

АННОТАЦИЯ

Этот документ содержит информацию о назначении, структуре, составных частях и использовании программного продукта называемого ИС Raster Map .

Данный документ является объединением документов ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ, ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ, РУКОВОДСТВО СИСТЕМНОГО ПРОГРАММИСТА И РУКОВОДСТВО ОПЕРАТОРА.

Дата создания документа: 7.11.2016

Оглавление

1	ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ИС Raster Map	4
1.1	МИНИМАЛЬНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ	5
1.2	НАЗНАЧЕНИЕ ИС Raster Map	5
2	ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ	6
2.1	MapToShow - КЛАСС ОСНОВНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ	7
2.1.1	СОЗДАНИЕ, ПРОСМОТР И ЭКСПОРТ РАСТРОВЫХ КАРТ	7
2.1.2	ОТРИСОВКА ТРЕКОВ И ИЗОЛИНИЙ	7
2.1.3	ОТРИСОВКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО ТРЕКУ	8
2.1.4	ИМИТАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ПО КАРТЕ С ЗАПИСЬЮ ТРЕКА	8
2.2	wndSet - библиотека окон	8
2.3	elGeo - библиотека геометрия эллипсоида	9
2.3.1	гес - ввод-вывод записей	10
2.3.2	Line - отрисовка линий	11
2.3.3	Решение задач геометрии эллипсоида	11
2.4	MBTile загрузка и кеширование тайлов	11
2.5	Logger журналирование приложения	12
3	РУКОВОДСТВО ПРОГРАММИСТА	13
3.1	ТЕСТИРУЮЩЕЕ ПРИЛОЖЕНИЕ	13
3.2	MBTile	15
3.2.1	БАЗА ДАННЫХ	15
3.3	elGeo	15
3.3.1	ЧТЕНИЕ CSV-ФАЙЛОВ	15
3.3.2	РИСОВАНИЕ ЛИНИЙ	15
4	ГЛОССАРИЙ	17
5	УТИЛИТА PROJ4	20
5.0.1	ПЕРЕСЧЕТ WGS84 - Mercator	21
5.0.2	ПЕРЕСЧЕТ WGS84 - Web Mercator	21
5.0.3	Исходный код CPP- версии для обеих Меркаторов	22

5.1	ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PROJ.4	24
5.2	ПЕРЕСЧЕТ WGS84 - СИСТЕМА КООРДИНАТ 42 ГОДА (6Я ЗОНА)	25
6	YANDEX API	26
7	СПРАВОЧНИК ПО ФОРМУЛАМ	27

Глава 1

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ИС Raster Map

Программа имеет имя ИС Raster Map и обозначение RasterMap, представляет собой динамически подгружаемую библиотеку и написана на языке C#.

Полная поставка ИС Raster Map представляет собой архив архив RasterMap.X.XX.zip и содержит

- сборку RasterMap.dll, этот документ в виде RasterMap.X.XX.pdf,
- библиотеку кеширования тайлов MBTile.dll - версии не ниже 0.21.0;
- сборки соответствующего ADO- провайдера (в случае SQLite это сборки SQLite.Interop.dll и System.Data.SQLite.dll - версии не ниже 1.0.84 [6]);
- систему журналирования и документацию к ней (Logger.cs.dll, Logger.chm - версии не ниже 1.11.2);
- тестирующее приложение t.RasterMap.exe
- библиотеку вычислений на эллипсоиде elGeo.dll - версии не ниже 4.6.0;
- библиотеку разбора аргументов командной строки и документацию к ней (args.dll, args.chm - версии не ниже 2.2.0),
- набор тестовых данных с треками в виде csv-файлов и grx-файлов, с треками в виде grx-файлов, csv - файлов поддерживаемых форматов и каталог фотоматериалов;
- командный файл с примерами правильных запусков тестирующего приложения test.cmd.

Для использования ИС Raster Map читателю необходимо понимать скрипты командного интерпретатора CMD [https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/cc737438\(v=ws.10\).aspx](https://msdn.microsoft.com/ru-ru/library/cc737438(v=ws.10).aspx).

1.1 МИНИМАЛЬНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Для полноценного использования RasterMap необходимы следующие программные средства:

- доступ к хотя бы одному из поддерживаемых сервисов: Yandex.ru, Visicom.org или OpenStreetMap
- 32-битная операционная система Windows, не ниже XP;
- .Net версии не ниже 4.0;
- ADO-провайдер SQLiteAdo для встраиваемая реляционная база данных
- экран с разрешением 1152x864 пикселя, со средней цветопередачей (16 бит).

1.2 НАЗНАЧЕНИЕ ИС Raster Map

ИС Raster Map предназначена для

- создания, просмотра и экспорта растровых карт, которые строятся из [карт окрестности](#) в проекции Меркатора, в заданных координатах, в заданном масштабе;
- отрисовки треков на этих картах, вычисления данных, связанных с треками;
- отрисовки перемещения по трекам;
- имитации движения по карте с записью трека;
- отрисовки фотоматериалов;
- отрисовки изолиний на этих картах, вычисления данных, связанных с изолиниями;
- скачивание и демонстрация описания объектов, находящихся в пикселе;
- поиск и отображение объектов с заданными характеристиками;

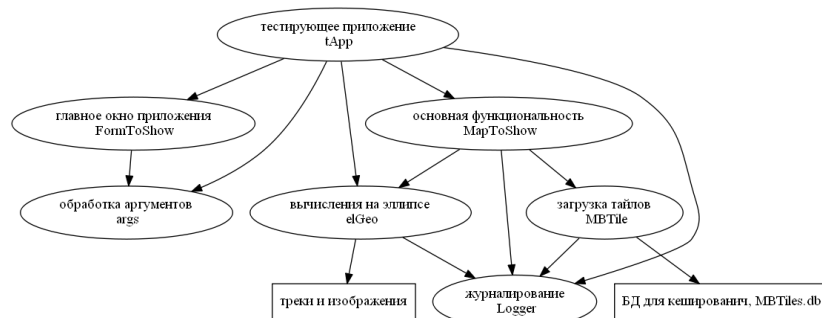
Дополнительно, разработка ИС Raster Map должна закончиться выработкой технических требований к информационным системам для моделирования поведения движущихся объектов и изменения состояния окружающей среды с учетом погоды.

Глава 2

ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

ИС Raster Map состоит из следующих основных компонент:

- тестирующее приложение tApp, выполняет разбор аргументов командной строки, чтение треков и изолиний, настройку объекта класса основной функциональности и запуск главного окна приложения.
- Набор окон wndSet, содержащий окно для отображения карты - FormToShow;
- Библиотека вычислений на эллипсоиде и ввода-вывода треков - elGeo;
- Класс основной функциональности - MapToShow;
- MBTile - библиотека загрузки [тайлов](#) из открытого сервиса и кеширования их, и, собственно, сама база данных (MBTiles.db). Кроме того, так как выбор проекции в которой необходимо отображать координаты точек общемирового [эллипсоида WGS-84](#) в пиксели экрана зависит от используемого сервиса, то именно эта компонента занимается упомянутым отображением.
- журналирование работы приложения - Logger.



Архитектура информационной системы ИС Raster Map

2.1 MapToShow - КЛАСС ОСНОВНОЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОСТИ

2.1.1 СОЗДАНИЕ, ПРОСМОТР И ЭКСПОРТ РАСТРОВЫХ КАРТ

Карты создаются из [тайлов](#) загружаемые из открытых сервисов, таких как [OpenStreetMap](#). Доступ к сервисам осуществляет система загрузки и кеширования тайлов [MBTile](#), которая позволяет избегать многократного чтения одних и тех же участков карт. ИС Raster Map

- по заданному масштабу и по заданной координате;
- или по масштабу и треку;
- по масштабу и изолинии

на выбранном сервисе находит 9 соответствующих тайлов и отображает их в области карты. Слева, сверху и снизу карты отображаются информационные надписи, показывающие градусы широты и долготы на границах тайлов, равно как и расстояния в метрах сторон центрального тайла (километрах на мелких масштабах). В центре карты в виде сектора отображается [точка фокуса](#). В случае отсутствия трека острым концом сектора направлен на север. При наличии трека, острый конец сектора направлен на следующую точку. Проекций отображения поддерживается две:

- проекция Меркатора эллипсоида;
- проекция Web Меркатора.

Выбор проекции задается используемым сервисом то есть, компонентой [MBTile](#) и не зависит от желания оператора ИС Raster Map .

2.1.2 ОТРИСОВКА ТРЕКОВ И ИЗОЛИНИЙ

Для отрисовки треков и изолиний используется специальный класс [Line](#) из библиотеки [elGeo](#) вычислений на эллипсоиде. Пе-

ред рисованием треков в окне карты в объектах класса Line должны быть задан массив координат пикселей и карандаш для рисования.

2.1.3 ОТРИСОВКА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПО ТРЕКУ

Перемещение по треку влечет за собой изменение направления [точки фокуса](#). Новое направление вычисляется по паре координат текущей и следующей точки трека. Причем используются не координаты пикселей экрана, а значения широты и долготы [эллипсоида WGS-84](#). Для этого применяются соответствующие методы из подсистемы [elGeo](#) для решения [обратной геодезической задачи](#).

2.1.4 ИМИТАЦИЯ ДВИЖЕНИЯ ПО КАРТЕ С ЗАПИСЬЮ ТРЕКА

Должна быть центральная точка карты и масштаб, точка фокуса. Точка фокуса совпадает с центральной точкой карты. Рисуеться уголочком или маленькой стрелочкой Параметры:

- интервал отрисовки – через столько секунд надо менять положение фокуса в соответствии с рысканием и шагом движения.
- шаг движения сейчас пиксели по карте – нажал на кнопку вперед – координаты точки фокуса меняются в соответствии с шагом рыскания и шагом движения. Если переходит через границы центрального тайла, то подкачиваются новых три тайла.
- шаг для тангажа – сейчас 0 градусов
- шаг для рыскания - 1 градус
- шаг для заваливания - 0 градусов.

Алгоритм рисования - посчитали нужное кол-во тайлов в зависимости от точек фокуса, и центральной точки и масштаба. Перерисовали карту, перерисовали точку фокуса.

2.2 wndSet - библиотека окон

Библиотека wndSet включает в себя класс окна для отображения карты FormToShow, и набор служебных классов (_ToolBarButton, _LabelInfo, _Label, _Button), класс надписей inscr - английская версия надписей для всех элементов управления (Control), класс отображения английских надписей в локализованные (русские и украинские) надписи - Names.

В функциональность окна карты входит демонстрация:

- карты с информационными подписями (например, длины сторон центрального тайла в метрах);
- трека или изолинии;
- на элемент управления Windows "Строка состояния координат точки фокуса или координат и высоты текущей точки трека;
- возле кнопок управления трех текущих углов - тангаж, заваливание и рыскание;
- фотоматериалов, связанных с текущей точкой трека;
- миникарту.

Кроме того, при помощи кнопки управления и меню, окно предоставляет доступ к следующим функциям оператора:

- возврат карты и точки фокуса в исходное состояние;
- изменение уровня масштаба (подробнее, грубее);
- сдвиг точки фокуса в четырех направлениях (север, восток, юг, запад), при пересечении границы центрального тайла происходит перечитывание еще одной тройки тайлов и их вывод, так чтобы точка фокуса опять оказалась в центральном тайле.;
- изменение направления движения точки фокуса - рыскание (влево, вправо);
- изменение направления движения точки фокуса - тангаж (выше, ниже);
- изменение положения точки фокуса - заваливание или крен (влево, вправо);
- подсчет различного рода информации о треке (профили скоростей, профили высоты, места стоянок);
- сглаживание трека;
- запись трека перемещения точки фокуса.

В функциональность служебных классов, в основном, входит выбор языка для подписей на элементе управления Windows.

2.3 elGeo - библиотека геометрия эллипсоида

Библиотека предназначена для:

- вычислений на нескольких эллипсоидах (общемировом wgs84, Красовского, ПЗ90, с заданными параметрами) и сфере. Класс Ellipsoid. Предоставляется возможность вычислять длину заданной дуги меридиана, длину заданной дуги заданной параллели, решать прямую и обратную геодезические задачи;

- получения отображений из реального мира в пиксели экрана (и наоборот) - класс `mapping` (для отображения в целочисленные пиксели), `mappingF` - для отображения в пиксели, которые задаются типом `Float`.
- специальный класс (для демонстрации использования класса `mapping`) - `map800x600`. Класс отображает тройку данных (широту, долготу и высоту) в виртуальный прямоугольник размером 800x600 заданная-высота пикселей, для последующего рисования данных на экране;
- несколько статических методов для преобразования радианов в градусы, градусов в радианы, секунд в радианы, равно как синус и косинус, получающие на вход градусы.
- ввод нескольких видов CSV- файлов (предоставляемых из Аэрокосмического Центра НАУ, компании DigSee, записей, извлеченных из GPX- файлов версии 1.0, с минимальным набором данных, в каждой строчке есть только широта и долгота). Перечисленные классы есть потомки класса `Res`, предназначенные для чтения нескольких значений из CSV-файлов, а именно - широты, долготы, высоты, даты и времени и еще нескольких параметров, для которых задается имя и тип (строка, целое, вещественное);
- специальный класс `Line`, который используется для рисования линий на графике `.Net`. Класс содержит некоторую список записей с координатами и некоторыми значениями, которая перед отображением на графике `.Net` должна отобразится в массив точек (класс `Point` из `.Net`) для рисования графики `.Net` - `DrawLines`. Под значениями понимаются, например, скорость, рыскание, количество горючего в текущей точке линии. Этот же класс содержит метод для сохранения линий в виде CSV- файла, где на первом месте идет широта, а на втором - долгота.

2.3.1 гес - ввод-вывод записей

гес - это родительский класс для классов, при помощи которых производится чтения-записи конкретных CSV- файлов. Класс предоставляет возможность чтения очередной строчки из CSV-файла в объект класса, равно как записи объекта класса в строчку CSV- файла. Позволяется чтение широты, долготы, даты, времени и еще четырех параметров трех различных типов (строчного, целого, вещественного типа). Для каждого из полей допускается задание имени. Строчки файлов, начинающиеся на символ решетка, считаются комментариями. CSV- файлы могут читаться со стандартного ввода или выводиться в стандартный вывод, либо в(из) заданный (ого) файл(а) файловой системы.

Библиотека содержит набор конкретных CSV- файлов, например класс `ASCRes` - предназначен для ввода-вывода файлов, предоставляемых Аэрокосмическим Центром НАУ.

2.3.2 Line - отрисовка линий

Класс предназначен для подготовки данных, необходимых для изображения линий в графике .NET-а, то есть массив точек экрана (Point[]) и карандаш (Pen). Кроме того, в класс включает список исходных записей трека или изолинии. Метод, который координаты точек списка исходных записей пересчитывает в массив точек экрана, желательно применять до наступления собственно отрисовки экрана и после изменения требования к участку карты, предназначенного для отображения на экране (сдвиг просматриваемого участка или изменение масштаба).

2.3.3 Решение задач геометрии эллипсоида

Библиотека позволяет вычислять длину заданной дуги меридиана, либо дуги заданной параллели, решать прямую и обратную геодезическую задачи на различных эллипсоидах либо сферах.

Для решения [прямой геодезической задачи](#) применяется алгоритм Рунге-Кутты-Мерсона, изложенный в [11, стр.180-181].

Для решения [обратной геодезической задачи](#) применяется алгоритм, изложенный в [14, стр.304].

2.4 MBTile загрузка и кеширование тайлов

Компонента создает базу данных согласно спецификации [MBTiles](#) загружает и кеширует тайлы в БД, выполняет отображение координат на местности в пиксели условной карты и обратно.

Преобразованием геодезических координат в пиксели и обратно выполняют BL2XY и XY2BL методы класса MBTiles. Первый метод отображает

- широту B , долготу L и масштаб z в пиксели X и Y некоторой условной карты всей Земли, размер которой зависит от масштаба z ;
- широту B , долготу L и масштаб z в пиксели x и y [тайла](#), содержащего исходную точку.

Второй выполняет обратное отображение пикселей в широту и долготу. При этом для вычислений используются (см. [9]) следующие формулы для вычислений на сфере:

$$L_{rad} = \frac{L \cdot \pi}{180}, B_{rad} = \frac{B \cdot \pi}{180}, b_0 = \frac{256 \cdot 2^z}{2}$$

$$X = b_0 \cdot \left(1 + \frac{L_{rad}}{\pi}\right)$$

$$Y = b_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \cdot \frac{\ln\left(\frac{1+\sin(B_{rad})}{1-\sin(B_{rad})}\right)}{\pi}\right)$$

$$x = X \bmod 256$$

$$y = Y \bmod 256$$

где mod означает остаток от деления левого операнда на правый. Для вычислений на эллипсоиде используются такие формулы:

$$X = \frac{(20037508.342789 + a \cdot L_{rad}) \cdot 53.5865938}{2^{23-z}}$$

$$Y = \frac{(20037508.342789 - a \cdot \ln(f)) \cdot 53.5865938}{2^{23-z}}$$

$$\text{где } f = \frac{\operatorname{tg}(\pi/4 + B_{rad}/2)}{(\frac{\operatorname{tg}(\pi/4 + a \sin(k \cdot \sin(B_{rad})))}{2})^k}$$

при этом константа $k = 0.0818191908426$ обозначает эксцентриситет.

Выбор формул для вычисления задается используемым в данный момент времени сервисом.

2.5 Logger журналирование приложения

Подсистема предоставляет возможность многопоточного вывода сообщений в журнал приложения. Для это предоставляются методы `WriteLine` (из класса `Logger`), аналогичный одноименному методу из класса `TextWriter`. Отличаются они только тем, что первым параметром метода `Logger.WriteLine` должна быть переменная типа `IMPORTANCELEVEL`, которая задает уровень важности выводимого сообщения. Уровень важности сообщений, попадающих в системный журнал, задается в конструкторе класса `Logger`. Сообщения с уровнем важности ниже, чем задавалось в конструкторе будут игнорироваться. В журнал сообщения выводятся в виде похожем на следующую строку:

```
[23.08.2016 16:59:13]: [Warning] Logger was started in a.exe application
```

где присутствует дата, время, важность сообщения и само сообщение.

Так же подсистема содержит специальный класс `usingLogger`. Классы, наследующие его, получают в два `WriteLine` (с уровнем важности и без), которые выводят в текст сообщения название своего класса с последующей стрелкой `'->'`. И сообщения наследников `usingLogger` принимают вид подобный следующему:

```
[24.08.2016 12:59:19]: [Error] tst.Program->setTrck is here
```

где видно, что сообщение выводилось из класса `Program` именованной области видимости (namespace) `tst`.

Глава 3

РУКОВОДСТВО ПРОГРАММИСТА

3.1 ТЕСТИРУЮЩЕЕ ПРИЛОЖЕНИЕ

При запуске из командной оболочки Windows оператор может пользоваться следующими ключами [тестирующего приложения](#):

---- File:t.help

test unit to work with raster map (ver:0.21.0.0)

usage:

a [-?] [-db stringConection] [-ltt B] [-lng L] [-z ZZZ] [-cou NNN] [-c] [-s] [-crt] [-cache NNN] [-ts] [-dp P] [-l LNG] [-v]

options:

-? : help info: True

-f fileName : file with way point: .noSuchFile.csv

-dixi : the www.DigSee.com file format: False

-ASC : the AeroSpaceCenter file format: False

-mini : just latitude + longitude format: False

-db stringConection : set the connection string to database: Data Source=MBTiles.db

-osm : to download tiles from openstreem.org: False

-vi : to download tiles from visicom.ua: False

-ya : to download tiles from yandex.ru: False

-ltt B : degrees of latitude (0..80): 50.44107

-lng L : degrees of longitude (0..180): 30.43139

-z ZZZ : zoom level for map (2..19): 10

-cou NNN : the number of tiles of map (3x3): 3

-c : clear database: False

-s : to select list of all the tiles: False

-crt : create new database: False

-cache NNN : count(KB) of max size db to cache tile: 3608

-ts : seconds between two coordinates: 10

-dp P : decimal point: ,

-l LNG : language of application (0-en,1-ru,2-ua) (0..2): 0

-v : additional info: False

-log NNN : log level names:{Spam Debug Warning Stats Error FatalError Info Ignore}: Error

---- End Of File:t.help

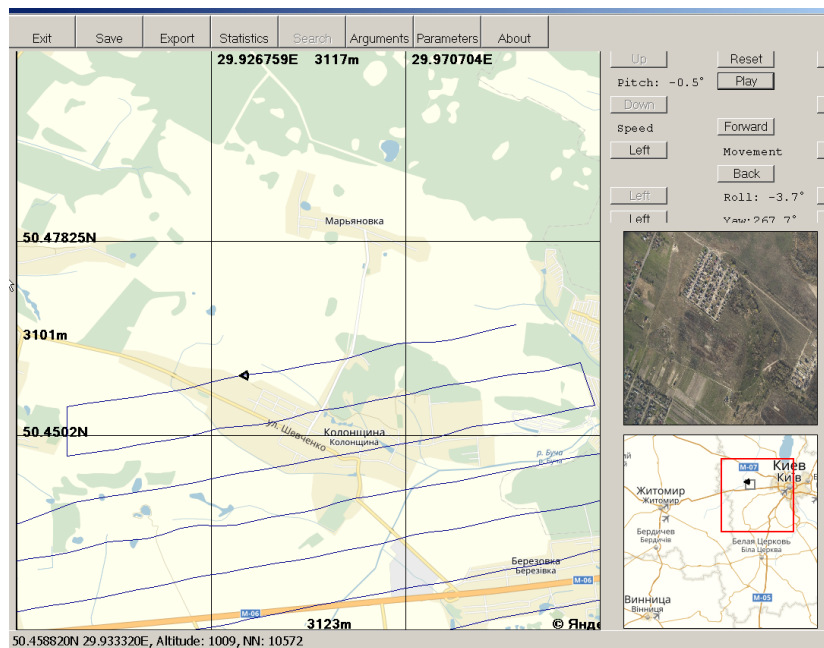


Рис. 3.1: Главное окно тестирующего приложения

Для чтения треков допускается четыре формата: Аэрокосмического Центра НАУ, компании DigSee, формат [конвертора gpx2csv](#), формат с минимальным набором информации (только широта и долгота).

В качестве главного окна приложения в тесте используется [окно карты](#) (переменная класса [FormToShow](#)), которое можно посмотреть на рис. 3.1

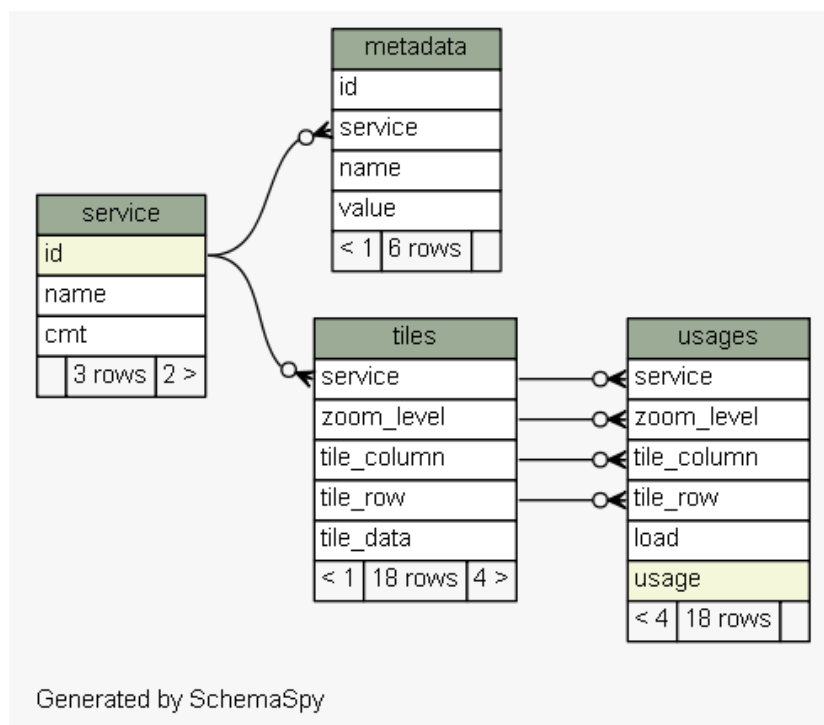


Рис. 3.2: Схема реляционных связей

3.2 MBTile

3.2.1 БАЗА ДАННЫХ

База данных для кеширования тайлов состоит из следующих таблиц:

- таблица используемых сервисов;
- таблица метаданных;
- таблица тайлов;
- таблица загрузки и использования тайлов.

Схему реляционных связей можно посмотреть на рис. [3.2](#)

3.3 elGeo

3.3.1 ЧТЕНИЕ CSV-ФАЙЛОВ

3.3.2 РИСОВАНИЕ ЛИНИЙ

массив, готовых для отображения на текущей графике, точек `ps` и метод `commit`, который собственно и пересчитывает точки из реального мира списка `lst` в пиксели экрана `ps`, используемые

для отображения на графике .Net. В следующем примере `_ln` это объект класса `Line`, а `g` - текущая графика:

```
if (_ln.ps != null)
{
    g.DrawLines(_ln.pen, _ln.ps);
}
```

Входным параметром метода `commit` является делегат `mk2to2mapping`:

```
// to work with the 2d - maps
public delegate void mk2to2mapping( double B, double L, out int x, out int y);
```

который выполняет отображение широты и долготы в пиксели экрана. Естественно, что его требуется вызывать каждый раз, когда происходит изменение масштаба или сдвиг карты в одном из направлений, что бы перерисовать линию в правильном месте экрана. Для текущего проекта фактический метод для пересчета координат принадлежит компоненте [MBTile](#) так как она занимается выбором тайлов для составления текущей карты.

Глава 4

ГЛОССАРИЙ

геодезическая линия

это линия кратчайшего расстояния между двумя пунктами на любой поверхности. На сфере ей соответствует отродрома, на плоскости - прямая. см. [?, Лекция 3, стр.44].

Файл мировой привязки

это блаблабла

Мировая система координат WGS84

WGS84 (англ. World Geodetic System 1984) — Всемирная геодезическая система 1984 года ([10]).

Эллипсоид WGS-84

- эллипсоид, который используется в мировой системе координат WGS84. Имеет следующие ([10, табл.В-1]) параметры:

- большая полуось - 6378137 метра;
- полярное сжатие - $1 / 298.257223563$.

Карта окрестности

Она же - Slippy Map Tiles см. [5].

проекция Меркатора

на эллипсоиде. Официальный код [EPSG:3395](#) - WGS 84/World Mercator на эллипсоиде.

рыскание

(по английски yaw) угол между направлением движения самолета и севером.

тангаж

(по английски pitch) угол между продольной осью летательного аппарата или судна и горизонтальной плоскостью.

заваливание (крен)

(по английски roll) угол поворот объекта (судна, самолёта, фундамента) вокруг его продольной оси.

Система координат Меркатор на сфере

Она же - Web Merkator. Неофициальный код [EPSG:900913](#), Официальный код [EPSG:3857](#). Это система координат в которой Земля считается сферой. Хорашее введение можно прочитать в статье [\[4\]](#).

тайл

- это картинка с изображением карты, обычно в одной из проекций Меркатора и размером 256 на 256 пикселей.

точка фокуса

- воображаемая точка, координаты которой совпадают либо с координатами центра экрана, либо одной из точек трека.

EPSG

организация занимающаяся стандартизацией в области систем координат и являющаяся держателем реестра их идентификаторов — кодов EPSG: European Petroleum Survey Group, см. "<http://www.epsg.org>"

MBTile

библиотека загрузки тайлов и их кеширования согласно формата [MBTiles](#).

MBTiles

спецификация для хранения тайлов карты в SQL сервере. см. [\[6\]](#) и [\[2\]](#).

OpenStreetMap

см. [\[1\]](#).

Web Merkator

см. [систему координат Меркатора на сфере](#).

локсодрома

или локсодромия — кривая на поверхности вращения, пересекающая все меридианы под постоянным углом

ортодрома

кратчайшая линия между двумя точками с учетом кривизны Земли.

основные сфероидические функции

$$W = \sqrt{1 - e^2 * \sin(B) * \sin(B)}$$

$$V = \sqrt{1 + e'^2 * \cos(B) * \cos(B)}$$

где $e = \sqrt{(a^2 - b^2)/a^2}$ - первый эксцентриситет,

$e' = \sqrt{(a^2 - b^2)/b^2}$ - второй эксцентриситет,

a - большая экваториальная ось, b - малая полярная ось, c - полярный радиус см. [12, стр.47].

прямая геодезическая задача

известны широта и долгота начального пункта, азимут на конечный пункт и расстояние до него, найти широту и долготу конечного пункта. см. [13, стр.60]. Метод Рунге-Кутты-Мерсона для решения прямой геодезической задачи изложен в [11, стр.180-182].

обратная геодезическая задача

известны широта и долгота начального и конечного пунктов, найти расстояние между ними, прямой и обратный азимут. Решение см. [14, стр.304].

главный масштаб

показывает во сколько раз уменьшены линейные размеры земного эллипсоида (шара) при его изображении на карте [8, стр.97].

изоколы

линии равных искажений [8, стр.122].

конвертор gpx2csv

утилита для конвертации треков, записанных в виде формата GPX (формат промышленных навигаторов) в CSV.

точность вычислений

Соответствие точность вычислений по широте погрешности в метрах на длинах дуг меридианов Земли:

- 1 минута - 1850 метров;
- 1 секунда - 30 метров;
- 0.1 секунды - 3 метра;
- 0.01 секунды - 0.3 метра;
- 0.001 секунды - 0.03 метра.

Требование метровой точности означают необходимость знать координаты до одной сотой секунды.

Различные расстояния требуют различные формулы: до 30 км - короткие расстояния, до 600 - средние, ≥ 600 большие. К см. [13, стр.60].

Глава 5

УТИЛИТА PROJ4

PROJ.4 - библиотека для выполнения преобразований между картографическими проекциями (Смотри [3]). Собственно, преобразование координат выполняется утилитой cs2cs.exe, запускаемой из командной строки. Дистрибутив находится по адресу <http://download.osgeo.org/proj/proj-4.9.2.tar.gz> или по адресу <http://www.agpl.hx0.ru/tools/proj-4.9.2.tar.gz>.

Можно скачать уже откомпилированную версию 4.4.6 Proj.4 по адресу http://download.osgeo.org/proj/proj446_win32_bin.zip.

Построение библиотеки под Win32 можно выполнить при помощи Microsoft Visual Studio 2010 Expression в окне Visual Studio Command Prompt:

```

C:\proj\nad>copy world C:\PROJ\SHARE
Скопировано файлов: 1.
C:\proj\nad>copy epsg C:\PROJ\SHARE
Скопировано файлов: 1.
C:\proj\nad>copy esri C:\PROJ\SHARE
Скопировано файлов: 1.
C:\proj\nad>copy esri.extra C:\PROJ\SHARE
Скопировано файлов: 1.
C:\proj\nad>copy other.extra C:\PROJ\SHARE
Скопировано файлов: 1.
C:\proj\nad>copy IGNF C:\PROJ\SHARE
Скопировано файлов: 1.
if exist conus "C:\Program Files\Microsoft Visual Studio 10.0\VC\BIN\nmake.EXE" /f makefile.vc install-nadgrids
copy *.gsb C:\PROJ\SHARE
Не удается найти указанный файл.
Скопировано файлов: 0.
copy ntv1_can.dat C:\PROJ\SHARE
Не удается найти указанный файл.
cd ..
C:\proj>
  
```

Инсталляция Proj.4

Для этого распакуйте архив в каталог c:\proj. И выполните компиляцию проекта следующими командами:

```
C:\> cd proj
C:\PROJ> nmake /f makefile.vc
C:\PROJ> nmake /f makefile.vc install-all
```

Не удалось заметить влияние отсутствия файлов *.gsb на работоспособность библиотеки.

Для тестирования выполнялся пересчет координат 55.751667 северной широты, 37.617778 восточной долготы. из теста http://wiki.gis-lab.info/w/\T2A\CYRP\T2A\cyre\T2A\cyrr\T2A\cyre\T2A\cyrs\T2A\cyrch\T2A\cyre\T2A\cyrt_\T2A\cyrk\T2A\cyro\T2A\cyro\T2A\cyrr\T2A\cyrd\T2A\cyri\T2A\cyrn\T2A\cyra\T2A\cyrt_\T2A\cyri\T2A\cyrz_Lat/Long_\T2A\cyrv_\T2A\cyrp\T2A\cyrr\T2A\cyro\T2A\cyre\T2A\cyrk\T2A\cyrc\T2A\cyri\T2A\cyru_\T2A\CYRM\T2A\cyre\T2A\cyrr\T2A\cyrk\T2A\cyra\T2A\cyrt\T2A\cyro\T2A\cyrr\T2A\cyra_\T2A\cyri_\T2A\cyro\T2A\cyrb\T2A\cyrr\T2A\cyra\T2A\cyrt\T2A\cyrn\T2A\cyro, с тестами на <http://gis-lab.info/qa/dd2mercator.html>, результаты были отрицательные.

5.0.1 ПЕРЕПЕЧЕТ WGS84 - Mercator

Тестирование выполняется следующими командами:

```
---- File:../tst/proj4/merc.cmd
```

rem тест для пересчета широты и долготы в проекцию меркатора

```
echo off
set LNGLTT=+proj=latlong +ellps=WGS84
set MERC=+proj=merc +lon_0=0 +k=1 +x_0=0 +y_0=0 +ellps=WGS84 +datum=WGS84 +units=m +no
```

```
echo wgs84 37.617778 55.751667
echo mercator 4187591.89 7473789.46
rem 55.751667N 37.617778 E
echo 37.617778 55.751667 | cs2cs %LNGLTT% +to %MERC%
echo 4187591.89 7473789.46 | cs2cs %MERC% +to %LNGLTT% -f %%.08f
```

```
---- End Of File:../tst/proj4/merc.cmd
```

Тесты закончились предсказанным результатом на обеих доступных версиях proj4

5.0.2 ПЕРЕПЕЧЕТ WGS84 - Web Mercator

```
---- File:../tst/proj4/merc2.cmd
```

```
rem тест для пересчета широты и долготы в проекцию меркатора
```

```
echo off
```

```
set LNGLTT=+proj=latlong +ellps=WGS84
```

```
set MERC2=+proj=merc +lon_0=0 +k=1 +x_0=0 +y_0=0 +a=6378137 +b=6378137 +towgs84=0,0,0,0,0,
```

```
rem echo on
```

```
rem echo 37.617778 55.751667 | cs2cs +proj=latlong +ellps=WGS84 +to +proj=merc +lon_0=0 +k=1 +x_0=0
```

```
rem echo 37.617778 55.751667 | cs2cs %LNGLTT% +to %MERC2% -f %%.08f
```

```
rem exit
```

```
echo wgs84 37.617778 55.751667
```

```
echo mercator 4187591.89 7509137.58
```

```
rem 55.751667N 37.617778 E
```

```
echo 37.617778 55.751667 | cs2cs %LNGLTT% +to %MERC2% -f %%.08f
```

```
echo 4187591.89 7509137.58 | cs2cs %MERC2% +to %LNGLTT% -f %%.08f
```

```
---- End Of File:../tst/proj4/merc2.cmd
```

5.0.3 Исходный код CPP- версии для обеих Меркаторов

```
---- File:../tst/c/1.cpp
```

```
#include <math.h>
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#define M_PI 3.141592654
```

```
#define M_PI_4 M_PI/4.0
```

```
// Бугаевский стр 388
```

```
#define D_R (M_PI / 180.0)
```

```
#define R_D (180.0 / M_PI)
```

```
#define R_MAJOR 6378137.0
```

```
#define R_MINOR 6356752.3142
```

```
#define RATIO (R_MINOR/R_MAJOR)
```

```
#define ECCENT (sqrt(1.0 - (RATIO * RATIO)))
```

```
#define COM (0.5 * ECCENT)
```

```
double fmin ( double a, double b){
```

```
    if (a < b)
```

```
        return a;
```

```
    return b;
```

```
}
```

```
double fmax ( double a, double b){
```

```
    if (a > b)
```

```
        return a;
```

```
    return b;
```

```
}
```

```

static double deg_rad (double ang) {
    return ang * D_R;
}

void LatLong2Merc(double lon, double lat, double* x, double* y) {
    *x = R_MAJOR * deg_rad (lon);
    lat = fmin (89.5, fmax (lat, -89.5));
    double phi = deg_rad(lat);
    double sinphi = sin(phi);
    double con = ECCENT * sinphi;
    con = pow((1.0 - con) / (1.0 + con), COM);
    double ts = tan(0.5 * (M_PI * 0.5 - phi)) / con;
    *y = 0 - R_MAJOR * log(ts);
}

void LatLong2SpherMerc(double lon, double lat, double* x, double* y) {
    lat = fmin (89.5, fmax (lat, -89.5));
    *x = R_MAJOR * deg_rad (lon);
    *y = R_MAJOR * log(tan(M_PI_4 + deg_rad(lat)/2 ));
}

void main(int argc, char **argv){

    double x=0.0;
    double y=0.0;
    double x1=0.0;
    double y1=0.0;
    double x2=0.0;
    double y2=0.0;
    LatLong2Merc(37.617778,55.751667,&x,&y);
    LatLong2Merc(0.0, 55.751667,&x1,&y1);
    LatLong2Merc(37.617778, 0.0,&x2,&y2);
    printf("Mercator 37.617778E,55.751667N) X: %10.2f Y: %10.2f\n",x,y);
    printf("etalon   X: %10.2f Y: %10.2f\n",4187591.89,7473789.46);
    printf("Mercator (0.0E, 55.751667N) X: %10.2f Y: %10.2f\n",x1,y1);
    printf("Mercator (37.617778E, 0.0N) X: %10.2f Y: %10.2f\n",x2,y2);


    LatLong2SpherMerc(37.617778,55.751667,&x,&y);
    printf("SpherMercator X: %10.2f Y: %10.2f\n",x,y);
    printf("etalon      X: %10.2f Y: %10.2f\n",4187591.89,7509137.58);

}

```

---- End Of File:../tst/c/1.cpp

Результат работы программы должен быть такой:

```

Mercator X: 4187591.89 Y: 7473789.46
etalon   X: 4187591.89 Y: 7473789.46
SpherMercator X: 4187591.89 Y: 7509137.58
etalon    X: 4187591.89 Y: 7509137.58

```

geod.exe - вычисление расстояний, cs2cs.exe - преобразование систем координат.

5.1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PROJ.4

список проекций

в списке приведены только две. cs2cs.exe -lu

lonlat : Lat/long (Geodetic)
latlon : Lat/long (Geodetic alias)
merc : Mercator

список единиц измерения

cs2cs.exe -lu

km 1000.	Kilometer
m 1.	Meter
dm 1/10	Decimeter
cm 1/100	Centimeter
mm 1/1000	Millimeter
kmi 1852.0	International Nautical Mile
in 0.0254	International Inch
ft 0.3048	International Foot
yd 0.9144	International Yard
mi 1609.344	International Statute Mile
fath 1.8288	International Fathom
ch 20.1168	International Chain
link 0.201168	International Link
us-in 1./39.37	U.S. Surveyor's Inch
us-ft 0.304800609601219	U.S. Surveyor's Foot
us-yd 0.914401828803658	U.S. Surveyor's Yard
us-ch 20.11684023368047	U.S. Surveyor's Chain
us-mi 1609.347218694437	U.S. Surveyor's Statute Mile

вычисление расстояний

geod.exe - вычисление расстояний, Geodesic Calculations Geodesic calculations are calculations along lines (great circle) on the surface of the earth. They can answer questions like:

- What is the distance between these two points?
- If I travel X meters from point A at bearing phi, where will I be.

<https://trac.osgeo.org/proj/wiki/GeodesicCalculations>

Проекция Меркатора описана в Серапинасе стр.152, Бугаевский, стр.122.

5.2 ПЕРЕСЧЕТ WGS84 - СИСТЕМА КООРДИНАТ 42 ГОДА (6Я ЗОНА)

При тестировании использованы координаты в обеих системах предоставленные Аэрокосмическим центром Национального Авиационного Университета

WGS84: 29.99576 50.46615 972.409
sk42: 5597125.518 6286838.264 954.466

Тестирование выполнялось следующими командами:

```
---- File:../tst/proj4/wgs842sk42.cmd
```

```
rem
@echo off
```

```
set CS2CS=C:\proj\bin\cs2cs
set WGS84=+proj=latlong +ellps=WGS84 +datum=WGS84
set sk42_6=+proj=tmerc +lat_0=0 +lon_0=33 +k=1 +x_0=6500000 +y_0=0 +ellps=krass +units=m +no_
```

```
%CS2CS% %WGS84% +to %sk42_6% <test2.txt >.test2.sk42.txt
```

```
echo ----- calculation wgs48 to sk42 6th zone >.t2.txt
echo ----- etalon first >>.t2.txt
echo 5597125.518 6286838.264 954.466 >>.t2.txt
type .test2.sk42.txt >>.t2.txt
echo ----- calculation sk42 to wgs48 >>.t2.txt
%CS2CS% %sk42_6% +to %WGS84% -f %.08f <.test2.sk42.txt >.test2.txt
cat test2.txt .test2.txt >>.t2.txt
type .t2.txt
```

```
---- End Of File:../tst/proj4/wgs842sk42.cmd
```

Результаты тестирования:

```
---- File:../tst/proj4/.t2.txt
```

```
---- End Of File:../tst/proj4/.t2.txt
```

Глава 6

YANDEX API

Мы заявили следующий интерфейс для пользовательских координатных систем:

`solveDirectProblem(startPoint, direction, distance)` — Решает так называемую первую (прямую) геодезическую задачу: где мы окажемся, если выйдем из указанной точки в указанном направлении и пройдем, не сворачивая, указанное расстояние.

`solveInverseProblem(startPoint, endPoint, reverseDirection)` — Решает так называемую вторую (обратную) геодезическую задачу: построить кратчайший маршрут между двумя точками на картографируемой поверхности и определить расстояние и направление движения.

`getDistance(point1, point2)` — возвращает кратчайшее (вдоль геодезической линии) расстояние между двумя заданными точками (в метрах).

(Функция `getDistance` выделена отдельно для тех случаев, когда расчет расстояний можно выполнить намного быстрее, чем решение обратной задачи.)

Этот интерфейс показался нам достаточно простым для реализации в случаях, если пользователь картографирует какую-то нестандартную поверхность или пользуется нестандартными координатами. Со своей стороны мы написали две стандартных реализации — для обычной декартовой плоскости и для референсного эллипсоида WGS 84. Для второй реализации мы использовали формулы Винсенти. Кстати, непосредственно реализовывал эту логику `gunawayed`, передаём ему привет :).

Все эти геодезические возможности доступны в API Яндекс.Карт, начиная с версии 2.0.13. Welcome!

см. <https://habrahabr.ru/post/143898/>.

Глава 7

СПРАВОЧНИК ПО ФОРМУЛАМ

м мод 0.4342944819 [8, стр.388].

размеры эллипсоидов:

- Красовского: $a = 6378245\text{м}$, $b = 6356863.0188\text{м}$, сжатие $(a-b)/a = 1:298.3$
 - WGS84: $a = 6378137\text{м}$, $b = 6356752\text{м}$, сжатие $(a-b)/a = 1:298.257223563$
 - ПЗ90 $a = 6378136\text{м}$, $b = 6356751\text{м}$, сжатие $(a-b)/a = 1:298.258$
- [8, стр.388].

Формулы Меркатора - равноугольная цилиндрическая проекция:

- Бугаевский: [8, стр.122].
- Вахромеева: [7, стр.57].
- Серапинас, только сферический: [14, стр.152].

пси это арксин (е син фи) Бугаевский син пси это е син фи Вахромеева

Таблица Радиусы параллелей. [7, стр.204].

Длины дуг меридианов и параллелей [7, стр.207].

Площадь одноградусных проекций [7, стр.218].

Mod = 0.43429448 lg Mod = 9.63778431 [7, стр.220].

Предметный указатель

./../tst/c/1.cpp, [22](#)
./../tst/proj4/.t2.txt, [25](#)
./../tst/proj4/merc.cmd, [21](#)
./../tst/proj4/merc2.cmd, [21](#)
./../tst/proj4/wgs842sk42.cmd , [25](#)
Система координат Меркатора на сфере, [18](#)
эллипсоид WGS-84, [17](#)
эллипсоида WGS-84, [6](#)
эллипсоида WGS-84., [8](#)
файл мировой привязки, [17](#)
главного окна приложения., [7](#)
карт окрестности , [5](#), [17](#)
конвертора gpx2csv,, [14](#)
локсодрома , [18](#)
ортодрома, [18](#)
проекция Web Меркатора., [7](#)
проекция Меркатора, [17](#)
прямая геодезическая задача, [19](#)
прямой геодезической задачи, [11](#)
систему координат Меркатора на сфере, [18](#)
тайл, [18](#)
тайлов, [7](#)
тестирующее приложение, [4](#)
тестирующего приложения:, [13](#)
точка фокуса, [18](#)
точка фокуса., [7](#)
точки фокуса., [8](#)
заваливание, [18](#)

обратной геодезической задачи, [11](#)
обратной геодезической задачи., [8](#)
геодезическая линия, [17](#)
обратная геодезическая задача, [19](#)
окно карты (переменная класса FormToShow),, [14](#)
проекция Меркатора эллипсоида;, [7](#)
рыскание, [17](#)
тайла, , [11](#)
тайлов , [6](#)
тангаж, [17](#)
FormToShow, [8](#)
WGS84, [17](#)

elGeo, [6-8](#)
EPSG, [18](#)
EPSG:3395 , [17](#)
EPSG:3857., [18](#)
EPSG:900913,, [18](#)
FormToShow, [6](#)

gpx2csv - конвертор, [19](#)

Line, [7](#), [10](#), [11](#)
Logger, [12](#)

MapToShow, [6](#)
MBTile, [6](#), [7](#), [16](#), [18](#)
MBTile., [7](#)
MBTiles, [11](#), [18](#)
MBTiles., [18](#)

OpenStreetMap, [18](#)
OpenStreetMap., [7](#)

rec, [10](#)

t.help, [13](#)

wndSet, [6](#)

Литература

- [1] Open Street Map Project/. http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Main_Page. 18
- [2] Спецификация MBTiles (перевод). 18
- [3] Gerald Evenden. PROJ.4 / Gerald Evenden, Frank Warmerdam. <http://trac.osgeo.org/proj>. 20
- [4] @Moskus. Google Web Mercator: неоднозначная система координат / @Moskus . <https://habrahabr.ru/post/239251/> - 2014. 18
- [5] OpenStreetMap. Slippy map tilenames / OpenStreetMap . http://wiki.openstreetmap.org/wiki/Slippy_map_tilenames - 2014. 17
- [6] Tom MacWright, Will White, etc. Official specifications of MBTiles. <https://github.com/mapbox/mbtiles-spec/blob/master/1.2/spec.md>. 4, 18
- [7] Вахромеева Л.А. Картография: Учебник для вузов. М.: Недра, 1981.- 224с. 27
- [8] Л.М.Бугаевский. Математическая картография: Учебник для вузов. М.: Златоуст, 1998.- 400с. 19, 27
- [9] Лавринович В.Ю. Накладання треків з GPS-координатами на растрові карти відкритих тайлових сервісів / В.Ю. Лаврінович . // Тези XV міжнародної науково-практичної конференції молодих учених і студентів «ПОЛІТ.Сучасні проблеми науки. Інформаційно-діагностичні системи». - Київ: НАУ - 2016 - 147 с. 11
- [10] Международная организация гражданской авиации. Руководство по Всемирной геодезической системе - 1984 (WGS-84). http://www.iaodocs.net/icaodocs/Docs/ICAO_Doc9674.pdf. 17
- [11] Морозов В.П. Курс сфероидической геодезии. Учебник для вузов. М: Недра, 1979. - 260 с. 11, 19
- [12] Серапинас Б.Б. Геодезические основы карт. Лекция 3. http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/docs/GOK/gok_lecture_3.pdf. 19
- [13] Серапинас Б.Б. Геодезические основы карт. Лекция 4. http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/docs/GOK/gok_lecture_4.pdf. 19
- [14] Серапинас Б.Б. Математическая картография: Учебник для вузов. М.: Издательский центр. 11, 19, 27