

УДК 528.8

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ ПЛАНОВ КРУПНОГО МАСШТАБА ПО ДАННЫМ АЭРОФОТОСЪЕМКИ И ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Тамара Антоновна Широкова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, профессор кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА, тел. (913)922-76-06, e-mail: dept.asp@ssga.ru

Андрей Викторович Антипов

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА, тел. (913)899-77-44, e-mail: brothersa@mail.ru

В статье представлена методика совместного использования цифровых аэрофотоснимков и лидарных данных для создания крупномасштабных планов в программном продукте TerraSolid.

Ключевые слова: цифровые снимки, точки лазерных отражений, воздушное лазерное сканирование, методика, план, оценка точности.

HIGH-SCALE PLAN CREATION TECHNIQUE BY MEANS OF AREAL IMAGES AND LIDAR DATA

Tamara A. Shirokova

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a professor, department of photogrammetry and remote sensing, tel. (913)922-76-06, e-mail: dept.asp@ssga.ru

Andrey V. Antipov

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a post-graduate student, department of photogrammetry and remote sensing, tel. (913)899-77-44, e-mail: brothersa@mail.ru

The technique of digital images and lidar data combine using for high-scale plan creation in TerraSolid software is presented in the article.

Key words: digital images, laser points, lidar scanning, methodic, plan, accuracy assessment.

На сегодняшний день топопланы являются основным видом топографической продукции для решения различного рода инженерных задач. Для их создания широко применяются данные дистанционного зондирования Земли. Перспективной технологией бесконтактного сбора информации с высокой точностью и оперативностью является воздушное лазерное сканирование. При проведении лидарной съемки одновременно, кроме массива точек лазерных отражений (ТЛО), получают цифровые аэрофотоснимки.

Актуальным является вопрос совместного использования данных аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования для создания различного рода топографической продукции, в частности планов крупного масштаба.

На основе обзора научно-технической литературы, изучения возможностей программных продуктов для обработки материалов воздушного лазерного сканирования была разработана методика построения крупномасштабных планов по материалам аэрофотосъемки и лидарным данным, основные процессы которой представлены на рис. 1.

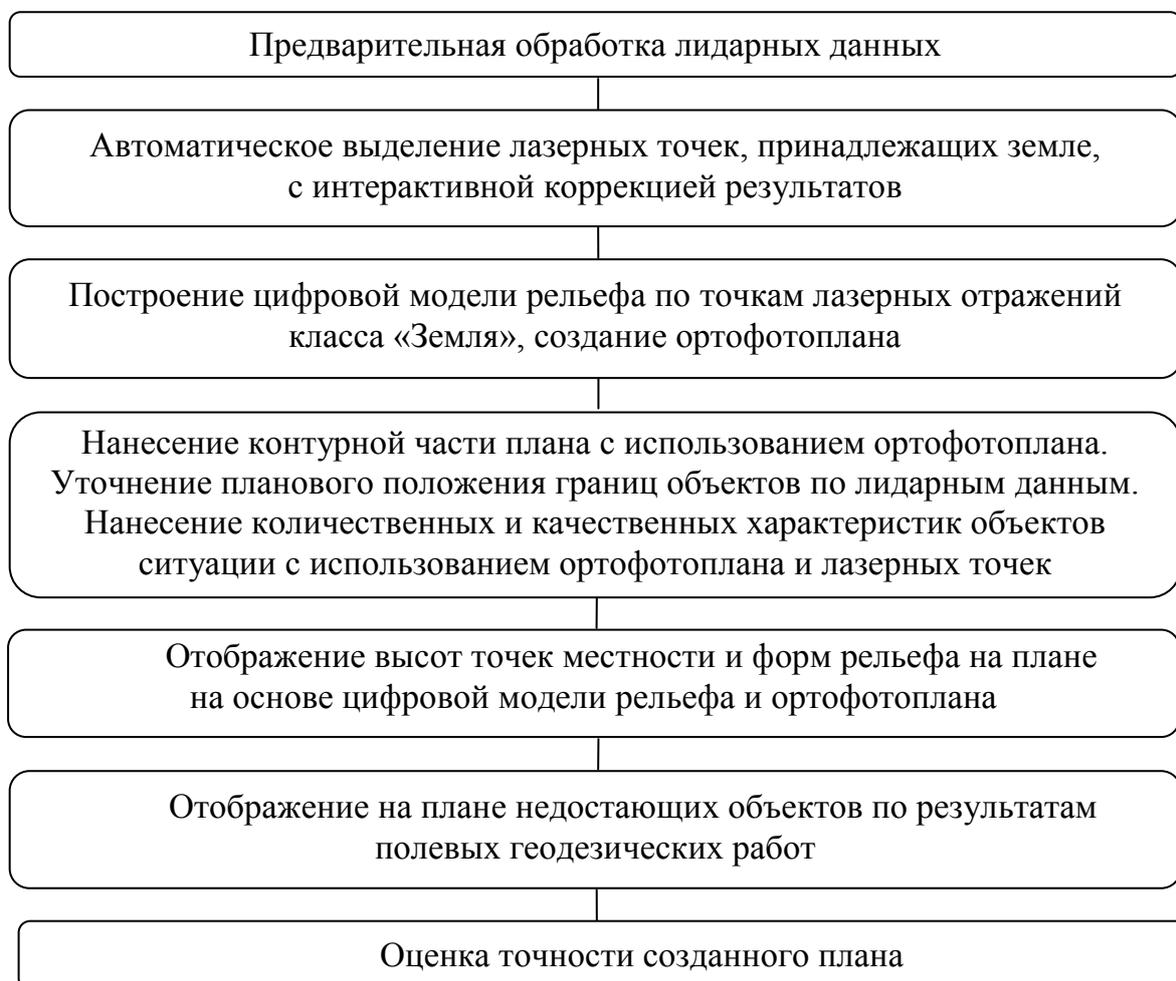


Рис. 1. Методика создания крупномасштабных планов по данным аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования

Для экспериментальных исследований разработанной методики в качестве исходных материалов использовались:

- точки лазерных отражений, полученные при лидарной съемке г. Омска (8,3 млн. точек) и г. Ниагара-Фолс, США (4 млн. точек);
- траектории полета носителей;
- цифровые снимки территории г. Ниагара-Фолс (20 снимков);
- параметры цифровой камеры и временные метки срабатывания затвора;
- координаты 187 и 21 контрольной точки на территорию г. Омска и г. Ниагара-Фолс соответственно.

Построение планов осуществлялось в программном продукте (ПП) TerraSolid.

Площадь участков съемки, на которые создавались планы, и плотность лазерно-локационных (ЛЛ) точек в пределах этих участков представлены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика объектов съемки

Город	Площадь участка территории съемки, км ²	Плотность лазерных точек, точек / м ²
Омск	1	8
Ниагара-Фолс	1,2	4

На первом этапе выполнена предварительная обработка ЛЛ данных, в результате чего получены единые точечные модели территорий г. Омска и г. Ниагара-Фолс.

Для построения ортофотопланов необходимо иметь топографическую информацию о подстилающей поверхности, поэтому на следующем этапе с использованием реализованного в ПП TerraSolid метода молдинга из общего массива ТЛО выделены лазерные точки класса «Земля». Особенностью данного алгоритма является необходимость корректного задания оптимальных параметров для автоматического отождествления ЛЛ точек, принадлежащих земной поверхности [1]. Такие параметры были выявлены в процессе специальных исследований и заданы в соответствии с характером местности территорий двух городов (табл. 2).

Таблица 2

Параметры для автоматического отнесения ТЛО в класс «Земля»

Город	Значения параметров классификации ТЛО	
	угол приближения, °	дистанция приближения, м
Омск	45	0,30
Ниагара-Фолс	6	0,30

На основе результатов автоматического отождествления ТЛО класса «Земля» построены редактируемые цифровые модели рельефа (ЦМР) двух объектов съемки и в соответствии с высотами отображены с помощью многоцветной шкалы с изменением цвета, светлоты и насыщенности [2]. Для удаления лазерных точек, ошибочно отнесенных в класс «Земля», в первом рабочем окне программы TerraSolid, содержащем созданную ЦМР, в местах резкого перепада насыщенности цвета указывался интересующий участок местности (рис. 2, а), и задавалась область сечения его вертикальными плоскостями. Во втором рабо-

чем окне отображались ЛЛ точки, принадлежащие этой области (рис. 2, б). На основе визуальной оценки пространственного положения отдельных лазерных точек относительно общего массива ТЛО производилось редактирование цифровой модели земной поверхности в интерактивном режиме. В исключительных случаях, когда в результате совместного анализа редактируемой ЦМР и массива лазерных точек не представлялось возможным сделать окончательный вывод о наличии ТЛО, ошибочно принятых за точки класса «Земля», дополнительно использовались цифровые снимки.

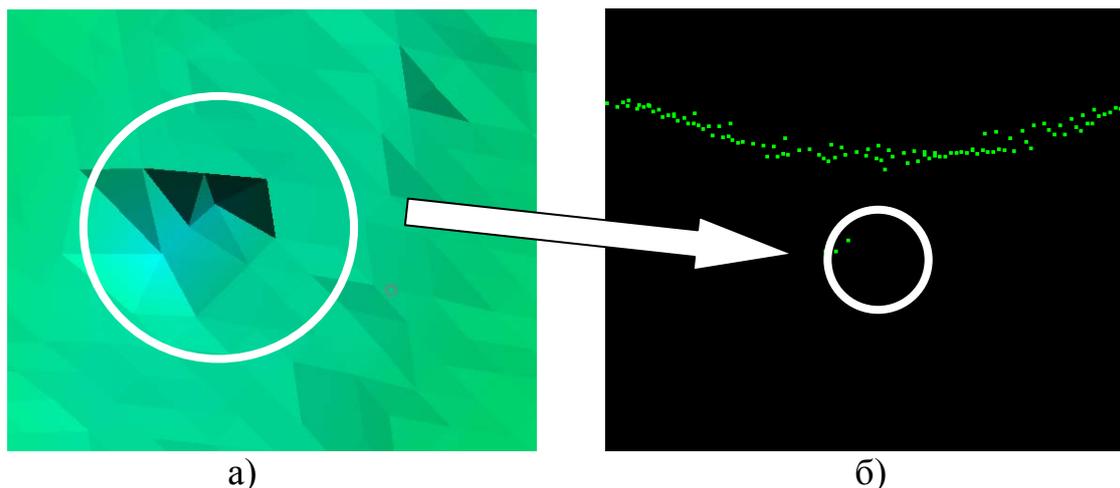


Рис. 2. Положение редактируемого участка модели земной поверхности:
а) на ЦМР; б) в массиве ТЛО

Таким образом, после исключения лазерных точек, не принадлежащих земной поверхности, окончательно были созданы ЦМР двух участков съемки.

В соответствии с методикой, представленной в работах [3, 4], с использованием построенных ЦМР выполнено ортотрансформирование цифровых снимков г. Ниагара-Фолс. Для этого были заданы следующие параметры: имя выходного файла (Niagara); тип проекции - UTM; система координат - WGS-84; размер пикселя выходного изображения - 20 см; формат выходных данных - GeoTIFF. В результате данной операции построен ортофотоплан участка территории г. Ниагара-Фолс (рис. 3).

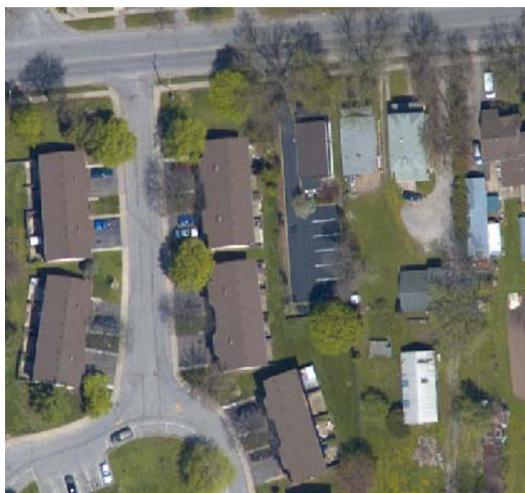


Рис. 3. Фрагмент ортофотоплана территории г. Ниагара-Фолс

Составление контурной части топографического плана производилось по ортофотоплану. Контурные линии нанесены в виде полилиний, созданных по гра-

ницам объектов, и сохранены в соответствующих слоях. Сначала на плане показаны строения (рис. 4). Порядок отображения других типов объектов определялся степенью насыщенности ими территории съемки. Учитывая наличие высокоразвитой дорожной сети, на следующем этапе по ортофотоплану векторизовались проезжие части улиц, тротуары и дорожные сооружения. Затем нанесены ограждения и контуры растительности. Точечные объекты (электрические фонари и отдельно стоящие деревья) отображены с помощью условных знаков.



Рис. 4. Фрагмент векторизованных объектов по ортофотоплану (г. Ниагара-Фолс)

При векторизации объектов ситуации встречались случаи, когда по ортофотоплану не представлялось возможным четко обозначить плановое положение зданий, поскольку они были закрыты кронами деревьев или трудноразличимы на фоне асфальтированного покрытия (рис. 5). Такая же проблема возникала при отображении соседних разноуровневых близко расположенных автопарковок, когда границы между ними однозначно не идентифицировались. Нанесение или редактирование контуров таких объектов производилось по лидарным данным. Для этого на цифровом ортофотоплане задавалась область сечения интересующего объекта вертикальными плоскостями, и по отображению лазерно-локационных точек, принадлежащих этой области, уточнялось положение полилинии.

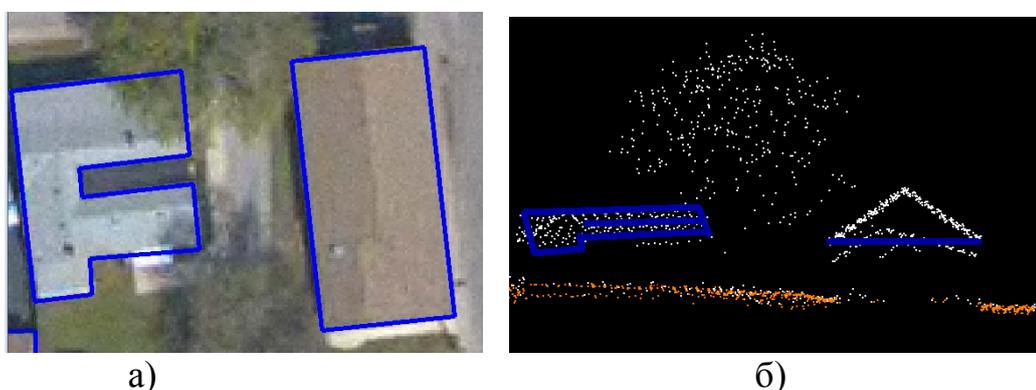


Рис. 5. Отображение положения зданий:
а) на ортофотоплане; б) в массиве лазерных точек

На основе ортофотоплана и лидарных данных на плане показаны количественные и качественные характеристики объектов ситуации.

С использованием цифровых моделей рельефа на планах был отображен рельеф в виде пикетов с известными высотами через каждые 40–60 м [5], после чего производилось редактирование их положения таким образом, чтобы они не попадали на строения, конструкции и отдельно стоящие деревья. С использованием ЦМР и ортофотоплана нанесены формы рельефа.

Далее производился экспорт слоев с объектами в ПП AutoCAD для преобразования данных в формат, совместимый с ПП MapInfo, в котором в соответствии с инструкцией по топографической съемке [5] и условными топографическими знаками масштаба 1 : 2 000 [6] выполнено окончательное оформление плана. Фрагмент плана участка территории г. Ниагара-Фолс представлен на рис. 6.

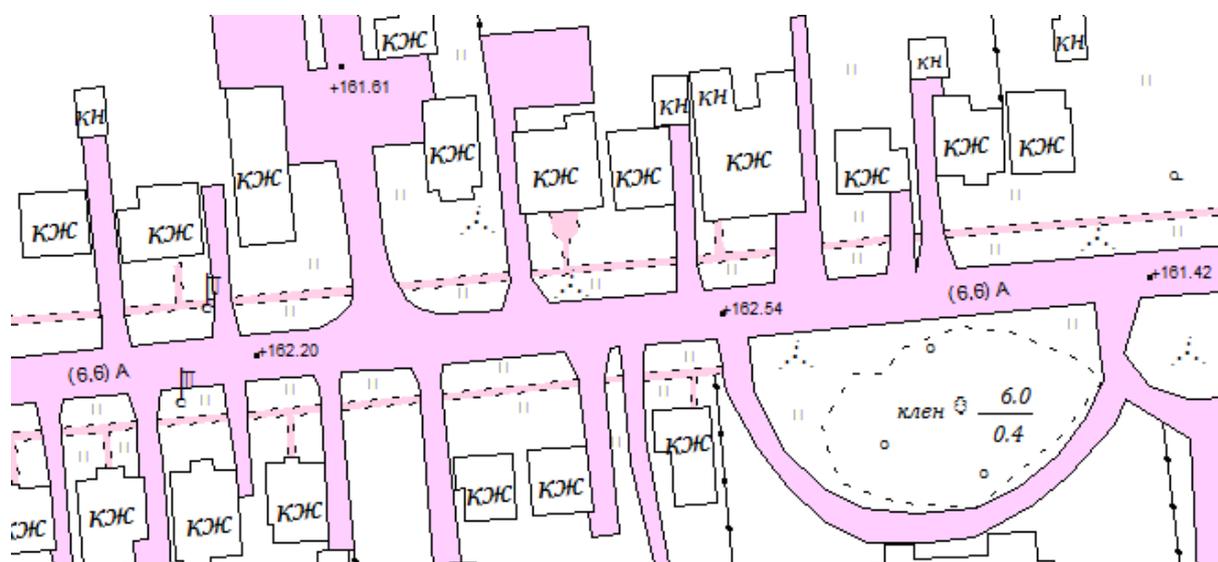


Рис. 6. Фрагмент плана г. Ниагара-Фолс

На последнем этапе по координатам 21 контрольной точки, расположенных на территории г. Ниагара-Фолс, выполнена оценка точности созданного плана. Для этого были вычислены максимальные (ΔL_{max} , ΔZ_{max}) и средние квадратические ошибки ($m_{\Delta L}$, $m_{\Delta Z}$) планового положения и высот точек соответственно. Анализ полученных величин (табл. 3) показал, что составленный план соответствует точности построения плана масштаба 1 : 2 000 с сечением рельефа 0,5 м [7].

Таблица 3

Результаты оценки точности плана г. Ниагара-Фолс

ΔL_{max} , м	ΔZ_{max} , м	$m_{\Delta L}$, м	$m_{\Delta Z}$, м
0,59	0,082	0,38	0,056

Созданный план уступает по информативности требованиям инструкции из-за того, что невозможно только по материалам аэрофотосъемки и воздушно-го лазерного сканирования нанести некоторые объекты и их характеристики, например, подземные коммуникации, тип растительности, огнестойкость и назначение зданий и др. Такие данные должны быть получены по материалам полевого дешифрирования и полевой досъемки, выполнить которые в процессе исследований не представлялось возможным.

В ходе экспериментальных работ также исследована возможность создания контурной части плана по данным воздушного лазерного сканирования г. Омска, поскольку плотность точек лазерных отражений для данного объекта съемки была достаточно высока (8 точек/м²), и имелись в наличии координаты большого числа контрольных точек.

Для отображения контуров объектов по лидарным данным:

- выполнена автоматическая классификация лазерных точек, принадлежащих зданиям. Для этого были заданы параметры: минимальная площадь здания, равная 4 м², максимальная разность высот ТЛО для отнесения их к одной плоскости – 0,1 м;

- из исходного массива лазерных точек в автоматическом режиме выделены ТЛО от кустарниковой растительности (отстоящие от земли от 0,1 до 0,5 м) и древесной растительности (находящиеся выше 0,5 м от земной поверхности);

- классифицированы ЛЛ точки, принадлежащие электрическим фонарям и ограждениям. Для этого в одном рабочем окне в пределах указанной области были заданы сечения массива лазерных точек вертикальными плоскостями. В результате данной операции во втором окне в трехмерном пространстве отображались ТЛО, принадлежащие данной области. С использованием специальных инструментов, позволяющих «посмотреть» с разных позиций на интересующий участок массива лазерно-локационных точек, в интерактивном режиме выделены точки класса «фонари» и «ограждения».

Дешифрирование пространственного образа таких объектов, как электрические фонари и ограждения, в общем массиве лазерных точек является трудоемким процессом, требует наличия опыта обработки лидарных данных у оператора и больших временных затрат. Поэтому нанесение планового положения этих объектов рекомендуется производить с использованием ортофотопланов.

После классификации ЛЛ точек массив ТЛО стал представлять собой подобие отдешифрированного цифрового изображения (рис. 7), на котором в виде различных цветов отображены лазерные точки, принадлежащие земной поверхности и объектам ситуации (зданиям, кустарниковой и древесной растительности, электрическим фонарям и ограждениям). Остальные объекты ситуации (проезжие части улиц, тротуары, травянистая растительность и др.) не были выделены в отдельные классы, поскольку распознать их по ТЛО не представляется возможным.



Рис. 7. Фрагмент классифицированных данных воздушного лазерного сканирования г. Омска

Нанесение планового положения объектов ситуации по лидарным данным производилось также, как и по ортофотоплану, только вместо цифрового ортофотоплана использовалось классифицированное точечное ЛЛ «изображение» (рис. 8).

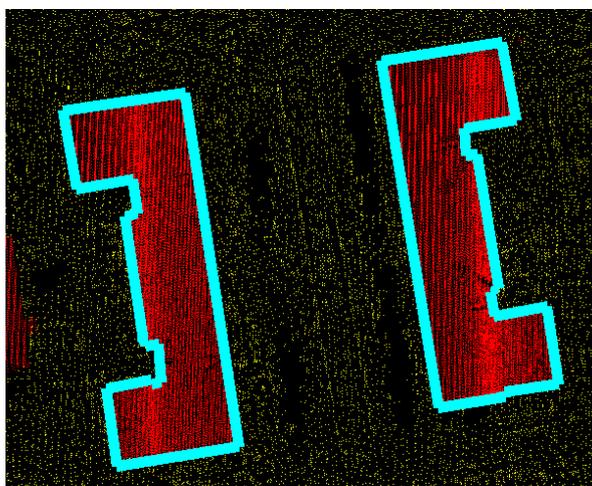


Рис. 8. Нанесение на план контуров зданий по ЛЛ точкам

Оценка точности созданной ЦМР и планового положения контуров зданий выполнена по координатам 187 контрольных точек, полученным из полевых геодезических работ с помощью электронного тахеометра. Данные, представленные в табл. 4, свидетельствуют, что ошибки планового положения и высот точек местности, нанесенных по данным лидарной съемки, соответствуют требованиям точности создания плана масштаба 1 : 2 000 с высотой сечения рельефа 0,5 м [7].

Таблица 4

Результаты оценки точности плана участка территории г. Омска

ΔL_{max} , м	ΔZ_{max} , м	$m_{\Delta L}$, м	$m_{\Delta z}$, м
0,56	0,131	0,29	0,049

Результаты выполненных экспериментальных работ позволяют сделать следующие выводы:

а) точность топографического плана территории г. Ниагара-Фолс, созданного на основе совместного использования цифровых снимков и данных ВЛС, соответствует требованиям, предъявляемым к точности построения планов масштаба 1 : 2 000 с сечением рельефа 0,5 м. Отображение отсутствующих на материалах съемок объектов и определение их количественных и качественных характеристик должно производиться на основе результатов геодезической до-съемки и полевого дешифрирования;

б) нанесение планового положения зданий, кустарниковой и древесной растительности можно производить по лидарным данным с точностью, удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к планам масштаба 1 : 2 000. Однако по данным ВЛС не представляется возможным отображение многих других объектов ситуации, поэтому при проведении лидарной съемки необходимо выполнять цифровую аэрофотосъемку. При наличии снимков векторизацию объектов ситуации и их дешифрирование следует выполнять по ортофотоплану, а лидарные данные использовать для создания высотной части плана, уточнения положения контуров, нанесение которых по ортофотоплану затруднительно, и получения количественных характеристик объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Antipov A., Martemyanova O. Ground point classification using molding filter in TERRASOLID [Текст] // International summer Student Seminar. – Novosibirsk: SSAG, 2010 – С. 18–22.
2. Берлянт А.М. Картография. – М.: Аспект пресс, 2002. – 336 с.
3. Широкова Т.А., Антипов А.В. Методика создания ортофотопланов с применением данных воздушного лазерного сканирования // Вестник СГГА. – 2010. – № 2 (13). – С. 24–31.
4. Antipov A., Shirokova T.A. Methodology of combined processing of digital images and lidar data for need of urban planning and territory management // Innovative technologies for an efficient geospatial management of earth resources: Proceeding of the International Workshop 5,6 , 4-8 Sept. 2011. – Ulaanbaatar, Mongolia, 2011. – 161–169 PP.
5. Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1 : 5 000–1 : 500. – М.: Недра, 1982. – 13 с.
6. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5 000–1 : 500. – М.: Недра, 1989. – 149 с.
7. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 48 с.

Получено 28.08.2012

© Т.А. Широкова, А.В. Антипов, 2012