

УДК 528.92

*Н.М. Оскорбин, С.И. Суханов***Создание полигона для оценки точности
имеющихся растровых карт и космических снимков
высокого разрешения****N.M. Oskorbin, S.I. Sukhanov***Creating a Polygon to Evaluate Existing Raster Maps
and High Resolution Images**

На сегодняшний день представляется актуальной проблема оценки точности имеющегося картографического материала. Соотнесение карт, выполненных в разных масштабах и проекциях за различные годы, и космических снимков высокого разрешения позволяет оценить погрешность картографических материалов и осуществить их коррекцию по критерию точности. В статье описывается применение метода центра неопределенности для оценки точности цифровой модели рельефа. В результате по данным матрицы SRTM была построена цифровая модель рельефа в программном комплексе ENVI и установлены величины систематического смещения отметок высот и случайной составляющей ошибки.

Ключевые слова: растровая карта, метод центра неопределенности, оценка погрешности, цифровая модель рельефа, случайная составляющая ошибки.

В практике землеустроительных и градостроительных работ возникает необходимость создания геодезических планов на предварительных этапах, в основе которых используется картографический материал, выполненный в разных масштабах и проекциях за различные годы. Задача усложняется тем, что информация о точности исходных картографических материалов либо неизвестна, либо утеряна. Актуальна задача создания геодезических, картографических ГИС для оценки точности положения объектов относительно разных слоев ГИС: карта масштаба 1:500, карта масштаба 1:2000, космический снимок высокого разрешения, а также модель рельефа, выложенная на сайте NASA в формате DEM [1].

В данной работе рассматривается решение этой задачи путем выделения тестовой территории и создания ГИС, которая позволила бы оценить погрешность картографических материалов и осуществить их коррекцию по критерию точности. В качестве тестовой территории был выбран участок, расположенный в северо-западной части Барнаула, площадью 130 га, который включает территорию

тепличного хозяйства, магистраль автомобильной дороги, сеть полевых дорог, железнодорожный путь. Наличие участка пашни с устойчивым рельефом, естественных угодий, ограниченный перепад высот и опознаваемых на картографических материалах и космических снимках точечных и линейных объектов позволяют решать задачи оценки точности в технологиях 2D и 3D.

Key words: raster map, uncertainty center method, evaluation error, digital relief model, random error component.

тепличного хозяйства, магистраль автомобильной дороги, сеть полевых дорог, железнодорожный путь. Наличие участка пашни с устойчивым рельефом, естественных угодий, ограниченный перепад высот и опознаваемых на картографических материалах и космических снимках точечных и линейных объектов позволяют решать задачи оценки точности в технологиях 2D и 3D.

Рассмотрим методику подготовки исходных данных по полигону, а также задачи и методы проведения исследовательских работ, ориентируясь на использование нестатистических методов анализа и обработки данных [2, 3]. Исходные данные положения на местности точечных, линейных объектов и отметок высот получены с использованием высокотехнологичных GPS-приемников и тахеометрической съемки. Измерения проводились в сентябре 2009 г. Координаты тестовых точек определены при помощи спутниковой системы GPS Trimble 5700. Вычисление и уравнивание координат точек выполнены в программе «Trimble Geomatics Office» в местной системе координат. Модуль погрешности определения точек съемочного обоснования не пре

* Работа выполнена при финансовой поддержке ведомственно-аналитической программы «Развитие научного потенциала Высшей школы (2009–2011 гг.)» (проект №2.2.2.4/4278).

вышает 0,05 м. Измерения проводились двумя приемниками по схеме: база – подвижный приемник.

Согласование геодезических измерений выполнено как с использованием программных средств обработки GPS измерений, так и путем их совместной обработки с данными тахеометрической съемки. При этом использовалось значительное число избыточных измерений. Расчетные оценки точности геодезического положения объектов на местности могут быть получены с использованием модели «Монтажного стола». Ее суть состоит в том, что территория полигона представляется в виде искусственной модели системы координат. Тогда в технологиях 2D погрешность каждого измерения включает погрешность положения модели «Монтажного стола» в целом (Δx_0 , Δy_0) и угла поворота $\Delta\alpha$ относительно истинного положения на местности и погрешности измерения на плоскости модели «Монтажного стола». На практике к оценке точности картографических материалов и этой погрешности следует добавить погрешность идентификации точки на местности.

Обработка данных GPS и тахеометрических измерений позволила дать оценки погрешностей позиционирования модели «Монтажного стола»: $\Delta x = \pm 0,046$ м, $\Delta y = \pm 0,046$ м. Относительно погрешности $\Delta\alpha$ проверена и подтверждена нулевая гипотеза. Следует отметить, что при существующей технологии GPS измерений уменьшить эти погрешности не представляется возможным, так как они определяются погрешностью позиционирования базовой станции, которая использует все существующие пункты государственной геодезической сети.

Аналогичная методика применяется для оценки 3D положения «Монтажного стола». Расчеты показывают, что дополнительная погрешность Δz_0 равна величине $\pm 0,051$ м с нулевой погрешностью по углу наклона.

Совмещение и согласование многократных GPS и тахеометрических измерений оценивают 2D положения объектов относительно модели «Монтажного стола» с погрешностью, не превышающей следующих величин: $\Delta x_{mc} = \Delta y_{mc} = \pm 0,051$ м. Положение на модели «Монтажного стола» точечных измерений в 3D технологиях оценивается с дополнительной погрешностью $\Delta z_{mc} = \pm 0,017$ м. Положение железной дороги на модели «Монтажного стола» определено с учетом дополнительной информации о ее линейности. Обработка данных исходных геодезических измерений позволила оценить это положение с пренебрежимо малой погрешностью относительно «Монтажного стола». Так для 2D и 3D технологий по описанной методике получено 123 точечных измерения, в том числе 42 измерения для «узнаваемых» на картографических материалах объектов.

Результаты проведенных исследований представлены в проекте «ГИС – Полигон». ГИС была

создана в среде MapInfo, включала следующие слои данных: привязанные растровые карты разных масштабов, космический снимок разрешением 0,6 м, а также слои со «сколотыми» точками. Растровые карты и космические снимки были предварительно обработаны с использованием программы ArcView GIS 3.2a, с наложением их в местную систему координат г. Барнаула. Обработка данных проводилась в среде Excel с использованием инструмента «Поиск решения». Схема обработки описана, например, в работе [4]. В ГИС представлены 2D слои модели «Монтажного стола» в следующих системах координат: местная система координат Барнаула (МСК); государственная система координат (СК-42); мировая система координат WGS-84. Для преобразования слоев из МСК в СК-42 и в WGS-84 использовались методика и программные средства, описанные в работе [4].

Значительное число картографических материалов, применяемых на практике, выполнено в прямоугольных системах координат. К ним относятся ортотрансформированные космические снимки высокого разрешения, растровые карты масштаба 1:500, 1:200, кадастровые карты и планы земельных участков, карты и топографические планы, используемые для проектирования и строительства зданий и сооружений и др.

Основные задачи оценки точности этих материалов в технологиях 2D:

- 1) оценка точности положения топоосновы относительно истинных координат на местности в различных проекциях;
- 2) оценка погрешности точечных объектов по выделенным на модели «Монтажного стола» 43-м опорным точкам;
- 3) оценка погрешности относительно положения точечных объектов на разных картографических материалах, в том числе представленных в разных проекциях;
- 4) тестирование технологий создания топографических планов и карт по комплексу существующих материалов и с использованием космических снимков различного разрешения.

Обработка данных проводилась путем создания математической модели методом центра неопределенности, формирования исходных данных с использованием ГИС-полигона и проведения вычислительных работ в существующих прикладных программах. Примером применения 2D технологии является оценка смещения и поворота растра М 1:500, представленного в местной системе координат Барнаула, полученная в работе [4]. Показано, что растровая карта Барнаула смещена по координатам на 0,1 м по территории полигона. При этом гипотеза о повороте растра не подтвердилась.

Принципиальное отличие 3D технологий обработки картографических материалов заключается в необходимости преобразования геополей. Простым аффинным преобразованием является сдвиг геополей

по трем направлениям и их поворот в трехмерном пространстве. В настоящее время методы решения этих задач интенсивно развиваются [5, 6]. Можно ожидать, что в ближайшее время 3D технологии будут основными в практической геодезии.

Один из основных видов фотограмметрических работ – создание ортофотопланов, являющихся основой для получения топографических и тематических карт и планов. Исходными материалами для изготовления ортофотопланов служат космические снимки и цифровая модель рельефа. Цифровую модель рельефа можно получить различными способами: с помощью стереосъемки, либо методом оцифровки имеющихся карт, либо радарной съемкой. Для получения цифровой модели рельефа по материалам стереосъемки необходимо иметь стереопары на весь район и провести достаточно трудоемкие работы по их обработке. При использовании одиночных снимков и готовой цифровой модели рельефа, процесс стереообработки исключается. В этом случае большое значение имеют критерии выбора цифровой модели рельефа.

В феврале 2000 г. с помощью специальной радарной системы, двумя радиолокационными сенсорами SIR-C и X-SAR было собрано более 12 терабайт данных, в результате обработки которых получена матрица высот, захватывающая территорию суши от 60°с.ш. до 54°ю.ш. и некоторые участки моря. Данная матрица носит название SRTM [1]. Общедоступны данные этой матрицы с размером ячейки 90×90 м.

В связи с тем, что создавать цифровую модель рельефа по материалам стереосъемки достаточно

трудоемко и затратно, а карты на нужную территорию не всегда доступны, для использования матрицы SRTM необходимо оценить ее точность на используемую территорию. Необходимую точность цифровой модели рельефа можно оценить из следующих простых соотношений. Смещение за рельеф ΔL определяется по формуле: $\Delta L = \Delta H \operatorname{tg} \alpha$, где ΔH – превышение, α – угол отклонения от надира. Стандартными при космической съемке считаются углы отклонения от надира до 30°. В этом случае, чтобы смещения за рельеф не превышали 0,5 мм в масштабе ортофотоплана, точность цифровой модели рельефа по высоте не должна быть хуже, чем 1 мм × знаменатель масштаба. Например, для карты масштаба 1:10000 это будет: 1 мм × 10000 = 10 м. Анализ точностей матрицы SRTM проводился многими коллективами ученых разных стран мира. По оценкам А.К. Корвэула и И. Эвиака, матрица SRTM имеет случайную ошибку, которая в среднем составляет для равнинной территории 2,9 и 5,4 м [7].

Для тестирования был выбран участок на территории полигона размером 400×400 м. В ГИС присутствуют векторные карты, полученные оцифровкой с раstra в программе «Easy Trace» масштаба 1:500, 1:2000, 1:10000. По полученным данным была построена цифровая модель рельефа в программном комплексе ENVI (рис. 1).

На данную территорию была вырезана матрица SRTM с разрешением 90×90 м и по ней построена цифровая модель рельефа (рис. 2).

Цифровая модель рельефа была сохранена в текстовом формате, в виде матрицы размером 4×4, значения высот представлены в таблице.

Смещения цифровой модели рельефа относительно карт масштаба 1:500, 1:2000, 1:10000

№	500	2000	10000	ЦМР	Е_500	Е_2000	Е_10000
1	234,59	234,53	234,48	192,00	42,59	42,53	42,48
2	234,00	233,75	233,77	191,00	43,00	42,75	42,77
3	232,00	232,02	232,16	190,10	41,90	41,92	42,06
4	231,85	231,81	231,57	189,40	42,45	42,41	42,17
5	233,79	234,00	233,99	191,00	42,79	43,00	42,99
6	233,00	232,87	232,86	190,40	42,60	42,47	42,46
7	231,00	231,25	231,38	189,10	41,90	42,15	42,28
8	229,08	229,05	230,00	187,10	41,98	41,95	42,90
9	233,00	232,97	233,00	189,80	43,20	43,17	43,20
10	232,00	232,00	232,00	189,00	43,00	43,00	43,00
11	230,23	229,83	231,00	187,10	43,13	42,73	43,90
12	229,00	228,73	230,00	185,70	43,30	43,03	44,30
13	231,11	229,85	231,57	186,80	44,31	43,05	44,77
14	230,00	229,25	230,86	187,00	43,00	42,25	43,86
15	228,71	229,00	229,98	185,60	43,11	43,40	44,38
16	228,00	228,00	229,10	184,90	43,10	43,10	44,20

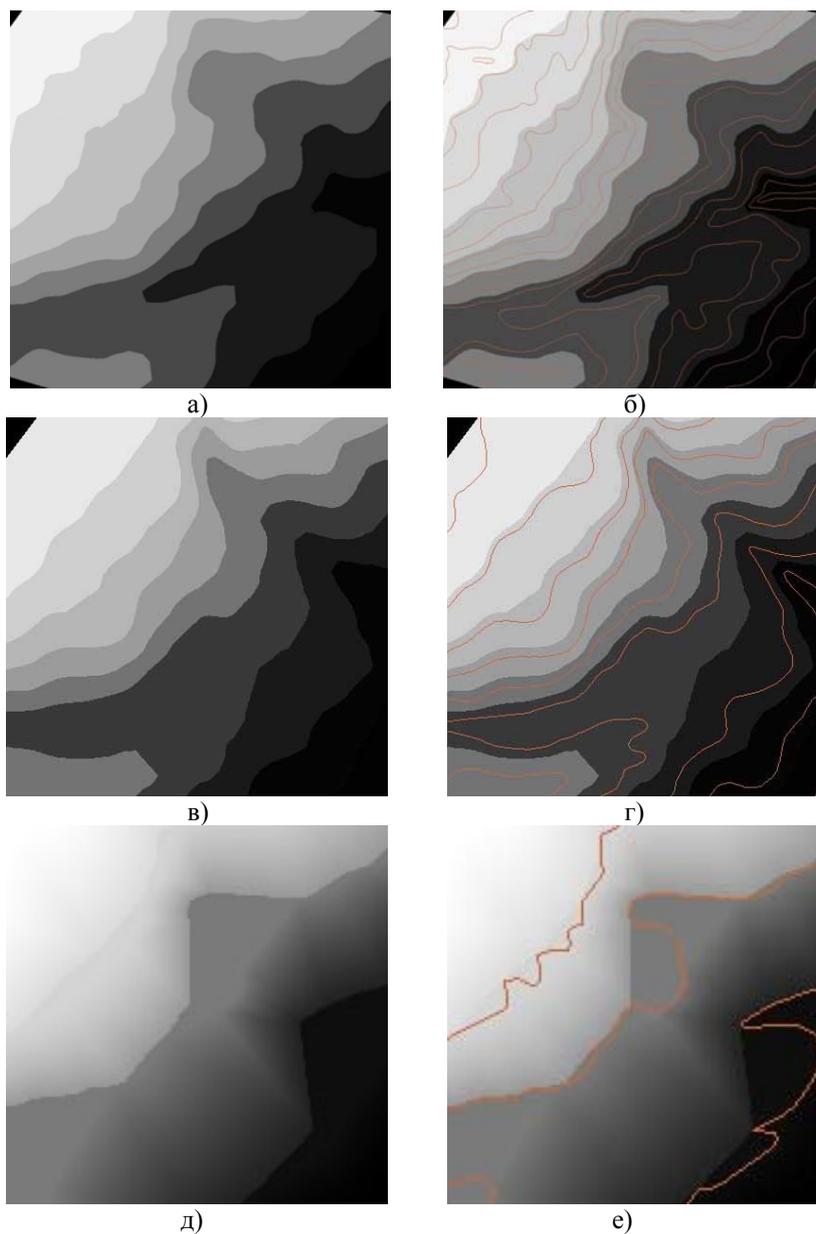


Рис. 1. Цифровая модель рельефа: а – построенная по 1:500; б – с наложением растровой карты; в – построенная по 1:2000; г – с наложением растровой карты; д – построенная по 1:10000; е – с наложением растровой карты

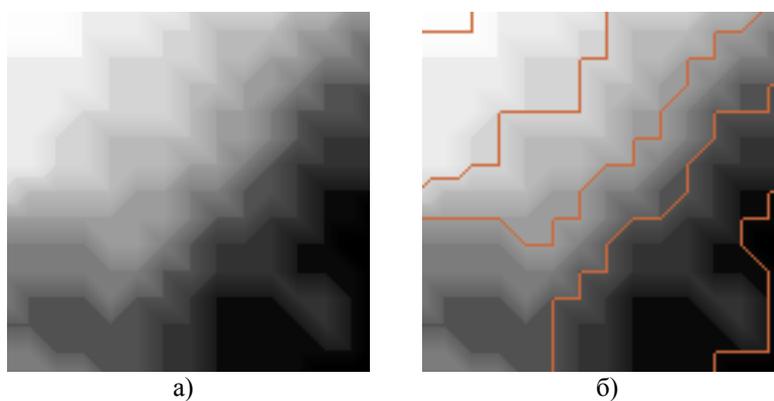


Рис. 2. Цифровая модель рельефа: а – построенная по матрице SRTM; б – линии уровня, построенные по цифровой модели рельефа

Результаты расчетов показывают, что систематическое смещение отметок высот матрицы SRTM по отношению к рельефу на карте масштаба 1:500 на территории полигона составляет в среднем 42,8 м, на карте масштаба 1:2000 – 42,6, на карте масштаба 1:10000 – 43,2, а случайная составляющая

ошибки лежит в интервале $\pm 1,5$ м с доверительной вероятностью 0,95. Одна из причин возникновения систематических ошибок заключается в разности систем координат: в МСК используется балтийская система высот, в WGS-84 высоты измеряются от уровня Мирового океана.

Библиографический список

1. Матрица SRTM. <http://dds.cr.usgs.gov/srtm>.
2. Оскорбин Н.М., Максимов А.В., Жилин С.И. Построение и анализ эмпирических зависимостей методом центра неопределенности // Известия АлтГУ. – 1998. – №1.
3. Максимов А.В., Оскорбин Н.М. Многопользовательские информационные системы: основы теории и методы исследования. – Барнаул, 2005.
4. Суханов С.И. Оценка параметров формул прямого и обратного преобразования пространственных координат // МАК–2010: мат. Тринадцатой регион. конф. по математике. – Барнаул, 2010.
5. Копнов М.В., Гутов Д.В., Марков Н.Г. Разработка методов, алгоритмов и программных средств восстановления трехмерных геополей // Инновационно-телекоммуникативные системы: сб. мат. Всерос. конкурса инновационных проектов аспирантов и студентов по приоритетному направлению развития науки и техники / под ред. А.О. Сергеева. – М., 2005.
6. Оскорбин Н.М., Суханов С.И., Федин Л.Ю. Сглаживание массива данных рельефа с использованием сплайновых поверхностей // Известия АлтГУ. – 2010. – №1/1(65).
7. Karwel A. K., Ewiak I. Estimation of the accuracy of the SRTM terrain model on the area of Poland. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – Beijing 2008. – Vol. XXXVII.