте в окне *QGIS* прямоугольную область, для которой будут скачаны данные. В появившемся окне *OSM Downloader* необходимо выбрать папку, куда будут сохранены данные, и название файла. В данном случае данные скачиваются в формате геопакета с расширением `.osm`; файл в формате геопакета может содержать в себе векторные слои с различной

геометрией, растровые слои и атрибутивные данные, что позволяет хранить сложные наборы геопространственных данных в одном файле с использованием пространственной индексации.

Для извлечения на отдельные слои отдельных классов объектов из точечных, линейных и полигональных слоёв OSM может использоваться инструмент *Извлечь по атрибуту* раздела Вектор–Выборка панели инструментов анализа. Например, необходимо из слоя линейных объектов извлечь на отдельный слой водотоки (имеющие ключ *waterway*). Выбираем команду **Извлечь по атрибуту**, в появившемся окне выбираем исходный слой (линейный слой OSM), в пункте *Атрибут выбора* выбираем соответствующий ключ (*waterway*), а в пункте *Оператор* выбираем не *null* (это значит, что мы выбираем объекты с любыми значениями ключа *waterway*, то есть те объекты, для которых в таблице атрибутов значение ячейки в колонке *waterway* не является пустым) (рисунок 10).

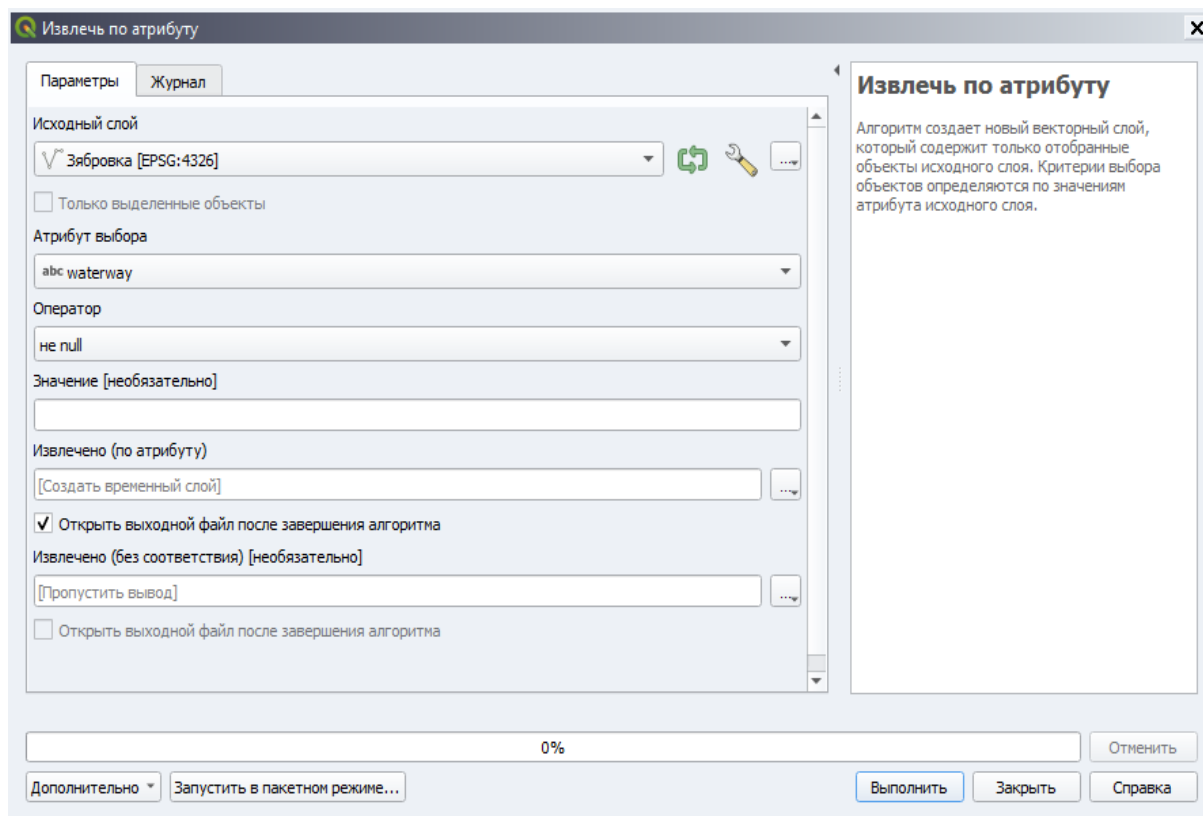


Рисунок 10 – Окно инструмента *Извлечь по атрибуту*

Кнопка **Выполнить** запускает процесс создания нового слоя, на котором будут только объекты, соответствующие заданным параметрам. Если необходимо ещё больше детализировать слои и создать отдельные слои для различных значений ключа *waterway*, например, реки (*waterway=river*), ручьи (*waterway=stream*), каналы и канавы

(waterway=drain и waterway=ditch), то в этом же окне *Извлечь по атрибуту* в пункте *Операторы* выбираем «=», а в пункте *Значение* прописываем соответствующее значение (например, river). Тогда будет создан слой, включающий только объекты с одинаковым значением ключа.

Задания

1. Для территории административного района (по вариантам) в ГИС QGIS получить:

- космоизображение спутника Sentinel-2 в естественных цветах;
- космоизображение спутника Landsat в псевдоестественных цветах (GLAD LANDSAT MOSAIC);
- космоизображения с сервисов ESRI Imagery, Google Hybrid, Yandex Satellite и OSM;
- космический снимок спутника Sentinel-2 в виде набора изображений в различных спектральных диапазонах;
- файл глобальной цифровой модели рельефа Copernicus 90 m.

Таблица 1 – Варианты для выполнения задания

Вариант	Район	Вариант	Район
1	Речицкий	8	Дрогичинский
2	Калинковичский	9	Новогрудский
3	Житковичский	10	Барановиичский
4	Мозырский	11	Слонимский
5	Борисовский	12	Светлогорский
6	Березинский	13	Оршанский
7	Лидский	14	Лепельский

2. Получить данные в виде векторных слоёв точек, линий и полигонов из проекта OSM на территорию административного района. Извлечь на отдельные слои полигоны самого района (adm_level=6), сельских советов и населённых пунктов, не входящих в состав сельсоветов (adm_level=8), деревень (adm_level=10), также создать отдельные слои для каждого значения колонок “natural”, “landuse”, “building”, “leisure”, “amenity”, “man_made”. Чтобы не запутаться сохраняем созданные слои под названием, включающим название колонки и через запятую значением атрибута, например, “Natural, wood”. Аналогично создать Слои линейных объектов для каждого значения колонок “waterway”, “man_made”, “highway”, “power”, “railway”, слои точечных объектов для каждого значения колонок “public transport”, “man_made”, “tourism”.

2. РАСЧЁТ ВЕГЕТАЦИОННЫХ ИНДЕКСОВ И СОСТАВЛЕНИЕ КАРТ ИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Вегетационные индексы – показатели, которые применяют для оценки состояния растительности. Они основываются на значениях яркости пикселей на космическом снимке в различных спектральных диапазонах. В настоящее время существует около 160 их вариантов. Они подбираются экспериментально (эмпирическим путем), исходя из известных особенностей кривых спектральной отражательной способности растительности и почв.

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной способности растений. На красную зону спектра (0,62–0,75 мкм) приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону (0,75–1,3 мкм) – максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Поэтому высокая фотосинтетическая активность (связанная, как правило, с большой фитомассой растительности) ведет к более низким значениям коэффициентов отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной зоне. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов и анализировать её состояние и динамику.

Существует большое количество вегетационных индексов, учитывающих различные особенности растительности и связи между её массой и яркостями на снимке. Наиболее распространённым вегетационным индексом является нормализованный разностный вегетационный индекс *NDVI*, вычисляемый по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где *NIR* – интенсивность отражённого излучения в ближнем инфракрасном диапазоне;

RED – интенсивность отражённого излучения в красном диапазоне.

Значения *NDVI* варьируются от –1,0 до 1,0, где отрицательные значения чаще всего указывают на наличие облаков, водной поверхности или снега, а значения, близкие к нулю – на скалы или оголенную почву. Чем больше значение индекса, тем больше зелёной фитомассы растительности.

Для расчёта *NDVI* в QGIS необходимо иметь космический снимок с красным и ближним инфракрасным спектральными каналами. Номера этих

каналов будут различными для снимков, полученных с помощью различных съёмочных систем. Так, в снимках спутников Landsat-5 и Landsat-7 изображение в красном диапазоне идёт под номером 3, а в ближнем инфракрасном – 4, спутников Landsat-8 и Landsat-9 – соответственно 4 и 5, а спутника Sentinel-2 – 4 и 8. Кроме того, границы диапазонов у различных съёмочных систем несколько различаются, например, красный канал спутника Sentinel-2 имеет границы 650–680 нм, а ближний инфракрасный – 785–899 нм; красный канал спутника Landsat-8 имеет границы 636–673 нм, а ближний инфракрасный – 851–879 нм. Отличается также и разрешение – у Sentinel-2 оно составляет 10 м, у спутников серии Landsat – 30 м. Все эти нюансы необходимо помнить при анализе вегетационных индексов.

Космические снимки имеют растровый формат, поэтому расчёт *NDVI* (и других вегетационных индексов) осуществляется для каждого пиксела изображения. В пределах одного пиксела на снимке анализируется отражённое излучение от всех объектов на земной поверхности, соответствующей размеру одного пиксела, в совокупности.

Расчёт *NDVI*, как и всех других показателей, связанных с математическими операциями над числовыми значениями характеристик пикселов различных растровых слоёв, осуществляется с помощью инструмента *Калькулятор растров* (команда **Растр > Калькулятор растров**). В соответствующем окне (рисунок 11) в поле *Каналы растра* показаны все открытые растровые слои (необходимо, чтобы были открыты космические снимки в ближнем и ближнем инфракрасном диапазонах). В нижней части окна, в поле *Выражение* необходимо ввести выражение, соответствующее вышеприведённой формуле для расчёта *NDVI*, при этом спектральные каналы выбираются двойным щелчком мыши по их названиям в поле *Каналы растра*, а операторы – с помощью кнопок в панели *Операторы*.

Затем выбрать, в какую папку и под каким названием будет сохранён новый созданный растр, содержащий результаты вычисления *NDVI* для каждого пиксела, либо выбрать вариант *Создать временный растр вместо его записи на диск*. Кнопка **ОК** запускает процесс создания этого растрового слоя. В свойствах этого слоя (окно *Свойства*, раздел *Стиль*) должны стоять минимальное значение (Мин) «-1», а максимальное (Макс) «1». Если нужно, проставить эти значения вручную. Поскольку снимок ориентирован не вдоль земной оси, а вдоль трассы полёта спутника, то при его развороте в соответствии с географической системой координат появляются участки отсутствия данных, как правило, чёрного цвета (рисунок 12). Для избавления от таких чёрных участков необходимо в разделе *Прозрачность* окна *Свойства* выставить 0 в строке *Дополнительные значения 'нет данных'*.

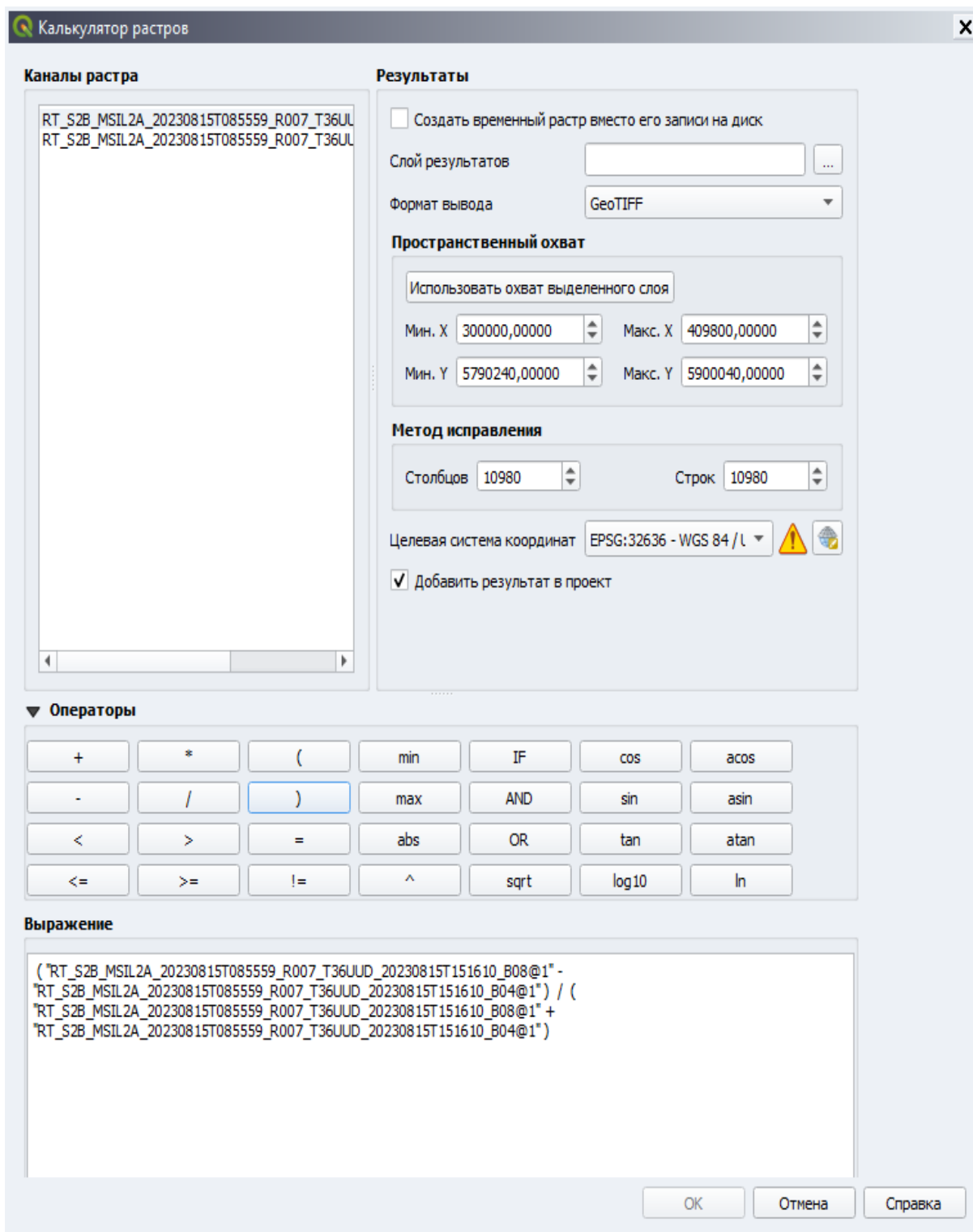


Рисунок 11 – Окно инструмента *Калькулятор растров*

В исходном виде данный слой является чёрно-белым, где оттенок каждого пиксела тем светлее, чем больше величина *NDVI* для данного пиксела. Для улучшения визуального восприятия распределение *NDVI* можно показать в виде цветного изображения.

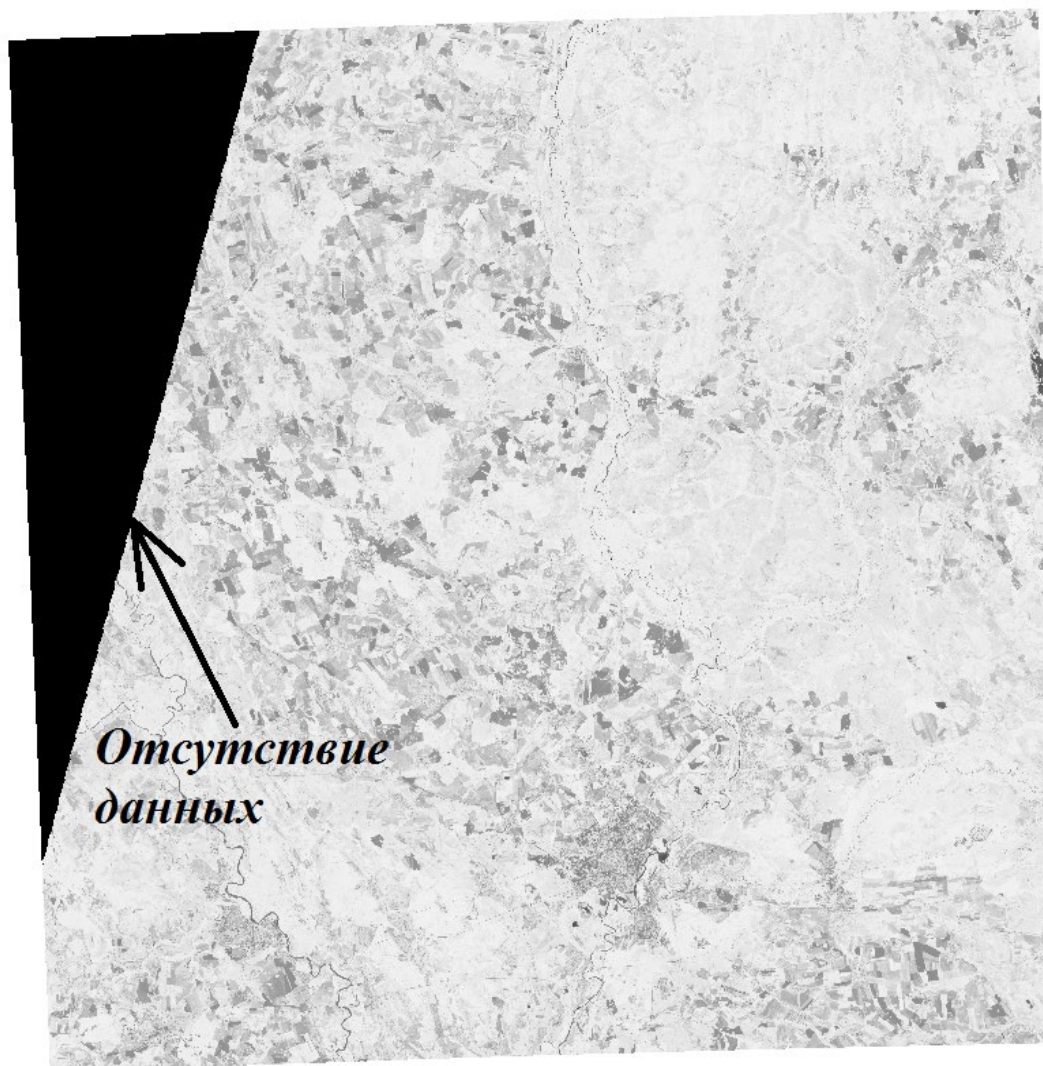


Рисунок 12 – Участок отсутствия данных на космическом снимке

В окне *Свойства*, разделе *Стиль* в пункте *Изображение* заменить вариант *Одноканальное серое* на *Одноканальное псевдоцветное*; в пункте *Интерполяция* выбрать *Дискретная*, в пункте *Режим* внизу окна – *Равные интервалы*. Количество интервалов определить так: все отрицательные значения до 0 – первый интервал, далее через каждые 0,1 (0–0,1; 0,1–0,2 и т. д.) или через каждые 0,2 (0–0,2; 0,2–0,4 и т. д.). Можно выбрать и другие варианты распределения значений *NDVI* по интервалам, например, детализировать или обобщить определённые диапазоны значений. Вручную задать границы интервалов, учитывая, что в данном случае в колонке «*Значение <=*» указывается верхняя граница интервалов (рисунок 13). В колонке *Подпись* можно настроить вид подписи, например, текущий вид записи *X–Y* можно заменить на вид «от *X* до *Y*». Количество знаков после запятой в подписи можно изменить в пункте *Точность подписи*.

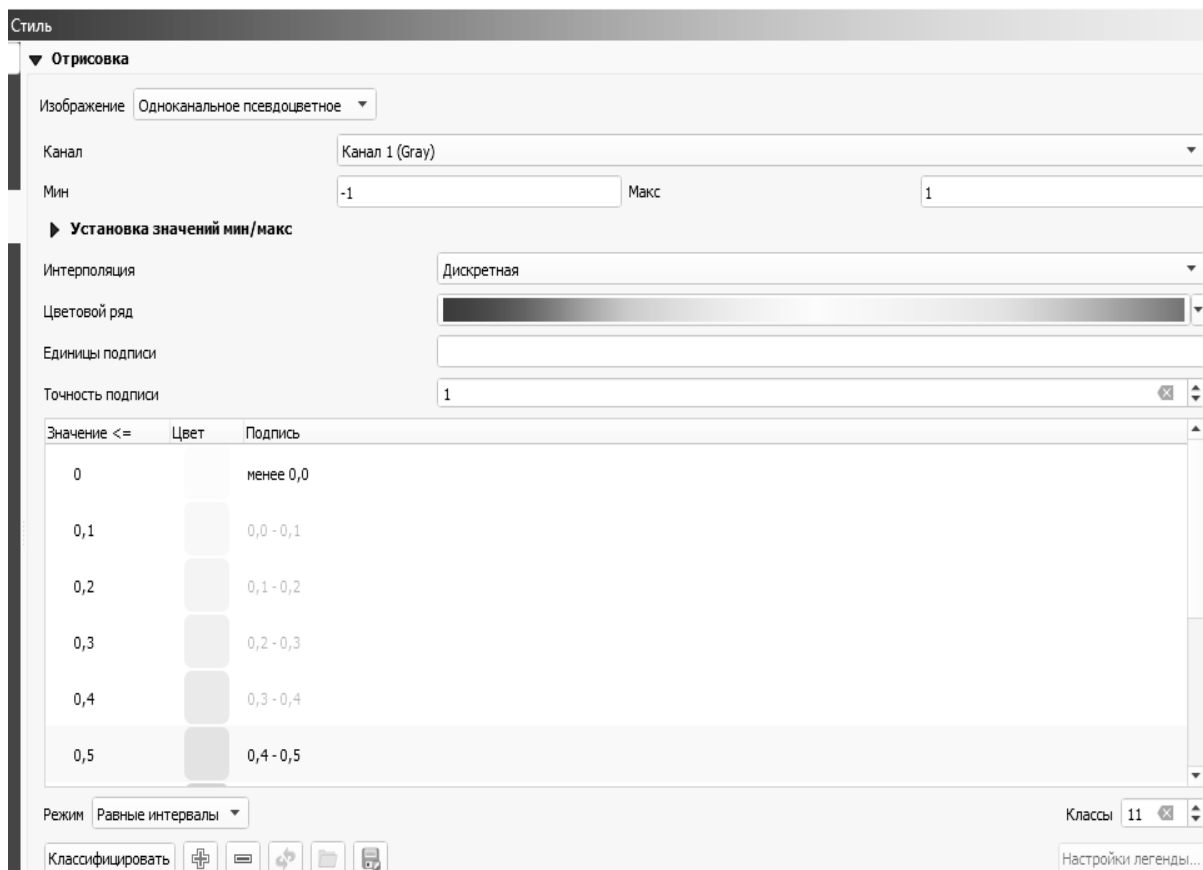


Рисунок 13 – Настройка цветного изображения распределения *NDVI*

Обычно распределение значения *NDVI* оценивается для территории районов, городов, особо охраняемых природных территорий, ландшафтов, речных бассейнов и прочих подобных объектов. Поэтому возникает необходимость вырезать из всего большого изображения, размер которого соответствует размеру космического снимка, территорию, соответствующую оцениваемому объекту.

Эту операцию можно выполнить с помощью команды **Растр > Извлечение > Обрезать растр по маске**, используя векторный или растровый полигональный объект в качестве шаблона (маски) для вырезания. В окне *Обрезать растр по маске* в качестве исходного слоя выбрать растровый слой, из которого нужно вырезать полигон. В качестве слоя маски выбрать слой, на котором расположен полигональный объект, используемый в качестве маски. Если на этом слое расположено более одного объекта, то предварительно необходимо выделить нужный полигон, а в окне *Обрезать растр по маске* поставить галочку на пункте *Только выделенные объекты*. После нажатия кнопки **Выполнить** будет создан новый растровый слой в границах только выбранного полигона, он будет открыт в виде временного слоя с названием «Кадрированный (по маске)».

Для лучшего отображения пространственной динамики индекса по территории, можно создать слой геометрически правильных ячеек, посчитать среднее значение индекса в каждой ячейке и составить соответствующую карту.


Слой геометрически правильных ячеек создаётся с помощью команды **Создать сетку** в разделе Вектор–Создание панели инструментов анализа. В появившемся окне выбрать тип сетки (полигональные сетки могут быть в виде прямоугольников, ромбов и шестиугольников), охват сетки (можно рассчитать из слоя вырезанного по шаблону растра). Выбрать размеры ячеек (пункты *Шаг по горизонтали* и *Шаг по вертикали*), которые будут зависеть от размера самой территории, для которой создаётся сетка. Определить, будут ли ячейки перекрывать друг друга, и задать размер такого перекрытия (пункты *Горизонтальный нахлест* и *Вертикальный нахлест*). Нажать кнопку **Выполнить**, появится слой полигонов с названием «Сетка».

Этот слой нужно также обрезать по границе изучаемой территории. В данном случае обрезается векторный слой, поэтому обрезка выполняется с помощью команды **Обрезать** раздела Инструменты пространственных операций панели инструментов анализа. В окне *Обрезать* выбрать параметры: *Исходный слой* – Сетка, *Слой наложения* – полигональный слой, по границам которого необходимо произвести обрезку. В результате появится слой Результат обрезки, где конфигурация территории с полигонами будет соответствовать конфигурации объекта-шаблона.

Теперь необходимо рассчитать средние значения *NDVI* по каждой ячейке. Для этого используется команда **Зональная статистика** раздела Анализ растров панели инструментов анализа. В окне *Зональная статистика* выбираем в качестве исходного слоя обрезанный слой полигонов, а в качестве растрового слоя – обрезанный растровый слой со значениями *NDVI* («Кадрированный (по маске)»). В пункте *Статистики для расчёта* необходимо поставить галочки на те параметры, значения которых должны быть рассчитаны в каждой ячейке сетки. Появится новый слой с рассчитанными значениями параметров с названием Зональная статистика. Открыв таблицу атрибутов к данному слою, можно посмотреть сколько всего создано ячеек и какие значения рассчитанных показателей в этих ячейках. Среднее значение показателя указано в столбце *_mean*, среднеквадратичное отклонение показателя по ячейке – в столбце *_stdev*, медиана – в столбце *_median* и т. д.

По каждому из этих показателей можно создать тематические карты, показывающие распределение картографируемого показателя по ячейкам сетки: окно *Свойства*, раздел *Стиль*, из контекстного меню выбрать

пункт *Символизация по диапазонам значений*, в пункте *Значения* выбрать колонку, по данным из которой будет построена карта, выбрать вариант цветового ряда, количество классов (диапазонов значений), метод, по которому ряд значений будет разбит на диапазоны (пункт *Режим*) либо задать границы диапазонов вручную.

Более подробным инструментом анализа распределения значений *NDVI* является команда **Зональная гистограмма**. Она позволяет рассчитать количество пикселей со всеми возможными значениями *NDVI* в пределах одного или нескольких выбранных полигонов. Предварительно следует округлить значения *NDVI* в пикселях растрового слоя до одного или двух знаков после запятой, чтобы непрерывное распределение значений показателя преобразовать в дискретное и снизить количество возможных его значений. Эта операция осуществляется с помощью команды  **Округлить растр**. В соответствующем окне выбрать растр, значения в котором необходимо округлить, направление округления (до ближайшего значения или до нижнего значения) и количество знаков после запятой. Будет создан растровый слой под названием *Выходной растр*, где значения *NDVI* для всех пикселей будут округлены в соответствии с заданными условиями.

Выбор команды **Зональная гистограмма** и задание в соответствующем окне необходимых параметров (в качестве растрового слоя – слой с округлёнными значениями *NDVI*, векторного слоя – слой полигонов, для которых необходимо произвести расчёт) позволяет создать новый векторный слой с названием *Выходные зоны*, в таблице атрибутов которого для каждого полигона указано количество пикселей, соответствующее каждому из округлённых до десятых значений *NDVI*. На основе этой информации можно создать кривые распределения значений *NDVI* на разных территориях (для возможности сравнения оптимально абсолютные значения количества пикселей перевести в проценты).

Задания

1. Для территории административного района создать цветную карту распределения вегетационного индекса *NDVI*.

2. Создать слой сетки из гексагональных полигонов, подобрав оптимальный размер, для каждого полигона определить среднее значение индекса и значение среднеквадратичного отклонения. Составить тематические карты по данным параметрам.

3. Для всего района создать кривую распределения значений *NDVI*.

3. МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ГЛОБАЛЬНЫХ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА

Данные цифровых моделей рельефа, получение которых в QGIS описано в теме 1, являются основой для создания производных растровых и векторных изображений, отображающих рельеф различных территорий. Данные глобальных ЦМР загружаются в виде растра с разрешением, как правило, 30 или 90 м, для каждого пиксела которого определено числовое значение высоты. Особенности преобразования исходной глобальной ЦМР для создания моделей рельефа конкретных территорий обуславливается в первую очередь размерами этих территорий, а также степенью расчленённости рельефа. Простейшим способом визуализации является создание на основе данных глобальной ЦМР цветного изображения, где различными цветами передаются различные диапазоны высот. Технология его создания аналогична рассмотренной в теме 2 технологии создания цветной карты распределения *NDVI* в виде одноканального псевдоцветного изображения. Однако при таком подходе для слишком крупных территорий появляется излишняя пестрота изображения, так как в глобальной модели отсутствует картографическая генерализация, в результате чего появляется огромное множество очень маленьких разноцветных ареалов, существенно ухудшающих визуальное восприятие особенностей рельефа и выделение его основных черт, а для слишком мелких – начинает отчётливо проявляться пиксельная структура изображения в виде отдельных квадратов.

Улучшению визуального восприятия рельефа способствует совмещение слоя с одноканальным псевдоцветным изображением с тем же слоем в виде теневой отмывки рельефа. Если в QGIS загружен растровый слой глобальной ЦМР (например, рисунок 14) необходимо сделать ещё один слой, являющийся его копией (щёлкнуть правой кнопкой мыши на названии слоя в панели *Слои* и выбрать **Дублировать слой**). Настроить отрисовку слоёв: для вышележащего слоя выбрать *Одноканальное псевдоцветное изображение*, для нижележащего – *Теневой рельеф*. При этом для вышележащего слоя в разделе *Прозрачность окна* *Стиль* задать параметр общей непрозрачности 50–80 % (подобрать экспериментально), а для нижележащего можно изменять высоту и азимут источника света (раздел *Стиль окна* *Свойства*), добиваясь наиболее оптимального вида. Получившееся изображение рельефа является естественным, эстетичным и интуитивно понятным, зрителю кажется, что на элементы рельефа сбоку падает свет. Цветные изображения, совмещённые с теневой отмывкой, подчеркивают рельеф и позволяют показать его формы в деталях.

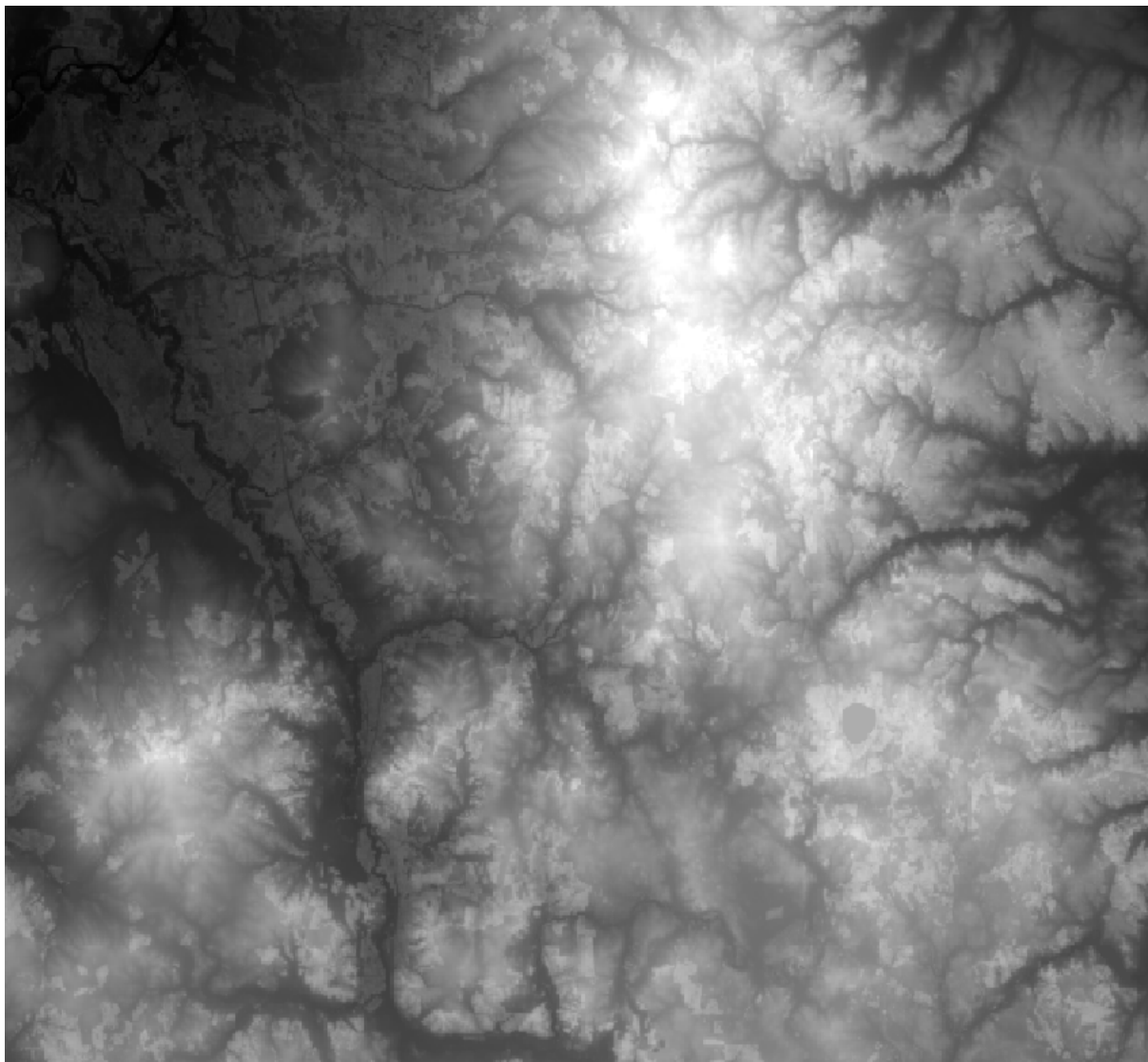


Рисунок 14 – Слой глобальной ЦМР Copernicus Global DSM 90 m
(Новогрудская возвышенность)

На основе слоя ЦМР может быть создан слой изолиний. Для этого необходимо выбрать команду **Растр > Извлечение > Создать изолинии**. В окне *Создать изолинии* помимо исходного растрового слоя, по данным которого создаются изолинии, необходимо выбрать шаг изолиний. Этот показатель подбирается экспериментально в зависимости от характера рельефа и масштаба изображения. Так, при создании изолиний по слою ЦМР, изображённому на рисунке 14, были созданы изолинии с шагом 10 м (рисунок 15) и 30 м (рисунок 16). Очевидно, что в первом варианте изолинии получились слишком густыми, и более оптимальным будет второй вариант. Однако он также требует улучшения – очистки от множества мелких контуров, являющихся «информационным шумом», и сглаживания изолиний.

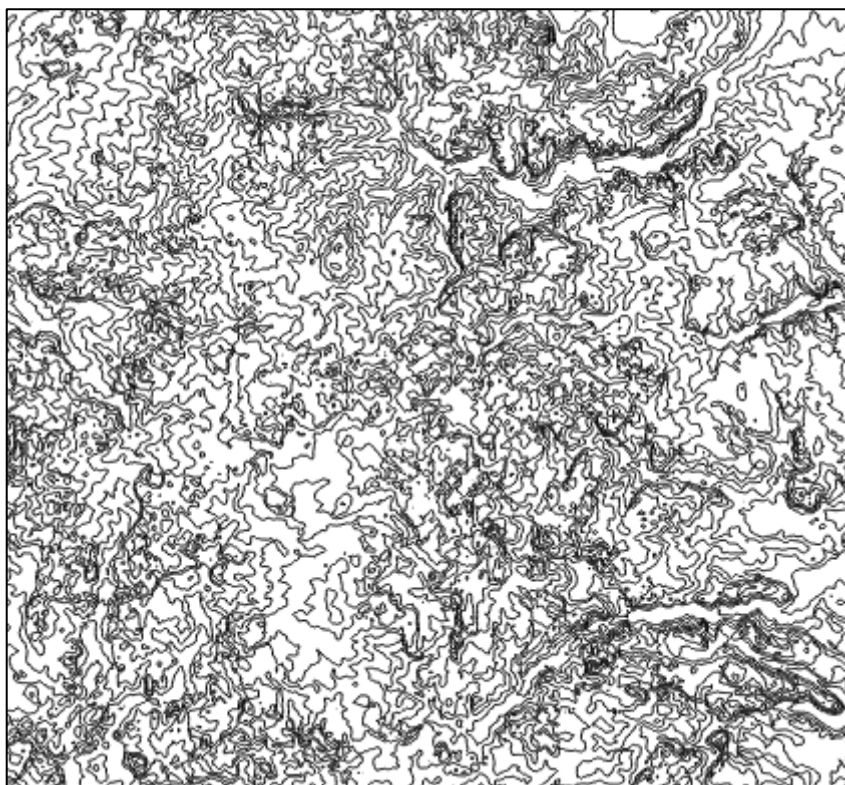


Рисунок 15 – Шаг изолиний 10 м

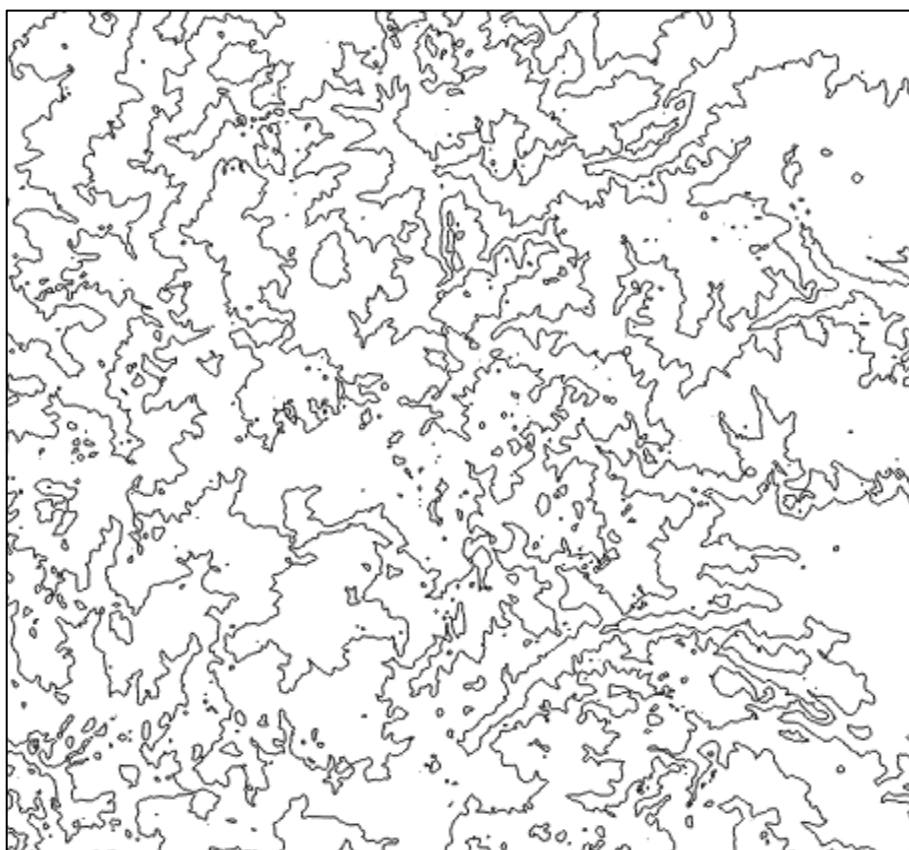


Рисунок 16 – Шаг изолиний 30 м

При приближении изображения хорошо заметен «угловатый» характер изолиний, создаваемых непосредственно на основе растрового слоя (рисунок 17). Стандартный инструмент сглаживания изолиний QGIS (команда **Сглаживание** раздела Вектор–Геометрия панели инструментов анализа) улучшает такое изображение лишь незначительно, поэтому необходимо воспользоваться другими инструментами.

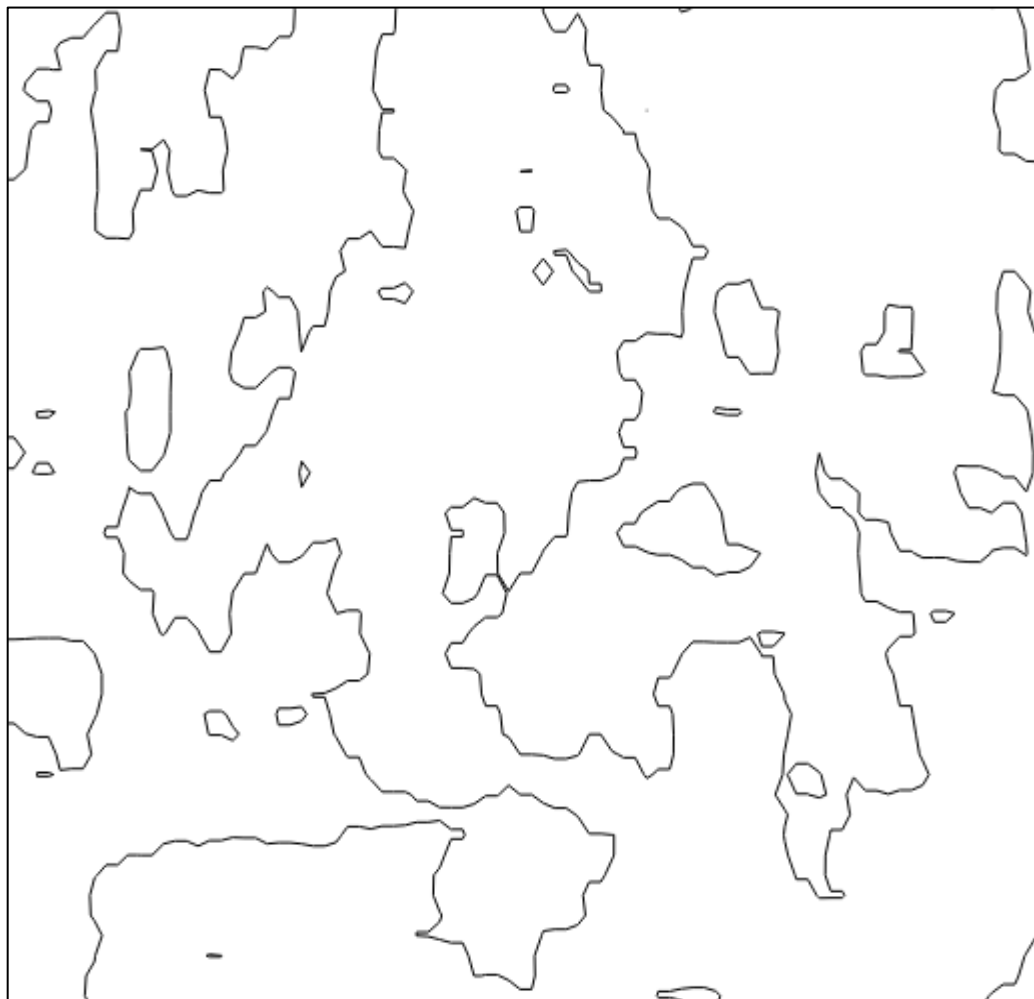


Рисунок 17 – Отображение изолиний при масштабе 1:60 000

Если карта изолиний составляется не на всю область слоя растровой ЦМР, а только в пределах определённого полигона, целесообразно сперва обрезать слой изолиний по границам этого полигона. Для улучшения качества изображения изолиний необходимо зайти в окно *Свойства слоя изолиний* (раздел *Стиль*), выделить объект «Простая линия» и в пункте *Тип слоя* заменить его на «*Генератор геометрии*» (рисунок 18). Вид окна изменится, и в нём под пунктом *Единицы измерения* появится поле для запросов.

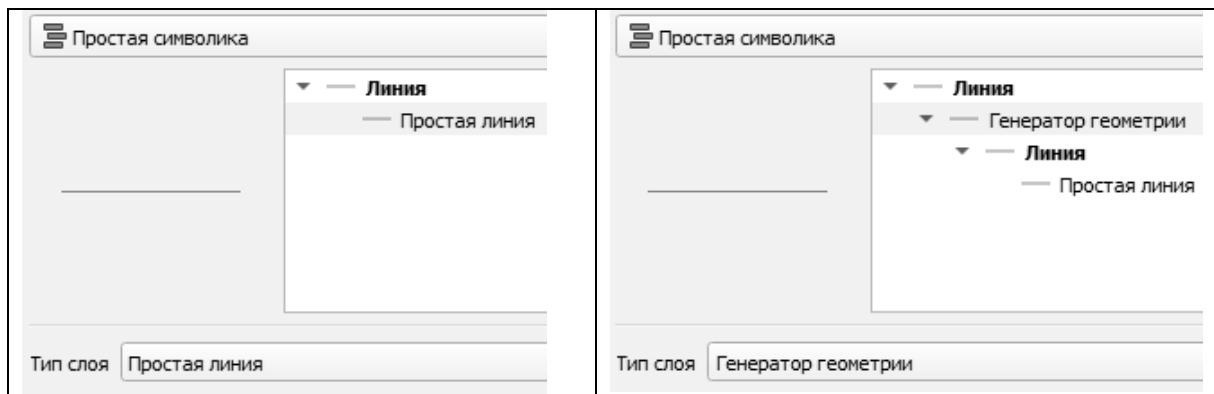


Рисунок 18 – Выбор генератора геометрии в окне свойств слоя изолиний

Нажать кнопку **ε** справа от этого окна, чтобы открыть окно *Expression Builder* и создать необходимый запрос с помощью функции *if*. Функция *if* имеет вид:

$$if(x, y, z),$$

где *x* – условие;

y – задание, выполняемое при соблюдении условия;

z – задание выполняемое при несоблюдении условия.

Сначала нужно очистить карту изолиний от мелких контуров. Создаём запрос *if*:

```
if( $length > 5000, $geometry, '' )
```

Такая форма запроса означает, что в качестве *x* мы задали условие – длина объектов на карте более 5 000 м; запись *\$geometry* в качестве *y*, то есть, если заданное условие выполняется, означает, что необходимо показать такие объекты на слое; две одинарные кавычки без каких-либо записей между ними в качестве *z* означает, что объекты не должны быть показаны на слое, если для них не выполняется заданное условие. Таким образом, на слое стали изображаться только объекты (изолинии), длина которых превышает 5 000 м, что позволило избавиться от более мелких объектов (рисунок 19), что видно при сравнении полученного изображения с первоначальным (рисунок 16). Значение 5 000 м, как и все последующие числовые значения, вводимые в запросы, также подбираются индивидуально, в зависимости от масштаба и особенностей рельефа территории.

Для сглаживания изолиний усложним запрос и введём в часть *y* запроса функцию *simplify_wv*.

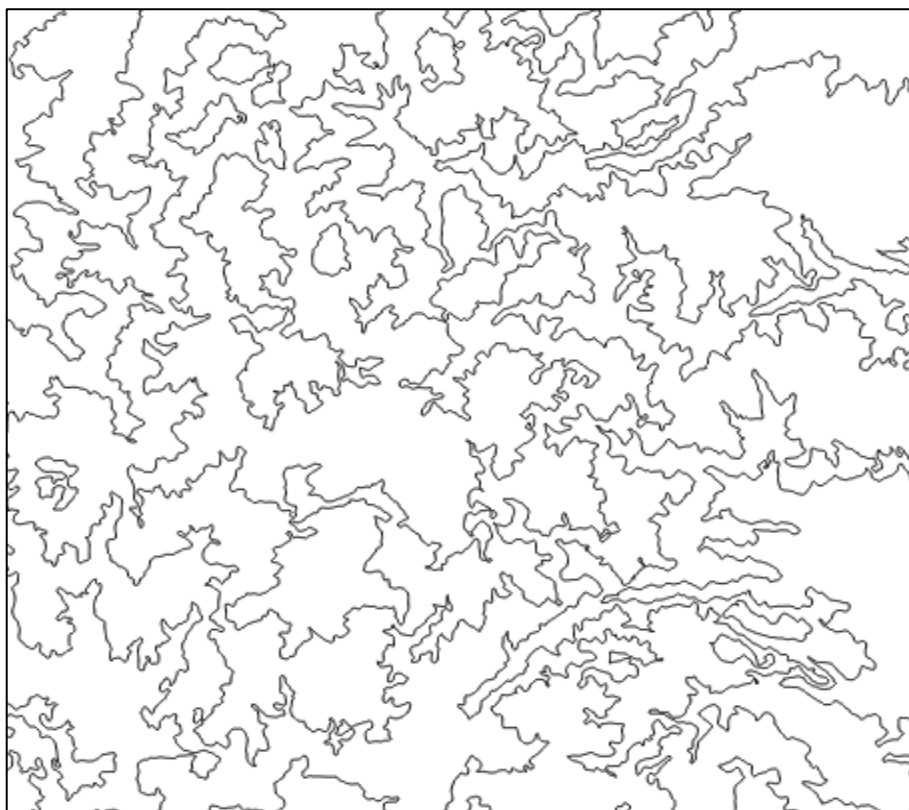


Рисунок 19 – Результат фильтрации коротких изолиний

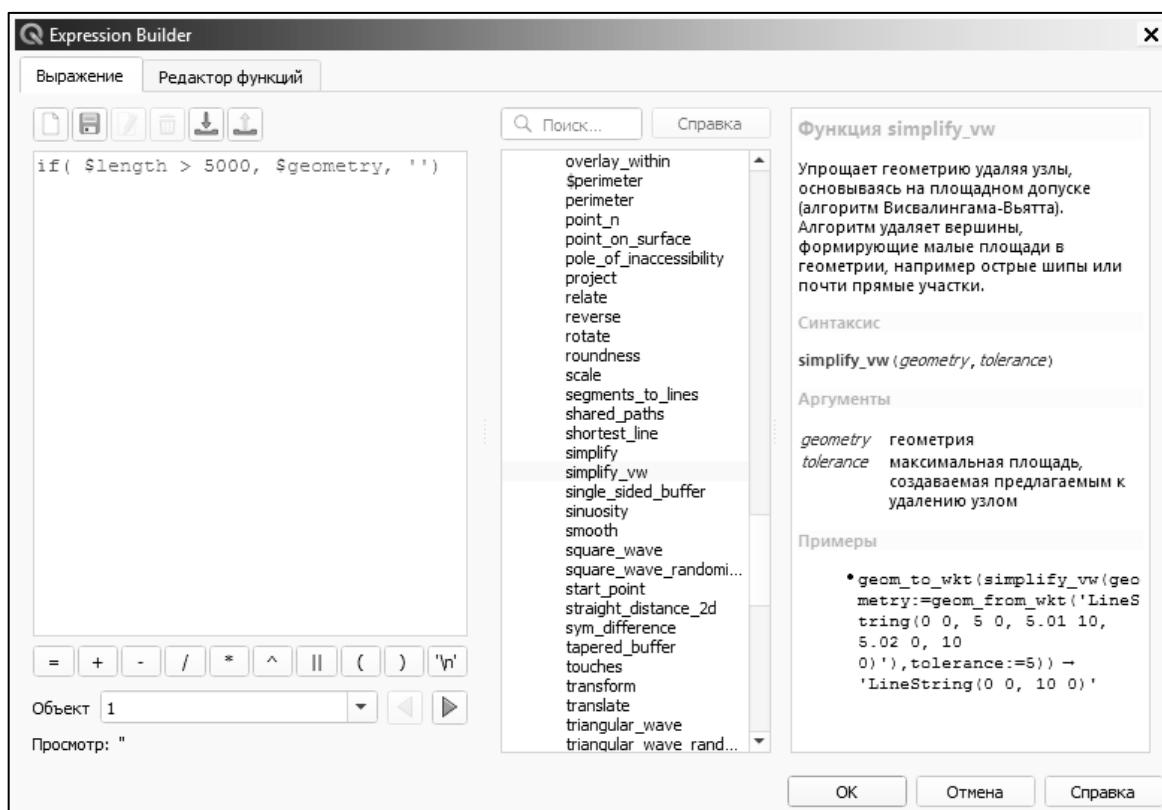


Рисунок 20 – Окно Expression Builder

Все функции можно найти в панели функций окна *Expression Builder* (рисунок 20), например, функции *\$geometry* и *simplify_vw* находятся в разделе Геометрии этой панели. При выделении функции мышью в правой панели показано её описание и синтаксис.

Итак, в часть *y* функции *if* введём функцию *simplify_vw*, чтобы на карте отображались не просто все объекты с длиной не менее 5 000 м, но и чтобы к ним было применено сглаживание с определёнными параметрами, прописываемыми далее.

В справочной информации о функции *simplify_vw* в правой панели окна *Expression Builder* (рисунок 20) указано, что необходимо вписать через запятую два аргумента – *geometry* и *tolerance*. В качестве аргумента геометрии вписываем *\$geometry*, как и в предыдущем запросе (такая запись показывает, что имеется в виду геометрия самого объекта, отображённого на карте, в данном случае самой изолинии), а в качестве аргумента *tolerance* необходимо записать некоторое подбираемое экспериментально число (в данном примере для оптимального отображения изолиний было подобрано 0,003). Таким образом, вся функция *if* примет вид:

```
if( $length > 5000, simplify_vw( $geometry, 0.003), '' )
```

Введённая функция *simplify_vw* отвечает за удаление узлов, то есть спрямление изолиний. Но кроме этого необходимо ещё сгладить изолинии, то есть сделать более плавными их изгибы. За это отвечает функция *smooth*. Выделив мышью данную функцию в разделе Геометрия панели функций, мы увидим её описание в правой панели окна. Там указано, что у неё должен быть один обязательный аргумент *geometry* и четыре необязательных. Из последних нам понадобится аргумент *iterations*. В нашем случае аргументом геометрии функции *smooth* является вся целиком ранее вписанная функция *simplify_vw*, поэтому необходимо целиком поместить её в соответствующее место функции *smooth*. Через запятую запишем значение второго аргумента *tolerance*, которое определяется путём подбора и в нашем случае будет 5. В итоге функция *if* приобретёт вид:

```
if($length>5000,smooth(simplify_vw($geometry,0.003),5), '')
```

Изображение изолиний приобретёт заметно более сглаженный вид (рисунок 21), что отчётливо видно при сравнении с предыдущим вариантом визуализации изолиний (рисунок 19).

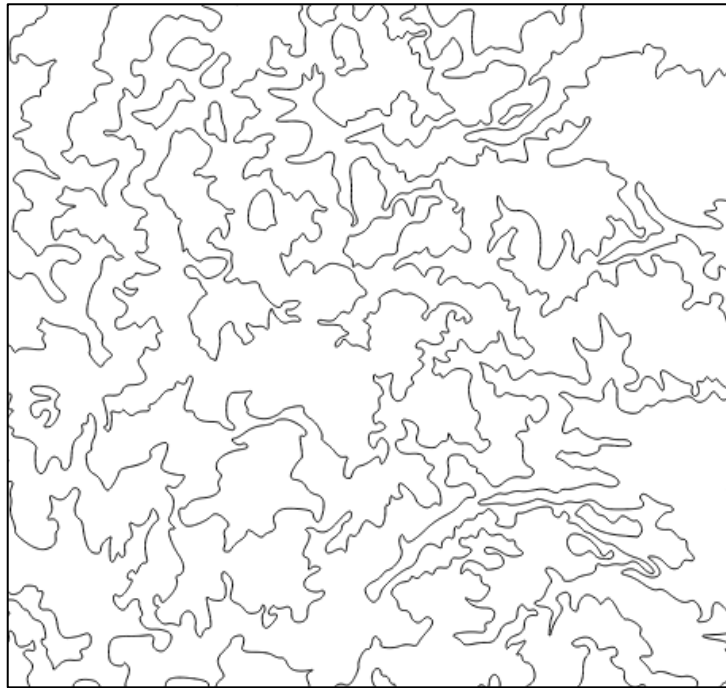


Рисунок 21 – Результат сглаживания изолиний при $tolerance = 0,003$

При увеличении значения аргумента *tolerance* функции *simplify_wv* изолинии будут приобретать ещё более сглаженный вид, например, на рисунке 21 показано изображение при его значении 0,006. Таким образом, подбирая значения различных параметров можно добиться оптимального рисунка изолиний.

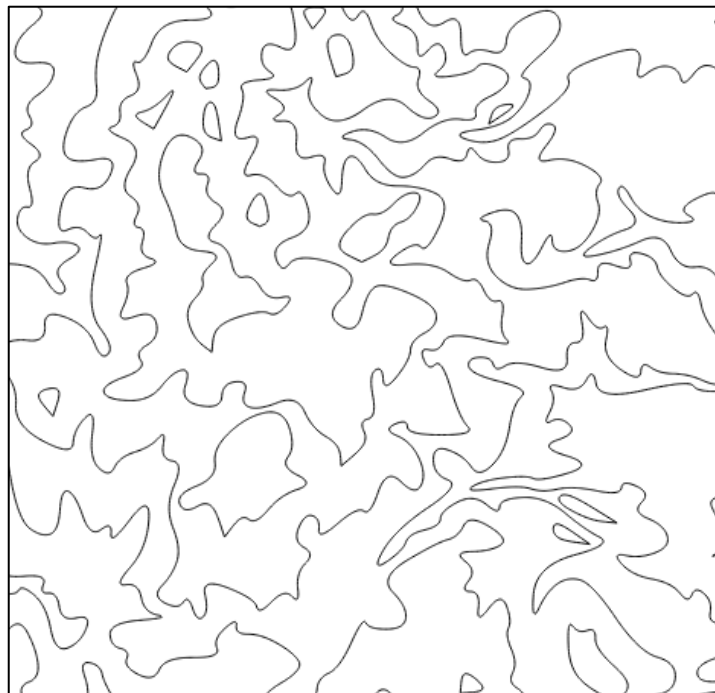



Рисунок 22 – Результат сглаживания изолиний при $tolerance = 0,006$

При создании карт изолиний обычно необходимо выделить основные и промежуточные изолинии, а также добавить подписи к ним. Задать различные цвета (например, для основных изолиний – чёрный, для промежуточных – серый) можно используя такое же окно запросов Expression Builder. В разделе Стиль окна *Свойства* необходимо нажать на кнопку  **Переопределение свойств из данных слоя**, которая находится справа от строки изменяемого параметра, в данном случае – *Цвета* и выбрать пункт *Изменить* (рисунок 23).

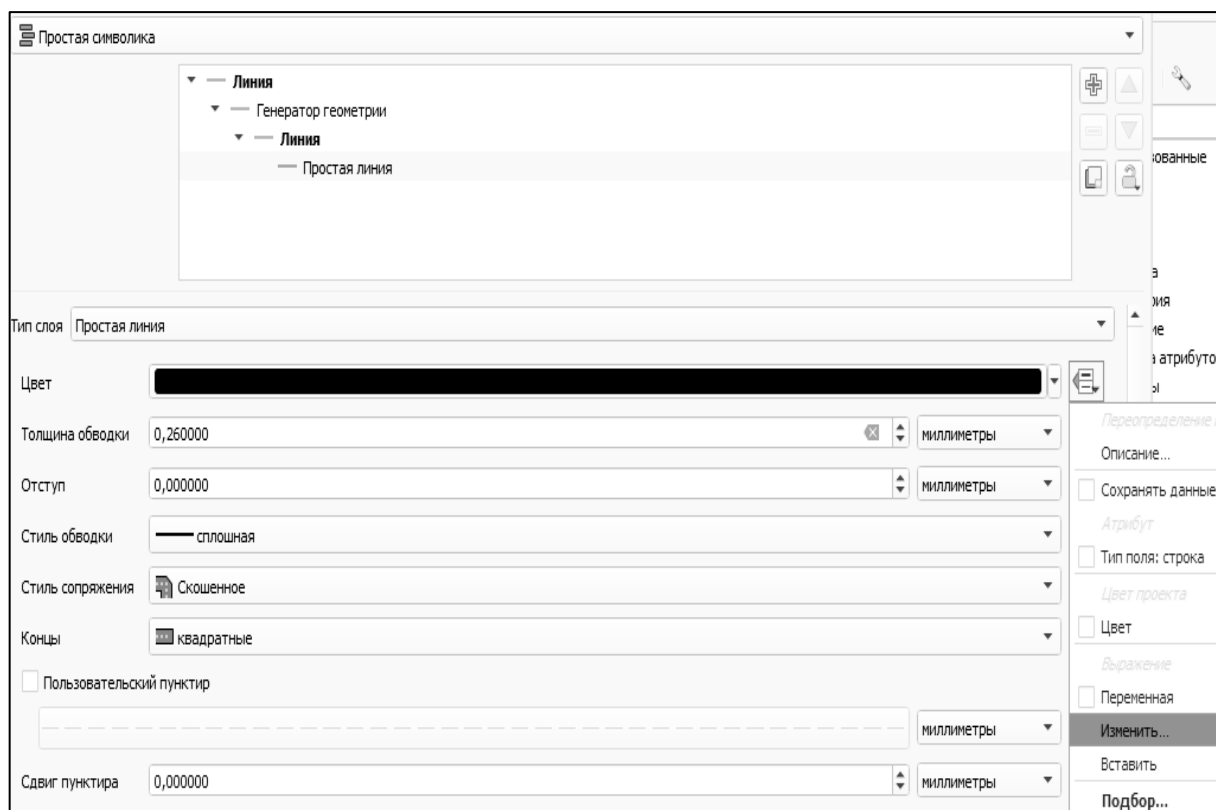




Рисунок 23 – Выбор окна запроса для изменения цвета изолиний

Составляем аналогичное предыдущему выражение *if*. В качестве условия можно задать конкретные изолинии, которые необходимо сделать основными. Например, если необходимо сделать основными изолинии 140, 180 и 220 м в часть *x* функции *if* введём $ELEV = 140 \text{ or } ELEV = 180 \text{ or } ELEV = 220$ (*ELEV* – это название колонки в таблице атрибутов слоя, где записаны данные о высотах изолиний). Также в качестве основных можно задать изолинии, высота которых без остатка делится на какое-либо число. В случае, если основными будут заданы изолинии, значения высот которых кратно 90, в часть *x* функции *if* введём $ELEV \% 90 = 0$. Далее в часть *y* введём код цвета для основных изолиний

с помощью функции *color_mix_rgb*, которая имеет синтаксис *color_mix_rgb('0,0,0','255,255,255',N)*, где число *N* определяет оттенок – 0 для чёрного цвета, 1 для белого цвета, дробными числами в интервале (0; 1) можно задать нужный оттенок серого цвета. Такое же выражение введём в часть *z* функции *if*, то есть для случая, когда значения высот изолиний не делятся без остатка на 90, такие изолинии будут промежуточными. Если для основных изолиний задать чёрный цвет, а для промежуточных оттенок серого цвета со значением *N = 0,8*, то функция *if* приобретёт вид:

```
if(elev%90=0, color_mix_rgb('0,0,0','255,255,255',0),
    color_mix_rgb('0,0,0','255,255,255',0.8))
```

Для включения подписей изолиний необходимо в разделе Подписи окна *Свойства* выбрать вариант *Обычные подписи*. В пункте *Значение* нажимаем на кнопку , расположенную справа от соответствующей строки, и в появившемся окне запросов пишем функцию *if*. В части *x* копируем текст части *x* запроса, который мы применяли для показа изолиний (*\$length > 5 000*), чтобы появились подписи только для тех изолиний, которые показаны на слое. В части *y* записываем *"ELEV"*, чтобы подписи были взяты из данной колонки. Можно прибавить обозначение единиц измерения, чтобы подписи выглядели не просто как цифры, но и с указанием единиц измерения – метров. Для этого после надписи *"ELEV"* нажимаем внизу кнопку  **Сцепление строк**, а затем в одиночных кавычках ставим пробел (чтобы число было отделено пробелом от обозначения единицы измерения) и пишем «м». В часть *z* пишем две одиночные кавычки без какого-либо текста между ними:

```
if ($length>5000,"ELEV" || ' м', '')
```

Другие параметры подписей выбираются в том же окне – в разделе *Текст* определяются размер, шрифт, цвет, стиль. Чтобы подписи были не над изолиниями, а поверх них, в разделе *Размещение* необходимо выставить режим *Вдоль кривых*, убрать галочку с пункта *Над линией* и поставить на пункте *На линии*. Также можно выставить необходимые значения (подбираются экспериментально) в разделах *Повтор подписей* (чтобы на длинных изолиниях подпись повторялась через определённые промежутки) и *Продление подписей* (чтобы изменение направления изолиний не препятствовало размещению подписи) (рисунок 24). В разделе *Буфер* следует включить буферизацию подписей.

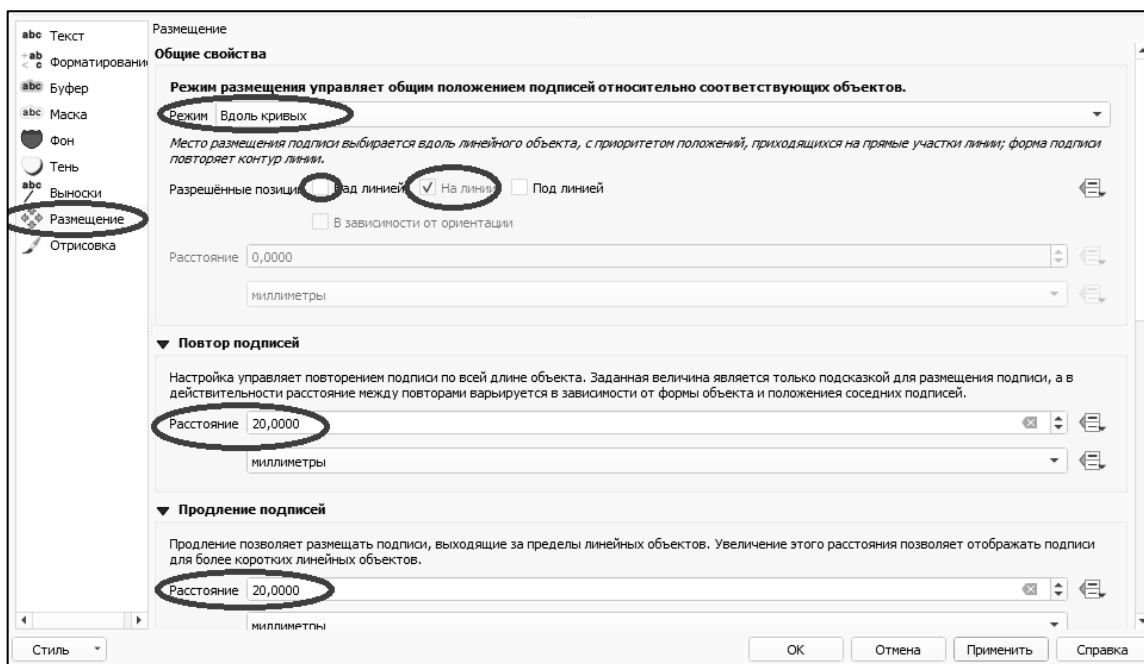


Рисунок 24 – Выбор параметров в разделе Размещение окна подписей


В итоге изображение приобретает следующий вид (рисунок 25).




Рисунок 25 – Результат оформления основных и промежуточных изолиний и подписей

Кроме изолиний поверхность может быть представлена векторным слоем в виде полигонов, соответствующих определённым диапазонам высот. Такие полигоны (как и изолинии) могут быть построены на основе векторного слоя точек с известными плановыми и высотными координатами. Инструменты QGIS позволяют создать такой слой на основе растрового изображения и перенести числовые значения (в данном слое высот) из растра в точки слоя.

Для создания слоя точек со случайным местоположением в пределах нужной территории предназначен инструмент *Случайные точки в пределах охвата* в разделе Вектор–Создание панели инструментов анализа. В окне *Случайные точки в пределах охвата* установить в качестве исходного охвата определённый векторный полигон или весь растровый слой рельефа и определить число точек (для приводимого в настоящей теме примера 30 000 точек). В результате будет создан векторный точечный слой под названием Случайные точки, в атрибутивной таблице которого имеются только порядковые номера точек.

Для извлечения информации о значении высот из растрового слоя и присвоения их точкам на векторном слое необходимо загрузить модуль *Point Sampling Tool*. Появляется кнопка , нажатие на которую вызовет окно *Point Sampling Tool*. В нём необходимо установить точечный слой, для которого будут извлечены значения высот из растра (пункт *Layer containing sampling points*), а также растровый слой, из которого будут извлечены данные (пункт *Layers with fields/bands to get values from*), выбрать папку для сохранения файла и его название. В этом же окне во вкладке *Fields* можно задать заголовок колонки, в которую будут записаны значения высот.

После создания нового слоя можно добавить в его таблицу атрибутов координаты широты и долготы каждой точке. Для этого необходимо выбрать команду **Добавить атрибуты геометрии** в разделе Вектор–Геометрия панели инструментов анализа. Будет создан новый слой Добавлены атрибуты геометрии, в атрибутивной таблице которого наряду с колонкой высот появятся две новые колонки – *xcoord* (координаты долготы) и *uscoord* (координаты широты). В таком виде данный слой можно экспортировать в csv-файл, который можно использовать в других программах для создания изолиний (например, Golden Software Surfer).

На основе созданного слоя точек с высотами можно создать векторные слои рельефа в виде полигонов и полилиний (изолиний). Такую операцию выполняет модуль *Contour plugin*. После его загрузки появляется кнопка  **Contour**, которая вызывает окно *Contour* (рисунок 26), а также раздел *Contour plugin* в панели инструментов анализа.

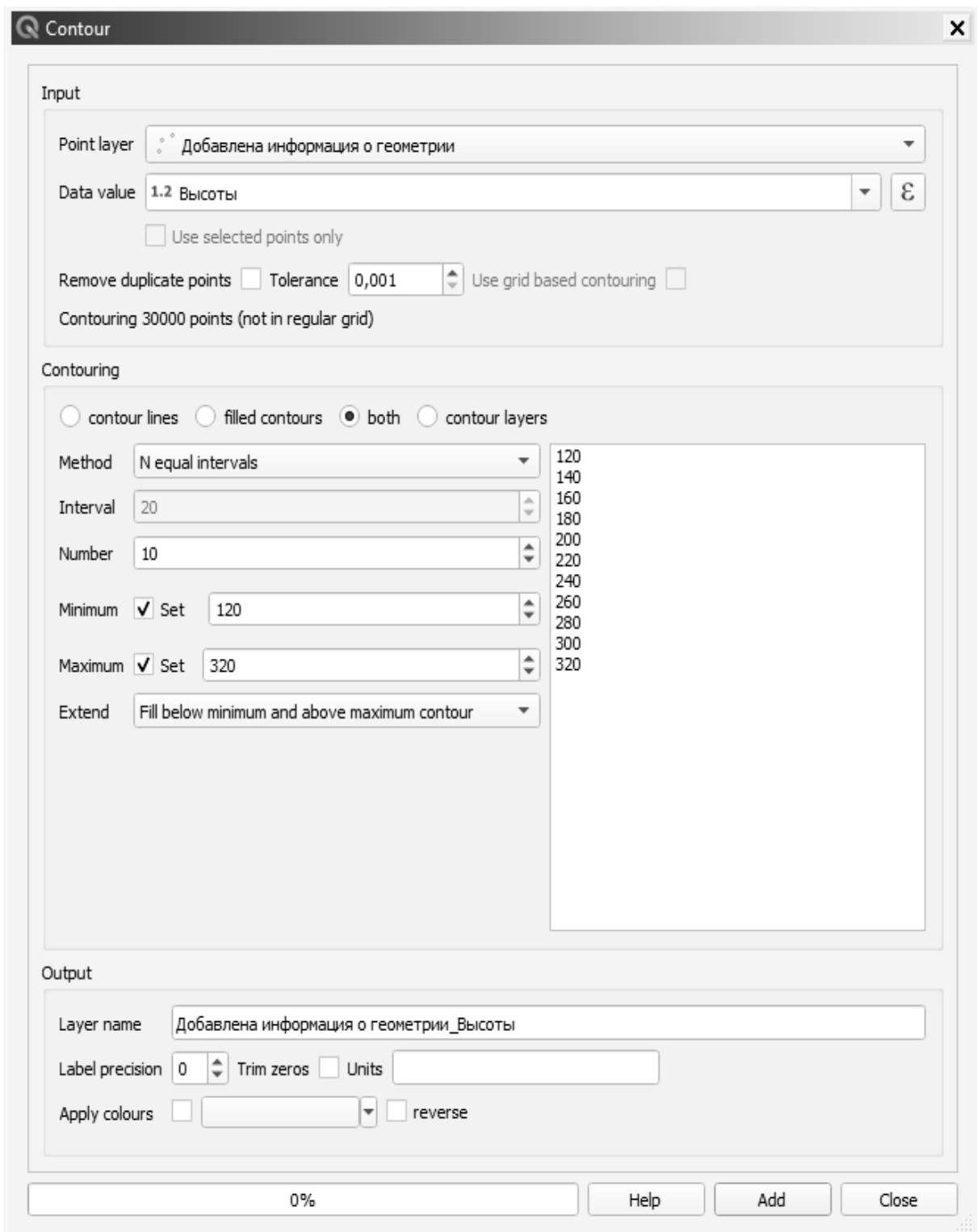


Рисунок 26 – Окно *Contour*

В окне *Contour* настроить необходимые параметры:

- *Point layer* – слой, на основании которого будет строиться модель рельефа или какой-либо иной поверхности;
- *Data value* – колонка, из которой будут взяты значения высот;

– *Min* и *Max* – минимальное и максимальное значения изолиний. Их можно определить в окне *Слои*, где снизу от названия растрового слоя указано минимальное и максимальное значение высоты пикселей (рисунок 27). Лучше всего задавать ближайшие к минимальному и максимальному круглые значения высот, причём для минимального значения – выше минимальной отметки, а для максимального – ниже. Для приведённого на рисунке 25 примера такими значениями будут соответственно 120 и 320 м;

– *Method* – выбор способа задания интервала; если выбрать вариант *Nequal intervals*, то диапазон высот будет разделён на одинаковые по размеру интервалы, число которых нужно указать в пункте *Number*; числовые значения границ интервалов будут автоматически определены в поле справа окна *Contour*; число знаков после запятой можно регулировать в пункте *Label precision*;

– *Extend* – определяет, нужно ли создавать полигоны для значений высоты ниже минимального и выше максимального значений изолиний;

– в верхней части раздела *Contouring* необходимо выбрать, создавать ли только изолинии, только полигоны либо оба варианта (*both*).

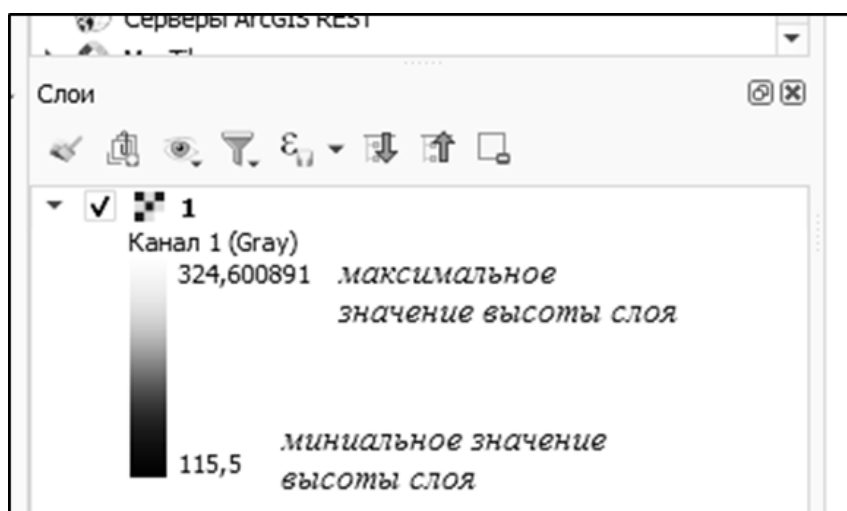


Рисунок 27 – Определение минимальной и максимальной высот

Кнопка **Add** запускает процесс создания новых слоёв полигонов и линий. Слои можно улучшить тем же способом, который описан выше, через генератор геометрии. Поскольку при создании данных слоёв все полигоны и изолинии с одинаковым значением объединены в один объект, их необходимо разъединить на индивидуальные объекты (команда **Разбить составную геометрию** раздела Вектор–Геометрия панели инструментов анализа).

Далее необходимо выбрать цветовой ряд для заливки полигонов (раздел *Стиль окна Свойства*, выбрать вариант *Символизация по уникальным значениям*). Пример изображения, созданного по описанной методике, приведён на рисунке 28.

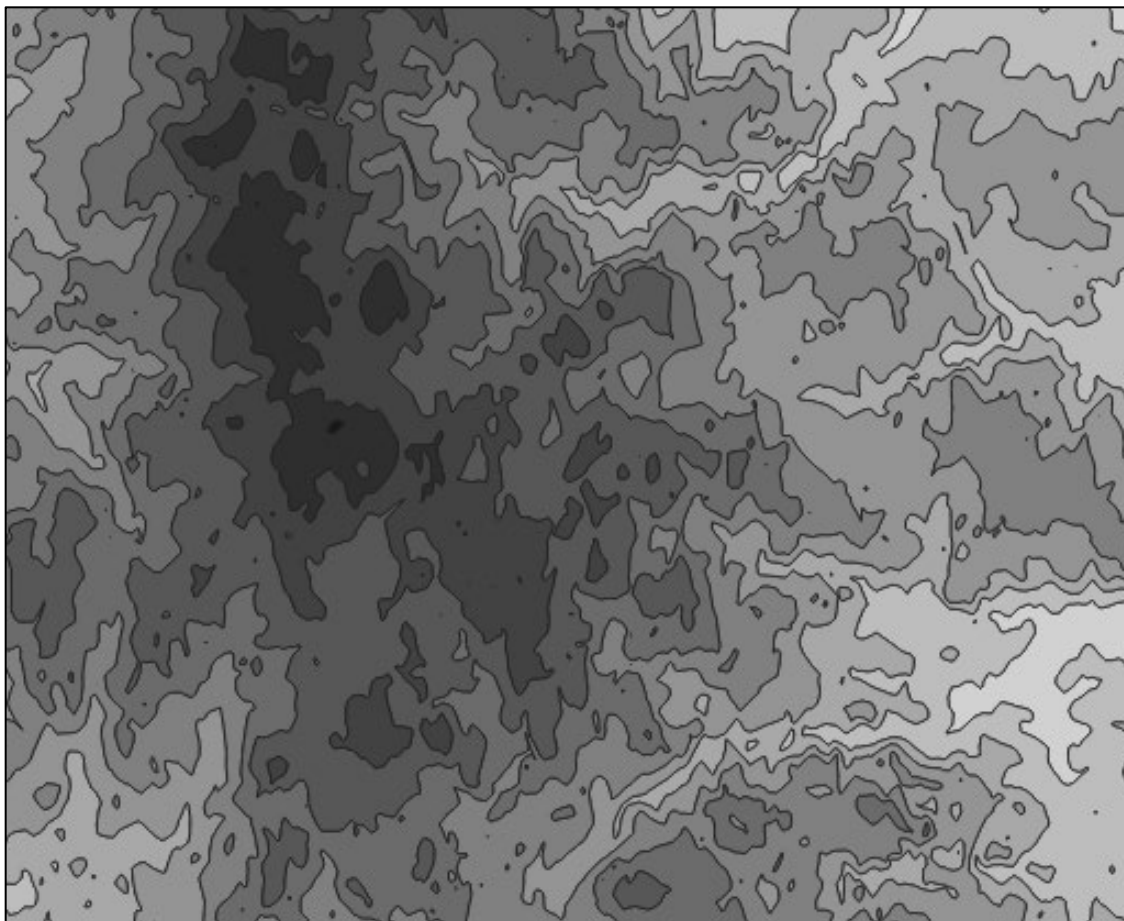


Рисунок 28 – Карта рельефа в виде полигонов

Уровень генерализации рельефа связан с количеством создаваемых точек: чем меньше точек, тем в большей степени генерализован рельеф.

Также по векторному слою точек можно создать новый растровый слой рельефа с помощью команды **Интерполяция TIN** (раздел *Интерполяция панели инструментов анализа*). Главным достоинством данной операции является то, что можно задать разрешение растрового слоя, вручную задав значения количества строк и столбцов пикселей. Увеличение размеров пикселей в этом случае позволяет уменьшить степень пестроты изображения за счёт осреднения значений высот на больших территориях, соответствующих новому размеру пикселей. Также более генерализованным будет слой изолиний, построенный по такому растровому слою.

Хорошим инструментарием визуализации рельефа обладает ГИС Global Mapper. Загрузка файлов осуществляется с помощью кнопки **Open Your Own Data Files** (рисунок 29).

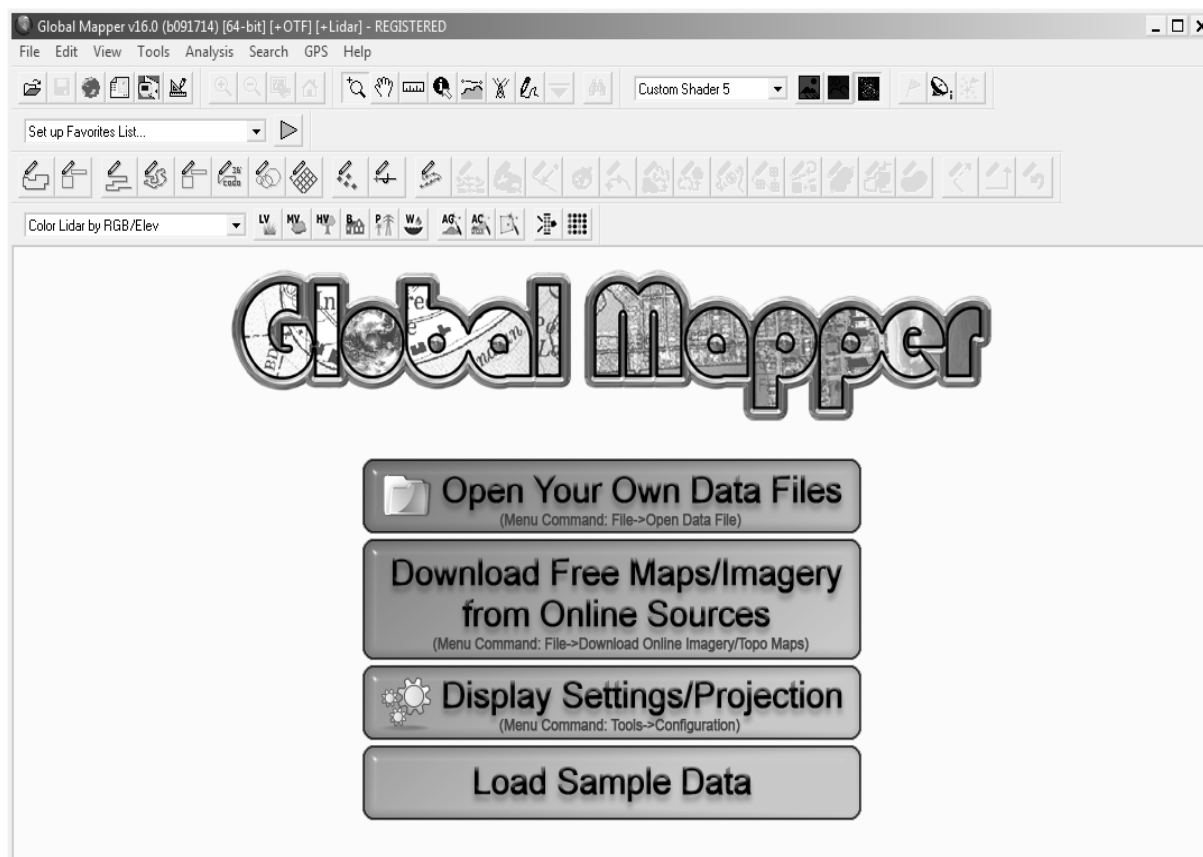



Рисунок 29 – Интерфейс программы Global Mapper

Если последовательно загрузить в программу файл с данными глобальной ЦМР на определённую территорию, а затем файл с космическим снимком этой же территории либо иное её изображение (например, топографическую карту), то это изображение можно визуализировать в трёхмерном виде. С помощью кнопки  **Open Control Center** можно открыть окно *Overlay Control Center*, в котором необходимо упорядочить расположение слоёв таким образом, чтобы слой изображения (например, космический снимок) располагался выше слоя ЦМР, так как визуализироваться в 3D-виде будет самый верхний слой.

Кнопка **Show 3D View** открывает окно *3D View*, в котором изображение будет уже в трёхмерном виде. Простое интуитивно понятное управление трёхмерной моделью с помощью панели инструментов данного окна позволяет вращать и приближать изображение, изменять угол обзора, изменять масштаб высоты, добиваясь, таким образом, наилучшего варианта визуализации объектов на данной территории.

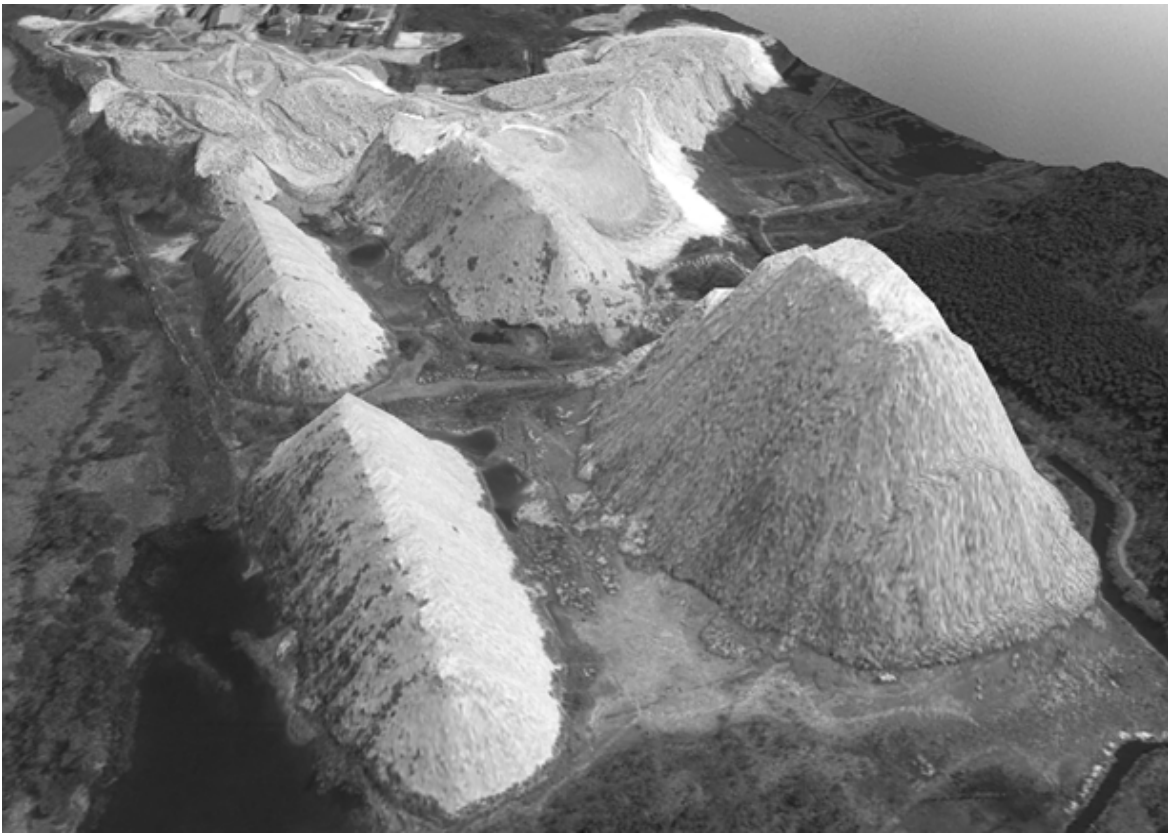


Рисунок 30 – Изображение рельефа при совмещении космоснимка и ЦМР

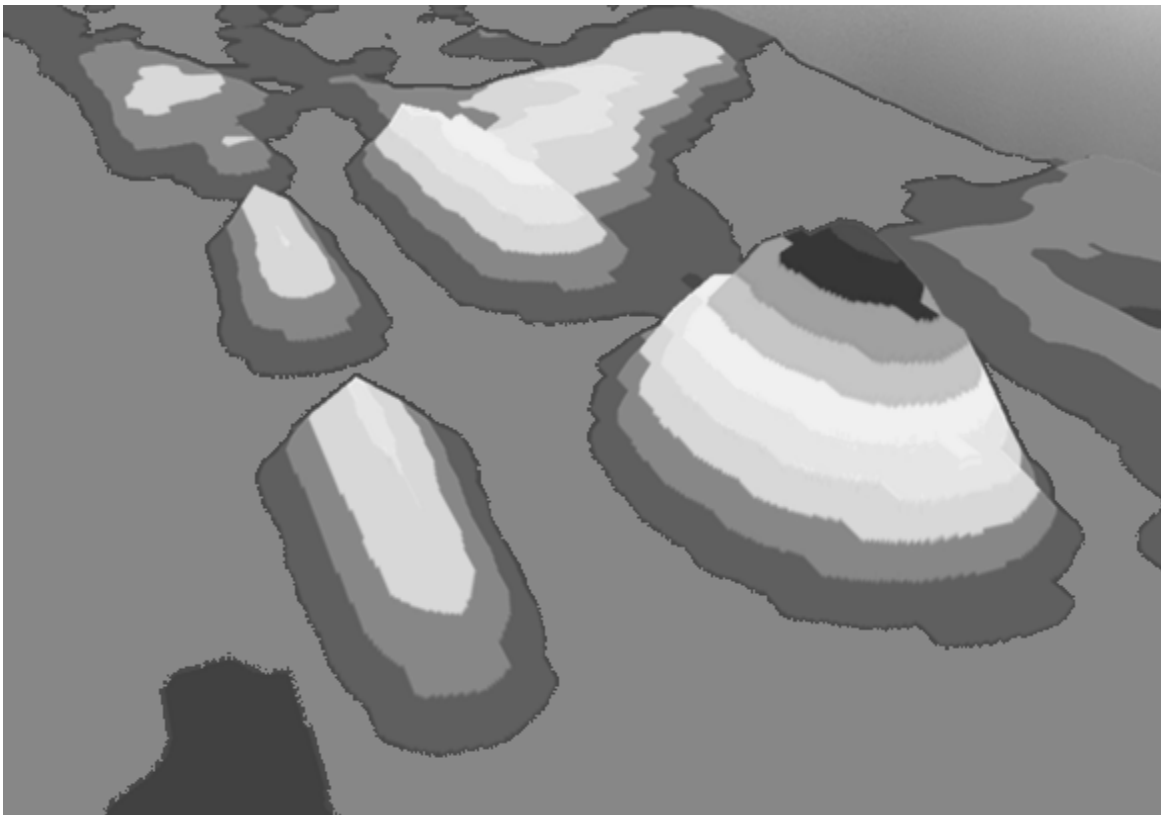




Рисунок 31 – 3D-изображение рельефа в виде диапазонов высот ЦМР

Пример трёхмерной визуализации космического снимка, совмещённого с ЦМР в ГИС Global Mapper представлен на рисунке 30, на котором изображены отвалы фосфогипса Гомельского химзавода. Также можно отключить слой космоснимка и визуализировать только ЦМР, задав цвета определённым диапазонам высот (рисунок 31). Также в окне *3D View* возможно задание определённого высотного уровня и выделение участков территории, расположенных ниже этого уровня.

В основном окне ГИС *Global Mapper* с помощью инструмента  *3D Pass Profile* возможно создание профиля рельефа территории. Для ориентирования на территории лучше использовать снимок или карту, на которой прокладывается линия профиля (рисунок 32). По её окончании программа создаёт в новом окне профиль по этой линии (рисунок 33). Также в данной ГИС доступен инструмент расчёта зон видимости (инструмент  *View Shed Tool*).

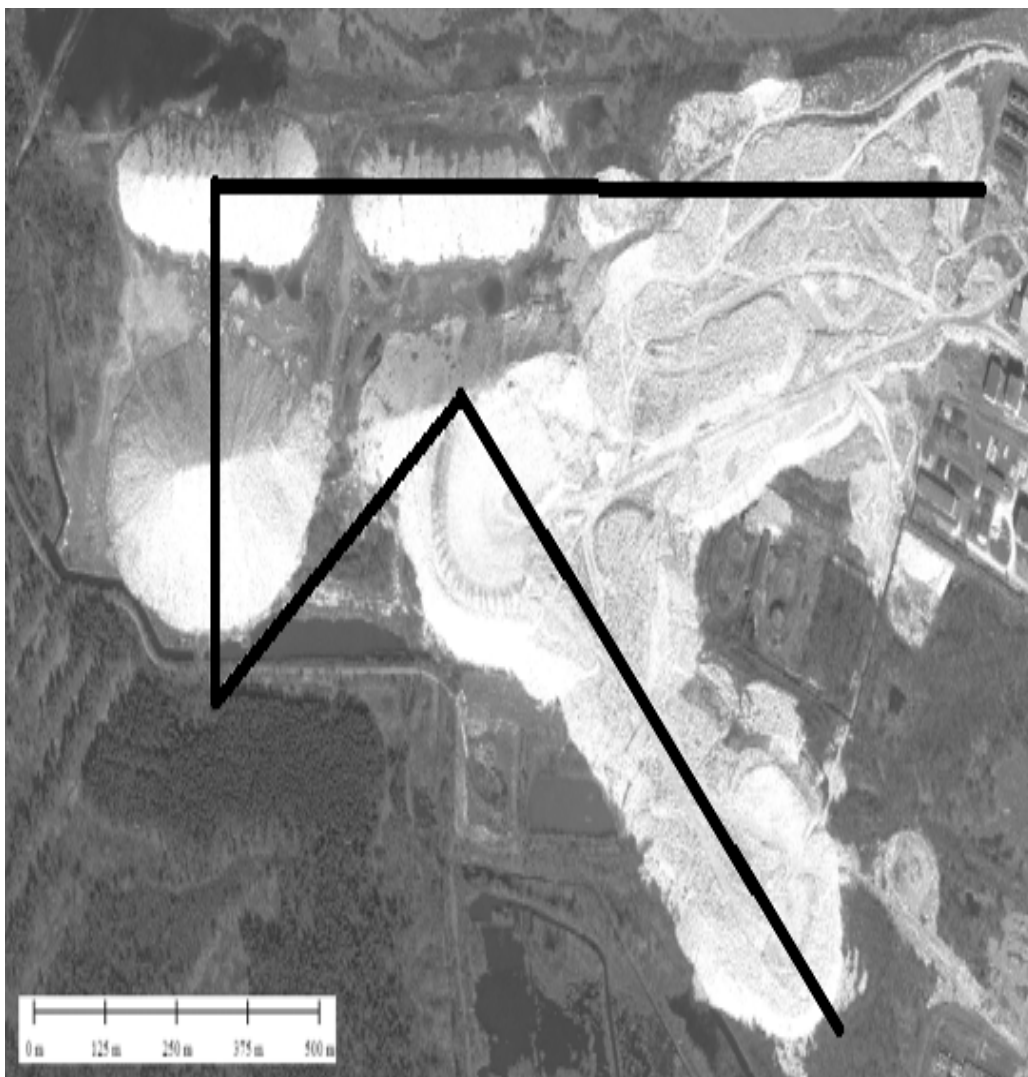


Рисунок 32 – Линия профиля на космоснимке, совмещённом с ЦМР

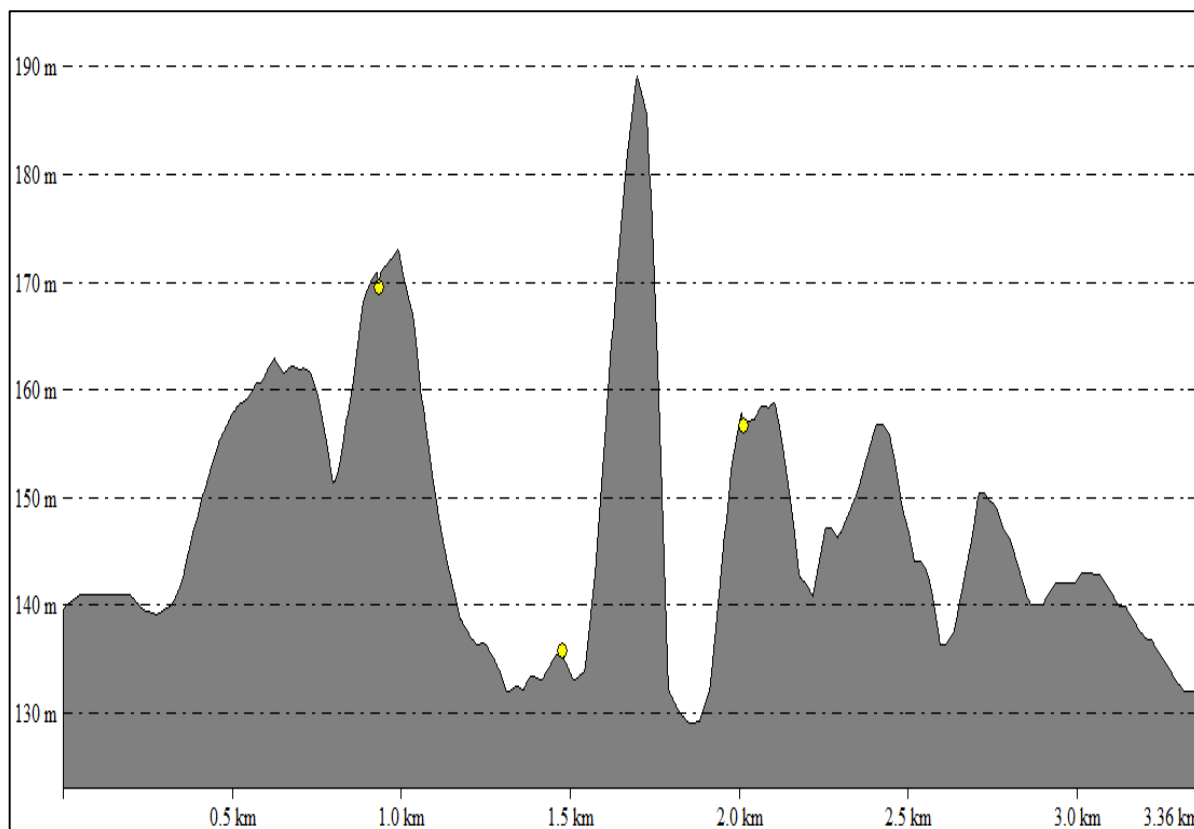


Рисунок 33 – Профиль высот по линии на рисунке 32

Задания

1. На основе полученного при выполнении задания темы 1 растрового слоя глобальной ЦМР создать карту изолиний для территории административного района с учётом оптимального шага изолиний, фильтрации мелких контуров, сглаживания. Выделить основные и промежуточные изолинии, добавить подписи.

2. Создать слой полигонов высот для территории административного района на основе точечного слоя, созданного по слою ЦМР. На основе этого же слоя проведите интерполяцию TIN, создав новый растровый слой ЦМР и визуализируйте его в виде совмещённого изображения одноканального псевдоцветного слоя и слоя теневой отмывки рельефа.

3. С помощью ГИС QGIS скачать ЦМР и космическое изображение высокого разрешения территории карьера Микашевичи (Лунинецкий район) и отвалов Беларуськалия (Солигорский район). Создать трёхмерные изображения этих объектов в ГИС Global Mapper в виде наложенного на ЦМР космоснимка и в виде диапазонов высот ЦМР с цветовой заливкой диапазонов. Построить профиль, проходящий через наиболее высокие и наиболее низкие отметки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основные принципы использования геоинформационных систем в экологии и природопользовании / Е. С. Чиглинцева [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – № 7 (133). – URL: <https://research-journal.org/archive/7-133-2023-july/10.23670/IRJ.2023.133.32> (дата обращения: 24.03.2024).
2. Татаринович, Б. А. Геоинформационные системы в экологии и природопользовании, дистанционные и информационные системы-технологии в геоэкологических исследованиях / Б. А. Татаринович. – Белгород : БелГАУ им. В. Я. Горина, 2020. – 52 с.
3. Малышкин, Н. Г. Географические информационные системы в экологии и природопользовании : учебно-методическое пособие / Н. Г. Малышкин. – Тюмень : ГАУ Северного Зауралья, 2021. – 115 с.
4. Пестов, С. В. Геоинформационные системы в экологии и природопользовании : учебное пособие / С. В. Пестов, Т. А. Адамович. – Киров : ВятГУ, 2017. – 45 с.
5. Жуковский, О. И. Геоинформационная система QGIS : учебно-методическое пособие / О. И. Жуковский. – М. : ТУСУР, 2018. – 81 с.
6. Жуковская, Н. В. Введение в ГИС на основе QGIS : учебное пособие / Н. В. Жуковская. – Минск : БГУ, 2018. – 131 с.
7. Матушкин, А. С. Картографирование и анализ пространственных данных с использованием геоинформационной системы QGIS : учебное пособие / А. С. Матушкин. – Киров : ВятГУ, 2018. – 100 с.
8. Энтин, А. Л. Основы геоинформатики : практикум в QGIS / А. Л. Энтин, Т. Е. Самсонов, А. М. Карпачевский. – М. : Географический факультет МГУ, 2024. – URL: <https://aentin.github.io/qgis-course> (дата обращения: 24.03.2024).

Производственно-практическое издание

Соколов Александр Сергеевич

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
В ЭКОЛОГИИ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИИ**

**РАБОТА С ДАННЫМИ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

Практическое пособие

Редактор Е. С. Балашова
Корректор В. В. Калугина

Подписано в печать 17.10.2024. Формат 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,05.
Тираж 10 экз. Заказ 504.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».
Специальное разрешение (лицензия) № 02330 / 450 от 18.12.2013 г.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий в качестве:
издателя печатных изданий № 1/87 от 18.11.2013 г.;
распространителя печатных изданий № 3/1452 от 17.04.2017 г.
Ул. Советская, 104, 246028, Гомель.

