

Методика построения 3D-моделей ригидных объектов и её применение в моделировании антропогенных территорий по космическим изображениям

Рихтер А.А. (1); Мурынин А.Б. (1, 2)

1/ НИИ АЭРОКОСМОС

Москва, Гороховский пер., 4, 105064, Россия

E-mail: www.aerocosmos.info

2/ Вычислительный центр РАН

Москва, ул. Вавилова, 40, 680021, Россия

E-mail: www.ccas.ru

(Работа выполнена при поддержке РФФИ. Грант № 16-51-55019)

Докладчик – Рихтер Андрей Александрович

Цель и задачи

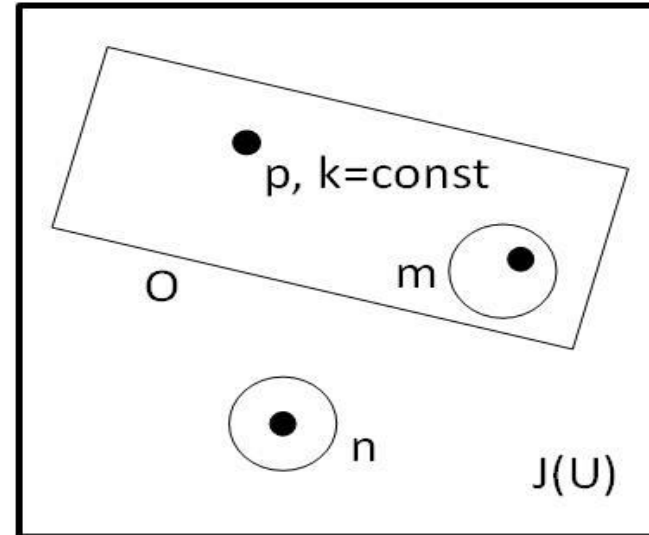
Цель работы - разработка методики 3D-моделирования ригидных объектов поверхности земли по данным одного космического изображения, которая будет простой с точки зрения её практического применения обычными пользователями.

Задачи:

- Разработка и описание методики 3D-моделирования;
- Подключение методики к направлению космического мониторинга – мониторинг объектов захоронения отходов (построение 3D-моделей хозяйственных зон полигонов твёрдых бытовых отходов (ТБО));
- Применение методики в проектной деятельности общеобразовательных школ (проектные работы школьников на примере конкретных полигонов ТБО).

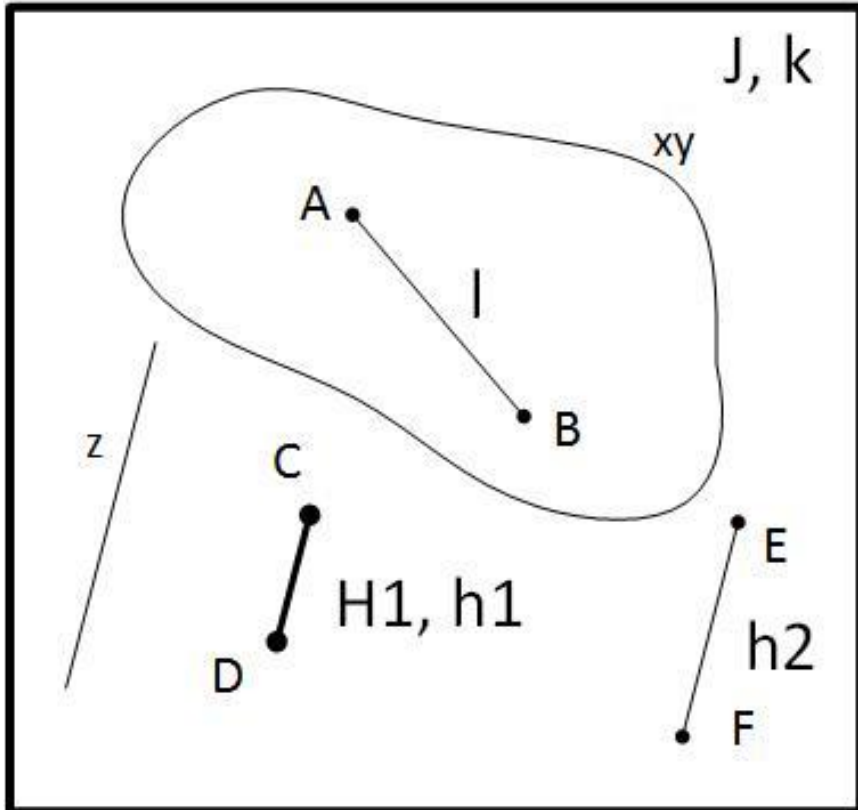
Требования к изображениям

1. Изображения высокого пространственного разрешения (космические снимки, аэрофотоснимки, фотографии местности, картинки и пр.);
2. Изображения ортотрансформированы, т.е. пространственное разрешение постоянно (отсутствие дисторсии и перспективы);
3. Направление съёмки – в надир, направление на объект – под наклоном.



J - изображение
U – область наблюдения
O – ригидный объект
p – пиксель изображения
k – пространственное разрешение
n – направление съёмки
m – направление на объект

Методика расчёта линейных размеров объекта



$$L = kl$$
$$m = \frac{H_1}{h_1} \Rightarrow H_2 = mh_2$$

J – изображение области наблюдения

k – пространственное разрешение изображения J

AB – отрезок в плоскости xy (горизонтальная плоскость, плоскость поверхности земли)

CD || EF – отрезки, параллельные оси z

CD – эталонная высота (H1 – линейное значение)

l, h1, h2 – длины соответствующих отрезков в пикселях

L – линейное значение отрезка AB

H1 – известное линейное значение отрезка CD

H2 – искомое линейное значение отрезка EF

m – высотный коэффициент

Пример расчёта высоты



O1 – эталонный объект («хрущёвка»):
Полагаем: $q=5$ – число этажей,
 $s=3$ м – высота этажа
 $H1=qs=15$ м – линейная высота (эталон)
 $h1=6.2$ – высота в пикселях
 $m=H1/h1=2.42$ – высотный коэффициент

O2 – расчётный объект
(торговый центр):
 $h2=3.6$ – высота в пикселях
 $H2=m*h2$ – линейная высота

широта – $55^{\circ}43'45''$ С, долгота – $37^{\circ}57'59''$ В
(к востоку от полигона ТБО Кучино Московского Региона)

Вспомогательные геометрические построения на изображении

Построение верхнего эллипса по 4 точкам и определение центра



Построение нижнего эллипса по 4 точкам и определение центра

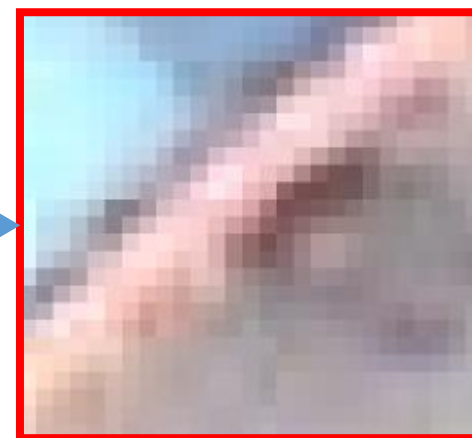


Построение направляющей оси аппликат



Построение расчётного отрезка объекта предполагаемой формы (на примере высоты усечённого конуса)

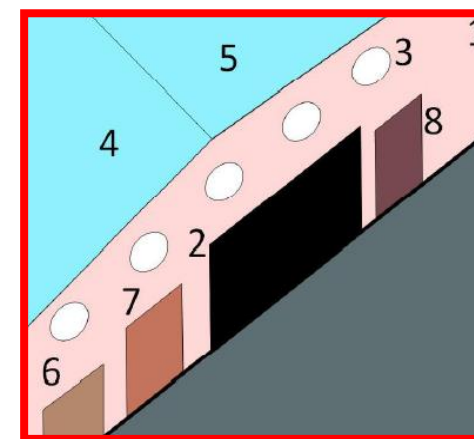
Расчёт по ребру и по тени, улучшение визуализации



Фрагмент



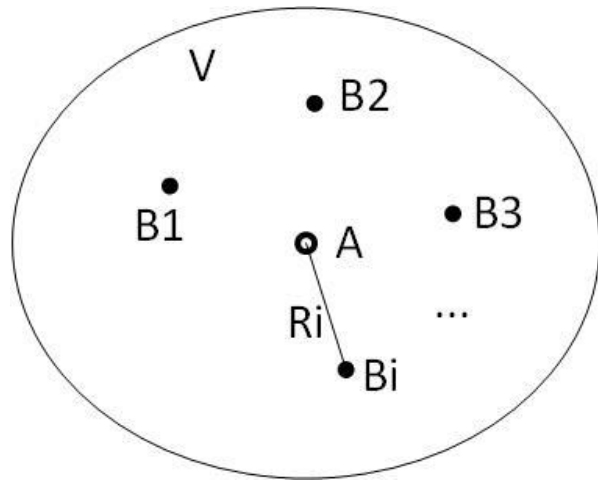
Улучшение



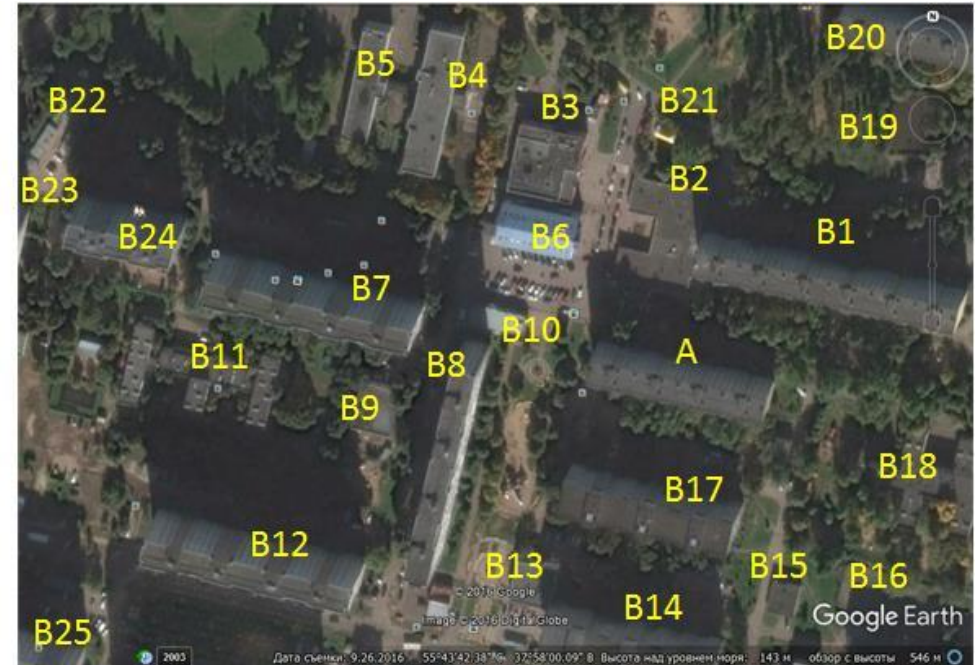
Сегментация



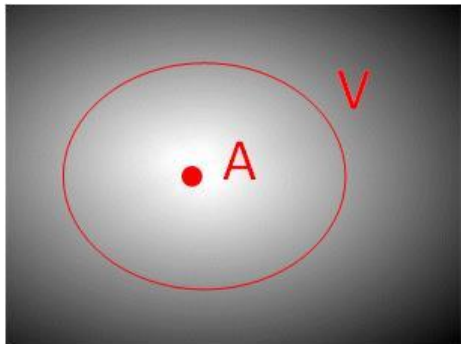
Расчёт застройки в окрестности эталонного объекта



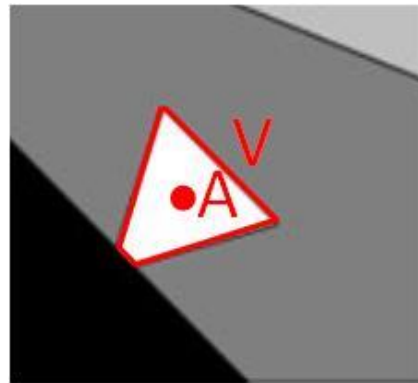
A – эталонный объект
 B_i – расчётные объекты
 R_i – линейные расстояния объектов от эталона
V – окрестность объекта A



Разметка застройки в окрестности объекта-эталона



Непрерывное распределение



Кусочно-равномерное распределение

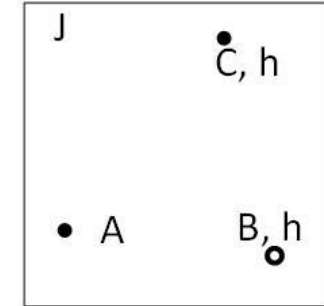
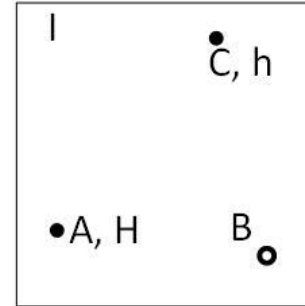
Пространственные распределения высотного коэффициента

Расчёт объектов в условиях нечёткости на изображениях



Чёткость объекта на изображении:

- Наличие и видимость объекта;
- Качество изображения;
- Определённость пространственного расположения;
- Угол визирования;
- Ширина обзора;
- Скрытность частей объекта;
- Интерпретируемость;
- Детализация.



A – объект-эталон, чёткий на I, но нечёткий на J
 B – расчётный объект, нечёткий на I, но чёткий на J
 C – чёткий объект на обоих изображениях I и J

$$H_C = m_I h_{IC} = H_A \frac{h_{IC}}{h_{IA}} \quad m_J = \frac{H_C}{h_{JC}}$$

$$H_B = m_J h_{JB} = H_C \frac{h_{JB}}{h_{JC}} = H_A \frac{h_{IC}}{h_{IA}} \frac{h_{JB}}{h_{JC}}$$

Разная чёткость объекта на разных изображениях: а) ниже, 5 июля 2010 г. (направление съёмки – в надире); б) выше, 26 сентября 2016 г.

Расчёт объекта, отдалённого от эталона

При расчёте объекта В, отдалённого от объекта-эталона А, проводится цепочка расчётов, образующая расчётный «путь» из «точек» A_1, A_2, \dots, A_q , посредством пространственно-временных «перемещений» от «точки» А до «точки» В.



А – объект-эталон
 В – расчётный объект
 A_i – промежуточные объекты, отстоящие друг от друга на меньшее пространственно-временное расстояние
 q – число промежуточных объектов

$$H_q = H \cdot \prod_{i=1}^{q-1} \frac{h_{i+1}^i}{h_i^i} \quad m_q = \frac{H}{h_q^{q-1}} \cdot \prod_{i=1}^{q-1} \frac{h_{i+1}^i}{h_i^i}$$

h_i^j – длина отрезка высоты объекта A_i на изображении J_j

$H=H_1$ – высота объекта-эталона

H_i – высота i -го объекта

Объект A_i цепочки объектов $\{A_i\}$ интерпретируем на изображениях J_{i-1} и J_i .
 Объект А – на J_1 , объект В – на J_{q-1}

Построение 3D-моделей ригидных объектов

Акцент применения:

- Космическим мониторинг объектов захоронения отходов (ОЗО);
- Проектно-исследовательская деятельность в Московских школах.

Задача: по данной методике построить 3D-модели хозяйственных зон (застройка) полигонов твёрдых бытовых отходов (ТБО) Московского региона с применением специальных программных средств по 3D-моделированию.

Программные средства: Google Earth, Sketch Up.

Примеры проектных работ учащихся ГБОУ Школа № 97 г. Москвы («Школьные проекты на цифровой карте Московского региона, апрель 2017 г.):

1. Игнатьев Данила (8 класс) – Химкинский полигон ТБО (Химкинский район);
2. Давыдов Артём (8 класс) – полигон ТБО Кучино (Балашихинский район);
3. Дементьев Илья (10 класс) – полигон ТБО Электросталь (Ногинский район).

Хозяйственные зоны полигонов ТБО

**Выделение
хоззоны**



**Положение
хоззоны на
территори
и полигона**



Космические снимки,
Google Earth

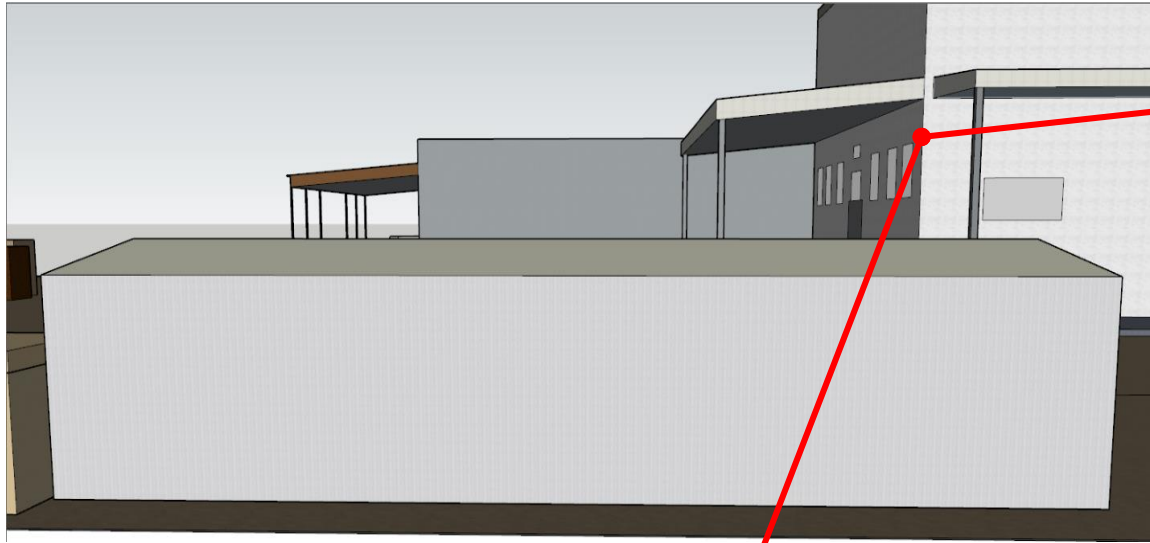
**Химкинский
полигон ТБО**

Полигон ТБО Кучино

**Полигон ТБО
Электростальский**

3D-модель хоззоны Химкинского полигона ТБО

Ракурс модели (со стороны Лихачёвского просп.)



Снимки объекта с разных ракурсов

*Общие
размеры
объекта*



высота - 20.74 м



длина - 37.28 м



ширина - 31.45 м

**Работа
Игнатьева
(ГБОУ Школа №
97 г. Москвы)**

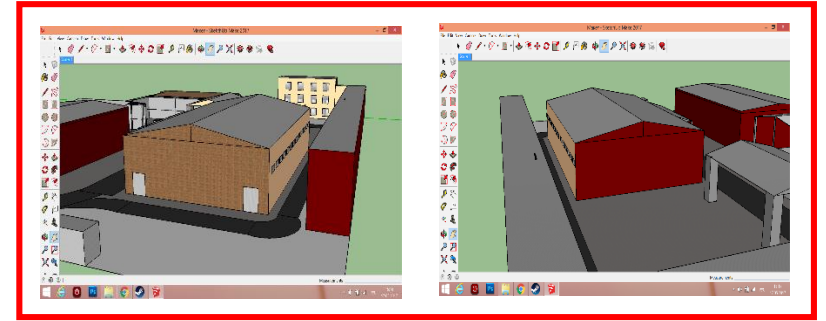
Снимки
моделей,
Sketch Up

3D-модель хоззоны полигона ТБО Кучино

Общий вид модели



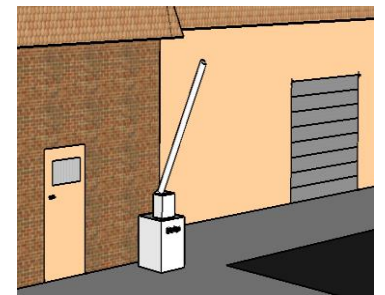
Видимая и невидимая части объекта



Снимки участков модели с разных ракурсов



Детали модели



Работа Давыдова (ГБОУ Школа № 97 г. Москвы)

Дополнительные исходные данные (фотографии)

3D-модель хоззоны полигона ТБО Кучино

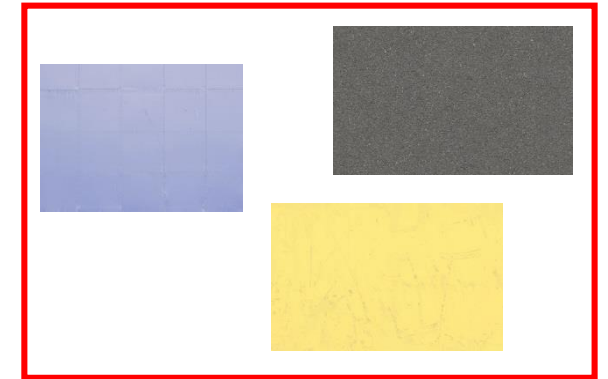
Общий вид модели



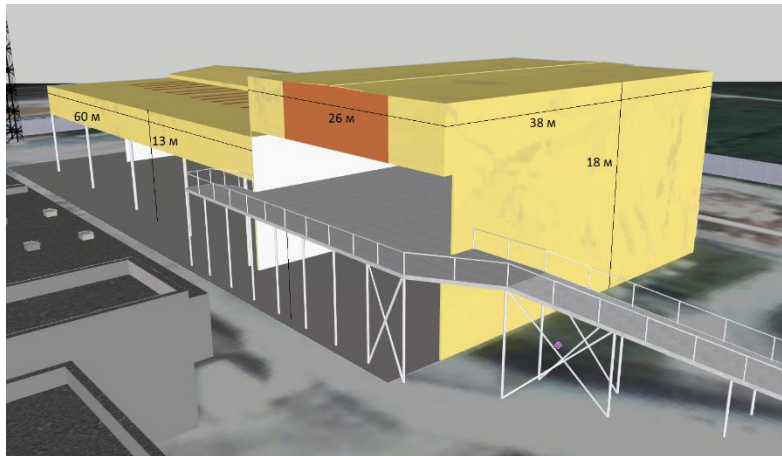
Фото



Видео



*Характерные
текстуры модели*



*Выделение
объекта и
обозначение
основных
размеров*

*Дополнительные
исходные данные*

**Работа
Дементьева
(ГБОУ Школа №
97 г. Москвы)**

Выводы

Представлена простая методика построения 3D-моделей объектов поверхности земли по данным одного космического изображения (с возможностью применения дополнительных информационных ресурсов). Предложенная методика с успехом применена для моделирования реальных объектов окружающего мира в проектной деятельности школьников. Такое применение развивает инженерные навыки и прививает интерес у детей к науке и инженерии. Методика может быть также полезной в научной и прикладной деятельности, например, в построении пространственных и пространственно-временных карт обширных территорий, в построении 3D-моделей скрытых (экранированных другими объектами, плохого качества визуализации) объектов на аэрокосмических или фотоизображениях.