

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ М. АКМУЛЛЫ»

И.Р.Рахматуллина, З.З.Рахматуллин, А.А.Кулагин

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

Практикум

Уфа 2018

УДК 911:574
ББК 26.17+28.080.1
P27

Рахматуллина, И.Р. Экологическое картографирование [Текст]: практикум / И.Р. Рахматуллина, З.З. Рахматуллин, А.А. Кулагин. – Уфа: Изд-во БГПУ, 2018. – 84 с.

Практикум предназначен для обучающихся по экологическим и географическим направлениям подготовки образовательных организаций высшего образования. Разработан на основе свободно распространяемых геоинформационных систем QGIS и SAGA GIS. Направлен на освоение практических методов по обработке пространственных данных в целях создания экологических карт. Состоит из семи практических занятий, сопровождающихся краткими теоретическими сведениями, вопросами для самоконтроля и литературой для углубленного изучения. Может быть полезен специалистам, работающим в области наук о Земле, сельского и лесного хозяйства, заинтересованных в использовании ГИС-технологий в своих исследованиях.

Рецензенты:

Р.М. Хазиахметов, д-р биол.наук, профессор (БашГУ);

З.Б. Латыпова, канд.геогр.наук, доцент (БГПУ им. М.Акмуллы).

©Издательство БГПУ, 2018

©Рахматуллина И.Р., Рахматуллин З.З., Кулагин А.А., 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	7
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ	8
Теоретические сведения и постановка задачи	8
Знакомство с QGIS	12
Знакомство с SAGA GIS	15
Вопросы для самоконтроля	17
Литература для углубленного изучения	18
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2. СОЗДАНИЕ И НАСТРОЙКА НОВОГО ПРОЕКТА В QGIS	19
Теоретические сведения и постановка задачи	19
Создание нового проекта и выбор проекции	22
Привязка растровой основы	24
Вопросы для самоконтроля	27
Литература для углубленного изучения	28
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ О ВЫБРОСАХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ГОРОДАМ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН	29
Теоретические сведения и постановка задачи	29
Создание нового векторного слоя	31
Добавление подписей к объектам слоя	34
Визуализация атрибутивных данных	34
Макет печати	37
Вопросы для самоконтроля	38
Литература для углубленного изучения	38
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА В SAGA GIS	40
Теоретические сведения и постановка задачи	40
Импорт ЦМР SRTM-3 в SAGA GIS	44
Перепроецирование данных	45
Обрезка растра по полигону	46
Построение гипсометрической карты	49
Построение карты уклонов местности и экспозиции склонов	52
Группировка склонов по крутизне и экспозиции	54
Вопросы для самоконтроля	56
Литература для углубленного изучения	56

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5. ПРОВЕДЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В SAGA GIS	58
Теоретические сведения и постановка задачи	58
Проведение гидрологической коррекции	60
Построение растра суммарного стока	60
Построение сети водотоков	61
Построение водосборной площади	62
Вопросы для самоконтроля	63
Литература для углубленного изучения	64
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6. ОБРАБОТКА КОСМИЧЕСКОГО СНИМКА LANDSAT В SAGA GIS	65
Теоретические сведения и постановка задачи	65
Импорт и перепроецирование космического снимка	67
Обрезка снимка по бассейну реки Усень	68
Создание композитного изображения	70
Вопросы для самоконтроля	71
Литература для углубленного изучения	71
ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7. РАСЧЕТ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ	72
Теоретические сведения и постановка задачи	72
Радиометрическая калибровка снимка	75
Расчет вегетационного индекса	76
Построение типов подстилающей поверхности	77
Вопросы для самоконтроля	78
Литература для углубленного изучения	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	79
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	80
СПИСОК ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ	82

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях всеувеличивающихся объемов информации о состоянии окружающей среды, значительного усложнения теоретических и методических проблем, требующих пространственного решения, возрастает роль экологического картографирования (Кочуров, 2009).

Экологическое картографирование – это наука о способах сбора, анализа и картографического представления информации о состоянии экосистем, окружающей среды, а также о способах получения новой информации по картам.

Экологическое картографирование представляет собой «стыковую» дисциплину и образует сложное единство экологических (геоэкологических) методов получения и территориальной интерпретации данных о состоянии окружающей среды и общекартографических приемов географически корректного изображения информации. При этом её развитие не ограничивается отраслевыми рамками, а проявляется в экологизации содержания карт многих других тематических отраслей. Тематические карты природы (климатические, гидрологические, геологические, геоморфологические, геоботанические, почвенные и др.) позволяют оценить многие природные предпосылки экологических ситуаций.

Составление экологических карт базируется на анализе и синтезе большого объема информации, получаемой из различных источников. Одно из главных предъявляемых к ним требований - наличие пространственных (географических) данных, содержащих сведения о местоположении. К таким сведениям относятся материалы экологического и других видов мониторинга; картографические материалы; данные полевых наблюдений и измерений; результаты лабораторных анализов. В последние десятилетия к ним относят и данные дистанционного зондирования, объемы, разнообразие, качество и доступность которых позволяют с успехом использовать их в экологическом картографировании.

Для обработки пространственных данных используется различное программное обеспечение, среди которых выделяются геоинформационные технологии, составляющие основу инструментария географических информационных систем (ГИС). Методы геоинформационного картографирования предоставляют большие возможности по автоматизированному созданию и использованию карт на основе пространственных данных.

ГИС-продукты, базовые понятия и методические подходы, которыми они оперируют, достаточно подробно описаны в русскоязычной и зарубежной литературе (Лурье, 2008; Sutton, 2009). В учебных пособиях по экологическому картографированию (Стурман, 2003; Кочуров, 2009) чаще всего рассматриваются уже готовые карты: их содержание, способы отражения информации, легенды карт. При этом существует потребность в

учебных пособиях, ориентированных на приобретение практических навыков.

Данный практикум призван помочь обучающимся в приобретении навыков по обработке пространственных данных, в том числе данных дистанционного зондирования с использованием инструментария ГИС-технологий и применение их для решения экологических задач.

Практические работы подготовлены на основе свободно распространяемых географических информационных систем QGIS (ver.2.18.2) и SAGA GIS (ver.3.0.0).

В качестве пространственных данных были использованы данные экологического мониторинга и дистанционного зондирования Земли:

– объемы выбросов загрязняющих веществ по городам Республики Башкортостан, публикуемые в ежегодниках Минэкологии (Гос.доклад, 2016);

– глобальная цифровая модель рельефа, полученная в результате радарной топографической съемки Shuttle radar topographic mission – SRTM (<http://srtm.csi.cgiar.org/>);

– космический снимок Landsat 8 от 24 августа 2016 года, сцена LC81670222016225LGN00 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>).

В практикуме на конкретном примере пошагово разобран алгоритм решения задач для построения картографических изображений. Процесс визуализации данных по выбросам загрязняющих веществ в атмосферу рассмотрен на примере территории Республики Башкортостан. Морфометрический и гидрологический анализ рельефа, а также обработка космического снимка (расчет вегетационного индекса, построение типов подстилающей поверхности) – на примере водосборного бассейна реки Усень, протекающей преимущественно по территории Туймазинского района Республики Башкортостан. Практические работы сопровождаются краткой теоретической информацией, рекомендуемой литературой для более глубокого изучения материала, а также вопросами для самоконтроля.

Практикум предназначен для обучающихся по экологическим и географическим направлениям подготовки образовательных организаций высшего образования. Может быть полезен специалистам, работающим в области наук о Земле, сельского и лесного хозяйства, заинтересованных в использовании ГИС-технологий в своих экологических исследованиях.

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ГИС – географическая информационная система;
ДЗЗ – дистанционное зондирование Земли;
ОТЕ – операционная территориальная единица;
СК – система координат
ЦМР – цифровая модель рельефа;
CGIAR – Consultative Group for International Agriculture Research
DEM – Digital Elevation Model
DN – Digital Number
EPSG – European Petroleum Survey Group
GIS – Geographic Information System
GDEM – Global Digital Elevation Model
GPS – Global Positioning System
JPEG – Joint Photographic Experts Group
NASA – National Aeronautics and Space Administration;
NDVI – Normalized Difference Vegetation Index
NIR – Near InfraRed
OLI – Operational Land Imager
OSGeo – Open Source Geospatial Foundation
QGIS – до 2014 г. QuantumGIS
SAGA GIS – System for Automated Geoscientific Analyses
SRTM – Shuttle Radar Topography Mission
TIFF – Tagged Image File Format
TIRS – Thermal InfraRed Sensor
UTM – Universal Transverse Mercator
USGS – United States Geological Survey
WGS84 – World Geodetic System 1984

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1. ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЭКОЛОГИЧЕСКОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ

Теоретические сведения и постановка задачи

Основной продукцией экологического картографирования являются экологические карты, отражающие территориальное распределение экологических факторов и степени антропогенного воздействия на них. Экологическая карта, как и другая научная модель создается согласно определенным принципам и правилам.

Карта – это построенное в картографической проекции, уменьшенное, обобщенное изображение поверхности Земли, поверхности другого небесного тела или внеземного пространства, показывающее расположенные на них объекты в определенной системе условных знаков (ГОСТ 21667-76). К элементам карты относятся: картографическое изображение, легенда и зарамочное оформление.

Картографическое изображение – это содержание карты, совокупность сведений об объектах и явлениях, их размещении, свойствах, взаимосвязях, динамике. Общегеографические карты имеют следующее содержание: населенные пункты, социально-экономические и культурные объекты, пути сообщения и линии связи, рельеф, гидрографию, растительность и грунты, политико-административные границы.

На тематических картах, к которым и относятся экологические карты, различают две составные части картографического изображения. Во-первых, это географическая основа, т.е. общегеографическая часть содержания, которая служит для нанесения и привязки элементов тематического (экологического) содержания, а также для ориентировки по карте. Во-вторых, тематическое содержание (например, состояние окружающей среды, распространение загрязнений, эрозионные процессы и т.д.).

Важнейший элемент всякой карты – легенда, т.е. система использованных на ней условных обозначений и текстовых пояснений к ним. Для топографических карт составлены специальные таблицы условных знаков. Они стандартизированы и обязательны к применению на всех картах соответствующего масштаба. На большинстве тематических карт обозначения не унифицированы, поэтому легенду размещают на самом листе карты. Она содержит разъяснения, истолкование знаков, отражает логическую основу и иерархическую соподчиненность картографируемых явлений. Последовательность обозначений, их взаимное соподчинение в легенде, подбор цветовой гаммы, штриховых элементов и шрифтов – все это подчинено логике классификации изображаемого объекта или процесса. На сложных картах для повышения информативности легенды ее иногда представляют в табличной (матричной) форме.

Картографическое изображение строится на математической основе, элементами которой являются координатные сетки, масштаб и геодезическая основа. На мелкомасштабных картах элементы геодезической основы не показываются. С математической основой связана и компоновка карты, т.е. взаимное размещение в пределах рамки самой изображаемой территории, названия карты, легенды, дополнительных карт и других данных.

Вспомогательное оснащение карты, облегчающее чтение и пользование картой, составляют картометрические графики (например, шкала для определения крутизны склонов на топографических картах), схемы изученности территории, использованные материалы, различные справочные сведения. К дополнительным данным относятся карты-врезки, диаграммы, графики, профили, текстовые или цифровые данные, тематически связанные с содержанием карты, дополняющие и поясняющие его (Берлянт, 2002).

На современном этапе развития создание карт, в т.ч. экологических базируется на технологиях географических информационных систем.

Термин географическая информационная система (ГИС) является дословным переводом с английского «Geographic(al) information system» и определяется как информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, анализ, отображение пространственно определенных (пространственно координированных) данных.

Аббревиатура «ГИС» используется также для обозначения программных средств, программных продуктов, ГИС-пакетов, обеспечивающих функционирование ГИС как информационной системы, например, ArcGIS, QGIS, SAGA GIS и др. (Лурье, 2008; 2016).

Первые ГИС были созданы в Канаде, США и Швеции для изучения природных ресурсов в середине 1960-х годов, а сейчас в промышленно развитых странах существуют тысячи ГИС, используемых в различных отраслях: экономике, политике, управлении и охране природных ресурсов, кадастре, науке, образовании и т.д.

Структуру ГИС составляет набор информационных слоев. Например, базовый слой содержит данные о рельефе, затем следуют слои гидрографии, дорожной сети, населенных пунктов, почв, растительного покрова, распространения загрязняющих веществ и т.д. В процессе решения поставленных задач слои анализируют по отдельности или совместно в разных комбинациях, выполняют их взаимное наложение (оверлей) и районирование. Например, по данным о рельефе можно построить производный слой углов наклона местности, по данным о дорожной сети и населенных пунктах – рассчитать степень обеспеченности территории дорожной сетью и сформировать новый слой (Берлянт, 2002).

Реальные объекты можно разделить на две абстрактные категории: дискретные (дома, территориальные зоны) и непрерывные (рельеф, уровень осадков, среднегодовая температура). Для представления этих

двух категорий объектов в ГИС-программах используются соответственно векторные и растровые данные.

Растровые данные представляют собой прямоугольный массив ячеек. Каждая ячейка, называемая пикселем, отображает квадратный участок земной поверхности и содержит присвоенный код, который постоянен в любом месте ячейки. Этот код идентифицирует либо цвет изображения, либо класс объекта. Значения пикселей могут быть результатами измерений, вычислений или интерполяции. Все ячейки растра должны быть одного размера. Чем меньше размер ячейки, тем выше точность растра.

Ячейки организованы в виде строк и столбцов, составляя декартову матрицу. Строки матрицы параллельны оси x декартовой системы координат, столбцы – оси y . Для каждой ячейки существует уникальный адрес, состоящий из номера строки и номера столбца.

Наиболее распространенным способом получения растровых данных о поверхности Земли является дистанционное зондирование. Хранение растровых данных может осуществляться в графических форматах, например, TIF, GRID, JPEG, или в бинарном виде в базах данных.

Растровая модель применяется, если интересует каждая точка пространства с ее характеристиками, а не отдельные объекты. Оптимальная для работы с явлениями, которые не имеют четко выраженных границ – с непрерывными данными, непрерывными поверхностями («полями»: рельеф, температуры, осадки, вегетация, концентрация загрязняющих веществ).

Выделяют две категории растровых данных:

- снимки;
- тематические непрерывные данные.

Снимки получают с помощью систем сбора изображений, которые регистрируют отраженный свет в одной или нескольких зонах электромагнитного спектра и кодируют его значениями от 0 до 255. Соответственно получаются одноканальные или многоканальные растры.

Одноканальные растры подразделяются на:

- бинарные – каждая ячейка имеет значение от 0 до 1;
- полутоновые – значения ячеек (от 0 до 255) преобразуются в оттенки серого;
- цветные индексированные – для задания цвета используется таблица цветов: значениями ячеек от 0 до 255 сопоставляются тройки значений красного, зеленого и синего цвета, комбинация которых определяют итоговый цвет каждой ячейки.

Многоканальные растры используются для хранения космических снимков и фотографий. Каждый канал – это зафиксированный сенсором определенный участок спектра электромагнитных волн. Для дополнительных исследований к красному, зеленому и синему каналам добавляется инфракрасный.

В тематических непрерывных растровых данных значением каждой ячейки является измеренная (либо вычисленная) величина или категория. Измеренная величина (высота земной поверхности, концентрация загрязняющих веществ, плотность населения) – число с плавающей точкой, меняется постепенно, все вместе значения моделируют некоторую поверхность.

Растровый набор данных, как и карта, описывает положение и характеристики областей и их относительное расположение в пространстве. Поскольку обычно один растр представляет одну тему, например, тип землепользования, почвы, высоты, для полного представления территории может потребоваться несколько растров.

Векторные данные – цифровое представление точечных, линейных и полигональных пространственных объектов в виде набора координатных пар. Векторные объекты имеют точную форму, положение и атрибуты, лучше всего подходят для описания дискретных объектов с четко выраженными формами и границами. Например, для отображения естественных образований (реки, растительность), искусственных сооружений (дороги, трубопроводы, здания), элементов разбиения земной поверхности (округа, административные районы, земельные участки).

Точечный объект – задается одной парой координат (X , Y) – это такой объект, который слишком мал, чтобы показывать его линией или полигоном, он расположен только в одной точке пространства. Точечным объектом могут показываться деревья, родники, колодцы, города на мелкомасштабных картах, пункты мониторинга и многое другое. О таких объектах говорят, что они дискретные, в том смысле, что каждый из них может занимать в любой момент времени только определенную точку пространства. В целях моделирования считают, что у таких объектов нет пространственной протяженности, длины или ширины, но каждый из них может быть обозначен координатами своего местоположения. Считается, что точки имеют нулевое количество пространственных измерений. В действительности, конечно, все точечные объекты имеют некоторую пространственную протяженность, пусть самую малую, иначе мы просто не смогли бы их увидеть.

Линейный объект – задается последовательностью пар координат – объект на карте, который имеет длину, но слишком узок, чтобы показывать его полигоном, представляется как одномерный в нашем координатном пространстве. Это могут быть дороги, реки, границы, изгороди, любые другие объекты, которые существенно длинны и узки. Масштаб, при котором наблюдаются эти объекты обуславливает порог, при пересечении которого мы можем считать их не имеющими ширины.

Полигоны или площадные объекты представляются как двумерные в координатном пространстве, т.е. у них есть длина и ширина. Полигон задается замкнутой линией, являющейся его границей (т.е. полигон определяется замкнутым набором пар координат, в котором первая и

последняя пары должны совпадать). Ими могут быть озера, поля, здания и т.д. (Краснощеков и др., 2004).

В ГИС к векторным объектам могут быть привязаны семантические (атрибутивные) данные. К примеру, при картографировании источников загрязнения атмосферы к точечным объектам, представляющим источники выбросов, может быть привязана разнообразная информация: наименование источника, удельные выбросы отдельных ингредиентов, режим работы источника и т.д. Структуру и типы данных определяет пользователь. На основе численных значений, присвоенных векторным объектам на карте, может строиться тематическая карта с диаграммами (гистограммами), на которых эти значения обозначены цветами в соответствии с цветовой шкалой, либо окружностями разного размера.

В настоящее время программных продуктов, реализующих функции географических информационных систем, большое количество. Среди них выделяются QGIS и SAGA GIS, которые распространяются под свободной лицензией, имеют широкие функциональные возможности и сопровождаются детальной и регулярно обновляемой документацией.

Техническая постановка проблемы заключается в следующем:

1. Найти официальные сайты программ QGIS (<https://qgis.org/ru/site/>) и SAGA GIS (<http://www.saga-gis.org/en/index.html>), ознакомиться с их контентом.
2. С официальных сайтов скачать последние версии дистрибутивов программ и установить их на свой компьютер.
3. Ознакомиться с общими сведениями и функциональными возможностями этих программ.
4. Ознакомиться с интерфейсом программ и проделать простейшие операции.

Знакомство с QGIS

QGIS (до 2014 г. Quantum GIS) – геоинформационная система с открытым кодом, работа над которой была начата в 2002 году. Распространяется под лицензией GNU General Public License. Является проектом Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) – международной некоммерческой организации, созданной для поддержки совместной разработки и использования геоинформационного программного обеспечения с открытым исходным кодом.

QGIS – динамично развивающаяся полнофункциональная настольная ГИС, способная решать широкий спектр задач. Работает на большинстве платформ (Linux, Unix, macOS, MS Windows Android), поддерживает более 60 форматов растровых форматов (библиотека Geospatial Data Abstraction Library – GDAL), более 20 векторных (OGR Simple Features Library), а также взаимодействует с данными, предоставляемыми различными картографическими web-сервисами и многими распространенными

пространственными базами данных. QGIS имеет одно из наиболее развитых сообществ в среде открытых ГИС, при этом количество разработчиков постоянно увеличивается.

Основные функциональные возможности – создание, управление, анализ и представление пространственных данных. Создание геоданных включает в себя пространственную привязку изображений, создание и редактирование векторных файлов, в т.ч. с поддержкой топологии, создание и редактирование атрибутивных данных, инструменты для импорта и экспорта данных GPS, создание и редактирование таблиц пространственных баз данных, выгрузку и редактирование данных Open-StreetMap.

Группу возможностей по управлению данными составляют: поддержка стандартных проекций, а также параметров перехода между различными системами координат, создание пользовательских проекций, перепроецирование «на лету» векторных и растровых слоев, проверка топологии, поиск атрибутов и выборка объектов (SQL-запросы).

Анализ геоданных включает в себя: функции геообработки, пространственные запросы, калькулятор полей атрибутов и калькулятор растров. Наиболее широкие возможности анализа геоданных предоставляет фреймворк геообработки QGIS, а именно – доступ к более чем 500 алгоритмам других открытых ГИС (например, GRASS, SAGA) и пользовательским скриптам.

Функциональные возможности по представлению геоданных – это наличие компоновщика карт для создания карт и атласов и публикация карт в сети Интернет.

QGIS имеет модульную архитектуру, что позволяет легко добавлять множество новых возможностей или функций. Большинство функций реализованы как основные или внешние модули. Основные модули разрабатываются командой разработчиков QGIS и автоматически входят в каждый новый релиз программы, написаны на языках программирования C++ и Python. Внешние модули находятся во внешних репозиториях и поддерживаются авторами, в большинстве случаев написаны на языке Python. Некоторые наиболее востребованные внешние модули со временем входят в ядро QGIS (Свидзинская, 2014).

Официальный сайт QGIS - <http://www.qgis.org>.

Файлы установки для различных операционных систем доступны на странице загрузок <http://download.qgis.org>.

На странице <http://www.qgis.org/ru/docs/index.html> представлена обширная документация. В основном она на английском языке, но некоторые документы, такие как руководство пользователя, доступны и на других языках.

Цель создания QGIS – сделать использование геоинформационных систем легким и понятным для пользователя, чего создатели отчасти добились: интерфейс программы интуитивен, русифицирован и понятен

даже для неопытного пользователя. Интерфейс QGIS разделен на шесть частей (рис.1):

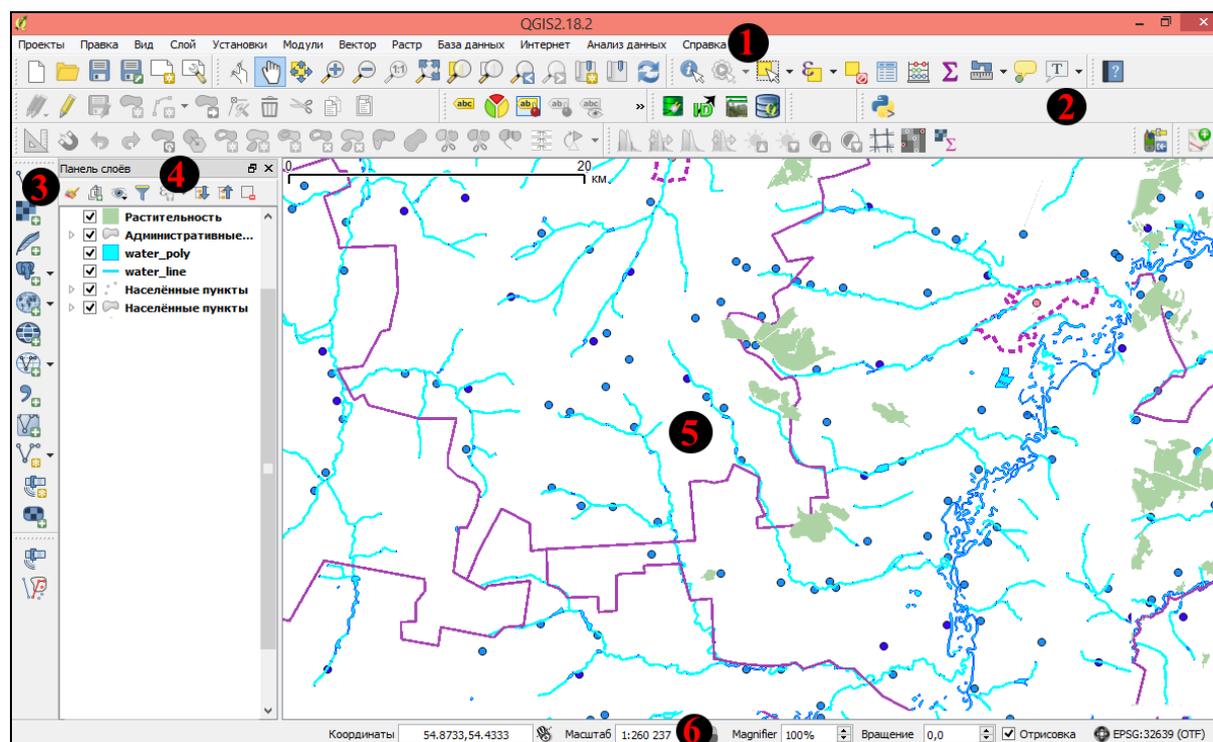


Рис. 1. Интерфейс QGIS

1 – Главное меню – предоставляет доступ ко всем возможностям QGIS в виде стандартного иерархического меню.

2 – Панели инструментов – обеспечивает доступ к большинству тех же функций, что и меню, а также содержат дополнительные инструменты для работы с картой.

3 – Панель управления слоями – отвечает за добавление или удаление слоев из различных источников.

4 – Панель слоев – содержит список всех слоев проекта. Флажок у каждого элемента используется для показа или скрытия слоя, а порядок их расположения определяет порядок отображения на карте. При нажатии правой клавиши мыши на слое, становится доступным его контекстное меню.

5 – Область карты – компоновка карты, отображение которой зависит от загруженных слоев. Данные в окне карты можно панорамировать и масштабировать.

6 – Строка состояния – отображает текущую позицию в координатах карты курсора мыши, масштаб карты, режим отрисовки и код EPSG текущей системы координат.

Знакомство с SAGA GIS

SAGA GIS (System for Automated Geoscientific Analyses) – является свободно распространяемым программным обеспечением с открытым исходным кодом. Его использование регулируется помимо лицензии GNU General Public License также лицензией GNU Library or Lesser General Public License, согласно которой некоторые модули SAGA могут оставаться проприетарными (Свидзинская, 2012).

Разработки SAGA начались в 1990 г. на кафедре физической географии Гёттингенского университета. SAGA GIS стала результатом интеграции трех прикладных программ: SARA (System for Automated Relief Analysis), SADS (System for the Analysis and Discretisation of Surfaces), DiGeM (Digitalen Geländemodell). Языком программирования SAGA был выбран C++, что позволило использовать существующие библиотеки, упростило и значительно ускорило процесс разработки. За последнее десятилетие пользователями SAGA стали многие научно-исследовательские институты Германии, США, России, Китая, Польши, Бразилии, Индии и других стран.

Являясь гибридной, SAGA GIS поддерживает векторную и растровую модели данных, специализируясь на анализе растров, также в ней предусмотрены возможности по работе с трехмерными данными, в том числе полученными в результате лидарной съемки.

Возможность работы с различными форматами файлов пространственных данных обеспечивается библиотеками GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) – обработка файлов растровых данных и OGR (OGR Simple Features Library) – работа с файлами векторных данных.

Операции в SAGA реализуются посредством модулей, и их количество постоянно увеличивается. Для предварительной обработки, коррекции изображений, в том числе цифровых моделей рельефа используется обширная библиотека фильтров. Для анализа растровых изображений могут использоваться модули на основе методов неконтролируемой классификации и классификации с обучением, деревьев решений, объектно-ориентированных методов, позволяющих анализировать спектральную и контекстную информацию, методов сегментации изображений, спектральных преобразований и вегетационных индексов.

Анализ цифровых моделей рельефа включает модули анализа формы поверхности, зон освещенности и видимости, температуры земной поверхности, миграции вещества и энергии в твердом и жидком состоянии, гидрологии и др. SAGA включает также функции статистического анализа и моделирования, позволяющие оценивать репрезентативность, вариативность и автокорреляцию данных, взаимосвязи между спектральными, яркостными и атрибутивными показателями, моделировать различные процессы в экосистемах (распространение

пожаров, поверхностный сток, содержание почвенной влаги, распределение стока в небольших бассейнах, содержание и круговорот углерода и т. д.). Все это делает SAGA мощным инструментом для тематического картографирования и прикладного анализа в самых различных отраслях и направлениях: лесном и сельском хозяйстве, почвоведении, ландшафтоведении, геоморфологии, гидрологии и многих других (Свидзинская, 2012, 2014; Толкач, 2016).

В настоящее время SAGA работает под операционными системами MS Windows, Linux, macOS, FreeBSD. Занимает относительно небольшой объем дискового пространства.

Официальный сайт – <http://www.saga-gis.org>.

На онлайн-хранилище файлов <https://sourceforge.net/projects/saga-gis/> содержатся файлы инсталляции и документации. Документацию можно скачать и со страницы <http://www.saga-gis.org/en/index.html>.

Руководство пользователя представлено на английском языке в двух томах: в первом описывается интерфейс и базовые функции, во втором – работа с некоторыми модулями (User Guide, 2010).

В открытом доступе также находятся публикации, которые углубленно знакомят с реализованными в SAGA алгоритмами и освещают сферы их применения.

Графический интерфейс SAGA GIS интуитивен, похож на интерфейс других ГИС, но имеет свои особенности. Рабочее окно делится на 6 областей (рис.2):

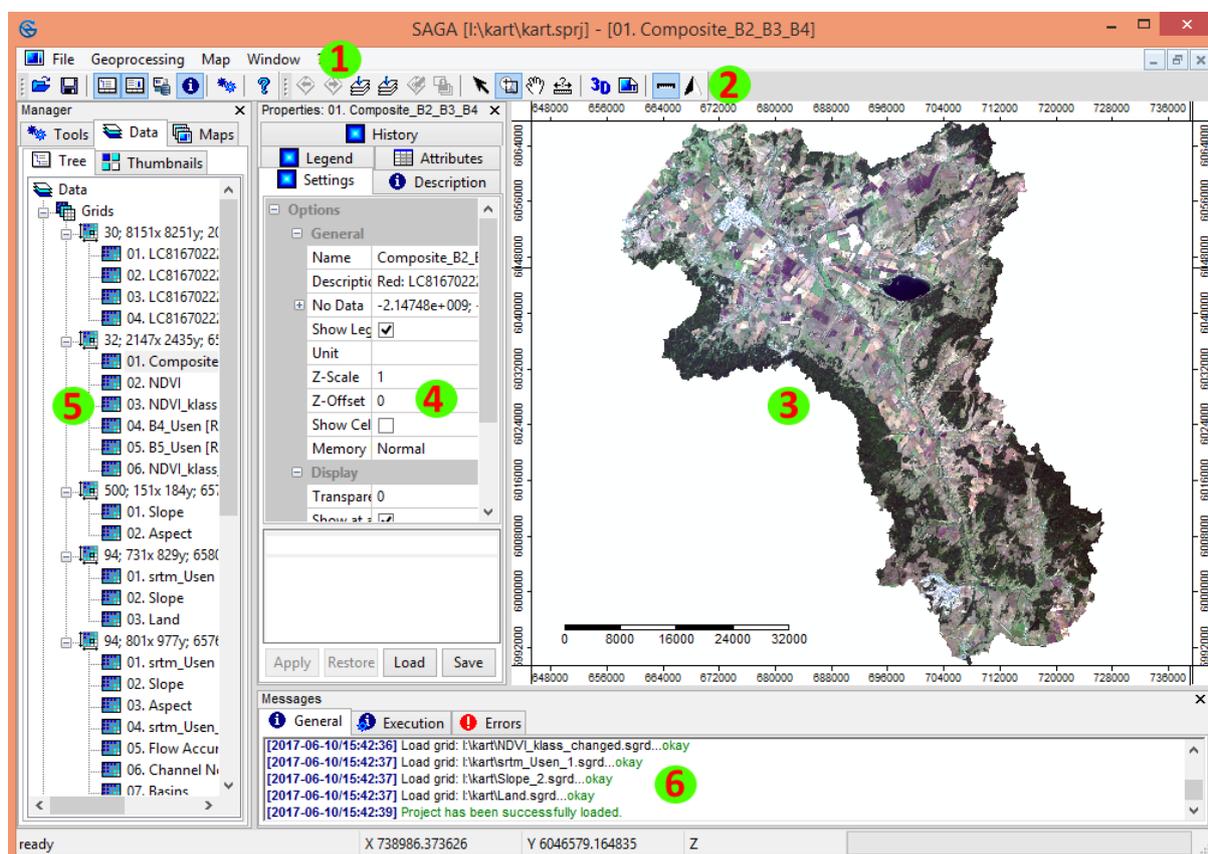


Рис. 2. Интерфейс программы SAGA GIS

1 – Главное меню. Включает 4 пункта: *File* – для операции загрузок файлов; *Geoprocessing* – для управлений данными и их анализа; *Map* – опции по работе с картами; *Window* – опции управления отображением панелей и окон.

2 – Панель пиктограммного меню отображается в зависимости от режима работы.

3 – Панель управления (*Manager*) предназначена для работы с данными и модулями. Содержит три вкладки: *Tools* – содержит опции и модули, обеспечивающие функциональность программы; *Data* – отображает перечень загруженных данных; *Maps* – отображает перечень созданных карт. Данные вкладки *Data* можно отобразить в виде иерархического дерева (Tree), а также в виде графических миниатюр, отображающих содержимое файла данных (Thumbnails). Основными типами данных являются векторные (shapes), растровые (grids), табличные (tables) и картографические данные. Векторные данные группируются по типу векторных объектов, т.е. объединяются в группу точечных объектов, линий и полигонов. Растровые данные группируются в систему гридов (растров) – перечень растров, имеющих одинаковый размер, пространственное разрешение и привязку.

4 – Панель свойств (*Properties*) отображает свойства активного объекта. Приобретает различные вкладки в зависимости от выбранной вкладки панели управления.

5 – Область отображения занимает основную часть окна программы и визуализирует картографическую информацию.

6 – Окно сообщений (*Messages*) предназначено для отображения служебной информации.

Расположение окон регулируется, что позволяет оптимизировать рабочее пространство.

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое экологическое картографирование?
2. Как связаны экологическое картографирование и географические информационные системы?
3. Дайте определение географической информационной системы.
4. Для каких природоохранных задач могут использоваться ГИС-технологии?
5. Назовите основные элементы карты.
6. Какие модели данных используются в ГИС-программах?
7. Раскройте особенности представления объектов реального мира в формате растровых и векторных данных в среде ГИС.
8. Перечислите и опишите преимущества программ QGIS и SAGA GIS.
9. Какая из ГИС-программ специализируется на анализе растровых данных?

Литература для углубленного изучения

- Лурье, И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков [Текст]: учебник / И.К. Лурье. – М.: КДУ, 2008. – 424 с.
- Сивков, В.С. Геоинформационная SAGA [Текст] / В.С.Сивков // Геопрофи №6, 2007. С.10-13.
- Свідзінська, Д. В. Методи геоєкологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA [Текст]: навчальний посібник / Д. В. Свідзінська. – Київ: Логос, 2014. – 402 с.
- Документация QGIS 2.18. [Электронный ресурс]. - URL https://docs.qgis.org/2.18/ru/docs/user_manual/
- Свидзинская, Д.В. Основы QGIS [Электронный ресурс] / Д.В. Свидзинская, А.С. Бруй. - Киев, 2014. - 83 с. URL: http://lab.osgeo.org.ua/files/QGIS_intro.pdf
- Свидзинская Д. В. GIS-Lab: Открытая настольная ГИС SAGA – общая характеристика [Электронный ресурс]. - 2012. - URL: <http://gis-lab.info/qa/saga-intro.html>.
- Conrad, O. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 [Электронный ресурс] / O. Conrad, B. Bechtel, M. Bock, H. Dietrich, E. Fischer, L. Gerlitz, J. Wehberg, V. Wichmann, J. Böhner // Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi: 10.5194/gmd-8-1991-2015, URL: <http://www.geosci-model-dev.net/8/1991/2015/gmd-8-1991-2015.html>.
- Sutton T. A Gentle Introduction to GIS [Электронный ресурс] / T. Sutton, O. Dassau, M. Sutton. - Spatial Planning & Information, Department of Land Affairs, Eastern Cape, 2009 - 114 p. Перевод на русский язык А. Еськова представлен на портале GIS-Lab (<http://gis-lab.info/qa/gentle-intro-gis.html>).
- User Guide for SAGA (version 2.0.5). Volume 1 [Электронный ресурс] / Vern Cimmery, 2010. – URL: https://netix.dl.sourceforge.net/project/saga-gis/SAGA%20-%20Documentation/SAGA%20%20User%20Guide/SAGA_User_Guide_Vol1_Cimmery_version_2.0.5_20100823.pdf

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2. СОЗДАНИЕ И НАСТРОЙКА НОВОГО ПРОЕКТА В QGIS

Теоретические сведения и постановка задачи

Одним из важных первых шагов при работе с ГИС является выбор системы координат, которая вместе с эллипсоидом и проекцией являются частью математической основы карты и ГИС в целом.

Объекты на карте связаны с реальными объектами на местности с помощью пространственных координат. Местоположение объектов на поверхности земли определяется при помощи географических координат. Хотя географические координаты хорошо подходят для определения местоположения объекта, но они не годятся для определения его пространственных характеристик, таких как длина, площадь и т.д. Поэтому данные переводят из сферических географических координат в прямоугольные спроектированные координаты.

Системы координат, в которых осуществляется ввод данных и работа в ГИС, могут отличаться от систем вывода. Например, оцифровка материалов может проводиться в одной проекции, а составление макета карты и вывод на печать – в другой.

Таким образом, существует два типа систем координат: географические системы координат и спроектированные системы координат.

Географическая система координат использует сферические угловые географические координаты (широту и долготу), базирующиеся на одном из эллипсоидов.

Единицы измерения в географических системах координат выражены в угловых величинах – градусах, радианах.

Эллипсоид (или сфероид) – фигура, упрощенно описывающая форму Земли. Эллипсоид характеризуют три параметра: большая экваториальная полуось, малая полярная полуось и полярное сжатие. В разные времена и в разных странах были приняты и закреплены различные эллипсоиды, параметры которых не совпадают между собой. В бывшем СССР и России принят эллипсоид Ф.Н.Красовского, вычисленный в 1940 г. В 1984 г. на основе спутниковых измерений вычислен международный эллипсоид WGS-84 -World Geodetic System (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение эллипсоидов Красовского и WGS-84

Эллипсоид	Большая полуось, м	Малая полуось, м	Сжатие
Красовского	6 378 245	6 356 863	1:298,3
WGS-84	6 378 137	6 356 752	1:298,257

Карты, составленные на основе разных эллипсоидов, получаются в различающихся координатных системах. Несовпадения особенно заметны на крупномасштабных картах при определении по ним точных координат объектов (Берлянт, 2002).

Самыми распространенными географическими системами координат для территории России являются:

– универсальная геодезическая система WGS-84, базирующаяся на эллипсоиде WGS-84 с центром в центре масс земли, широко применяется за рубежом, используется в глобальной навигационной системе GPS, а также при систематической геометрической коррекции данных космической съемки поверхности Земли.

– референсная – Pulkovo-1942 (СК-42), базирующаяся на эллипсоиде Красовского, начало координат смещено относительно центра масс на расстояние около 100 м (поэтому эта система и носит название референцной или относительной), широко используется в российской картографии.

Для обеспечения математически определенного отображения поверхности эллипсоида на плоскость карты применяют картографические проекции, в которых своя система координат.

Спроектированная (спроецированная) система координат – прямоугольная система, с началом координат в определенной точке, связанная с географической системой координат набором специальных формул – проекцией.

Единицы измерения плоских прямоугольных координат линейные и могут быть выражены в метрах, футах, километрах.

Картографические проекции обычно различают по характеру искажений и по виду вспомогательной геометрической поверхности. По характеру искажений проекции делятся на равноугольные, равновеликие и произвольные. Равноугольные (конформные) проекции сохраняют величину углов. Равновеликие (равноплощадные, эквивалентные) не искажают площади. Произвольные проекции искажают и углы, и площади, при их построении стремятся найти наиболее выгодное, компромиссное для каждого конкретного случая распределение искажений.

По виду вспомогательной геометрической поверхности различают цилиндрические, азимутальные (плоскостные) и конические проекции. Цилиндрическими называют проекции, в которых сеть меридианов и параллелей с поверхности эллипсоида переносится на боковую поверхность касательного цилиндра, а затем цилиндр разрезается по образующей и разворачивается в плоскость. В азимутальных проекциях сеть меридианов и параллелей переносится на касательную плоскость сфероида, в конических – на коническую поверхность (Берлянт, 2002).

Достаточно широко распространены в России и мире группа проекций UTM и Гаусса-Крюгера. Обе эти группы базируются на одной поперечной проекции Меркатора, однако имеют различную номенклатуру (нумерацию зон) и параметры проекций для каждой зоны.

UTM – (Universal Transverse Mercator) – универсальная поперечная проекция Меркатора. В этой проекции Земля делится на 60 шестиградусных зон ($6^\circ \times 60 = 360^\circ$). Зоны пронумерованы от 1 до 60 от 180° з.д. Каждая зона имеет свой центральный меридиан. Проекция UTM основана на цилиндре, ориентированном параллельно экватору, поэтому она является поперечной. Координаты UTM выражаются в метрах. Отсчёт по оси X (направление на восток) идёт от центрального меридиана зоны. Отсчёт по оси Y (направление на север) начинается от экватора. Чтобы исключить отрицательные координаты, проекция изменяет значения в начале координат. Величина сдвига от центрального меридиана - это ложный восточный сдвиг, он равен 500000 метров; величина сдвига от экватора – ложный северный сдвиг (0 метров). Проекция UTM является конформной, т.е. сохраняет форму с точным соблюдением малых форм и минимальными искажениями крупных форм внутри зоны. В определённых пределах также сохраняется направление. Имеются небольшие искажения площади. Масштаб постоянен вдоль центрального меридиана при факторе масштаба 0,9996, чтобы сократить широтные искажения внутри каждой зоны.

Проекция Гаусса-Крюгера – равноугольная поперечная цилиндрическая проекция, применяемая в нашей стране с 1935 г. для топографических карт, начиная с масштаба 1:500000 до самых крупных. Отличия от проекции UTM заключаются в следующем: во-первых, нумерация шестиградусных зон начинается от первой зоны, примыкающей к Гринвичскому меридиану с востока, следовательно, чтобы получить номер зоны проекции Гаусса-Крюгера, нужно от номера зоны проекции UTM отнять 30. Во-вторых, на центральном меридиане частный масштаб длин равен единице (Лебедева, 2000).

Проекция данных записывается в специальный файл с расширением *.prj., в котором указывается система координат, проекция, единицы измерения и другие данные, важные для пространственной привязки данных. Этот файл помогает ГИС не только определить привязку данных, но и перевести их в другую проекцию, если такая команда будет дана ГИС.

Довольно распространены ситуации, в которых данные, используемые в ГИС, находятся в разных системах координат. Например, может быть векторный слой границ в проекции UTM 39N и точечный слой с метеорологической информацией, записанный в географической системе WGS-84. Если открыть эти слои в ГИС, они отобразятся в абсолютно разных местах, хотя информация относится к одной и той же территории. Для решения этой проблемы многие ГИС имеют функцию, называемую проекцией «на лету». Это значит, что можно задать определенную проекцию карты перед тем, как добавлять слои, а затем по мере добавления слоев они будут автоматически отображаться в заданной проекции, вне зависимости от того, в какой проекции они записаны изначально. Эта функция обеспечивает корректное наложение слоев даже в случае различающихся систем координат (Sutton, 2009).

Техническая постановка задачи состоит в следующем:

1. Создание нового проекта в QGIS.
2. Выбор для него картографической проекции.
3. Привязка растровой основы – контурной карты Республики Башкортостан.

Создание нового проекта и выбор проекции

В QGIS предусмотрена возможность сохранить все слои, настройки отображения и макеты в виде проекта QGIS. В нем сохраняются пути к слоям, которые были загружены в ходе сеанса работы в QGIS, а также все настройки отображения элементов и макеты. Файл проекта позволяет открыть QGIS со всем ранее подготовленным содержимым. Однако при переносе файла проекта на другой компьютер вы не сможете автоматически загрузить все слои, с которыми вы работали и сохранили в этом файле, так как информационная система будет искать их по полному пути, который относится к другому компьютеру.

Для создания нового проекта QGIS на панели инструментов или в выпадающем меню *Проекты* выберите кнопку *Создать*. Далее необходимо определиться с проекцией проекта. Поскольку в качестве растровой подложки проекта будет использоваться контурная карта Республики Башкортостан, необходимо выбрать ту проекцию, в которой и создана контурная карта. Это позволит избежать искажений растровой основы.

Большая часть карт на территорию Республики Башкортостан создана в проекции Гаусса-Крюгера, её и следует выбрать. Для этого нажмите *Свойства проекта* и во вкладке *Система координат* выберите прямоугольную систему координат *Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 10*. Ее идентификатор в базе EPSG (European Petroleum Survey Group) - 28410 (рис.3).

При сохранении проекта через пункт *Сохранить как* выберите папку, в которой будут храниться файлы, и дайте название проекту, например *Ecolog*. Проект запишется в выбранную папку в виде специального файла с расширением *.qgs.

Для дальнейшей работы необходимо произвести еще одну настройку. Перейдите в диалоговое окно *Установки – Параметры – Система координат* и активируйте параметр *Автоматически включать перепроецирование «на лету»*, если слои имеют разные системы координат (рис.4).

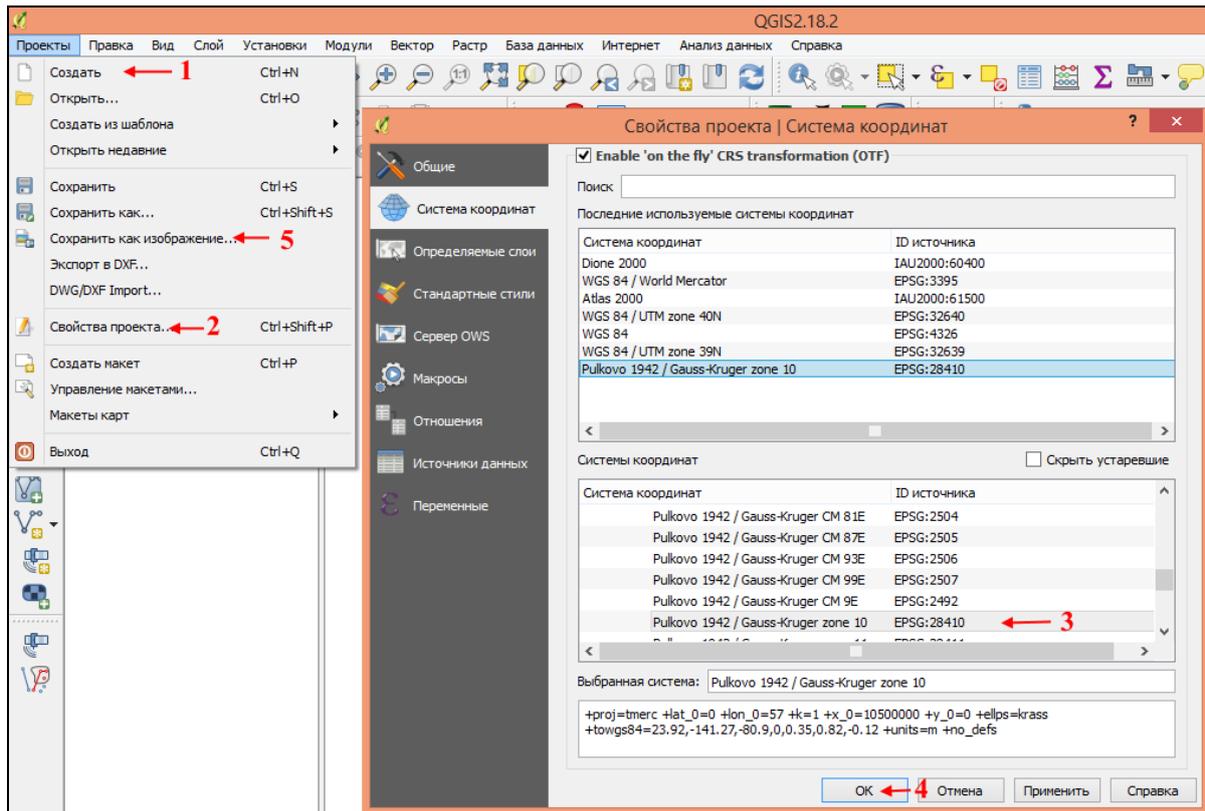


Рис.3. Выбор системы координат для нового проекта

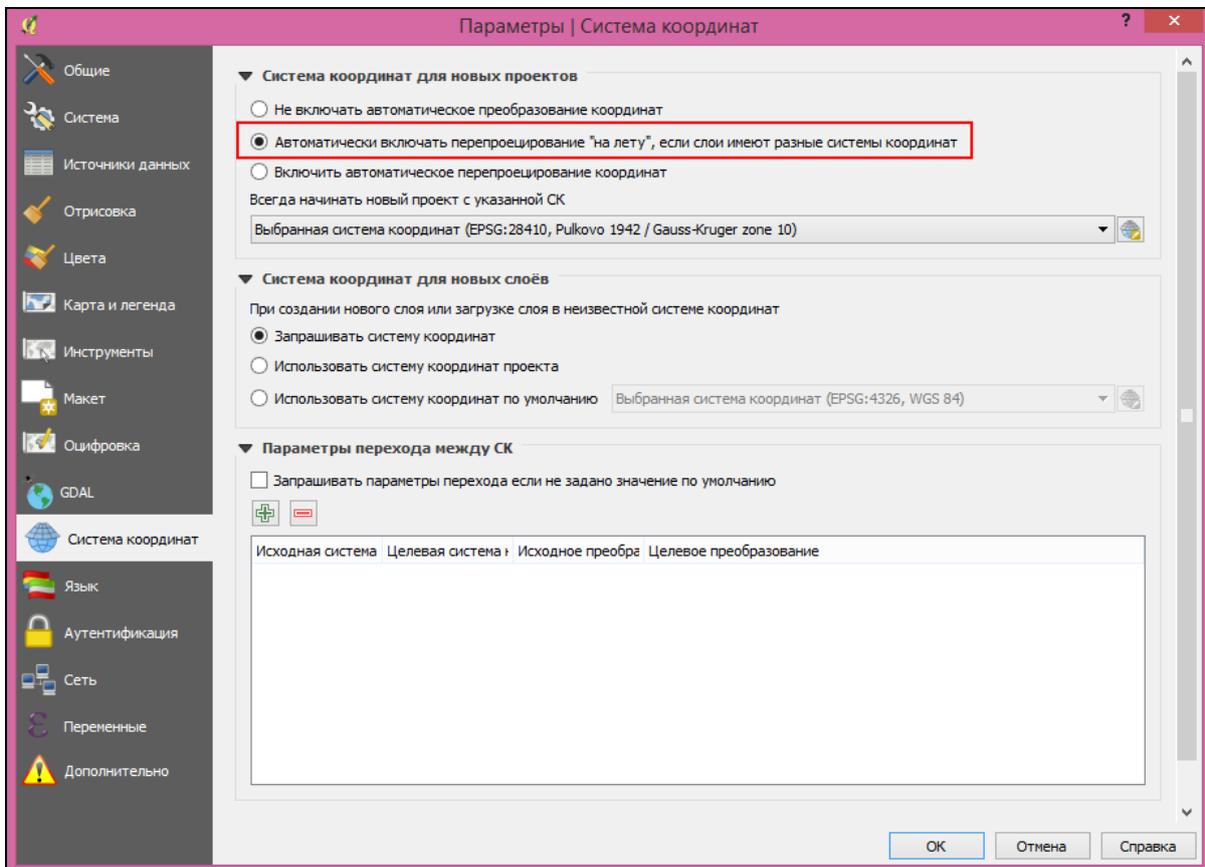


Рис.4. Базовые настройки работы с проекциями

Это означает, что если в проект добавляется слой с отличной от проекта системой координат, то осуществляется его автоматическое преобразование в систему координат проекта, так называемое перепроецирование «на лету». При этом проекция самого слоя не меняется, а лишь на основе известных параметров трансформируется на время работы в проекте.

Привязка растровой основы

На просторах Интернета найдите контурную карту или любую разгруженную карту Республики Башкортостан, на которой легко распознаются местоположения населенных пунктов. Эта карта и будет служить подложкой или растровой основой.

Выделите на ней населенные пункты с известными координатами, желательно чтобы они располагались равномерно во всех частях карты. Например, Акъяр ($51^{\circ}51'32''$ с.ш., $58^{\circ}13'16''$ в.д.), Новобелокатай ($55^{\circ}42'22''$ с.ш., $58^{\circ}57'17''$ в.д.), Стерлитамак ($53^{\circ}37'28''$ с.ш., $55^{\circ}57'00''$ в.д.), Туймазы ($54^{\circ}36'23''$ с.ш., $53^{\circ}42'34''$ в.д.), Учалы ($54^{\circ}17'58''$ с.ш., $59^{\circ}27'07''$ в.д.), Янаул ($56^{\circ}16'30''$ с.ш., $54^{\circ}56'01''$ в.д.). Они будут служить точками привязки.

Процесс привязки трансформирует растровую основу в соответствии с введенными координатами точек привязки и обеспечит географическую корректность.

Для начала процесса привязки зайдите в меню *Растр – Привязка растров*. В появившемся окне с помощью кнопки *Открыть растр* откройте привязываемый слой. При этом программа предложит выбрать систему координат. Ввиду того, что координаты населенных пунктов приведены во всемирной системе координат WGS 84 (World Geodetic System 1984), именно ее и нужно выбрать среди географических систем координат. А включенная ранее функция перепроецирования «на лету» трансформирует растр таким образом, чтобы он был совместим с проекцией Гаусса-Крюгера.

Расстановка точек привязки производится с помощью инструмента *Добавить точку*. Увеличьте изображение привязываемого изображения в области выбранной точки привязки, щелкните курсором по этой точке, например, по городу Янаул, и в появившемся окне введите координаты города: долготу и широту (рис.5).

После нажатия *OK* на карте появится точка, идентификатор с номером и ее координаты, переведенные в десятичные градусы. Проведите эту же операцию с другими населенными пунктами. Должно быть не менее 4-5 точек привязок.

После указания всех точек нажмите кнопку *Параметры трансформации* (кнопка на панели инструментов с изображением шестеренки). В появившемся окне в графе *Целевой растр* укажите папку, в которой необходимо сохранить файл, дайте название создаваемому файлу.

В этом же окне необходимо выбрать тип трансформации растра. Доступно несколько методов, в том числе:

- линейная – используется для генерирования файла географической регистрации (world-файла). Отличается от других алгоритмов, т. к. фактически не трансформирует растр. Этот способ не подходит для привязки сканированных материалов;

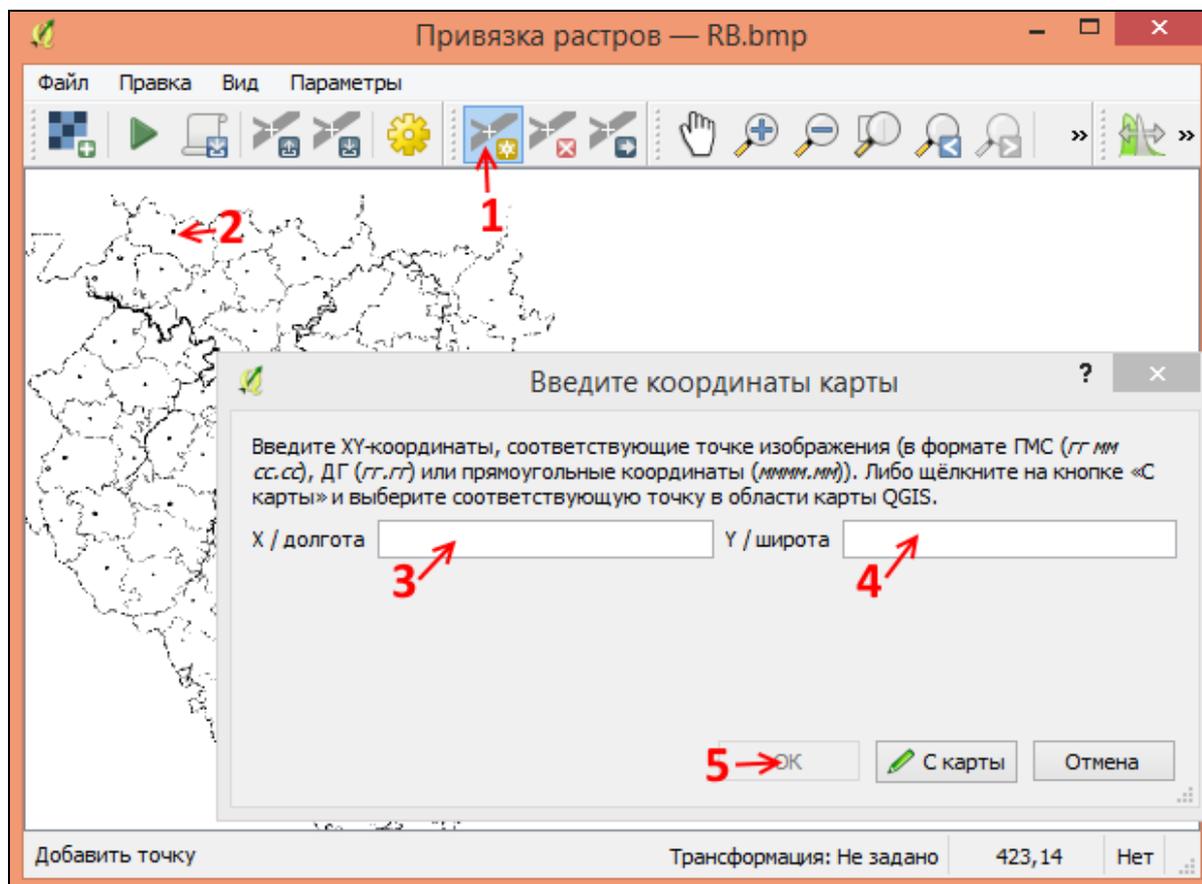


Рис.5. Последовательность операций по привязке растров

- Гельмерта – производит простые масштабирующие и поворотные трансформации;

- полиномиальные трансформации 1–3 порядков – одни из наиболее широко распространенных, в частности трансформация 2-го порядка, которая наряду с растягиванием растра позволяет и его искривление. Полиномиальная трансформация 1-го порядка (аффинная) сохраняет коллинеарность (параллельность) и позволяет делать масштабирование, смещение и поворот исходного растра. В целом, чем выше порядок полинома, тем сильнее трансформация исходного растра и больше число минимально необходимых точек привязки;

- тонкостенный сплайн (The Thin Plate Spline – TPS) – более современный метод трансформации, позволяющий осуществлять локальные трансформации данных с целью «подогнать» их под точки привязки (аналог метода «резинового листа»). Этот алгоритм хорошо зарекомендовал себя при привязке исходных материалов низкого качества;

– проективная трансформация – линейное вращение и смещение координат (Свидзинская, Бруй, 2014).

После выбора типа трансформации выберите метод интерполяции, остальные параметры оставьте по умолчанию (рис.6). Нажмите *OK*.

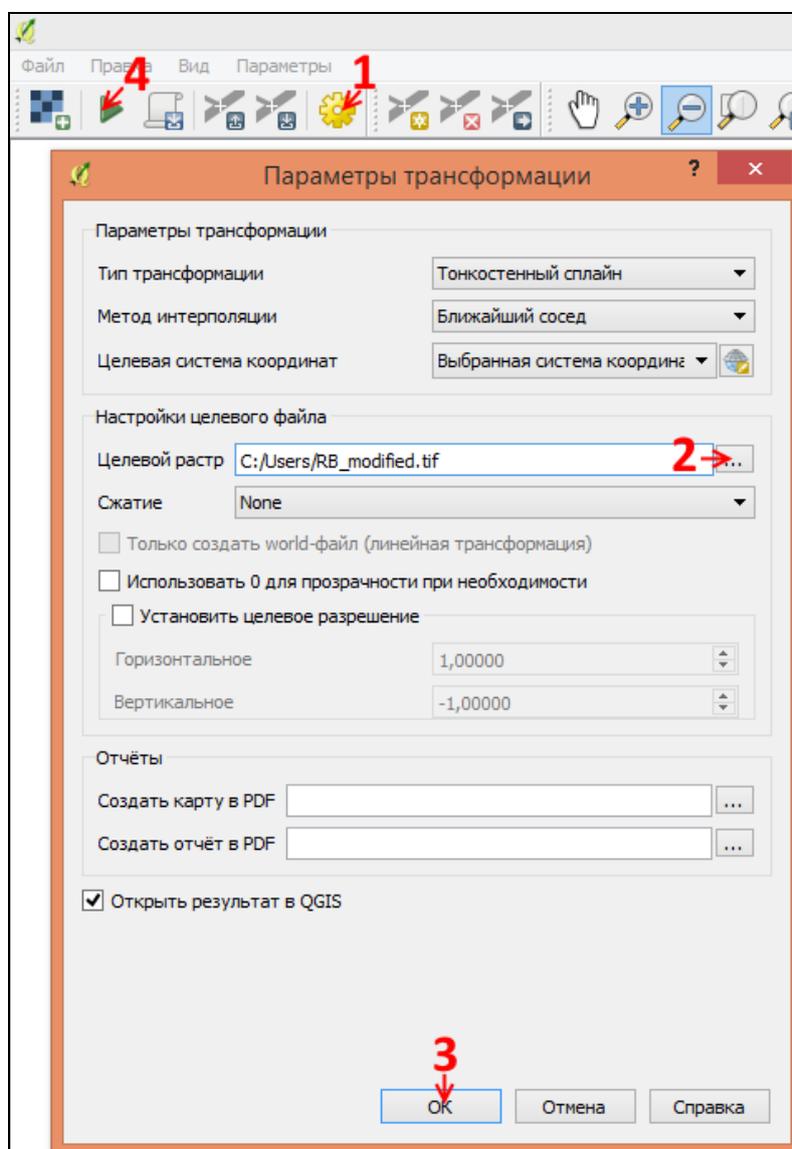


Рис.6. Параметры трансформации

Чтобы запустить процедуру привязки, нажмите кнопку *Начать привязку растра*. После ее завершения геопривязанный растр появится в основном окне карты, а в списке *Панели слоев* появится новый слой.

Если в результате привязки растра появилась черная обрамляющая рамка, убрать ее очень легко (рис.7).

Кликните правой клавишей мыши на растровом слое в списке *Панели слоев*, из появившегося контекстного меню выберите *Свойства – Прозрачность*, в графе *Дополнительное значение* впишите цифру 0 (рис.8).

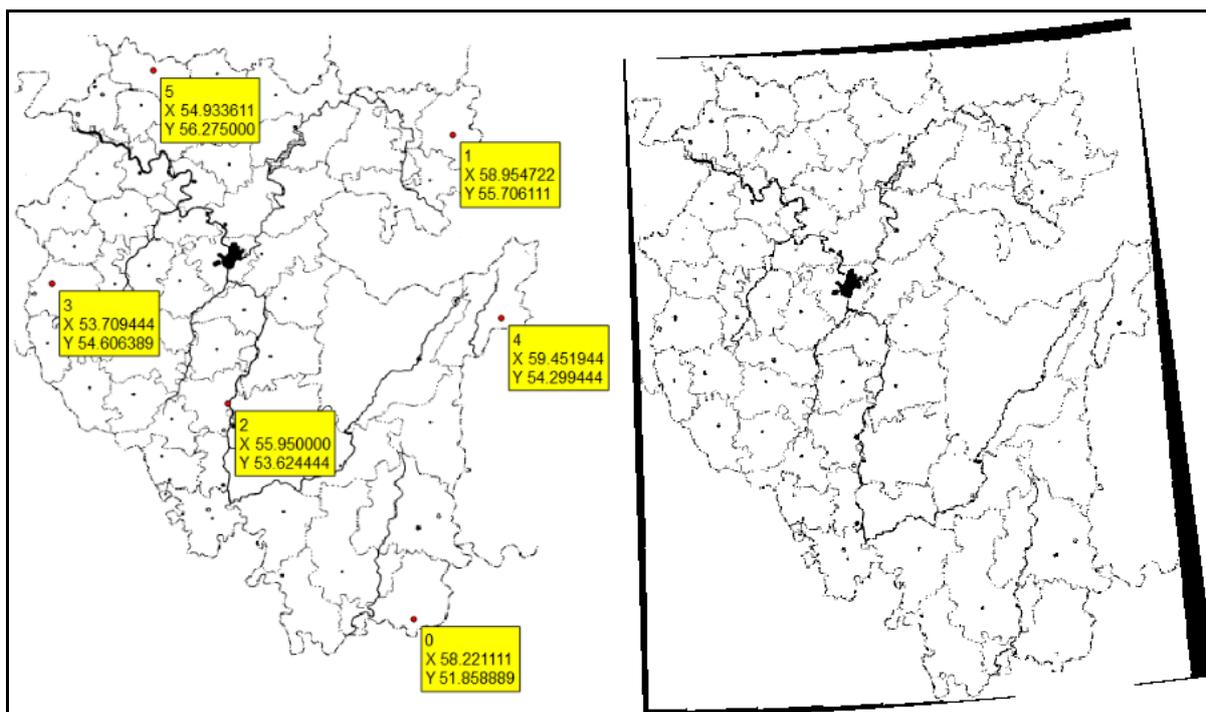


Рис.7. Привязка растра: а – расставленные точки привязки; б – результат привязки с обрамлением

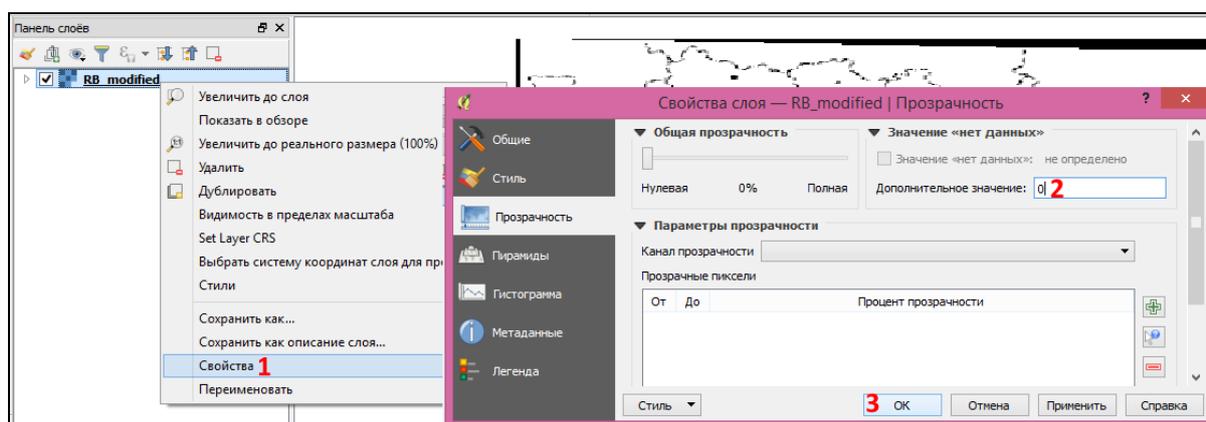


Рис.8. Избавление от черной рамки растра

Чтобы записать информацию о проекции непосредственно в файл геопривязанного изображения в формате GeoTIFF, выберите меню *Растр – Проекция – Назначить проекцию*. В открывшемся окне выберите ваш геопривязанный файл и требуемую систему координат. После выполнения операции геопривязанный файл можно будет открывать в других ГИС-программах без дополнительных манипуляций по ручному указанию системы координат.

Для фиксации введенных изменений сохраните проект с помощью кнопки *Сохранить*.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте сравнительную характеристику географическим и спроецированным системам координат.

2. В чем заключается сходство и различия проекций UTM и Гаусса-Крюгера?
3. Для чего необходима географическая привязка растра?
4. Почему для создаваемого проекта выбрана проекция Гаусса-Крюгера, а для привязываемого растра WGS 84?
5. Что означает код EPSG при выборе проекций?
6. Для чего в проекте QGIS необходимо включать опцию «Перепроецирование «на лету»»?
7. С помощью каких действий осуществляется привязка растровой основы в проекте QGIS?

Литература для углубленного изучения

1. Берлянт, А.М. Картография [Текст]: учебник для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 336 с.
2. Лебедева, О.А. Картографические проекции [Текст]: методическое пособие. – Новосибирск, 2000. – 37 с.
3. Sutton T. A Gentle Introduction to GIS [Текст] / T. Sutton, O. Dassau, M. Sutton. - Spatial Planning & Information, Department of Land Affairs, Eastern Cape, 2009 - 114 p.
4. Свидзинская, Д.В. Основы QGIS [Электронный ресурс] / Д.В. Свидзинская, А.С. Бруй. - Киев, 2014. - 83 с. URL: http://lab.osgeo.org.ua/files/QGIS_intro.pdf

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ДАННЫХ О ВЫБРОСАХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ ПО ГОРОДАМ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН

Теоретические сведения и постановка задачи

Визуализация результатов экологического мониторинга необходима как для наглядного их представления, так и для интерпретации и анализа полученных данных.

Существует ряд способов картографического изображения экологических характеристик: значками, линейными условными знаками, изолиниями, ареалами, локализованными диаграммами и др. При их выборе учитывается характер картографируемых данных, масштаб карты, характер распространения загрязняющих веществ и другие параметры.

Способ значков применяется для передачи планового положения, количественных и качественных характеристик объектов, по своим размерам не выражающихся в масштабе карты, но имеющих четкую точечную локализацию. Форма или цвет значка обычно отражают качественные особенности объекта или явления, а его размер или внутренняя структура – количественную характеристику. Способ значков применяется для обозначения пунктов экологического мониторинга и места отбора проб, места обитания редких видов флоры и фауны и другие небольшие по геометрическим размерам, но важные для содержания карт объекты. На мелкомасштабных картах значками обозначаются объемы и состав выбросов и сбросов загрязняющих веществ по городам и крупным промышленным объектам, а также состав и степень остроты экологических проблем городов.

Способ локализованных диаграмм – способ изображения на карте явлений, имеющих сплошное или линейное распространение с помощью графиков или диаграмм, показывающих явление в местах его изучения. Например, изображение изменения температуры воздуха по месяцам года с помощью кривых, показывающих это изменение в местах нахождения метеостанций. Способом локализованных диаграмм в основном передается сезонная, межгодовая или иная изменчивость показателей заболеваемости, концентрации отдельных веществ, общих уровней загрязнения атмосферы или гидросферы, условия рассеяния или потенциала самоочищения.

У способов значков и локализованных диаграмм есть общая черта: рисунки, выражающие количественные и качественные особенности объектов, на карте оказываются привязанными к точке. Однако при использовании способа значков этой точкой является пункт фактической локализации явления, а при использовании способа локализованных диаграмм – пункт наблюдения за явлением (метеостанция, гидропост).

Способ изолиний – способ изображения явлений, имеющих сплошное распространение с помощью кривых линий, соединяющих на карте точки с одинаковыми значениями какого-либо количественного показателя

явления. Например, изогипсы – линии, соединяющие точки, расположенные на одинаковой высоте над уровнем моря, изотермы – точки с одинаковыми значениями температуры, изобары – точки с одинаковыми значениями давления, изогиеты – точки с одинаковыми значениями осадков. Расстояние между изолиниями на карте называется заложением изолиний и характеризует градиент поля (например, уклон поверхности). Чем меньше заложение, т.е. расстояние между изолиниями, тем выше градиент (круче поверхность), и наоборот, большие заложения свидетельствуют о пологой поверхности, о низких градиентах. Автоматическое проведение изолиний выполняется по цифровым моделям с помощью специальных интерполяционных программ.

Способ псевдоизолиний применяется для отражения не реальных, а искусственных, абстрактных полей. Используется, например, для показа «промышленного рельефа» – плотности объектов индустрии на единицу площади или «поля расселения» – числа жителей на единицу площади. Таким образом, речь идет о псевдоизолиниях, т.е. изолиниях, отображающих распределение дискретных объектов, которые не образуют сплошного поля, и проводятся на основе интерполяции расчетных статистических показателей.

Способ качественного фона используется для качественной характеристики явлений сплошного или рассеянного распространения. Территория делится на качественно однородные контуры, которые окрашиваются или штрихуются в соответствии с качественной характеристикой. Этот способ самым тесным образом связан с классификационным подразделением территории, ее дифференциацией по какому-либо признаку, с типологическим районированием, например, с выделением районов сельскохозяйственной специализации, ландшафтов, типов почвенного покрова, растительных ассоциаций.

Способ количественного фона применяется для передачи количественных различий явлений сплошного распространения в пределах выделенных районов. Подобно качественному фону он всегда сопряжен с районированием, но по количественному признаку. Окраска или штриховка выполняется по шкале, т.е. интенсивность возрастает или убывает в соответствии с изменением признака. Например, карты районирования территории по степени расчленения рельефа.

Способ ареалов – способ изображения на карте области ограниченного по площади распространения какого-либо явления с помощью площадного графического средства. Например, распространение животных и растений, месторождения полезных ископаемых. Графические средства изображения ареалов могут быть разнообразными: границы, фоновая окраска, штриховка, значки, надписи, индексы. Существует принципиальная разница между значковым способом, когда каждый знак точно относится к объекту, локализованному в том или ином пункте, и значком ареала, характеризующим площадь.

Точечный способ – способ изображения на карте рассредоточенных объектов или явлений множеством точек одинакового размера, обозначающих одинаковое количество единиц объекта и располагаемых соответственно его размещению и концентрации. Например, размещение сельского населения, когда вес одной точки составляет фиксированное количество жителей.

Способ линейных знаков – применяется для изображения на карте различных линейных объектов (границ, водораздельных линий), ширина которых не выражается в масштабе карты. Разный рисунок и цвет линейных знаков передают качественные и количественные характеристики объектов: тип береговой линии, глубину заложения разломов и т.д.

Способ знаков движения – предназначен для отображения пространственных перемещений (морских течений, миграций животных) с помощью линий движения и векторов.

Картодиаграмма – способ изображения суммарной величины (структуры, динамики) явления в каждой единице территориального деления с помощью диаграммных фигур, выражающих эту величину и помещаемых внутри каждой такой единицы. Обычно используется на картах, составленных по статистическим данным. Способ картодиаграмм пользуется широким распространением в экологическом картографировании при изображении объемов выбросов и сбросов, количества отходов, объемов внесения удобрений и пестицидов (Берлянт, 2002; Стурман, 2003).

Техническая постановка задачи состоит в том, чтобы на карте Республики Башкортостан показать объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу по городам республики за определенный период времени. Визуализацию информации произвести с помощью локализованных диаграмм. Информацию по выбросам можно взять из ежегодных Государственных докладов о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан (Гос. доклад, 2016).

Работа состоит из нескольких этапов:

1. Создание точечного векторного слоя городов.
2. Внесение по каждому городу атрибутивной информации, состоящей из трех пунктов: наименование города, объемы выбросов от стационарных источников и от транспорта.
3. Манипуляции со свойствами векторного слоя: подписывание значениями атрибута «Наименование»; построение диаграммы по атрибутам, выражающих объемы выбросов.

Создание нового векторного слоя

Чтобы на карте отобразить данные экологического мониторинга по городам, необходимо создать слой, отображающий эти города. Это должен

быть векторный точечный слой, в атрибутах которого содержатся названия городов и экологические показатели.

Откройте проект *Ecolog*, в котором уже содержится привязанный растровый слой с административными границами Республики Башкортостан и обозначениями крупных населенных пунктов.

Зайдите в меню *Слой – Создать слой – Создать shape-файл*. В появившемся окне укажите дополнительные настройки: тип – точка, кодировка – windows-1251, система координат - EPSG: 28410 – Pulkovo 1942 / Gauss-Kruger zone 10.

Отличительное свойство векторных объектов – наличие атрибутивной информации. При формировании нового слоя автоматически создается поле для первого атрибута. Это поле называется *id*, его тип *Integer* – целое число. При создании каждого векторного объекта программа будет требовать заполнения этого поля.

Далее необходимо добавить поля для дополнительных атрибутов, таких как наименование города, объем выбросов от стационарных источников, объем выбросов от транспорта. Для этого в строке *Имя нового поля* впишите «*Наименование*». В строке *Тип* выберите *Текст (string)* длиной 20 символов и нажмите кнопку *Добавить в список полей*.

Аналогичным образом добавьте еще 2 атрибута: первый назовите «*Стационарные*», второй – «*Транспорт*», у обоих тип – *Десятичное число (real)*, длина – 20 символов; точность – 1 знак. После добавления всех полей нажмите ОК (рис.9).

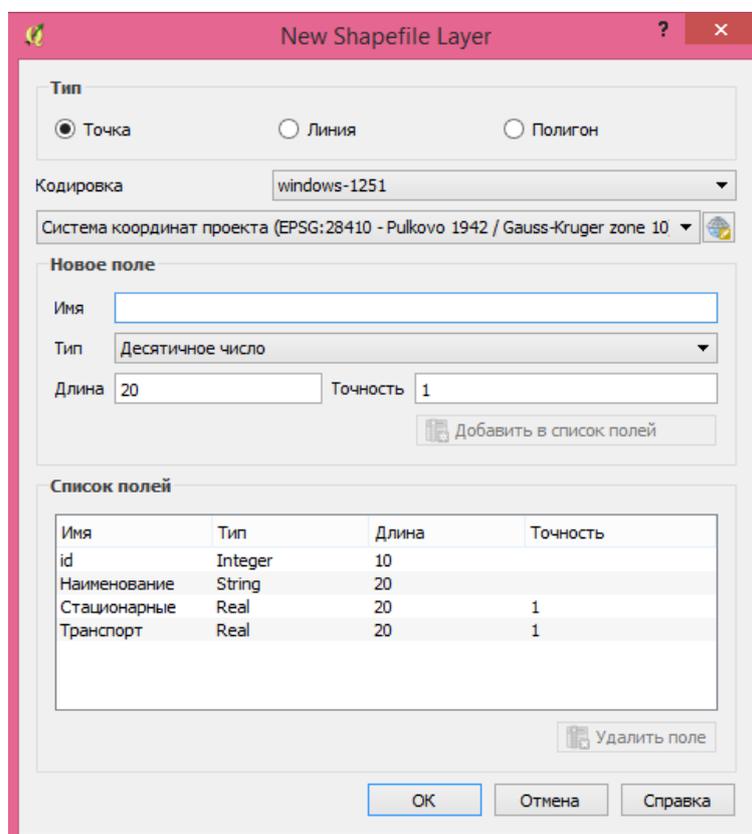


Рис.9. Создание нового векторного слоя

После этого появится окно *Сохранить слой как*, в котором нужно указать папку для сохранения и дать имя файлу, например, *city*. Векторный слой в формате shape-файла сохранится в виде нескольких файлов с разными расширениями, где:

- 1 - *.shp – содержит геометрическую информацию об объектах.
- 2 - *.dbf – содержит атрибутивную информацию.
- 3 - *.shx – индексный файл, вспомогательная информация, позволяющая ГИС-приложению быстро находить объекты при поиске.
- 4 - *.prj – содержит информацию о проекции

В результате слой *city* появится в списке на *Панели слоев*. Далее нужно добавить в него элементы. Для этого активируйте его – кликните по нему левой клавишей мыши. На панели инструментов нажмите кнопку *Режим редактирования* (изображение карандаша), затем кнопку *Добавить объект* (изображение трех зеленых точек со снежинкой). Теперь кликните на карте по точке, указывающей местоположение города, например, Благовещенска. Появится окно с его атрибутами. Заполните все атрибуты, подтвердите действия нажатием ОК и сохраните изменения кнопкой *Сохранить правки* (рис.10).

Аналогичным образом добавьте и другие города на карту. Сохраните все изменения.

Чтобы посмотреть введенную атрибутивную информацию, активизируйте векторный слой на панели слоев, правой клавишей мыши вызовите контекстное меню, выберите *Открыть таблицу атрибутов*. Появится таблица, в которой можно просмотреть введенную информацию и при необходимости внести корректировки.

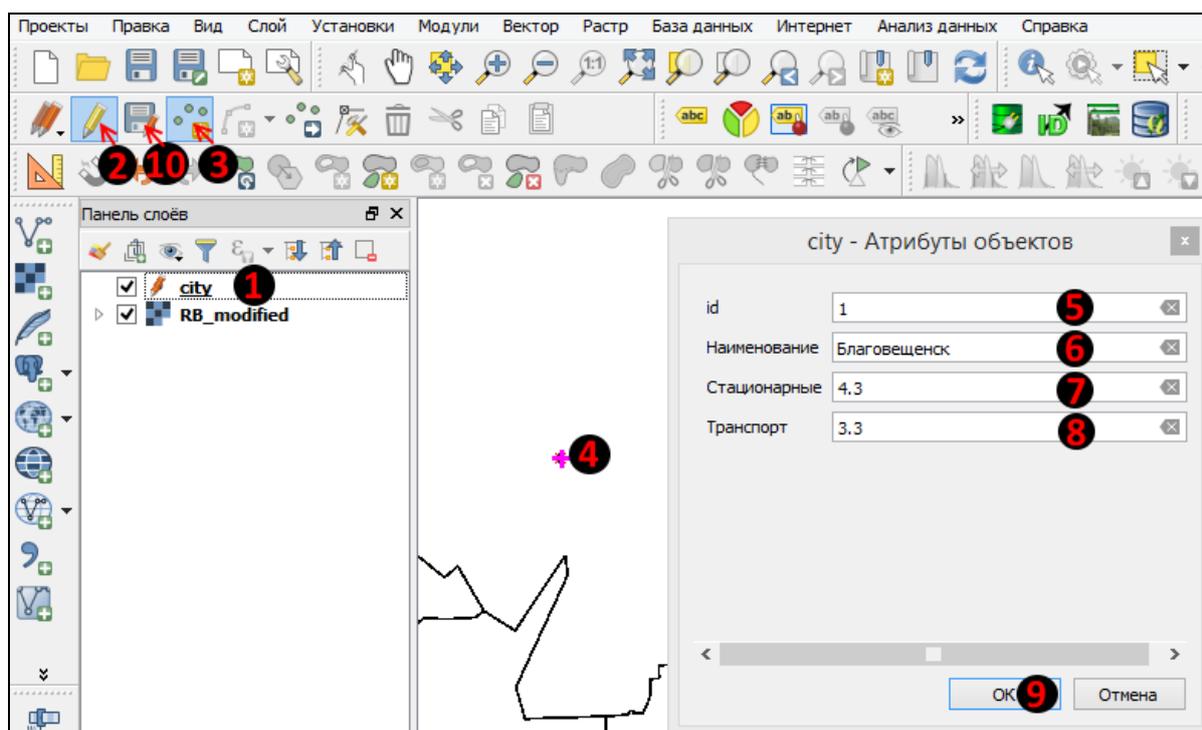


Рис.10. Добавление элементов в векторный слой

Добавление подписей к объектам слоя

Чтобы на карте отображались названия городов, необходимо настроить параметры подписей слоя. Для этого правой клавишей мыши вызовите контекстное меню слоя *city*. Выберите строку *Свойства*. В появившемся окне перейдите на вкладку *Подписи*. В верхней строчке выберите правило *Показывать подписи для этого слоя*. В строке *Подписывать значениями* укажите поле *Наименование*. Здесь же можете настроить и другие параметры подписей слоя: текст, форматирование, буфер, фон, тень, размещение и отрисовку (рис.11).

После завершения настройки подписей нажмите кнопку ОК. В результате названия городов должны появиться на карте. Если шрифт получился или слишком большим, или наоборот, слишком маленьким, можете вернуться в настройки свойства слоя и внести соответствующие поправки.

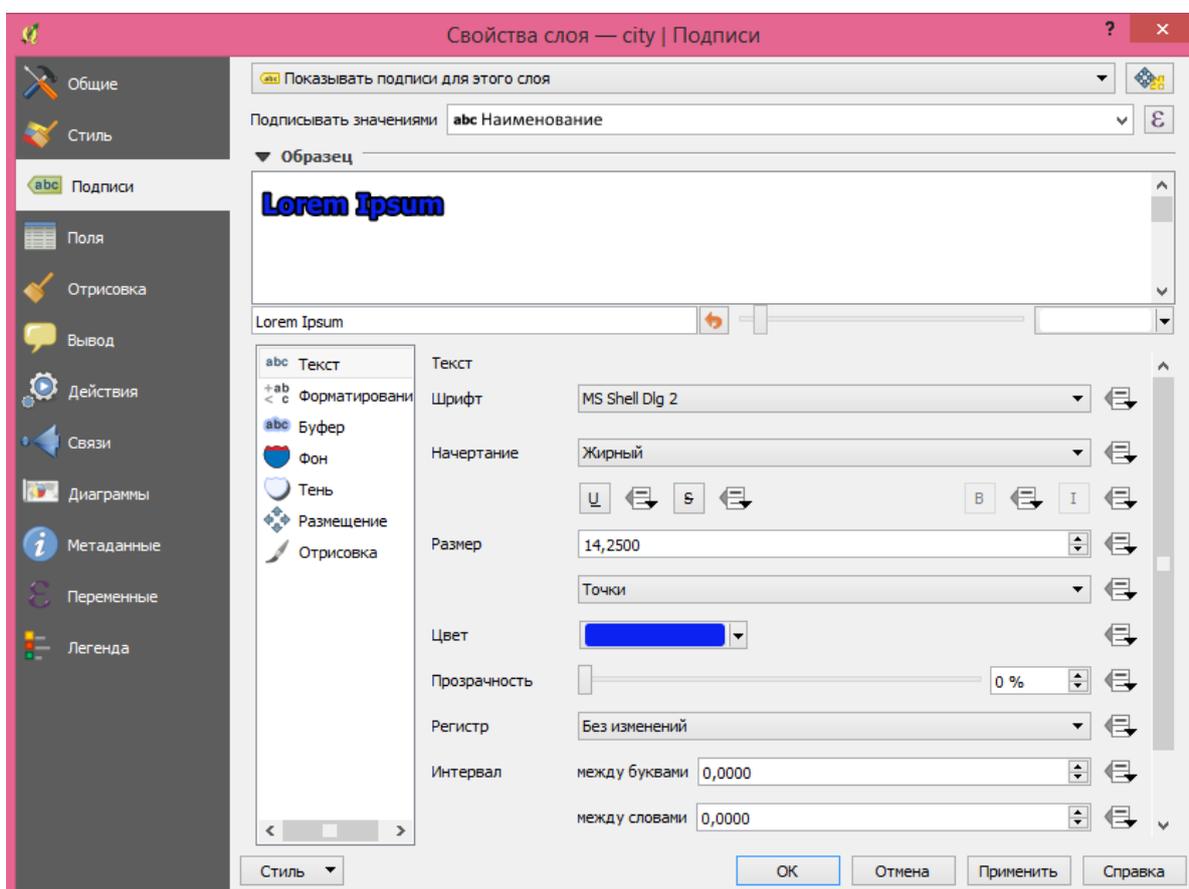


Рис.11. Настройка параметров подписей слоя

Визуализация атрибутивных данных

Для визуализации объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферу целесообразно воспользоваться способом локализованных круговых диаграмм. Необходимо подобрать шкалу размеров диаграмм таким обра-

зом, чтобы размер радиуса значка показывал годовой объем загрязняющих веществ в атмосферу. При этом площадь круга была разделена на два сектора так, чтобы угловые величины секторов отображали объемы по источникам загрязнения.

Все это возможно настроить с помощью инструмента *Диаграммы*. Кликните правой клавишей мыши на слое *city* в списке *Панели слоев*, выберите строку *Свойства* и перейдите на вкладку *Диаграммы*.

В верхней части диалогового окна выберите тип диаграммы – *Круговая*. Во вкладке *Атрибуты - Включенные в диаграммы* добавьте два элемента: «*Стационарные*» и «*Транспорт*». Здесь же можете настроить их цвета и обозначение в легенде (рис.12).

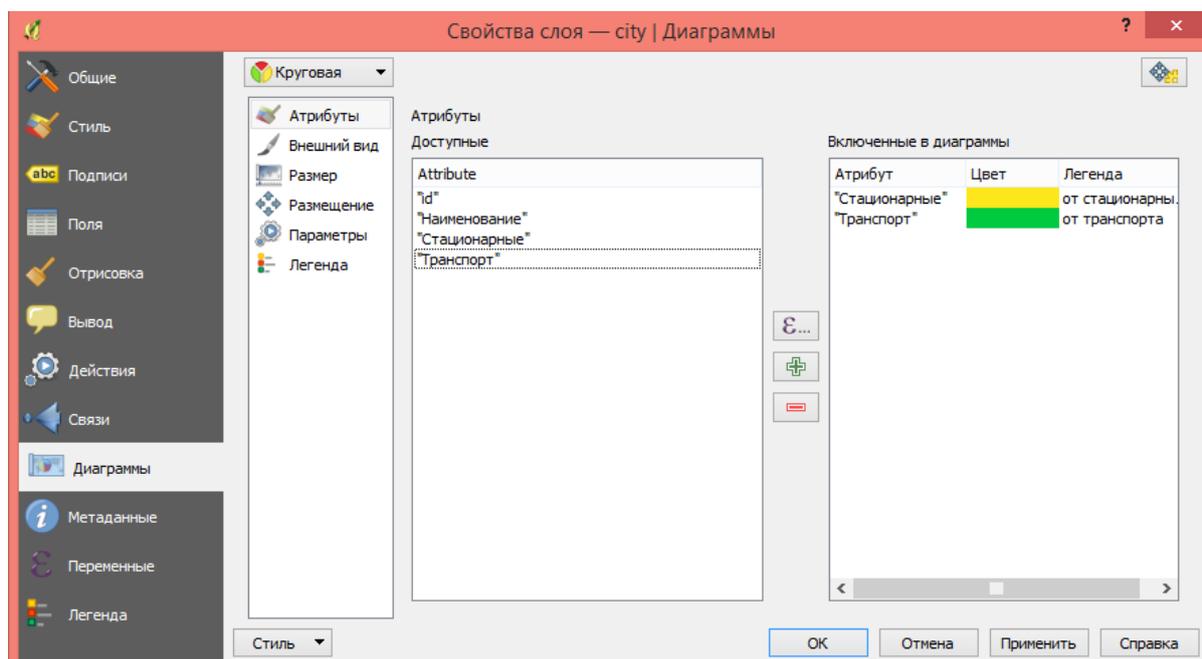


Рис.12. Включение атрибутов в построение диаграммы

Во вкладке *Размер* активизируйте параметр *Масштабируемый*, это позволит диаграммам линейно масштабироваться в зависимости от значений атрибутов. В поле *Атрибут* укажите сумму значений двух атрибутов: «*Стационарные*» и «*Транспорт*». Операцию сложения можно настроить с помощью кнопки эpsilon, которая размещена рядом с этим полем.

После нажатия кнопки *Найти*, максимальная сумма отобразится в соответствующем поле. Введите размер диаграммы, который будет соответствовать максимальному значению, например, 35 миллиметров (рис.13).

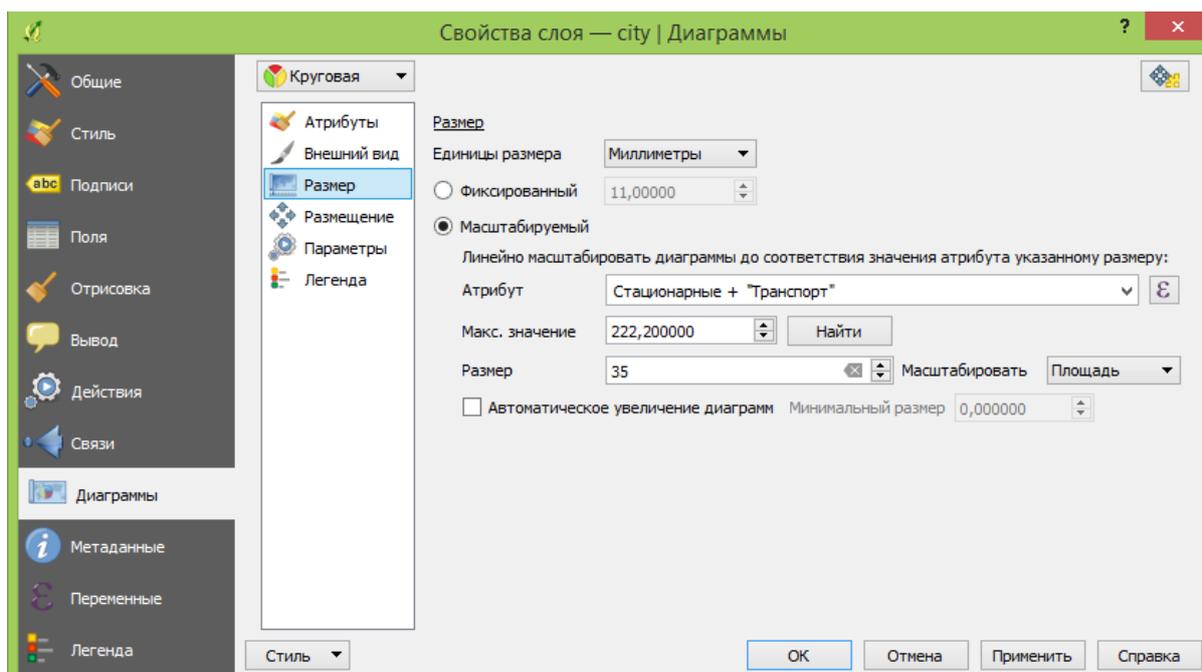


Рис.13. Настройка размеров диаграммы

Во вкладке *Легенда* активизируйте параметры, позволяющие включить в легенду элементы диаграммы и размерные значки (рис.14) и нажмите ОК.

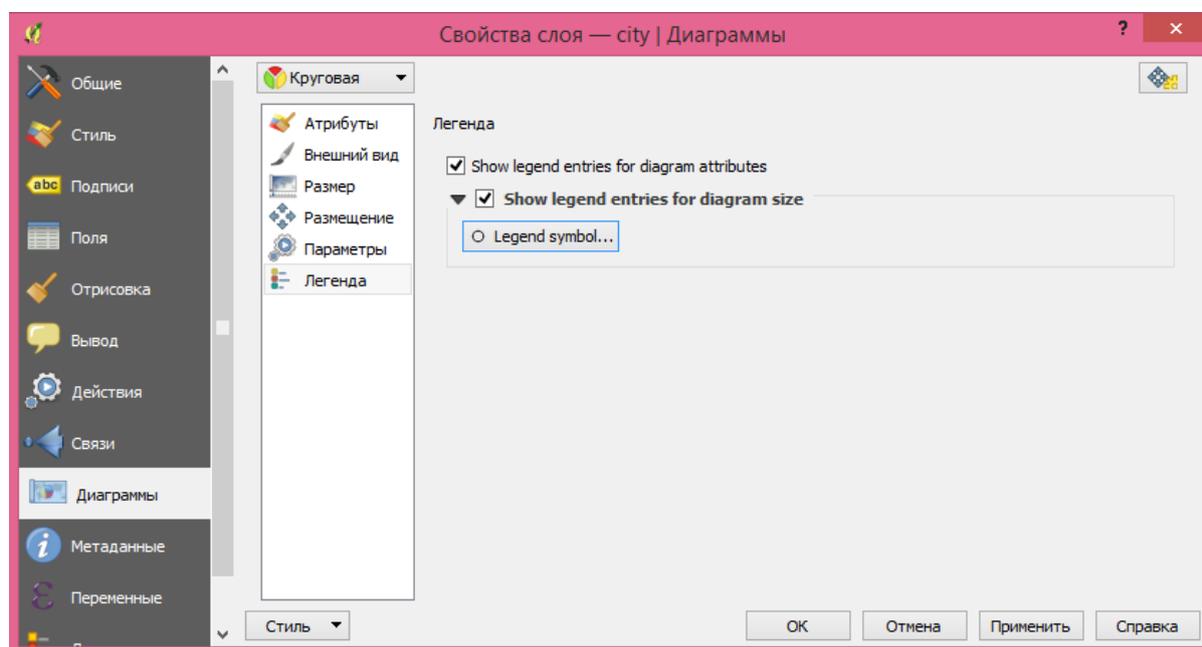


Рис.14. Включение элементов диаграммы в легенду карты

В результате на карте появятся диаграммы, отражающие объемы выбросов по городам Республики Башкортостан. Сохраните изменения.

Макет печати

Чтобы получить итоговую карту-схему в необходимом формате или готовую к печати, необходимо настроить *Макет печати*. Эта процедура позволяет создать компоновку карты, т.е. настроить размер, масштаб карты, добавить в нее легенду, масштабную линейку, различные фигуры, стрелки и текстовые блоки.

После того как в области карты требуемое изображение отрисовывается и выглядит так, как требуется, зайдите в меню *Проекты - Создать макет*. Откроется окно, в центре которого пустой лист. Чтобы добавить карту на этот лист, выберите *Макет – Добавить карту* и нарисуйте прямоугольник на листе, зажав левую клавишу мыши и протягивая курсор (рис.15).

Аналогичным образом добавьте на карту легенду и масштабную линейку. Изменить их свойства можно на вкладке *Свойства элемента* и с помощью кнопок на панели инструментов.

Чтобы сохранить получившуюся карту-схему в виде изображения, выберите *Макет – Экспорт в изображение*. Выберите тип файла, например, BMP или JPEG, и дайте название файлу. Карта-схема готова (рис.16).

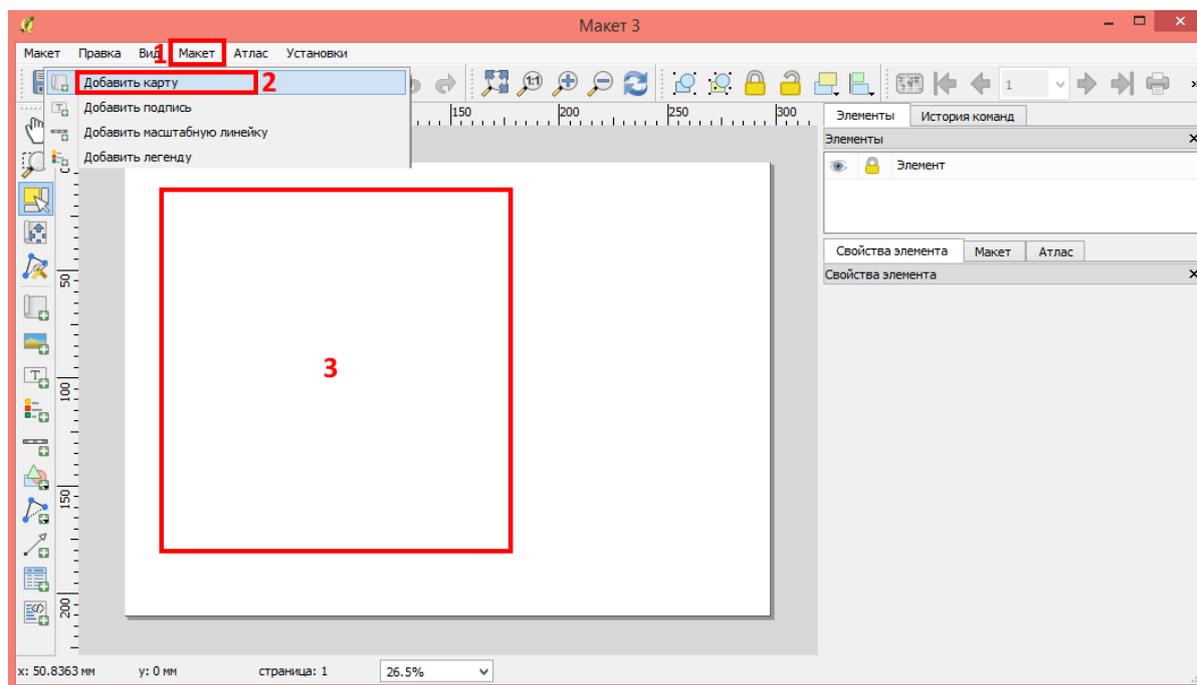


Рис.15. Макет печати

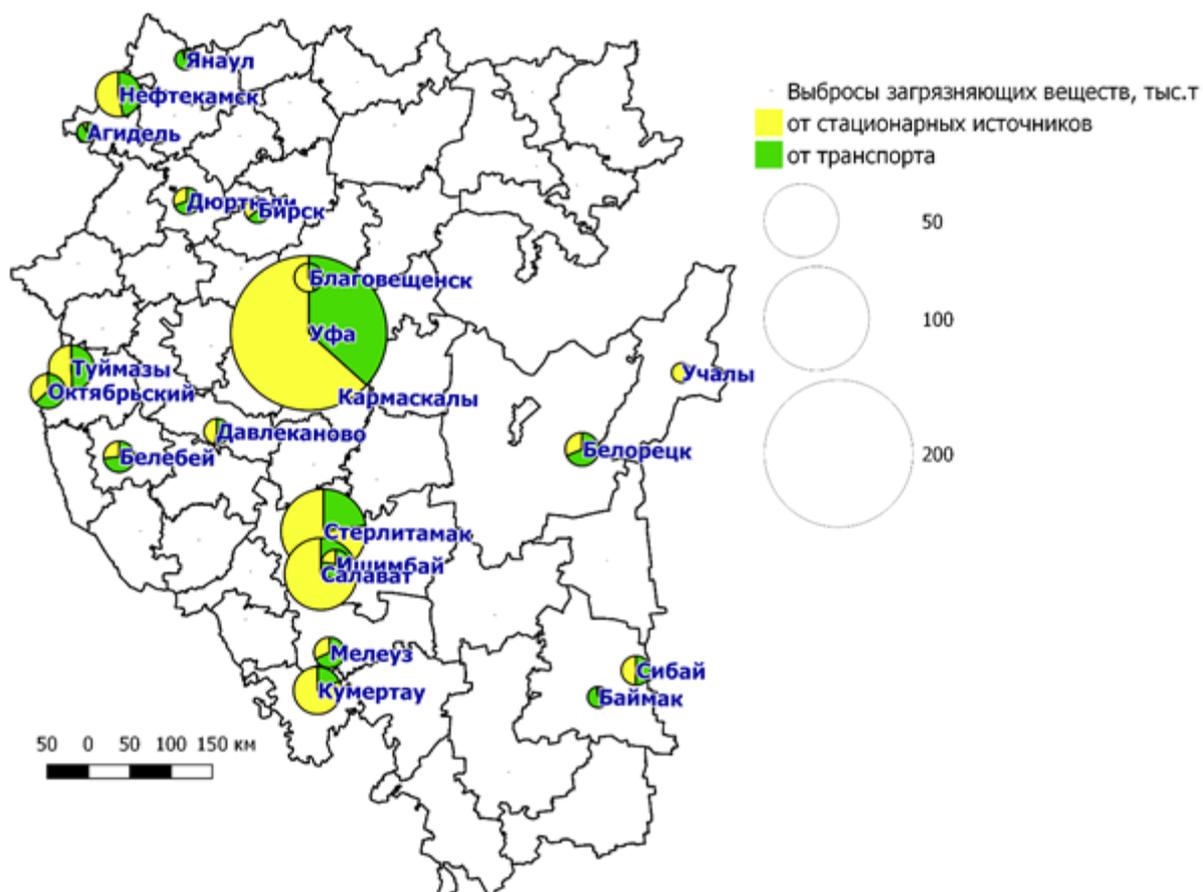


Рис.16. Карта-схема выбросов загрязняющих веществ в городах Республики Башкортостан за 2015 год

Вопросы для самоконтроля

1. Какими способами картографического отображения можно наглядно показать выбросы загрязняющих веществ в атмосферу?
2. Какие явления и процессы можно показать на картах с помощью локализованных диаграмм?
3. Какую дополнительную атрибутивную информацию можно привязать к населенным пунктам?
4. Как на карте создать подписи с названиями городов?
5. Как на карте создать диаграммы, отображающие объемы выбросов по городам?
6. Для чего нужно настраивать макет печати?
7. Как добавить масштабную линейку в макет карты?
8. Чем отличаются абсолютные шкалы от относительных? Какая шкала использована при создании легенды в практической работе №3?

Литература для углубленного изучения

1. Берлянт, А.М. Картография [Текст]: учебник для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 336 с.

2. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2015 году [Текст]. – Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2016. – 310 с.
3. Стурман, В.И. Экологическое картографирование [Текст]: учебное пособие / В.И. Стурман. –М.: Аспект Пресс, 2003. – 251 с.
4. Стурман, В.И. Современные подходы к картографированию загрязнения атмосферного воздуха за рубежом и в России [Текст] / В.И.Стурман, А.В.Семакина // Известия РГО. – Т.146, вып.2. – 2014. – С.28-37.
5. Свидзинская, Д.В. Основы QGIS [Электронный ресурс] / Д.В. Свидзинская, А.С. Бруй. - Киев, 2014. - 83 с. - URL: http://lab.osgeo.org.ua/files/QGIS_intro.pdf.
6. QGIS - Свободная географическая информационная система с открытым кодом (version 2.18.2) [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.qgis.org/ru/site/>.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4. МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЛЬЕФА В SAGA GIS

Теоретические сведения и постановка задачи

В экологическом картографировании широко используются способы получения экологической информации при анализе геометрии рельефа и других геокомпонентов (размеров, характеристик формы, ориентации в пространстве, рисунка, взаимного расположения, расстояния от факторов и т.д.). Ввиду того, что рельеф хорошо воспринимается зрительно и описывается математическими моделями, сформировалось целое научное направление – геоморфометрия (geomorphometry, digital terrain analysis), занимающееся цифровым анализом рельефа методами дифференциальной геометрии.

Морфометрические параметры:

Геометрические (величина уклона, экспозиция склона, различные виды кривизны земной поверхности, оценка зон видимости) – описывают морфологические особенности территории, определяющие скорость и интенсивность потоков вещества и энергии, динамику склоновых процессов.

Гидрологические (направление стока, водосборные бассейны, топографический индекс влажности, индекс мощности линейной эрозии, индекс баланса геомасс, оценка зон потенциального затопления) – используются для оценки поверхностного стока, степени увлажнения почвы и перемещения обломочного материала.

Топографо-микrokлиматические (показатели потенциальной солнечной радиации и инсоляции, дифференциации температуры земной поверхности, воздействия ветра) – характеризуют влияние земной поверхности на особенности распределения солнечной радиации, температурного поля и воздействия ветра.

Параметры вертикальной дифференциации природной среды (относительная высота, глубина речной долины и др.).

В области экологического мониторинга данные о рельефе выступают в качестве информационной базы для расчета и моделирования потенциальных зон загрязнения. При моделировании движения воздушных масс учитываются направление поверхностного стока и, соответственно, направление загрязняющих веществ, которые могут попасть со стоком в речные системы.

К наиболее значимым характеристикам рельефа, оказывающих влияние на природные процессы и явления, а также на структуру биогеоценозов, относят абсолютную высоту, углы наклонов поверхности и экспозицию склонов.

Абсолютная высота (гипсометрический фактор) – расстояние по вертикали от точки поверхности Земли до среднего уровня океана. Влияние абсолютной высоты на климат, почвы и растительность

сказывается не только в горах с их вертикальной зональностью, но и на небольших возвышенностях. Для возвышенностей выделяют явление «вертикальной дифференциации», причиной которого служит не столько положение над уровнем моря, сколько геоморфологические факторы (расчлененность рельефа) и связанное с ними изменение почвенно-гидрологических условий (Соколова, 2016).

Уклон поверхности (Slope) – фундаментальный геоморфометрический параметр, представляет собой угол наклона в точке пересечения горизонтальной плоскости и плоскости, касательной к земной поверхности; фиксирует градиент высот между двумя заданными точками. Простота расчета и информативность этого показателя делают уклон поверхности наиболее часто используемым в моделировании поверхностного и внутрипочвенного стока, эрозии, индикационном картографировании в физической географии и близких отраслях. Уклон поверхности закономерно связан со следующими процессами и характеристиками ландшафта:

- поверхностный сток и дренирование – чем круче склон, тем интенсивнее поверхностный сток и меньше инфильтрация влаги в почву;
- интенсивность эрозии растет экспоненциально с увеличением уклона;
- мощность почвенного профиля на склоне закономерно изменяется в соответствии с уклоном и относительной высотой;
- количество поступающей солнечной энергии также зависит от уклона, поскольку он определяет угол падения солнечных лучей на земную поверхность;
- все вышеперечисленные факторы напрямую или косвенно сказываются на особенностях растительного покрова.

Экспозиция поверхности (Aspect) – угол по часовой стрелке между северным направлением и проекцией уклона на горизонтальную плоскость фиксирует направление (азимут) максимального уклона земной поверхности.

Интерпретация экспозиции ведется в нескольких аспектах, поскольку она характеризует:

- основное направление линий тока, т.е. вода (или другой способный к перемещению материал) движется под действием силы тяжести вниз по склону в направлении, которое определяется экспозицией. Эта зависимость положена в основу алгоритма моделирования поверхностного стока (см. практическую работу №5);
- ориентацию участка по отношению к потоку солнечных лучей и количество радиации, получаемой земной поверхностью – инсоляцию. Экспозиция существенно влияет на микроклимат участка. В северном полушарии склоны южной экспозиции прогреваются лучше, чем северные склоны. Кроме того, южные склоны суше северных (Свидзинская, 2013).

Традиционно на топографических картах для изображения рельефа применяются способы изолиний и значков. Однако на

геоморфологических картах для изображения форм рельефа применяют способы качественного фона и ареалов.

В последнее время основным способом представления рельефа является цифровая модель рельефа (ЦМР, DEM – digital elevation model). Она представляет собой растровое покрытие Grid-тему, где каждой ячейке растра соответствует определенное значение высоты рельефа местности. Это покрытие является сплошным, что выгодно отличает его от векторного изображения изолиний и точек высот.

Основной характеристикой растровой модели рельефа является ее пространственное разрешение – линейный размер ячейки растра, выраженный обычно в метрах, характеризующее детальность, или степень генерализации данных.

ЦМР позволяет визуализировать рельеф и выполнять разнообразные расчеты и преобразования, автоматически строить производные морфометрические карты: уклонов и экспозиции склонов, расчленения, зон видимости/невидимости и др. В автоматическом режиме можно восстанавливать тальвеги рек и всю эрозионную сеть (Берлянт, 2002).

Источниками исходных данных для создания ЦМР являются топографические карты, аэрофотоснимки, космические снимки в оптическом и радиолокационном диапазонах спектра, данные воздушного лазерного сканирования, данные альтиметрической съемки, данные, полученные с помощью спутниковых систем позиционирования, нивелирования и других методов геодезии.

Благодаря развитию дистанционного зондирования Земли в открытом доступе появились и нашли отражение в многочисленных научных и практических работах глобальные цифровые модели рельефа (ЦМР, DEM – digital elevation model), отличающиеся разрешением, покрытием и точностью.

Одним из наиболее часто используемых источников данных для построения ЦМР является база данных SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) – данных радарной топографической съемки поверхности земного шара, произведенной методом радарной интерферометрии с борта космического корабля многоцелевого использования – шаттла. Данная съемка проводилась в течение 11 дней в феврале 2000 г. почти на всей территории суши от 60° с. ш. до 54° ю. ш. и на некоторых участках океанов с помощью двух радиолокационных сенсоров SIR-C и X-SAR. В результате обработки полученных данных радарной съемки была получена цифровая модель рельефа, охватывающая 85 % поверхности Земли. Разрешение глобальной цифровой модели рельефа SRTM равно 3 арксекундам по долготе и по широте.

Данные SRTM доступны бесплатно в нескольких версиях: предварительной (версия 1), окончательной (версия 2) и обработанных (версии 3 и 4). Окончательная версия прошла дополнительную обработку: выделение береговых линий и водных объектов, фильтрацию ошибочных значений. Обработанные версии производятся CGIAR (Consultative Group

for International Agriculture Research), поставляются в формате GeoTIFF (Geo Tagged Image File Format) с исправленными областями, в которых были пропущены значения, и включают сборку мозаик в более крупные фрагменты ($5^{\circ} \times 5^{\circ}$, а не $1^{\circ} \times 1^{\circ}$, как в двух первых версиях). Последняя версия этой модели обеспечивает абсолютную точность по высоте около 8,8 м и относительную – по высоте 6,2 м; ее данные общедоступны (<http://srtm.csi.cgiar.org>).

Возможность свободного доступа обеспечила очень широкий спектр использования этой модели рельефа в отраслевых научных исследованиях. Данные представляют собой простой 16-битный растр, значение пикселя является высотой над уровнем моря в данной точке. Используется система координат WGS84 (World Geodetic System 1984).

Еще одна общедоступная глобальная ЦМР – ASTER GDEM (<http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>) – охватывает поверхность суши между 83° с. ш. и 83° ю. ш. Сенсор ASTER запущен на борту спутника Terra в декабре 1999 г. Сенсор имеет возможность стереоскопической съемки вдоль полосы пролета с помощью двух телескопов. ЦМР разделена на фрагменты размером $1^{\circ} \times 1^{\circ}$. ASTER GDEM распространяется в формате GeoTIFF с разрешением 1 арксекунда. Оценка точности высотного положения точек 20 м и 30 м в плане. Пока эта модель по качеству и точности уступает SRTM, которая создавалась значительно дольше (Сутырина, 2013).

Обработка ЦМР средствами ГИС позволяет получать не только набор “традиционных” производных расчетных морфометрических показателей рельефа, таких как углы наклона, экспозиции, показатели расчлененности рельефа, но и проводить более глубокий их анализ, для этого разработаны и используются, например, алгоритмы расчета кривизны земной поверхности, фрактального и двухмерного спектрального анализа рельефа, геоэкологической обстановки урбанизированных территорий.

Для обработки цифровых моделей рельефа давно и успешно используются соответствующие модули полнофункциональных программных средств ГИС. Это коммерческое программное обеспечение или программное обеспечение с открытым исходным кодом. Для малобюджетных проектов оптимальны в применении MicroDEM (Peter Guth, Oceanography Department, U.S. Naval Academy), SAGA (Institute of Geography, University of Hamburg, Germany), QGIS, а также некоторые другие программные продукты в формате проектов Open Source Geospatial Foundation – некоммерческой организации, миссия которой заключается в поддержке совместной разработки геопространственного программного обеспечения с открытым исходным кодом и способствовании его широкому использованию (Кошкарев и др., 2011).

Техническая постановка задачи состоит в том, чтобы на основе цифровой модели рельефа SRTM-3, а именно с использованием его фрагмента `srtm_47_02` построить основные морфометрические

характеристики рельефа – гипсометрическую карту, углов наклона и экспозиции склонов для окрестностей реки Усень, протекающей по территории Туймазинского района Республики Башкортостан.

Для этого необходимо:

1. Импортировать в SAGA GIS фрагмент ЦМР *srtm_47_02*.
2. Перевести данные в прямоугольную проекцию.
3. Обрезать фрагмент ЦМР по выбранному полигону.
4. Построить гипсометрическую карту, придав ей цвета топографической карты.
5. Построить карту крутизны склонов в градусах, а затем сгруппировать градусы в 5 классов.
6. Построить карту экспозиции склонов в градусах, а затем сгруппировать градусы в 8 румбов.

Импорт ЦМР SRTM-3 в SAGA GIS

Откройте программу SAGA GIS, появится окно *Select Startup Project* для выбора проекта. Выберите новый проект – *empty* и нажмите *OK*.

Для импорта фрагмента цифровой модели рельефа откройте вкладку *Tools* панели управления и выберите инструмент *Import/Export - GDAL/OGR – Import Raster*. В появившемся диалоговом окне укажите файл *srtm_47_02* с расширением *.tif, уберите галочки с дополнительных опций и нажмите *Okay* (рис.17).

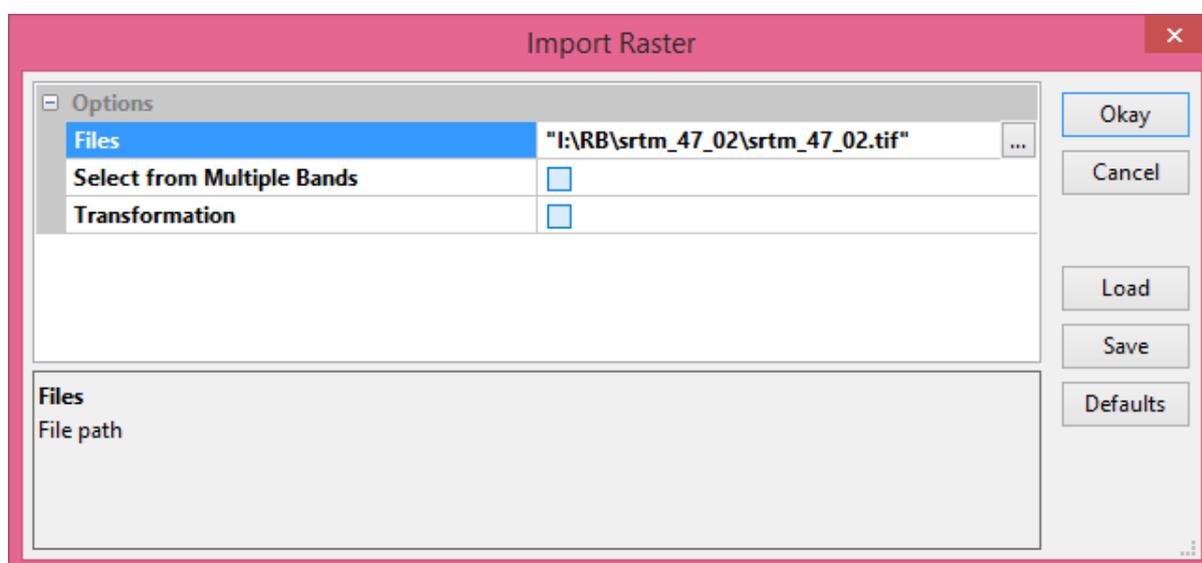


Рис.17. Диалоговое окно инструмента Import Raster

Дождитесь уведомления *Tool execution succeeded* в окне сообщений, свидетельствующее о завершении работы инструмента.

Перейдите во вкладку *Data* панели управления и двойным нажатием клавиши мыши откройте элемент *srtm_47_02* (рис.18).

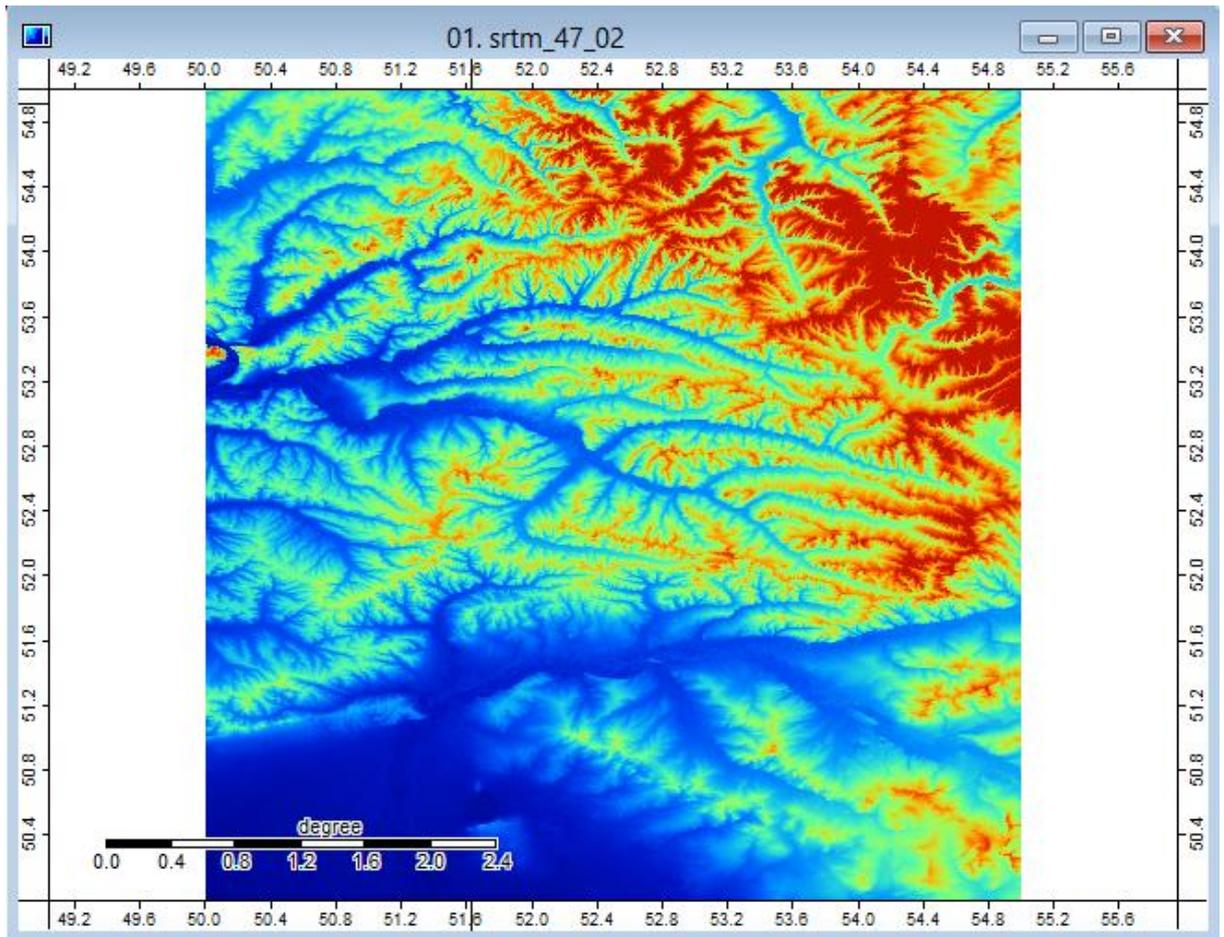


Рис.18. Импортированный фрагмент srtm_47_02

Во вкладке *Description* панели свойств можете ознакомиться с проекцией, охватом карты, количеством пикселей и другими характеристиками карты.

Для дальнейшей работы импортированный файл необходимо сохранить в специальном формате с расширением *.sgrd, для этого выберите пункт *Save As* в контекстном меню карты, укажите папку для сохранения файла и нажмите кнопку *Save*.

Перепроецирование данных

Данные SRTM распространяются в географической системе координат на основе эллипсоида WGS 84, поэтому для дальнейшего анализа требуется их перевести в прямоугольную систему координат. Для этого выберите инструмент *Projection – Proj.4 – Proj.4 (Dialog, Grid)*.

В появившемся окне необходимо указать параметры исходной и целевой проекций. В качестве исходной (*Source Projection Parameters*) выберите географическую систему координат *Lat/long (Geodetic)* с предопределенным датумом WGS 84. Остальные параметры оставьте без изменения.

В качестве целевой проекции (*Target Projection Parameters*) выберите Универсальную поперечную проекцию Меркатора (*Universal Transverse*

Mercator - *UTM*). Исследуемая нами территория в этой проекции находится в 39-й зоне. Поэтому в общих параметрах (*General Settings*) необходимо указать номер центрального меридиана – 51, ложный восточный сдвиг – 500000 и масштабный коэффициент – 0,9996 (рис.19).

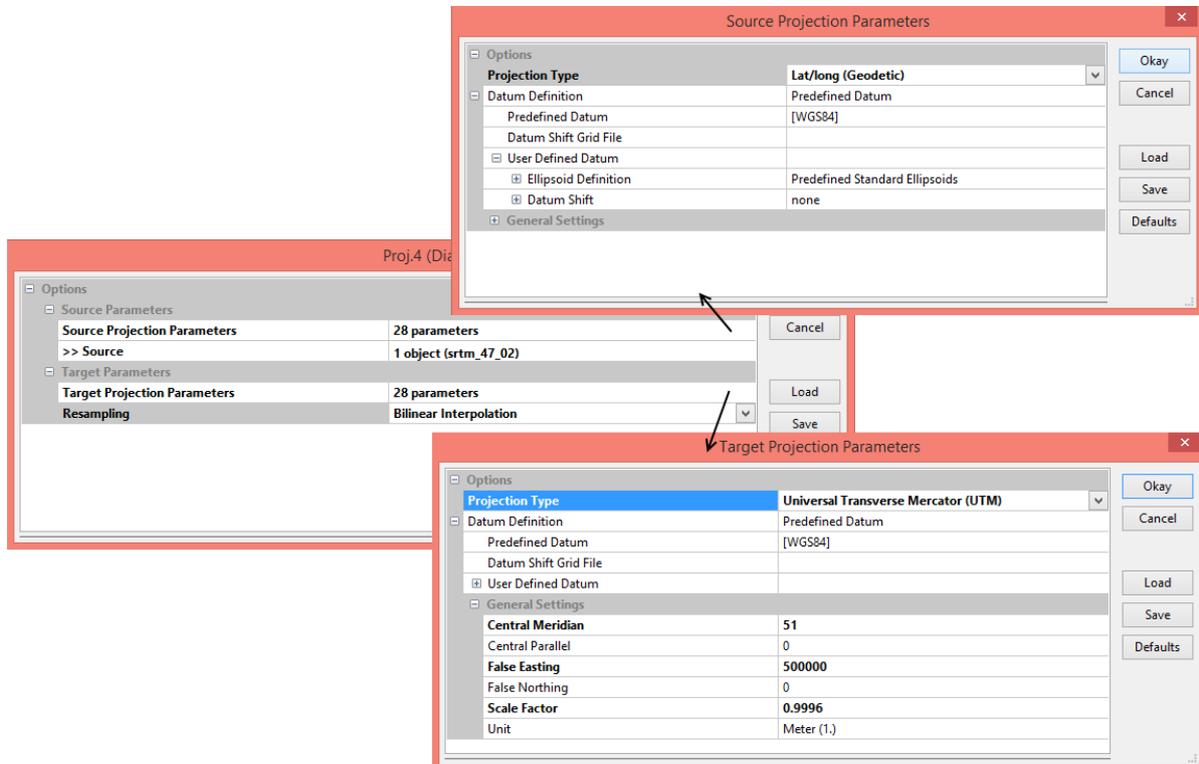


Рис.19. Настройка инструмента Proj.4 (Dialog, Grid)

После указания исходной и целевой проекций в диалоговом окне *Proj.4 (Dialog, Grid)* необходимо также указать метод ресамплинга – билинейную интерполяцию (*Bilinear Interpolation*) и нажать Окаю. В результате появятся 2 диалоговых окна, в первом нужно указать номер зоны – 39, во втором – можно настроить параметры нового растра (охват, размер ячейки) или оставить их по умолчанию. Спроецированный растр необходимо сохранить (*Save As*) под именем *srtm_47_02_UTM.sgrd*.

Обрезка растра по полигону

Следующая задача – обрезать спроецированный фрагмент цифровой модели рельефа по выбранному полигону. Полигон следует построить таким образом, чтобы в него входила водосборная площадь реки Усень и прилегающая территория. Алгоритм автоматизированного построения водосборного бассейна будет рассмотрен в практической работе №5.

Полигон необходимо построить в виде векторного shape-файла. Для этого выберите инструмент *Shapes – Tools – Create New Shapes Layer*. В диалоговом окне инструмента задайте имя слоя – *area_Usen*, выберите тип – *Polygon*, остальные параметры оставьте без изменений и нажмите кнопку *Okay* (рис.20).

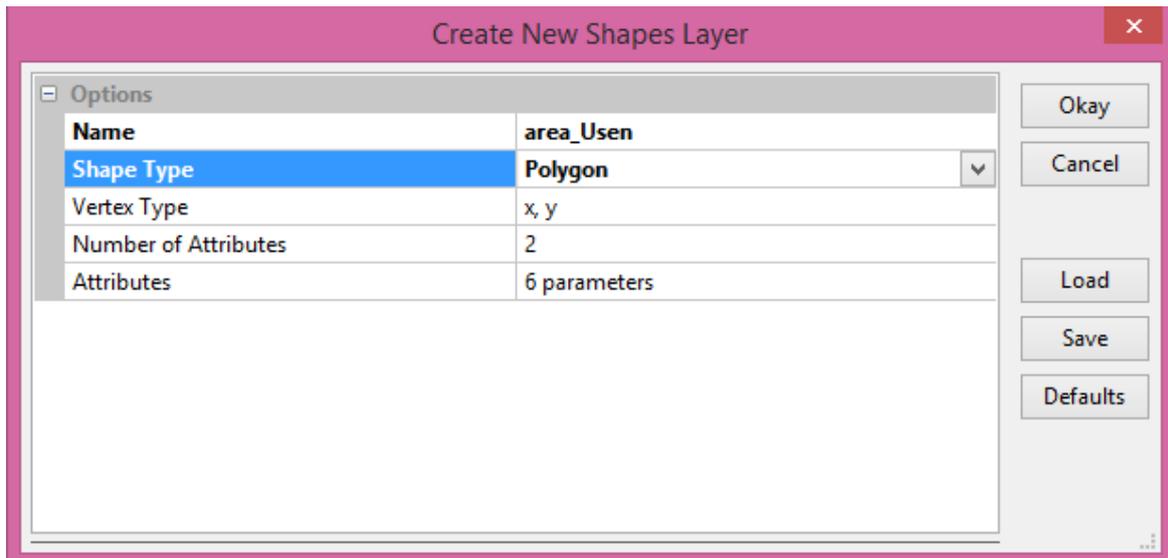


Рис.20. Создание полигонального shape-файла

После завершения работы инструмента, необходимо выполнить ряд последовательных шагов:

1 шаг – открыть спроецированный фрагмент растра *srtm_47_02_UTM* в новую карту;

2 шаг – поверх него открыть векторный shape-файл *area_Usen*;

3 шаг – правой клавишей мыши открыть контекстное меню векторного слоя *area_Usen*, выбрать *Edit – Add Shape* (рис.21).

4 шаг – выбрать на панели пиктограммного меню кнопку с изображением стрелки (*Action*). После этого курсор мыши приобретает вид крестика с буквой *i*, свидетельствующий о том, что можно начать процесс векторизации полигона.

5 шаг – нажатием левой клавиши мыши проставьте точки вдоль произвольного полигона. Полигон следует выбрать таким образом, чтобы в него входила водосборная площадь реки *Усень* с учетом буферной зоны, т.е. граница проходила не по водораздельной линии, а чуть шире – с запасом.

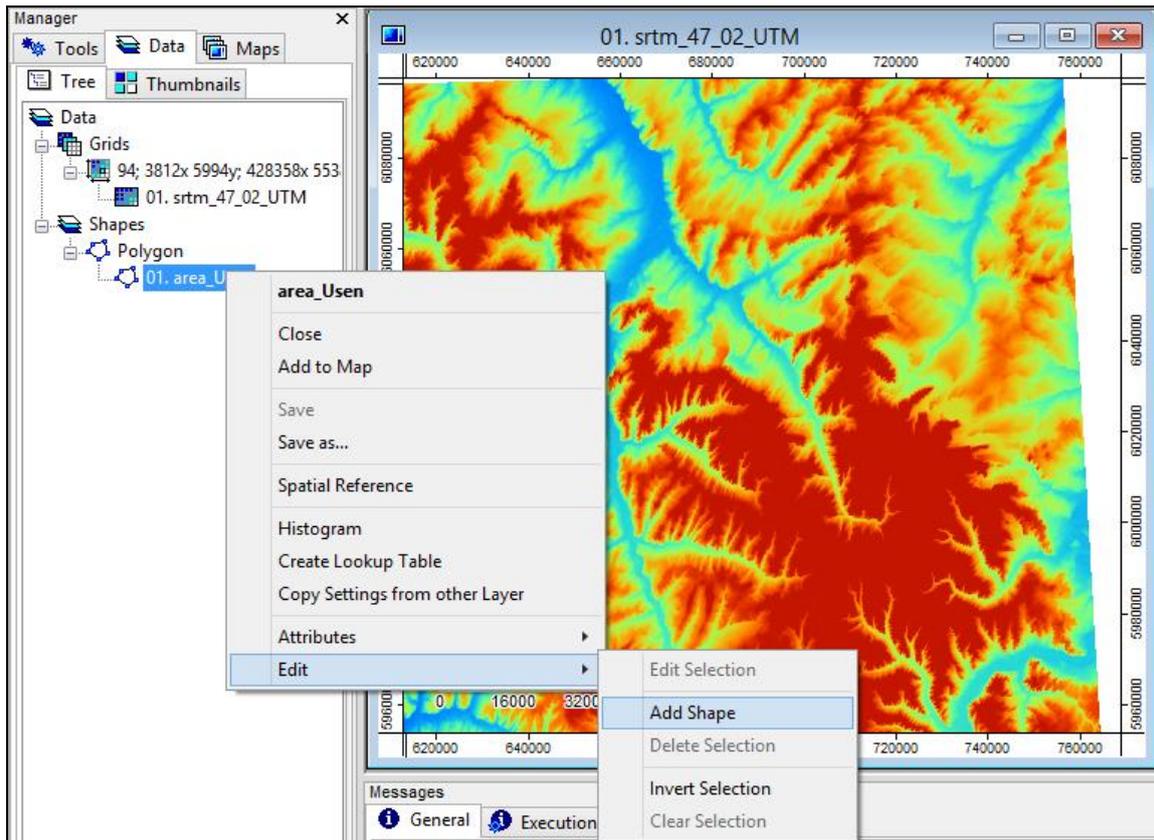


Рис.21. Начальный этап добавления элементов в векторный слой

6 шаг – после завершения отточковки вернитесь в контекстное меню векторного слоя *area_Usen*, выберите *Edit – Edit Selection* и согласитесь с применением изменений (рис.22).

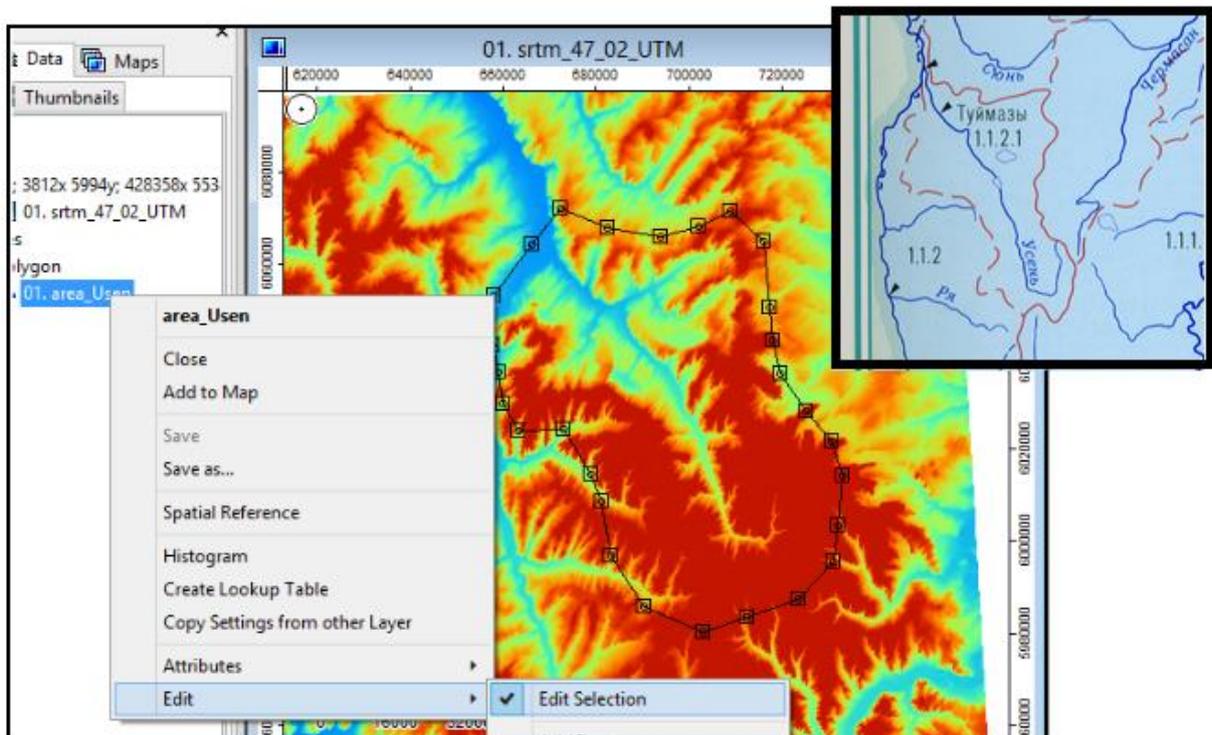


Рис.22. Завершающий этап добавления элементов в векторный слой

Чтобы обрезать растр – фрагмент цифровой модели рельефа по созданному полигону, выберите инструмент *Shapes – Grid Tools – Clip Grid with Polygon*. В настройках инструмента выберите фрагмент цифровой модели рельефа *srtm_47_02_UTM*, подлежащий обрезке. В поле *Shape* – созданный на предыдущем этапе – векторный слой *area_Usen* (рис.23). Для выполнения операции нажмите *Okay*.

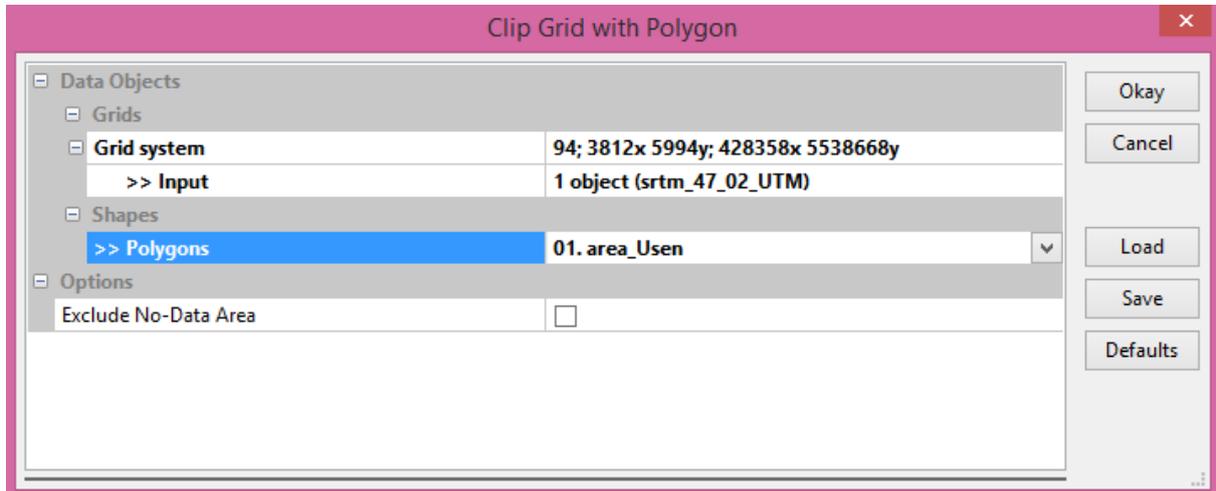


Рис.23. Обрезка растра по полигону

После выполнения инструмента сохраните обрезанный фрагмент (*Save As*) под именем *srtm_Usen.sgrd*.

Построение гипсометрической карты

Откройте обрезанный фрагмент цифровой модели рельефа *srtm_Usen* (рис.24). Чтобы оформить его в виде гипсометрической карты, необходимо придать ему определенную цветовую гамму и добавить легенду.

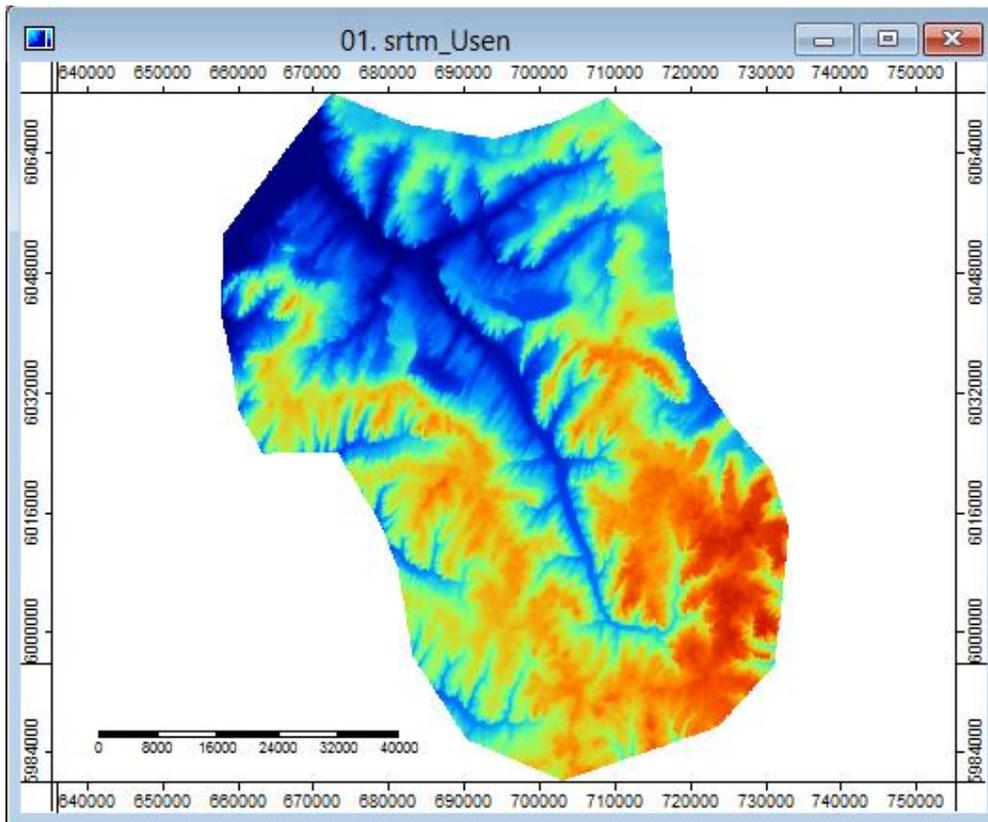


Рис.24. Фрагмент цифровой модели рельефа

Во вкладке *Settings* панели свойств перейдите в поле *Colors*. Нажатием на кнопку с многоточием вызовите диалоговое окно *Colors*. В появившемся окне нажмите на кнопку *Presets*, выберите расцветку *topography* и нажмите кнопку *Okay*. Чтобы применить изменения, нажмите кнопку *Apply* (рис.25).

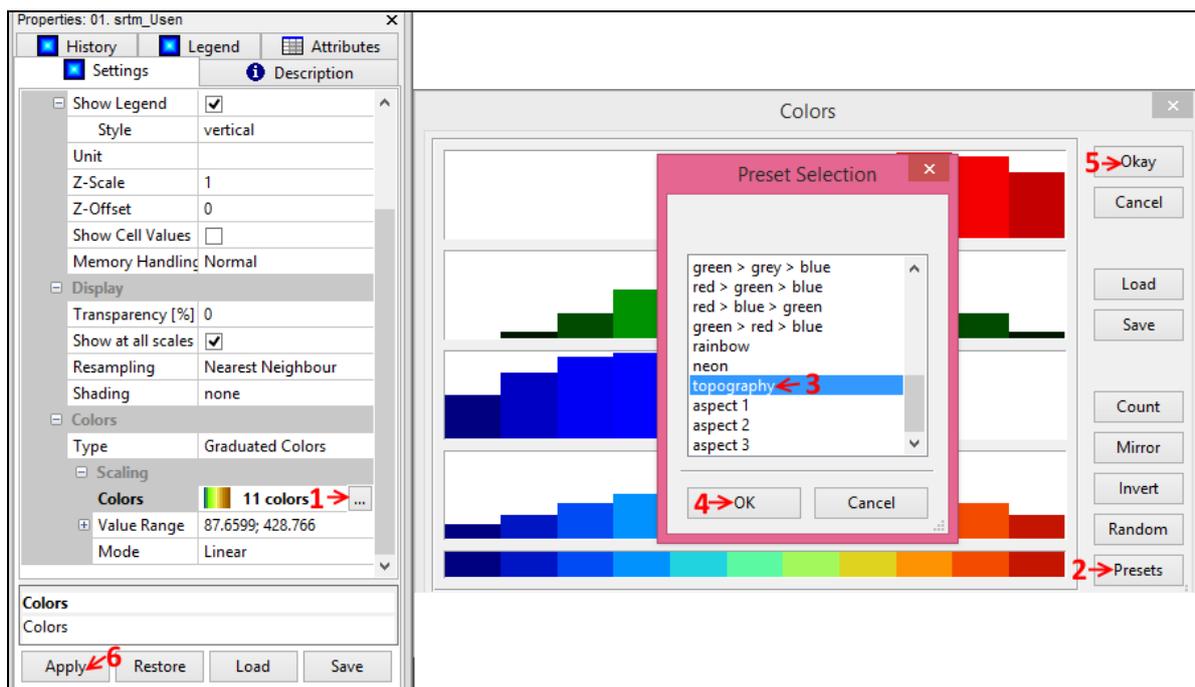


Рис.25. Выбор цветовой гаммы для гипсометрической карты

Традиционно на топографических картах рельеф изображается горизонталями. В SAGA GIS построить изолинии высот можно инструментом *Shapes – Grid Tools – Contour Lines from Grid*. В настройках инструмента в качестве основы укажите фрагмент цифровой модели рельефа *srtm_Usen* и выберите высоту сечения рельефа (*equidistance*), например, 50 м. Горизонтали формируются в новый векторный линейный файл. Сохраните его с помощью команды *Save As*.

Откройте слой с горизонталями поверх слоя с фрагментом цифровой модели рельефа *srtm_Usen*. Для сохранения комплексного изображения на панели главного меню выберите *Map - Save As Image*. В появившемся окне выберите расширение файла, дайте ему название, укажите папку для сохранения и нажмите кнопку *Save*. Появится диалоговое окно *Save Map as Image* (рис.26).

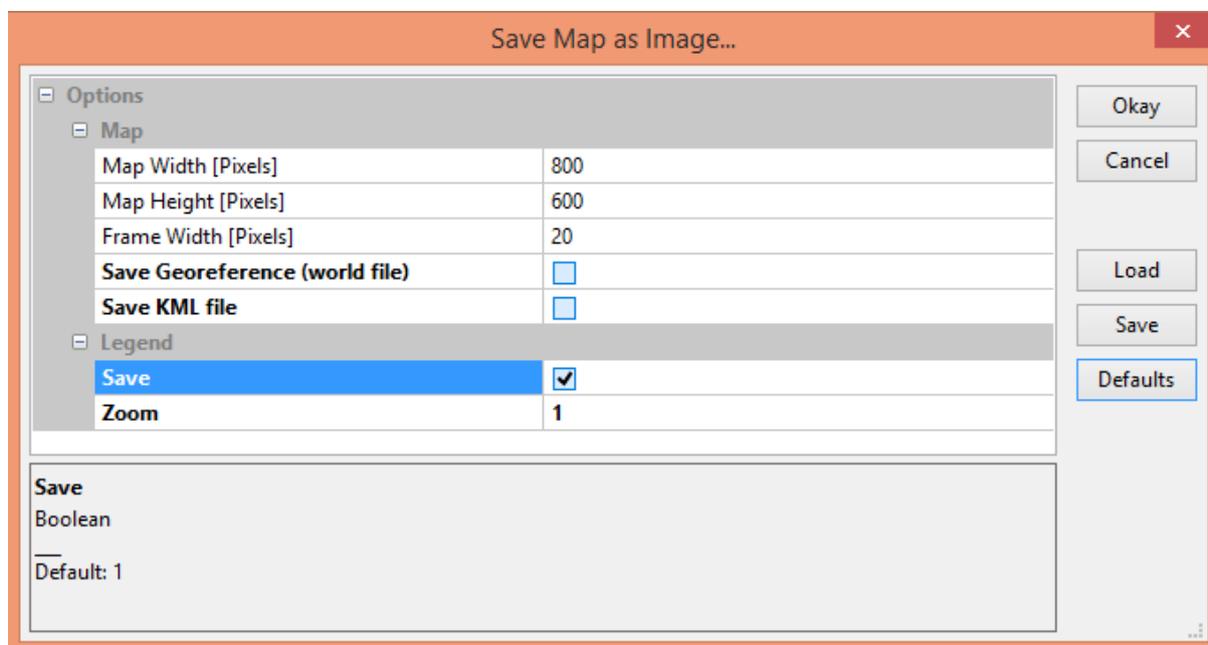


Рис.26. Настройка параметров карты

Здесь вы можете указать размеры карты, рамки и легенды, либо оставить их по умолчанию. После завершения настройки нажмите кнопку *Okay*. В результате сформируется 2 файла: один с изображением карты, другой – с легендой. Скомпоновать их можете в любом графическом редакторе (рис.27).

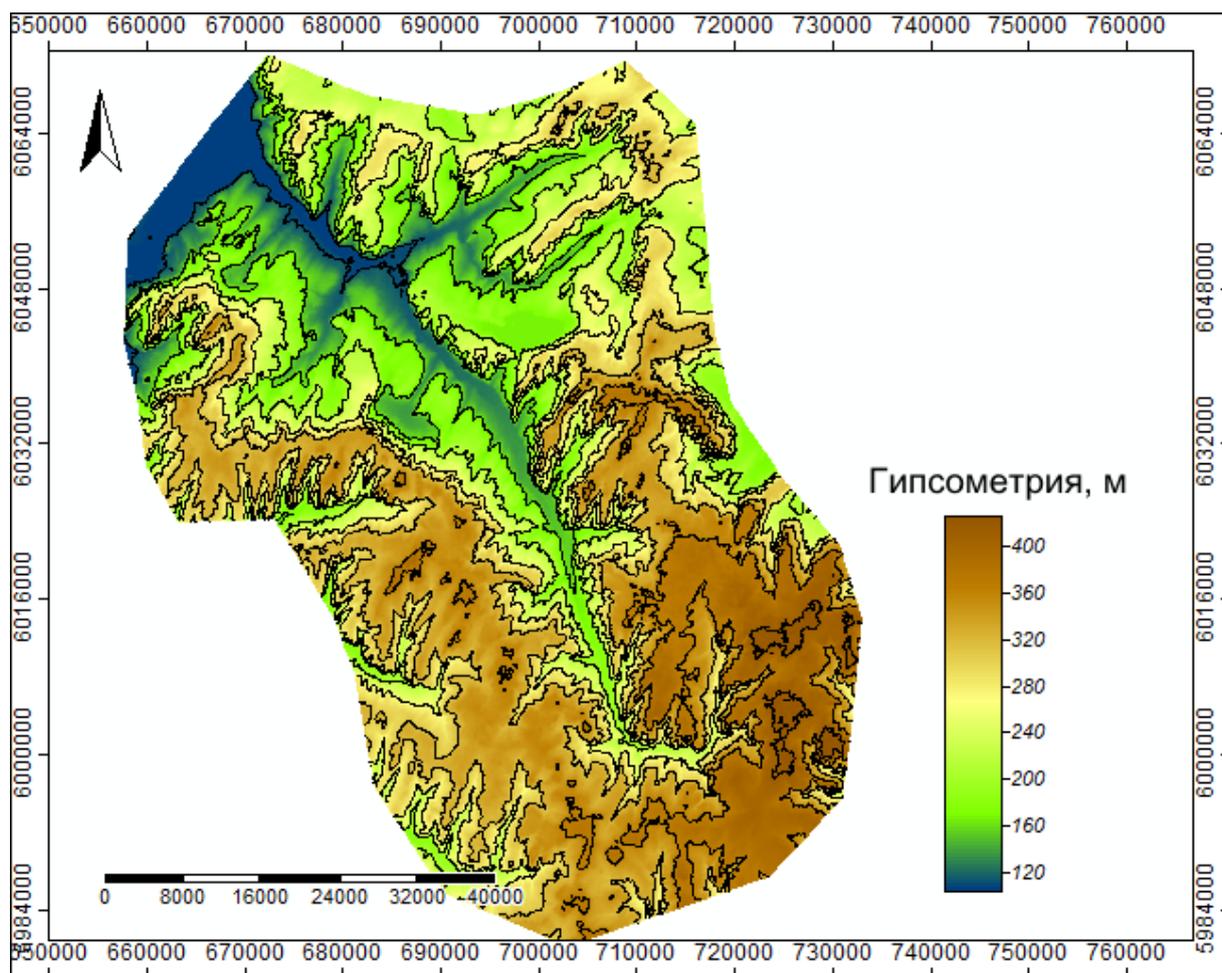


Рис.27. Распределение территории вдоль реки Усень по высотам

Построение карты уклонов местности и экспозиции склонов

Чтобы построить карты уклона земной поверхности и экспозиции склонов, воспользуйтесь инструментом *Terrain Analysis – Morphometry – Slope, Aspect, Curvature*. В появившемся окне в поле *Grid system* выберите систему растров, в котором содержится фрагмент ЦМР *srtm_Usen*, спроецированный и обрезанный по территории реки Усень. В поле *Elevation* выберите *srtm_Usen*, в поле *Slope* и *Aspect* – *<create>*.

В нижней части настройки инструмента (в опциях) в поле *Method* выберите *9 parameter 2nd order polynom (Zevenbergen & Thorne 1987)*, это алгоритм, по которому производится расчет морфометрических величин (Свидзинская, 2013). В поле *Slope Units* и *Aspect Units* в качестве единицы измерения выберите градусы – *degree* (рис.28).

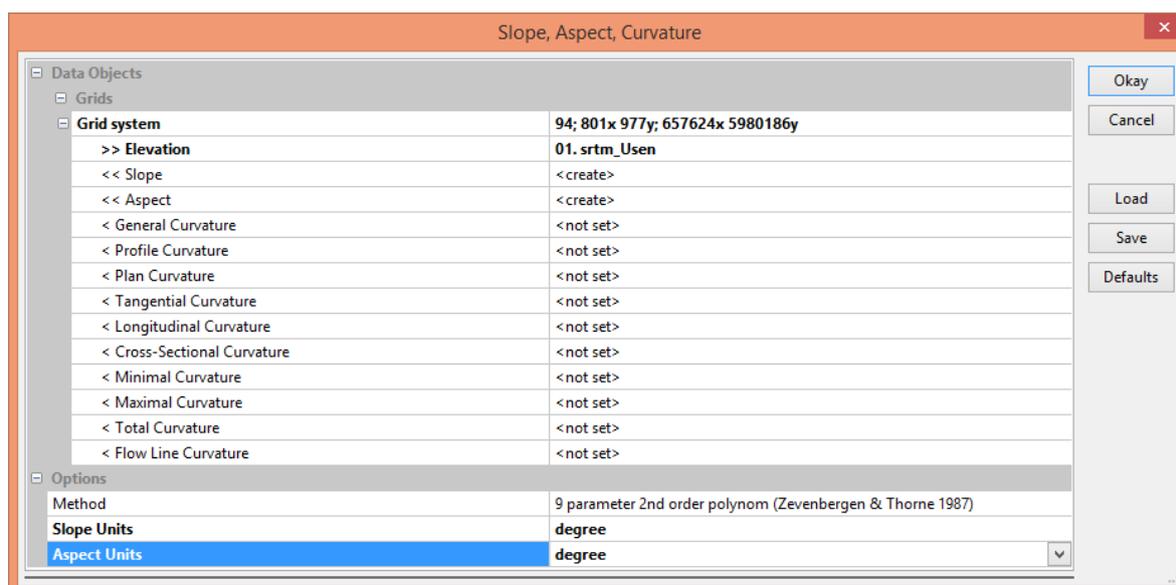


Рис.28. Настройка инструмента Slope, Aspect, Curvature

После выполнения инструмента сформируются два файла: первый, отображающий уклон местности – *Slope* (рис.29), второй – экспозицию склона – *Aspect* (рис.30). Сохраните их в виде *Slope.sgrd* и *Aspect.sgrd*

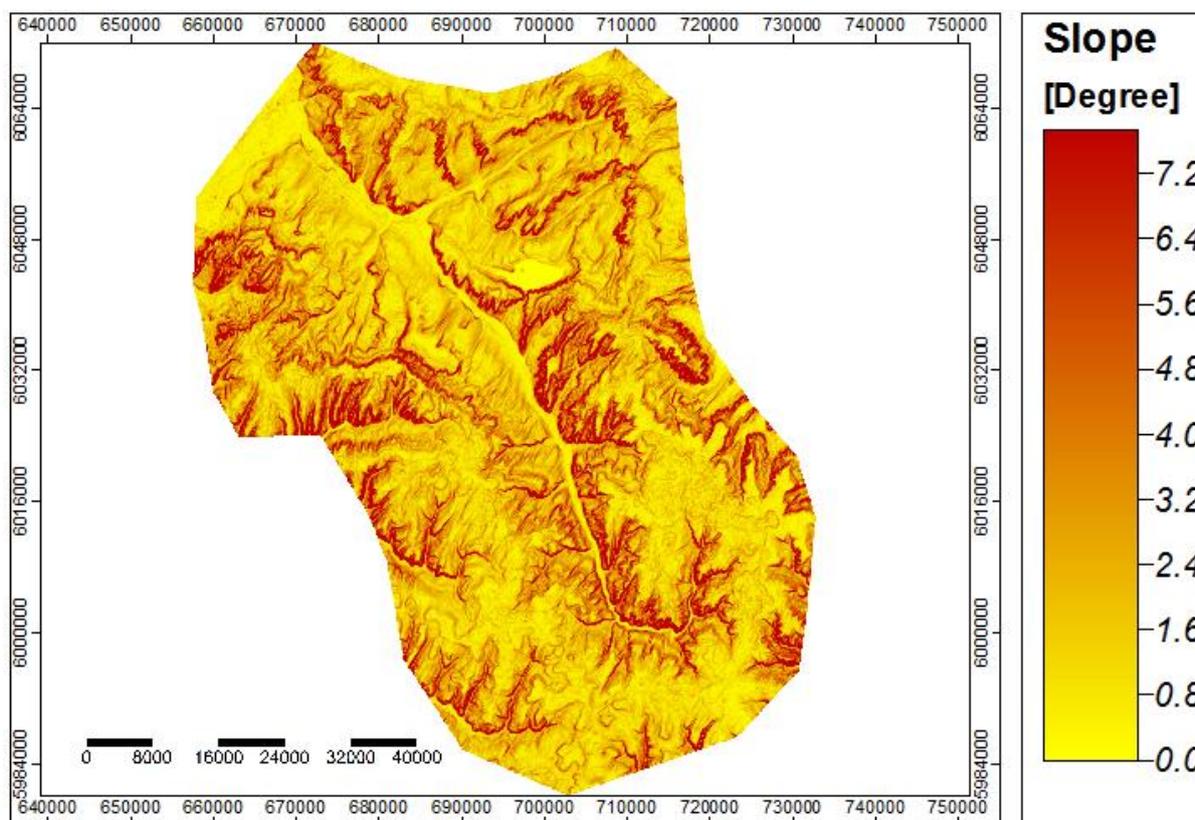


Рис.29. Растр крутизны склонов с непрерывной шкалой

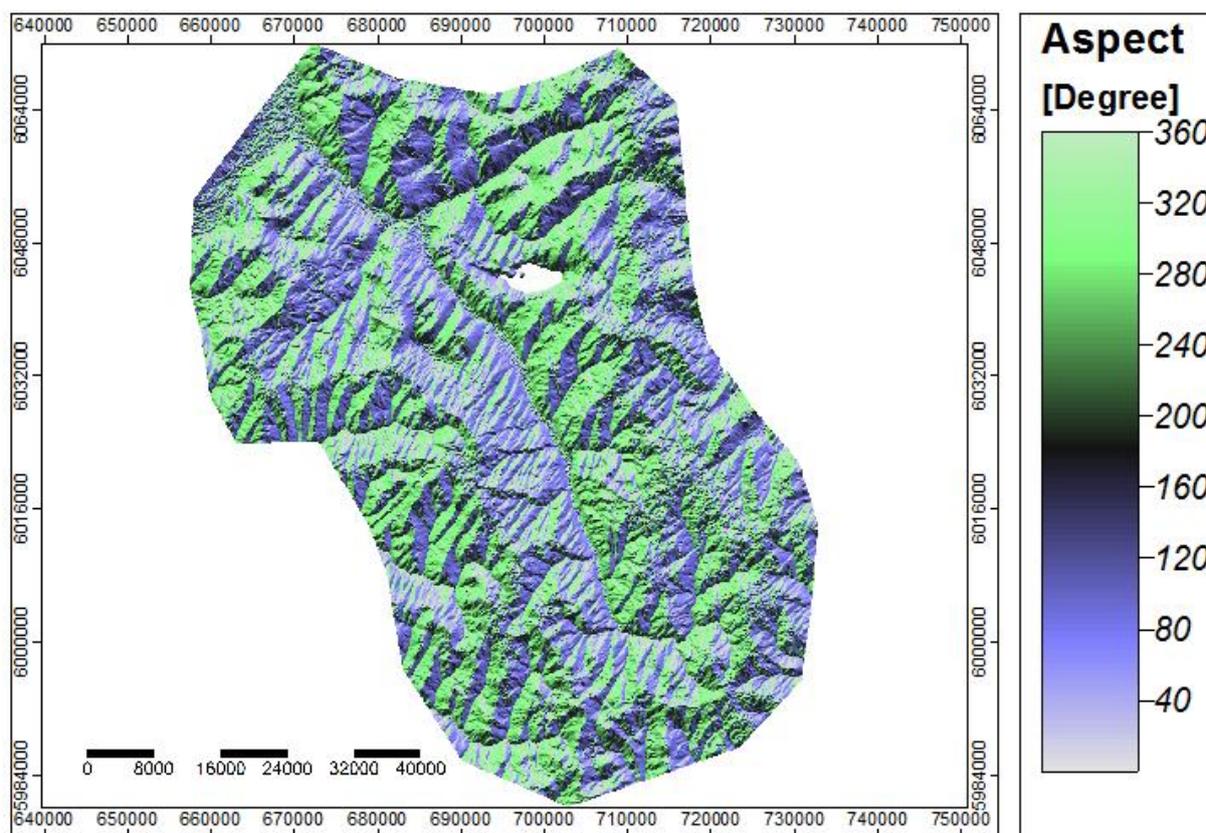


Рис.30. Растр экспозиции склонов с непрерывной шкалой

С помощью этого инструмента можно построить и другие морфометрические показатели рельефа, выбрав параметр `<create>` в соответствующих полях. Среди них: общая кривизна – *General Curvature*, вертикальная (профильная) кривизна – *Profile Curvature*, горизонтальная (плановая) кривизна – *Plan Curvature*, тангенциальная кривизна – *Tangential Curvature*, продольная кривизна – *Longitudinal Curvature*, поперечная кривизна – *Cross-Sectional Curvature*, минимальная кривизна – *Minimal Curvature*, максимальная кривизна – *Maximal Curvature*, полная кривизна – *Total Curvature*, кривизна линии потока – *Flow Line Curvature*.

Группировка склонов по крутизне и экспозиции

У получившихся растров уклонов и экспозиции склонов легенды представлены в виде непрерывной, безинтервальной шкалы. Для практических целей уклоны земной поверхности целесообразно сгруппировать в интервалы. Для этого откройте *Slope.sgrd*, в окне *Properties* перейдите во вкладку *Settings* в раздел *Colors*, в графе *Type* выберите *Lookup Table*. Раскройте появившуюся строчку *Table*.

В появившемся окне *Table* можете весь диапазон значений уклонов распределить по определенным интервалам: установить минимальное и максимальное значение, цветовую окраску, дать название и описание релье-

ефа в заданном интервале. После заполнения всех граф, например, как показано на рис.31. нажмите последовательно кнопки *Okay* и *Apply*.

	COLOR	NAME	DESCRIPTION	MINIMUM	MAXIMUM
1		меньше 1	плоские равнины	0.000000	1.000000
2		1-3	слабонаклонные равнины	1.000000	3.000000
3		3-5	пологие склоны	3.000000	5.000000
4		5-7	слабопокатые склоны	5.000000	7.000000
5		больше 7	покатые и крутые склоны	7.000000	40.000000

Рис.31. Группировка склонов по крутизне

В результате шкала легенды растра уклонов из непрерывной трансформируется в интервальную с пользовательской цветовой окраской.

Аналогично можно сгруппировать градусы растра экспозиции склонов. Для картографического отображения этого показателя обычно используется метод цветowych шкал. При этом диапазон значений экспозиции делится на восемь интервалов, которые соответствуют восьми сторонам света: север - 0-22.5°, 337.5 - 360°; северо-восток - 22.5- 67.5°; восток - 67.5-112.5°; юго-восток - 112.5-157.5°; юг - 157.5-202.5°; юго-запад - 202.5-247.5°; запад - 247.5-292.5°; северо-запад 292.5-337.5°. Каждому интервалу соответствует определенный цвет. В Северном полушарии склонам южных и западных экспозиций обычно задают «теплые» цвета (поскольку эти склоны являются более теплыми), а склонам северных и восточных экспозиций задают «холодные» цвета (эти склоны являются более холодными) в (рис.32).

	COLOR	NAME	DESCRIPTION	MINIMUM	MAXIMUM
1		C		0.000000	22.500000
2		CB		22.500000	67.500000
3		B		67.500000	112.500000
4		ЮВ		112.500000	157.500000
5		Ю		157.500000	202.500000
6		ЮЗ		202.500000	247.500000
7		З		247.500000	292.500000
8		СЗ		292.500000	337.500000
9		С		337.500000	360.000000

Рис.32. Группировка экспозиции склонов по сторонам света

Сохраните видоизмененные растры в формате *.bmp или *.jpeg (рис.33).

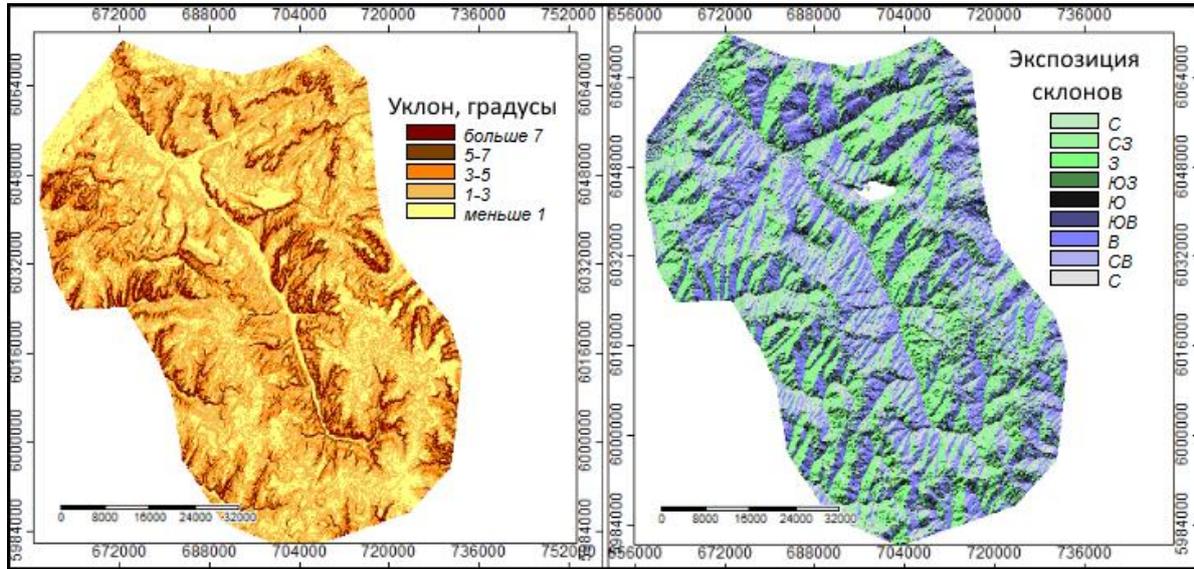


Рис.33. Растры уклонов и экспозиции склонов с интервальными шкалами

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите и охарактеризуйте основные морфометрические показатели рельефа.
2. Какими способами картографического изображения показывается рельеф на картах?
3. Перечислите природоохранные задачи, решаемые путем применения цифровых моделей рельефа.
4. Почему в практической работе №4 применяется универсальная поперечная проекция Меркатора (UTM)?
5. Что такое ложный восточный сдвиг, чему он равен в международной системе координат UTM?
6. Для чего необходимо шкалу растра экспозиции склонов переводить из непрерывного вида в интервальную?

Литература для углубленного изучения

- Готов, А.А. Использование ЦМР для эффективного управления природопользованием [Текст] / А.А. Готов // Геоматика. – 2013. - №4. – С.32-36.
- Соколова, Г.Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенности пространственного распределения растений [Текст] / Г.Г.Соколова // Acta Biologica Sibirica. – 2016. – №2(3). – С.34-45.

- Шарый, П.А. Топографический метод вторых производных [Текст] // Геометрия структур земной поверхности. - Пущино: ПНЦ АН СССР, 1991. - С.30-60.
- Дубинин М. GIS-Lab: Описание и получение данных SRTM [Электронный ресурс]. – 2004. – URL: <http://gis-lab.info/qa/srtm.html>
- Свидзинская Д. GIS-Lab: Первичная обработка данных SRTM в ГИС SAGA [Электронный ресурс]. – 2013. – URL: <http://gis-lab.info/qa/saga-srtm-preprocessing.html>
- Свидзинская Д. GIS-Lab: Основные геоморфометрические параметры: теория [Электронный ресурс]. – 2013. – URL <http://gis-lab.info/qa/geomorphometric-parameters-theory.html>

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5. ПРОВЕДЕНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В SAGA GIS

Теоретические сведения и постановка задачи

В практике экологического картографирования водосборный бассейн выступает в качестве одной из операционных территориальных единиц (ОТЕ). По сравнению с другими территориальными единицами (административно-территориальное, хозяйственное деление, точки и трансекты, геометрически правильные сетки, ландшафтные контуры) способ получения информации по водосборам имеет свои преимущества.

Водосборный бассейн – особый природный объект – природная геосистема, обладающая целостностью с позиции гидрологии, геоморфологии, биогеоценологии, геохимии ландшафта и т.д. При этом границы бассейнов (водоразделы) могут четко и объективно выделяться на местности и карте. Поэтому в рамках бассейновой концепции наиболее перспективно решать проблемы организации, рационализации, оптимизации, районирования, моделирования, картографирования природопользования и управления его процессами, а водосборный бассейн рассматривать в качестве основной единицы для расчетов балансов и моделирования перераспределения загрязняющих веществ, самоочищения природных сред, миграции токсических элементов и т.д.

Автоматизированное выделение границ водосборных бассейнов производится с помощью цифровых моделей рельефа (ЦМР). Основу моделирования водосборных бассейнов составляет гидрографическая производная ЦМР – модель стока. Оставаясь объектом активной дискуссии в научном сообществе, модель стока формируется за счет таких элементарных характеристик, как водосборные бассейны, сеть водотоков, направление и аккумуляция стока.

Водосборный бассейн (водосборная площадь, водосбор) – часть суши, с которой поверхностные воды поступают в водоток.

Водосборы ограничены друг от друга водоразделами – линиями, проходящими по наивысшим точкам местности.

Водоток – это водный поток с движением воды в направлении уклона в углублении земной поверхности. От реки водоток отличается тем, что может быть и естественным потоком воды, и искусственным.

Тальвег – линия, соединяющая наиболее низкие точки дна долины, оврага или балки. Все водосборные бассейны имеют четкую организацию – от водораздела вниз по склону до тальвега. У каждого тальвега есть свое начало – исток, и конец – устье. В сложных бассейнах могут быть и промежуточные устья – точки слияния (Симонов, Симонова, 2004).

ЦМР является основополагающим элементом любой распределенной модели формирования стока или бассейновой геоинформационной системы, поскольку позволяет определить большое число морфометрических и гидрографических характеристик рек и их бассейнов

– направление стока, наличие тальвегов и водоразделов, площади водосборов, порядки и уклоны водотоков. Точность автоматизированного определения гидрографических характеристик зависит от характера рельефа, а также от разрешения ЦМР. Наименьшая точность определения границ водосборов по ЦМР характерна для территорий со слаборасчлененным рельефом. На поверхности с близким к нулю уклоном направление стока и границы водосборов часто определяется неверно, а значительная часть территории вообще не дренируется гидрографической сетью.

Фундаментальным принципом моделирования поверхностного стока является положение, при котором цифровая модель рельефа рассматривается как поверхность, составленная из горизонтальных ячеек фиксированной высоты. Воды «вытекает» из ячейки и распределяется между теми из ее соседей, чья высота меньше высоты центральной ячейки. Процедура определения ячеек, «принимающих» поток воды из данной ячейки, называется расчетом направления стока. В настоящее время разработано большое количество алгоритмов расчета направлений стока, различающихся по сложности и сферам применения (Кошель, Энтин, 2016).

Внедрение геоинформационных технологий, использование цифровых картографических материалов и цифровых моделей рельефа значительно упрощает и повышает точность расчетов гидрографических и гидрологических характеристик рек и их бассейнов, позволяет проводить картометрические работы по расчету координат, линейных и площадных параметров водных объектов и их бассейнов (длина, извилистость водотока, площадь водоема, водосбора и его центра тяжести). Цифровое картографическое моделирование применяется для вычисления параметров водных объектов и их бассейнов по отношению к другим водным объектам и их бассейнам на основе оверлейных операций и картографической алгебры (коэффициенты лесистости, озерности, заболоченности, карста, распаханности, в том числе дополнительных характеристик, таких как показатели горизонтальной и вертикальной расчлененности, порядки рек, густота речной сети и др. (Гидрография..., 2013).

Техническая постановка задачи по проведению гидрологического анализа в среде SAGA GIS осуществляется последовательным выполнением следующих операций.

1. Проведение гидрологической коррекции.
2. Построение раstra суммарного стока.
3. Построение линий стока.
4. Выделение водосборной площади.

Проведение гидрологической коррекции

Цифровая модель рельефа, которая используется при определении гидрографических характеристик рек и их бассейнов, должна быть гидрологически корректной. Это означает, что в ЦМР должны отсутствовать фиктивные точки стока (фиктивные депрессии), а потоковые линии (талвеги) должны совпадать с исходными отрезками речной сети. Проведение гидрологической коррекции – это заполнение локальных понижений, представляющих собой небольшие артефактные, не существующие замкнутые впадины на ЦМР, появление которых обычно связано с неточностью исходных данных.

Для проведения гидрологической коррекции воспользуйтесь инструментом *Terrain Analysis – Preprocessing – Fill Sinks (Planchon / Darboux, 2001)*. В настройках инструмента в поле DEM выберите *srtm_Usen.sgrd* - фрагмент ЦМР, спроецированный и обрезанный по территории реки Усень. Остальные параметры оставьте без изменений. После завершения инструмента отфильтрованный растр сохраните как *srtm_Usen_fltr.sgrd*.

Построение растра суммарного стока

Области с наименьшими значениями высот накапливают больший сток, чем области с максимальными высотами. Растр суммарного стока – это так называемая матрица аккумуляции стока, в которой каждой ячейке присваивается значение, равное числу стекающих в него ячеек.

Построение растра суммарного стока производится с помощью инструмента *Terrain Analysis – Hydrology – Flow Accumulation (Top-Down)*. В настройках инструмента в качестве входного растра укажите *srtm_Usen_fltr*. Остальные параметры оставьте без изменений. После выполнения операции сформируется растр суммарного стока, в котором каждый пиксель отображает то количество ячеек, по которым перемещается условный водный поток к данной ячейке. Таким образом, максимальные значения кумулятивного стока имеют ячейки, соответствующие крупным водотокам (рис.34а). Сохраните получившийся растр под именем *Flow Accumulation.sgrd*.

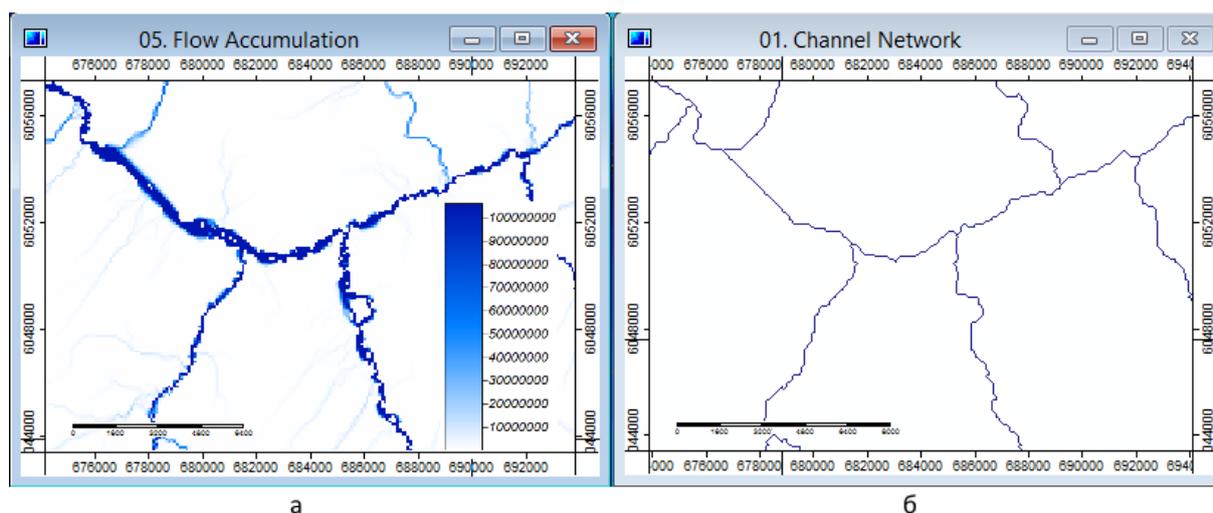


Рис.34. Растр суммарного стока (а) и генерализованная сеть водотоков (б)

Построение сети водотоков

Сеть водотоков или дренажная сеть – это генерализованная сеть водотоков, в котором показываются только крупные водотоки. Необходимо выбрать порог значений аккумуляции стока, ячейки выше которого будут учитываться при формировании сети. Все ячейки ниже порога, т.е. собирающие сток с меньшего числа элементов матрицы, не будут участвовать в проведении линий сети. Остальные ячейки объединятся между собой и сформируют речную сеть. Степень детальности речной сети зависит от порога аккумуляции: чем ниже порог, тем детальнее изображение, но вместе с тем – и выше вероятность ошибочного представления не существующих в реальности мелких водотоков.

Построение дренажной сети или сети водотоков производится с помощью инструмента *Terrain Analysis – Channel – Channel Network*. В настройках инструмента в строке *Elevation* укажите *srtm_Usen_flgtr*, в строке *Initiation Grid* – созданный на предыдущем этапе растр кумулятивного стока *Flow Accumulation*. В строке *Initiation Type* выберите *Greater than*, в следующей строке *Initiation Threshold* укажите порог отсечения, например, *30000000*. Таким образом, отберутся только те ячейки, в которые поступает сток с более чем 30 млн.ячеек (рис.35).

После выполнения инструмента сформируется 2 файла *Channel Network*: первый в виде растрового слоя, второй – линейного shape-файла (рис.34б). Необходимо их сохранить с расширениями *.sgrd и *.shp.

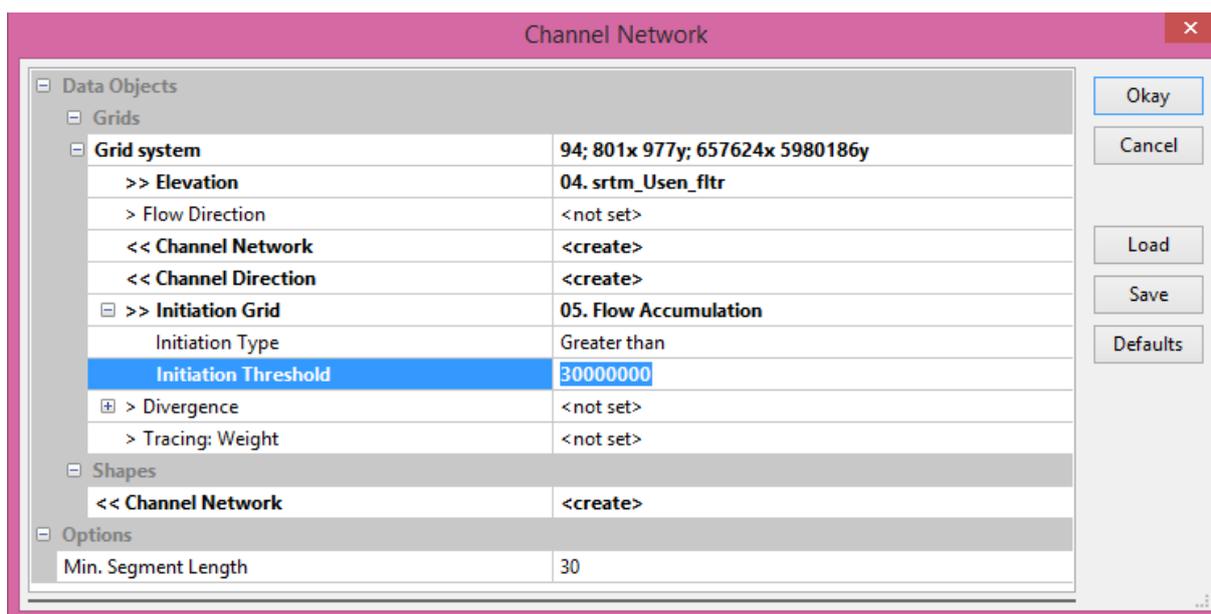


Рис.35. Настройка инструмента Channel Network

Построение водосборной площади

Водосборная площадь ограничивается водораздельными линиями – линиями локальных максимумов, отличительными особенностями которых являются нулевые значения аккумуляции.

Построение водосборной площади производится с помощью инструмента *Terrain Analysis – Channel – Watershed Basins (Extended)*. В настройках инструмента в строке *DEM* выберите *srtm_Usen_fltr*, в строке *Drainage Network* – созданную на предыдущем шаге *Channel Network*. Остальные параметры оставьте без изменений и нажмите кнопку *Okay*. (рис.36).

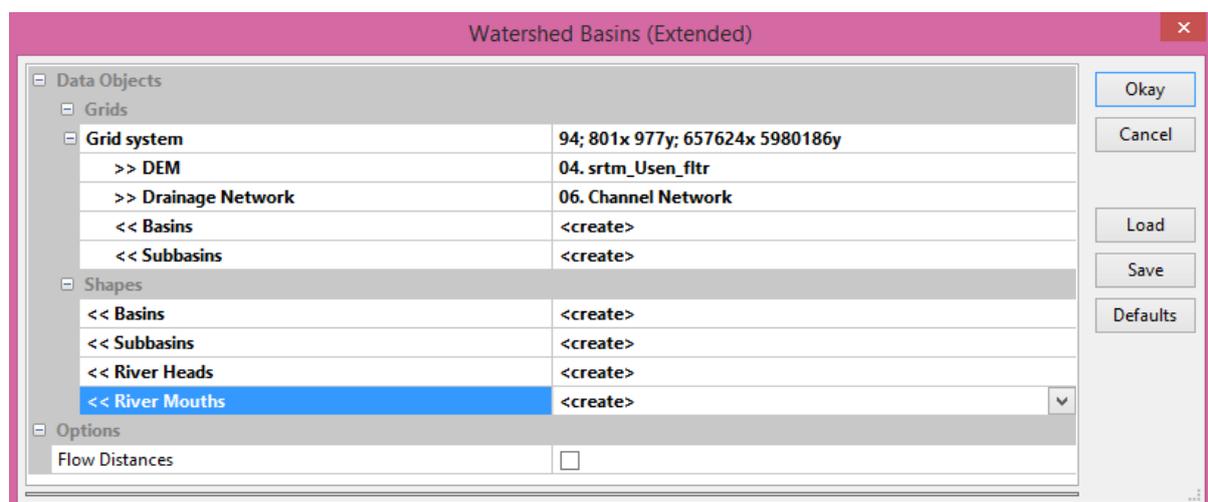


Рис.36. Настройка инструмента Watershed Basins (Extended)

В результате выполнения инструмента сформируется 2 растра – бассейны и суббассейны, и 4 векторные карты – бассейны (Basins),

суббассейны (Subbasins), истоки (Heads), и точки слияния (Mouths). Векторные карты сохраните в формате с расширением *.shp.

Для формирования наглядной карты откройте растр высот, на неё наложите векторные слои водотоков (*Channel Network*), суббассейнов, бассейнов, истоков и точек слияния. Чтобы полигональные слои бассейнов и суббассейнов не закрывали собой остальные слои, необходимо сделать их прозрачными. Для этого перейдите на панель *Properties*, во вкладке *Settings* в строке *Fill Style* выберите *Transparent*. Для применения изменений нажмите кнопку *Apply*. Элементы карты, которые не относятся к водосборной площади реки Усень, можете удалить. Сохраните получившуюся карту (Save As) в виде изображения с расширением *.bmp или *.jpeg (рис.37).

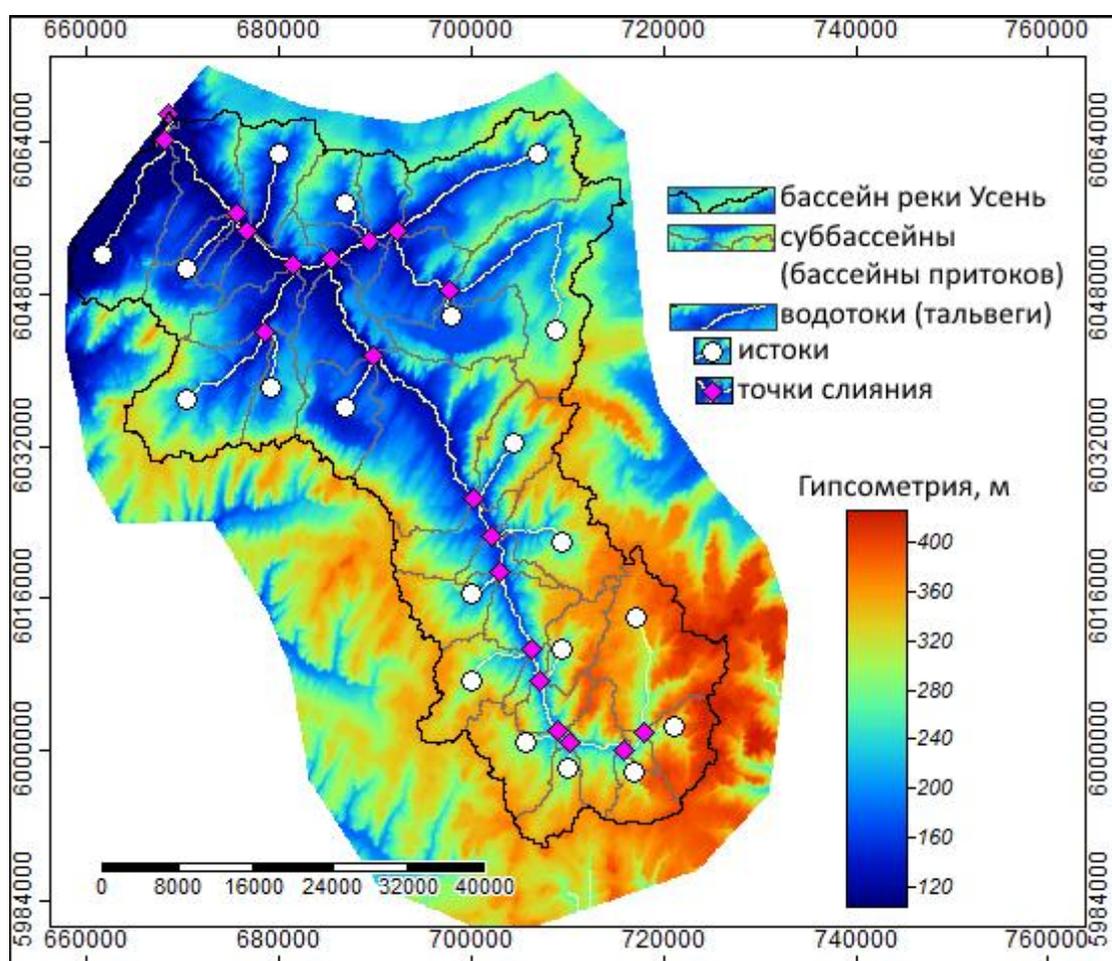


Рис.37. Водосборный бассейн реки Усень

Вопросы для самоконтроля

1. Перечислите основные преимущества выбора водосборного бассейна в качестве операционной территориальной единицы при экологическом картографировании.
2. Назовите морфометрические и гидрографические характеристики бассейнов рек.
3. Назовите элементы бассейновой структуры территории.

4. Чем отличаются водотоки от тальвегов?
5. Из каких этапов состоит проведение гидрологического анализа в SAGA GIS?
6. Для чего необходима гидрологическая коррекция цифровой модели рельефа?
7. Для чего задается порог отсечения значений аккумуляции стока при построении дренажной сети?

Литература для углубленного изучения

– Гидрография. Определение гидрографических характеристик рек и их водосборов с применением цифрового картографического моделирования [Текст]: учеб. пособие / сост. В.Г.Калинин, С.В.Пьянков. – Пермь, 2013. – Ч.2. – 71 с.

– Кошель, С.М. Современные методы расчета распределения поверхностного стока по цифровым моделям рельефа [Текст] / С.М. Кошель, А.Л. Энтин // Геоморфологи: Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2016. Вып 6. – С.24-34.

– Симонов, Ю.Г. Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки [Текст] / Ю.Г.Симонов, Т.Ю.Симонова // Эрозия почв и русловые процессы: сборник трудов. –М.: МГУ, 2004. Вып 14.– С.7-32

– Шихов, А.Н. Геоинформационные системы: применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач [Текст]: практикум: учеб. пособие / А.Н. Шихов, Е.С. Черепанова, А.И. Пономарчук: Перм.гос.нац.исслед.ун-т. – Пермь, 2014. – 91 с.

– Свідзінська, Д. В. Методи геоекологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA [Текст]: навчальний посібник / Д. В. Свідзінська. – Київ: Логос, 2014. – 402 с.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6. ОБРАБОТКА КОСМИЧЕСКОГО СНИМКА LANDSAT В SAGA GIS

Теоретические сведения и постановка задачи

Космические снимки – это собирательное название данных, получаемых посредством космических аппаратов в различных диапазонах электромагнитного спектра, визуализируемых затем по определенному алгоритму. При этом снимок определяется как двумерное метрическое изображение конкретных объектов, получаемое целенаправленно в результате дистанционной регистрации и (или) измерения собственного или отраженного излучения, и представляет собой наиболее целесообразную форму измерения, регистрации и визуализации излучения, несущего географическую информацию об исследуемых объектах.

За последние десятилетия существенно возросли объем, разнообразие и качество материалов дистанционного зондирования. К настоящему времени накоплен огромный фонд (более 100 млн) аэрокосмических снимков, полностью покрывающих всю поверхность Земли, а для значительной части районов – с многократным перекрытием.

Космическая съемка проводится с космических кораблей и спутников. Космические системы базируются на длительной работе регулярно пополняемых группировок спутников – спутниковых систем, которые включают сложную инфраструктуру, обеспечивающую функционирование космических аппаратов на орбите, прием информации, ее хранение и распространение.

Благодаря своим свойствам космические снимки находят широкое применение как в практической, так и в научной сферах, в т.ч. при разработке экологических карт.

Космическую съемку применяют в исследованиях, направленных на всестороннее изучение природных ресурсов, динамики природных явлений, в задачах охраны окружающей среды. По космическим снимкам возможно изучение основных структурных особенностей атмосферы, литосферы, гидросферы, биосферы и ландшафтов регионального, зонального и глобального масштабов. Появились такие новые научные направления в изучении Земли, как спутниковая метеорология, спутниковая гидрофизика, космическая океанология, космическая картография, космическая геодезия и др. Данные дистанционного зондирования служат источниками для составления и оперативного обновления общегеографических и тематических карт. Особое место отводится применению космической информации для повседневного оперативного контроля за состоянием окружающей среды при осуществлении геоэкологического мониторинга регионов. Космические снимки могут использоваться при решении разнообразных задач природопользования и экологического контроля: классификации земного покрова, оценке газового состава атмосферы, слежении за водной и

ветровой эрозией почв, установлении границ снежного покрова, определении зон затопления и разливов рек, идентификации многих антропогенных изменений в окружающей среде.

Дистанционные методы исследования природных объектов обеспечивают большую обзорность, возможность повторного получения данных через определенные промежутки времени, высокую скорость получения и передачи изображений, а также возможность применения комплексного анализа и оценки динамики развития явления на основе оперативного картографирования.

Использование результатов космической съемки для целей картографирования обуславливается исключительно ценными свойствами космических снимков: большой территориальный охват и вытекающая из этого высокая генерализованность изображений; изучение по снимкам основных структурных, региональных и зональных особенностей планеты в целом; единовременность выполнения съемки обширных территорий, что дает возможность изучать связь всех компонентов ландшафта; регулярная повторяемость съемки, позволяющая изучать динамику природных явлений – периодических (суточных, сезонных) и эпизодических (лесные пожары, извержения вулканов и т. д.), а также хозяйственную деятельность (посевные площади, созревание, уборка урожая, загрязнение суши и моря). Составленные по космическим снимкам карты являются более современными, достоверными и отображают явления, которые в отсутствие таких снимков вообще не могли бы быть картографированы (Сутырина, 2013).

Космические изображения являются многоцелевыми и выступают в виде единой основы для проведения комплексных, взаимоувязанных исследований природной среды. В результате их обработки можно получить тематические карты, отражающие пространственное размещение, качественные и количественные характеристики природных и антропогенных объектов. Информативность космических снимков в отношении ландшафтов и их антропогенных изменений позволяет широко использовать дистанционные методы при составлении разнообразных карт экологического профиля (Савиных, 2015).

Американская программа Landsat является наиболее продолжительным проектом по получению космических фотоснимков Земли. Установленное на спутниках Landsat оборудование сделало миллиарды снимков с покрытием всего мира. Landsat 8 - спутник дистанционного зондирования Земли, восьмой в рамках этой программы. Создан совместно NASA (National Aeronautics and Space Administration) и USGS (United States Geological Survey). Выведен на орбиту 11 февраля 2013 г. Для получения снимков Landsat специалистами геологической службы США разработан портал EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Он предназначен для поиска и заказа космоснимков. Без регистрации можно искать данные, пользоваться всеми функциями, но скачивать и заказывать можно только после регистрации.

Спутник Landsat 8 получает данные, используя два набора сенсоров: Operational Land Imager (OLI) и Thermal InfraRed Sensor (TIRS). Первый набор получает изображение в 9 диапазонах видимого света и ближнего инфракрасного излучения, второй набор – в 2 диапазонах дальнего инфракрасного излучения (табл. 2).

Таблица 2

Спектральные каналы Landsat 8

Спектральный канал	Длины волн	Разрешение
Диапазоны OLI		
Канал 1 – Побережья и аэрозоли	0,433 – 0,453 мкм	30 м
Канал 2 – Синий	0,450 – 0,515 мкм	30 м
Канал 3 – Зеленый	0,525 – 0,600 мкм	30 м
Канал 4 – Красный	0,630 – 0,680 мкм	30 м
Канал 5 – Ближний ИК	0,845 – 0,885 мкм	30 м
Канал 6 – Ближний ИК	1,560 – 1,660 мкм	30 м
Канал 7 – Ближний ИК	2,100 – 2,300 мкм	30 м
Канал 8 – Панхроматический	0,500 – 0,680 мкм	15 м
Канал 9 – Перистые облака	1,360 – 1,390 мкм	30 м
Диапазоны TIRS		
Канал 10 – Дальний ИК	10,30 – 11,30 мкм	100 м
Канал 11 – Дальний ИК	11,50 – 12,50 мкм	100 м

Каждый спектральный канал является изображением в градациях серого, с глубиной цвета 16 бит/пиксел. Используя полученные каналы снимка, можно создавать цветные комбинированные изображения для различных целей. Например, комбинация каналов 5-4-3 обладает большой информативностью и точностью для задач дифференциации растительного покрова. В комбинации 4-3-2 используются каналы видимого диапазона, поэтому объекты земной поверхности выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом, эта комбинация дает возможность анализировать состояние водных и антропогенных объектов (<https://landsat.usgs.gov/>).

Техническая постановка задачи состоит в следующем:

1. Импорт космического снимка Landsat 8 в SAGA GIS.
2. Перепроецирование снимка.
3. Обрезка снимка по бассейну реки Усень.
4. Создание композитного изображения.

Импорт и перепроецирование космического снимка

Зарегистрируйтесь на сайте EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) и загрузите космический снимок Landsat 8 от 24 августа 2016 года. Его уникальный номер LC81670222016225LGN00.

Откройте программу SAGA GIS, выберите инструмент *Import/Export – GDAL/OGR – Import Raster*. В настройках инструмента в строке *Files* укажите каналы B2, B3, B4 и B5. Уберите галочки с параметров *Select from Multiple Bands*, *Transformation* и нажмите кнопку *Okay*. В результате импорта загрузятся 4 файла, представляющие 4 канала снимка (рис.38). Сохраните их с расширением *.grid.

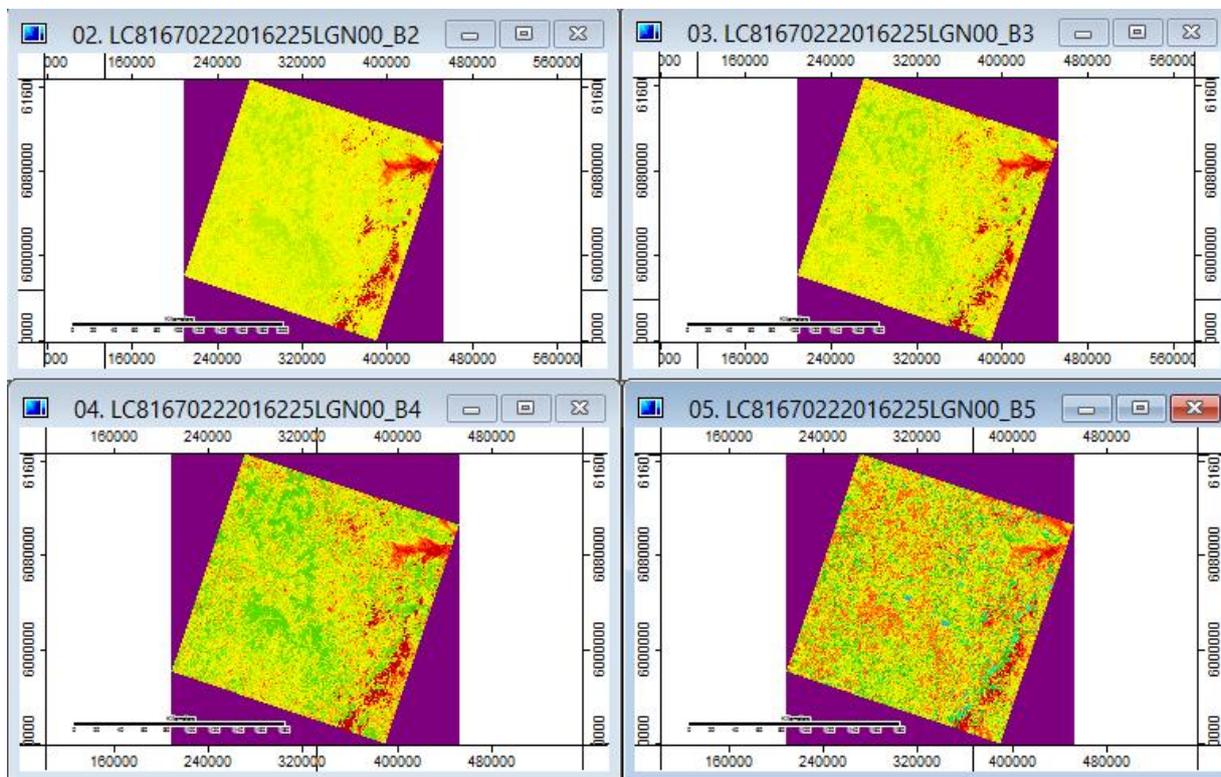


Рис.38. Снимок Landsat в 4-х спектральных каналах (B2, B3, B4, B5)

Если посмотреть параметры этих файлов (вкладка *Description*) панели *Settings* можно увидеть, что их проекция - Универсальная поперечная Меркатора (*Universal Transverse Mercator - UTM*), зона 40. Чтобы они были совместимы с ранее созданными нами векторными и растровыми слоями мы должны перепроецировать их в зону 39.

Для этого воспользуемся инструментом *Projection – Proj.4 – Proj.4 (Dialog, List of Grids)*. В его настройках в графе *Source Projection Parameters* укажите параметры исходной 40-й зоны UTM, в графе *Source – изображения снимка в четырех каналах (B2, B3, B4, B5)*, в графе *Target Projection Parameters* - параметры целевой 39-й зоны (рис.39).

После выполнения операции получившиеся растры переименуйте в *B2_UTM_39.sgrd*, *B3_UTM_39.sgrd*, *B4_UTM_39.sgrd*, *B5_UTM_39.sgrd*.

Обрезка снимка по бассейну реки Усень

Чтобы обрезать снимок по водосборному бассейну реки Усень воспользуйтесь инструментом *Shapes – Grid Tools – Clip Grid with Polygon*.

В настройках инструмента в графе *Grid system* укажите систему растров, в строке *Input* – выберите изображения снимка *Landsat* в 4-х каналах, перепроецированных в 39-ю зону. В строке *Polygons* выберите векторный слой *Basins*, созданный в практической работе № 3, и отображающий водосборную площадь реки Усень (рис.40).

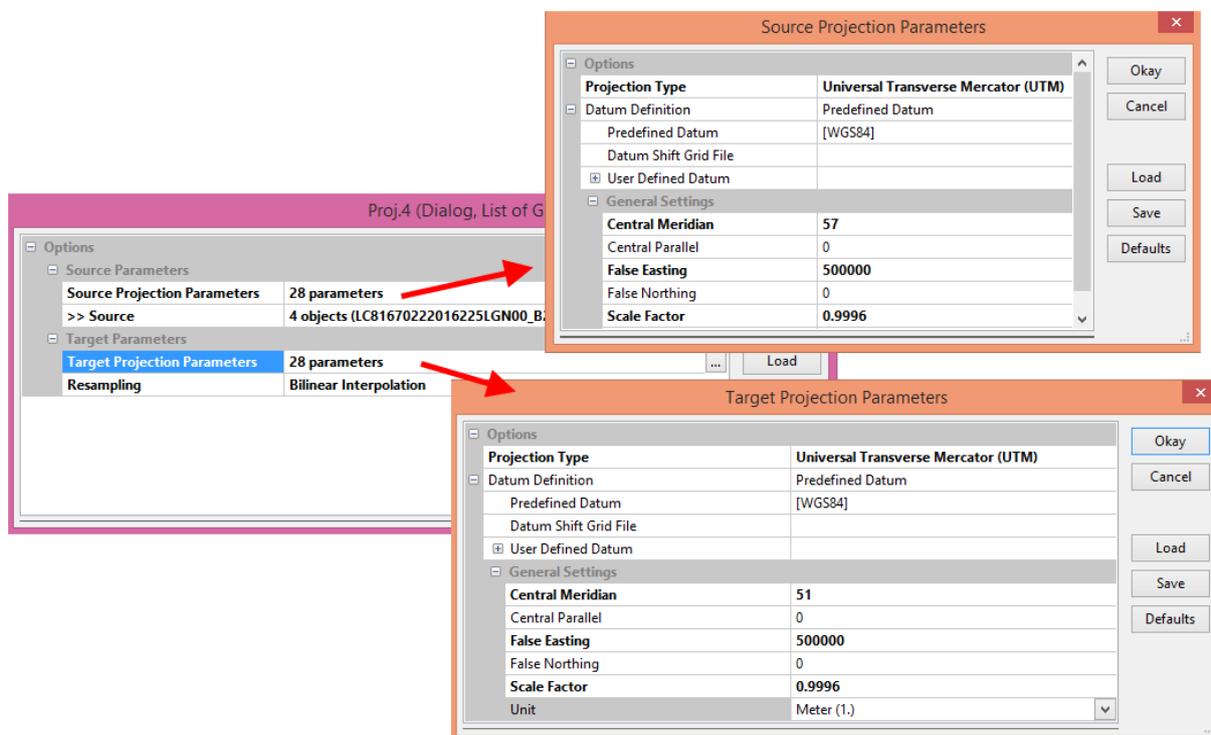


Рис.39. Перепроецирование снимка

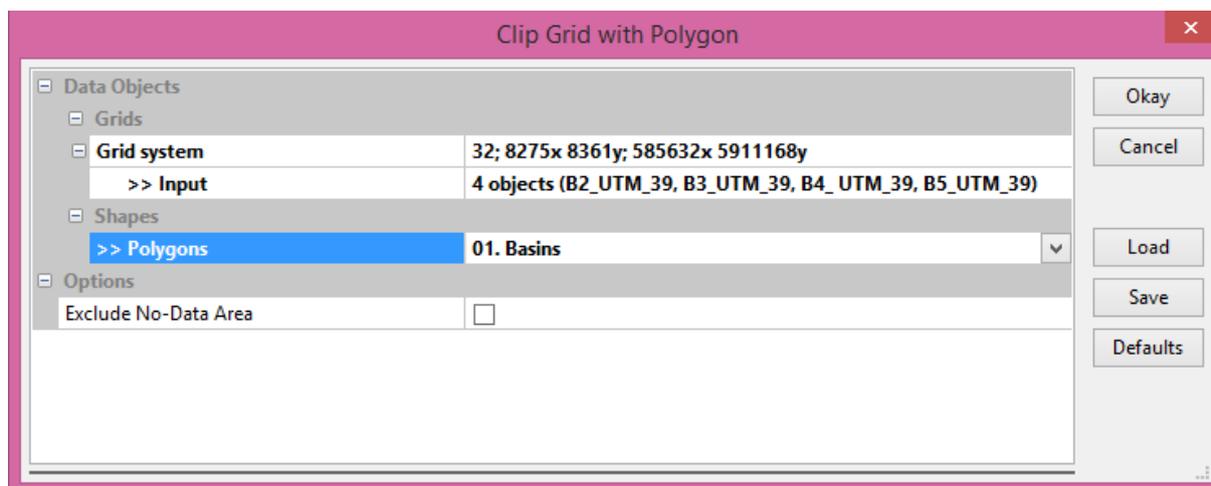


Рис.40. Обрезка снимка по водосборному бассейну

После выполнения операции сохраните получившиеся файлы в виде *B2_Usen.sgrd*, *B3_Usen.sgrd*, *B4_Usen.sgrd*, *B5_Usen.sgrd*.

Создание композитного изображения

Композитное изображение создается с помощью инструмента *Visualization – Grids – RGB Composite*. В его настройках укажите: в строке *Red* – *B4_Usen*, в строке *Green* – *B3_Usen*, в строке *Blue* – *B2_Usen*. Остальные параметры оставьте по умолчанию (рис.41).

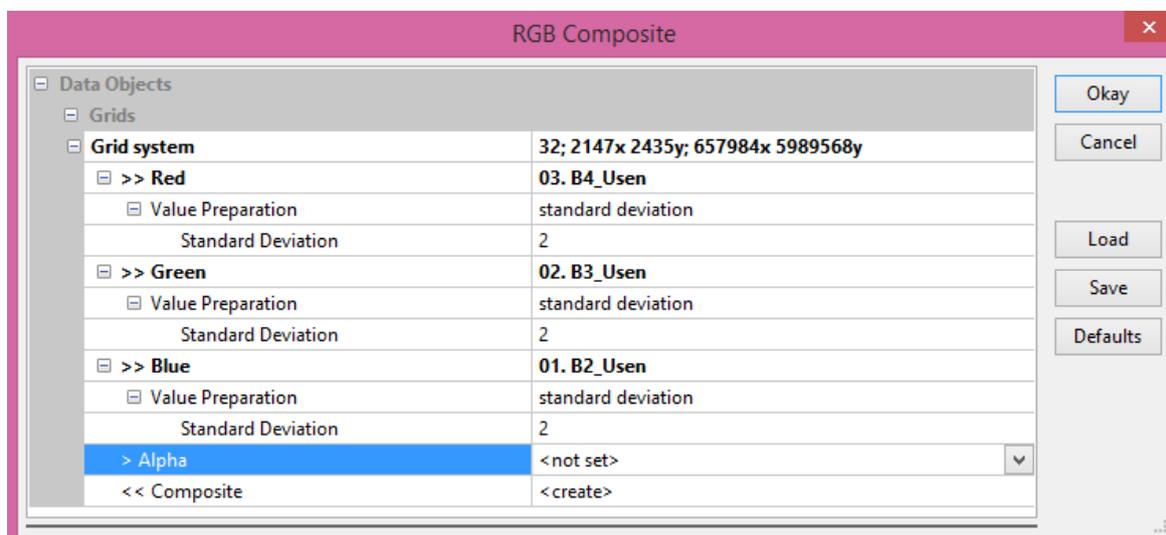


Рис.41. Создание RGB-композиции

После выполнения операции сформируется изображение растра с цветами, близкими к реальности, такими, какими мы их привыкли видеть (рис.42).

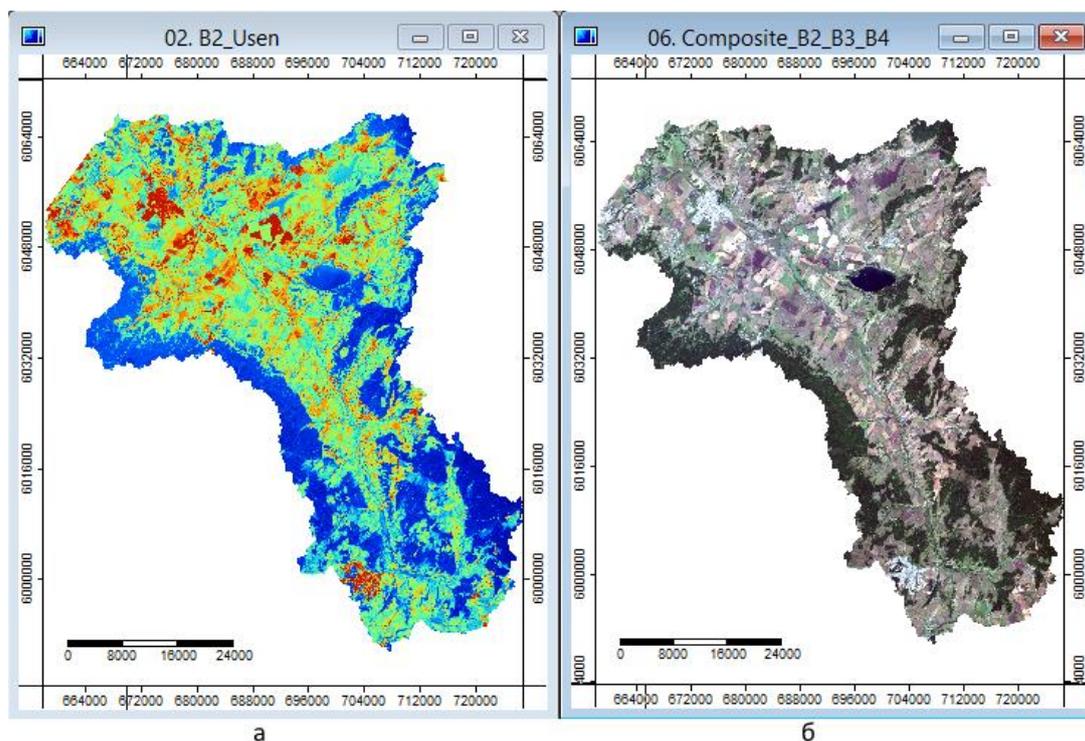


Рис.42. Изображение водосбора реки Усень в спектральном канале B2 (а) и на RGB-композиции

Вопросы для самоконтроля

1. Что из себя представляют спутниковые изображения?
2. В каких направлениях экологического картографирования используются спутниковые изображения?
3. Охарактеризуйте спектральные диапазоны спутника Landsat 8.
4. Какая проекция задана для космических снимков Landsat 8?
5. Как загрузить космический снимок Landsat в программу SAGA GIS?
6. Что такое RGB-композит?

Литература для углубленного изучения

- Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследования лесов по снимкам Landsat [Текст] / Э.А.Курбанов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер. Лес. Экология. Природопользование. – 2014. - №1 (21). – С.18-32.
- Сутырина, Е.Н. Дистанционное зондирование Земли [Текст]: учебное пособие / Е.Н.Сутырина. – Иркутск: изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.
- Силкин, К. GIS-Lab: Коррекция материалов Landsat [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <http://gis-lab.info/qa/landsat-data-correction.html>
- EarthExplorer [Электронный ресурс] // URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Landsat Missions [Электронный ресурс] // URL: <https://landsat.usgs.gov/>

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №7. РАСЧЕТ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТИПА ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

Теоретические сведения и постановка задачи

В мировой практике широко используется информация дистанционных изображений о структуре и свойствах растительности, при оценке современного состояния растительного покрова и параметров его биоразнообразия, а также при выявлении закономерностей его пространственно-временной организации в условиях разной степени антропогенного воздействия. Технические возможности современных спутниковых систем дистанционного зондирования позволяют осуществлять глобальные наблюдения растительного покрова в широком диапазоне длин волн электромагнитного излучения, величин пространственного и временного разрешения.

Характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее спектрально отражательными способностями позволяют использовать аэрокосмические снимки для картографирования и идентификации типов растительности и их стрессового состояния.

Для работы со спектральной информацией часто прибегают к созданию так называемых «индексных» изображений. На основе комбинации значений яркости в определенных каналах, информативных для выделения исследуемого объекта и расчета по этим значениям «спектрального индекса» объекта строится изображение, соответствующее значению индекса в каждом пикселе, что и позволяет выделить исследуемый объект или оценить его состояние. Спектральные индексы, используемые для изучения и оценки состояния растительности, получили общепринятое название вегетационных индексов. В настоящее время существует около 160 вариантов вегетационных индексов. Они подбираются 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. Т. е. 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. Отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов.

Вегетационные индексы сгруппированы в категории по свойству растительности, которое они характеризуют.

Индексы Broadband Greenness отражают общее количество растительности и используются для оценки ее состояния при решении широкого круга задач. Они суммируют и отражают влияние таких факторов, как содержание хлорофилла, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структура растительного покрова. Вегетационные индексы этой группы хорошо коррелируют с индексом фотосинтетически активной радиации и индексом листовой поверхности. Их можно использовать при работе с любыми мультиспектральными аэрокосмическими снимками высокого, среднего или низкого разрешения, у которых есть спектральные каналы в красной и ближней инфракрасной зонах. Основное назначение этих индексов – картирование растительного покрова, выявление площадей покрытых и непокрытых растительностью, оценка и мониторинг состояния растительного покрова, оценка продуктивности и урожайности.

Индексы Narrowband Greenness отражают общее количество и состояние растительности. Все, сказанное для предыдущей группы индексов (Broadband Greenness), справедливо и здесь. Отличие в том, что для расчетов этих индексов используются значения коэффициентов отражения на участке спектра от 0,690 до 0,750 мкм, т. е. рассматривается область ближнего инфракрасного склона спектральной кривой растительности. Использование значений коэффициентов отражения в узких спектральных зонах позволяет с помощью индексов фиксировать даже небольшие изменения состояния растительности. Расчет индексов возможен только по гиперспектральным аэрокосмическим снимкам

Индексы Light Use Efficiency отражают эффективность, с которой растительность способна использовать поступающий свет для фотосинтеза. Они хорошо коррелируют с эффективностью усвоения углерода и с активностью роста, а также тесно связаны с поглощением фотосинтетически активной радиации. Вегетационные индексы учитывают соотношение между различными типами пигментов для оценки общей эффективности использования света. Индексы помогают оценить рост и продуктивность растений, что актуально при решении сельскохозяйственных задач.

Индекс Canopy Nitrogen отражает концентрацию азота в растительном покрове. Азот входит в состав белков, хлорофилла и многих других органических соединений. Высокие концентрации обычно наблюдаются в быстрорастущей растительности. При азотном голодании листья приобретают бледно-зеленую окраску, мельчают, уменьшается ветвление побегов. При избытке азота усиливается рост, ткани образуются рыхлые, цветение задерживается. Вегетационные индексы, чувствительные к хлорофиллу, часто одновременно отражают содержание

азота. Для расчета относительного содержания азота в растительном покрове используется средний инфракрасный диапазон (SWIR).

Индексы Dry or Senescent Carbon разработаны для учета общего количества «сухого» углерода в виде лигнина и целлюлозы. Такой углерод в больших количествах присутствует в древесине и в мертвых или сухих растительных тканях. Увеличение этих показателей может отражать процесс «старения» и отмирания растений. Для расчета относительного содержания азота в растительном покрове используется средний инфракрасный диапазон (SWIR). Эти индексы широко используются при оценке пожароопасности на территории.

Индексы Leaf Pigments оценивают пигменты, характерные для растений в состоянии стресса. К ним относятся каротиноиды и антоцианины, которые наблюдаются в значительных количествах у угнетенной растительности. Индексы не учитывают хлорофилл, так как он измеряется с использованием индексов «зелености». Областями применения индексов Leaf Pigments является сельское хозяйство (мониторинг состояния полей и оценка урожайности), а также выявление участков растительного покрова, находящихся в стрессовом состоянии. Часто индексы могут показать стрессовое состояние растительности еще до того, как оно будет заметно «невооруженным глазом». Для их расчета используются данные в узких спектральных зонах видимого диапазона.

Индексы Canopy Water Content разработаны для оценки содержания влаги в растительном покрове. Содержание воды – важный показатель, высокое содержание влаги характерно для здоровой растительности, которая быстрее растет и более устойчива к пожарам. Для расчетов индексов используется ближний и средний инфракрасный диапазоны. Индексы широко применяются при оценке пожароопасности на территории вместе с индексами группы Dry or Senescent Carbon. Каждая из перечисленных групп индексов предназначена для оценки какого-либо из свойств растительного покрова и содержит несколько индексов. Для конкретных природных условий и различных задач одни индексы из группы могут дать более точные результаты, чем другие. Сравнивая результаты расчетов индексов с полевыми данными, можно выбрать индекс, максимально точно отражающий исследуемое свойство. Таким образом существенно повышается точность результатов при последующей обработке.

Индекс Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – нормализованный разностный индекс растительности был впервые описан Rouse B.J. в 1973 г. – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы чувствителен к наличию растительности на земной поверхности и может быть использован для определения ее типа, количества и состояния. Индекс вычисляется по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра;
RED – отражение в красной области спектра.

Для растительности индекс NDVI принимает положительные значения, и чем больше зеленая фитомасса, тем они выше. На значения индекса влияет также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью. Индекс умеренно чувствителен к изменениям почвенного фона, кроме случаев, когда густота растительного покрова ниже 30%. Индекс может принимать значения от -1 до 1 (рис.43). Для зеленой растительности индекс обычно принимает значения от 0,2 до 0,8 (Черепанов, Дружинина, 2009).



Рис.43. Дискретная шкала NDVI

Индекс NDVI имеет много модификаций. Они предназначены для уменьшения влияния помехообразующих факторов. При низкой плотности растительного покрова оптимальным индексом для выделения растительности является почвенный вегетационный индекс SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index). Усовершенствованный вегетационный индекс EVI (Enhanced Vegetation Index) основан на индексе NDVI и позволяет оценивать состояние растений как в условиях густого растительного покрова, так и в условиях разреженной растительности. ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index,) – вегетационный индекс, устойчивый к влиянию атмосферы.

Техническая постановка задачи состоит в следующем:

1. Произвести радиометрическую калибровку космического снимка Landsat.
2. Построить на его основе индексное изображение (вегетационный индекс NDVI).
3. Определить тип подстилающей поверхности интерпретированием индекса NDVI.

Радиометрическая калибровка снимка

Перед построением индексных изображений необходима радиометрическая калибровка снимка. В данных Landsat каждый пиксель хранит безразмерное нормализованное значение (Digital Number / DN), полученное после преобразований «сырых» значений, зарегистрированных сенсором спутника. На разных снимках, и даже в разных каналах одного снимка эти числа могут быть совершенно несопоставимы. Поэтому такие нормализованные значения (DN) следует перевести в отражательную способность (reflectance).

Необходимо произвести радиометрическую калибровку с помощью инструмента *Imagery – Tools – Top of Atmosphere Reflectance*. В настройках в строке *DN Band4* укажите *B4_Usen*, в строке *DN Band5* – *B5_Usen*. В строке *Metadata File* выберите текстовый документ с метаданными, загружаемый вместе со снимком. После указания этого файла заполнятся нижележащие строки: *Spacecraft Sensor (Landsat-8 OLI/TIRS)*, *Image Acquisition Date (2016-08-12)*, *Image Creation Date (2016-08-24)* и *Suns's Height (48.26734329)*. Остальные параметры оставьте без изменений (рис.44).

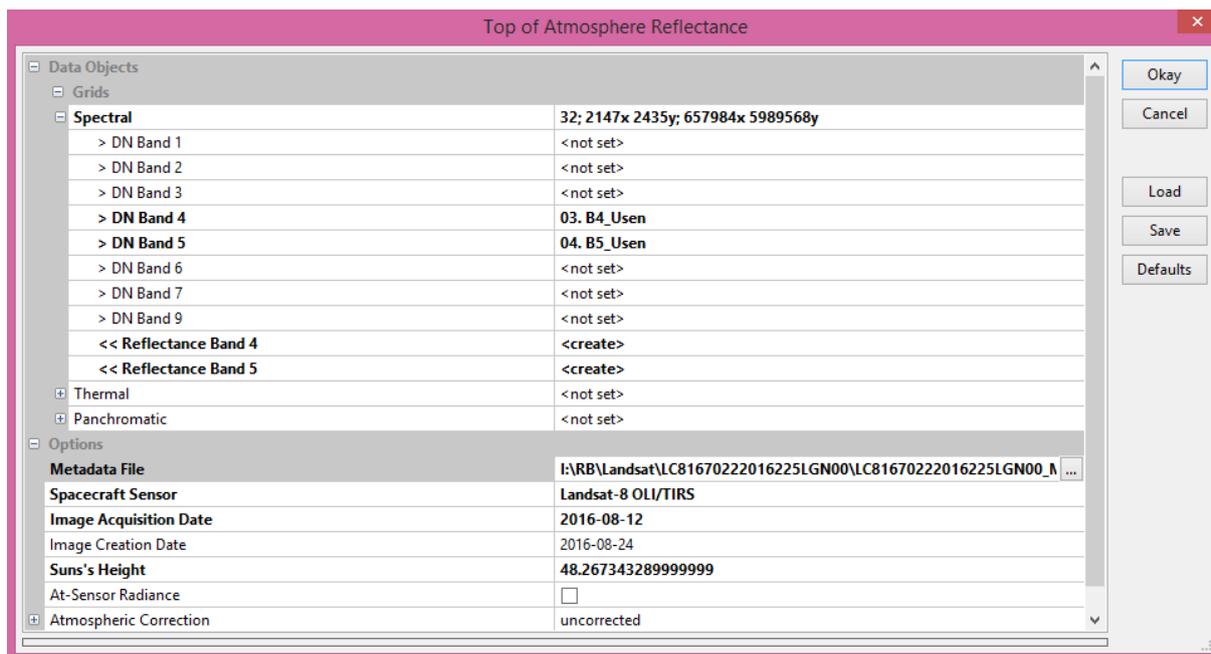


Рис.44. Радиометрическая калибровка

Сформированные изображения сохраните как *B4_Usen [Reflectance].sgrd* и *B5_Usen [Reflectance].sgrd*.

Расчет вегетационного индекса

В SAGA GIS рассчитать нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI) можно двумя способами. Первый способ – автоматический – представляет выбор специального встроенного инструмента для расчета некоторых вегетационных индексов. Согласно ему выберите инструмент *Imagery – Tools – Vegetation Index (Slope Based)*. В настройках инструмента в строке *Red Reflectance* укажите *B4_Usen [Reflectance]*, в строке *Near Infrared Reflectance* – *B5_Usen [Reflectance]*. В строке *Normalized Difference Vegetation Index* выберите опцию *<create>*.

В результате выполнения операции получившийся растр сохраните как *NDVI.sgrd*.

Второй способ – ручной – представляет самостоятельный ввод формулы в калькуляторе растров (*Grid – Calculus – Grid Calculator*). Этим способом можно рассчитать и другие вегетационные индексы, не представленные в программе.

Построение типов подстилающей поверхности

Теперь необходимо интерпретировать значения NDVI и классифицировать изображение.

Отрицательные значения NDVI характерны для водных объектов; положительные и близкие к нулю значения – для почв, грунтов и сухой растительности; максимальные значения – для вегетирующей растительности; промежуточные значения – для различных состояний растительного покрова.

Чтобы ввести эти значения, в свойствах растра NDVI (окно *Properties*, вкладка *Settings*) выберите параметр *Colors – Type – Lookup Table*. Заполните таблицу *Table* так, как показано на рисунке 45, и нажмите *Okay – Apply*.

	COLOR	NAME	DESCRIPTION	MINIMUM	MAXIMUM
1		вода		-0.500000	0.000000
2		без растительности		0.000000	0.500000
3		разреженная растительность		0.500000	0.700000
4		густая растительность		0.700000	1.000000

Рис.45. Интерпретация значений NDVI

Преобразованный растр сохраните как *NDVI_klass.sgrd*.

Сравните 3 растра: композитное изображение, NDVI, типы подстилающей поверхности (рис.46). Сделайте выводы, насколько точно можно дешифровать космический снимок с помощью нормализованного разностного вегетационного индекса.

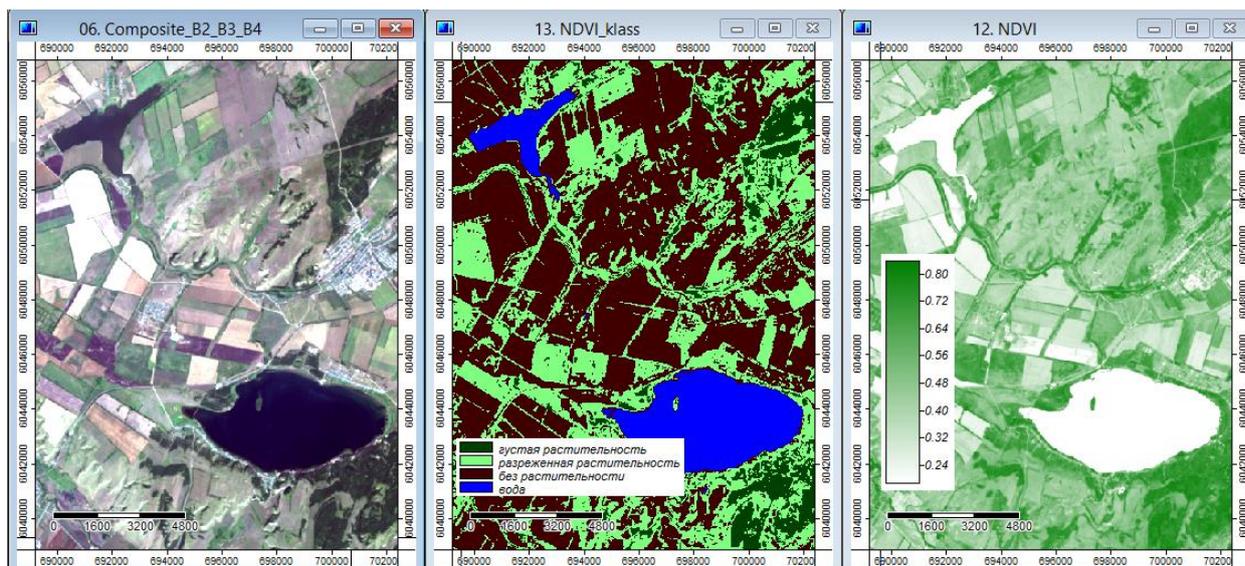


Рис.46. Отображение территории на различных растрах

Вопросы для самоконтроля

1. Для чего нужна радиометрическая калибровка космического снимка?
2. В чем физический смысл нормализованного разностного вегетационного индекса NDVI?
3. Для каких целей применяется вегетационный индекс NDVI?
4. Назовите вегетационные индексы, устойчивые к влиянию почвы.
5. Какие вегетационные индексы являются устойчивыми к влиянию атмосферы?
6. Какие вегетационные индексы необходимо использовать в случае изучения территории с разреженной растительностью?

Литература для углубленного изучения

- Рахматуллина, И.Р. Ландшафтно-экологическое картографирование водосборов малых рек в программе SAGA GIS (на примере реки Усень Республики Башкортостан) [Текст] / И.Р.Рахматуллина, З.З.Рахматуллин, Э.Р.Латыпов // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. – 2017. – 4(1). – С.75-78
- Черепанов, А.С. Вегетационные индексы [Текст] / А.С.Черепанов // Геоматика. – 2011. - №2. - С.98-102.
- Черепанов, А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы [Текст] / А.С.Черепанов, Е.Г.Дружинина // Геоматика. – 2009. – №3. – С.28-32.
- NDVI – теория и практика [Электронный ресурс] // URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы наблюдается бум в экологическом картографировании, вызванный доступностью для широкого потребителя космической информации, совершенствованием автоматизированных приемов получения и обработки информации, использованием географических информационных систем, в том числе со свободной лицензией.

Все это нашло отражение в большом количестве опубликованных статей, монографий и картографических продуктов по самым разнообразным направлениям экологического картографирования: при разработке комплексных территориальных систем оптимизации природопользования; при прогнозировании экологических ситуаций, в ландшафтном планировании и проектировании, в разработке крупных природоохранных проектов, в оценке уровня загрязнения природных сред; в формировании экологического каркаса территории и т.д.

Содержание данного практикума не является исчерпывающим. Полное освещение методов отображения территориального распределения каждого из экологического фактора и степени антропогенного влияния на него требует объема полноценной монографии. Вместе с тем приведенный практический материал достаточен для составления относительно простых картографических продуктов, типичных в работе эколога, географа, исследователя в области наук о Земле, сельского и лесного хозяйства. А теоретическая часть содержит материал, призванный вызвать интерес для дальнейшего, более глубокого и детального изучения науки, находящейся в постоянном развитии и совершенствовании – экологического картографирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берлянт, А.М. Картография [Текст]: учебник для вузов. – М.: Аспект Пресс, 2002. – 336 с.
2. Гидрография. Определение гидрографических характеристик рек и их водосборов с применением цифрового картографического моделирования [Текст]: учеб. пособие / сост. В.Г.Калинин, С.В.Пьянков. – Пермь, 2013. – Ч.2. – 71 с.
3. Глотов, А.А. Использование ЦМР для эффективного управления природопользованием [Текст] / А.А. Глотов // Геоматика. – 2013. - №4. – С.32-36.
4. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2015 году [Текст]. – Уфа: Министерство природопользования и экологии Республики Башкортостан, 2016. – 310 с.
5. ГОСТ 211667-76 Картография. Термины и определения (с изменениями, утвержденными в июле 1981 г, ноябре 2001 г.) – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 40 с.
6. Краснощеков, А.Н. Геоинформационные системы в экологии [Текст]: учебное пособие / А.Н.Краснощеков, Т.А.Трифорова, Н.В.Мищенко. – Владим.гос.ун-т, 2004. – 152 с.
7. Кошель, С.М. Современные методы расчета распределения поверхностного стока по цифровым моделям рельефа [Текст] / С.М. Кошель, А.Л. Энтин // Геоморфологи: Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. – М.: Медиа-ПРЕСС, 2016. Вып 6. – С.24-34.
8. Кошкарев, А.В. Методика создания цифровой геоморфологической карты Москвы [Текст] / А.В.Кошкарев, А.В.Маркелов, Д.А.Маркелов и др. // Геоморфология. – 2011. – №2. – С.55-65.
9. Курбанов, Э.А. Четыре десятилетия исследования лесов по снимкам Landsat [Текст] / Э.А.Курбанов [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университет. Сер. Лес. Экология. Природопользование. – 2014. - №1 (21). – С.18-32.
10. Лебедева, О.А. Картографические проекции [Текст]: методическое пособие. – Новосибирск, 2000. – 37 с.
11. Лурье, И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков [Текст]: учебник / И.К. Лурье. – М.: КДУ, 2008. – 424 с.
12. Лурье, И.К. Информатика с основами геоинформатики. Ч. 2: Основы геоинформатики [Текст]: учеб. пособие / И.К. Лурье, Т.Е. Самсонов. – М.: МГУ, 2016. 200 с.
13. Рахматуллина, И.Р. Ландшафтно-экологическое картографирование водосборов малых рек в программе SAGA GIS (на примере реки Усень Республики Башкортостан) [Текст] / И.Р.Рахматуллина,

- 3.3.Рахматуллин, Э.Р.Латыпов // Известия Уфимского научного центра Российской академии наук. – 2017. – 4(1). – С.75-78
- 14.Сивков, В.С. Геоинформационная SAGA [Текст] / В.С.Сивков // Геопрофи - №6. -2007. -С. 10-13.
- 15.Симонов, Ю.Г. Речной бассейн и бассейновая организация географической оболочки [Текст] / Ю.Г.Симонов, Т.Ю.Симонова // Эрозия почв и русловые процессы: сборник трудов. –М.: МГУ, 2004. Вып 14.– С.7-32
- 16.Соколова, Г.Г. Влияние высоты местности, экспозиции и крутизны склона на особенности пространственного распределения растений [Текст] / Г.Г.Соколова // Acta Biologica Sibirica. – 2016. – №2(3). – С.34-45.
- 17.Справочник по картографии [Текст] / А.М.Берлянт, А.В.Гедымин, Ю.Г.Кельенр и др. – М.: Недра, 1988. – 428 с.
- 18.Стурман, В.И. Экологическое картографирование [Текст]: учебное пособие / В.И. Стурман. –М.: Аспект Пресс, 2003. – 251 с.
- 19.Стурман, В.И. Современные подходы к картографированию загрязнения атмосферного воздуха за рубежом и в России [Текст] / В.И.Стурман, А.В.Семакина // Известия РГО. – Т.146, вып.2. – 2014. – С.28-37.
- 20.Сутырина, Е.Н. Дистанционное зондирование Земли [Текст]: учебное пособие / Е.Н.Сутырина. – Иркутск: изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.
- 21.Толкач, И.В. Системы приема и обработки данных дистанционного зондирования: лабораторный практикум [Текст]: учеб.-метод. пособие / И.В.Толкач. – Минск: БГТУ, 2016. – 70 с.
- 22.Черепанов, А.С. Вегетационные индексы [Текст] / А.С.Черепанов // Геоматика. – 2011. – №2. – С.98-102.
- 23.Черепанов, А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы [Текст] / А.С.Черепанов, Е.Г.Дружинина // Геоматика. – 2009. – №3. – С.28-32.
- 24.Шарый, П.А. Топографический метод вторых производных [Текст] // Геометрия структур земной поверхности. - Пущино: ПНЦ АН СССР, 1991. – С.30-60.
- 25.Шихов, А.Н. Геоинформационные системы: применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач [Текст]: практикум: учеб. пособие / А.Н. Шихов, Е.С. Черепанова, А.И. Пономарчук: Перм.гос.нац.исслед.ун-т. – Пермь, 2014. – 91 с.
- 26.Свідзінська, Д. В. Методи геоекологічних досліджень: геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA [Текст]: навчальний посібник / Д. В. Свідзінська. – Київ: Логос, 2014. – 402 с.
- 27.Sutton T. A Gentle Introduction to GIS [Текст] / T. Sutton, O. Dassau, M. Sutton. - Spatial Planning & Information, Department of Land Affairs, Eastern Cape, 2009 - 114 p.

СПИСОК ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСОВ

1. Документация QGIS 2.18. [Электронный ресурс]. - URL https://docs.qgis.org/2.18/ru/docs/user_manual/ (дата обращения: 08.05.2018).
2. Дубинин, М.Ю. GIS-Lab: Описание и получение данных SRTM [Электронный ресурс]. – 2004. – URL: <http://gis-lab.info/qa/srtm.html> (дата обращения: 08.05.2018).
3. Еськов, А. GIS-Lab: Краткое введение в ГИС. Перевод книги Sutton T. A Gentle Introduction to GIS [Электронный ресурс]. – 2013. – URL: <http://gis-lab.info/qa/gentle-intro-gis.html> (дата обращения: 08.05.2018).
4. Официальный ресурс для скачивания данных SRTM. CGIAR-CSI SRTM 90m DEM Digital Elevation Database [Электронный ресурс] // URL: <http://srtm.csi.cgiar.org/> (дата обращения: 08.05.2018).
5. Савиных, В. П. Информационное обеспечение научных и прикладных исследований на основе космической информации [Электронный ресурс] / В.П. Савиных // ПНиО. 2015. №2 (14). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnoe-obespechenie-nauchnyh-i-prikladnyh-issledovaniy-na-osnove-kosmicheskoy-informatsii> (дата обращения: 08.05.2018).
6. Свидзинская, Д.В. Основы QGIS [Электронный ресурс] / Д.В. Свидзинская, А.С. Бруй. - Киев, 2014. - 83 с. - URL: http://lab.osgeo.org.ua/files/QGIS_intro.pdf (дата обращения: 08.05.2018).
7. Свидзинская Д.В. GIS-Lab: Основные геоморфометрические параметры: теория [Электронный ресурс]. – 2013 (а). – URL <http://gis-lab.info/qa/geomorphometric-parameters-theory.html> (дата обращения: 08.05.2018).
8. Свидзинская Д. В. GIS-Lab: Открытая настольная ГИС SAGA – общая характеристика [Электронный ресурс]. - 2012. - URL: <http://gis-lab.info/qa/saga-intro.html> (дата обращения: 08.05.2018).
9. Свидзинская Д.В. GIS-Lab: Первичная обработка данных SRTM в ГИС SAGA [Электронный ресурс]. – 2013 (б). – URL: <http://gis-lab.info/qa/saga-srtm-preprocessing.html> (дата обращения: 08.05.2018).
10. Силкин, К. GIS-Lab: Коррекция материалов Landsat [Электронный ресурс]. – 2015. – URL: <http://gis-lab.info/qa/landsat-data-correction.html> (дата обращения: 08.05.2018).
11. Conrad, O. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 [Электронный ресурс] / O. Conrad, B. Bechtel, M. Bock, H. Dietrich, E. Fischer, L. Gerlitz, J. Wehberg, V. Wichmann, J. Böhrner // Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015, URL: <http://www.geosci-model-dev.net/8/1991/2015/gmd-8-1991-2015.html> (дата обращения: 08.05.2018).
12. EarthExplorer [Электронный ресурс]. - URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения: 08.05.2018).

- 13.Landsat Missions [Электронный ресурс]. - URL: <https://landsat.usgs.gov/> (дата обращения: 08.05.2018).
- 14.NDVI – теория и практика [Электронный ресурс]. - URL: <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения: 08.05.2018).
- 15.QGIS - Свободная географическая информационная система с открытым кодом [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.qgis.org/ru/site/> (дата обращения: 08.05.2018).
- 16.SAGA - System for Automated Geoscientific Analyses (version.3.0.0) [Электронный ресурс]. - URL: <http://www.saga-gis.org/en/index.html> (дата обращения: 08.05.2018).
- 17.User Guide for SAGA (version 2.0.5). Volume 1 [Электронный ресурс] / Vern Cimmery, 2010. – URL: https://netix.dl.sourceforge.net/project/saga-gis/SAGA%20-%20Documentation/SAGA%202%20User%20Guide/SAGA_User_Guide_Vol1_Cimmery_version_2.0.5_20100823.pdf (дата обращения: 08.05.2018).

Учебное издание

*Ирина Римилевна Рахматуллина,
Загир Забирович Рахматуллин,
Андрей Алексеевич Кулагин.*

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ

Практикум

Лиц. на издат. деят. Б848421 от 03.11.2000 г. Подписано в печать 29.06.2018.

Формат 60X84/16. Компьютерный набор. Гарнитура Times.

Отпечатано на ризографе. Усл. печ. л. – 5,0. Уч.-изд. л. – 4,8.

Тираж 100 экз. Заказ № 1342.

ИПК БГПУ 450000, г. Уфа, ул. Октябрьской революции, 3а