



В. В. Фомин
В. Е. Рогачев

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Екатеринбург
УГЛТУ
2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Уральский государственный лесотехнический университет»
(УГЛТУ)

Кафедра экологии и природопользования

В. В. Фомин
В. Е. Рогачев

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Методические указания
к курсовой работе для студентов
очной и заочной форм обучения по направлению
«Экология и природопользование»

Екатеринбург
УГЛТУ
2024

Печатается по рекомендации методической комиссии Института
леса и природопользования.
Протокол № 1 от 2 октября 2023 г.

Рецензент – доцент кафедры ТОЛП, канд. техн. наук *Е. В. Курдышева*

Предназначены для всех обучающихся, осваивающих образовательные
программы всех направлений и специальностей высшего образования,
реализуемых в УГЛТУ.

Редактор В. Д. Билык
Оператор компьютерной верстки Т. В. Упорова

Подписано в печать 25.12.2024

Плоская печать

Заказ №

Формат 60×84/16

Печ. л. 0,93

Поз. № 9

Тираж 10 экз.

Редакционно-издательский сектор РИО УГЛТУ
Сектор оперативной полиграфии РИО УГЛТУ

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполняется на основе методик, описанных в статьях, посвященных распространению древесных растений в горной тундре на Полярном Урале [1, 2]

Деревья и подлесок Лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) нужно оцифровать на аэрофотоснимках вручную. Для этого аэрофотоснимки загружаются в программу QGIS, как растровые слои. Далее создавался слой Shapefile, на котором можно создавать полигоны для выделения проекций крон деревьев. Далее необходимо разбить полученный массив данных по возрастным группам и определить площадь питания каждого дерева. На основе этого надо создать серию макетов, проанализировать полученные данные и написать вывод.

Описание вопроса исследования

Северные лесные экосистемы высокогорий долгое время оставались слабоизученными. Их изучение в основном носило описательный характер, но в последние годы ситуация значительно изменилась. Это связано с резким возрастанием интереса ученых к изучению реакции экосистем и их отдельных компонентов на глобальное потепление климата, так как верхняя граница леса имеет индикаторное значение и остро реагирует на изменение внешней среды.

Изменения экотона верхней границы древесной растительности на Полярном Урале можно объяснить лишь изменением климатической обстановки в районе исследований, в частности увеличением температуры и количества осадков в холодный период года. Мощность снежного покрова оказывает существенное влияние на динамику верхней границы древесной растительности. Это объясняется тем, что в условиях высокогорий создаются экстремальные условия для роста и выживания подроста. Он подвергается морозному выжиманию, повреждению холодным воздухом, снежной абразии, морозному иссушению, поэтому подросту необходима защита снежного покрова. Оптимальная глубина снежного покрова для выживания и роста лиственницы на верхней границе леса составляет 100–200 см, минимально необходимая – 50 см.

Важнейшей задачей в настоящее время является количественная оценка реакции различных компонентов лесных и лесотундровых экосистем на изменения климата. Целью этой работы является создание картографических моделей, характеризующих распространение сибирской лиственницы в тундру и лесотундру во второй половине XX и начале XXI вв., проведение анализа пространственного распределения деревьев на юго-восточном макросклоне горного массива Рай-Из на Полярном Урале.

Алгоритм выполнения основных этапов работы

1. Запуск программы

Работа проводится на основе открытого программного комплекса *QGIS Desktop 3.24.3 with GRASS 7.8.7*. Если программа не установлена, необходимо скачать и установить ее с официального сайта QGIS.org.

Запустить *QGIS Desktop 3.24.3 with GRASS 7.8.7*.

2. Добавление растрового слоя в проект

Существует два основных метода представления графических объектов: растровый и векторный.

В *растровом методе* используют представление пространства в виде совокупности ячеек. Ячейки растра имеют, как правило, квадратную форму и одинаковые размеры. Точечный объект в растровой модели будет представлен одной ячейкой. Линия изображается в виде совокупности смежных ячеек. Так как линия является одномерным объектом, то ее толщина не должна превышать размера одной ячейки растра. Объект, имеющий два измерения, отображается в виде совокупности соседних ячеек (рис. 1). Каждой ячейке растра либо присваивается значение одного атрибута, либо каждая ячейка связывается с базой данных [3].

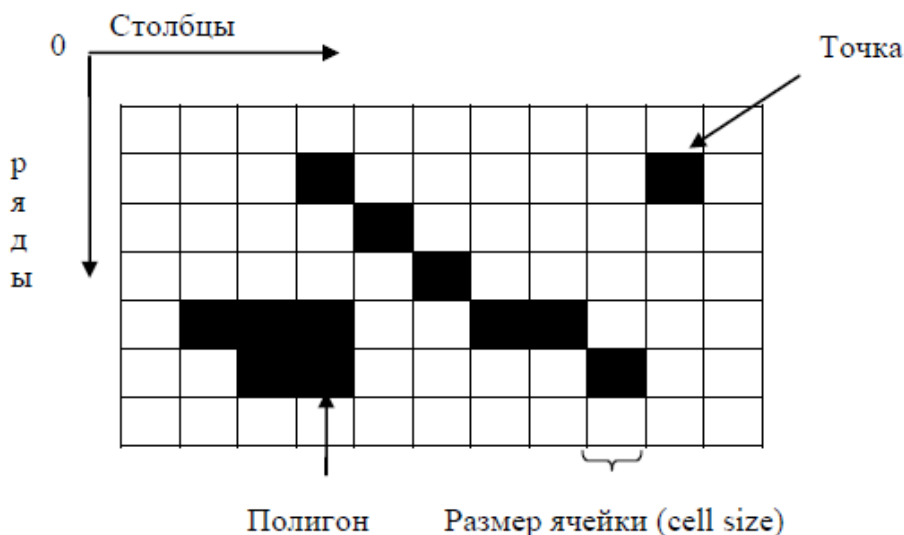


Рис. 1. Растровое представление основных графических примитивов

2.1. Из папки со своим вариантом загрузить растровый слой. Для этого выбрать в Меню «Слой» → «Добавить слой» → «Добавить растровый слой...».

2.2. В открывшемся окне нажать кнопку «Обзор» и найти нужный файл. Нажать кнопку «Добавить».

3. Изменение системы координат

Для определения местоположения географических объектов применяют системы географических координат. Географическая система координат принята во всем комплексе географических наук. В ней используется сферическая форма Земли. Положение любой точки на ее поверхности определяется двумя географическими координатами – широтой и долготой. Географическая широта и долгота являются углами, измеренными из центра земной сферы. Географическую широту измеряют от плоскости экватора. Величины углов изменяются от 0° до 90° и от 0° до -90° в северном и южном полушариях соответственно. Значения долготы измеряются от начального Гринвичского меридиана от 0° до 180° и от 0° до -180° в восточном и западном полушариях соответственно (рис. 2).

В географической системе координат измерения выражаются в градусах (degrees), минутах (minutes) и секундах (seconds). Каждый градус содержит 60 минут, а каждая минута – 60 секунд. Один градус содержит 3600 секунд. В ГИС часто необходимо вводить координаты в десятичных долях градуса (decimal degrees).

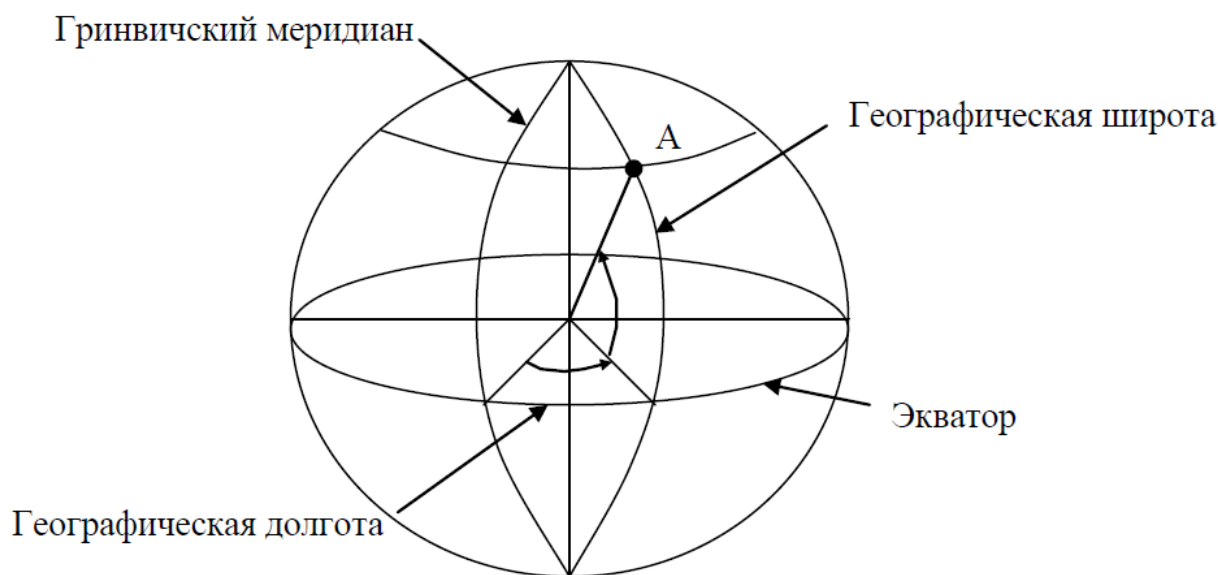


Рис. 2. Система географических координат

В данной форме записи целые значения записываются без изменения. После запятой записывают сумму двух дробей: количество минут/60 + количество секунд/3600.

В прямоугольной, называемой декартовой, или в картезианской, (*Cartesian*) системе координат (в англоязычной литературе) используются две координатные оси, расположенные под прямым углом. Горизонтальная ось X сориентирована параллельно направлению запад – восток, вертикальная ось Y расположена параллельно направлению юг – север. В классической картографии используют систему координат Гаусса. В ней ось Y расположена на месте оси X , а ось X – на месте оси Y в декартовой системе координат. При использовании прямоугольной системы обычно начало отсчета выбирают таким образом, чтобы координаты объектов имели положительные значения.

При работе с картографическими данными в ГИС необходимо уметь правильно выбирать систему отсчета, т. е. систему координат, используемую для измерения местоположения на поверхности Земли. Система отсчета определяется эллипсоидом и его позицией относительно центра масс Земли. Системы отсчета, в которых центр эллипсоида совпадает с центром масс, называются центрированными. В локальных системах отсчета эллипсоид располагают таким образом, чтобы его поверхность наиболее точно описывала определенный участок земной поверхности. Примером центрированной системы является Североамериканская система отсчета 1983 г. (*North American Datum 1983* г. – *NAD83*). В ее основе лежит эллипсоид *GRS80*. Североамериканская система отсчета 1927 г. (*NAD27*), основанная на эллипсоиде Кларка 1866 г., является примером локальной системы. В России при проведении геодезических и картографических работ наиболее часто используют Пулковскую систему отсчета 1942 г.

В России и странах СНГ при создании топографических карт, за исключением карты масштаба 1:1 000 000, применяется равноугольная поперечная цилиндрическая проекция Гаусса-Крюгера. В ней поверхность земного эллипсоида разбивается на зоны в виде сферических двугульников. Осевой меридиан зоны и экватор расположены под прямым углом относительно друг друга. Размеры зон по долготе для карт масштаба 1:10 000 и мельче составляют 6° , для карт масштаба 1:5000 и крупнее – 3° . Нумерация зон начинается от Гринвичского меридиана на восток. Изображение зоны в проекции Гаусса-Крюгера имеет незначительные искажения, что позволяет проводить на картах различные виды измерений. Погрешности в площадях и форме контуров объектов на карте значительно меньше точности их воспроизведения при печати.

В зоне Гаусса-Крюгера применяется прямоугольная система координат. Ось X располагают вдоль осевого меридиана, а ось Y – вдоль экватора. За положительное направление оси X принято северное направление, а для оси Y – восточное.

Универсальная поперечная проекция Меркатора (*Universal Transverse Mercator* – *UTM*) очень похожа на проекцию Гаусса-Крюгера; *UTM* – это серия проекций, с помощью которых возможно создание карт между 80°

южной и 84° северной широты. Земной эллипсоид разбивается на 60 зон с интервалом 6° . Нумерация зон начинается от 180° западной долготы на восток. В отличие от проекции Гаусса-Крюгера, в UTM используется декартово обозначение осей координат. Центральный меридиан каждой зоны используется в качестве оси Y (положительное направление с юга на север). Ось X направлена на восток. Для того чтобы исключить отрицательные значения X , центральному меридиану присваивают значение 500000 м (ложный восточный сдвиг). Ложный северный сдвиг от экватора – 0 м. Координаты в универсальной поперечной проекции Меркатора выражают в метрах [3].

3.1. *Изменение системы координат слоя.* Меню «Слой» → «Свойства слоя» или выделить на панели слоев нужный слой. Выделение слоя означает, что он стал **активным**. Действия, которые вы производите в QGIS, применяются к активному слою. Это важный момент. Активность слоя не надо путать с его **видимостью**. Для того чтобы отобразить слой (сделать его видимым на экране) необходимо навести курсор на область левее слоя и нажать левую кнопку мыши. Это действие называется «активировать радио-кнопку», или «чек-бокс».

В окне «Свойства слоя» во вкладке «Текст» убедиться, что установлена «Назначенная система координат (СК)» WGS 84 / UTM zone 41N.

3.1.1. Если у слоя установлена система координат EPSG: 4326, WGS 84 или любая другая (кроме WGS 84 / UTM zone 41N), то необходимо сохранить слой с нужной системой координат: нажать правой кнопкой мыши по редактируемому слою и выбрать в открывшемся списке «сохранить как», в открывшемся окне выбрать систему координат WGS 84 / UTM zone 41N, место, куда будет сохранен новый слой и нажать кнопку «Ок».

3.2. *Изменение системы координат проекта.* В правом нижнем углу окна QGIS нажать на кнопку со значком эллипсоидов и надписью “EPSG: 4326”. В окне «Свойства проекта. Система Координат» активировать радио-кнопку (убрать крестик в белом квадратике) «Система координат не задана». Выбрать систему координат WGS 84 / UTM zone 41N. Это универсальная цилиндрическая поперечная проекция Меркатора, 41 зона Северного полушария (N). Последовательно нажать кнопки «Применить» и «Ок».

В окне карты слой отобразится в проекции UTM, зона 41, система координат (datum) WGS 84.

4. Создание векторного полигонального слоя

При использовании *векторного метода* представления географического пространства координаты объекта задаются явным образом.

В отличие от растровой модели данных, где используется квантование пространства на множество элементов, в векторной модели подразумевается непрерывность географического пространства. На рис. 3 дано вектор-

ное представление основных графических примитивов. Гладкие линии географических объектов изображают в виде ломаных. Чем короче отрезки ломаной, тем точнее представление сложной линии. В геоинформационных системах с геометрическими данными связана атрибутивная информация [3].

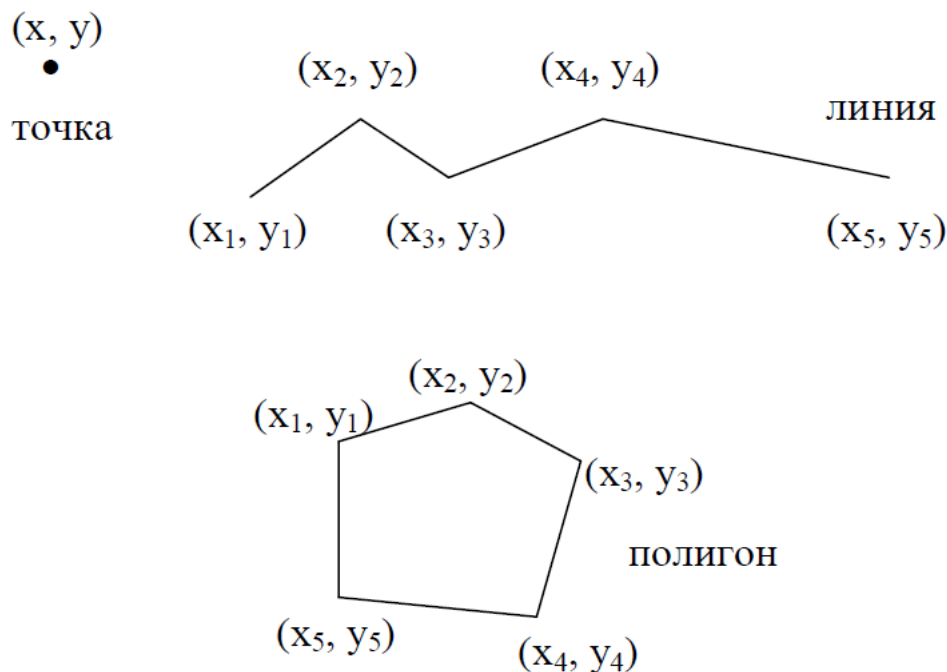


Рис. 3. Векторное представление основных графических примитивов: точка, линия, полигон

4.1. На панели Меню выбрать «Слой» → «Создать слой» → «Создать shape-файл...». Выбрать тип – полигон, система координат – WGS 84 / UTM zone 41N. Сохранить слой.

5. Оцифровка крон

Пространственные данные, используемые в ГИС, состоят из тополого-геометрической и атрибутивной информации. В этой связи ввод информации в ГИС имеет свои специфические особенности по сравнению с другими информационными системами.

Основным методом ввода географических данных является цифрование, или оцифровка. Под цифрованием понимают процесс перевода аналоговых данных в цифровую форму (Баранов и др., 1998). Можно выделить следующие базовые методы цифрования:

– с помощью специального устройства – цифрователя, или дигитайзера (digitizer), ручным обводом по твердой копии картографического материала или снимка (*hardcopy manuscript*);

– с помощью манипулятора «мышь» с экрана монитора по растровому изображению (background image);

– с помощью сканирующих устройств с сохранением данных в растровом формате или переводом в векторный (векторизация, *vectorization*) формат.

По степени автоматизации цифрование может быть ручным, полуавтоматическим и автоматическим.

В данном курсе будет подробно рассмотрен наиболее часто встречающийся вариант оцифровки данных с экрана монитора по растровой подложке. Преимущества этого метода заключаются в том, что для его реализации не требуется приобретение специализированного оборудования: дигитайзеров, картографических и фотограмметрических сканеров [3].

5.1. В слое, созданном в пункте 4.1, активировать «режим редактирования» на панели инструментов. Далее там же необходимо выбрать группу «Панель инструментов оцифровки», активировать инструмент «Добавить окружность по 2 точкам». Выделить кроны Лиственницы с помощью этого инструмента. Сохранить изменения в слое.

5.2. Для оцифровки кроны деревьев в QGIS версий 2.0 – 2.99 воспользуйтесь модулем *Rectangles Ovals Digitizing* (инструмент с изображением фиолетового круга). Для того чтобы установить модуль нужно выбрать в меню «Модули» → «Управление модулями...». В строке поиска ввести название модуля *Rectangles Ovals Digitizing*, установить модуль.

6. Выделение деревьев по возрастным группам

Каждый тематический слой (покрытие) ГИС представляет собой набор файлов. В зависимости от типа модели данных и программного обеспечения эти файлы могут храниться в разных директориях на жестком диске. Для установления взаимосвязи между графическими объектами покрытия и атрибутивной информацией используется отношение «один к одному», которое осуществляется посредством уникального идентификатора, называемого порядковым номером объекта (*feature's sequence number*). В модели данных ARC/INFO порядковый номер объекта присутствует в файлах, содержащих данные местоположения объекта (координаты), и в таблице атрибутов. На рис. 4 приведена схема взаимосвязи графических объектов и их атрибутов для линейных объектов [3].

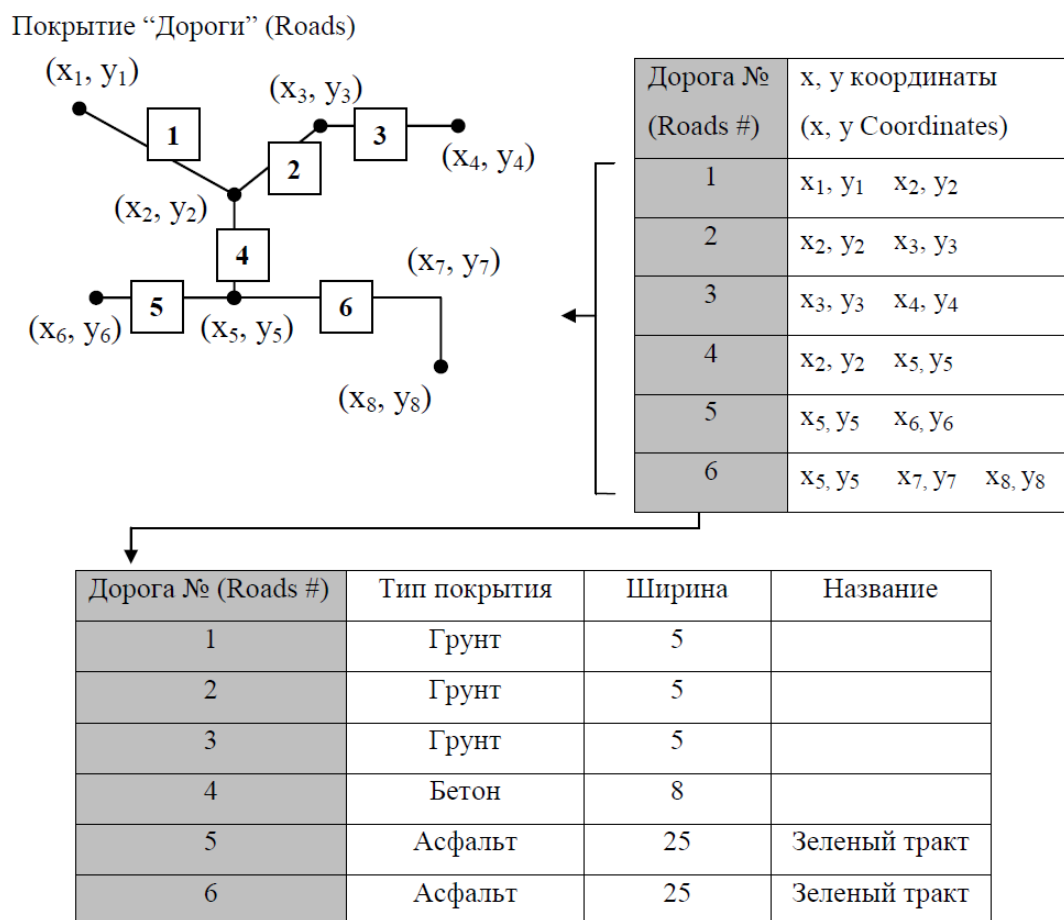


Рис. 4. Схема взаимосвязи линейных графических объектов и их атрибутов

Проекции крон деревьев образцов лиственницы сибирской, расположенных на лесных участках, можно разделить на три возрастных интервала: 1–10 (возрастная категория (I), 11–40 лет (II) и >40 лет (III). Для экземпляров с радиусом проекции кроны, близким к 0,17 м, вероятность помещения в возрастной интервал 1–10 лет превышает вероятность его помещения в другие возрастные диапазоны. Для деревьев с радиусом кроны от 0,17 до 0,69 м от II возрастной категории вероятность попадания в возрастной диапазон 11–40 лет выше, чем для других интервалов. Для возрастной категории III вероятность того, что возраст деревьев будет старше 40 лет, выше, чем для других возрастных интервалов. Эти значения радиусов крон необходимо использовать для размещения деревьев с кронами, распознанными на аэрофотоснимках, в возрастные интервалы.

6.1 Сделать слой с выделенными кронами активным, как это описано в пункте 3.1.

6.2. На панели меню выбрать «Вектор» → «Обработка геометрии» → «Добавить геометрию». В открывшемся окне необходимо проверить, выбран ли нужный слой для добавления значений геометрии. Нажать кнопку «Run» в нижней части окна.

6.3. По результатам действий в пункте 6.2 будет создан новый временный слой. Его необходимо сохранить, как описано в пункте 3.1.1, назвав «Группы возраста».

6.4. Открыть свойства слоя «Группы возраста» с добавленными атрибутами геометрии → «Стиль» → в верхней части окна заменить «Простая символика» на «Символизация по диапазонам значений» → выбрать значение «perimetr» → Режим «Равные интервалы» → Изменить количество классов с 5 на 3 → Нажать «Классифицировать» → «Применить».

6.5. Переименовать названия элементов слоя соответственно в «0–10 лет», «11–40 лет», «свыше 40 лет».

6.6. Значения элементов (0–10 лет) – «меньшее значение – 1,068 м», (11–40 лет) – «1,068 м – 4,335 м», (свыше 40 лет) – «4,335 м – большее значение».

Если меньшее значение превышает 1,068 м или большее значение не превышает 4,335 м, значит этих возрастных категорий нет в вашем варианте.

7. Создание макета карты

Одним из основных продуктов вывода данных в ГИС остаются картографические материалы. Все без исключения полноценные геоинформационные системы обладают возможностью компоновки и печатания карт. Создание карт – процедура, регламентированная соответствующими нормативными документами, рассмотрение которых выходит за рамки данного курса. Поэтому кратко рассмотрим только некоторые основные принципы картографического дизайна.

При компоновке карты необходимо стараться размещать географические и картографические объекты с учетом особенностей их психологического восприятия человеком. Например, известно, что большинство людей при взгляде на изображение фокусируют его на точке, расположенной выше геометрического центра (рис. 5). Поэтому при размещении элементов карты следует помещать наиболее важные картографические объекты в данную. Другие элементы карты должны располагаться таким образом, чтобы на ней не появлялись пустые или перегруженные информацией участки.

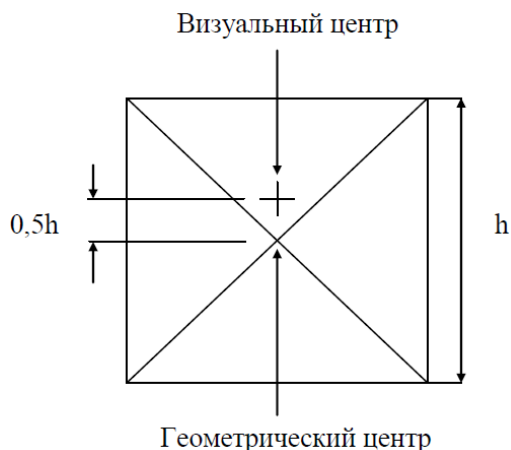


Рис. 5. Геометрический и визуальный центры изображения

В зависимости от размера, контрастности и яркости географические и картографические объекты могут иметь разный визуальный вес.

Перечисленные выше характеристики необходимо учитывать при оптимальной компоновке элементов. Например, слишком большая и яркая стрелка севера, расположенная на краю карты, будет иметь излишний визуальный вес и отвлекать внимание пользователя от более важной информации [3].

7.1. На панели Меню выбрать «Проект» → «Создать макет». В открывшемся окне «Название макета» ввести название «Карта деревьев Лиственницы Сибирской по возрастным категориям». Откроется окно макета с этим названием.

7.2. Вдоль левой стороны окна макета расположены кнопки, которые позволяют добавлять элементы в макет карты. Добавление элементов на область карты производится путем выбора элемента из колонки элементов. Далее необходимо перевести курсор на холст и выделить курсором область, в пределах которой будет размещен выбранный элемент. Необходимо добавить следующие элементы: карта, название карты, легенда, масштабная линейка, стрелка С-Ю.

7.3. Настроить отображение каждого из элементов, приведенных в пункте выше. Параметры настройки элемента становятся доступны в правой части окна макета после выделения элемента на холсте.

7.4. Сохранение макета в jpg-файл. В меню окна макета доступны опции для экспорта макета в графический файл: «Макет» → «Экспорт в изображение». Указать место сохранения, имя файла и формат файла (JPEG-format). В окне «Настройки экспорта изображения» оставить настройки по умолчанию и нажать кнопку «Сохранить». Закрывать окно макета.

8. Создание полигонов Воронова

Диаграмма Вороного (также диаграмма Дирихле или полигоны Тиссена) – это тип тесселяции, то есть разбиения поверхности на ячейки. В ней поверхность разбивается относительно заданного набора точек так, что каждая ячейка состоит из всех точек плоскости, находящихся ближе к ней, чем к любой другой точке.

Фитоценохора – это участок местности, который является относительно однородным по одному или нескольким компонентам растительности и/или другим показателям, таким как плотность лесных насаждений и/или характеристики условий лесного участка. Для оценки плотности древостоя использовалось среднее расстояние между деревьями. К сомкнутым лесам относились участки, где среднее расстояние между деревьями составляло менее 10 м. Для открытых лесов значения этого параметра колебались от 10 до 30 м; для участков с редкой растительностью они составляли от 30 до 60 м; а для районов тундры с одиночными деревьями – 60 м и выше.

В данной работе мы определяем термин «экотон» как переходную зону между видами фитоценозов, а термин «граница» — как линию между ними. Для выделения ранее упомянутых видов фитоценозов мы использовали следующие пороговые значения, соответствующие середине каждого из описанных ранее интервалов: сомкнутый лес (среднее расстояние между деревьями до 8,5 м включительно, или плотность древостоя не менее 176 деревьев на гектар), открытый лес (от 8,5 до 25 м включительно, или не менее 20, но не менее 176 деревьев на гектар), участки с редкостью леса (от 25 до 55 м включительно, или не менее 4, но не менее 20 деревьев на гектар) и тундра с одиночными деревьями (более 55 м, или не менее 4 деревьев на гектар) [2].

8.1. Выделить на панели слоев слой «Группы возраста» (сделать его активным).

8.2. На панели Меню выбрать «Вектор» → «Обработка геометрии» → «Центроиды полигонов». Появится временный слой «Центроиды», который необходимо сохранить как описано в пункте 3.1.1. Назвать новый слой «Центроиды».

8.3. Выделить слой «Центроиды», далее на панели Меню выбрать «Вектор» → «Обработка геометрии» → «Полигоны Вороного...». Появится временный слой «Центроиды», который необходимо сохранить, как описано в пункте 3.1.1. Назвать новый слой «Полигоны Вороного».

8.4. Выделить слой «Полигоны Вороного», добавить к нему атрибуты геометрии, как описано в пункте 6.2.

8.5. В слое, созданном в пункте 8.4, открыть «Свойства» слоя → «Стиль» → в верхней части окна заменить «Простая символика» на «Символизация по диапазонам значений» → выбрать значение “area” → режим «Равные интервалы» → изменить количество классов с 5 на 4 → нажать «Классифицировать» → «Применить».

8.6. Применить в получившихся «классах значений» следующие числовые градации площадей полигонов Воронова в зависимости от типов фитоценозов (как в пунктах 6.5, 6.6):

- закрытый лес – до 56,81 м²;
- открытый лес – от 56,81 м² до 500 м²;
- районы с редким ростом деревьев – от 500 м² до 2500 м²;
- тундра с одиночными деревьями – от 2500 м².

9. Создание макета карты.

9.1. Создать макет карты и экспортировать его в изображение, как описано в пункте 7.

10. Результаты работы

По результатам работы в открытом программном комплексе *QGIS Desktop 3.24.3 with GRASS 7.8.7* должны быть получены:

– слои Shapefile в системе координат WGS 84 / UTM zone 41N с выделенными кронами деревьев согласно полученному варианту, содержащие информацию о площади крон;

– три макета, содержащие информацию о возрастном распределении лиственницы сибирской в своем варианте;

– три макета, содержащие информацию о распределении типов фитоценозов на своем варианте;

– макет, который содержит информацию о местоположении трех участков своего варианта относительно друг друга.

Далее необходимо провести описание и анализ полученных макетов. Представить полученные результаты в отчете по курсовой работе.

Библиографический список

1. Reconstruction of the Expansion of Siberian Larch into the Mountain Tundra in the Polar Urals in the 20th-Early 21st Centuries / V. Fomin, E. Agapitov, A. Mikhailovich, D. Golikov // *Forests*. – 2022. – Vol. 13, No. 3. – DOI 10.3390/f13030419. – EDN OIWRPB.

2. Fomin, V. V. Trees in the Upper Treeline Ecotone in the Polar Urals: Centuries-Old Change and Spatial Patterns / V. V. Fomin, S. G. Shiyatov, A. P. Mikhailovich // *Mountain Research and Development*. – 2020. – Vol. 40, No. 2. – P. R32–R40. – DOI 10.1659/MRD-JOURNAL-D-20-00002.1. – EDN AVYDFP.

3. Географические информационные системы : учебное пособие / В. В. Фомин, З. Я. Нагимов, С. А. Шавнин, Д. Ю. Голиков. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2003. – 90 с. – ISBN 5-230-25610-9. – EDN WYZRZV.