

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»
(ФГБОУ ВПО «СГГА»)

IX Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2013

Международная научная конференция

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ФОТОГРАММЕТРИЯ, МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ГЕОЭКОЛОГИЯ

Т. 1

Сборник материалов

Новосибирск
СГГА
2013

УДК 502:528.7
С26

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор,
проректор по учебно-методической работе МИИГАиК, Москва
И.Г. Журкин

Кандидат технических наук, заведующий кафедрой фотограмметрии
и дистанционного зондирования СГГА, Новосибирск
А.В. Комиссаров

Кандидат технических наук, профессор кафедры фотограмметрии
и дистанционного зондирования СГГА, Новосибирск
Т.А. Широкова

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры фотограмметрии
и дистанционного зондирования СГГА, Новосибирск
А.С. Гордиенко

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр., 15–26 апреля 2013 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 219 с.

ISBN 978-5-87693-628-8 (т. 1)
ISBN 978-5-87693-627-1
ISBN 978-5-87693-610-3

В сборнике опубликованы материалы IX Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013», представленные на Международной научной конференции «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГГА
Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 502:528.7

ISBN 978-5-87693-520-5 (т. 1)
ISBN 978-5-87693-519-9
ISBN 978-5-87693-506-9

© ФГБОУ ВПО «СГГА», 2013

Сборник включен в систему РИНЦ.

ГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗОН ПОДТОПЛЕНИЯ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

Вячеслав Николаевич Никитин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА, тел. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Зоя Викторовна Николаева

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрант кафедры кадастра СГГА, тел. (923)116-05-79, e-mail: makarovo2010@yandex.ru

Затопление земель носит катастрофический характер, поэтому решение этой проблемы первостепенно для жителей, проживающих в зоне риска. Работы по выявлению опасных участков, подверженных наводнению при чрезвычайных ситуациях, ведутся в различных направлениях, в том числе с помощью гидродинамического моделирования.

Ключевые слова: гидрология, моделирование, затопление, чрезвычайные ситуации, дифференциальные уравнения, речной сток.

THE HYDRODYNAMIC APPROACH TO THE DEFINITION OF THE ZONES OF FLOODING IN EMERGENCY SITUATIONS

Vyacheslav N. Nikitin

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph.D., Assoc. Prof. of department of photogrammetry and remote sensing SSGA, tel. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Zoya V. Nikolaeva

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a master of science of department of cadastral SSGA, tel. (923)116-05-79, e-mail: makarovo2010@yandex.ru

Flooding of land is catastrophic, that's why the solution of this problem is primary for the population living in the zone of risk. Works on the identification of hazardous areas vulnerable to flooding in emergency situations, are carried out in various directions, including with the help of hydrodynamic modeling.

Key words: hydrology, modeling, waterflooding, emergency situations, differential equations, river drain.

Исторически сложилось, что освоение территории и ее заселение происходило вблизи водоемов, которые использовались как источники пресной воды, транспорта, энергии и т. д.

В настоящее время более двух третей населенных пунктов на земном шаре расположены в непосредственной близости к водным объектам. Такое расположение делает их зависимыми от экстремальных гидрологических ситуаций, таких как периоды малой и высокой водности, либо техногенных аварий, свя-

занных с эксплуатацией гидроэлектростанций. Кроме того земельные участки, подверженные затоплению, менее привлекательны для использования их под объекты капитального строительства, что снижает их кадастровую стоимость.

Заблаговременные прогнозы гидрологических явлений дают возможность получить необходимые данные для предупреждения опасных последствий и повышения безопасности населения при чрезвычайных ситуациях. Такие прогнозы необходимы для работы МЧС и ГИМС.

Одним из используемых методов получения данных является гидрологическое моделирование. Гидрологические прогнозы – научно обоснованные методы предсказаний различных элементов режима водных объектов суши [1]. Речной сток представляет собой сложный природный процесс, обусловленный влиянием комплекса физико-географических факторов и хозяйственной деятельностью человека. Использование математических моделей позволяет наглядно изучить движение водных масс в различных условиях, но точность таких исследований определяется качеством исходных данных и методом построения моделей. Математическая модель является приближенным описанием природных процессов и явлений, выраженным с помощью математических правил и математической символики [2].

Гидродинамический метод расчета зон затопления основан на решении уравнений гидродинамики. В общем случае для описания движения вязкой ньютоновской жидкости применяются уравнения Навье–Стокса. Система состоит из уравнений движения и уравнений неразрывности [3].

По мере развития гидродинамики её математические модели уточнялись, но при этом усложнялись, и их анализ стал невозможен без применения численных методов и компьютерных технологий. Так появилась вычислительная гидродинамика (CFD – Computer Fluid Dynamics). На основе её вычислительных алгоритмов созданы мощные компьютерные программы, позволяющие обычным инженерам и студентам виртуально экспериментировать с самыми сложными течениями жидкостей.

Вопросы гидродинамики имеют сложный характер, как в теоретическом, так и в реализационном аспекте. Нахождение общего аналитического решения системы уравнений Навье–Стокса для пространственного или плоского потока осложняется тем, что оно нелинейное и сильно зависит от начальных и граничных условий.

До сих пор решения этих уравнений найдены лишь в некоторых частных случаях. В настоящее время существует несколько ситуаций (обусловленных простой геометрией), которые решены в аналитическом виде. В остальных случаях используется численное моделирование.

В задачах нестационарных движений начальные условия задаются в виде распределения скоростей в области течения в некоторый начальный момент или изменений во времени давления в некоторой области течения.

Нестационарность течений воды в реках и каналах возникает при катастрофических осадках или сбросе значительных объемов воды из водохранилищ. Как следует из данных наблюдений, резкое увеличение стока нередко сопрово-

ждается обострением переднего фронта течения и внезапным резким увеличением уровня реки на большом расстоянии от водохранилищ и зон осадков, что может привести к появлению ударного фронта течения, который часто сопровождается разрушением мостов и прибрежных построек [4].

Математические модели течений в реках основаны на известных гидродинамических моделях потоков однородной жидкости. Существующие модели учитывают разную степень детализации водного потока и гидрометеорологической информации. Модели первого уровня (одномерные или квазиодномерные) используют усредненные по поперечному сечению реки характеристики скорости течения.

Одномерные модели дают достаточно грубое описание процесса, однако легко реализуются в виде номограмм или программ для простейших компьютеров, поэтому они получили широкое распространение в оперативной практике гидрологических расчетов.

В настоящее время активно используются гидродинамические модели, основанные на уравнениях мелкой воды (двумерные (в плане) уравнения Сен-Венана), и их численное моделирование позволяет описать динамику загрязнений в реках и прогнозировать аварийные ситуации. Между тем, роль одномерных моделей не стоит недооценивать, поскольку они допускают простое аналитическое исследование, и получаемые с их помощью решения могут быть использованы как для тестирования численных моделей, так и для экспресс-оценки характерных параметров задачи [5].

В теоретических и прикладных исследованиях неустановившегося течения воды в открытых руслах часто используются уравнения Сен-Венана, которые при соответствующих предположениях являются различными приближениями уравнений гидродинамики, уравнений Навье-Стокса. [6]. Эти уравнения связаны с неустановившимся течением воды в системе рек и каналов, сток которых наиболее часто ими описывается.

Уравнения мелкой воды можно применять для моделирования волн в атмосфере, реках, озерах, океанах и других водоемах. Для того чтобы применение уравнений мелкой воды было корректным, горизонтальные размеры акватории должны быть значительно больше глубины. Уравнения мелкой воды пригодны также для моделирования приливов. Приливное движение, имеющее горизонтальные масштабы в сотни километров, могут считаться явлениями мелкой воды, даже если происходят над многокилометровыми океанскими глубинами.

Из всего вышесказанного следует, что использование дифференциальных уравнений для построения гидродинамических моделей может решить ряд проблем, связанных с эксплуатацией водных объектов. Особое значение моделирование гидродинамических процессов имеет для МЧС при решении следующих задач:

- моделирование последствий разрушения гидротехнических сооружений;
- моделирование с целью определения паводковой опасности в результате снеготаяния или выпадения большого количества осадков.

В обоих случаях основная цель заключается в предотвращение гибели людей посредством эвакуации из опасных зон или возведение защитных сооружений.

Организации, деятельность которых связана с имуществом, также могут быть заинтересованы в результатах моделирования. Например, в кадастровой деятельности вероятность затопления территории поможет избежать строительства капитальных объектов в опасных зонах или принять дополнительные меры по их защите. Аналогичное значение данная информация имеет для страховщиков, определяя сумму страховых взносов или даже саму возможность страхования.

На практике гидродинамическое моделирование будет применяться в рамках диссертационной работы для определения рисков для объекта кадастрового учета, прилегающих к р. Иня. Данные, полученные при моделировании, также будут использоваться подразделениями МЧС по Новосибирской области.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Георгиевский Ю. М., Шаночкин С. В. Гидрологические прогнозы [Текст]. Учебник. – СПб., изд. РГГМУ, 2007. – 436с.
2. Орлова Е. В. Определение географических и гидрологических характеристик водных объектов с использованием ГИС – технологий [Текст] : автореф. дис. канд. техн. наук / Елена Викторовна Орлова. – Санкт – Петербург, 2008. – 27с.
3. Лобанов В. А. Теория и новые методы определения гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений, основанные на ГИС – технологиях [Текст] / В. А. Лобанов // Инновационные технологии в современной инженерной гидрологии. – 2007. – 8 августа. – С. 14.
4. Методические указания по составлению правил использования водных ресурсов водохранилищ, гидроузлов, электростанций [Текст] : пособие / под ред. В.С. Серкова. – 2000. – 26 с.
5. Методика прогнозирования паводкового наводнения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.agps-mipb.ru/index.php/-3-/474-3-1-metodika-prognozirovaniya-ravodkovogo-navodneniya.html>
6. Абдураимов М. Движение вод в открытых руслах [Текст] / М. Абдураимов, Х. А. Музафаров, А. А. Пугтиев // Математическое моделирование. – 1998 – №10. – С.6.
7. Кобзева Е. А. Использование фотограмметрических методов создания 3D моделей при проектировании водохранилищ [Текст] / Сб. материалов научного конгресса «ГЕО-Сибирь – 2011», Т. 4. - Новосибирск: СГГА, 2007.- С. 3 – 6.
8. Петрова Н. В. Проблемы оценки гидроресурсов в условиях нарастающих объемов водопользования [Текст] / Сб. материалов научного конгресса «ГЕО-Сибирь – 2009», Т. 3. №1. Новосибирск: СГГА, 2009.-С. 26 – 31.

© В.Н. Никитин, З.В. Николаева, 2013

КАЛИБРОВКА ЦИФРОВОЙ НЕМЕТРИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ ПО СНИМКАМ ЗВЕЗДНОГО НЕБА

Вячеслав Николаевич Никитин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА, тел. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Татьяна Викторовна Николаева

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрантка кафедры кадастра СГГА, тел. (923)129-64-95, e-mail: makarovo2010@yandex.ru

В данной статье представлено описание простого и универсального метода калибровки цифровых камер. Основной идеей является использование угловых положений звезд. Высокая точность достигается наличием актуальных каталогов и низкой собственной подвижности звезд. В качестве исходных данных используется звездный каталог и единственное изображение звездного неба.

Ключевые слова: калибровка, цифровая неметрическая камера, изображение звездного неба, каталог звезд.

CALIBRATION OF DIGITAL NON METRIC CAMERA ON THE IMAGES OF THE STAR SKY

Vyacheslav N. Nikitin

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph.D., Assoc. Prof. of department of photogrammetry and remote sensing SSGA, tel. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Tatiana V. Nikolaeva

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a master of science of department of cadastral SSGA, tel. (923)129-64-95, e-mail: makarovo2010@yandex.ru

This article presents the description of a simple and universal method for calibration of digital cameras. The main idea is to use the angular positions of the stars. High accuracy is achieved by the relevant directories and low natural mobility of the stars. As a source of data used a star catalogue and a single image of the star sky.

Key words: calibration, digital non metric camera, the image of the star sky, catalogue of stars.

На сегодняшний день большое количество аэрогеодезических предприятий развивают идею использования бытовых камер для получения пространственных данных. Компактность, оперативность, мобильность и доступность - вот основные предпосылки использования неметрических цифровых камер для измерительных целей. Исходя из этого, актуальной как никогда, является задача

калибровки камеры, т.е. определение её элементов внутреннего ориентирования и параметров дисторсии.

Если раньше калибровка АФА осуществлялась, как правило, путем съемки специализированного полигона, то в настоящее время однозначного варианта калибровки нет. На данный момент можно столкнуться с пугающим разнообразием применяемых тест-объектов, методик получения данных, а также используемых программных продуктов для обработки. В любом случае их можно свести к двум группам методов: с использованием твердых опорных данных и без их использования [1].

Калибровка снимков с использованием твердых опорных данных надежна, но не всегда возможна. Метод обеспечивает высокую точность результатов, но создание полигонов для его реализации является сложным, дорогим и продолжительным процессом. Поэтому этот способ имеет ограниченное применение.

Метод без использования твердых опорных данных позволяет определять параметры центральной проекции без опорных данных. Этот метод не требует создания измерительного полигона, определения координат большого числа точек и постоянного обновления наружных знаков. Но метод эффективен только при строгом соблюдении геометрических условий, а также, предположительно, не обеспечивает достаточной точности определения параметров калибровки.

Известны способы калибровки аэрофотографической системы с использованием снимков звезд. Преимущества этого метода – в простоте реализации, в отсутствии необходимости дополнительного оборудования. Широкое освещение этот метод получил за рубежом. Так в 1974 Шмид [2] осуществил калибровку объектива, звездным методом, определив по фотопластинке вручную более 2400 звезд.

Австрийские ученые предлагают свой метод звездной калибровки [3]. В своей работе они показывают, что в процессе калибровки основные причины смещения звезд (суточное движение, годовое смещение, рефракция) являются незначительными (<1 пикселя) и могут не учитываться. При этом регистрироваться в процессе фотографирования цифровым фотоаппаратом могут звезды до 20-й звездной величины включительно. Особенностью алгоритма является автоматическое выделение звезд на снимке с помощью цифровой обработки и автоматическая их идентификация.

Для подтверждения работоспособности методики калибровки неметрического цифрового фотоаппарата по снимкам звездного неба был проведен эксперимент по получению и обработке снимков звездного неба в условиях г. Новосибирска.

Съемка звездного неба проводилась 20 мая 2012 года. К особенностям съемки можно отнести то, что она осуществлялась за пределами городской территории (около 10 км от города Новосибирска), за счет чего удалось минимизировать засветку небосклона городскими осветительными системами. Необходимо также отметить, что сложились благоприятные погодные условия. Днем

прошел дождь, к вечеру небо прояснилось и температура понизилась до 10°C , состояние атмосферы можно было оценить как идеальное, ветер отсутствовал.

В качестве еще одной особенности отметим, что съемка проводилась в направлении на северо – запад (от города). Из аппаратуры использовалась цифровая камера Sony NEX-5 и штатив [4].

Для данного метода калибровки из 30 снимков звездного неба был выбран один, который полностью смог удовлетворить предъявляемым требованиям (не засвечен, не зашумлен, четко различимы звезды, отсутствует смаз изображения, равномерное распределение звезд по всему полю снимка).

На первом этапе с изображения были удалены шум и помехи. Фильтрация проводилась в программном продукте Adobe Photoshop. С помощью инструментов Изображение – Коррекция – Характеристические кривые был установлен порог фильтрации 20. После визуальной оценки результата было принято решение об использовании его в дальнейшей обработке. Благодаря этому процессу было достигнуто улучшение качества изображения.

Распознавание точек осуществлялось с помощью программного продукта Stellarium [5]. Он отображает небо таким, каким мы видим его невооружённым глазом в бинокль или телескоп. Для этого необходимо ввести координаты своего местоположения, а также дату наблюдений.

Маркировка точек на снимке осуществлялась в программном продукте MonoSDS. Программа MonoSDS разработана доцентом кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, кандидатом технических наук Никитиным В.Н.

Название каждой точки на снимке должно соответствовать наименованию звезд в ПП Stellarium. В результате проделанной работы были опознаны и замаркированы самые яркие звезды, принадлежащие таким созвездиям, как Большая Медведица, Малая Медведица, Дракон, Цефей, Кассиопея.

Внешний вид окна программы представлен на рис. 1.

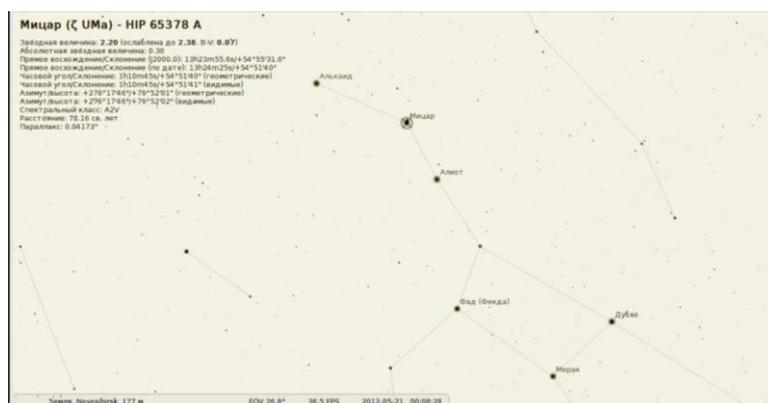


Рис. 1. Окно Stellarium

Для дальнейшей обработки использовался каталог ярких звезд на май 2012, в котором, как и в Stellarium, содержится вся основная информация о звездах [6]. Данный каталог послужил источником опорных данных, а именно таких параметров звезд, как прямое восхождение и склонение. Эти значения были пересчитаны в прямоугольную систему координат.

Обработка данных производилась в программном продукте Equilibrium. В качестве главного геометрического условия для калибровки цифрового фотоаппарата по снимкам звездного неба использовалось условие коллинеарности. Схема вычисления показана на рис. 2.

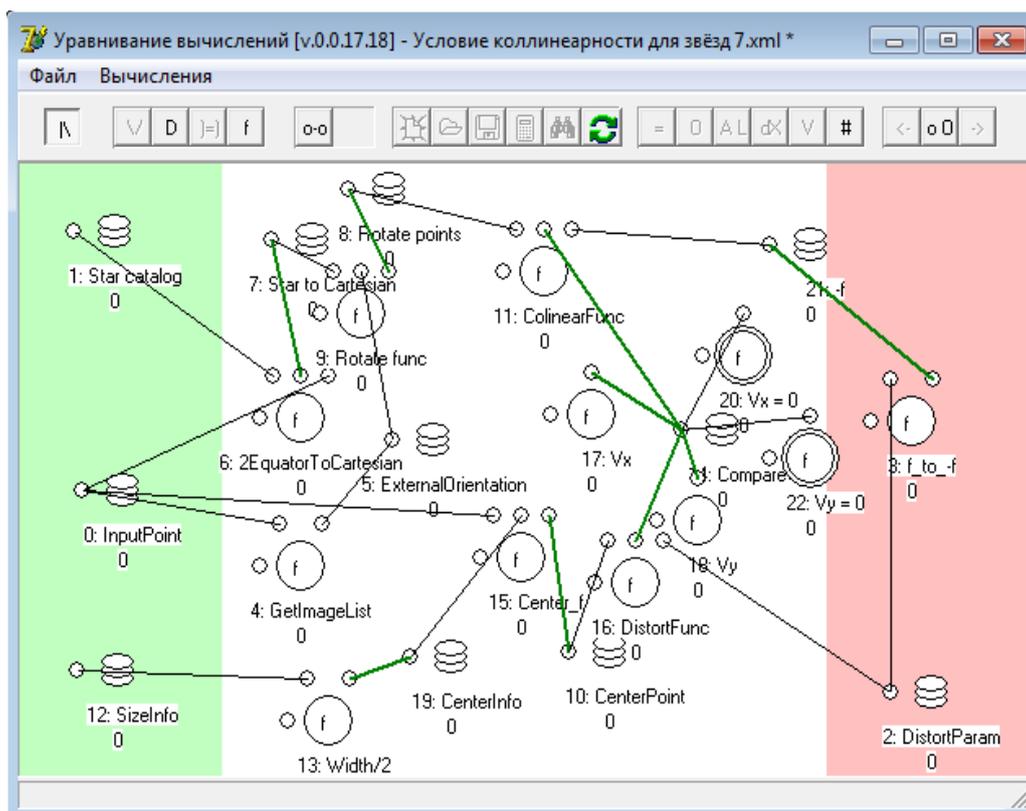


Рис. 2. Схема вычисления

При обработке результатов была принята модель дисторсии, принятая в ПП Photomod. Результаты калибровки представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты калибровки

Модель камеры	Формат изображения, pix	Радиальная дисторсия	Децентрация объектива	Координаты главной точки, pix	Фокальное расстояние, pix	Число измерений	Ошибка единицы веса, μ , pix
Sony-NEX-5, объектив Sel-16F28	4295*3056	-7.870138e-9 1.308415e-15 -2.182302e-23	-1.73021e-7 5.30925e-8	-16.811595 2.356136	3113.7170	59	0.31

По итогам выполнения данной работы можно сформулировать несколько проблем данного метода. В наших широтах очень редко складываются подходящие условия для фотографирования звездного неба: на результат могут повлиять задымленность атмосферы, неустойчивость воздушных потоков, облачность, засветка от Луны и г. Новосибирска.

Результаты калибровки цифровой камеры Sony NEX5 использовались при обработке материалов крупномасштабной аэрофотосъемки в ПП Photomod [7]. Методика работоспособна, но требует учета климатических особенностей местности.

В качестве дальнейшего совершенствования метода калибровки цифровых камер по снимку звездного неба необходимо автоматизировать процесс маркирования и идентификации звезд на снимке и автоматически определять поправку за рефракцию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Дубиновский, В. Б. Калибровка снимков [текст] / В. Б. Дубиновский. - М.: Недра, 1982. – 224 с.
- 2 Н.Н. Schmid, Stellar calibration of the orbigon lens, Photogrammetric Engineering, 40(1), pp 101-111,1974
- 3 A. Klaus, J. Bauer, K. Karner, P. Elbischger, R. Perko, H. Bischof, "Camera Calibration from a Single Night Sky Image," IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2004.
- 4 Описание цифровой камеры Sony-NEX-5 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://club.dns-shop.ru/rude-move/blog/Sony-NEX-5NK-компактная-камера-зеркального-качества/>
- 5 Домашний планетарий Stellarium [Электронный ресурс]– Режим доступа: <http://www.stellarium.org/ru/>
- 6 Каталог ярких звезд [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://asa.usno.navy.mil/SecN/BrightStars.html>
- 7 Никитин В.Н., Семенцов А.В. Опыт построения ортофотоплана по данным крупномасштабной аэрофотосъемки, выполненной с использованием неметрической цифровой камеры./ Сб.материалов IX Международного научного конгресса «ГЕО-СИБИРЬ-2013». Новосибирск: СГГА
- 8 Никитин В.Н., Семенцов А.В. Использование дополнительных геометрических условий при решении геодезических и фотограмметрических задач./ Вестник Сибирской государственной геодезической академии. 2012. № 4. С. 41-46.
- 9 Ессин, А.С., Ессин С.С. Разработка методики пространственной фотограмметрической обработки материалов цифровой аэрофотосъемки, полученной с беспелотного летательного аппарата. [текст] /Сб. материалов науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2007», Т. 3. - Новосибирск: СГГА, 2007. -С. 48-52.
- 10 Ессин А.С., Ессин С.С. Технология фотограмметрической обработки аэрофотоснимков, полученных с БПЛА, в целях создания ортофотопланов [текст] /Сб. материалов науч. конгр. «ГЕО–Сибирь - .2009», Т. 4. № 1. Новосибирск: СГГА, 2009.- С. 72-75.

© В.Н. Никитин, Т.В. Николаева, 2013

ОПЫТ ПОСТРОЕНИЯ ОРТОФОТОПЛАНА ПО ДАННЫМ КРУПНОМАСШТАБНОЙ АЭРОФОТОСЪЁМКИ, ВЫПОЛНЕННОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕМЕТРИЧЕСКОЙ ЦИФРОВОЙ КАМЕРЫ

Вячеслав Николаевич Никитин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА, тел. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Андрей Владимирович Семенов

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА, тел. (960)779-06-79, e-mail: andsemencov@mail.ru

Современные цифровые фотограмметрические станции позволяют отходить от требований классической фотограмметрии (предельный угол наклона снимков, использование неметрических камер и прочее), однако при обработке данных аэрофотосъёмки это может привести к снижению точности создаваемой картографической продукции.

В статье описана схожая ситуация, возникшая при обработке данных крупномасштабной аэрофотосъёмки.

Ключевые слова: крупномасштабная аэрофотосъёмка, неметрическая камера, калибровка, ортофотоплан.

EXPERIENCE OF ORTHOPHOTO CONSTRUCTION BY LARGE-SCALE AERIAL PHOTOGRAPHS TAKEN WITH NONMETRIC DIGITAL CAMERA

Vyacheslav N. Nikitin

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph.D., Assoc. Prof. of department of photogrammetry and remote sensing SSGA, tel. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Andrey V. Sementsov

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a post-graduate student of department of photogrammetry and remote sensing SSGA, tel. (960)779-06-79, e-mail: andsemencov@mail.ru

Modern digital photogrammetric stations allow giving up the requirements of the classical photogrammetry (limiting angle of snapshots, use of non-metric cameras, etc). However, this may cause decrease of generated map products accuracy when processing aerial surveys data.

The article describes a similar situation occurred while processing large-scale aerial survey data.

Key words: large-scale aerial survey, nonmetric camera, calibration, orthophoto.

В последние годы все чаще находят своё применение крупномасштабная аэрофотосъёмка и картографирование малых объектов. Это связано с высокой оперативностью съёмочных работ и малыми финансовыми затратами на приоб-

речение и обслуживание аэрофотосъёмочных средств в отличие от классической аэрофотосъёмки.

Однако обработка таких данных может быть сопряжена с определёнными трудностями. С примером случая такой обработки предлагаю ознакомиться ниже.

Аэрофотосъёмка проводилась 8 апреля 2012 года на территории близ о.п. Паровозный (Новосибирская область, Тогучинский район). Область съёмки представляет собой заселённую равнинную местность с небольшими перепадами высот. На снимках отобразились дачные участки, фрагмент реки Иня, а также прилегающий луг и лес.

В качестве съёмочной системы была использована неметрическая камера Sony NEX-5, обладающая КМОП - матрицей с размером сенсора 23.4 x 15.6 мм и 14.2 млн. эффективных пикселей. Во время съёмки использовался объектив SEL-16F28 с фокусным расстоянием 16 мм и настройкой фокусировки на бесконечность.

Полёт осуществлялся на вертолёте Ми-8 на высоте до 500 м. Камера была установлена в кабине пилота (рис. 1.а). Для устранения вибрации была подготовлена демпферная установка из поролона (50 мм толщиной), закреплённого на основании из фанеры (рис. 1.б). Угол наклона камеры относительно горизонтального положения составил порядка 20 °.



Рис. 1.: а) размещение камеры в вертолёте; б) демпферная установка

В процессе аэрофотосъёмки было получено 52 снимка на заданную территорию (один маршрут) с перекрытием 85-90%. Из обработки были исключены по 6 крайних снимков в начале и конце маршрута (одна из причин – использование Lite-версии программы Photomod, не позволяющей обрабатывать более 40 изображений в одном проекте). Стоит отметить, что для построения фото-триангуляции достаточно выдержать продольное перекрытие снимков 56%.

Снимки были получены в форматах RAW и JPEG размером 4592×3056 пикселей.

Измерение координат опорных точек производилось 18 октября 2012 года при помощи ГНСС приёмников Leica Viva GS10 относительным методом спутникового позиционирования. Базовая станция устанавливалась в непосредственной близости к участку проведения работ (около двух километров).

Основные проблемы, с которыми мы столкнулись при определении координат опорных точек, заключались в том, что эти точки не были замаркированы перед аэрофотосъёмкой, и измерение координат точек выполнялось в другое время года. Ещё одна сложность состояла в том, что реальное разрешение изображений составило 30-40 см на местности, что затруднило идентификацию мелких объектов, которые могли бы быть использованы в качестве опорных точек.

С учётом вышеперечисленных сложностей были измерены планово-высотные координаты пяти точек и высота шестой точки (плановое положение которой не удалось достоверно идентифицировать).

Обработка материалов выполнялась посредством цифровой фотограмметрической станции Photomod 5.21 Lite [1],[2]. Для повышения надёжности уравнивания при взаимном ориентировании снимков было измерено порядка 35 точек на каждую стереопару маршрута (всего были измерены координаты 390 уникальных точек).

Среднеквадратическое отклонение (СКО) определения плановых координат связующих точек на снимках после уравнивания свободной модели составило 7,2 пикс.

Основной причиной таких значительных невязок в полученных результатах явилась дисторсия объектива. Учитывая наклонное расположение камеры в момент съёмки, дисторсия объектива оказала большее влияние на точность измерений в областях левого верхнего и правого верхнего углов снимка.

На рисунке 2 показан пример трансформирования наклонного снимка при построении ортофотоплана.

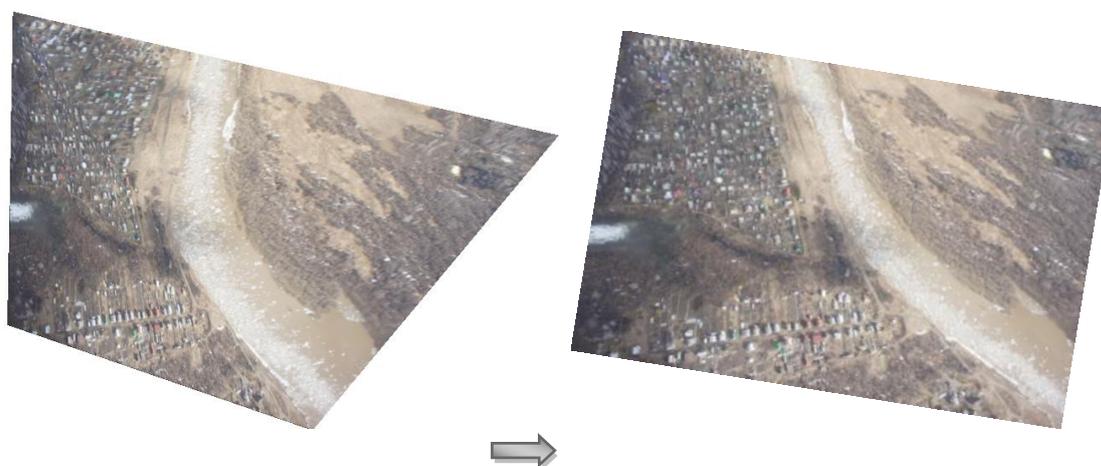


Рис. 2: а) исходное изображение; б) преобразованное изображение

Чтобы избавиться от столь сильного влияния дисторсии на точность измерений, в проект были введены параметры калибровки использованной нами камеры.

Калибровка камеры выполнялась 20 мая 2012 года по снимку звёздного неба [3]. Такой способ калибровки неметрической цифровой камеры обеспечивает высокую точность (среднеквадратическая ошибка единицы веса составила 0,31 пикс.) при небольших затратах времени и средств, однако сильно зависит от условий калибровки, таких как: место и время съёмки, погодные условия и т.д. Стоит отметить, что условия фотографирования в данном способе калибровки соответствует реальной съёмке – для фотографирования звёзд, как и для аэрофотосъёмки, камера фокусируется на бесконечность. Для обработки данных и нахождения параметров калибровки использовались программы MonoSDS и Equilibrium, разработанные к.т.н., доцентом кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования Никитиным В.Н.

После подключения параметров калибровки значение СКО определения плановых координат связующих точек на снимках сократилось в 3,6 раз, и в результате уравнивания свободной модели составило 2 пикс.

Далее выполнялось измерение координат опорных точек на снимках. После уравнивания СКО на опорных точках составило 1,3 метра, что объясняется описанными выше сложностями при определении координат опорных точек.

После внешнего ориентирования модели проводился расчёт пикетов в автоматическом режиме с шагом 30 м (по осям координат X и Y). Фильтрация пикетов осуществлялась в ручном режиме. По полученным пикетам была построена матрица высот в виде цифровой модели рельефа (рис. 3а). СКО построения матрицы высот составило 2,2 метра.

Матрица высот использовалась при построении ортофотоплана (рис. 3б).

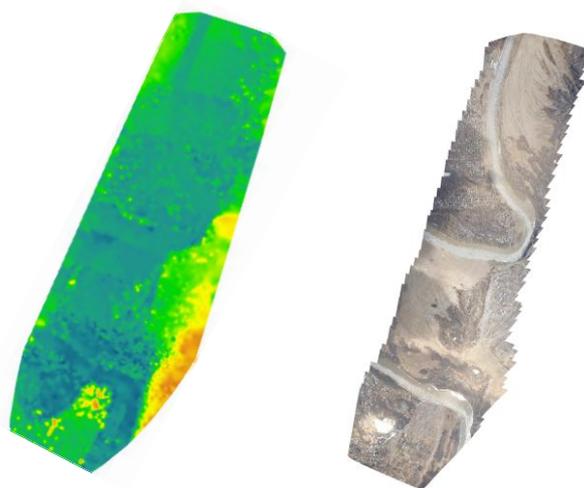


Рис. 3: а) цифровая модель рельефа; б) ортофотоплан

Таким образом, был получен практический опыт выполнения крупномасштабной аэрофотосъемки и её фотограмметрической обработки. Апробирован метод калибровки цифрового фотоаппарата по снимкам звёздного неба. По результатам создания плано-высотной опорной сети сделан вывод о необходимости предварительной маркировки опорных точек, поскольку спутниковый приёмник следует устанавливать на открытом пространстве во избежание экранирования объектами местности приёма спутниковых сигналов, что в данных условиях соответствует малоконтурной местности.

Полученные практические навыки несомненно будут использованы в дальнейшем для планирования аэрофотосъёмочных и полевых работ, а так же при обработке материалов крупномасштабной аэрофотосъёмки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Официальный сайт компании «Ракурс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/>
2. Рекомендации по контролю точности на различных этапах фотограмметрической обработки в системе Photomod. – М.: Ракурс, 2012. – 12 с.
3. Никитин В.Н., Николаева Т.В. Калибровка цифровой неметрической камеры по снимкам звёздного неба [Текст] / Сб. материалов научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2013». Новосибирск: СГГА, 2013.
4. Пошивайло Я.Г. Применение цифровых неметрических камер для целей крупномасштабного картографирования [Текст] / Сб. материалов научного конгресса «ГЕО-Сибирь - 2005», Т. 4, - Новосибирск: СГГА, 2005.- С: 125-128.
5. Ессин, А.С., Ессин С.С. Разработка методики пространственной фотограмметрической обработки материалов цифровой аэрофотосъемки, полученной с беспелотного летательного аппарата [Текст] /Сб. материалов научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», Т. 3. - Новосибирск: СГГА, 2007. -С. 48-52.
6. Ессин А.С., Ессин С.С. Технология фотограмметрической обработки аэрофотоснимков, полученных с БПЛА, в целях создания ортофотопланов [Текст] /Сб. материалов научного конгресса «ГЕО–Сибирь -2009», Т. 4. № 1. Новосибирск: СГГА, 2009.- С. 72-75.

© В.Н. Никитин, А.В. Семенцов, 2013

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЦИФРОВЫХ СРЕДНЕ- И МАЛОФОРМАТНЫХ КАМЕР ДЛЯ АЭРОФОТОСЪЕМКИ

Иван Тимофеевич Антипов

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кафедра фотограмметрии и дистанционного зондирования, доктор технических наук, профессор, тел. (913)900-3863, e-mail: antipov@online.nsk.su

Елена Александровна Кобзева

ООО «Технология 2000», 620142, Россия, г. Екатеринбург, ул. Чапаева 7, корпус Л, офис 106, главный инженер, канд. техн. наук, тел. 8-912-286-0147, e-mail kobzeva@tech-2000.ru

В статье обобщены результаты исследований точности сетей фототриангуляции, построенных по снимкам цифровых камер с уменьшенными относительно традиционных форматами кадра. Показана принципиальная возможность использовать такие камеры в производственной практике обычных фотограмметрических работ.

Ключевые слова: цифровая камера, размер кадра, форма кадра, ориентировка кадра относительно оси маршрута.

ABOUT APPLICATION OF DIGITAL CAMERAS WITH SMALL OR MEDIUM FRAMES FOR AERIAL PHOTOGRAPHY

Ivan T. Antipov

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Professor, doctor of science, Department of Photogrammetry and Remote sensing, tel. (913)900-3863, e-mail: antipov@online.nsk.su

Elena A. Kobseva

SLR "Technology-2000", Russian Federation, 620142, Russia, Ekaterinburg, Chapaev st. 7, korp. L, office 106, Candidate of science (Ph), chief engineer, tel. (912)286-0147, e-mail kobzeva@tech-2000.ru

In article results of researches of accuracy of phototriangulation are generalized with reference to digital photo cameras that have frames reduced in comparison with traditional aerial cameras. Basic possibility is shown to use such cameras for a conventional practice of photogrammetric tasks.

Key words: digital camera, picture size, configuration of frame, orientation relatively to the strip axis.

Известно, что своим становлением и развитием, как научной дисциплины с широчайшей областью практического применения, фотограмметрия обязана фотографии. Именно с изобретением последней появились возможности для точной фиксации изображения местности и ее объектов, а также для сохранения этих изображений и измерения их с последующим преобразованием в продукцию, необходимую во многих отраслях знаний. Качество такой продукции во многом определяется геометрическими свойствами фотокамер, используе-

мых для получения снимков. Поэтому разработкой и выпуском фотокамер для аэрофотосъемки быстро заинтересовались ведущие приборостроительные фирмы оптико-механического профиля. При этом быстро сформировались единые требования к параметрам камер, исходя из стремления обеспечить высокую точность изображения и, по возможности, широкий угол охвата местности. Естественно, что форматы фотоснимков координировались с другими фотограмметрическими приборами. В итоге стандартной стала квадратная форма кадра со стороной 18, 24 или 30 см.

Целое столетие фиксация изображений, полученных в камере оптическим путем, осуществлялась на фотоэмульсионном слое. Но развитие науки, появление электронных вычислительных машин, а также искусственных спутников, непрерывно фотографирующих земную поверхность, потребовали найти иное решение для фиксации изображения. Появились устройства с зарядовой памятью, элементами которых служат светочувствительные пиксели, образующие регулярную прямоугольную матрицу. В пикселях запоминается цвет и яркость изображения, а затем состояние пикселей передается в запоминающее устройство. В продаже появились малоформатные цифровые камеры, быстро получившие признание и распространение в широких кругах населения.

Специалисты, работавшие в области фотограмметрии, ожидали, что вскоре матрицы с зарядовой памятью заменят фотопленку и в традиционных аэрофотоаппаратах. Однако дело оказалось не простым. Возникли трудности с изготовлением больших матриц и быстрым снятием с них электрических сигналов. Пока что эти трудности преодолеть не удалось. Остается выразить надежду, что вскоре проблема будет все же решена.

Тем не менее, к настоящему времени выпуск традиционных пленочных аэрофотокамер практически повсеместно прекращен. На технической выставке, сопровождавшей последний конгресс Международного общества фотограмметрии и дистанционного зондирования (г. Мельбурн, август 2012 года), были представлены только кадровые съемочные системы, в которых изображение местности фиксируется в цифровом виде на матрицах с зарядовой памятью. Во всех случаях матрицы имеют форму небольших прямоугольников (порядка 40x70 мм). Проблема увеличения площади охвата решена двояко. В одном варианте осуществляется сканирование местности единственной камерой, качающейся поперек линии полета. В другом – в систему включено несколько небольших цифровых камер. У одной из них оптическая ось направлена вниз, а у прочих оси отклонены в стороны на постоянные углы. По сути дела, в этом варианте реанимирована старая идея панорамных камер.

По размеру матрицы цифровые камеры подразделяются на крупноформатные, среднеформатные и малоформатные. Каждая группа предназначена для решения определенной группы задач. Крупноформатные – для съемки обширных территорий в несколько сотен и тысяч квадратных километров, среднеформатные – для съемки некрупных населенных пунктов, линейных объектов (линий электропередач, трубопроводов, автодорог). Малоформатные камеры используются для съемки отдельных объектов местности (карьеров, промыш-

ленных площадок и пр.) и, как правило, устанавливаются на беспилотных летательных аппаратах.

Для выполнения небольших аэросъемочных проектов в ООО «Технология 2000» была приобретена среднеформатная цифровая камера Hasselblad H4D. Данная камера нетопографическая. Следовательно, для фотограмметрической обработки снимков необходимо было выполнить калибровку камеры, которая была проведена в камеральных и полевых условиях.

За период 2009-2012 гг. с помощью камеры Hasselblad H4D выполнена аэрофотосъемка более 110 объектов. Полученные снимки использованы для создания ортофотопланов и цифровых топографических планов масштабов 1:2000 – 1:5000. Обработка снимков выполнена по традиционной технологии на ЦФС Photomod. Однако отсутствие достаточного количества научных исследований и нормативной базы оставляют «белые пятна» в использовании цифровых камер.

В частности, в отличие от аналоговых фотоаппаратов, цифровые камеры имеют прямоугольную форму. Как оптимально ориентировать камеру относительно линии полета: длинной стороной вдоль или поперек маршрута?

Любой специалист в области фотограмметрии твердо знает, что ошибка определения превышений δh по паре перекрывающихся снимков выражается простой формулой

$$\delta h = \frac{H}{b} \delta p, \quad (1)$$

аргументы которой не нуждаются в пояснениях. Ясно, что при традиционном продольном перекрытии снимков в 60% длинную сторону кадра целесообразно устанавливать параллельно оси маршрута.

Но формула (1) не дает полного ответа на вопрос о возможном соотношении достижимых точностей при той или ориентировке кадра. Фотограмметрическая обработка снимков включает в себя множество технологических процессов, точность которых зависит от геометрических размеров снимка. Например, ошибки определения элементов взаимного ориентирования m характеризуются формулами типа

$$m = m_q \sqrt{Q},$$

где m_q - погрешность измерения поперечных параллаксов, а Q - весовые коэффициенты. Значения весовых коэффициентов можно позаимствовать в монографии [1]. При размещении ориентировочных точек в стандартных зонах стереопары названные коэффициенты имеют следующий вид.

$$\text{Для взаимного продольного угла: } Q_{\alpha\alpha} = \frac{f^2}{b^2 y^2}. \quad (2a)$$

$$\text{Для взаимного поперечного угла: } Q_{\omega\omega} = \frac{3f^2}{4y^4}. \quad (2b)$$

$$\text{Для взаимного угла разворота снимков: } Q_{\kappa\kappa} = \frac{2}{3b^2}. \quad (2c)$$

$$\text{Для азимута базиса фотографирования: } Q_{\tau\tau} = \frac{(3f^2 + 2y^2)^2 + 4y^4}{12b^2y^4}. \quad (2d)$$

$$\text{Для наклона базиса фотографирования: } Q_{\nu\nu} = \frac{f^2}{2b^2y^2}. \quad (2e)$$

Поскольку в приведенные выражения входят величины базиса фотографирования в масштабе снимков b и ордината боковых стандартных зон y , то нетрудно заключить, что точность взаимного ориентирования снимков стереопары при разном положении длинной стороны прямоугольного кадра относительно оси маршрута будет существенно различаться.

Естественно, что ошибки взаимного ориентирования снимков приводят к деформации созданной по снимкам стереоскопической модели. При выборе в каждой стандартной зоне только по одной точке, среднеквадратическое значение деформации в углах пары по высоте в масштабе снимков будет равно

$$m_{h(def)} = m_q \sqrt{\frac{17 f^2}{16 y^2} + \frac{3 f^2 b^2}{4 y^4} + \frac{2 f^2}{3 b^2}}. \quad (3)$$

Как видим, отдельные слагаемые подкоренного выражения в формуле (3) реагируют либо на b , либо на y , либо на оба эти аргумента. Расчеты показывают, что при $f = 100$ мм сокращение на треть одной стороны типичного для нашей страны квадратного кадра размером 18x18 см увеличивает деформацию на 10%, если $y > b$, или 33% при $b > y$. Этот результат может показаться несколько неожиданным, но он лишь подчеркивает существование множества факторов, влияющих на результаты обработки снимков. Поэтому однозначный ответ на вопрос об оптимальном положении длинной стороны кадра формула (3) не дает. Отметим, например, что помимо деформации, общей для всей площади стереоскопической модели, на точность определения каждой конкретной точки модели окажут свое влияние и ошибки измерения координат именно этой точки снимков. По высоте эти ошибки выразятся формулой (1).

Непременным технологическим процессом при обработке снимков является сгущение рабочего обоснования. Обычно оно осуществляется посредством пространственной аналитической фототриангуляции. В ходе последней отдельные снимки и стереопары объединяются в общее построение, а затем вся совокупность данных уравнивается в соответствии с требованиями способа наименьших квадратов. Общие закономерности накопления ошибок в фототриангуляционной сети в принципе известны, однако в фотограмметрической литературе обычно приводятся лишь окончательные формулы, дающие только ожидаемую точность маршрутной сети в наиболее слабом месте ее и, к тому же, лишь применительно к квадратному кадру. Но промежуточные формулы более красноречивы [2]. В них всегда присутствуют:

- весовые коэффициенты, характеризующие точность взаимного ориентирования снимков, некоторые из которых (квадратичные) представлены в формулах (2а, ... 2е);

- весовой Q_{bb} и корреляционный r_{bb} коэффициенты, выражающие погрешности приведения последующей стереопары к масштабу предыдущей.

Все названные коэффициенты обязательно зависят как от базиса фотографирования в масштабе снимков b , так и от ординат боковых стандартных точек y . Это доказывает непосредственное влияние формы и размера снимков на точность фототриангуляционной сети.

Численно выявить, проследить зависимость точности от типа кадра можно лишь в специально поставленном эксперименте, который и был организован по математическим макетам местности и снимков.

На местности намечались участки, точки на которых размещались как бы в вершинах прямоугольной сетки. Элементарный, базовый по площади участок содержал n рядов и n колонок точек, причем $n=13$. Прочие участки формировались как бы повторением базового участка по осям координат X и Y , причем коэффициент повторения равен 2, 3, 4 или 5. Поэтому на максимальном по размерам участке местности число рядов и колонок точек составляло $n+4(n-1)=61$.

Фотосъемка всех участков выполнена разными камерами, имеющими одинаковое фокусное расстояние. У одной из них кадр квадратный, а двух других – прямоугольный. Условные номера камер – 1616, 1609 и 0916, причем первая пара цифр в номерах показывает в сантиметрах размер стороны кадра, ориентированной вдоль оси маршрутов, а вторая пара – то же поперек маршрутов. Кроме того, для большего контраста расчеты сделаны для четвертой камеры 0909, обе стороны кадра которой сокращены.

Аэросъемочные маршруты проложены вдоль параллелей. Для аэрофото съемки во всех случаях принята одна и та же высота фотографирования. причем каждый участок заснят с поперечным перекрытием 20 и 60 процентов. Масштаб фотографирования выбран так, чтобы по короткой стороне кадра изображались 5 точек местности, а по длинной – 7.

Опорные точки на базовом участке размещены по двум схемам. В первой схеме (А) по 4 опознака имелось в левой и правой колонках точек. Эти опознаки как бы формировали три прямоугольника в центре каждого из которых размещался еще один опознак. Во второй схеме (В) дополнительных опознаков в центре прямоугольников не было. На крупных участках базовая схема размещения опознаков повторялась, так что плотность опоры на каждом локальном участке любого блока всегда была одинакова. Отметим, что схема В при фотографировании камерами 0916 и 0909 с поперечным перекрытием 60% не обеспечивала все четные маршруты данными для независимого горизонтирования, поэтому уравнивание блочной сети было здесь единственным возможным вариантом общей технологической схемы процесса обработки снимков.

Таким образом, в эксперименте смоделированы, обработаны, и проанализированы 80 фототриангуляционных блоков (5 участков, 4 аэрокамеры, 2 варианта поперечного перекрытия и 2 схемы геодезического обоснования).

Расчет макетов, пространственное фототриангулирование и оценка точности уравненных сетей выполнены посредством программ, входящих в систему РНОТОСОМ. Полная характеристика множества полученных протоколов обработки и анализ большого обилия содержащихся в них данных могут стать предметом специальной статьи. Здесь же авторы ограничиваются лишь представлением в таблице 1 среднеквадратических ошибок координат точек уравненных блоков. В таблице символом q обозначена колонка, характеризующая величину поперечного перекрытия снимков. Таблица однозначно свидетельствует, что при прочих равных условиях размер и форма прикладной рамки оказывают большое влияние на точность сгущения. При этом такое влияние на плановые координаты и высоты точек не одинаково.

Таблица 1

Среднеквадратические ошибки координат точек местности для уравненных блоков (м)

Номер камеры	Q	Ось	Схема геодезического обоснования А					Схема геодезического обоснования В				
			Размер блока (в точках местности)					Размер блока (в точках местности)				
			13x13	25x25	37x37	49x49	61x61	13x13	25x25	37x37	49x49	61x61
0916	60%	X	0.102	0.099	0.077	0.072	0.070	0.103	0.102	0.075	0.073	0.061
		Y	0.102	0.090	0.086	0.075	0.080	0.106	0.083	0.077	0.074	0.064
		Z	0.147	0.228	0.140	0.132	0.136	0.159	0.270	0.143	0.135	0.117
	20%	X	0.140	0.155	0.108	0.107	0.099	0.121	0.158	0.115	0.105	0.103
		Y	0.129	0.102	0.110	0.110	0.118	0.112	0.100	0.110	0.110	0.111
		Z	0.194	0.307	0.176	0.171	0.174	0.155	0.315	0.174	0.171	0.167
1609	60%	X	0.081	0.104	0.068	0.068	0.068	0.084	0.094	0.071	0.068	0.070
		Y	0.080	0.075	0.075	0.076	0.074	0.081	0.076	0.075	0.076	0.073
		Z	0.130	0.219	0.127	0.122	0.125	0.136	0.191	0.129	0.122	0.130
	20%	X	0.123	0.131	0.099	0.097	0.099	0.121	0.129	0.098	0.105	0.095
		Y	0.117	0.096	0.113	0.105	0.101	0.110	0.099	0.115	0.110	0.103
		Z	0.155	0.264	0.149	0.156	0.148	0.206	0.274	0.162	0.171	0.158
1616	60%	X	0.105	0.109	0.070	0.069	0.067	0.089	0.122	0.075	0.071	0.068
		Y	0.100	0.081	0.075	0.072	0.074	0.089	0.087	0.079	0.075	0.075
		Z	0.143	0.236	0.135	0.129	0.120	0.140	0.229	0.133	0.133	0.128
	20%	X	0.150	0.154	0.101	0.099	0.074	0.163	0.155	0.103	0.099	0.101
		Y	0.119	0.097	0.103	0.116	0.081	0.129	0.108	0.102	0.116	0.107
		Z	0.174	0.298	0.144	0.162	0.133	0.186	0.288	0.154	0.162	0.165
0909	60%	X	0.098	0.080	0.091	0.103	0.092	0.090	0.090	0.082	0.083	0.089
		Y	0.078	0.086	0.092	0.097	0.087	0.084	0.079	0.093	0.091	0.089
		Z	0.311	0.238	0.256	0.247	0.235	0.295	0.368	0.275	0.293	0.321
	20%	X	0.121	0.123	0.131	0.124	0.130	0.124	0.111	0.112	0.113	0.122
		Y	0.103	0.113	0.107	0.121	0.112	0.105	0.103	0.114	0.109	0.120
		Z	0.271	0.293	0.313	0.306	0.313	0.317	0.322	0.395	0.363	0.379

Сопоставим строки, относящиеся к полноформатной камере 1616 и камере 1609 с сокращенной по оси ординат прикладной рамке. Различие между соответствующими значениями не превосходит нескольких процентов, причем не всегда преимущество принадлежит какой-то одной камере. Здесь, видимо, про-

являются два фактора. Во-первых, индивидуальное распределение ошибок исходных данных, в целом смоделированных по законам нормального распределения. Во-вторых, различие в зонах местности, суммарно охватываемых зонами поперечного перекрытия и, следовательно – в проценте точек местности, на которых пересекается не 2-3, а 4-6 или больше проектирующих лучей.

Из сравнения строк, принадлежащих камерам 1609 и 0916, явно вытекает преимущество первой из этой пары. Следовательно, если приходится применить фотокамеру с прямоугольной прикладной рамкой, то длинную сторону кадра следует располагать вдоль маршрута. Но если целью работ является изготовление фотоплана, то можно допустить любую ориентировку камеры.

Ясно также, что из пары камер для практического применения следует предпочесть ту, у которой площадь прикладной рамки больше. Об этом убедительно свидетельствуют данные для камер 1616 и 0909.

Сравнение результатов, полученных при поперечном перекрытии 60 и 20 процентов, показало, что первый вариант, хотя и существенно увеличивает объем работ, но всегда заметно повышает точность сгущения. Если результатом работ являются высоты точек местности, то всегда следует предпочитать большее поперечное перекрытие.

Давно известно, что надежность результатов, полученных из уравнивания по методу наименьших квадратов, зависит от объема совместно обрабатываемых исходных данных. Применительно к фототриангуляции целесообразно по возможности увеличивать размеры блока. Таблица 1 не противоречит этому положению, что наглядно демонстрируется, например, результатами по оси X.

Наконец, из таблицы следует, что общие закономерности накопления ошибок в фототриангуляционных сетях не исключают казалось бы необъяснимых отклонений от них. Это наглядно видно из данных по оси Z блоков с размером 25x25 точек. Как указано выше, причиной может служить индивидуальный характер распределения ошибок исходных данных в этом блоке. Не исключено также существование недостатков в программе моделирования, проявившихся именно при таком размере блоков. Этот момент требует специального изучения.

Существующие цифровые камеры отличаются также по фокусному расстоянию, углам поля зрения и размерам пикселя. Изучение влияния этих аспектов может быть поставлено аналогично.

В реальных условиях при выполнении конкретных производственных работ по снимкам, полученным цифровыми любительскими фотокамерами, всегда будут возникать вопросы и сомнения по поводу фактически полученной точности конечной продукции и соответствия ее требованиям действующих инструкций. Применительно к фототриангуляции нужную помощь для правильного ответа может оказать процесс построения и уравнивания макетной сети, являющейся аналогом реальной сети. Идея такой сети высказана в монографии [1].

В ООО "Технология 2000" первый практический опыт такого контроля осуществлен для фототриангуляционного блока, построенного по снимкам среднеформатной цифровой камеры со следующими параметрами:

размер снимков 40,248 x 53,736 мм;
число пикселей 6708 x 8956;
размер пикселя 6 мкм;
фокусное расстояние 82.211 мм.

Как отмечено выше, камера прошла процедуру калибровки, результаты которой учтены в работе.

Аэрофотосъемка выполнена с высоты фотографирования 1900 м. При этом длинная сторона кадра ориентировалась поперек маршрутов. Если считать, что ошибка измерения координат точек снимков составляет половину пикселя, то формула (1) даст погрешность превышения, равную составит 0.26м.

Блок содержал 9 маршрутов длиной от 5 до 48 снимков. Количество снимков в блоке равнялось 284. Количество точек местности составило 8913, а общее число точек на всех снимках – 24872. Блок был хорошо обеспечен геодезической опорой, число опознаков – 136, из них 5 – высотные. Общее представление о блоке дает рис. 1.

Фототриангуляция первоначально выполнена посредством системы PHOTOMOD. Затем собранные в PHOTOMOD исходные данные были автоматически преобразованы к форматам, принятым в программе Photocom, и блок уравнен вторично. Отметим, что исходные данные благополучно прошли все этапы внутренних контролей, предусмотренных в программных продуктах. Так остаточные среднеквадратические ошибки координат на опорных точках в программе Photocom составили 0.24м как в плане, так и по высоте, Эта величина хорошо согласуется с указанной выше погрешностью, соответствующей формуле (1).

Уравнивание в программе Photocom осуществлялось с самокалибровкой, однако все поправки самокалибровки оказались равными нулям. Этот факт свидетельствует о высоком качестве предварительного определения элементов внутреннего ориентирования и систематических искажений для камеры и правильном учете их в системе PHOTOMOD.

Своеобразную характеристику исходного блока дает таблица 2. В ней представлено распределение остаточных погрешностей условий коллинеарности на точках снимков. В некоторых колонках этой таблицы указано по два числа. К исходному блоку относятся числа, стоящие слева. Как видим, данные этой таблицы вполне согласуются со сделанным выше предположением о точности измерения снимков, равной половине пикселя.

При моделировании блока-аналога в координаты опорных точек и в координаты точек снимков введены случайные ошибки, величины которых соответствовали остаточным погрешностям, полученным при уравнивании исходного блока в программе Photocom. Правые числа в колонках таблицы 2 показывают распределение вероятнейших поправок условий коллинеарности для уравненного блока-аналога. Как видим, общая закономерность по этому критерию для обоих блоков одинакова.

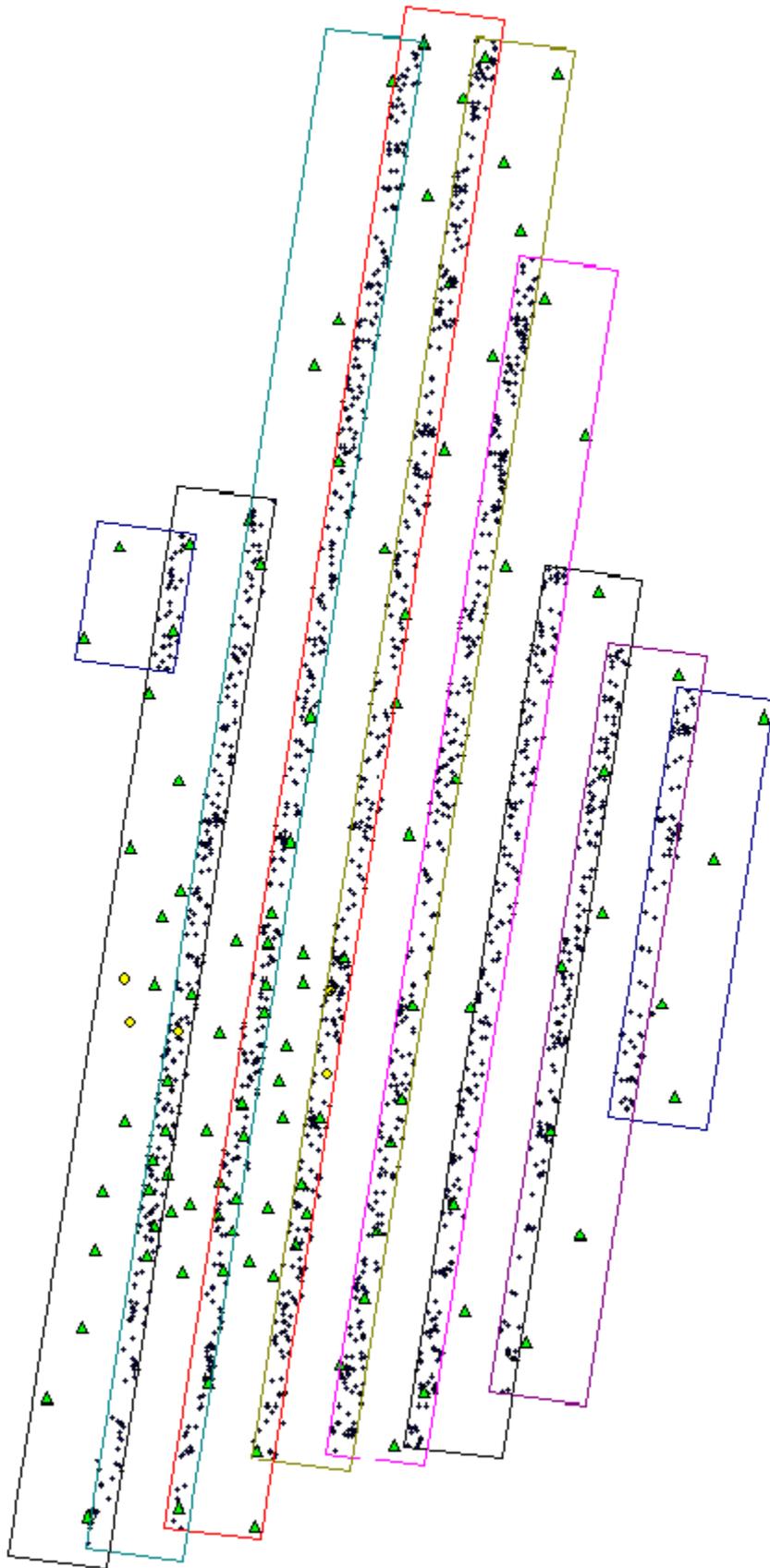


Рис. 1. Общая схема блока

Распределение вероятнейших поправок условий коллинеарности

По оси x снимка			По оси y снимка		
Интервал, Мкм	Количество	В %%	Интервал, Мкм	Количество	В %%
0-2	23164/21134	93.1/85,0	0-2	22947/21163	92.3/85.1
2-4	1392/2792	5.6/11.2	2-4	1807/3480	7.3/14.0
4-6	261/781	1.0/3.1	4-6	103/211	0.4/0.8
6-9	46/155	0.2/0.6	6-9	15/17	0.1/0.1
9-12	8/10	0.0	9-12	0/1	0.0
12-18	1/0	0.0	12-18	0/0	0.0
Свыше 18	0/0	0.0	Свыше 18	0/0	0.0
Всего	24872	100.0	Всего	24872	100.0

Усредненные величины остаточных погрешностей на опорных точках в блоке-аналоге близки к соответствующим значениям исходного блока. Сравнение координат точек местности двух уравненных блоков показывает истинную точность блока-аналога. В нашем случае среднеквадратические расхождения по осям координат X, Y и Z в метрах оказались равны 0.072, 0.081 и 0.297 соответственно. При этом 88% всех расхождений координат в плане лежат в пределах 0.1м, а по высоте 90.9% ошибок меньше 0.5м.

Поскольку блок-аналог по своей геометрии в точности повторяет исходный блок и ошибки исходных данных в обоих блоках одного порядка, то можно с большой долей вероятности предположить, что и исходный блок близок по точности к блоку-аналогу. Во всяком случае, проведенный эксперимент не дает никаких оснований сомневаться в приемлемом качестве исходного блока и пригодности его для последующих технологических процессов.

Большим достоинством блока-аналога является то, что он позволяет детально проследить качество полученных результатов в любом месте блока, любом маршруте, стереопаре, снимке или отдельной точке. Таким образом, контроль сети оказывается поистине всеохватывающим и полноценным. К тому же, слегка изменяя исходные данные, можно легко выявить грубые промахи, проследить их влияние и внести необходимые исправления. Можно также очертить зоны, в которых следовало бы разместить дополнительные точки или опознаки.

Учитывая принципиальную новизну самого факта практического применения средне- и малоформатных цифровых камер и недостаток накопленного опыта, вполне уместной следует признать рекомендацию всегда осуществлять дополнительный контроль фототриангуляции, построенной по снимкам таких камер, через блоки-аналоги.

В заключение отметим, что имеющийся практический опыт и проведенные исследования вполне допускают реальную производственную аэрофотосъемку

среднеформатной цифровой камерой, но при тщательном планировании, организации и контроле работ, обеспечивающих строгое соблюдение требований к точности окончательной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипов И.Т. Математические основы пространственной аналитической фототриангуляции/ - М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 296.
2. Антипов И.Т. О точности маршрутных цепей пространственной аналитической фототриангуляции// – Геодезия и картография. – 1974. – №5.
3. Ессин С., Костюк А. Выбор параметров аэрофотосъемки для картографирования с БПЛА. – Земельный вестник Московской области, 2012, № 7.
4. Зинченко О.Н., Елизаров А.Б. Цифровые камеры для аэрофотосъемки. Обзор моделей (декабрь, 2011) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=630>.
5. Зинченко О.Н. Цифровые камеры для топографической аэрофотосъемки. Обзор моделей (декабрь, 2012) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/?page=754>.
6. Кобзева Е.А. Опыт использования среднеформатных аэрокамер для изготовления картографической продукции на ЦФС РНОТОМОД. – Материалы семинара «Высокопроизводительная фотограмметрическая обработка данных ДЗЗ в ЦФС РНОТОМОД», г. Екатеринбург, 17-18 мая 2012 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.racurs.ru/>.
7. Ковров А.А. Новые технологии компании Microsoft Vexcel по сбору и обработке данных аэросъемки.

© И.Т. Антипов, Е.А. Кобзева, 2013

К 50-ЛЕТИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ В ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Иван Тимофеевич Антипов

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кафедра фотограмметрии и дистанционного зондирования, доктор технических наук, профессор, тел. (913)900-3863, e-mail: antipov@online.nsk.su

Василий Николаевич Бельх

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кафедра фотограмметрии и дистанционного зондирования, кандидат технических наук, доцент, тел. (913)469-1791, e-mail: belyh19291941@mail.ru

Статья содержит исторический очерк разработки и практического применения метода аналитической фототриангуляции в отечественном топографо-геодезическом производстве. Приводятся некоторые интересные события и факты, называются ведущие организации и известные специалисты, внесшие существенный вклад в теорию и технологию метода или разработку программного обеспечения.

Ключевые слова: фототриангуляция, аналитический метод, программное обеспечение, геодезическое обоснование, труднодоступные районы.

TO THE 50 ANNIVERSARY OF INDUSTRIAL APPLICATION OF ANALYTICAL PHOTOTRIANGULATION IN THE DOMESTIC GEODETIC ENTERPRISES

Ivan T. Antipov

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Professor, doctor of science, Department of Photogrammetry and Remote sensing, tel. (913)900-3863, e-mail: antipov@online.nsk.su

Vasiliy N. Belich

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Docent, candidate of science, Department of Photogrammetry and Remote sensing, tel. (913)469-1791, e-mail: belyh19291941@mail.ru.

Article contains a historical sketch of creation of the method of analytical phototriangulation and practical application of this method in domestic geodetic enterprises. There are some references to interesting events and facts. The leading organisations and the known experts are called which have brought the essential contribution to the theory and technology of the method or software engineering.

Key words: phototriangulation, analytical method, software support, geodetic control, hard-to-reach areas.

Аналитические методы в фотограмметрии, как таковые, возникли практически одновременно с созданием фототеодолитов в конце XIX века. Поначалу все сводилось к вычислению координат точек местности по измеренным координатам соответствующих точек пары наземных снимков и элементам внешне-

го ориентирования их. Для отыскания последних осуществлялись специальные геодезические измерения. Аналитическая обработка аэрофотоснимков с неизвестными, как правило, элементами внешнего ориентирования, была в ту пору немыслима из-за сложности математического аппарата, требующего огромного объема вычислительных операций.

Тем не менее, уже в ту пору находились энтузиасты, изучавшие теоретические аспекты фотограмметрии и выведившие для них точные математические зависимости. Профессор А.Н. Лобанов в своей работе [5] называет имена многих предшественников, закладывавших основы аналитических методов в начале XX века, когда быстродействующие вычислительные средства ещё отсутствовали.

Из отечественных советских ученых наибольшие заслуги принадлежат профессору Н.А. Урмаеву, генерал-майору, который более 20 лет руководил кафедрой геодезии в Военно-инженерной академии имени В.В. Куйбышева. Обладая широкой эрудицией, Н.А. Урмаев интересовался многими проблемами. В 1941г. была опубликована его замечательная книга «Элементы фотограмметрии» [7], в которой дано описание аналитического решения основных задач, связанных с ориентированием снимков и построением по ним модели местности.

Теоретические положения аналитической обработки фотоснимков, заложенные в работах Н.А. Урмаева, были подхвачены, развиты и доведены до практической реализации профессором А.Н. Лобановым, трудившимся в той же академии во главе кафедры фотограмметрии. Вокруг А.Н. Лобанова сформировалась целая научная школа, совместными усилиями которой исследовались различные аспекты аналитической фототриангуляции. Под его руководством в 1956-1957гг. была составлена первая отечественная программа аналитической фототриангуляции для появившейся в те годы ЭВМ Урал-2. Итогом тех первых работ стала упомянутая чуть выше монография А.Н. Лобанова [5], вышедшая в 1960г. В этой книге обстоятельно, в доступной форме изложен математический аппарат аналитической фототриангуляции, проверенный по макетам аэрофотоснимков.

К тому времени на аэрогеодезических предприятиях ГУГК, выполнявших работы на территории Сибири и Дальнего Востока, сложилась очень напряженная обстановка с выполнением всё возрастающих объемов топографических съёмок в масштабе 1:25000 для обеспечения проектирования БАМа и других важных целей. И самым узким местом здесь оказался процесс фотограмметрического сгущения опорной сети. Из-за отставания ведомственной науки для фотограмметрического сгущения применялись архаичные дифференцированные методы и графическая фототриангуляция. Посредством последней формировался промежуточный графический документ, предназначенный для оптико-графического редуцирования. Применялись и универсальные приборы, однако их производительность была очень низкой, да и точность результатов сильно зависела от удельных затрат труда.

Как часто бывает, помог случай. В первой половине 60-х годов прошлого столетия электронно-вычислительные машины стали появляться во многих научных и производственных организациях страны. В Иркутске ЭВМ БЭСМ-2 получил Институт энергетики СОАН, а в Новосибирске – институт геологии СОАН. Для расширения круга пользователей эти институты организовывали курсы программистов. Авторам статьи, один из которых являлся в то время заместителем директора НИИГАиК, а второй – заместителем начальника цеха в Восточно-Сибирском АГП (ВСАГП), каждому в своем городе, удалось попасть в первые же группы курсов и уже к концу месяца начать работу над программами. И.Т. Антипов выбрал за основное направление исследование отдельных этапов фототриангуляции, а В.Н. Белых – сам процесс построения и уравнивание фототриангуляционной сети.

Естественно, что математическая основа построения сети была заимствована в [5], но в нее, учитывая производственный уклон составляемой в Иркутске программы, были внесены существенные дополнения и изменения, которые снимали ограничения и шаблоны и позволяли строить сеть произвольной длины, с разным числом точек в каждой стереопаре, различным расположением опорных точек. Если для маршрута имелись показания статоскопа, то предусматривался учет их путем уравнивания сети методом аппроксимации. Все этапы вычислительной обработки подробно протоколировались с оценкой точности их выполнения. По уравненной сети подсчитывались установочные элементы для последующей обработки снимков на аналоговых фотограмметрических приборах.

В апреле 1963г. в ВСАГП были сданы в ОТК материалы аналитической фототриангуляции, покрывавшие площадь 4-х трапеций масштаба 1:25000. Это был первый в отечественной истории производственный материал аналитической фототриангуляции, прошедший приемку ОТК и использованный в дальнейшем при составлении карт.

Об этом историческом факте была опубликована статья в журнале «Геодезия и картография» [3], первым на которую отозвался с поздравлениями проф. А.Н. Лобанов.

Для изучения опыта и освоения технологии аналитической фототриангуляции в Иркутск приезжали специалисты из предприятий Читы, Якутска, Свердловска, Москвы, Тбилиси и др. Впоследствии из этих предприятий в Иркутск поступали данные об измерениях снимков и другие исходные данные, необходимые для построения сетей. В ВСАГП была создана специальная группа, которая обрабатывала материалы, поступавшие из других предприятий, и возвращала им готовые результаты.

Уже будучи главным инженером ВСАГП, В.Н. Белых в короткий срок обеспечил решение острой проблемы фотограмметрического сгущения и отказ от устаревших методов. Это позволило за счет более высокой точности аналитического метода снизить нормативную густоту полевого съемочного обоснования, а на обширных пространствах Средне-Сибирского плоскогорья вообще обходиться только геодезической сетью, проектируя и размещая пункты три-

ангуляции преимущественно в зонах поперечных перекрытий предварительно запроектированных маршрутов аэрофотосъемки масштаба 1:50000.

Проф. Б.К. Малявский, работавший в ту пору в одном из Московских НИИ, позаимствовал составленную В.Н. Белых программу, взяв на себя обязательство обеспечить специалистам Московского АГП возможность пользоваться этой программой на ЭВМ своего института.

Достигнутые в ВСАГП практические успехи послужили основанием для развития и совершенствования первой программы. При этом были предприняты шаги к реализации давно вынашиваемой идеи построения фотограмметрических сетей по совокупности взаимно-перпендикулярных маршрутов. Летом 1963 года на площади 1600 кв.км. была проведена соответствующая аэрофотосъемка. Позднее выполнены измерения снимков и успешно осуществлена вычислительная обработка. При этом геодезической опорой для сети служили только пункты триангуляции, дополнительные опознаки использовались лишь в качестве контрольных при оценке точности результатов [4].

К концу 1963г. в ряде предприятий ГУГК и других ведомств начались опытные работы по адаптации для производства программ, разработанных коллективом А.Н. Лобанова, однако из стадии экспериментов они вышли нескоро.

В ноябре 1963г. в Новосибирске состоялось совещание по фотограмметрическому сгущению. Хотя совещание проводилось по решению руководства ГУГК, на нем присутствовали представители других ведомств. Из ученых того времени с хорошо известными именами в совещании приняли участие Н.П. Кожевников, М.Д. Коншин, К.Л. Проворов, А.Н. Лобанов, В.Я. Финковский. Первая четверка названных (слева направо) попала в кадр сохранившегося снимка, показанного на рис. 1.



Рис. 1. Выдающиеся участники совещания

Созидательная, новаторская атмосфера совещания была изрядно подпорчена М.Д. Коншиным, подвергшим резкой критике любые инициативы тех, кто пытался, минуя ЦНИИГАиК, изыскивать новые пути для решения практических задач. Противоположную позицию занял А.Н.Лобанов, поддержавший энтузиастов, начавших применять аналитический метод фототриангуляции. М.Д. Коншин не нашел аргументов против авторитетного мнения А.Н. Лобанова. Тем не менее, вскоре М.Д. Коншин направил в ГУГК письмо, в котором требовал категорически запретить применение аналитической методики, которую на тот момент еще официально не санкционировал ГУГК (читай – ЦНИИГАиК).

Особо резко в этом письме М.Д. Коншин высказался против проводившихся в Иркутске работ, предусматривавших построение сети по взаимно-перекрестным маршрутам. В письме он утверждал, что этот «...способ совершенно не обоснован...», «...содержит неверные положения...» и «...приводит лишь к напрасному расходованию средств...».

По мнению М.Д. Коншина, предприятиям следует оставить право самостоятельно проводить исследования только по тематике, одобренной верхами.

К чести руководства ГУГК следует заметить, что по письму М.Д. Коншина никакие запреты или ограничения на творческую деятельность по отношению к предприятиям не были приняты.

Что касается использования перекрестных маршрутов, то весной 1964г. результаты первых таких работ были продемонстрированы руководству ГУГК, ЦНИИГАиК, в Московском АГП и Военно-инженерной академии им. В.В. Куйбышева. Руководство ГУГК распорядилось по возможности использовать подобный вариант на других объектах в труднодоступных районах. Авторы, со своей стороны, творчески учли это распоряжение в своей последующей деятельности.

В тот период типы электронно-вычислительных машин, поступавших в производство, менялись достаточно часто. Новые типы машин имели принципы программирования, отличные от применявшихся на прежних ЭВМ, что приводило к необходимости составлять программы заново. В 1967г. по просьбе ВСАГП на кафедре фотограмметрии НИИГАиК доцент И.Т. Антипов совместно со своим аспирантом Н.Ф. Добрыниным приступили к составлению программы фототриангуляции для ЭВМ М-20. В их программе был использован более совершенный математический аппарат по сравнению с ранее реализованным в Иркутске на БЭСМ-2, а также расширены границы для параметров сетей. Продукт их труда сразу же получил положительную оценку от предприятий в Иркутске и Новосибирске, что дало Н.Ф. Добрынину возможность, проявив инициативу, внедрить программу и в ряде других предприятий. В процессе освоения этой программы инженер М.Т. Рудык подготовил еще одну важную программу, призванную объединять несколько смежных маршрутных сетей и совместно уравнивать их. В таком виде, т.е. последовательно посредством двух программ, фототриангуляция в Иркутске выполнялась несколько лет.

В 1969г. в Новосибирске на базе Предприятия №8 был создан первый в ГУГК вычислительный центр, оснащенный ЭВМ М-220м. Предприятие полу-

чило задание на уравнивание на территории азиатской части СССР сплошных сетей триангуляции в полигонах АГС и нивелирной сети 1 и 2 классов. Центру было предложено также обеспечить вычислительную обработку всех материалов, связанных с текущей работой полевых и камеральных подразделений предприятия. Очень быстро выяснилось, что для осуществления возложенных на него функций центру потребуется создать ряд новых программ, поэтому в составе центра была сформирована «группа постановки задач и программирования».

Начальником вычислительного центра был назначен В.Н. Белых, а на должность руководителя названной группы был приглашен И.Т. Антипов. В группу были вовлечены молодые инженеры, выпускники НИИГАиК разных специальностей. Вначале для них был организован учебный курс, а уже через несколько недель началась практическая работа над многими программами. Естественно, что при этом не была забыта и аналитическая фототриангуляция.

Творческое сотрудничество опытного производственника и ученого, имеющего большой задел в исследовании теоретических аспектов фототриангуляции, позволило, прежде всего, определить технологические требования, которые должны были обеспечить возможность практического построения сети в любом случае, когда чисто теоретически это было возможно. Назовем главные из этих требований:

- предельный минимум ограничений на параметры маршрутных и блочных фотограмметрических сетей;
- легкость освоения вычислительного процесса и управления им;
- простота процесса измерений снимков и подготовки исходных данных;
- использование в качестве опоры любых данных, получаемых как из наземных измерений, так и непосредственно в полете на борту носителя аэрофотоаппарата;
- высокий уровень диагностики исходных данных и гибкость вычислительного процесса при наличии ошибок;
- наглядность результатов, обеспечивающая принятие объективных решений;
- подсчет установочных данных, необходимых для последующей обработки снимков на фотограмметрических приборах.

При этом был принципиально изменен характер продукта. Если ранее составлялись обособленные программы, то теперь была поставлена более престижная цель – подготовить единый, взаимосвязанный комплекс программ для технологической обработки фотограмметрических измерений. Отдельные программы комплекса, взаимодействуя через файлы промежуточных или итоговых данных обработки, предоставляли пользователям дополнительные удобства, позволяли варьировать типы вычислительной обработки и др. Комплекс получил название «ФОТОКОМ».

Не была забыта и практически учтена в программе идея съемки с взаимноперпендикулярными маршрутами. Именно по этой технологии на завершающем этапе картографирования страны в масштабе 1:25000 выполнена съемка

обширных труднодоступных территорий Восточной Сибири, Якутии, Чукотки, Заполярья, Васюганья и в других местах, причем в качестве съемочного обоснования использовались лишь пункты триангуляции.

Разработка новых программ осуществлялась в тесном взаимодействии с подразделениями предприятий, нуждающихся в соответствующих программах. Вычислительный центр имел возможность вести обработку огромного объема данных из разных регионов страны, различных по физико-географическим условиям. Это позволяло быстро реагировать на возникающие нестандартные ситуации и оперативно совершенствовать программное обеспечение.

Одновременно с разработкой производственных программ, И.Т. Антипов продолжал детально исследовать отдельные этапы обработки фототриангуляционных сетей и соответствующие алгоритмы. Результаты таких исследований докладывались на различных совещаниях и конференциях, а также публиковались в журналах и сборниках. Обобщением этих исследований явилась докторская диссертация «Исследование и разработка технологических алгоритмов пространственной аналитической фототриангуляции», успешно защищенная в МИИГАиК в 1973г.

После защиты диссертации И.Т. Антипов продолжал работу над своим комплексом программ сначала в рамках вычислительного центра Предприятия №8, затем – НИИПГ и центра Сибгеоинформ. Под его руководством был сначала составлен программный комплекс для ЕС ЭВМ, а затем – два комплекса для персональных компьютеров применительно к операционным системам DOS и Win соответственно. Эти комплексы пользовались большим спросом у производителей. Они стали обязательными для применения во всех вычислительных центрах как топографо-геодезической, так и военно-топографической служб страны, а таких центров было уже немало. Кроме того, комплекс для ЕС ЭВМ был передан в республику Куба, где он, адаптированный к испанскому языку и к кубинским требованиям, эксплуатировался несколько лет, пока не пришла пора заменять эту ЭВМ на персональный компьютер.

Видимо, следствием всего сказанного является приведенная в [1] констатация, что на производстве «...наиболее широко распространен комплекс программ для технологической обработки фотограмметрических измерений, разработанный под руководством ...» одного из авторов настоящего доклада.

Естественно, что наряду с авторами доклада над теоретическими проблемами аналитической фототриангуляции трудились и многие другие специалисты как нашей страны, так и зарубежья. Из отечественных это, прежде всего, представители научной школы А.Н. Лобанова, из которой нельзя не упомянуть В.Б. Дубиновского, Ф.Ф. Лысенко, М.М. Машимова, Р.П. Овсянникова, М.Н. Булушева и др. Интересные научные идеи были высказаны ведущей научной сотрудницей ЦНИИГАиК В.А. Поляковой, ведущим научным сотрудником НИИ ВТС В.В. Погореловым и профессором Ленинградского горного института В.И. Павловым. Из первопроходцев, трудившихся на производстве и немало способствовавших практическому освоению аналитической фототриангуляции, следует назвать Ю.А. Русакова и Н. А. Киселеву (ВСАГП), Д.Г. Вильнера и

А.М. Блюмину (Уральское АГП), Н.С. Бойкову (Новосибирское АГП). Г.Н. Ефимова (Казахское АГП).

Отметим также большую организаторскую роль, которая принадлежала Л.А.Кашину. Он много лет являлся первым заместителем начальника ГУГК СССР и активно поддерживал все начинания в области аналитической фототриангуляции.

В 1984г. «...за разработку теории, математического и программного обеспечения аналитического метода пространственного фототриангулирования и внедрение метода в производство...» большая группа ученых и инженеров была награждена медалями Ф.Н. Красовского – высшей наградой в топографо-геодезическом производстве того времени. В состав группы входили И.Т. Антипов, В.Н. Белых, А.Н. Лобанов, В.А. Полякова, В.В. Погорелов, Н.С. Бойкова, Л.Е. Шубина, В.И. Щербаков и Г.Н. Ефимов. Примечательно, что шестеро из девяти награжденных являлись выпускниками НИИГАиК.

В последнее десятилетие XX века одним из основных направлений общегосударственных топографо-геодезических работ стало создание цифровых карт. Технической основой для сбора цифровой информации по снимкам стали цифровые фотограмметрические рабочие станции (ЦФРС). В России над созданием ЦФРС трудились несколько творческих коллективов, причем один из них, руководимый профессором П.Д. Гуком – в СГГА.

В дальнейшем выделились два типа станций, наиболее полно отвечающих всем требованиям производства.

Одна из них – ЦФРС «Дельта» – создана в результате творческого сотрудничества фотограмметрического отдела ЦНИИГАиК и коллектива фирмы «Гео-система», сложившегося в городе Виннице на Украине, ставшей независимым государством после распада СССР. Общее руководство работами над этой станцией осуществляли Г.А. Зотов и С.В. Олейник. К подготовке программного обеспечения привлекались и другие специалисты. В частности – для задачи построения и уравнивания фототриангуляции осуществлена глубокая интеграция технологического пакета ЦФРС с комплексом «ФОТОКОМ», составленным И.Т. Антиповым и хорошо проверенным к тому времени за годы широкого применения в производственных предприятиях.

Другая ЦФРС, получившая название «ФОТОМОД», является продуктом российской фирмы «Ракурс». Обе станции позволяют решать все задачи построения цифровых моделей и составления цифровых карт как по аэрофотоснимкам, так и по изображениям, полученным с искусственных спутников Земли.

Отметим, что программное обеспечение у этих станций не взаимозаменяемо, поэтому все операции технологического цикла обработки снимков необходимо выполнять на одной и той же станции.

Обе названные станции широко распространены не только в России и странах, входивших ранее в СССР, но и за их пределами. Так количество ЦФРС «Дельта» выражается сотнями. В то же время программные продукты «ФОТОМОД» установлены более чем в 50 странах, а общее количество рабочих

мест превышает 4600. Как видим, сравнение далеко не в пользу ЦФСР «Дельта».

Причину не следует искать далеко, она – в бесконечной реорганизации государственной топографо-геодезической службы страны, в потере со стороны государства интереса к судьбе этой службы вообще и к входящим в нее организациям. Многие из последних бедствует из-за слабого финансирования. Что касается ЦНИИГАиК, то, не имея средств, он не может развивать и совершенствовать ту часть программного обеспечения своей станции, которая как раз и служит для составления цифровых карт и передачи их в соответствующие ГИС. Больше того, фактически ЦНИИГАиК утратил лидирующие позиции в формировании научно-технической политики отрасли, и сейчас его дальнейшая судьба не ясна.

В то же время фирма «Ракурс» быстро отзывается на все изменения в обстановке и появление новых требований. К тому же фирма активно ведет пропагандистскую работу. Она внимательно отслеживает ситуацию и ежегодно проводит ознакомительные семинары для потенциальных клиентов. Каждый раз для таких семинаров выбирается новое место, причем не в России, а где либо в международной курортной зоне. Например, последний семинар 2012 года проходил в Португалии. Через такие семинары активно распространяется информация о фирме и привлекаются новые пользователи. Немаловажно, что в программном обеспечении фирмы «Ракурс» предусматривается возможность передачи информации для последующей обработки в крупнейшие мировые программные системы геоинформатики.

В результате многие аэрофотогеодезические предприятия, имеющие ЦФСР «Дельта», вынуждены отказываться от них и переводить производство на продукцию конкурирующей фирмы. С потерей позиций ЦФСР «Дельта», как следствие, быстро сокращается использование комплекса «ФОТОКОМ». Пройдет еще несколько лет, и все забудут об этом комплексе и о той роли, которую он сыграл в свое время. Надеемся, что такая забывчивость не охватит СГГА, и здесь всегда будут помнить, что И.Т. Антипов, уже 65 лет тесно связанный с СГГА, внес существенный вклад в теорию и практику аналитической фототриангуляции и что посредством его программ построены фототриангуляционные сети, общая площадь которых сопоставима с территорией СССР.

Надеемся также, что практическим следом активной, созидательно деятельности И.Т. Антипова еще долго будет оставаться его монография [2], которую многие оценивают как своего рода настольную книгу, энциклопедию для тех, кого глубоко интересуют проблемы аналитической фотограмметрии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аналитическая пространственная фототриангуляция/А.Н. Лобанов, В.Б. Дубиновский, М.М. Машимов, Р.П. Овсянников. – М.: Недра, 1991. – 255с.
2. Антипов И.Т. Математические основы пространственной аналитической фототриангуляции/ – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 296с.

3. Белых В.Н. Аналитический метод пространственной фототриангуляции// – Геодезия и картография. – 1964. – №1.
4. Белых В.Н. Фотограмметрическое сгущение на предельно разреженном обосновании// – Геодезия и картография. – 1965. – №3.
5. Лобанов А.Н. Фототриангуляция с применением электронной цифровой вычислительной машины/ – М.: Геозедиздат, 1960. – 196с.
6. Лобанов А.Н. Аналитическая фотограмметрия/ – М.: Недра, 1972. – 224с.
6. Урмаев Н.А. Элементы фотограмметрии/ – М.: Геозедиздат, 1941. – 218с.
7. Фототриангуляция с применением электронной цифровой вычислительной машины/ А.Н. Лобанов, Р.П. Овсянников, В.Б. Дубиновский, Ф.Ф. Лысенко, М.М. Машимов, А.Д. Новиков/ – М.: Недра, 1976. – 292с.

© И.Т. Антипов, В.Н. Белых, 2013

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ СОЗДАНИЯ И РЕДАКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА, РЕАЛИЗОВАННЫХ В ПРОГРАММЕ PHOTOMOD

Антонина Сергеевна Гордиенко

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, старший преподаватель кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, e-mail: a.s.gordienko@ssga.ru

Ольга Николаевна Осипова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрант кафедры кадастра

В статье приведены результаты исследований работы автоматизированных алгоритмов создания цифровых моделей рельефа в программе PHOTOMOD. Кроме того проанализированы алгоритмы фильтрации цифровых моделей рельефа и сделаны выводы по их применению.

Ключевые слова: цифровые модели рельефа, PHOTOMOD, фильтрация, оценка точности.

RESEARCH OF ALGORITHMS OF CREATION AND EDITING OF DIGITAL ELEVATION MODELS IN THE PHOTOMOD PROGRAM

Antonina S. Gordienko

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., a Ph.D., senior lecturer, department of photogrammetry and remote sensing SSGA, e-mail: a.s.gordienko@ssga.ru

Olga N. Osipova

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate student of the Department of cadastre

In article results of researches of work of the automated algorithms of creation of digital models of a relief are given in the PHOTOMOD program. Algorithms of a filtration of digital models of a relief are besides analysed and conclusions on their application are drawn.

Key words: DEM, PHOTOMOD, filtration, accuracy assessment.

Одним из основных направлений развития фотограмметрии и дистанционного зондирования в настоящее время является автоматизация процессов получения и обработки аэрокосмической информации [1-5]. Известно, что автоматизированные алгоритмы, как правило, требуют дополнительного контроля и имеют ограничения по применению. Поэтому возникает необходимость заранее знать возможности и точность того или иного алгоритма. Цель данной статьи - исследовать работу автоматизированных алгоритмов создания и фильтрации цифровых моделей рельефа (ЦМР) в программе PHOTOMOD. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить сравнительный анализ методик построения моделей рельефа, реализованных в программе PHOTOMOD;
- сравнить полученные результаты для разных типов данных дистанционного зондирования.

В качестве исходных данных использовались аналоговые аэроснимки, полученные камерой RC30, с форматом кадра 23*23 см и с фокусным расстоянием 153,734 мм масштаба 1:12000; цифровые аэроснимки, полученные камерой UltraCam масштаба 1: 14000 с фокусным расстоянием 100,5 мм и форматом кадра 23*15 см; стереопара космических снимков, полученных со спутника Ikonos.

Технология создания цифровой модели рельефа в программном комплексе PHOTOMOD включает в себя следующие этапы (рисунок 1):

- формирование проекта;
- фототриангуляция;
- создание ЦМР;
- фильтрация строений и растительности;
- интерполяция пустых ячеек.

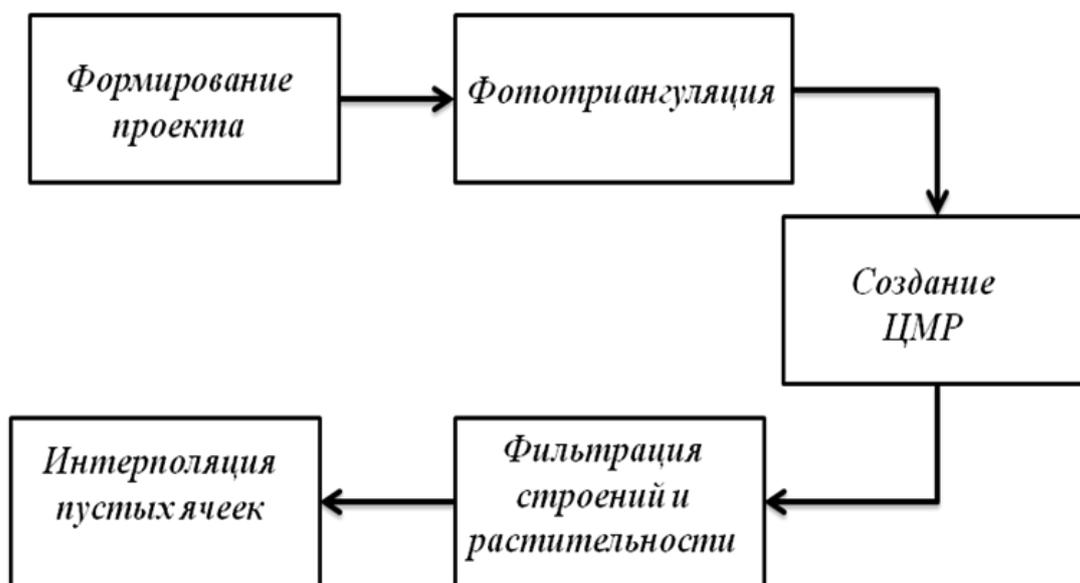


Рис. 1. Технология создания ЦМР в программе PHOTOMOD

В данном исследовании использовались следующие методы построения ЦМР: по TIN (нерегулярная пространственная сеть треугольников) в автоматическом режиме, по TIN в «ручном» режиме, по плотной модели.

Прежде чем создать ЦМР, выполнялось построение моделей. Результаты оценки точности внешнего ориентирования блоков, построенных по аэрофотоснимкам, цифровым аэроснимкам и космическим снимкам представлены в таблице 1.

Оценка точности уравнивания блоков

Опорные точки			Контрольные точки		
$m_{\Delta X_{оп},M}$	$m_{\Delta Y_{оп},M}$	$m_{\Delta Z_{оп},M}$	$m_{\Delta X_{к},M}$	$m_{\Delta Y_{к},M}$	$m_{\Delta Z_{к},M}$
Аэрофотоснимки					
0.083	0.078	0.130	0.306	0.372	0.402
Цифровые аэроснимки					
0.022	0.023	0.002	0.046	0.020	0.089
Стереопара космических снимков IKONOS					
0,45	0,36	0,23	0,47	0,46	0,58

После построения моделей выполнялся сбор данных о рельефе местности. При автоматическом расчете пикетов использовался коррелятор с конфигурацией, соответствующей типу изображенной на снимках местности. В программе РНОТОМОД реализованы конфигурации коррелятора для следующих типов подстилающей поверхности: горная местность, пустыня, сельская местность, городская застройка.

Расчет пикетов в автоматическом режиме выполняется по сетке. Шаг сетки задавался размером 1,8 м. Выбор данной величины был сделан в соответствии с исследованием кандидата тех. наук С.А. Кадничанского, сотрудника компании «Меридиан+», который обосновал требования к цифровой модели рельефа для ортотрансформирования аэро- и космических снимков [6].

Далее в автоматическом режиме по построенной модели рельефа выполнялась фильтрация растительности и строений [7]. «Для матрицы высот рассчитываются базисные пикеты с заданным коэффициентом прореживания. К этому прореженному набору пикетов применяется фильтр для удаления точек, попавших на дома, деревья, машины, в ямы и т. п. При этом также фильтруются случайные «выбросы». В результате остаются только пикеты, описывающие рельеф местности». Фильтрация строений и растительности может также выполняться по векторному слою, принцип работы фильтра такой же, как и по матрице высот. Фильтрация на данном этапе дает два преимущества: первое – создание ЦМР по отфильтрованному векторному слою ускоряет процесс построения матрицы высот, так как объем обрабатываемой информации меньше. И второе – нет необходимости выполнять интерполяцию пустых ячеек.

Пример фильтрации строений и растительности векторного слоя представлен на рисунке 2.

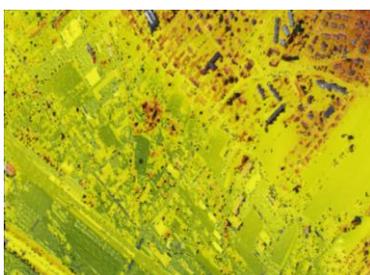
Если выполняется фильтрация ЦМР, то в ней возникают дыры, чтобы это исправить, необходимо выполнить интерполяцию. В данной работе выполнялась гладкая интерполяция. Пример результата обработки «плотной» ЦМР представлен на рисунке 3.



а

б

Рис. 2. Векторный слой до (а) и после (б) фильтрации строений и растительности



«Плотная» ЦМР



«Плотная» ЦМР,
фильтрация строений и растительности



Гладкая интерполяция

Рис. 3. Результат обработки «плотной» ЦМР, построенной по цифровым аэроснимкам

Анализ проведенных экспериментальных работ позволяет сделать следующие выводы:

- наличие «фильтра растительности и строений», а так же интерполяции позволяет использовать автоматизированные алгоритмы создания ЦМР для городской местности;

- методика создания «плотных» ЦМР в сравнении с методиками, реализованными в ранних версиях программы PHOTOMOD, позволяет достигать более высокой точности;

- «плотные» модели рельефа могут быть использованы как альтернатива лазерному сканированию;

- снимки лучшего фотографического качества дают лучшие результаты построения цифровых моделей рельефа.

В заключении хотелось бы заметить, что результаты работы коррелятора и фильтров не всегда соответствуют ожидаемым и требуют проведение отдельных исследований. А так как программа PHOTOMOD позволяет задавать параметры коррелятора и фильтров, то это дает возможность усовершенствовать и адаптировать алгоритмы под используемые данные дистанционного зондирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Готтфрид Конечный Новые технологии и перспективы для геоинформатики [Текст] / Готтфрид Конечный // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. Пленарное заседание: сб. матер. VIII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2012», 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 106–112.
2. Никитин В.Н., Раков Д.Н. Разработка концепции автоматической системы управления беспилотным аэрофотосъемочным комплексом [Текст] / Никитин В.Н., Раков Д.Н. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» Т.1.: сб. матер. VIII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2012», 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 12–17.
3. Широкова Т.А., Антипов А.В., Арбузов С.А. Определение изменений на местности с применением данных лидарной съемки [Текст] / Широкова Т.А., Антипов А.В., Арбузов С.А. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» Т.1.: сб. матер. VIII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2012», 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 42–49.
4. А.П. Гук, А.С. Гордиенко, М.М. Лазерко Основные научные исследования кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования в 2010 году: автоматизация дешифрирования космических снимков, построение 3d моделей по материалам дистанционного зондирования [Текст] / А.П. Гук, А.С. Гордиенко, М.М. Лазерко // ГЕО-Сибирь-2011. Т.4.: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19–29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – С. 22–27.
5. В.В. Осипов Анализ методов создания цифровых моделей поверхностей [Текст] / В.В. Осипов // ГЕО-Сибирь-2011. Т.1. Ч.2.: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19–29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – С. 82–86.
6. Кадничанский, С. А. Обоснование требований к цифровой модели рельефа для ортофототрансформирования аэро- и космических снимков [Текст] / С.А.Кадничанский // Геодезия и картография. – 2010. – №5.
7. PHOTOMOD DTM – модуль построения цифровой модели рельефа (ЦМР) [Электронный ресурс]: офиц. сайт компании «Ракурс». – Режим доступа: <http://www2.racurs.ru/download/docs/rus/processing.pdf>

© А.С. Гордиенко, О.Н. Осипова, 2013

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ДЕРЕВЬЕВ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ СЪЁМОК

Станислав Андреевич Арбузов

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (923)188-42-49, e-mail: stan_i_slav84@mail.ru

В статье рассмотрены некоторые подходы к визуальному и автоматизированному определению координат деревьев и плотности древостоя по аэро- и космическим снимкам. Рассмотрены проблемы автоматизированного дешифрирования деревьев по аэроснимкам. Показаны возможности площадных алгоритмов отождествления образов при автоматизированном дешифрировании лесных массивов по материалам аэро- и космических съёмок.

Ключевые слова: автоматизированное дешифрирование аэро- и космических снимков, таксация лесов, распознавание образов, взаимная корреляция, метод независимых компонент.

AUTOMATED COORDINATE DETERMINATION ON TREES FROM AERO-SPACE IMAGING

Stanislav A. Arbuzov

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, str. Plakhotnogo 10, Senior Teacher, Department of Photogrammetry and Remote Sensing tel. (923)188-42-49, e-mail: stan_i_slav84@mail.ru

In the article several approaches of visual and automatic detection of tree coordinates and tree density from aerial and space images are considered. The problems of automatic decoding of trees in aerial images are given. The opportunities of area identification algorithms for automatic decoding of forest images based on aerial and satellite imagery are shown.

Key words: automatic decoding of aerial and space images, forest inventory, pattern recognition, cross-correlation, independent component analysis.

Лес является одним из основных национальных богатств нашей страны. Площадь, покрытая лесом, составляет около 764 млн. га [1]. Контроль над такими огромными территориями невозможно осуществлять без использования данных дистанционного зондирования. Аэросъёмка и космическая съёмка высокого и сверхвысокого разрешения являются оптимальным решением для ведения лесного мониторинга. При обработке аэро- и космических снимков для лесного хозяйства, используются, как правило, методы визуального дешифрирования. Визуальный способ является очень трудозатратным и не позволяет осуществлять оперативный мониторинг по большому числу снимков.

На кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА по заказу ФГУП «Рослесинфорг» ведётся научно-исследовательская работа по разработке методик автоматизированного определения таксационных характеристик (густота древостоя, размер кроны, форма кроны, высота деревьев,

сомкнутость крон, состав древостоя) лесных массивов по аэро- и космическим снимкам.

Современные методы автоматизированного дешифрирования позволяют достаточно надёжно классифицировать многоспектральные снимки лесных территорий, разделяя изображения на 3-4 основных класса, (хвойные породы, лиственные породы, гидрография, травянистая растительность, кустарниковая растительность) но не позволяют выделить каждое дерево в отдельности, а между тем, определение координат деревьев и густоты древостоя (количество деревьев на единицу площади) являются важной задачей при таксационном описании лесов [2, 3, 4, 5, 6]. По аэроснимкам эти параметры определяются визуально по числу видимых крон с использованием палеток различных размеров. Полученное значение количества видимых крон деревьев корректируется на процент неучтенных деревьев (этот показатель берётся из таблиц и может отличаться для различных лесных массивов), который на снимках масштаба 1:10000 может достигать 55% [7].

За рубежом ведутся работы по автоматизации определения таксационных показателей с использованием материалов аэро- и космических съёмок. Существует множество публикаций, в которых предлагаются различные методики по выявлению местоположения отдельных деревьев. Эти методики, как правило, основаны на пороговой сегментации и анализе текстуры аэро- или космических снимков. Они хорошо работают там, где деревья в значительной мере отличаются от окружающего фона по текстурным, структурным или яркостным признакам [8, 9, 10]. Для снимков лесных массивов, состоящих из разновозрастного древостоя с различным уровнем плотности произрастания и сомкнутости крон необходим другой подход.

В рамках научной исследовательской работы по определению таксационных показателей по аэроснимкам было предложено использовать площадные алгоритмы сопоставления образов. Наибольшее распространение из таких алгоритмов в настоящее время получил алгоритм на основе метода взаимной корреляции, который является одним из самых ранних подходов отождествления соответственных пар. Суть метода заключается в вычислении взаимной корреляции между эталонным образом и множеством образов на снимке [11, 12].

Для исследований были использованы сканерные снимки ADS40, полученные на залесённую местность.

Одной из проблем использования методов автоматизированной идентификации деревьев на аэро- и космических снимках являются искажения, вызванные центральной проекцией. На рисунке 1 показано, как выглядит лесной массив на снимках кадровой (а) и сканерной (б) съёмочных систем.

И из-за того, что изображения деревьев на краю снимка и в центре могут значительно отличаться, задача дешифрирования древесных крон и определения их координат была разбита на две части:

- дешифрирование деревьев в центральной части снимков;
- дешифрирование деревьев на краях снимков.

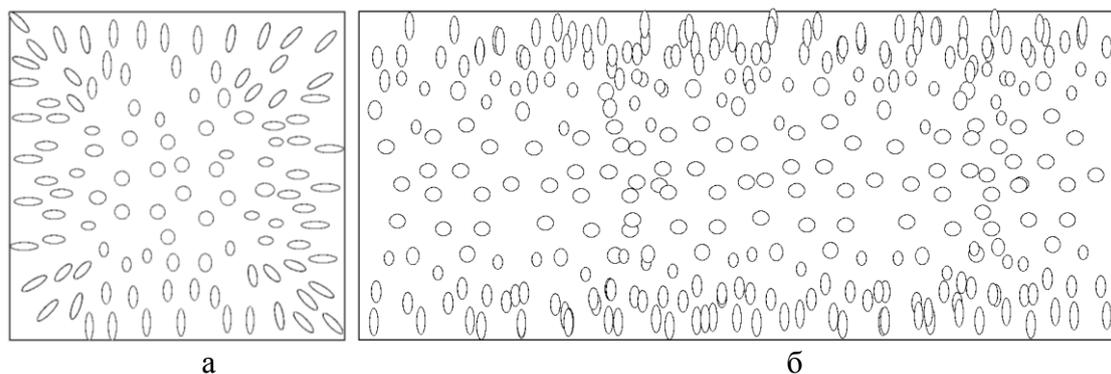


Рис. 1. Искажения, вызванные центральной проекцией:
 а) кадровая съёмочная система; б) сканерная съёмочная система

На рис. 2 показано как выглядят кроны деревьев в центре и на краю снимка.

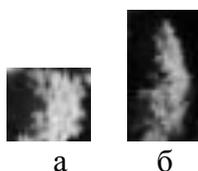


Рис. 2. Изображение кроны дерева
 а) в центре снимка б) на краю снимка

Для исследования возможности выявления отдельных кроны деревьев по материалам аэро- и космических съёмок сверхвысокого разрешения, использовалась центральная часть снимка ADS40. Программа, реализующая алгоритм обнаружения деревьев на основе функции взаимной корреляции, была написана на языке программирования IDL. В качестве эталонного образа использовалось изображение кроны одного из деревьев центральной части снимка (рисунок 2 а). На первом этапе программа определяет размер образа и находит значения корреляции с множеством образов (с шагом в 1 пиксел) на исследуемом изображении. Результатом работы программы является изображение, состоящее из значений корреляции. Координаты пикселей с большими значениями корреляции, будут являться координатами деревьев, наиболее похожих на эталонный образ. На рис. 3 представлен результат работы программы.

Для поиска деревьев с кронами определённого диаметра предполагается использовать образы соответствующего размера.

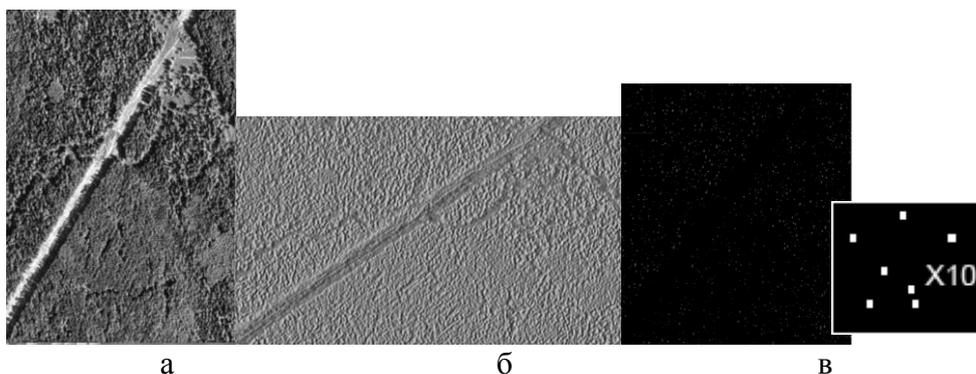


Рис. 3. Поиск деревьев на изображении

- а) фрагмент исходного изображения; б) изображение, состоящее из значений корреляции; в) значения корреляции больше 0,6

Кроме корреляционных алгоритмов, для поиска крон деревьев на изображении в рамках научно исследовательской работы рассматриваются и другие подходы. Например, проверяется возможность использования метода независимых компонент (independent component analysis) для выделения крон деревьев. На рисунке 4 можно видеть результаты использования первой компоненты изображения, полученного путём преобразования исходного снимка по методу независимых компонент с последующей пороговой обработкой.

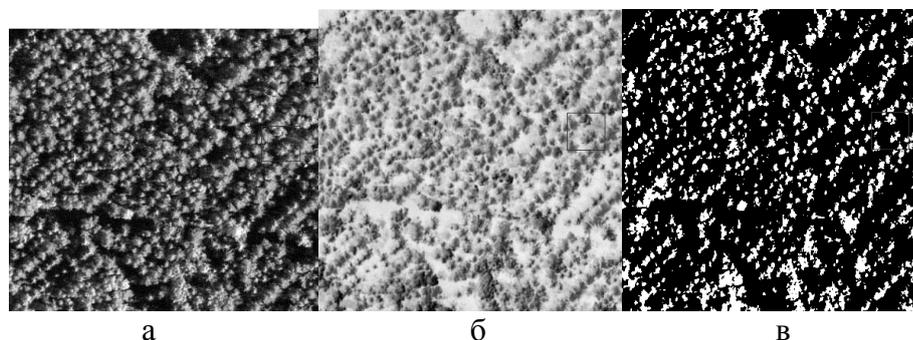


Рис. 4. Результат применения метода независимых компонент и пороговой обработки для выделения крон деревьев

- а) исходный фрагмент снимка; б) изображение первой компоненты
в) результат пороговой обработки

Исследования по этим направлениям будут продолжены. Результатом работы должен стать инструмент, интегрированный в программный комплекс ENVI, позволяющий достаточно эффективно в автоматизированном режиме обнаруживать деревья, определять их координаты и рассчитывать густоту древостоя на заданной территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мартынов, А.Н. Основы лесного хозяйства и таксация леса/ А.Н. Мартынов, Е.С. Мельников, В.Ф. Ковязин, А.С. Аникин, В.Н. Минаев, Н.В. Беляева// Учебное пособие для студентов направления 250300 «Технология и оборудование лесозаготовительного и деревообрабатывающего производств» и специальности 120303 «Городской кадастр». – СПб. – ООО Изд-во «Лань», 2008. – 372 с.
2. Арбузов, С.А. Исследование алгоритма «дерево решений» в программном комплексе ENVI [Текст] / С.А. Арбузов, А.А. Гук // Геодезия и картография. – 2011. – № 2. – С. 11–14.
3. Гордиенко, А.С. Разработка методики многоступенчатого дешифрирования космических снимков / А.С. Гордиенко, М.А. Алтынцев., С.А. Арбузов // Геодезия и аэрофото съемка. – 2011. – № 2. – С. 29–32.
4. Коптев, А.В. Тематическое картографирование лесов по материалам дистанционного зондирования Земли (на примере среднего приангарья) [Текст] / А.В. Коптев// Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. Т. 2.: сб. матер. VIII Междунар. научн. конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012», 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – С. 83–88.
5. Алтынцев, М.А. Вейвлет-анализ для выявления вырубок в лесных массивах по аэрофотоснимкам [Текст] / М.А. Алтынцев, А.С. Гордиенко, А.А. Гук // ГЕО-Сибирь-2010: сб. материалов VI Междунар. науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2010», 19 – 23 апр. 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2010. – Т. 4, ч. 1. – С. 3 – 8.
6. Алтынцев, М.А. Преобразование Tasseled Cap по космическим снимкам IKONOS для дешифрирования растительности [Текст] / М.А. Алтынцев // ГЕО-Сибирь-2011: сб. материалов VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 27 – 29 апр. 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – Т. 4. – С. 30 – 35.
7. Бастаева, Г.Т. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве [Текст] / Бастаева Г.Т. //Методические указания и контрольные задания для студентов очной и заочной форм обучения специальности 250201 – Лесное хозяйство и направлению подготовки 250100.65 – Лесное дело – 2013. – 74 с.
8. Tree detection from aerial imagery [Электронныйресурс]/ Lin Yang Xiaqing Wu, Emil Praun, Xiaoxu Ma – Англ. – Режим доступа: http://www.cis.uab.edu/kddm/seminar_home/Lin_Sept25_tree-camera-ready.pdf
9. Tree Crown Detection on Multispectral VHR Satellite Imagery [Электронный ресурс]/ Ioannis N. Daliakopoulos, Emmanouil G. Grillakis, Aristeidis G. Koutroulis, Ioannis K. Tsanis – Англ. – Режим доступа: http://www.asprs.org/a/publications/pers/2009journal/october/2009_oct_1201-1211.pdf
10. Detection of Tree Cutting in the Rangelands of North Eastern Somalia Using Remote Sensing [Электронныйресурс] – Англ. – Режим доступа: http://www.faoswalim.org/ftp/Land_Reports/Cleared/L15%20Detection%20of%20Tree%20Cutting%20in%20the%20Rangelands%20of%20NE%20Somalia.pdf
11. Арбузов, С.А. Использование нейронной сети для идентификации соответственных точек [Текст] / С.А. Арбузов // ГЕО-Сибирь-2011. Т. 4.: сб. матер. VII Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 27–29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – С. 26–29.
12. Бучнев А.А. Программная технология определения пространственных перемещений объектов по данным дистанционного зондирования Земли [Текст]/ А.А. Бучнев, В.П. Пяткин // ГЕО-Сибирь-2008. Т. 3, ч.1.: сб. матер. IV Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2008», 22–24 апреля 2008 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2008. – С. 16–25.

© С.А. Арбузов, 2013

ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА SWINGLET ПРОИЗВОДСТВА КОМПАНИИ senseFLY (ШВЕЙЦАРИЯ)

Михаил Викторович Петров

НПК "Йена Инструмент", директор по производству, тел. 8-495-645-37-13,
e-mail: michael.petrov@jena.ru

Рассматривается практический опыт использования БПЛА Swinglet производства компании senseFly в различных отраслях. Детально описан проект проведения аэрофотосъемки небольших населенных пунктов для решения задач кадастра. Приведена оценка возможностей БПЛА для проведения экологического мониторинга.

Ключевые слова: БПЛА.

PRACTICAL EXPERIENCE OF UAV SWINGLET APPLICATION (SENSEFLY, SWITZERLAND)

Michail V. Petrov

NPK "Jena Instrument", production manager, tel. 8-495-645-37-13, michael.petrov@jena.ru

We show practical experience of UAV Swinglet application (senseFly, Switzerland) in various fields. The project with aerial photography of small towns to meet the challenges of the land registry and environment monitoring is described in details.

Key words: UAV.

Место БПЛА среди существующих способов сбора геопространственных данных.

Использование беспилотных летательных аппаратов для проведения аэрофотосъемки является весьма актуальным направлением развития методов сбора геопространственных данных. Для того, чтобы оценить реальное место данной технологии среди существующих способов съемки предлагается взглянуть на график, представленный на Рис.1

Вертикальная ось-это размер покрытия(вверх по оси-от большого к малому), горизонтальная-удобство использования и актуальность получаемых данных. Как видно из графика, данные космической съемки обладают максимальным покрытием, но актуальность данных не всегда на высоком уровне. Для некоторых территорий данные космической съемки приходится ждать месяцами. Технологии аэрофотосъемки и воздушного лазерного сканирования обладают более высокой актуальностью, точностью и средним покрытием. И, наконец, использование БПЛА оправдано в случае когда необходимо быстро получить точные данные на небольшие по площади территории. К тому же с учетом себестоимости каждой их технологий, БПЛА занимают достаточно выгодные позиции среди существующих способов съемки,а для некоторых проектов,вообще,являются по сути оптимальным с точки зрения трудозатрат способом.

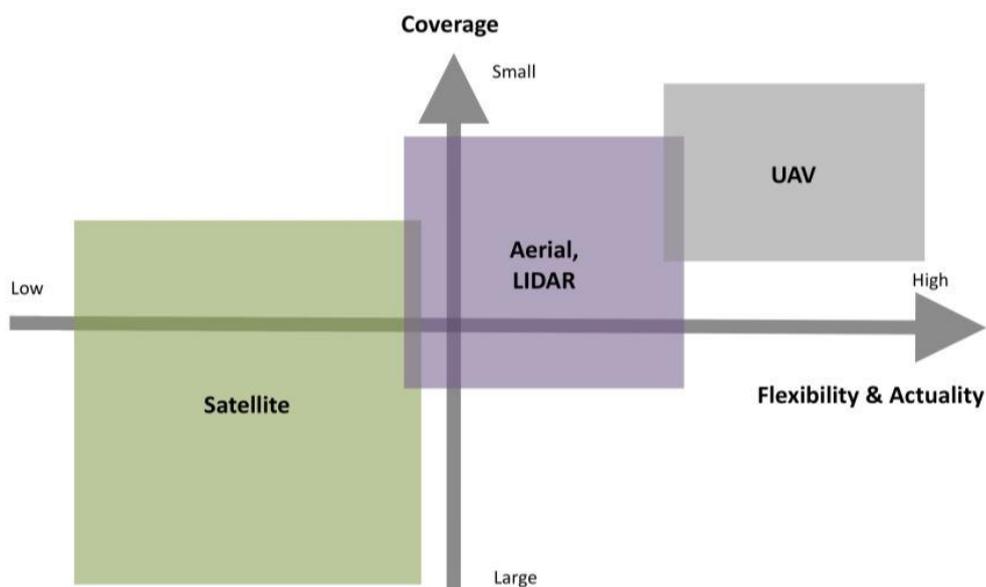


Рис. 1. Место БПЛА среди существующих методов дистанционного зондирования

Технические характеристики БПЛА Swinglet CAM

Компания НПК «Джи Пи Эс Ком» является дистрибьютором швейцарской компании senseFly (Швейцария), производящей сверхкомпактные БПЛА для крупномасштабной аэрофотосъемки. С одной из первых моделей БПЛА от senseFly – Swinglet были проведены успешные полевые испытания и выполнены несколько проектов. SWINGLET Cam – небольшой суперлегкий беспилотный летательный аппарат, позволяющий производить аэрофотосъемку с высоты от 100 до 1000 метров с точностью от 4 до 30 см/пиксель. Технические характеристики БПЛА Swinglet представлены на Рис.2



Рис. 2. Технические характеристики Swinglet CAM

Он чрезвычайно прост в применении за счет возможности выполнения взлета и посадки в автоматическом режиме. Программное обеспечение eMotion 2 позволяет выполнять планирование, имитировать, отслеживать траекторию БПЛА Swinglet как во время полета, так и заблаговременно. С помощью простых операций перетаскивания и переноса вы можете обозначить зону картирования, создать план полета, а простым щелчком мыши обновить миссию или направить БПЛА Swinglet к точке начала маршрута. При помощи цифровой камеры с матрицей 12 МПикс, БПЛА способен создавать изображения с разрешением от 3 до 30 см на один пиксел на поверхности земли. За одну полетную миссию БПЛА Swinglet способен выполнить картирование площади от 1.5 до 10 км², в зависимости от установленного разрешения снимков и высоты полета. Комплект поставки включает в себя программное обеспечение Postflight Terra 3D – полностью автоматизированное программное обеспечение для 3D обработки снимков, разработки компании Pix4D. После выполнения процесса начальной проверки данных в поле (контроль по перекрытиям и получение ортомозаики в низком разрешении), программа Postflight Terra 3D создает точную геотрансформированную ортомозаику и цифровую модель рельефа. Кроме того, возможна дальнейшая оптимизация полученной модели по определяемым оператором контрольным точкам и контурам. Размах крыльев БПЛА составляет всего 80 см, поэтому его можно без проблем транспортировать в собранном состоянии. Весь комплект оборудования помещается в одну специально сконструированную коробку. SWINGLET Cam считается самым легким БПЛА в мире. Он весит всего 0,5 кг, что позволяет запускать его буквально из рук и приземлять практически на любую поверхность.



Рис. 3. Небольшие размеры и масса БПЛА удобны для транспортировки и требуют малого времени подготовки к полетам

Технология обработки получаемых данных представлена на Рис.4



Рис. 4. Этапы обработки снимков с БПЛА Swinglet

Практический опыт использования БПЛА Swinglet

С использованием БПЛА Swinglet летом 2012 года был выполнен проект по созданию ортофотомозаики масштаба 1:2000 населенных пунктов для решения инвентаризационных и кадастровых задач в Республике Казахстан. Особенностью проекта являлось то, что 47 населенных пунктов общей площадью всего около 140 кв.км были разбросаны на территории площадью более 10 000 кв.км. Поэтому использование аэрофотосъемки было экономически нецелесообразным, данные же космической съемки, имеющиеся в архиве не удовлетворяли по точности, а новых пришлось бы ждать более месяца. Аэрофотосъемка всех пунктов с использованием БПЛА Swinglet и дальнейшая камеральная обработка полученных данных заняли в общей сложности один месяц.

Еще одним проектом, в котором использовался БПЛА Swinglet был экологический мониторинг устья реки Келасур и пляжной зоны города Сухум(Абхазия). Специалистами Госкомитета Республики Абхазия по экологии и природопользованию снимки с БПЛА использовались для решения следующих задач:

- Оперативное выявление несанкционированных свалок мусорных отходов;
- Оперативное выявление и определение масштаба загрязнения сточными водами акватории Черного моря;
- Оценка последствий схода селевых потоков и горных обвалов;
- Выявление фактов незаконной застройки и самозахвата земель.



Рис. 5. Пример ортофотомозаики населенного пункта, созданной по снимкам с БПЛА Swinglet



Рис. 6. Место обнаружения несанкционированной свалки мусора(г. Сухум)



Рис. 7. Ортофотомозаика (разрешение-5см) устья реки Келасур

Первый опыт работы SWINGLET Cam оказался весьма удачным. В дальнейшем планируется использовать его для целей экологического мониторинга, оценки динамики экзогенных геологических процессов, инвентаризации объектов недвижимости и лесного хозяйства, создания планов застройки территорий, оценки объемов вырубki леса, мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий, решения задач землеустройства, съемки промышленных объектов, отвалов горных пород при открытой добыче полезных ископаемых и даже для рекламной съемки.

© М.В. Петров, 2013

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ «ЛУНОХОДА-1» ПО ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

Евгений Владимирович Стоволосов

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), 105064, г. Москва, Гороховский пер., 4, аспирант, тел. (926)3418199, e-mail: jacobsinger@yandex.ru

Антон Юрьевич Быстров

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), 105064, г. Москва, Гороховский пер., 4, аспирант, тел. (903)9659901, e-mail: plextor@inbox.ru

Одним из направлений исследовательских работ, проводимых в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК), является изучение планет Солнечной системы и их спутников. В рамках этой тематики была поставлена задача точного восстановления маршрута аппарата «Луноход-1» по космическим снимкам и лунным панорамам.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, Луна.

3D MODELING MOVEMENT «LUNOKHOD-1» ON MOON SURFACE

Evgenii V. Stovolosov

Moscow state university of geodesy and cartography (MIIGAiK), 105064, Russia, Moscow, Gorohovski lane, 4, graduate student, tel. 79263418199, e-mail: jacobsinger@yandex.ru

Anton Yu. Bystrov

Moscow state university of geodesy and cartography (MIIGAiK), 105064, Russia, Moscow, Gorohovski lane, 4, graduate student, tel. 79039659901, e-mail: plextor@inbox.ru

One of the directions of the research works which are carried out at the Moscow state university of geodesy and cartography, studying of planets of Solar system and their satellites is. Within this subject the problem of exact restoration of a route of the device "Moon rover-1" of space pictures and lunar panoramas was set.

Key words: 3D modeling, Moon.

Одним из направлений исследовательских работ, проводимых в Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК), является изучение планет Солнечной системы и их спутников. В рамках этой тематики была поставлена задача точного восстановления маршрута аппарата «Луноход-1» по космическим снимкам и лунным панорамам.

Для лучшего восприятия результатов дешифрирования траектории движения аппарата по поверхности Луны было решено построить 3D-сцену, которая бы наглядно имитировала ситуацию. Схема построения и составные 3D-сцены представлены на рис. 1.

Для создания 3D-сцены [1] требовались: модель поверхности, вектор маршрута и 3D-модель лунохода. В свою очередь, для формирования модели по-

верхности Луны нужны цифровая модель рельефа (ЦМР) и ортоизображения, используемые как текстура поверхности.

В качестве основных исходных данных выбраны стереопары снимков, полученных узкоугольной камерой американского спутника дистанционного зондирования Луны Lunar Reconnaissance Orbiter (LRO) с пространственным разрешением 0,5 м/пиксел. По этим снимкам и создавались ЦМР и ортофотопланы высокого разрешения. При этом в качестве опорной информации дополнительно использовалась ЦМР (с шагом 30 м), подготовленная Немецким аэрокосмическим центром (DLR) по данным лазерного альтиметра LOLA спутника LRO.

Выбор перечисленных материалов был обусловлен тем, что они содержат наиболее качественные и точные данные дистанционного зондирования Луны, представленные в широком доступе. Для подготовки ортофотопланов было задействовано программное обеспечение ISIS, созданное для обработки данных, полученных миссиями NASA.

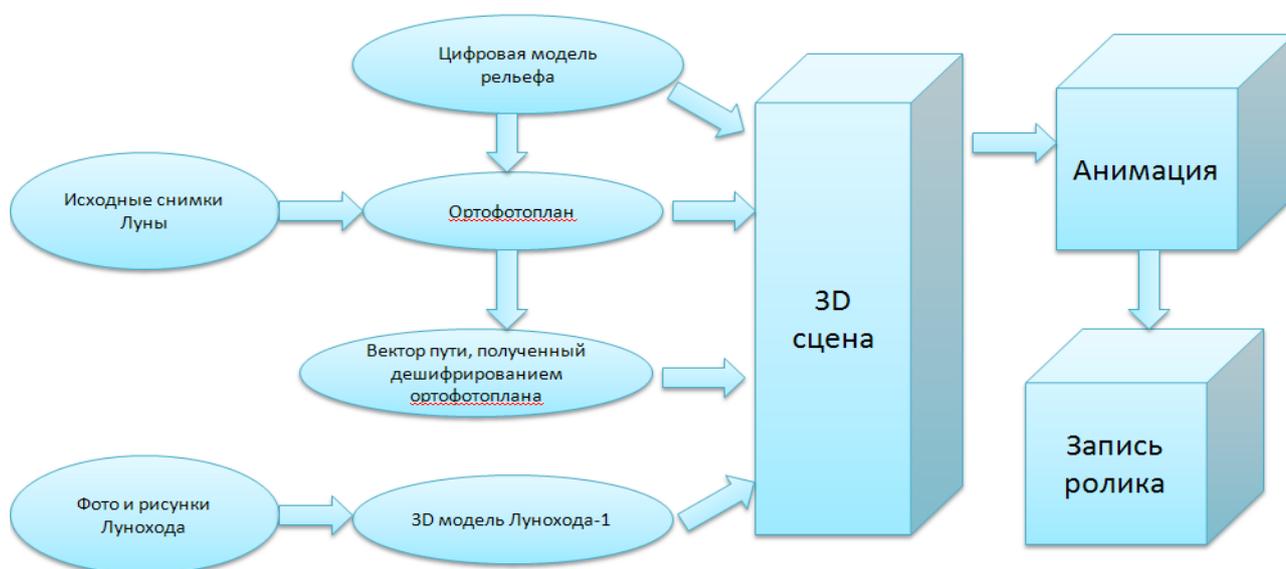


Рис. 1. Схема построения и составные 3D-сцены

Дешифрирование маршрута проводилось по ортофотоплану, использовавшемуся в качестве текстуры для модели поверхности, и панорамам, полученным самим «Луноходом-1». Следует отметить, что отсутствие на Луне атмосферы, эрозионных процессов и сейсмической активности способствовало сохранению на лунной поверхности следов колес аппарата без изменений с 1970 г. В результате исследования материалов удалось распознать 9,5 км пути лунохода, что составляет 99 % его общей протяженности. Таким образом, был получен вектор, в точности соответствующий траектории перемещения «Лунохода-1» [2].

Завершающим этапом подготовки данных для формирования 3D-сцены стало создание трехмерной модели самого аппарата (рис. 2; источник – <http://back-in-ussr.info/2012/02/lunoxod-1>) с использованием программного обеспечения Google SketchUP. При этом были задействованы снимки реального объекта, рисунки а также его схемы. Правда, для снижения нагрузки на компьютер некоторые части модели представлены в упрощенном виде (рис. 3).

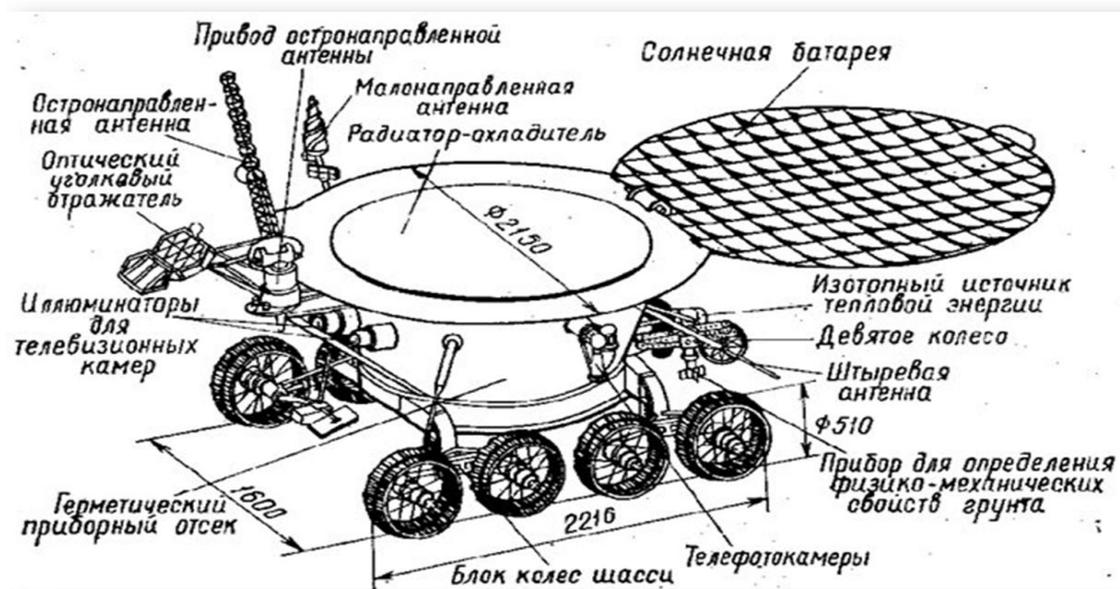


Рис. 2. Схема аппарата «Луноход-1» с указанием размеров

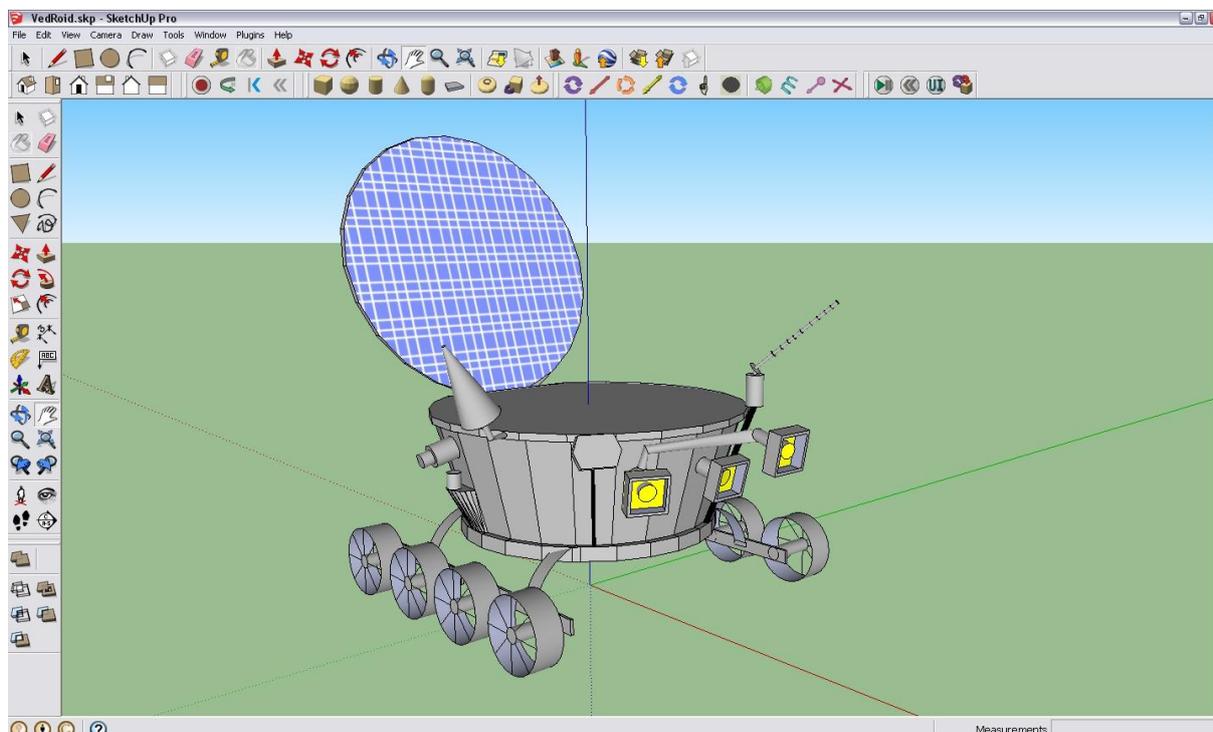


Рис. 3. Модель лунохода в SketchUP

Все полученные составляющие (ЦМР, ортофотоплан, вектор движения и 3D-модель) были загружены в программный пакет ScanEx Image Processor для построения 3D-сцены и динамической модели перемещения «Лунохода-1». На рис. 4 показаны загруженные в ПО Image Processor цифровая модель рельефа и ортофотоплан с наложенным на них вектором движения.

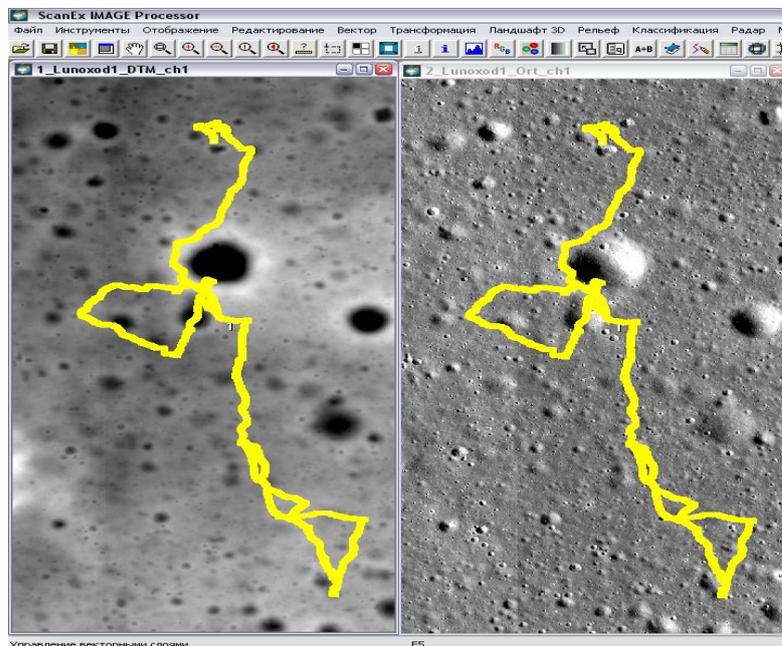


Рис. 4. ЦМР (слева) и ортофотоплан (справа) с наложенным вектором движения

В сформированную 3D-сцену была загружена модель «Лунохода-1», которой были заданы вектор и скорость движения. После этого был записан видеоролик перемещения аппарата (рис. 5).

Проделанная работа была достаточно объемной, ее итогом стала трехмерная модель, отображающая движение «Лунохода-1» по реальной траектории на имитации поверхности Луны. Видеоролик доступен для свободного просмотра на интернет-ресурсе Youtube (www.youtube.com/watch?feature=player_embedded&v=WDkN27IEWg8).

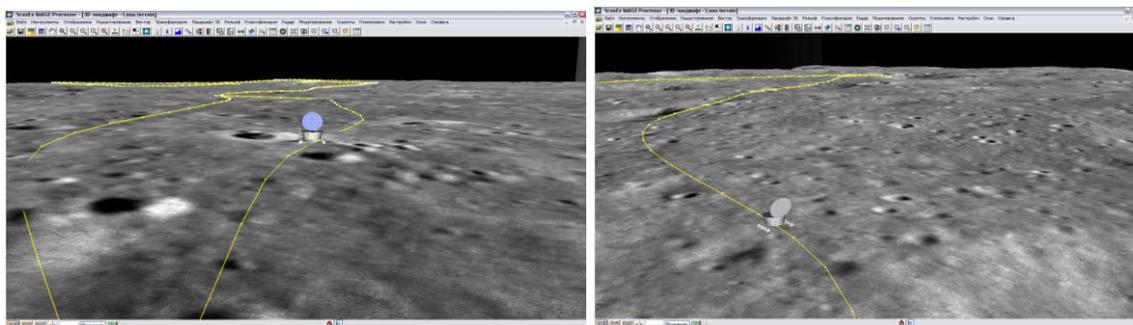


Рис. 5. Кадры видеоролика

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гречищев А., Бараниченко В., Монастырев С., Шпильман А. Трехмерное моделирование и фотореалистичная визуализация городских территорий. – http://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=2244&SECTION_ID=57&phrase_id=14258.
2. Gusakova E., Karachevtseva I., Shingareva K. et al. Mapping and GIS-Analyses of the Lunokhod-1 Landing Site. – <http://www.lpi.usra.edu/meetings/lpsc2012/pdf/1750.pdf>.

© Е.В. Стволосов, А.Ю. Быстров, 2013

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ПРИ ДЕШИФРИРОВАНИИ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

Елена Павловна Хлебникова

Сибирская геодезическая государственная академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, канд. техн. наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (913)901-94-58, e-mail: HleLenka@yandex.ru

Дмитрий Павлович Симонов

Сибирская геодезическая государственная академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (923)245-38-99, e-mail: dumkah@gmail.com

В статье предложены метод оценки параметров лесных массивов на основе медианного значения коэффициентов яркости и его статистического отклонения по заданным периодам дискретизации.

Ключевые слова: коэффициент яркости, период дискретизации, лесные массивы, плотность вероятности, многозональные снимки.

POSSIBILITIES OF APPLICATION STATISTICAL ANALYSIS FOR INTERPRETATION OF MULTISPECTRAL SPACE IMAGES

Elena P. Khlebnikova

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., PhD. tech., assistant professor department of Photogrammetry and Remote Sensing tel. (913)901-94-58, e-mail: HleLenka@yandex.ru

Dmitry P. Simonov

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., graduate student department of Photogrammetry and Remote Sensing tel. (923)245-38-99, e-mail: dumkah@gmail.com

The method for estimating the parameters of forest based on the median value of the brightness coefficients and statistical deviation for the given sampling period was proposed.

Key words: the brightness coefficient, sampling period, forests, density of probability, multi-spectral imagery.

Лесное хозяйство имеет огромное значение для экономики страны. Однако огромные территории России покрытые лесом не позволяют оптимально организовать лесоустройство вследствие большого объема работ. Использование современных методов дистанционного зондирования на основе многозональных космических снимков позволяет значительно повысить скорость и достоверность получения информации о таксационных характеристиках лесных массивов. Однако при обработке цифровых изображений возникает ряд проблем, связанных с отождествлением изображения на снимке и собственно объекта.

Сложность дешифрирования таксационных показателей древостоя автоматизированными методами объясняется большой вариативностью изображения одного и того же (или аналогичного) объекта даже на одном изображении. Большая часть методов дешифрирования основана на визуальном определении объекта на основании прямых и косвенных признаков. В этом случае результат дешифрирования носит субъективный характер и существенно зависит от квалификации оператора. Для автоматизированного дешифрирования снимков и в частности для нужд лесного хозяйства, необходим поиск однозначных количественных признаков дешифрирования и метод их выявления [1].

Статистические характеристики лесных массивов традиционно применяются для определения общего состояния данного участка леса, только используются для этого результаты наземной оценки для небольших участков территорий, которые затем обобщаются на весь массив [2].

В данной работе наоборот рассматривается возможность использования в качестве дешифровочного признака таксационных характеристик лесных массивов статистических характеристик цифровых изображений, в частности медианного значения коэффициента яркости и среднее значение его статистического отклонения. Полученная информация соответствует характеристике данного участка и не является результатом экстраполяции.

В цифровом представлении данных используется 256 уровней яркости, а при автоматизированном дешифрировании изображений выбор количества классов, как правило, осуществляется эмпирически.

В данной работе предлагается выбирать количество уровней дискретизации (классов при кластеризации) измеряемой величины на основании известного соотношения [3].

$$N = 3 \lg K + 1, \quad (1)$$

где N - число интервалов дискретизации (в данном случае классов);

K - общее число пикселей в изображении.

В качестве исходного объекта исследований было выбрано изображение части лесного массива, полученного съемочной системой Isonos (рисунок 1, рамкой отмечена исследуемая область).

Для получения результатов были использованы статистические методы обработки. Исследования проводились на нескольких одинаковых по площади участках, полученных в одинаковых условиях съёмки. Задачей данного эксперимента было установление интегральной количественной характеристики состояния лесного массива для выбранного участка, которая позволила бы осуществить сравнительный анализ и мониторинг других аналогичных территорий.

Из выбранного участка изображения были вырезаны фрагменты одинаковой площади (содержащие одинаковое количество пикселей), один из фрагментов представлен на рисунке 2.

Методика позволяет работать как в отдельных спектральных каналах, так и в интегральном варианте. Поскольку наибольшие отличия были выявлены в 4 канале (ИК-диапазон), дальнейшая количественная обработка изображений приводилась для этого спектрального интервала [4].

Обработка результатов проводилась с помощью программного продукта Erdas Imagine. В соответствии с соотношением (1) количество классов выбрано 13.

На рисунках 3 и 4 приведены гистограмма распределения плотности вероятности яркости для двух разных участков, представляющих разные типы растительности.

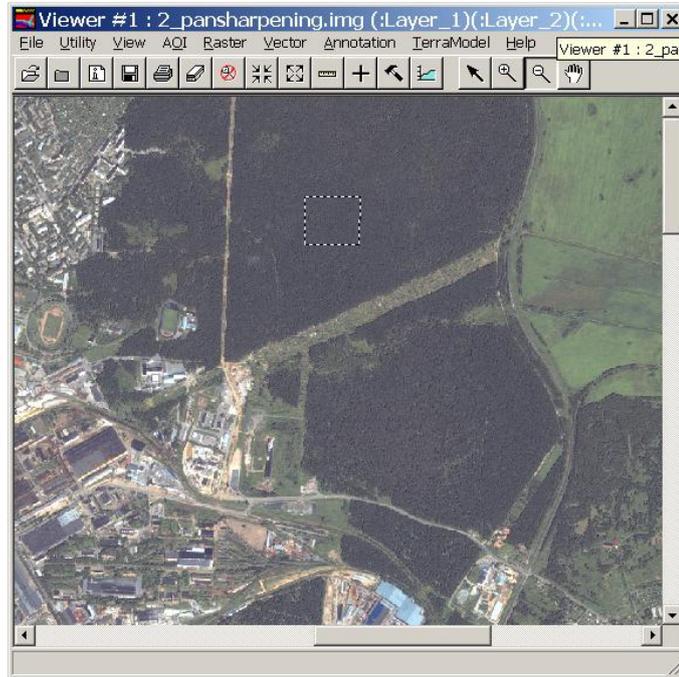


Рис. 1. Исходное изображение

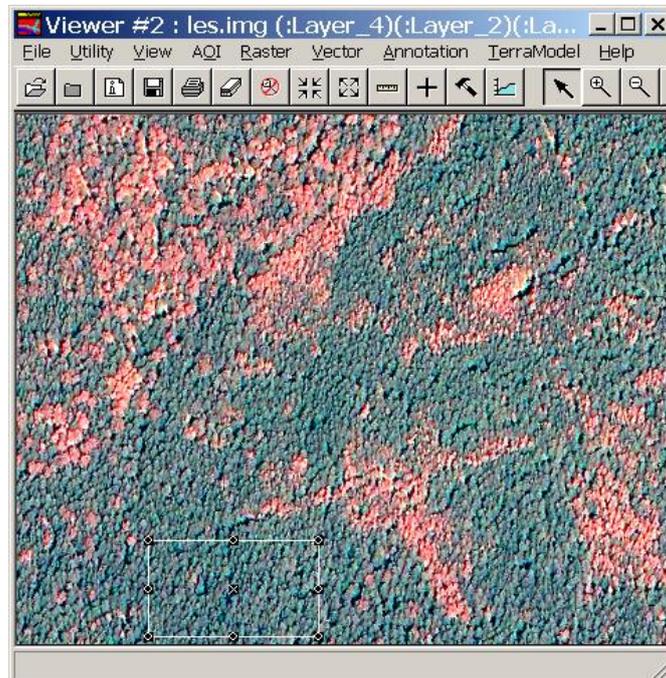


Рис. 2. Фрагмент изображения

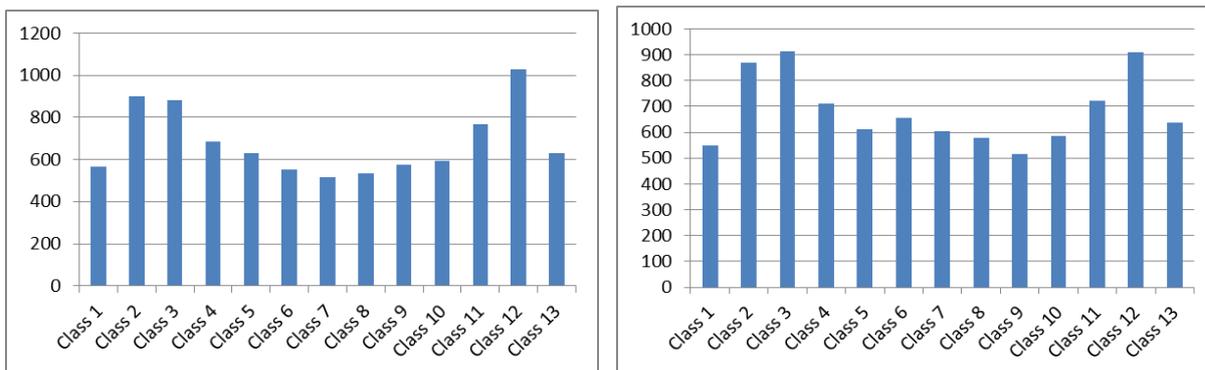


Рис. 3. Лес первого типа

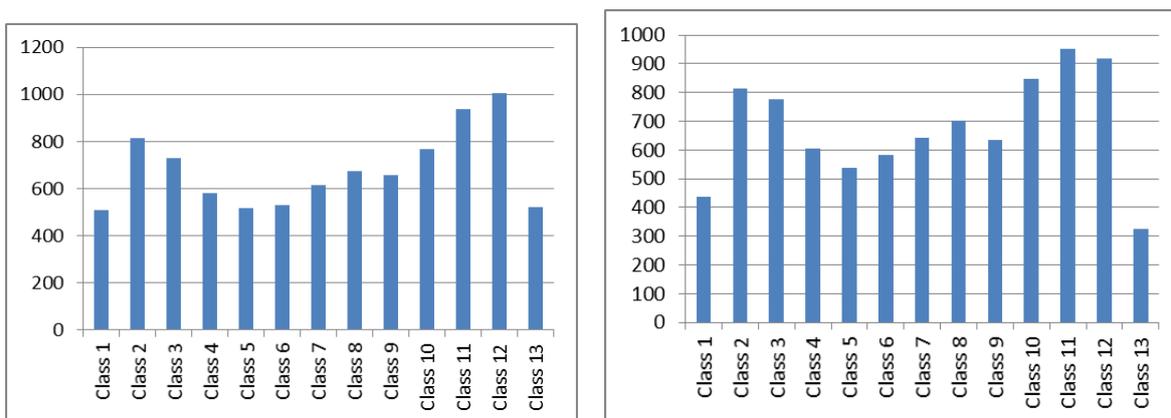


Рис. 4. Лес второго типа

Вид распределений имеет некоторые различия, но принципиально они похожи.

Результаты количественных расчётов для разного типа растительности приведены в таблице 1. Несмотря на визуальное сходство распределения плотности вероятности результаты расчётов дают значительные отличия для участков разного типа и практически полное совпадение для участков одного типа.

Таблица 1

Средние значения яркости для разных типов растительности

	Тип 1		Тип 2	
	Медиана	Отклонение	Медиана	Отклонение
Образец 1	711,7483	97,08872	577,0721	59,18514
Образец 2	686,555	90,35493	577,1819	61,66545
Образец 3	713,7138	97,01717	580,9098	65,88833
Среднее	704,0057	94,82028	578,388	62,24631

Полученные результаты показывают, что медианная характеристика яркости и среднее статистическое отклонение от этого значения могут служить косвенным дешифрировочным признаком для оценки однородности лесного массива, его возраста и плотности покрытия. Однозначная количественная связь может быть получена сравнением изменения статистических характеристик тестовых участков.

Следует отметить, что для повышения достоверности результатов исследуемые снимки нуждаются в предварительной обработке (нормирование), а наиболее удачное применение предлагаемый метод даст при сравнении однотипных объектов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хлебникова Е.П., Симонова Г.В., Симонов Д.П. Исследование структурных признаков при цифровой обработке изображений // Сб. материалов V междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2009». – Т.5, ч.2: Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С.168 – 170.

2. Алексеев А.С. Орлов. М.М. Лесоустройство и статистическая инвентаризация лесов в России// Сб. материалов международной конференции ”Современные проблемы лесного хозяйства и лесоустройства Т.1., №15 –“Государственный лесотехнический университет, 2012 .– С.12-17.

3. Кузнецов В.А., Исаев Л.К., Шайко И.А. Метрология. – Москва: Стандартинформ, 2005. – 298 с.

4. Симонов Д.П. Анализ возможности создания цифровых эталонов признаков для структурированных поверхностей // Сб. материалов VIII междунар. науч. конгр. «ИНТЕР-ЭКСПО ГЕО-Сибирь-2012» – Т.5, ч.2: Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника. – Новосибирск: СГГА, 2012.– С.209 – 212.

© Е.П. Хлебникова, Д.П. Симонов, 2013

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Елена Павловна Хлебникова

Сибирская геодезическая государственная академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, канд. техн. наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (913)901-94-58, e-mail: HleLenka@yandex.ru

Дмитрий Павлович Симонов

Сибирская геодезическая государственная академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (923)245-38-99, e-mail: dumkah@gmail.com

В статье представлены результаты макетных экспериментов, проведенных при разных условиях съемки и рассмотрены зависимости отражательных способностей вегетирующих объектов.

Ключевые слова: цифровые снимки, макетные эксперименты, листовые пластины, автоматизация дешифрирования.

INVESTIGATION OF DIGITAL HIGH-RESOLUTION IMAGES APPLICATION FOR PLANTS REFLECTANCE DETERMINATION

Elena P. Khlebnikova

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, str. Plakhotnogo 10, PhD. tech., assistant professor department of Photogrammetry and Remote Sensing, tel. (913)901-94-58, e-mail: HleLenka@yandex.ru

Dmitry P. Simonov

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, str. Plakhotnogo, 10, graduate student department of Photogrammetry and Remote Sensing, tel. (923)245-38-99, e-mail: dumkah@gmail.com

The results of prototyping experiments conducted under various conditions of surveys are shown. Dependencies of vegetation objects reflectance are considered.

Key words: digital images, model experiments, leaf plates, automated interpretation.

Лесная растительность является одним из наиболее значимых природных ресурсов. Поэтому изучение леса, определение его таксационных характеристик, учет и контроль текущего состояния лесных массивов – задача важная и актуальная.

Развитие дистанционного мониторинга и методов дешифрирования цифровых снимков создают возможности для совершенствования способов определения многих таксационных характеристик.

Однако ряд особенностей подавляющего большинства видов растительного покрова вносит существенные сложности в процесс автоматизированного дешифрирования их цифровых изображений [1]. Сложность дешифрирования таксационных показателей древостоя автоматизированными методами объясняется большой вариативностью изображения одного и того же (или аналогичного) объекта даже на одном изображении [2, 3]. Несмотря на экономическую целесообразность и прогрессирующие технологии цифрового дешифрирования для повышения его эффективности и достоверности при определении таксационных характеристик лесных массивов, необходим поиск как устойчивых признаков дешифрирования, так и надёжных методов их получения [4].

Для выявления особенностей поведения спектральных характеристик отраженного света лиственных и хвойных образцов при изменяющихся условиях съемки был поставлен полигонный эксперимент.

Исходными материалами для проведения работы являлись образцы листьев различных пород деревьев: тополь, яблоня, рябина, береза, калина, сосна, кедр.

Для проведения эксперимента использовалась цифровая фотокамера Canon EOS 450D, штатив и инфракрасный фильтр ИКС-3. В целом съемочная система представляет собой фотоаппарат, зафиксированный на моноподе, в нижней части которого закреплен планшет-транспортёр для выставления угла наклона системы относительно горизонтальной плоскости и планшет с исследуемыми образцами.

Фотографирование образцов проводилось с 5 равноудаленных от плоскости планшета точек, под заданными углами. Измерения проводились для углов 0° , $\pm 30^\circ$, $\pm 60^\circ$ от нормали к плоскости планшета.

В работе проводились две серии эксперимента: в первой серии «дуга» фотографирования находилась в плоскости, перпендикулярной проекции солнечных лучей на поверхность Земли, а во второй – в параллельной. Кроме этого, при тех же условиях снималась нижняя поверхность листовых пластин.

Следует отметить ряд сложностей фотографирования в ИК диапазоне. Основным затруднением работы являлся hot-mirror фильтр, установленный в «тело» фотоаппарата, так как данные фильтры отражают большую часть инфракрасного излучения.

Проведенные эксперименты показали, что использование алгоритмов как неуправляемой, так и классификации с обучением для выявления типов растительности (при данном наборе спектральных каналов) неэффективно, так как интересующие классы имеют достаточно узкий диапазон яркостей. Однако методы автоматизированной классификации позволяют однозначно разделить на классы объекты вегетации и объекты нерастительной группы.

Выбор области снимка для получения статистической информации осуществлялся следующим образом:

- а) область на всех снимках должна быть одной и той же;

б) область должна располагаться в плоскости, параллельной плоскости планшета, т.к. листья имеют собственный изгиб и рельеф, усиливающийся к краям;

в) область должна включать в себя как пластину листа, так и основные прожилки, но их количество не должно превышать 1/10 площади листа.

После обработки всей полученной информации были составлены сводные таблицы, в которых указаны яркостные характеристики выбранных образцов по четырем каналам для пяти положений съемочной системы.

Результаты, представленные в сводной таблице 1, показывают, что в ИК-диапазоне произошло ожидаемое ослабление сигнала, вызванное наличием фильтра. В связи с ослабленным инфракрасным сигналом стало очевидной необходимость применения линейного преобразования для повышения динамического диапазона изображений.

Таблица 1

Значения яркости всех исследуемых образцов для лицевой стороны листа первой серии съемки

Угол	Канал	Тополь	Яблоня	Рябина	Береза	Калина	Сосна	Кедр
-60	ИК	78	77	72	78	85	69	61
	к	104	167	121	118	109	117	126
	з	142	197	156	162	144	132	164
	с	53	133	101	67	66	76	90
-30	ИК	79	84	71	79	87	71	61
	к	94	123	120	113	109	119	124
	з	132	162	157	157	146	135	165
	с	44	81	96	61	67	85	93
0	ИК	81	85	81	71	90	70	61
	к	118	134	113	125	133	121	127
	з	143	165	149	161	164	139	161
	с	53	106	91	81	99	86	89
+30	ИК	77	83	72	80	87	71	62
	к	117	172	129	136	168	122	123
	з	146	196	161	170	191	141	159
	с	78	149	108	98	145	89	88
+60	ИК	72	82	76	69	88	69	59
	к	135	189	144	148	182	122	119
	з	162	207	172	181	203	139	159
	с	91	170	129	109	163	84	84

Технические особенности ПЗС матрицы используемого аппарата и характеристики светофильтра позволили вывести поправочный коэффициент, который предназначен для компенсации ослабления входящего сигнала в инфракрасной области спектра. Данный коэффициент был применен для всех полученных в ИК-диапазоне снимков, т.к. он исключает влияние характеристик съемочной системы на полученные данные в указанном диапазоне длин волн.

Таким образом, второй коэффициент был получен опытным путем: $d=2,8$.

Полученные результаты показывают, что, несмотря на меньшее количество спектральных отметок, общая тенденция, свойственная спектральным кривым разных типов растительности, построенным по данным Е.Л. Кримова и спектральных библиотек, сохраняется. Т.е. на синий и красный диапазоны приходятся локальные минимумы, а на зеленый и ИК – максимумы.

С другой стороны, видны значительные отклонения значений при изменении угла съемки. В таблице 2 представлены полученные значения яркости после приведения.

Таблица 2

Приведенные значения яркости в ИК-диапазоне

Градусы	Тополь	Яблоня	Рябина	Береза	Калина	Сосна	Кедр
-60	218,4	215,6	201,6	218,4	238,0	193,2	170,8
-30	221,2	235,2	198,8	221,2	243,6	198,8	170,8
0	226,8	238,0	226,8	198,8	252,0	196,0	170,8
+30	215,6	232,4	201,6	224,0	243,6	198,8	173,6
+60	201,6	229,6	212,8	193,2	246,4	193,2	165,2

На рис. 1 показано изменение значений яркости в разных каналах в зависимости от изменения угла съемки для листьев яблони.

Следует отметить подобная форма графиков наблюдается для всех исследуемых образцов, кроме хвойных. Это, вероятно, обусловлено спецификой отражения солнечного излучения листовой пластиной.

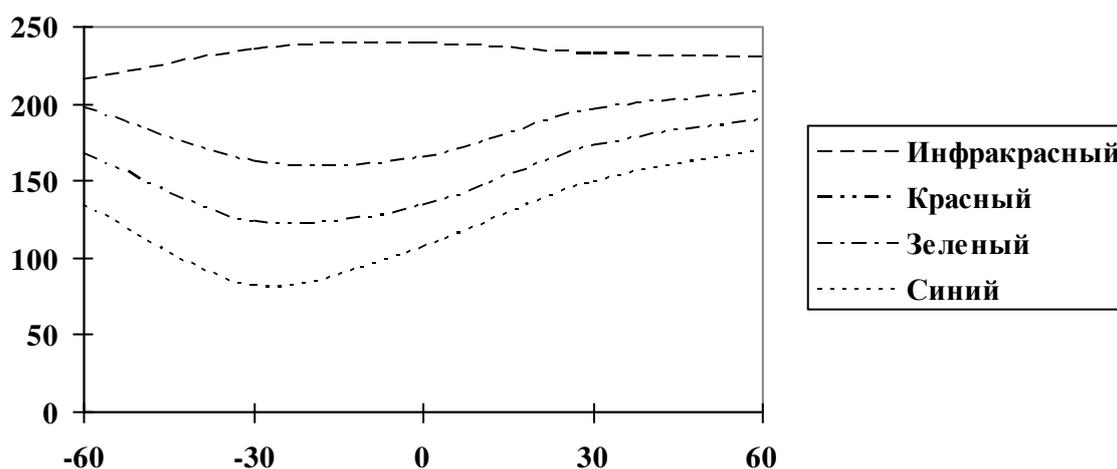


Рис. 1. Изменение значений яркости в зависимости от угла наклона съемочной системы

На основании полученных численных значений яркости были рассчитаны индексы NDVI [5]. Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Индексы NDVI

Градусы	Тополь	Яблоня	Рябина	Береза	Калина	Сосна	Кедр
-60	0,354839	0,127026	0,249845	0,298454	0,371758	0,245648	0,150943
-30	0,403553	0,313233	0,247177	0,323758	0,381736	0,251101	0,158752
0	0,315545	0,279570	0,334903	0,227918	0,309091	0,236593	0,147079
+30	0,296452	0,149357	0,219601	0,244444	0,183673	0,239401	0,170600
+60	0,197861	0,09699	0,192825	0,132474	0,150327	0,225888	0,162562

Полученные результаты подтверждают стабильность отражательных свойств хвойных пород и их независимость от условий съемки.

Теоретически индексы NDVI должны показывать состояние растительных объектов, следовательно, они должны оставаться постоянными. Однако практические исследования показали, что на самом деле изменения условий фотографирования приводят к искажениям значений NDVI.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

- угол наклона съемочной системы оказывает значительное влияние на полученные результаты для лиственных пород; хвойные породы при различных углах съемки сохраняют стабильное значение яркостей;
- изменение положения листовой пластины относительно съемочной системы и/или солнечного освещения приводят к серьезным изменениям численных значений яркости, что заметно затрудняет использование автоматизированных методов дешифрирования для определения таксационных характеристик;
- хвойные и лиственные леса имеют различный характер зависимости яркости от ориентации листовой пластины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хлебникова Е.П., Симонова Г.В., Симонов Д.П. Исследование структурных признаков при цифровой обработке изображений // Сб. материалов V междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2009». – Т.5, ч.2: Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С.168 – 170.
2. Пестунов И.А., Рылов С.А. Сегментация спутниковых изображений высокого разрешения по спектральным и текстурным признакам // Сб. материалов VIII Междунар. конгресса «ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2012». – Т.4, ч.1: Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 90 – 95.
3. Пестунов И.А., Мельников П.В. Информативность систем текстурных признаков для классификации спутниковых изображений с высоким пространственным разрешением // Сб. материалов VIII Междунар. конгресса «ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2012». – Т.4, ч.1: Дис-

танционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 96 – 102.

4. Симонов Д.П. Анализ методов выявления типов растительных покровов по многозональным космическим снимкам // Сб. материалов VIII Междунар. конгресса «ИНТЕР-ЭКСПО ГЕО-Сибирь-2012». – Т.4, ч.1: Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 7 – 11.

© *Е.П. Хлебникова, Д.П. Симонов, 2013*

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОЗОНАЛЬНЫХ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ НА КАФЕДРЕ ФОТОГРАММЕТРИИ И ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ СГГА

Александр Петрович Гук

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, Новосибирск, ул. Плахотного, 10, профессор кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (3833)432966, e-mail: guk_ssga@mail.ru

В статье рассмотрены работы последних лет, выполненные в области автоматизации фотограмметрической обработки и дешифрирования космических снимков высокого разрешения на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА. Показаны примеры использования разработанных методов структурного дешифрирования, основанных на применении вейвлет-анализа.

Ключевые слова: космические снимки высокого разрешения, дешифрирование, вейвлет-анализ.

DEVELOPMENT OF HIGH RESOLUTION MULTISPECTRAL SPACE IMAGES AUTOMATED PROCESSING METHODS

Alexander P. Guk

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Novosibirsk, Plachotnogo st., 10, professor, department of photogrammetry and remote sensing, tel. (3833)432966, e-mail: guk_ssga@mail.ru

Automation photogrammetric processing and pattern recognition works from department of photogrammetry and remote sensing of last several years are considered in article. Examples of using developed structure pattern recognition algorithms, which based on wavelet-analysis, are shown.

Key words: high resolution space images, pattern recognition, wavelet analysis.

Начиная с 2000 года основное направление кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования – автоматизация фотограмметрической обработки и дешифрирования многоспектральных космических снимков высокого разрешения, развиваемое под руководством проф., д.т.н. Гука А.П. [1, 4, 6, 10 и др.]. Были разработаны методики трансформирования космических снимков. Предложены новые дешифровочные признаки объектов на космических снимках, которые основываются на исследовании структурных свойств изображения [5, 7, 8]. Исследованы методы привязки разновременных разномасштабных изображений, проведен мониторинг природных объектов на большую глубину с использованием космических снимков аэрофотоснимков и картографического материала.

В 2003 году был создан ортофотоплан на территорию г. Новосибирска в масштабе 1:2000 по космическим снимкам Quick Bird, причем для привязки снимков и оценки точности обработки снимков было в поле определено более

сотни точек, координаты которых были получены с помощью GPS [1]. Работы показали, что по геометрической точности средние ошибки положения контуров не превышают 0,8 метра, и ортофотоплан удовлетворяет требованиям к топографическим картам масштаба 1:2000, однако не все элементы карты можно отдешифровать на ортофотоплане, например, отдельные столбы, бордюры и т.д.

В качестве структурных признаков дешифрирования космических снимков вначале было предложено использовать Фурье-образы.

Дискретное преобразование Фурье имеет вид:

$$P(u, v) = \frac{1}{NM} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} P(x, y) e^{-i2\pi\left(\frac{ux}{N} + \frac{vy}{M}\right)},$$

где $P(x, y)$ – исходное изображение; $P(u, v)$ – Фурье образ исходного изображения.

Исследования показали, что Фурье-образ более устойчивый дешифровочный признак, чем спектральные яркости относительно изменения освещенности и ряда других внешних факторов. Поэтому его целесообразно использовать как признак некоторого участка изображения и, сравнивая этот участок с другими аналогичными по размерам участками на снимке, можно выявить изменения структуры, то есть выявить, что на снимке изменился объект. Это весьма эффективный метод выявления изменений на разновременных снимка.

Более тонкий инструмент для анализа изменений местности по разновременным снимкам был разработан на основе Вейвлет-анализа, выполняемого в соответствии с соотношениями

$$W_{\varphi}(j_0, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \varphi_{j_0, m, n}(x, y),$$

$$W_{\psi}^i(j, m, n) = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \psi_{j, m, n}^i(x, y),$$

где $W_{\varphi}(j_0, m, n)$ – коэффициенты, определяющие приближение функции $f(x, y)$ в масштабе j_0 ;

$W_{\psi}^i(j, m, n)$ – коэффициенты, определяющие горизонтальные, вертикальные и диагональные детали для масштабов $j \geq j_0$;

$\varphi_{j_0, m, n}(x, y)$ – масштабирующая функция;

$\psi_{j, m, n}^i(x, y)$ – вейвлет-функция.

Вейвлет-анализ позволяет не только указать на наличие изменений, но и локализовать эти изменения. На этой основе был разработан алгоритм выявления мест незаконных рубок леса по космическим снимкам высокого разрешения [10-14]. Проводятся работы по совершенствованию вейвлет-анализа, так этот метод был использован при определении изменения границы леса на большом временном интервале. Также были проведены исследования перемещения оползня в г. Барнаул берега реки Обь.

Большое внимание в работах по автоматизации дешифрирования уделяется анализу корреляционной матрицы многоспектральных измерений в многоспектральных снимках различного типа и совершенствованию методов на основе результатов выполненного анализа. Так был рассмотрен вопрос об изменении базисных векторов разложения Каруэна-Лоэва при изменении участков, выбранных на одном и том же снимке. Таким образом, можно выбрать группу объектов, для которых базисные векторы смогут служить дешифровочными признаками объектов.

Были проведены сравнительные исследования методов Tasseled Cap и метода главных компонент, показаны достоинства и недостатки применения методов. Впервые были получены коэффициенты Tasseled Cap для космических снимков FORMOSAT-2, видоизмененным методом главных компонент. На основе полученных коэффициентов разработан автоматизированный метод дешифрирования однотипных лесных массивов.

В последнее время основные работы проводятся в направлении автоматизированного и автоматического методов определения таксационных характеристик лесных массивов по цифровым аэроснимкам, космическим снимкам высокого разрешения и материалам локационной лазерной съемки. Получены первые результаты, в частности по определению размеров и сомкнутости крон.

Основные результаты работ опубликованы, а также изложены в шести диссертационных работах [3, 13, 18 и др.], написанных под руководством автора статьи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гук А.П. Развитие фотограмметрических технологий на основе имманентных свойств цифровых снимков // Геодезия и картография. -2007.-№11.
2. Хлебникова Е.П., Симонова Г.В. Сравнительный анализ методик формирования эталонов при обработке цифровых изображений/Сб.матер. III Междунар.научн.конгр."ГЕО-Сибирь-2007",Новосиб.-Т.4,Ч.2-С.133-137
3. Хлебникова Е.П. Повышение эффективности регионального мониторинга по космическим снимкам на основе использования эталонов // Автореф.дис. на соиск. уч.степ.канд.техн.наук. по спец-ти 25.00.34.-Новосибирск, СГГА.-2007.-с.25
4. Гук, А.П., Евстратова, Л.Г. Планирование экспериментальных работ по исследованию автоматизации технологии дешифрирования многозональных снимков /Сб.матер. IV Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2008", Новосибирск.-Т.3., Ч. 1.-С.102-108
5. Гук, А.П., Евстратова, Л.Г., Алферова, А.С. Использование структурных признаков изображений типовых участков местности для выявления изменений состояния территорий

по космическим снимкам высокого разрешения // Изв. ВУЗов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2009. – №6. [в печати]

6. Гук, А.П., Евстратова, Л.Г., Алферова, А.С. Комплексный анализ космических снимков для выявления изменений при мониторинге территорий // Сб.матер. V Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2009", Новосибирск.-Т.4., Ч. 2.-С.181-185

7. Гук, А.П., Евстратова, Л.Г., Алферова, А.С., Чикулаева, И.И., Гук, А.А. Исследование возможностей программного комплекса ENVI для мониторинга территорий по космическим снимкам /Сб.матер. V Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2009", Новосибирск.-Т.4., Ч. 2.-С.186-192

8. Алферова, А.С. Использование вейвлет-анализа для выявления изменений при мониторинге территорий по космическим снимкам //Сб.матер. V Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2009", Новосибирск.-Т.4., Ч. 1.-С.97-100

9. Хлебникова, Е.П., Крупочкин, Е.П. Методы дешифрирования археологических памятников //Сб.матер. V Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2009", Новосибирск.-Т.4., Ч. 1.-С.36-40

10. Гук, А.П. Локализация изменений объектов природно-территориальных комплексов по разновременным космическим снимкам [Текст] / А.П. Гук, Л.Г. Евстратова, А.С. Гордиенко, М.А. Алтынцев // Геодезия и картография. – 2010. – № 2. – С. 19–25.

11. Гордиенко, А.С. Использование вейвлет-анализа при обработке аэрокосмических снимков [Текст] / А.С. Гордиенко // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 2. – С. 68–71.

12. Алтынцев, М.А. Вейвлет-анализ для выявления вырубок в лесных массивах по аэрофотоснимкам [Текст] / М.А. Алтынцев, А.С. Гордиенко, А.А. Гук // Сб.матер. VI Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2010", Новосибирск.-Т.4., Ч. 1.– С. 3–8.

13. Гордиенко, А.С. Разработка методики использования вейвлет-преобразования для обработки космических снимков высокого и среднего разрешения при мониторинге лесных массивов // Автореф.дис. на соиск. уч.степ.канд.техн.наук. по спец. 25.00.34.-Новосибирск, СГГА.-2010.- 19 с.

14. Гордиенко, А.С., Алтынцев, М.А., Арбузов, С.А. Разработка методики многоступенчатого дешифрирования космических снимков // Сб. тезисов докладов Международной научно-технической конференции «Фотограмметрия – вчера, сегодня, завтра», Москва. – 2010. – С. 48 - 49.

15. Гук, А.П. Автоматический выбор и идентификация характерных точек на разновременных разномасштабных аэрокосмических снимках [Текст] / А.П. Гук, Йехиа Хассан Мики Хассан // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 2. – С. 63 –68.

16. Гук, А.П. Исследование точности автоматического измерения координат точек снимков с помощью масштабнo-инвариантного преобразования SIFT [Текст] / А.П. Гук, Йехиа Хассан Мики Хассан, С.А. Арбузов // Сб.матер. VI Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2010", Новосибирск.-Т.4., Ч. 1. – С.35 – 38.

17. Йехиа Хассан Мики Хассан Обработка разновременных разномасштабных аэрокосмических снимков для выделения изменений при мониторинге территорий // Дис. на соиск. уч.степ.канд.техн.наук. по спец. 25.00.34.-Новосибирск, СГГА.-2010. - 140 с.

18. Алтынцев М.А. Разработка методик автоматизированного дешифрирования многозональных космических снимков высокого разрешения для мониторинга природно-территориальных комплексов [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.34. — Н., 2011—172с.

19. Арбузов С.А. Разработка методики автоматизированной обработки аэро- и космических снимков для мониторинга городских территорий [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.34. — Н., 2011—132с.

© А.П. Гук, 2013

СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТИННОЙ ВЫСОТЫ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ВЕРТОЛЁТНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОЙ ПЛАТФОРМЫ

Станислав Олегович Шевчук

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и Минерального сырья», 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 67, и.о. заведующего отделом геодезического обеспечения геолого-геофизических работ, тел. (383)22-45-86, e-mail: staspp@211.ru

Вячеслав Николаевич Никитин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА, тел. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Рассмотрены методы получения высоты электромагнитной разведочной платформы аэрогеофизического комплекса «Импульс-Аэро». Предложен способ и устройство решения поставленной задачи фотограмметрическим методом.

Ключевые слова: аэрогеофизика, истинная высота, альтиметрия, геодезическое обеспечение, устройство, способ, фотограмметрия.

THE HEIGHT DEFINITION METHODS OF GEOPHYSICAL AERIAL HELICOPTER PLATFORM

Stanislav O. Shevchuk

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Raw Materials (SNIIGGiMS), 630108, Russia, Novosibirsk, 67 Krasniy Prospekt, acting as head of department of geodetic maintenance of geological and geophysical works tel.: (383)22-45-86, e-mail: staspp@211.ru

Vyacheslav N. Nikitin

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotny St., Ph.D., Assoc. Prof. of department of photogrammetry and remote sensing SSGA, tel. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

In article methods of electromagnetic geophysical aerial platform height above ground finding reviewed. The method and device for this problem solution by using photogrammetric way putted forward.

Key words: aerial geophysics, altimetry, height above ground, geodetic maintenance, device, method, photogrammetry, altimeters.

Электромагнитная разведка становлением поля в комплексе с магнито- и спектрометрией с использованием вертолетных разведочных платформ является заметной тенденцией развития опережающих поисково-оценочных технологий. Эти системы характеризуются высокой разрешающей способностью, глубиной исследований, и позволяют оперативно оценивать перспективность труднодоступных территорий [6].

В Сибирском Научно-исследовательском институте геологии, геофизики и минерального сырья совместно с рядом научно-производственных организаций («Сибгеотех», «Аэрогеофизическая разведка») разработана аэроэлектромагнитная система «Импульс-аэро» с подвесной платформой – источником электромагнитных излучений, расположенной под фюзеляжем вертолёта типа МИ-8, предназначенная для поиска геологических объектов в динамике. Помимо основной задачи – высокоточного прогноза рудных объектов различного генезиса, платформы серии «Импульс-Аэро» успешно применяются при выполнении гидрогеологических, инженерных, экологических изысканий [2,7].

Полный состав аэроразведочного комплекса «Импульс-аэро» включает в себя бортовое оборудование (располагаемое в вертолёте), подвесную платформу (приёмно-генераторную конструкцию), магнитометр, и непосредственно носитель (вертолет). При этом, платформа и магнитометр размещаются под фюзеляжем вертолёта на трос-кабеле длиной 50-60 м. Съёмку данным комплексом выполняют обтеканием рельефа на высоте около 50 м.

При выполнении аэроэлектроразведочных работ с использованием выносной вертолётной платформы, существует задача определения истинной высоты h (превышения над земной поверхностью) подвесной платформы. Для получения достаточно точного геофизического прогноза среды, точность определения данной величины должна находиться на субметровом уровне (СКП на уровне 0.5-1 м).

В настоящее время, для получения величины превышения платформы над земной поверхностью предложено два способа:

1. с использованием лазерного высотомера;
2. с использованием карты или цифровой модели рельефа (ЦМР) и результатов измерений аппаратурой ГНСС.

Каждый из перечисленных способов имеет свои достоинства и ограничения. В данной статье также предложен способ и устройство фотограмметрического определения истинной высоты с использованием пары не метрических фотокамер и инерциальной навигационной системы (ИНС).

Получение превышения платформы над земной поверхностью с использованием карты или ЦМР.

При использовании карты или ЦМР, превышение системы над земной поверхностью можно выполнять путём вычитания из геодезической высоты H платформы, высоты точки земной поверхности на карте H' , на которую проецируется её плановое положение X, Y .

Таким образом, превышение может быть получено по формуле:

$$h = H - H' \quad (1)$$

Геодезические координаты центра платформы (X, Y, H) получаются с помощью спутникового приёмника, устанавливаемого в капсулу платформы-излучателя, H' соответствует высоте рельефа, определяемой по карте или ЦМР

для точки с плановыми координатами x, y , соответствующими проекции координат X, Y платформы на неё.

Данный метод, однако, имеет ряд существенных недостатков, в значительной степени понижающих как точность, так и надёжность получения искомого параметра:

- В первую очередь, точность определения превышения ограничена характеристиками карты или ЦМР. При этом, при использовании карт и ЦМР, получаемых на основе их оцифровки, точность отображения высоты будет зависеть от целого ряда факторов: масштаба карты, способа её создания, сечения рельефа, углов наклона местности, точностью положения опознанных контуров и точностью интерполирования между горизонталями. Величины точности отображения рельефа горизонталями карт и построенными на их основе ЦМР (без учёта точности оцифровки) приведены в таблице 1.

Таблица 1

Точность изображения рельефа горизонталями на топографических картах и планах

Характер местности и рельефа	Точность изображения рельефа горизонталями на топографических картах и планах, м				
	Масштаб карты (плана)				
	1:5000	1:10 000	1:25 000	1:50 000	1:100000
Плоскоравнинная	от 0.12 до 0.30	1.0	1.0	3.0	6.0
Плоскоравнинная, залесённая (частично) в Азиатской части Российской Федерации, севернее 56 параллели	от 0.15 до 0.7	1.0	2.0	3.0	6.0
Плоскоравнинная, сплошь залесённая в Азиатской части Российской Федерации, севернее 56 параллели	от 0.2 до 1.0	2.0	4.0	6.0	12.0
Всхолмлённая пересечённая (открытая), с преобладающими углами наклона до 6°	от 0.7 до 1.5	1.0	2.0	4.0	9.0
Всхолмлённая пересечённая, сплошь залесённая, с преобладающими углами наклона до 6°	от 1.0 до 2.0	2.0	4.0	8.0	18.0
Предгорная (фактически она не выше принятой величины сечения рельефа)	от 2.0 до 5.0	5.0	5.0	10	20
Высокогорная (фактически она не выше удвоенной величины сечения рельефа)	-	20	20	40	80

Примечание: величины, показанные в таблице получены на основе [4].

- Вторым важным недостатком указанного метода является то, что при выполнении измерений спутниковыми методами, получаемая высота является

геодезической, в то время при создании карт используется нормальная система высот.

Соотношение между геодезической (эллипсоидальной) и нормальной (ортометрической) высотами определяется формулой:

$$H^{\nu} = H - \zeta \quad , \quad (2)$$

где H^{ν} - нормальная высота;

H – геодезическая высота (на принятом эллипсоиде);

ζ - высота квазигеоида (геоида) над эллипсоидом.

Использование спутникового метода относительных определений для передачи нормальных высот без учета разностей высот квазигеоида может привести к значительным погрешностям. Среднеквадратические погрешности без учета разности высот квазигеоида над эллипсоидом составляют 0.2 м на расстоянии до 20 км в равнинных районах и до 0.6 м в горных. На расстояниях в 50 км и более погрешности не учета разности высот могут составить более 2 м [5].

При этом также необходимо учитывать, что точность определения высоты непосредственно спутниковой аппаратурой, как правило, в полтора-два раза ниже точности плановых координат [1,5].

Вместо карт и ЦМР, могут применяться цифровые модели местности (ЦММ), получаемые различными методами аэрокосмической съёмки.

Заказ аэросъёмки (как фотографической, так и лидарной) является очень затратным и трудоёмким, по этому, в большинстве случаев, нецелесообразен.

Таким образом, можно сделать общий вывод, что получение превышений платформы данным способом (не учитывая возможности заказа дополнительной аэросъёмки в силу её дороговизны и трудоёмкости) возможно только с точностью нескольких метров. Это является главным недостатком данного способа, сильно ограничивающим его применение.

Получение превышения платформы над земной поверхностью с использованием лазерного высотомера

Для определения и контроля превышения h центра разведочной платформы относительно её проекции на физическую поверхность может использоваться лазерный высотомер с точностью измерения расстояния (до поверхности Земли) 1-2 см, размещаемый на гиросtabilизирующей платформе.

В случае отсутствия гиросtabilизирующей платформы возможны большие ошибки за счёт неустойчивости угла наклона платформы.

При величине угла наклона (крена или тангажа) платформы 10° и высоте платформы над поверхностью Земли 50 м, отклонение измеренной высоты от истинной для равнинной местности составляет около 0.8 м, а сдвиг проекции центра приёмной антенны платформы достигает 8.8 м.

Для всхолмленной или пересечённой местности такие погрешности могут быть значительно выше.

Даже при наличии гиросtabilизирующей платформы или ИНС для определения углов наклона платформы, данный метод сопряжён с рядом сложностей: измерения лазерного высотомера чувствительны к наличию залесенности и весьма проблематичны при наличии водоемов.

Однако, данный способ наиболее точен, высоко автоматизирован и мог бы быть более надежным при наличии гиросtabilизирующей платформы, хоть и сопряжён с рядом сложностей, таких как интерпретация измерений высотомера. Также стоит учитывать стоимость лазерного высотомера и его обслуживания.

Разработка способа получения превышения платформы над земной поверхностью с использованием фотографической системы из двух камер, гироскопа и акселерометра

Существует возможность получения искомой величины с использованием фотографической системы [3].

Принцип получения превышений платформы над земной поверхностью посредством данного способа заключается в использовании свойств стереопар снимков, размещённых на жёсткой основе с углами наклона и базисом.

В основе реализации способа лежит размещение на платформе пары жёстко закреплённых фотокамер, синхронно экспонирующих земную поверхность. Система должна обеспечиваться инерциальной навигационной системой (гироскопом и акселерометром) для точного определения углов наклона платформы. Снимки, получаемые в процессе полёта, при условии их синхронного получения и жёсткости крепления камер, обрабатываются в камеральных условиях специальной программой, автоматически находящей соответствующие точки на снимках посредством коррелятора. В итоге по паре перекрывающихся снимков и известным углам наклона может быть восстановлена истинная высота.

Данный способ мог бы попутно обеспечить обеспечение маршрута фотоснимками, которые могут применяться при интерпретации. Также, величины углов, получаемые посредством ИНС, могут существенно повысить надёжность интерпретации данных электромагнитной съёмки за счёт учёта изменения площади проекции платформы на поверхность съёмки.

Состав съёмочной системы включает в себя:

3. Две цифровые не метрические фотокамеры (предварительно откалиброванные в лабораторных условиях);
4. Блок ИНС (трёхосный гироскоп и трёхосный акселерометр, компенсирующий дрейф гироскопа);
5. Блок управления – микрокомпьютер или портативный компьютер, ведущий запись информации с блока ИНС, посылающий камерам команду съёмки и выполняющим ее исполнение посредством исполнительных механизмов;
6. Блок обработки – программное обеспечение для выполнения камеральной обработки данных съёмки.

Кроме того, для синхронизации системы по времени с измерениями приёмной антенны платформы рекомендуется использовать временные метки (PPS) спутникового приёмника, применяемого для пространственно-временной привязки платформы.

Состав и функционирование системы показаны на рисунке 1.

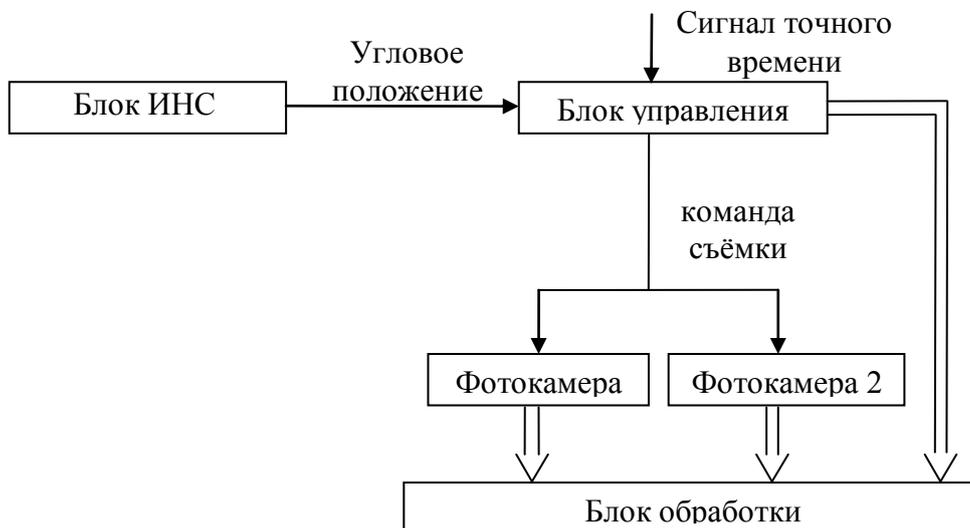


Рис. 1. Строение и функционирование предложенной системы

Данную систему предлагается размещать на платформе на жёстких креплениях, в соответствии с рисунком 2. Рекомендуется размещать камеры по краям платформы, на уровне приёмного центра антенны, горизонтально на жёстких креплениях. Подобная схема размещения камер наиболее удобна для определения превышения платформы над земной поверхностью, так как точку, для которой определяется превышение над земной поверхностью, можно принять лежащей в центре базиса камер (посередине линии, соединяющей центры фотографирования). Блок управления и блок ИНС рекомендуется размещать внутри капсулы.

Способ основан на геометрической обратимости точек перекрывающейся пары фотоснимков, полученных при фотосъёмке из разных точек пространства S_1 и S_2 с помощью фотокамер с фокусными расстояниями, f_1 и f_2 , расположенных в точках S_1 и S_2 на известном расстоянии друг от друга, базисе B , рисунок 3.

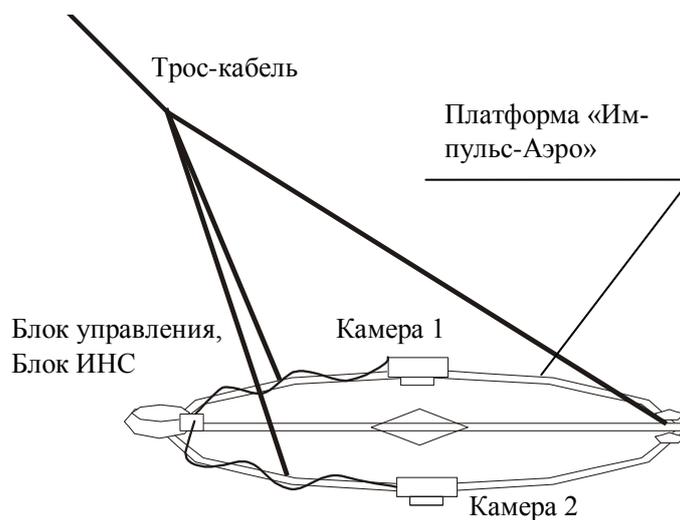


Рис. 2. Размещение аппаратуры съёмочного фотографического комплекса на платформе

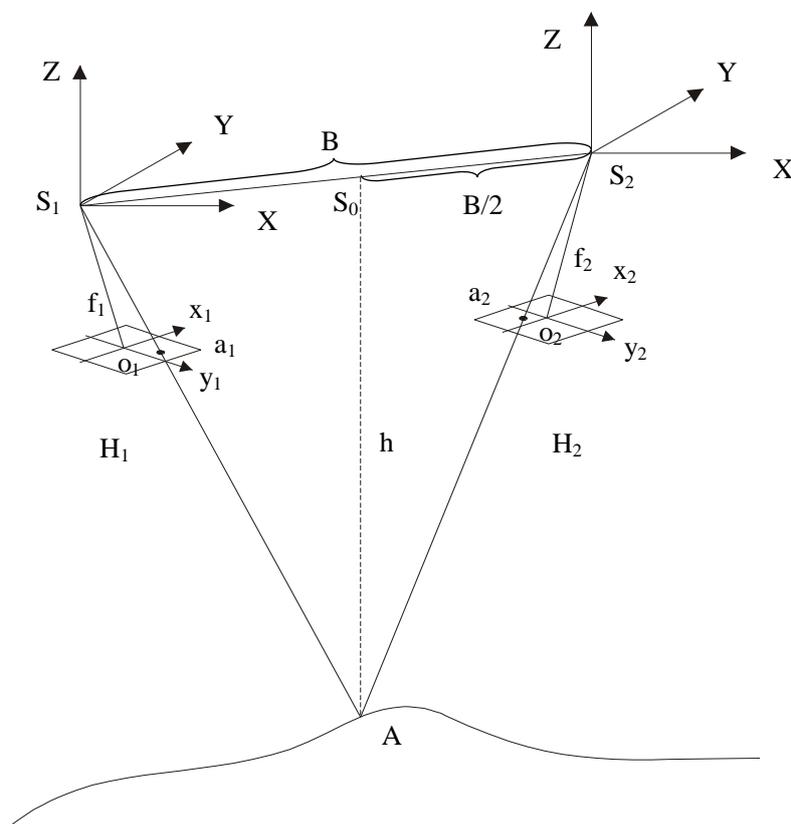


Рис. 3. Получение значения превышения системы над земной поверхностью посредством системы из двух синхронизированных фотокамер

Высота h полёта (превышения движущийся геофизической платформы) над исследуемой поверхностью (точкой A - проекцией центра платформы на

исследуемую поверхность), согласно данному способу, определяется для точки S_0 , находящейся между камерами в центре базиса B , в соответствии с выражением:

$$h = \left| \frac{B_Z}{2} - Z_A \right|; \quad (3)$$

где B_Z – проекция базиса B на ось Z ; Z_A – аппликата точки A .

Обработка снимков осуществляется по известным из фотограмметрии зависимостям в блоке обработки и включает:

- ввод в блок обработки данных из блока управления и фотоснимков с фотокамер.

- вычисление составляющих B_X , B_Y , B_Z базиса B по углам крена ($\alpha_{пл}$), тангажа ($\omega_{пл}$) и курса ($\kappa_{пл}$) платформы во вспомогательной системе координат S_1XYZ , задаваемой инерциальной навигационной системой;

- вычисление координат X_A , Y_A центра S_0 подвижной платформы в указанной системе координат S_1XYZ ;

- по известным фокусным расстояниям f_1 и f_2 фотокамер и координатам главных точек O_1 и O_2 снимков 8, 9 (x_{o1} , y_{o1} , x_{o2} , y_{o2}) для каждой из фотокамер и плоским координатам соответственных точек снимков (x_1 , y_1 , x_2 , y_2) в шести характерных зонах (измеряемых автоматизировано) осуществляют расчёт элементов взаимного ориентирования (углы α_1' , κ_1' , α_2' , ω_2' , κ_2') снимков в базисной фотограмметрической системе координат $S_1X'Y'Z'$;

- с учётом данных инерциальной системы ($\alpha_{пл}$, $\omega_{пл}$, $\kappa_{пл}$) осуществляют переход к вспомогательной системе S_1XYZ (вычисление элементов внешнего ориентирования снимков, участвующих в дальнейших вычислениях);

- после чего на левом и правом снимках по координатам X_A , Y_A и приближенному значению высоты (Z) полёта в системе координат S_1XYZ , вычисляют координаты измеряемой точки на обоих снимках (x_1 , y_1) $_A$ и (x_2 , y_2) $_A$. С помощью коррелятора выполняется итерационный подбор аппликаты Z_A ;

- по полученным величинам Z_A и B_Z вычисляется искомая величина h – превышение подвижной платформы над исследуемой поверхностью в процессе проведённой аэрогеофизической съёмки.

При наличии препятствий, например в залесенной местности, точка A может быть смещена, что, в отличие от определения высоты лазерным высотомером, позволяет получить необходимую величину более надёжно.

Метод и устройство в настоящее время находятся в разработке.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович, К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии [Текст] В 2 т. Т.-1. Монография/ К.М. Антонович; - М.: Картгеоцентр, 2005. – 334 с.
2. Барсуков, С.В. Особенности построения высокоточной аэрогеофизической системы серии «импульс-аэро» [Текст] / С.В. Барсуков, А.А. Белая, Ю.Ю. Дмитриев, А.С. Сверкунов,

Е.Н. Махнач, Г.М. Тригубович // Недропользование. Горное дело. Новые направления и перспективы поиска и разведки месторождений полезных ископаемых Сибири: VIII междунар. научный конгресс «ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2012», 10-20 апр., 2012 г. - Новосибирск, 2012 в 2 т. - Т.1, - С. 224-229

3. Заявление о выдаче патента Российской Федерации на изобретение № 2012139733/28(064245) Устройство и способ определения превышений (высоты) подвижного объекта (геофизической платформы) над земной поверхностью при аэрогеофизических исследованиях / С.О. Шевчук, В.Н. Никитин, С.В. Барсуков / приоритет от 17.09.2012

4. Основные положения по содержанию карт масштабов 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1000000. ГКИНП 30. М.: Редакционно-издательский отдел ВТС, 1977.

5. Прихода, А.Г. GPS-технология геодезического обеспечения геологоразведочных работ: Методические рекомендации / А.Г. Прихода, А.П. Лапко, Г.И. Мальцев, И.А. Бунцев / Науч. ред. А.Г. Прихода. - Новосибирск: СНИИГГиМС, 2008. - 274 с., прил. 5.

6. Тригубович, Г.М. Аэрогеофизические вертолетные платформы серии «Импульс» для поисково-оценочных исследований [Текст] / Г.М. Тригубович, М.Г. Персова, С.Д. Саленко // Приборы и системы разведочной геофизики – 2006. – № 2(16) – С. 18-21.

7. Тригубович, Г.М. Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования [Текст] // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 80–87.

© С.О. Шевчук, В.Н. Никитин, 2013

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОЧЕК ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ НА ВЫДЕЛЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ ДЕРЕВЬЕВ

Роман Александрович Попов

Сибирская Государственная Геодезическая Академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, инженер НИС, e-mail: romalex_profi@mail.ru

Максим Александрович Алтынцев

Сибирская Государственная Геодезическая академия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

В статье рассмотрена зависимость между плотностью точек воздушного лазерного сканирования и возможностью выделения отдельных деревьев. Приведен анализ достоверности выделения отдельных деревьев.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование, плотность точек лазерных отражений, цифровая модель рельефа, цифровая модель поверхности.

THE EFFECTS OF SAMPLING DENSITY IN AIRBORNE LASER SCANNING TO EXTRACT INDIVIDUAL TREES

Roman A. Popov

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., engineer, SRS, e-mail: romalex_profi@mail.ru

Maxim A. Altyntsev

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., senior teacher, photogrammetry and remote sensing department, tel. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

In the article effects of laser points density in airborne laser scanning to extract individual trees are considered. Analyses of reliability individual trees extraction is given.

Key words: airborne laser scanning, laser points density, digital elevation model, digital canopy model, digital surface model.

В Российской Федерации лесоустройство представляет собой одно из важнейших направлений развития страны. Из-за больших площадей, занимаемых лесом в нашей стране, требуется в короткие сроки выполнять своевременный мониторинг состояния лесного покрова и определять лесотаксационные характеристики. Особо остро стоит задача автоматизации определения лесотаксационных характеристик леса. В связи с этим предлагается использовать воздушное лазерное сканирование как наиболее точный и быстрый способ получения пространственной информации [1].

Главным преимуществом воздушного лазерного сканирования перед, например, аэрокосмической съёмкой, является получение точной цифровой модели рельефа (ЦМР) и цифровой модели поверхности (ЦМП) лесного покрова. На

основе сравнения ЦМР и ЦМП можно с достаточно высокой точностью определить высоты деревьев, а при анализе ЦМП определить местоположение деревьев и диаметры крон [2,3].

Наиболее удобным для этих целей программным продуктом является TerraSolid. В данном программном продукте присутствует набор инструментов для автоматического определения характеристик деревьев. Сначала выполняется классификация ТЛО, относящихся к лесному покрову, затем проводится выделение отдельных деревьев, при этом используются RPC модели крон деревьев [4,5].

Целью исследований являлось выяснение влияния плотности ТЛО на достоверность выделения отдельных деревьев. Достоверность определения зависит от исходных данных, а именно от плотности точек лазерного отражения (ТЛО). В статье рассматривается зависимость между плотностью исходных ТЛО и количеством автоматически выделенных отдельных деревьев, вычисляется достоверность выделения. Плотность ТЛО зависит от высоты сканирования, а также от модели лазерной сканирующей системы. В данной статье рассматривается один вид сканирующей системы и моделируется изменение высоты полета путем уменьшения плотности ТЛО [6]. Исходная высота полета – 100 метров.

В целях эксперимента был выбран небольшой отсканированный участок лесистой территории, на котором вручную подсчитывалось количество деревьев. Результат подсчета показан на рисунке 1, всего на выбранном участке оказалось сорок пять деревьев.

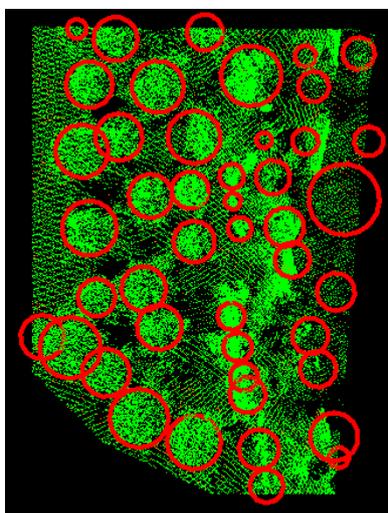


Рис. 1. Количество вручную подсчитанных деревьев

Далее проводился автоматический поиск деревьев для данных с различной плотностью ТЛО. Результаты автоматического выделения деревьев приведены на рисунке 2.

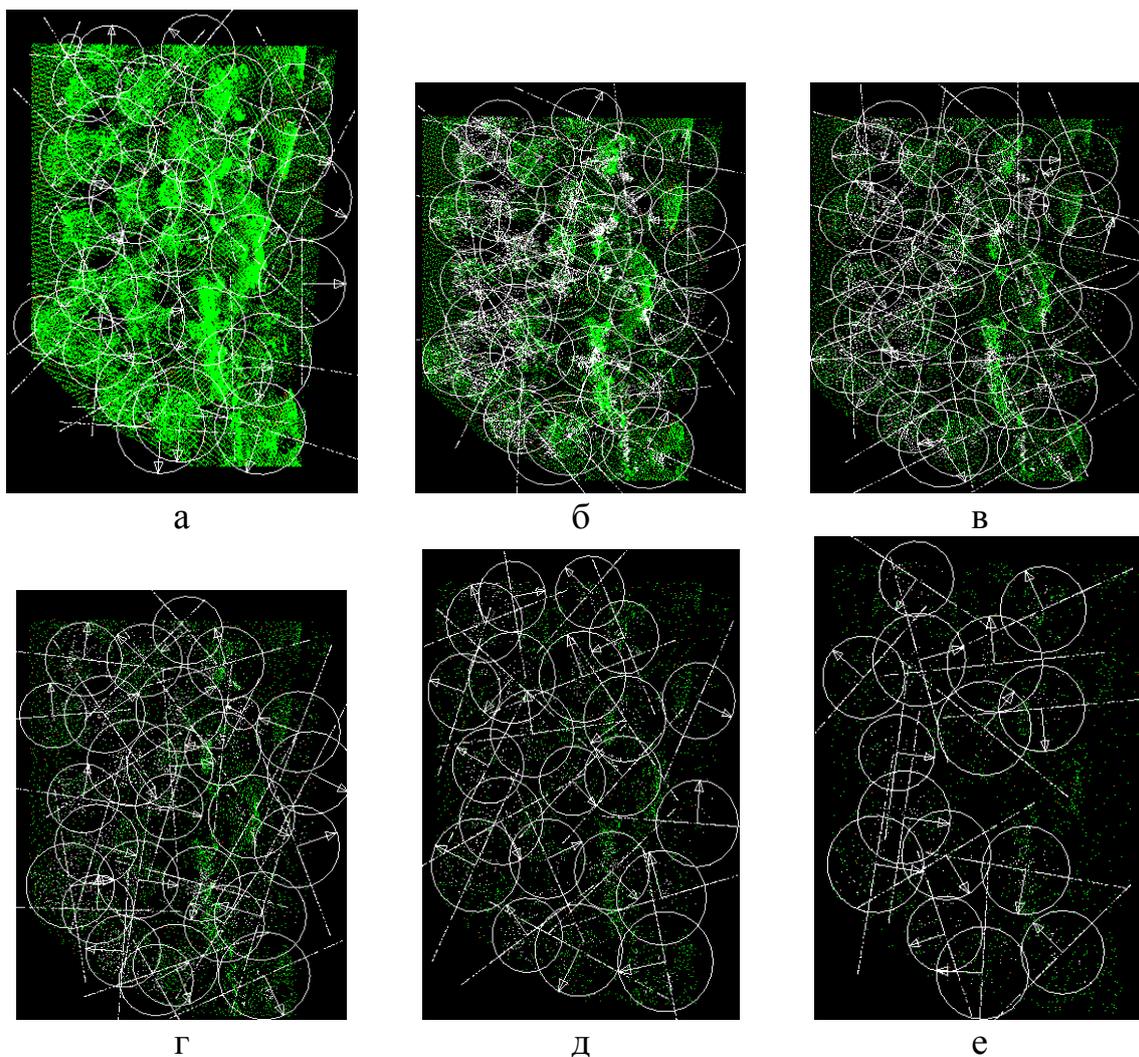


Рис. 2. Автоматическое выделение деревьев:

а – 33 дерева (исходная плотность); б – 32 дерева (каждая 2-я точка); в – 31 дерево (каждая 4-я точка); г – 28 деревьев (каждая 8-я точка); д – 22 дерева (каждая 16-я точка); е – 15 деревьев (каждая 32-я точка).

На рисунке 3 приведен график зависимости количества выделенных деревьев от плотности ТЛО, в таблице 1 показана достоверность выделения отдельных деревьев автоматическим способом. Из приведенных данных видно, что чем меньше плотность ТЛО, тем ниже достоверность выделения отдельных деревьев.

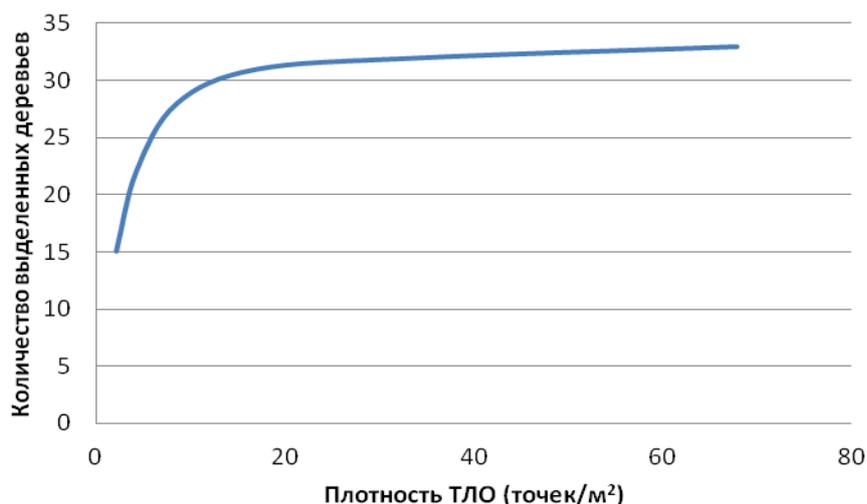


Рис. 3. Зависимость количества выделенных деревьев от плотности ТЛО

Таблица 1

Достоверность выделения отдельных деревьев в зависимости от плотности ТЛО

Плотность ТЛО (точек/м ²)	Количество выделенных деревьев	Достоверность, %
67,9	33	73,3
33,8	32	71,1
16,9	31	68,9
8,5	28	62,2
4,2	22	48,9
2,1	15	33,3

Анализируя данные, представленные на рисунке 3 и в таблице 1, можно сделать вывод о необходимости использования в целях определения отдельно стоящих деревьев данные лазерного сканирования с плотность ТЛО не менее 20 точек/м². Таким образом, можно добиться наиболее достоверного результата выделения отдельных деревьев и дальнейшего определения их лесотаксационных характеристик. Использование данных лазерного сканирования с плотностью ТЛО менее 15 точек/м² дает недостоверный результат выделения отдельных деревьев. Данные лазерного сканирования с низкой плотностью ТЛО можно применять для определения высот лесного покрова посредством сравнения ЦМР и ЦМП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилин, И.М. Лазерная локация земли и леса [Текст]: учеб. пособие / И.М. Данилин, Е.М. Медведев, С.Р. Мельников – Красноярск: Институт леса им. Сукачева СО РАН, 2005. – 182 с.
2. Симонов, Д.П. Анализ методов выделения типов растительных покровов по многозональным космическим снимкам [Текст] / Д.П. Симонов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012: VIII Междунар. научн. конгресса, 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 7–11.
3. Чермошенцев, А.Ю. Обновление топографических планов масштаба 1:5000 с использованием космических снимков сверхвысокого разрешения [Текст] / А.Ю. Чермошенцев // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012: VIII Междунар. научн. конгресса, 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 32–36.
4. Широкова, Т. А. Определение изменений на местности с применением данных лидарной съемки [Текст] / Т. А. Широкова, А. В. Антипов, С. А. Арбузов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. научн. конгресс, 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. Т. 1. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 38–45.
5. Айрапетян, В. С. Использование данных лазерного зондирования для создания трехмерных реалистичных сцен городских территорий [Текст] / В. С. Айрапетян, Т. А. Широкова, А. В. Антипов // ГЕО-Сибирь-2011. Т. 4. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология: сб. матер. VII Междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2011», 19–29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск : СГГА, 2011. – С. 11–13.
6. Антипов, А. В. Влияние плотности точек воздушного лазерного сканирования на точность создания цифровой модели рельефа местности [Текст] / А. В. Антипов // ГЕО-Сибирь-2010. Т. 4. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Ч. 1: сб. матер. VI Междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2010», 19–29 апреля 2010 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2010. – С. 18–23.

© Р.А. Попов, М.А. Алтынцев, 2013

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА И ПРОГРАММЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ МАКЕТНЫХ АЭРОСНИМКОВ, ОБРАЗУЮЩИХ МАРШРУТ

Вадим Сергеевич Коркин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, к.т.н., доцент, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383) 236-12-66, e-mail: Vadim.nov55@mail.ru

Анастасия Евгеньевна Червова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, аспирант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (923)249-14-10, e-mail: Anastliss@mail.ru

В статье рассматривается алгоритм формирования цифровых макетных аэрофотоснимков, образующих маршрут, которые предполагается использовать для исследования маршрутной фототриангуляции.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа, цифровые макетные аэроснимки, маршрут, тест-объекты, цифровая фотограмметрическая станция, элементы ориентирования снимков, обратное трассирование.

DEVELOPMENT ALGORITHMS AND PROGRAMS OF DIGITAL MOCK-UP IMAGES FORMATIONS AND FORMING A ROUTE FROM THEM

Vadim S. Korkin

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., PhD, associate professor of Department of Photogrammetry and Remote Sensing, tel. (383) 236-12-66.

Anastasia E. Chervova

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., postgraduate student of Department of Photogrammetry and Remote Sensing, tel. (923)-249-14-10, e-mail: Anastliss@mail.ru

The article deals the algorithm of digital mock-up images formations and forming a route from them. This digital mock-up images to be used for the study route triangulation.

Key words: digital terrain model (DTM), digital mock-up images, route, test object, Digital Photogrammetric Station, elements of image orientation, the reverse ray tracing.

Для исследования правильности и точности работы алгоритмов, заложенных в современных цифровых фотограмметрических системах (ЦФС), необходимо применять цифровые тест-объекты. В настоящее время существует два вида цифровых макетов – битовые и реалистичные.

Реалистичные макетные снимки обладают рядом преимуществ, но главным их недостатком является сложность создания в среде машинной графики. В настоящее время ведутся исследования по созданию таких макетов, основан-

ные на моделировании 3D-сцены, представленной в геоцентрической системе координат [1].

Битовые снимки-макеты имеют дискретность поля изображения в виде замаркированных точек или линий. Оценка точности измерений производится только в замаркированных точках. Точность их построения ограничена из-за целого представления координат точек. Отсутствует восприятие стереоэффекта. Преимущества таких снимков заключается в простоте создания, в малом размере готовых файлов [2]. Ранее, в статьях [2,3,4], приведены алгоритмы создания таких тест-объектов состоящие из одной стереопары.

В данной статье приводится алгоритм формирования цифровых макетных аэроснимков, образующих маршрут. Особенность этого алгоритма заключается в его организации – в нем применяется цикл формирования стереопар с организацией обратного и прямого трассирования для вычисления координат связующих точек.

Для создания макетных аэроснимков необходимо задать элементы внутреннего и внешнего ориентирования снимков и цифровую модель рельефа [5], которая бы покрывала всю область моделирования местности, захватываемую аэроснимками. Технологическая схема формирования снимков маршрута показана на рис. 1.

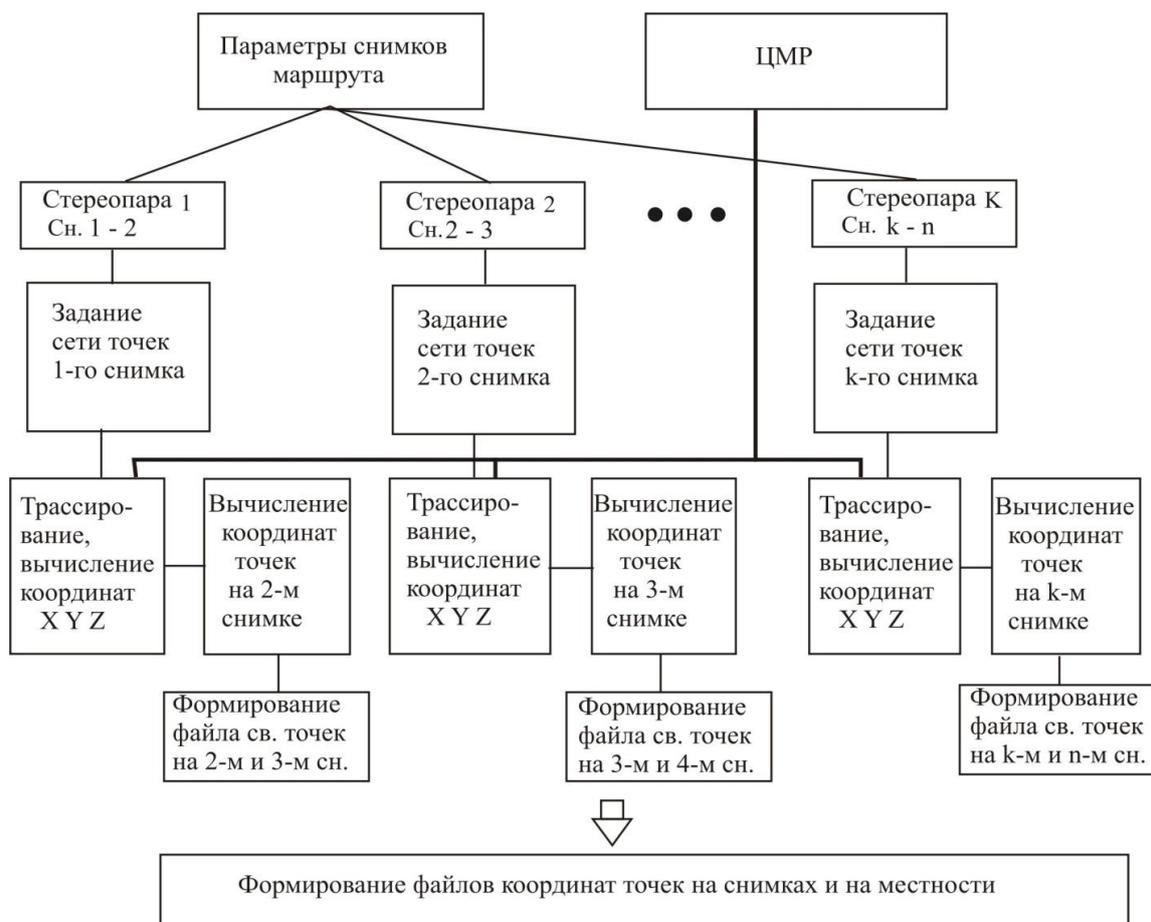


Рис. 1. Технологическая схема создания битовых макетных аэроснимков, образующих маршрут

К параметрам снимков относятся:

- фокусное расстояние АФА (f);
 - координаты главной точки (x_0, y_0);
 - формат снимков (l_x, l_y);
 - продольное перекрытие снимков (q_x);
 - элементы внешнего ориентирования ($X_{S_i}, Y_{S_i}, Z_{S_i}, \alpha_i, \omega_i, \kappa_i$) ($i = 1, \dots, N$).
- Данные о ЦМР хранятся в виде коэффициентов a_{ij} полинома:

$$P(X, Y) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 a_{ij} \hat{T}_i(X) \hat{T}_j(Y), \quad (1)$$

а также плановых координат X, Y границ моделируемого участка, числа фрагментов и числа элементарных участков в фрагменте.

Координаты Y_{S_i} снимков вычисляются по формуле:

$$Y_{S_{i+1}} = Y_{S_i} + B_x, \quad (2)$$

где $i = 1, \dots, N$; N – число снимков в маршруте; B_x – базис фотографирования:

$$B_x = \frac{l_x(100 - q_x)}{100f}, \quad (3)$$

H – высота фотографирования над средней плоскостью участка моделирования (ЦМР):

$$H = Z_S - h_{cp}. \quad (4)$$

На каждом снимке маршрута разбивается сетка точек в зонах продольного перекрытия по формулам:

$$\begin{aligned} x_i &= x_1 + (i - 1)h_x, \\ y_i &= y_1 + (i - 1)h_y, \end{aligned} \quad (5)$$

где x_i, y_i – координаты узлов сетки; i, j – номера узлов сетки, соответственно по осям x и y ; h_x, h_y – шаг сетки по осям x и y ; x_1, y_1 – координаты первого узла сетки; n_x, n_y – число узлов сетки по x и y .

Для каждой точки на снимках определяются пространственные координаты X, Y, Z на местности с использованием ЦМР. При этом применяется обратное трассирование. Определяются координаты точки пересечения проецирующего луча, проходящего через точку на левом снимке и центр проекции S с поверхностью рельефа [6]. Затем, с использованием формул коллинеарности вычисляются координаты этих точек на правом снимке каждой стереопары.

Результатом создания макетных снимков маршрута по данному алгоритму является:

- файлы координат точек на левом и правом снимках каждой стереопары и их пространственные координаты;
- файлы координат связующих точек на каждом снимке и их пространственные координаты.

Следующим этапом является создание цифровых битовых макетных снимков. Для этого координаты точек каждого снимка перевычисляются в систему координат цифровых снимков, имеющих разрешение 5 или 10 мкм.

Точки маркируются в среде растровой графики Photoshop. При маркировке происходит округление координат, что приводит к погрешностям макетных снимков. Однако, как показали ранее проведенные исследования, данная погрешность в координатах точек цифровых снимков не превышает 3 мкм при разрешении 10 мкм. Это соответствует требованиям инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов 2002 года. Кроме того, т.к. для моделирования используется непрерывная цифровая модель рельефа, можно выбрать любые точки, у которых погрешность незначительная. Также погрешность можно уменьшать за счет выбора более высокого разрешения цифрового снимка.

По данному алгоритму создана компьютерная программа, с помощью которой выполнены расчеты и сформированы макетные снимки маршрута.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Никитин В.Н., Сидякина А.Е. Методика моделирования цифровых реалистичных макетных снимков с использованием машинной графики // ГЕО - Сибирь-2012 Т.4.Ч.1. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология, СГГА, 2012г стр. 33-37
2. Коркин В.С. Разработка макетных снимков для тестирования цифровых фотограмметрических систем // Современные проблемы геодезии и оптики: Материалы междунар. научн.-техн. конф., посвящ. 65-летию СГГА – НИИГАиК, 23-24 нояб. 1998 г. – Новосибирск: СГГА. С. 62- 69.
3. Коркин В.С. Цифровые фотограмметрические тест-объекты для тестирования цифровых фотограмметрических станций // «Геодезия и картография». – 2008. - № 2. – С. 39-41.
4. Коркин В.С., Сидякина А.Е. Проект создания комплекса цифровых макетных аэро-снимков для исследования фотограмметрических систем // Гео-Сибирь – 2011 Т.4 Ч.1. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология, СГГА, 2011г., С. 72 – 74.
5. Коркин В.С. Моделирование рельефа с использованием ортонормированных полиномов Чебышева // Сб. материалов X Международной научн.-практической конференции “Методы дистанционного зондирования и Гис-технологии для оценки состояния окружающей среды, инвентаризации земель и объектов недвижимости”. GEOINFOCAD-ASIA, (МГУГиК), 20-29 мая 2006. - Китай.- С. 56 - 62.
6. Коркин В.С. Алгоритм обратного трассирования лучей для формирования цифровых макетных снимков // Сб. материалов III Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь - 2007», Новосибирск, - Т. 3. С. 45-48

© В.С. Коркин, А.Е. Червова, 2013

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ ВЫСОТ ПО КАРТАМ МЕЛКОГО МАСШТАБА ПРИ ВЫЧИСЛЕНИИ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ РЕДУКЦИИ

Александр Владимирович Черемушкин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. 361-08-66

Статья посвящена определению точностных характеристик высотных отметок, снятых с физических карт мелкого масштаба при формировании планетарной цифровой модели рельефа Земли.

Ключевые слова: географические карты, планетарная цифровая модель рельефа, средняя квадратическая погрешность.

INVESTIGATION OF HEIGHT INTERPOLATION ERRORS BY SMALL-SCALE MAPS WHILE CALCULATING TOPOGRAPHIC REDUCTION

Alexander V. Cheryomushkin

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., PhD. tech., assistant professor department of Photogrammetry and Remote Sensing, tel. 361-08-66

The paper deals with determination of precision characteristics of heights by physical small-scale maps while developing digital planetary model of the Earth' surface.

Key words: physical small-scale maps, digital planetary model of the Earth' surface, determination.

Измерение силы тяжести выполняются на физической поверхности Земли во внешнем пространстве, под водой и под земной поверхностью, например, в скважинах и шахтах. Выполненные в разных условиях наблюдения несопоставимы между собой и нормальным гравитационным полем, построенным для фигуры относимости (уровенный эллипсоид). Поэтому из измеренных значений силы тяжести вычитают некоторые нормальные величины, представляющие гравитационный эффект теоретической Земли. Полученные таким образом разности получили название аномалий силы тяжести.

Основной причиной, вызывающей сложный характер изменения аномалий силы тяжести, является действие притягивающих топографических масс, расположенных в промежуточном слое, ограниченным сверху физической поверхностью Земли, снизу – поверхностью принятого уровенного эллипсоида. Таким образом, определение аномалий силы тяжести связано с наиболее трудоёмким процессом вычисления поправок (редукции) за рельеф местности.

При расчёте топографической редукции требуется знание рельефа всей поверхности Земли. Для этих целей построена планетарная цифровая модель рельефа Земли (ПЦМР – СГГА) [1]. Высоты земной поверхности в этой модели получены из комбинации следующих данных:

- радарной трёхмерной топографической съёмки с борта космического корабля “Endeavour”;
- топографических карт масштаба 1:1 000 000;
- физических карт более мелкого масштаба.

Очевидно, что погрешность определения высот точек местности по картам различного масштаба не одинакова. Данные исследования посвящены вопросу оценки погрешностей измерений высотных отметок, заложенных в ПЦМР – СГГА, полученных по картам различного масштаба.

Построение планетарной цифровой модели рельефа Земли заключается в определении высот точек в узлах регулярной сетки в эллипсоидальной системе координат, с одинаковым значением шага по широте (В) и долготе (L), например, равным 1-му градусу.

Очевидно, чем крупнее масштаб топографической карты, тем с большей степенью точности будет определено значение высоты измеряемой точки. Однако, крупномасштабные топографические карты (например, масштаба 1:1 000 000) на определённые участки суши Земли либо не существуют, либо недоступны для массового пользования. Поэтому используются географические карты более мелкого масштаба. Встаёт вопрос, достаточна ли точность определения высотных отметок, взятых с этих карт?

В качестве основной характеристики точности измерений примем среднюю квадратическую погрешность “m”, вычисляемую по известной формуле (1):

$$m = \sqrt{\frac{\sum \Delta^2}{n}}, \quad (1)$$

где Δ - отклонение результатов измерений от истинного значения;
n - количество измерений.

Как уже отмечалось, для построения ПЦМР необходимо иметь высотные отметки точек в узлах регулярной сетки. В данной работе выбрана сетка с шагом 1^0 по широте (В) и 1^0 по долготе (L). В качестве “истинных” значений приняты высоты, полученные с топографических карт масштаба 1:1 000 000.

“Измеренные” значения высот в соответствующих точках определялись в трёх вариантах:

1. По карте масштаба 1:4 000 000 равнинного участка местности.
2. По карте масштаба 1:2 000 000 того же участка, что и в варианте 1.
3. По карте масштаба 1:4 000 000 всхолмлённого участка местности.

Следует отметить, что высоты в углах сетки, попадающие на водные пространства, не были включены в обработку.

В результате выполненных исследований, получены следующие результаты:

1. В 1-ом варианте (равнинный участок местности на карте масштаба 1:4 000 000) средняя квадратическая погрешность составила 42.9 метра.

2 Во 2-м варианте (равнинный участок местности на увеличенной карте до масштаба 1:2 000 000) средняя квадратическая погрешность составила 42.6 метра.

3. В 3-ем варианте (всхолмлённный участок местности на карте масштаба 1:4 000 000) равна 51.1 метра.

Таким образом, полагая, что при расчёте топографической редукции за дальнюю область (учитываемые массы промежуточного слоя лежат за пределами радиуса в 200 км относительно точки наблюдения) допустимая случайная погрешность высот модели рельефа может составлять $\pm(50-60)$ метров [2], т.е. вполне приемлемо использование географических карт масштаба 1:4 000 000.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дементьев Ю.В., Каленицкий А.И., Кулик Е.Н., Черемушкин А.В. Построение планетарной цифровой модели рельефа Земли для выполнения полной топографической редукции гравитационного поля // Геодезия и картография.-2010.-№ 12.-с. 17-19.

2. Дементьев Ю.В. Развитие теории и разработка технологии определения аномалий силы тяжести в полной топографической редукции: автореф. дис. доктора техн. наук / Дементьев Юрий Викторович. - Новосибирск, 2012.-42с.

© А.В. Черемушкин, 2013

СОЗДАНИЕ МАКЕТНЫХ СНИМКОВ ПЛОЩАДНОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ARCGIS

Вячеслав Николаевич Никитин

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, к.т.н., доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (913)712-37-50, e-mail vslav.nikitin@gmail.com

Елена Юрьевна Сахарова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, аспирант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (913)743-21-77

Анастасия Евгеньевна Червова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного 10, аспирант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (923)249-14-10, e-mail Anastliss@mail.ru

В статье представлена технология создания макетных снимков в среде геоинформационной системы (ГИС) ArcGis, предназначенных для решения различных фотограмметрических задач.

Ключевые слова: макетные снимки, ГИС ArcGis, цифровая модель рельефа (ЦМР), снимки высокого и сверхвысокого разрешения.

ESTABLISHMENT OF THE MOCK-UP IMAGES FOR GENERAL COVERAGE PHOTOGRAPHY WITH USE ARCGIS

Vyacheslav N. Nikitin

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 630108, Russia, Novosibirsk, Plakhotnogo 10, PhD, associate professor of Department of Photogrammetry and Remote Sensing, tel. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Elena Yu. Sakharova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 630108, Russia, Novosibirsk, Plakhotnogo 10, post-graduate student of Department of Photogrammetry and Remote Sensing, tel. (913)743-21-77

Anastasia E. Chervova

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA) 630108, Russia, Novosibirsk, Plakhotnogo 10, post-graduate student of Department of Photogrammetry and Remote Sensing, tel. (923)249-14-10, e-mail: Anastliss@mail.ru

The article deals the mock-up images creation environment for photogrammetry tasks determination in the ArcGIS geoinformation system (GIS).

Key words: mock-up images, GIS ArcGIS, digital terrain model (DTM), image of high and ultra-high resolution.

Применение макетных снимков – это удобный и надежный способ решения ряда задач, возникающих в фотограмметрии. Существуют несколько типов макетных снимков, каждый из которых соответствует определенной проблеме: макетные снимки с внесенными искажениями для отработки алгоритмов калибровки неметрических камер, тест-объекты, применяемые при работе на универсальных приборах (УП) и аналитических универсальных приборах (АУП), а в современной фотограмметрии – на цифровых фотограмметрических станциях (ЦФС).

Чаще всего макетные снимки создаются исследователем специально для решения некоторой конкретной задачи и недоступны широкому кругу пользователей [1]. Этот вопрос становится особенно актуальным, когда возникает необходимость использования аэрофотоснимков с известными параметрами, например для тестирования ЦФС, при обучении оператора работе на стереоплотах или для решения нестандартных задач, связанных с беспилотными самолетами. Макетные снимки, созданные ранее, такие как физические и аналитические тест-объекты, не могут использоваться для этих целей по многим причинам, но технология создания таких макетов может служить эталоном для исследований в этой области. Результатами исследований являются снимки – макеты цифрового вида. Они могут быть битовыми и реалистичными. Наиболее перспективны в использовании реалистичные цифровые макетные снимки. При работе с реалистичными изображениями, в отличие от других макетных снимков, возникает наиболее полная имитация наблюдений реальных стереоизображений.

Задачу построения цифровых реалистичных макетных снимков можно решить несколькими способами [2]:

- используя современные геоинформационные системы (ГИС) с модулем трехмерной визуализации;
- используя методы машинной графики.

Данная исследовательская работа направлена на создание блока цифровых реалистичных макетных снимков для решения задач, связанных с обработкой аэро и космической информации, с помощью современных ГИС-систем.

Создание макетных снимков с использованием современных ГИС обладает рядом преимуществ:

- не требуется разработки специальных программных модулей;
- не нужны знания языков программирования;
- ГИС-пакеты доступны широкому кругу потребителей;
- ГИС-пакеты просты в использовании и т.д.

ГИС ArcGIS была выбрана в связи с тем, что данная программа, благодаря своим дополнительным модулям, позволяет выполнить практически все этапы создания макетных снимков.

В качестве исходных данных для проведения данной работы были использованы:

- отсканированная топографическая карта масштаба 1:200000 на территорию Алтайского края (разрешение сканирования 300 dpi);
 - космические снимки SPOT 5 с разрешением 2,5 м на территорию Алтайского края;
 - программные продукты ArcGIS и MapInfo.
- Технология создания макетных снимков представлена на рисунке 1.

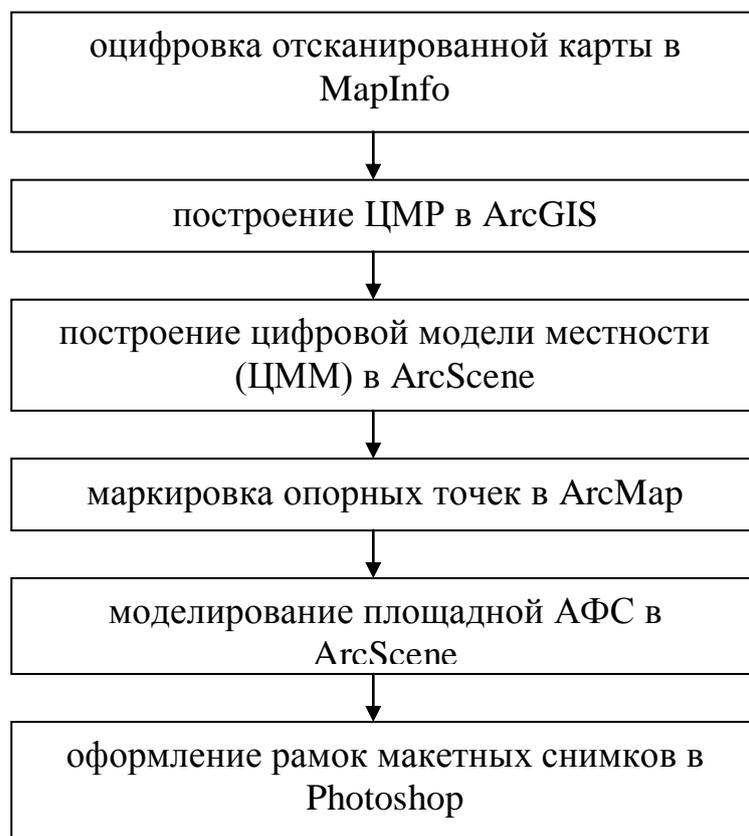


Рис. 1. Технология создания макетных снимков

Оцифровка отсканированной карты производилась в MapInfo, так как данная программа проста в использовании и обладает достаточной функциональностью. При оцифровке было создано 4 слоя: слой рельефа, в котором содержались горизонтали, слой гидрографии, слой, содержащий элементы орографии, и слой оврагов, который при построении цифровой модели рельефа (ЦМР) используется в качестве элементов, показывающих на резкое изменение характера рельефа.

Построение ЦМР в виде TIN модели осуществлялось в ArcMap с помощью модуля 3D Analyst. Полученную ЦМР можно визуализировать как в ArcMap, так и в ArcScene.

Для получения реалистичной модели местности ЦМР необходимо текстурировать. Для текстурирования целесообразно использовать космические снимки высокого и сверхвысокого разрешения, такие как SPOT, FORMOSAT,

IKONOS, QuickBird, EROS. Разрешение снимков данных спутниковых систем позволит при обработке готовых макетных снимков достаточно детально распознать элементы поверхности. На рисунке 2 представлена ЦМР в классифицированном (а) и текстурированном (б) виде.

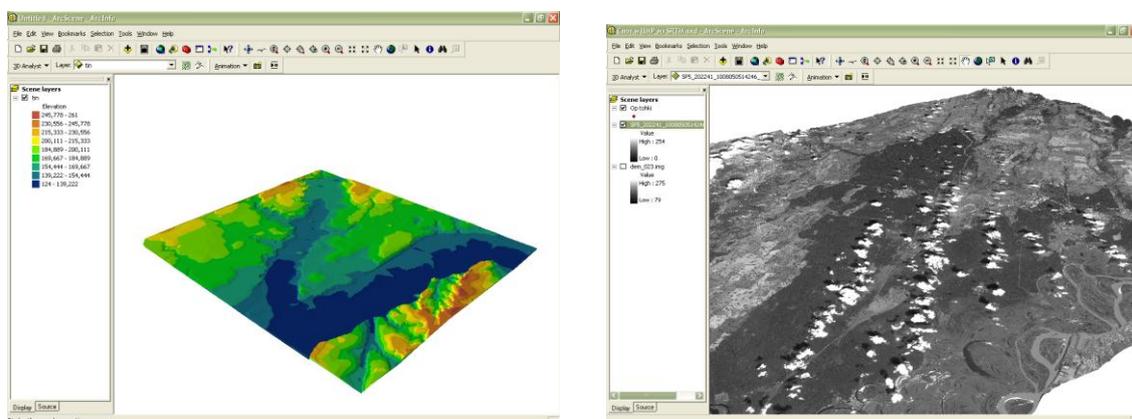


Рис. 2. (а) классифицированная и (б) текстурированная ЦМР, созданная в ArcGIS

Для обеспечения возможности обработки макетных снимков аналогично блоку реальных снимков, необходимо провести маркировку опорных и контрольных точек, а также создать каталог координат. В данной работе в модуле ArcMap было замаркировано 10 точек с определением их высот по ЦМР.

В графическом редакторе Photoshop была создана рамка, имитирующая рамку реальных аэрофотоснимков. Преимуществом искусственно созданной рамки является отсутствие ошибок в положении координатных меток. Они расположены строго по центру сторон снимка, расстояние между противоположными метками является фиксированным и известным.

Процесс имитации аэрофотосъемки (АФС) проводился в ArcScene по предварительно рассчитанным параметрам положения съемочной системы, соответствующим параметрам реальной АФС. В результате данной работы были созданы 2 маршрута по 6 снимков, соответствующие идеальному случаю съемки (рисунок 2). Размер одного готового макетного снимка составил 4000 на 4000 пикселей. Следует отметить, что при создании файла такого большого размера необходимо увеличить файл подкачки операционной системы до максимального значения. Фокусное расстояние снимков составило 127 мм, масштаб съемки 1:150000, продольное перекрытие – 76 %, поперечное – 54%.

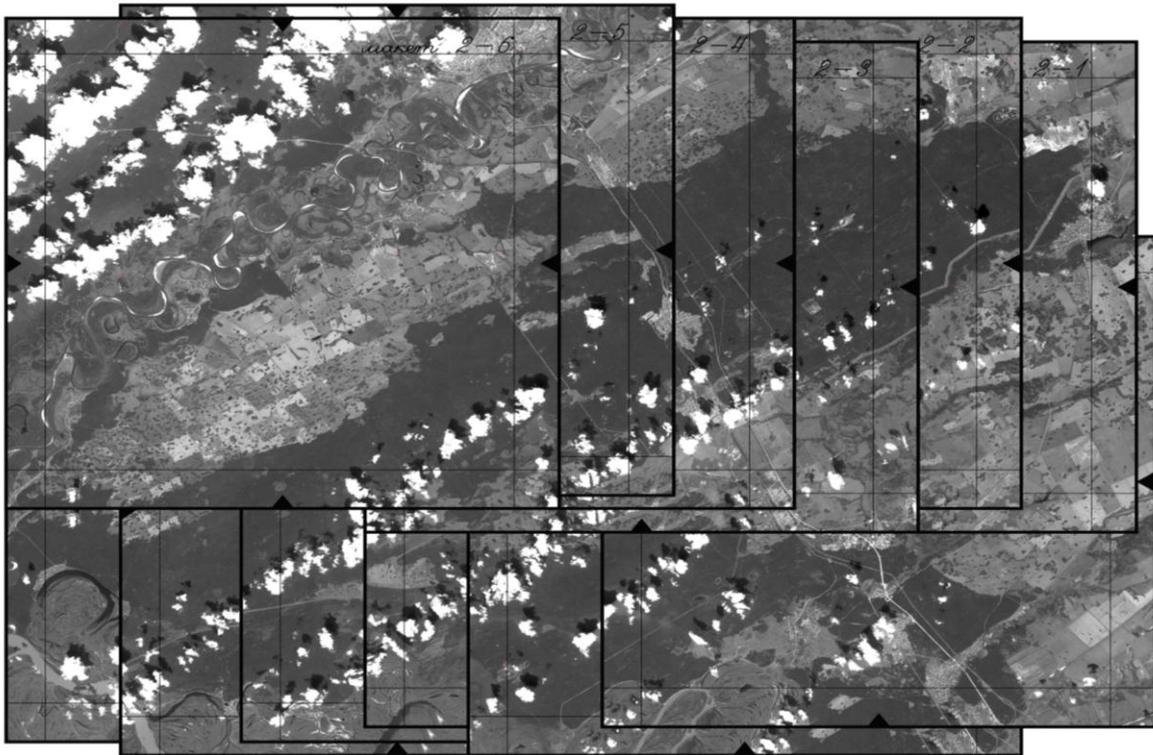


Рис. 2. Блок макетных снимков

В дальнейших исследованиях планируется создать блок макетных снимков, имеющий систематические и случайные ошибки, углы наклона, учитывающие кривизну Земли и другие искажения, свойственные реальным снимкам.

Полученные макетные снимки могут применяться для решения ряда фотограмметрических задач:

- для проверки теории способов обработки снимков;
- для оценки точности используемых приближенных формул;
- для отладки программы построения или уравнивания фотограмметрических сетей;
- для проверки теории и отладки программ проектирования сооружений на местности по снимкам (дорог, мостов, строительных площадок) и решения других прикладных задач;
- для контроля измерений координат в любой точке геометрической модели местности;
- для контроля вычисления определяемых параметров модели или снимков при выполнении АФС;
- для контроля построения ЦМР по измерениям стереомодели;
- для обучения операторов работе на цифровом стереоплоттере;
- для обработки снимков, полученных нестандартными съемочными системами, например, при выполнении аэрофотосъемки неметрическими цифровыми камерами с беспилотных летательных аппаратов.

Обработка полученного блока макетных снимков производилась на ЦФС РНОТОМОД, но данный блок также может использоваться при работе на других ЦФС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Коркин В.С., Сидякина А.Е. Проект создания комплекса цифровых макетных аэро-снимков для исследования фотограмметрических систем // Гео-Сибирь – 2011 Т.4 Ч.1. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология, СГГА, 2011г., С. 72 – 74.

2. Никитин В.Н., Сидякина А.Е. Методика моделирования цифровых реалистичных макетных снимков с использованием машинной графики // ГЕО - Сибирь-2012 Т.4.Ч.1. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология, СГГА, 2012г., С. 33 – 37

© В.Н. Никитин, Е.Ю. Сахарова, А.Е. Червова, 2013

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯРКОСТНЫХ СВОЙСТВ И ФОРМЫ КРОН ДЕРЕВЬЕВ ПО МАТЕРИАЛАМ ЦИФРОВОЙ СЪЕМКИ ADS-40

Александра Александровна Гук

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, Новосибирск, ул. Плехотного, 10, аспирант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (923)2452431, e-mail: fionele@gmail.com

В статье рассмотрены возможности использования сегментации для получения таксационных характеристик. Проведено сравнительное исследование работы алгоритмов сегментации и классических алгоритмов классификации. Исследованы возможности использования текстуры сегментов для определения формы кроны деревьев.

Ключевые слова: сегментация, дешифрирование, таксация, таксационные признаки.

INVESTIGATION OF TREES HEAD FORM AND BRIGHTNESS PROPERTIES FROM ADS-40 MATERIALS

Alexandra A. Guk

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, Plachotnogo st., 10, PhD-student, department of photogrammetry and remote sensing, tel. (923)2452431, e-mail: fionele@gmail.com

Using segmentation for taxation characters (head form) acquisition consider in article. Compare of segmentation and traditional classification algorithms was investigated.

Key words: taxation, taxation characteristic, pattern recognition, segmentation.

Лесные массивы на территории Российской Федерации чрезвычайно обширны: во многих регионах ведутся работы по заготовке леса, существуют природные заповедники, лесные полосы специального назначения и так далее. Для получения своевременных сведений о состоянии леса необходим качественный и быстрый мониторинг лесных массивов [1].

Таксацию леса в настоящее время проводят как наземными средствами, так и с использованием методов дистанционного зондирования [2, 7], вследствие чего возникает необходимость качественного дешифрирования снимков.

Выделение сегментов на изображении – один из основных подходов при дешифрировании. Оператор выделяет на изображении отдельные взаимосвязанные фрагменты. Однако сложность формализации процесса заключается в том, что оператор выделяет сегменты по интуитивным признакам, которые могут содержать совокупность различных признаков [4,8].

Основным показателем форм кроны деревьев является верхняя часть насаждения – полог. Строение кроны и полога зависит от особенностей породы, условий произрастания, возраста и вида леса и так далее. Важно отметить, что одни кроны в пологе деревьев изолированы и не касаются смежных деревьев, другие же в какой-то степени заходят под кроны соседних деревьев, а иногда и

полностью находятся под ними. Исходя из естественной природы лесных массивов, можно выделить несколько уровней лесных образований. Лесной полог содержит несколько уровней, при этом только часть из них видна на аэрокосмических снимках[3].

Полог лесного массива делится на различные типы сегментов в зависимости от размеров массива, масштаба изображения, типа деревьев и т.д. Деление на сегменты на изображении определяется перепадами по яркости однородных образований – линиями, тенями, более нечеткими линиями и так далее. В связи с этим возникает несколько проблем, которые позволили бы использовать сегментацию при определении таксационных характеристик объектов.

Выделение сегментов связано с использованием пороговых и градиентных операторов. К чисто пороговым операторам можно отнести оператор Лапласа:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (1)$$

К градиентным операторам относятся:

– перекрестный оператор Робертса:

$$\begin{aligned} G_x &= L_c(k+1, n+1) - L_c(k, n) \\ G_y &= L_c(k+1, n) - L_c(k, n+1) \end{aligned} \quad (2)$$

– оператор Превита:

$$\begin{aligned} G_x &= (L_2 + L_3 + L_4) - (L_0 + L_6 + L_7) \\ G_y &= (L_4 + L_5 + L_6) - (L_0 + L_1 + L_2) \end{aligned} \quad (3)$$

– оператор Собела:

$$\begin{aligned} G_x &= (L_2 + 2L_3 + L_4) - (L_0 + L_6 + 2L_7) \\ G_y &= (L_4 + 2L_5 + L_6) - (L_0 + 2L_1 + L_2) \end{aligned} \quad (4)$$

– и др.

Вначале были выделены границы участков с помощью сегментации. Для выделения сегментов леса целесообразнее использовать градиентные методы. Так как физически смена типа лесного покрова происходит постепенно, необходимо применить специальные пороговые критерии.

Дальнейшие исследования сегментов связаны с анализом их текстуры. Для тестовых участков были получены численные характеристики с использованием следующих операторов [9]:

– Максимум вероятности

$$\max_{i,j} (c_{i,j}) \quad (5)$$

- Момент порядка k разности элементов

$$\sum_i \sum_j (i-j)^k c_{i,j} \quad (6)$$

- Обратный момент разности элементов k-го порядка

$$\sum_i \sum_j \frac{c_{i,j}^k}{i-j}, \quad i \neq j \quad (7)$$

- Однородность

$$\sum_i \sum_j c_{i,j}^2 \quad (8)$$

- Энтропия

$$-\sum_i \sum_j c_{i,j} \log_2 c_{i,j} \quad (9)$$

- Корреляция и другие.

Как видно из рисунка 1, на котором представлены различные виды текстур для тестового участка, наиболее четкое выделение границ лесного покрова можно получить, используя в качестве признака текстуры дисперсию. На рисунке 2 для сравнения показана классификация двумя наиболее распространенными методами [5,6].

Комбинирование различных видов текстур позволяет выделить в качестве сегментов кроны деревьев.

Проведенный анализ показал, что существует принципиальная возможность использования сегментации и наложения текстур различных типов для выделения крон деревьев, формы крон и различать деревья по породам. Существует возможность комбинаций, использование кластерного анализа и вероятностных подходов для выделения отдельных деревьев. Так, например, наложение текстур, полученных операторами дисперсии, однородности и контраста, хорошо выделяют формы крон (рис 3).

Для более развернутого анализа возможностей использования текстуры и сегментации необходимо проведение дальнейших исследований в этой области.

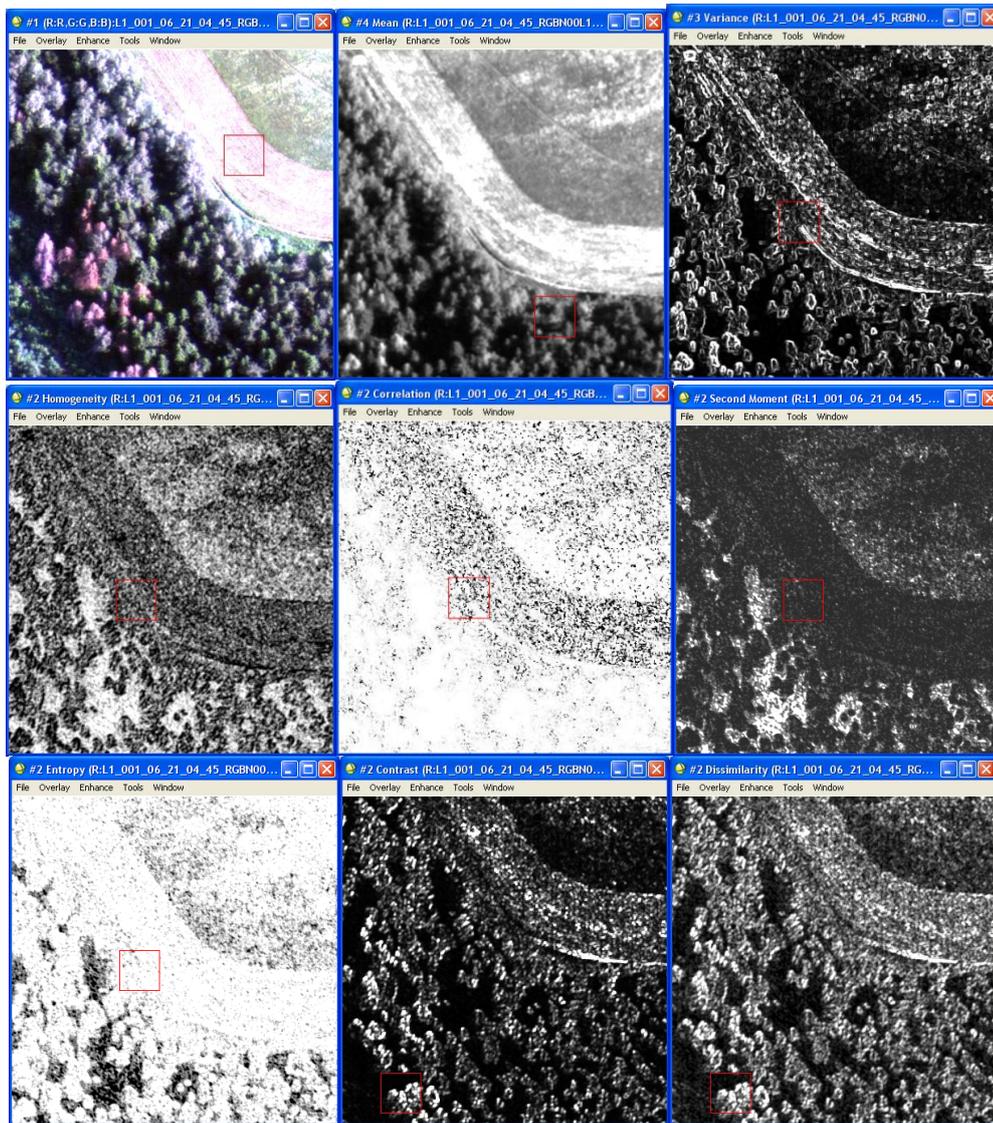


Рис. 1. Различные виды текстур для тестового участка

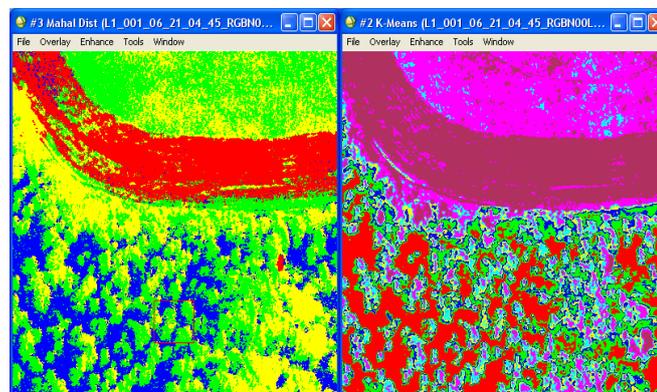


Рис. 2. Классификация тестового участка методом вычисления расстояния Махаланобиса (слева) и K-means (справа)

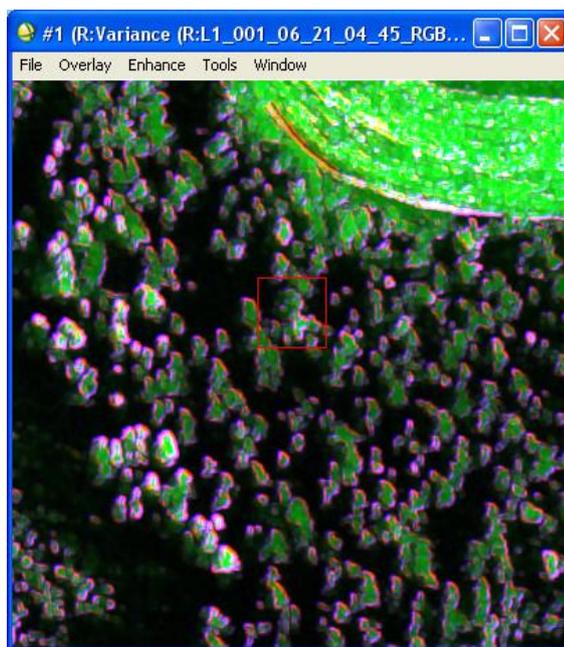


Рис. 3. Комбинирование текстур

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтынцев, М.А. Вейвлет-анализ для выявления вырубок в лесных массивах по аэрофотоснимкам [Текст] / М.А. Алтынцев, А.С. Гордиенко, А.А. Гук // Сб.матер. VI Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2010", Новосибирск.-Т.4., Ч. 1.– С. 3–8.
2. Д.П. Симонов Анализ методов выделения типов растительных покровов по многозональным космическим снимкам [Текст] // Сб.матер. VIII Международного научного конгресса "ИнтерэкспоГЕО-Сибирь-2012", Новосибирск.-Т.2., – С. 3–7
3. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: Учебник. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – 392 с.
4. Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D и 3D изображений //БХВ - Петербург, С-Пб, 2011, 608 с.
5. Гук, А.П., Евстратова, Л.Г., Алферова, А.С. Комплексный анализ космических снимков для выявления изменений при мониторинге территорий // Сб.матер. V Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2009", Новосибирск.-Т.4., Ч. 2.-С.181-185
6. Гук А. П. Исследование возможностей программного комплекса ENVI для мониторинга территорий по космическим снимкам / Л.Г. Евстратова, А.С. Алферова, И.И. Чукулаева, А.А. Гук // Сб. материалов международного науч. конгр. «ГЕО-Сибирь 2009» – Т.4, ч. 2. Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. – Новосибирск: СГГА, 2009. – С. 186-192.
7. Космические снимки: решения для лесного хозяйства [Электронный ресурс] / СканЭкс [Режим доступа]: <http://www.scanex.ru/ru/monitoring/default.asp?submenu=forestry&id=index>
8. И. А. Пестунов Сегментация спутниковых изображений высокого разрешения по спектральным и текстурным признакам [Текст] / С.А. Рылов // Сб.матер. VIII Международного научного конгресса "Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012", Новосибирск.-Т.1.– С.8691
9. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений [Текст] / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.:Техносфера, 2005. – 1072 с.

© А.А. Гук, 2013

СПОСОБ ИСПРАВЛЕНИЯ КРИВИЗНЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ПРИЗМЕННЫХ ВИДЕОСПЕКТРОМЕТРАХ

Виктор Брунович Шлишевский

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383) 361-08-66, e-mail: svb_dom@ngs.ru

Обсуждается возможность исправления кривизны спектральных изображений в призмённых видеоспектрометрах путем использования вспомогательной компенсационной призмы.

Ключевые слова: видеоспектрометр, искривление изображения, спектральная призма.

THE METHOD OF SPECTRAL FIELD CURVATURE CORRECTION IN IMAGING SPECTROMETERS

Viktor B. Shlishevsky

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Photogrammetry and Remote Sensing devices department, tel. (383) 361-08-66, e-mail: svb_dom@ngs.ru

The possibility of the spectral field curvature correction in prism image spectrometers by using of the auxiliary compensation prism is discussed.

Key words: imaging spectrometer, field curvature, spectral prism.

Любой дисперсионный видеоспектрометр содержит входной проецирующий объектив (аналог аэрофотообъектива), полихроматор – устройство, осуществляющее спектральное разложение изображения исследуемого объекта на отдельные квазимонохроматические составляющие, и приемно-регистрирующую систему – матричный фотоприемник с блоком первичной обработки и передачи видеоспектральной информации. Полихроматор включает в себя узкую входную щелевую диафрагму (или просто щель), коллиматорный объектив, диспергирующую систему в виде спектральной призмы или дифракционной решетки и камерный (фокусирующий) объектив. Щель находится во входной фокальной плоскости полихроматора, совмещенной с плоскостью изображения входного проецирующего объектива; фотоприемник располагается в выходной фокальной плоскости полихроматора, сопряженной с его же передней фокальной плоскостью. В результате, поверхность исследуемого объекта, щель и фотоприемник всегда оптически сопряжены между собой.

Полихроматор, по сути, является типичным дисперсионным спектральным прибором со всеми присущими подобному классу аппаратуры свойствами и особенностями. В частности, его диспергирующая система вносит в формируемую спектральную картину хорошо известные специфические искажения – все монохроматические изображения прямой входной щели (а, значит, и сканируе-

мого объекта) в фокальной плоскости камерного объектива, не размываясь, искривляются по дугам, которые в первом приближении можно считать отрезками параболы (рис. 1, 2) [1]. Такое нарушение подобия изображения обусловлено особенностями хода «косых» лучей от точек входной щели, не лежащих в горизонтальной (меридиональной) плоскости симметрии.

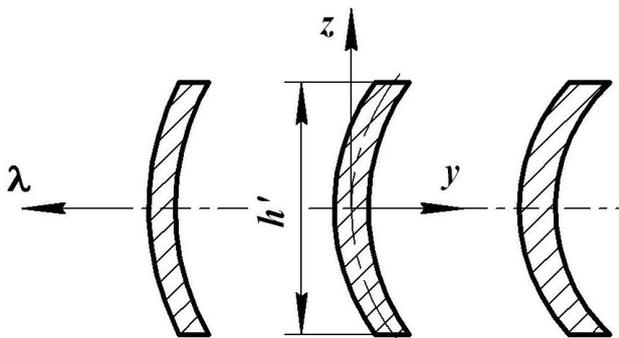


Рис. 1. Схематический вид монохроматических изображений входной щели в призменном приборе



Рис. 2. Характер искажений монохроматических изображений исследуемого объекта

Уравнение семейства парабол в спектре, даваемом призмой, имеет вид

$$y = \frac{\partial \Theta}{\partial n} \frac{n^2 - 1}{2n} \frac{z^2}{f},$$

где y и z – горизонтальная и вертикальная координаты монохроматических изображений в плоскости фотоприемника (т. е. y – вдоль его строк, а z – вдоль столбцов), Θ – угол отклонения диспергированного пучка от своего первоначального направления, n – показатель преломления материала призмы, f – фокусное расстояние камерного объектива полихроматора видеоспектрометра. Выпуклости изображений обращены в сторону увеличения длин волн, а их радиусы кривизны равны

$$r = \frac{z^2}{2y} = \frac{nf}{(n^2 - 1)(\partial \Theta / \partial n)}. \quad (1)$$

Поскольку преломляющие свойства призмы в большей степени проявляются для коротких длин волн, то и изображения в коротковолновой части спектра искривляются сильнее.

Если высота h' монохроматических изображений щели соответствует высоте h столбцов используемого матричного фотоприемника (как и должно быть при оптимальном согласовании оптической и приемно-регистрающей систем),

то максимальная стрелка прогиба y_{\max} изображений в пределах его поля

$$y_{\max} = \frac{\partial \Theta}{\partial n} \frac{n^2 - 1}{n} \frac{h^2}{8f} = \frac{h^2}{8r}. \quad (2)$$

Для наиболее характерного и чаще других встречающегося на практике положения призмы в минимуме отклонения, когда $\Theta = \min = \Theta_0$, выражение для производной $\partial \Theta / \partial n$ принимает вид

$$\left(\frac{\partial \Theta}{\partial n} \right)_0 = \frac{2 \sin(\gamma/2)}{\sqrt{1 - n_0^2 \sin^2(\gamma/2)}}, \quad (3)$$

где γ – преломляющий угол призмы, а показатель преломления n_0 относится к длине волны настройки λ_0 светового пучка, идущего в минимуме отклонения.

Формулы (2), (3) позволяют легко оценить искажения численно. Например, на длине волны настройки $\lambda_0 = 486,13$ нм (линия F видимого диапазона) в приборе с $f = 100$ мм, $h = 3,84$ мм (256 пикселей размером 15 мкм) и призмой из стекла ТФ5 ($n_0 = 1,774755$ [2]) с преломляющим углом $\gamma = 40^\circ$ «увод» изображения из-за его искривления на краях поля зрения составит $y_{\max} = 19$ мкм (радиус кривизны изображения $r = 95,9$ мм). Это – более одного пиксела фотоприемника, или, что то же самое, минимально различимого элемента на поверхности исследуемого объекта. Столь существенное отклонение заметно ухудшает качество спектральных изображений в каналах видеоспектрометра и снижает его геометрическое разрешение.

Для «спрямления» изображений можно воспользоваться дополнительной компенсационной призмой, изготовленной из «легкого» материала с малой собственной дисперсией и установленной преломляющим углом в сторону, противоположную преломляющему углу основной диспергирующей призмы, т. е. по схеме вычитания дисперсий.

Условимся считать, что первой по ходу лучей расположена основная диспергирующая призма, а уже за ней – компенсационная, и присвоим индексы «1» и «2» всем величинам, характеризующим ту и другую призмы. Тогда для результирующего радиуса кривизны r_Σ спектральных изображений системы из двух призм в воздухе в общем случае с учетом знаков r_1 и r_2 можно записать [3]

$$\frac{f}{r_\Sigma} = \frac{f}{r_1} \Gamma_2 - \frac{f}{r_2},$$

откуда

$$r_\Sigma = \frac{r_1 r_2}{r_2 \Gamma_2 - r_1};$$

здесь Γ_2 – меридиональное увеличение, вносимое второй призмой.

Как видно, $r_\Sigma = \infty$ при $r_1 = \Gamma_2 r_2$, т. е. при

$$\frac{n_2 \Gamma_2}{(n_2^2 - 1)(\partial\Theta/\partial n)_2} = \frac{n_1}{(n_1^2 - 1)(\partial\Theta/\partial n)_1}.$$

Когда обе призмы работают в минимуме отклонения, увеличение $\Gamma_2 = 1$,

$$r_\Sigma = \frac{r_1 r_2}{r_2 - r_1} \quad (4)$$

и $r_\Sigma = \infty$ при $r_1 = r_2$, для чего должно выполняться равенство

$$\frac{n_{0,2}}{(n_{0,2}^2 - 1)(\partial\Theta/\partial n)_{0,2}} = \frac{n_{0,1}}{(n_{0,1}^2 - 1)(\partial\Theta/\partial n)_{0,1}},$$

или, принимая во внимание (3),

$$\frac{\sqrt{1 - n_{0,2}^2 \sin^2(\gamma_2/2)}}{\sin(\gamma_2/2)} \frac{n_{0,2}}{n_{0,2}^2 - 1} = \frac{\sqrt{1 - n_{0,1}^2 \sin^2(\gamma_1/2)}}{\sin(\gamma_1/2)} \frac{n_{0,1}}{n_{0,1}^2 - 1}.$$

Если при этом параметры основной диспергирующей призмы заранее определены из предварительного спектрального расчета, то преломляющий угол γ_2 компенсационной призмы находится из последнего соотношения как

$$\gamma_2 = 2 \arcsin \left(A^2 + n_{0,2}^2 \right)^{-1/2}$$

при

$$A = \frac{\sqrt{1 - n_{0,1}^2 \sin^2(\gamma_1/2)}}{\sin(\gamma_1/2)} \frac{n_{0,1}}{n_{0,1}^2 - 1} \frac{n_{0,2}^2 - 1}{n_{0,2}},$$

а общий угол отклонения $\Theta_{0,\Sigma}$ пучка системой оказывается равным

$$\Theta_{0,\Sigma} = 2(i_{0,1} - i_{0,2}) - (\gamma_1 - \gamma_2),$$

где

$$i_{0,1} = \arcsin \left(n_{0,1} \sin \frac{\gamma_1}{2} \right) \quad \text{и} \quad i_{0,2} = \arcsin \left(n_{0,2} \sin \frac{\gamma_2}{2} \right).$$

Проиллюстрируем возможности рассматриваемого способа применительно к предыдущему численному примеру, считая призму из стекла ТФ5 основной диспергирующей ($n_{0,1} = 1,774755$, $\gamma_1 = 40^\circ$ и $r_1 = 95,9$ мм). Как указывалось выше, компенсационная призма должна быть изготовлена из «легкого» стекла с малой дисперсией. К таким стеклам относятся стекла марок ЛК, из которых действующий ГОСТ [4] предпочтительными для использования устанавливает только две – ЛК6 и ЛК7. Обе они характеризуются одинаковой плотностью, но показатели преломления у стекла ЛК6 несколько меньше и остаются практически постоянными в широком диапазоне изменения температуры окружающей среды. Последний фактор играет весьма немаловажную роль при выборе материалов для элементов аэрокосмической аппаратуры. С учетом данных обстоятельств целесообразно остановиться именно на стекле марки ЛК6. Тогда для длины волны настройки $n_{0,2} = 1,475328$ [2], $A = 1,529813$, $\gamma_2 = 56^\circ 08' 10''$ и $\Theta_{0,\Sigma} = 2^\circ 57' 35''$. Из технологических соображений величину γ_2 удобно округлить до целого значения $\gamma_2 = 56^\circ$ (в таком случае $\Theta_{0,\Sigma} = 3^\circ 04' 11''$). Далее с помощью формул (1), (4) и (2) последовательно находим: $r_2 = 96,3$ мм, $r_\Sigma = 21\,993$ мм и $y_{\max} = h^2/8r_\Sigma = 0,08$ мкм. Полученный результат означает, что остаточная стрелка прогиба изображений по всему полю матричного фотоприемника не превышает 1/180 размера одного его пиксела, т. е. пренебрежимо мала.

Таким образом, использование компенсационной призмы с оптимальными параметрами позволяет практически полностью избавиться от искривления спектральных изображений чисто оптическими средствами, не прибегая к усложнению и без того трудоемкой математической обработки видеоданных.

В заключение обратим внимание на то, что в двухпризменной системе общий угол отклонения $\Theta_{0,\Sigma}$ составляет всего $\approx 3^\circ$ и, по-видимому, при определенном соотношении между преломляющими углами призм может быть доведен до 0° ; оптические оси коллиматорного и камерного объективов полихроматора тогда останутся параллельными, что часто удобно (или необходимо) по конструктивным соображениям. Действительно, как показывает расчет, если при сохранении неизменным угла γ_1 увеличить угол γ_2 до значения $\gamma_2 = 59^\circ 39'$, то $\Theta_{0,\Sigma} = 0^\circ 00'$. При этом степень исправления кривизны изображения остается вполне приемлемой: $|y| \leq 2,3$ мкм. Более подробно условия и возможности подобной оптимизации параметров призмных диспергирующих систем видеоспектрометров будут рассмотрены отдельно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пейсахсон И.В. Оптика спектральных приборов. Л.: Машиностроение, 1975. – 312 с.
2. ГОСТ 13659–78 «Стекло оптическое бесцветное. Физико-химические характеристики. Основные параметры». М.: ИПК Издательство стандартов, 1999.
3. Малышев В.И. Введение в экспериментальную спектроскопию. М.: Наука, 1979. – 478 с.
4. ГОСТ 3514–94 «Стекло оптическое бесцветное. Технические условия». М.: ИПК Издательство стандартов, 1996.

© В.Б. Шлишевский, 2013

КОМБИНИРОВАННЫЙ СПОСОБ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПЛАНОВ ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

Татьяна Александровна Хлебникова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и информационных систем; тел. (913)474 19 70, e-mail: t.a.hlebnikova@ssga.ru

Олеся Борисовна Архипова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ст. препод. кафедры инженерной геодезии и информационных систем; тел. (905)954 75 36, e-mail: arhialeks@mail.ru

Статья посвящена вопросам, связанным с появлением новых видов цифровых геопространственных продуктов, получивших название 3D-моделей, трехмерных видеосцен. Рассмотрена схема технологии получения комбинированного цифрового топографического плана и измерительных трехмерных видеосцен по материалам аэрокосмических съемок средствами фотограмметрических технологий и 3D ГИС. Рассмотрены основные проблемы, возникающие при разработке данной технологии.

Ключевые слова: технология, цифровой комбинированный план, измерительная трехмерная видеосцена, ЦМР, ЦМО, ЦФС, 3D ГИС.

COMBINED METHOD FOR CREATION OF DIGITAL TOPOGRAPHIC PLANS ON THE BASIS OF AERIAL PHOTOGRAPHY AND SATELLITE SURVEY

Tatyana A. Khlebnikova

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Assoc. Prof., Department of Engineering Geodesy and Information Systems, tel. (913)474 19 70, e-mail:t.a.hlebnikova@ssga.ru

Olesa B. Arkhipova

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Assoc., Department of Engineering Geodesy and Information Systems, tel. (905)954 75 36, e-mail: arhialeks@mail.ru

The paper is devoted to the questions connected with occurrence of new kinds of digital geospatial products, the 3D-models, which have received the name, three-dimensional video scenes.

The technological scheme for creation combined digital plan and three-dimensional video scenes through photogrammetric technologies and 3D GIS on the basis of aerial photography and satellite survey is considered. The main problems are discussed which one faces while developing the given technology.

Key words: technology, digital combined plan, measuring three-dimensional video scenes, DEM, DMO, DFS, 3D GIS.

В течение двух последних десятилетий, наряду с традиционной информацией о территории в виде топографических карт, планов в аналоговом и циф-

ровом видах, появились новые цифровые геопространственные продукты, получившие название 3D-моделей, трехмерных сцен, которые представляют собой трехмерные пространственные аналоги реальных объектов территории [1,2,3].

Материалы, рассматриваемые в данной статье представляют собой продолжение работ, опубликованных в [4,5]. На основе базовых понятий, приведенных в известных словарях по геоинформатике и картографии (данные, пространственные данные, геопространственные данные, местность, территория), в [4] сформулировано свое определение цифрового геопространственного вида продукции. Согласно этому определению, трехмерная измерительная видеосцена – это трехмерная цифровая модель участка территории (3D ЦМТ), включающая в себя цифровую модель рельефа и модели других объектов, расположенных в границах рассматриваемой территории, предназначенная для визуализации в статическом или динамическом режимах и расчетно-измерительных операций с использованием специальных программных средств географических информационных систем (ГИС).

Следует оговориться, что использованное выше определение «измерительная» не совсем корректно применительно к трехмерной видеосцене. Процесс «измерения» сводится к совмещению курсора на экране ПЭВМ с выбранной точкой трехмерной видеосцены. При этом происходит не измерение точки, а считывание значений ее координат X, Y, Z из базы данных.

По мере практического применения трехмерных цифровых моделей территории, пользователи выявили недостатки, приводящие к ограничению их использования. Поэтому комплексное, совместное применение цифровых топографических карт, планов (ЦТК, ЦТП) и трехмерных измерительных видеосцен позволит по наиболее надежно опознаваемым объектам на трехмерной видеосцене определять значения координат и высот точек интересующего объекта территории на цифровой карте с точностью, регламентированной для масштаба данной карты.

Возможности 3D ГИС в настоящее время позволяют только отдельное формирование трехмерной видеосцены, т. е. формирование поверхности, затем «насадку» на нее трехмерных объектов на (под) ней расположенных (постройки, ограждения, деревья и т. д.).

Как показано в [4,5], исходными данными для создания измерительных трехмерных видеосцен средствами 3D ГИС служат растровые изображения земной поверхности, цифровые модели местности (ЦММ), включающие в себя цифровую модель рельефа (ЦМР) и трехмерную цифровую модель объектов местности (ЦМО).

Для представления объектов в ЦММ используют следующие модели пространственных данных:

- векторная топологическая;
- векторная нетопологическая;
- растровая;

– модели, в которых используются векторные и растровые данные.

С учетом того, что ЦММ будут использованы для создания измерительных трехмерных видеосцен, по которым предполагается осуществлять решение аналитических и расчетных задач, предпочтительной является векторная топологическая модель с трехмерной размерностью данных. В машинной реализации векторному представлению данных соответствует векторный формат.

Под цифровой моделью рельефа принято понимать цифровое представление земной поверхности, с определенной точностью описывающее пространственное положение (высоту) и структуру земной поверхности. Каждую точку поверхности Земли невозможно передать в модель. Поэтому используются цифровые модели рельефа, которые передают отдельные точки.

Способ моделирования рельефа местности будет зависеть от его характера, масштаба модели, требуемой точности представления рельефа, по которому будут решаться прикладные задачи.

Наиболее распространенные способы цифрового представления рельефа в виде:

– векторных линий (горизонталей или иных изолиний с равным или неравным шагом);

– регулярной матрицы (регулярная или матричная модель) высот земной поверхности (представление на регулярной сетке квадратов, прямоугольников или треугольников, когда в ее узлах заданы значения высоты). В английском языке регулярная сетка квадратов называется GRID;

– нерегулярной, так называемой TIN-модели (TIN – Triangulated Irregular Network), включающей некоторую совокупность точек с высотными отметками, по которым проведена триангуляция с учетом линий разрыва непрерывности.

Под ЦМО понимается цифровая модель объектов местности, содержащая информацию о плановом (координаты X , Y) и высотном (по оси Z) положении, семантических характеристиках объектов территории, имеющих в том числе искусственное происхождение, кроме рельефа [6].

ЦМО формируется в виде совокупности цифровых данных об объемном отображении объектов местности, в которых информация о высотной составляющей объектов должна быть представлена в виде абсолютных высот точек или относительного значения, отраженного в семантической информации объекта в качестве одной из характеристик.

Семантическая информация объектов также должна включать сведения о материале и других характеристиках, отражающих внешний вид объектов, что позволит в последующем при моделировании трехмерных сцен в 3D ГИС обеспечить более реалистичное отображение трехмерных объектов с использованием библиотек текстур.

Цифровая информация о границах объекта не требует специального моделирования, за исключением операций геометрического преобразования (ортогонализация, разрежение, сглаживание). Текстура необходима для графического отображения реалистичного вида трехмерного объекта.

Сложность достоверного отображения объектов на цифровых топографических планах возрастает, когда на территории находится большое число подземных и наземных коммуникаций различного назначения. В таких ситуациях рядом авторов рекомендуется исполнительную съемку выполнять в более крупных масштабах, сложные объекты сопровождать фотоснимками, полученными цифровой неметрической камерой, выполнять съемку наземными лазерными сканерами [7]. При этом наземная лазерная съемка имеет достоинства и недостатки.

В связи с изложенным, в технологию получения цифрового комбинированного плана предполагается включить следующие этапы:

- создание цифровых планов, ортофотопланов по материалам аэрофотосъемки, космической съемки высокого разрешения по известной технологической схеме;

- составление схемы участков, требующих создания измерительных трехмерных видеосцен;

- сбор информации ЦМР, ЦМО по материалам аэрофотосъемки, космической съемки высокого разрешения для дальнейшего создания трехмерных видеосцен на выбранные участки;

- создание моделей рельефа и объектов, трехмерных видеосцен средствами 3D ГИС;

- создание цифрового комбинированного плана.

Определены следующие необходимые условия, при которых будут получены цифровые комбинированные планы:

- цифровой комбинированный план должен включать цифровой топографический план и трехмерные видеосцены отдельных участков плана;

- параметры исходных материалов аэрокосмических съемок: масштаб аэрофотосъемки, разрешение космической съемки – должны обеспечивать создание комбинированного плана в диапазоне не мельче 1: 10 000;

- точность не ниже заданной точности положения объектов и контуров, входящих в состав комбинированного плана.

Технология создания ЦТП, ЦММ местности по материалам аэрофотосъемки известна [8], поэтому здесь рассмотрены только некоторые особенности.

Исходя из схемы предложенной технологии, она может быть реализована на различных ЦФС и ГИС, способных работать с трехмерными видеосценами.

При создании ЦМР, ЦМО средствами фотограмметрических технологий для дальнейшего их использования в 3D ГИС возникает задача комплексного согласования на информационном уровне трехмерных моделей территории, создаваемых на ЦФС, и трехмерных моделей территории, построение которых осуществляется во внутренних структурах 3D ГИС на основе входных пространственных данных, получаемых экспортом из ЦФС.

Исходя из этого для проведения исследований предложенной технологии выбраны: ЦФС PHOTOMOD (компания Ракурс, г. Москва); программа ГИС КАРТА 2011 – ГИС Панорама (ЗАО «КБ Панорама», Москва).

ЦФС PHOTOMOD предусматривает импорт внешнего классификатора в заданном формате и последующее его использование при кодировании объектов и их характеристик в процессе сбора. Перечень классов объектов и их характеристик, используемых в классификаторе на производственный объект приведен в [5]. Приведенный перечень классов был принят, исходя из состава объектов на рассматриваемой территории.

При разработке технологии обозначены следующие проблемы:

– в зависимости от назначения трехмерной видеосцены нагрузка элементов содержания и объектов будет различной. Возникает проблема определения и обоснования необходимого и достаточного уровня детализации состава объектов. Должны быть разработаны критерии отбора и обобщения для показа объектов, обязательных на трехмерной видеосцене;

– разработка дополнительных требований к подготовке информационного обеспечения цифрового комбинированного плана;

– вопросы точности измерений трехмерных видеосцен практически не отражены в литературе. Должны быть выполнены исследования по оценке точности объектов на цифровом комбинированном плане.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуда, Р.О. Распознавание образов и анализ сцен [Текст] / Р.О. Дуда, П.Е. Харт; пер.с англ. –М.: Мир, 1976.–511с.

2. Основные проблемы пространственного представления местности в цифровых картографических изделиях [Текст]/ В.Н.Филатов, В.А.Авдеев, Р.С.Мухудинов, В.А. Радионов // Геодезия и картография. – 2007.–№4. –С.35–38.

3 Modelling of Urban Environments [Электронный ресурс]/ Sandra Haydeé González García, Raúl Muñoz Salabarría, Alián Mayet Valdés, Dunia Suárez Ferreiro, Bernardino Deni Díaz Rodríguez // XXI Congress 3-11 July 2008, Beijing China. PROCEEDINGS Volume XXXVII, Part B5, TC V. pp. 707-710. 1электр. опт.диск (DVD+R)

4. Журкин, И.Г. Технология получения измерительной трехмерной видеосцены по материалам аэрокосмических съемок [Текст] / И.Г. Журкин, Т.А. Хлебникова //Геодезия и картография. – 2009. –№8. – С. 43–48.

5 Хлебникова, Т. А. Исследование и разработка технологии построения измерительных трехмерных видеосцен по материалам аэрокосмических съемок [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. док. техн. наук по спец. 25.00.34. «Аэрокосмические исследования Земли, фотограмметрия» Т. А. Хлебникова – Новосибирск. – 2012. – 47 с.

6 ГОСТ 28441-99. Картография цифровая. Термины и определения [Текст] – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – 2000. – 10 с.

7 Уставич, Г. А. Комбинированный способ создания инженерно-топографических планов масштаба 1: 500 промышленных территорий и отдельных промплощадок [Текст] / Г. А. Уставич, В. А. Середович, Я. Г. Пошивайло, А. В.Середович, А. В. Иванов //Геодезия и картография. – 2009. –№1. – С. 31–37.

8. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов [Текст] / – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.

© Т.А. Хлебникова, О.Б. Архипова, 2013

ПОСТРОЕНИЕ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ЗДАНИЙ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Тамара Антоновна Широкова

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 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. Плеханова, 10, научный сотрудник НИС, тел. (913)899-77-44, e-mail: brothersa@mail.ru

В статье представлены результаты исследования способов и параметров моделирования зданий городских территорий по данным воздушного лазерного сканирования. Для выполнения экспериментальных работ использованы реальные данные лидарной съемки г. Омска. Приведены практические рекомендации по выбору способов и параметров построения трехмерных моделей зданий. Произведена оценка точности создания 3D-моделей.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование, точки лазерных отражений, трехмерная модель, точность.

URBAN BUILDING THREE-DIMENSION MODEL CONSTRUCTION BASED ON LASER DATA

Tamara A. Shirokova

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

Andrey V. Antipov

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., research officer, SRD, tel. (913)899-77-44, e-mail: brothersa@mail.ru

The investigation results of urban buildings modeling methods and modeling parameters by means of lidar data are presented in the article. Experimental works carried out according to real lidar survey data of Omsk city. Practical recommendations for modeling method and automatically contracture parameter choosing and are given. 3-D models accuracy estimation is produced.

Key words: lidar survey, laser points, three-dimension model, accuracy.

На сегодняшний день существуют различные методы сбора пространственной информации о местности, такие как тахеометрическая съемка, аэрофотосъемка, наземное, мобильное и воздушное лазерное сканирование (ВЛС), радиолокационные, космические и другие виды съемок. Для получения метрической информации о местности больших по площади застроенных территорий с высокой точностью и оперативностью эффективным методом является лидарная съемка.

На современных топографических картах отображается плановое положение различных объектов ситуации, таких как автодороги, одиноко стоящие деревья, ограждения и др. Объектами, несущими основную нагрузку на городском плане, являются здания. С использованием данных воздушного лазерного сканирования можно отобразить не только плановое положение строений, но и их пространственные (3D) модели, которые позволят специалистам эффективнее решать задачи, связанные с благоустройством и планированием территорий.

Точность и оперативность построения трехмерных моделей зданий по материалам лидарной съемки зависят от качества исходных данных, корректного выбора алгоритмов построения моделей, параметров автоматической классификации лазерных точек и моделирования строений. В виду того, что здания имеют различный размер и форму, актуальными являются исследования способов и параметров моделирования строений по данным ВЛС.

Для построения 3D-моделей зданий по данным лидарной съемки застроенных территорий разработана методика, представленная на рис. 1.



Рис. 1. Методика моделирования зданий на основе лидарных данных

Экспериментальные исследования разработанной методики выполнены с использованием программного продукта (ПП) TerraSolid, позволяющего обрабатывать данные ВЛС и моделировать объекты ситуации, и результатов лидар-

ной съемки территории г. Омска (плотность 8 точек/м²), полученных сканером Leica ALS 50-II с высоты полета 600 м. Для оценки точности построения моделей зданий использованы координаты контрольных точек, расположенных на углах крыш строений, которые определены с помощью тахеометра Leica TCR 407 Power.

Сначала выполнена предварительная обработка материалов лидарной съемки, в результате чего получена единая точечная модель местности, и произведено исключение ошибочных ТЛЮ.

Затем с использованием ранее выявленных оптимальных параметров в класс «Земля» отнесены ТЛЮ от земной поверхности, и выполнено уравнивание координат лазерно-локационных (ЛЛ) точек [1, 2, 3].

На следующем этапе в автоматическом режиме в класс «Древесная растительность» отнесены ЛЛ точки, находящиеся на высоте от 2 до 100 м над землей. Затем на основе выявленных оптимальных параметров автоматической классификации лазерно-локационных точек класса «Здания» [4, 5] из ТЛЮ от высокой растительности выделены лазерные точки, принадлежащие зданиям.

В связи с тем, что городская застройка характеризуется наличием строений различного размера и формы, выполнены исследования с целью определения оптимальных значений параметров автоматического моделирования зданий, к основным из которых относятся: «минимальный размер здания» (м²) и «минимальный размер деталей здания» (м²). Для этого при фиксированной величине одного параметра последовательно изменялся второй, затем при другом значении первого параметра аналогичным образом изменялась величина второго. Остальные значения параметров указаны в соответствии с рекомендациями, представленными в инструкции к ПП TerraSolid.

Данные в табл. 1 показывают, что параметр «минимальный размер деталей здания» влияет на точность автоматического моделирования строений средней этажности (до 5 этажей) следующим образом. Если он задан слишком малым (от 0,1 до 3 м²), то небольшие по размеру элементы строений (козырьки, выступы на крышах) не моделируются, поскольку алгоритм не может отнести их к плоскостям крыш строений. При этом строятся модели небольших объектов, не являющихся в действительности деталями архитектуры (птицы, ветви деревьев и др.).

Если «минимальный размер деталей зданий» задан слишком большим (от 20 до 60 м²), то модели деталей не строятся. Однако при моделировании зданий в форме буквы «П» увеличение этого параметра способствует улучшению качества построения моделей крупных элементов архитектуры.

Из экспериментов следует, что для автоматического моделирования строений значение параметра «минимальный размер деталей здания» надо задавать исходя из сложности архитектурных элементов. Для построения моделей зданий средней этажности простой конструкции размер деталей рекомендуется устанавливать равным 5 м².

К достоинствам автоматического способа трехмерного моделирования зданий по данным ВЛС в ПП TerraSolid относятся:

- построение моделей всех зданий производится практически одновременно за достаточно короткое время;
- наличие инструмента для просмотра созданных моделей строений;
- возможность перестраивать созданные модели;
- созданные трехмерные модели зданий являются метрическими.

Таблица 1

Оценка точности автоматического моделирования зданий

Номер варианта	Минимальный размер здания, м ²	Минимальный размер деталей здания, м ²	Максимальное расхождение планового положения точек моделей строений ΔL_{\max} , м	Средняя квадратическая ошибка планового положения точек моделей зданий $m_{\Delta L}$, м	Максимальное расхождение высот точек моделей зданий ΔZ_{\max} , м	Средняя квадратическая ошибка высот точек моделей зданий $m_{\Delta Z}$, м
1	40	0,5	0,41	0,36	0,244	0,221
2	40	2,5	0,35	0,30	0,215	0,196
3	40	5,0	0,28	0,24	0,124	0,111
4	40	20,0	0,32	0,29	0,218	0,192
5	30	0,5	0,33	0,29	0,176	0,147
6	30	2,5	0,36	0,31	0,116	0,097
7	30	5,0	0,34	0,30	0,176	0,155
8	30	20,0	0,35	0,30	0,306	0,279
9	20	0,5	0,35	0,31	0,237	0,214
10	20	2,5	0,29	0,27	0,205	0,186
11	20	5,0	0,26	0,24	0,176	0,154
12	20	20,0	0,29	0,26	0,209	0,198

Основными недостатками автоматического способа трехмерного моделирования зданий по данным ВЛС в ПП TerraSolid являются:

- недостаточно корректная работа алгоритма автоматического построения моделей зданий при наличии на территории строений различного размера и формы;

- в пределах всего участка моделирования используются одни и те же значения параметров для построения моделей всех зданий независимо от их формы и размера (без разграничения на крупные и мелкие строения).

На основе классифицированных точек строений выполнено моделирование зданий в полуавтоматическом режиме, преимуществом которого перед автоматическим способом является возможность интерактивной коррекции неверно построенных моделей плоскостей крыш, изменения их формы, добавления новых узлов и др.

Основными параметрами, которые оказывают влияние на точность создания трехмерных моделей строений по данным ВЛС в полуавтоматическом ре-

жиме, являются «минимальный размер здания» (m^2) и «разность Z» (м) для отнесения отдельных плоскостей к одной плоскости крыши. В работе выполнено исследование точности моделирования зданий при различных значениях этих параметров, результаты которого представлены в табл. 2.

Анализ результатов эксперимента показал, что наиболее высокая точность построения моделей зданий средней этажности в полуавтоматическом режиме обеспечивается при параметрах моделирования:

- «минимальный размер здания» – $40 m^2$;
- «разность Z» – 0,2 м.

Таблица 2

Оценка точности полуавтоматического моделирования зданий

Номер варианта	Минимальный размер здания, m^2	Разность Z для отнесения ГЛО к одной плоскости, м	Максимальное расхождение планового положения точек моделей ΔL_{max} , м	Средняя квадратическая ошибка планового положения точек моделей $m_{\Delta L}$, м	Максимальное расхождение высот точек моделей ΔZ_{max} , м	Средняя квадратическая ошибка высот точек моделей $m_{\Delta Z}$, м
1	40	0,05	0,26	0,23	0,098	0,083
2	40	0,15	0,28	0,25	0,111	0,103
3	40	0,20	0,24	0,18	0,092	0,061
4	40	0,30	0,26	0,22	0,113	0,085
5	40	0,40	0,33	0,25	0,210	0,167
6	30	0,05	0,25	0,20	0,105	0,084
7	30	0,15	0,30	0,27	0,171	0,149
8	30	0,20	0,21	0,18	0,121	0,103
9	30	0,30	0,26	0,23	0,134	0,118
10	30	0,40	0,34	0,29	0,206	0,188
11	20	0,05	0,28	0,24	0,087	0,074
12	20	0,15	0,30	0,29	0,106	0,098
13	20	0,20	0,32	0,29	0,112	0,107
14	20	0,30	0,23	0,20	0,132	0,115
15	20	0,40	0,31	0,24	0,121	0,091

Достоинствами полуавтоматического способа трехмерного моделирования зданий по данным ВЛС в ПП TerraSolid являются:

- высокая точность моделирования;
- возможность редактирования построенных моделей плоскостей крыш зданий;
- наличие удобных инструментов интерактивного редактирования моделей;
- возможность выбора текстуры для нанесения на модели строений из библиотеки стандартных текстур;

- возможность создания реалистичных метрических моделей зданий.

К недостаткам полуавтоматического режима трехмерного моделирования строений относятся:

- невозможность построения моделей всех зданий одновременно;
- большие временные затраты на редактирование моделей.

В результате исследований точности построения трехмерных моделей зданий автоматическим и полуавтоматическим способами можно сделать вывод, что полуавтоматический способ моделирования целесообразно использовать при обработке данных лидарной съёмки небольших территорий либо на территориях с малой плотностью застройки, так как он требует больших трудовых затрат и большой концентрации внимания исполнителя. Построение трехмерных моделей зданий в автоматическом режиме эффективно применять для моделирования обширных застроенных территорий, однако точность созданных моделей строений таким способом на 25% ниже.

В процессе работ также исследована точность построения 3D-моделей зданий в автоматическом и полуавтоматическом режимах в зависимости от плотности массива ТЛЮ. Для этого плотность исходного массива лазерных точек последовательно разрежалась в 0, 2, ..., 10 и 100 раз, и по этим данным с использованием полученных оптимальных параметров выполнено моделирование строений. Результаты оценки точности построения моделей зданий представлены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Точность автоматического моделирования зданий в зависимости от плотности исходного массива ТЛЮ

Номер варианта	Порядок разрежения n, раз	ΔL_{\max} , м	$m_{\Delta L}$, м	ΔZ_{\max} , м	$m_{\Delta Z}$, м
1	0	0,28	0,24	0,124	0,111
2	2	0,68	0,46	0,163	0,112
3	3	0,63	0,42	0,187	0,139
4	4	0,68	0,46	0,192	0,134
5	5	0,51	0,37	0,201	0,143
6	6	0,61	0,48	0,184	0,154
7	7	0,57	0,39	0,169	0,149
8	8	0,58	0,42	0,221	0,179
9	9	0,84	0,44	0,213	0,153
10	10	0,93	0,57	0,289	0,172
11	100	4,83	2,73	2,021	1,653

Из табл. 3 видно, что точность автоматического построения моделей зданий на основе ТЛЮ любой плотности (за исключением варианта 11), соответствует требованиям создания карт и планов масштаба 1:2 000 [6].

Влияние плотности ТЛО класса «Здания» на точность полуавтоматического моделирования строений

Номер варианта	Порядок разрежения n , раз	ΔL_{\max} , м	$m_{\Delta L}$, м	ΔZ_{\max} , м	$m_{\Delta Z}$, м
1	0	0,24	0,18	0,092	0,061
2	2	0,31	0,24	0,105	0,084
3	3	0,27	0,22	0,112	0,105
4	4	0,25	0,20	0,124	0,111
5	5	0,34	0,25	0,118	0,107
6	6	0,28	0,23	0,134	0,116
7	7	0,36	0,25	0,128	0,114
8	8	0,41	0,27	0,148	0,130
9	9	0,48	0,36	0,128	0,112
10	10	0,54	0,42	0,145	0,133
11	100	4,62	2,68	1,872	1,413

В соответствии с инструкцией [6] точность полуавтоматического способа построения моделей зданий на основе ЛЛ точек, разреженных до 8 раз (что соответствует плотности ТЛО 1 точка/м²), удовлетворяет требованиям создания карт и планов масштаба 1:1 000, а разреженных в 9 и 10 раз – точности карт масштаба 1:2 000 (табл. 4).

В процессе экспериментов выявлено, что с увеличением порядка разрежения ТЛО класса «Здания» модели строений постепенно утрачивают мелкие детали архитектуры. Это объясняется тем, что алгоритму недостаточно лазерно-локационных точек для создания плоскостей.

В результате проведенных исследований влияния различных факторов на точность моделирования зданий по данным лидарной съемки территории г. Омска (высота полета 600 м, плотность 8 точек/м²) можно сделать следующие выводы:

- точность построения моделей строений в первую очередь зависит от качества автоматической классификации ТЛО от зданий. Для повышения достоверности автоматического отнесения ЛЛ точек в класс «Здания» рекомендуется задавать параметр «минимальный размер здания» равным минимальной реальной площади строения на моделируемом участке, а «разность Z » устанавливать от 0,1 до 0,3 м [4, 5];

- при построении моделей зданий в автоматическом режиме параметр «минимальный размер деталей здания» следует задавать в зависимости от сложности архитектуры здания и реального размера деталей строений (от 5 до 10 м²);

- при моделировании строений в полуавтоматическом режиме оптимальными значениями параметров являются: «минимальный размер здания» – 40 м², «разность Z » – 0,2 м;

- точность моделирования зданий в полуавтоматическом режиме на 25%

выше точности автоматического моделирования и соответствует требованиям создания карт и планов масштаба 1:1 000;

– скорость построения моделей в автоматическом режиме намного выше скорости полуавтоматического моделирования, что позволяет за короткий срок создавать большое количество каркасных метрических моделей строений городских территорий;

– разрежение ТЛО класса «Здания» с исходной плотностью 8 точек/м² до 8 раз позволяет ускорить процесс моделирования зданий и обеспечивает точность автоматического построения моделей, соответствующую требованиям создания карт и планов масштаба 1:2 000, а полуавтоматического – масштаба 1:1 000.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтынцев, М.А. Уравнивание данных воздушного лазерного сканирования для создания поверхности дорожного полотна [Текст] / М.А. Алтынцев, А.В. Антипов // сб. материалов междунар. конф. «Инновационные технологии сбора и обработки геопространственных данных для управления природными ресурсами». – Алматы, Республика Казахстан: Казахский национальный технический университет имени К.И. Сатпаева, 2012. – С. 24 – 31.

2. Антипов, А.В. Калибровка данных воздушного лазерного сканирования в программном продукте Terra Solid [Текст] / А.В. Антипов // ГЕО-Сибирь-2011: сб. матер. VII междунар. научн. конгр. «ГЕО-Сибирь-2011», 19-29 апреля 2011 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2011. – Т.4. – С. 7 – 10.

3. Широкова, Т.А. Исследование параметров автоматической классификации точек лазерных отражений на основе построения триангуляционной поверхности для моделирования рельефа по данным лидарной съемки [Текст] / Т.А. Широкова, А.В. Антипов // Инженерные изыскания. – 2012. - № 10. – С. 22-26.

4. Широкова, Т. А. Создание векторных моделей рельефа и зданий по данным воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки в ПП TerraSolid [Текст] / Т. А. Широкова, А. В. Антипов // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2011. – № 2. – С. 92–95.

5. Antipov, A. A Methodology of Combined Processing of Digital Images and Lidar Data for Needs of Urban Planning and Territory Management [Text] / A. Antipov, T. A. Shirokova // “Innovative technologies for an efficient geospatial management of earth resources”, 04–09 sept. 2011, Ulaanbaatar. – PP. 161–170.

6. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.

© Т.А. Широкова, А.В. Антипов, 2013

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДВИЖЕК ЛЕДОВОГО ПОКРОВА ЮЖНОЙ КОТЛОВИНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ НА ОСНОВЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Тумэн Намжилович Чимитдоржиев

Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8, заместитель директора, д.т.н., тел. (3012) 433224, e-mail: tchimit@ipms.bscnet.ru

Геннадий Иванович Татков

Геологический Институт СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, директор, д.г.-м.н., тел. (3012) 433945, e-mail: gin@gin.bscnet.ru

Александр Иванович Захаров

Фрязинский филиал ФГБУН Института радиотехники и электроники РАН, 141190, Россия, Московской обл., г. Фрязино, пл. Введенского, 1, зав. лаб. радиолокационных систем и методов, к.т.н., тел. +7(496) 5652685, e-mail: ludmila@sunclass.ire.rssi.ru

Ирина Ивановна Кирбижекова

Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8, старший научный сотрудник, к.ф.-м.н., тел. +7 (3012) 433224, e-mail: kirbizhekova@bk.ru

Цырен Алексеевич Тубанов

Геологический Институт СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, научный сотрудник, к.г.-м.н., тел. +7 (3012) 433945, e-mail: geos@gin.bscnet.ru

Михаил Евгеньевич Быков

Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул.Сахьяновой 8, аспирант, тел. (3012) 433224, e-mail: evgomond@yahoo.com

В докладе представлены результаты исследования динамики ледового покрова озера Байкал вблизи пос. Листвянка. Оценка подвижек ледового поля произведена на основе радиолокационных данных ALOS PALSAR и наземных GPS-измерений 2010-2011 гг. Установленные методами спекл-интерферометрии величины и направление горизонтальных смещений согласуются с наземными GPS-измерениями.

Ключевые слова: спекл-интерферометрия, текстурный анализ, GPS-измерения.

STUDIES MOVEMENTS ICE SOUTHERN BASIN OF LAKE BAIKAL BY RADARS AND TERRESTRIAL MEASUREMENTS

Tumen N. Chimitdorzhiev

Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, 8, Sakhyanovoy str., IPM SB RAS, deputy director, D.Sc., tel. +7 (301-2) 43-31-84, e-mail: tchimit@ipms.bscnet.ru

Gennady I. Tat'kov

Geological Institute of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, 6a, Sakhyanovoy str., director, D.Sc., tel. (3012) 433945, e-mail: gin@gin.bscnet.ru

Alexander I. Zakharov

FGBUN Fryazino Branch of the Institute of Radioengineering and Electronics RAS, 141190, Russia, Moscow region, Fryazino, Vvedensky Square, 1, Head of the Laboratory of radar systems and methods, D.Sc., tel. +7(496) 5652685, e-mail: ludmila@sunclass.ire.rssi.ru

Irene I. Kirbizhekova

Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, 8, Sakhyanovoy str., IPM SB RAS, senior researcher, D.Sc., tel. +7 (3012) 433184, e-mail: kirbizhekova@bk.ru

Tsyren A. Tubanov

Geological Institute of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, 6a, Sakhyanovoy str., researcher, D.Sc., tel. +7 (3012) 433945, e-mail: geos@gin.bscnet.ru

Michael E. Bikov

Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, 8, Sakhyanovoy str., IPM SB RAS, postgraduate, tel. +7 (3012) 433184, e-mail: evgomond@yahoo.com

This report presents the results of a study of the dynamics of the ice cover of Lake Baikal near vil. Listvyanka. Assessment of movements of the ice field produced by ALOS PALSAR radar data and ground GPS-measurements 2010-2011. Established by methods of speckle-tracking method values and direction of the horizontal displacements are consistent with ground-based GPS-measurements.

Key words: speckle-tracking method, texture analysis, GPS-measurements.

Перспективной моделью для исследования закономерностей деформационных и сейсмических процессов является ледовый покров озера Байкал [2]. Начиная с 2006 года учёные Новосибирска, Томска, Иркутска, Улан-Удэ проводят комплексные экспериментальные и теоретические исследования вблизи пос. Листвянка, включая инструментальный мониторинг абсолютных и относительных перемещений структурных блоков различного ранга, деформаций хрупкого поверхностного слоя фрагментов ледового покрова, а также сейсмической и акустической активности [5].

С 2011 года для мониторинга ледового обстановки южной части оз. Байкал были привлечены спутниковые данные радара ALOS PALSAR в дециметровом диапазоне. Спутниковые радары с синтезированной апертурой (РСА) за последние десятилетия стали мощным инструментом при изучении земной поверхности. В частности, дифференциальная РСА интерферометрия перемещений льда с сантиметровой точностью позволила получить новые интересные результаты в гляциологии [6-9], картировать мульды оседания на нефтегазовых месторождениях в районах распространения сплошной и очаговой мерзлоты [1,3]. Главное преимущество метода дифференциальной радиолокационной интерферометрии (ДРИ) в том, что в пределах радиолокационного снимка в результате получается детальная площадная картина радиальных перемещений отражающей поверхности, а не отдельные профили или точечные измерения. Возможности применения ДРИ зависят от диапазона радара и ограничены фазовым шумом, который, как правило, характеризуется когерентно-

стью. Исследования когерентности радиолокационных изображений ALOS PALSAR дециметрового диапазона в период ледостава в 2010-2011 гг. показали [4], что проведение измерений смещений ледового покрова на обширных площадях акватории озера методом дифференциальной интерферометрии не представляется возможным вследствие высокой временной декорреляции (из-за значительных горизонтальных подвижек ледового покрова и ионосферных возмущений). Некоторые перспективы могут быть связаны с обработкой радарных изображений с меньшей временной базой, а также для локальных прибрежных частей Южного Байкала.

При смещениях льда зачастую происходит некогерентное смещение соседних рассеивателей в пределах одного пикселя и относительно других пикселей – элементов пространственного разрешения радара. Вследствие данного эффекта когерентность радарной интерферометрической пары уменьшается и использование метода дифференциальной интерферометрии может привести к большой погрешности измерений. В подобных случаях используют метод спеклинтерферометрии, часто именуемый в иностранной литературе «offset-tracking procedure» или «speckle-tracking method», заключающийся в расчёте кросс-корреляции малых фрагментов радарных изображений поверхности льда.

По нескольким парам радарных снимков 2010-2011 гг. методом спеклинтерферометрии были рассчитаны направления и амплитуды перемещений отдельных фрагментов ледового покрова. Вычисленные перемещения и направления дрейфа ледового покрова совпали. Субширотная область хрупких деформаций шириной от мыса Лиственничного до Больших Котов на северном берегу и от пос. Выдрино до пос. Танхой на южном берегу приурочена к зоне конвергенции двух крупных ледовых массивов, причем первый, «Восточный» дрейфует с востока на запад, возможно под действием ветра Баргузина или подлёдного течения от р. Селенги к р. Ангаре; а второй, «Западный» смещается в юго-восточном направлении. Во фронтальной части Западного блока, вдоль южного побережья озера образовалась протяжённая система станových трещин. Амплитуды перемещений внутри ледового массива «Западный» нарастают в северо-восточном направлении и резко затухают в прибрежной части. Для массива «Восточный» характерно нарастание амплитуд подвижек в западном направлении. В тыловой части массива образовались многочисленные трещины растяжения. В пределах выделенной зоны конвергенции субширотного направления, ограниченной серией станových трещин, амплитуды перемещений резко снижаются, распределение направлений близко к хаотическому, что свидетельствует о сложно-напряжённом состоянии зоны конвергенции. Дрейф ледового покрова за 46-дневный период между съёмками равен 6–8 м в юго-восточном направлении, при максимальных смещениях отдельных фрагментов до 15 м. Восточнее данной линии наблюдается тренд смещения с востока на запад, т.е. по направлению возможного течения от основного зимнего притока р. Селенги к основному стоку р. Ангаре. Отмечается также различие в преобладающих направлениях дрейфа ледового покрова: в 2010 г. – северо-восточное; в 2011 г. – юго-восточное, что, воз-

можно, связано с изменением розы ветров в аномально холодный 2010 г., и нарушениями многолетнего порядка становления ледового покрова в 2011 г., когда сплошной ледовый покров установился первоначально в районе Листвянки и лишь потом – в северной части озера. Результаты спекл-интерферометрии хорошо согласуются с данными наземных GPS измерений перемещений точек, жёстко закрепленных на ледовом покрове в районе п. Листвянка.

При высокоточных GPS-измерениях 2010-2011 годов были задействованы стационарные пункты многолетнего мониторинга GPS в городах Иркутск и Улан-Удэ. С использованием стационарных пунктов наблюдений вычислялась средняя скорость, амплитуды и направление общего движения точек закреплённых на ледовом покрове в районе мыса Лиственничный. В 2010 году использовались два комплекта приборов Trimble R3, в 2011 году – спутниковые геодезические приемники HiPer Topcon № 8PP9FR36I2O, № 8R0TAYF8AV4, прошедшие метрологическую аттестацию. Спутниковые приёмники GPS предназначены для создания сетей и выполнения топографической съёмки с сантиметровой точностью, что вполне приемлемо при измерениях перемещений ледового покрова с амплитудами от десятка сантиметров до десятков метров.

По данным GPS в 2010 году отмечалось, что активизация движений пунктов, расположенных в различных блоках ледовых пластин, разделённых становыми трещинами, происходила примерно в одно и то же время, когда ледовый покров подвергался охлаждению или разогреву, т.е. значительным температурным перепадам. Направления смещений соответствовали господствующим во время эксперимента 12-18 марта направлениям ветров: по азимутам 300° и $60-80^\circ$.

Подспутниковыми геодезическими GPS измерениями 11-19 марта 2011 года установлена непрерывность поля перемещений закреплённых на льду точек в восточном направлении, что проявилось в коллинеарности суточных векторов. Плавное увеличение амплитуды смещений в восточном направлении указывает на растягивающие напряжения вдоль северного побережья озера. Рассогласованность (от общей направленности) и меньшие амплитуды смещений движения близких к берегу опорных пунктов подтвердило, что эта часть ледового массива сильнее прикреплена к берегу и менее подвижна.

Таким образом, на примере Лиственничного полигона впервые в мировой практике показана возможность использования данных ALOS PALSAR (длина волны 23 см) для оценки амплитуд горизонтальных подвижек (дрейфа) ледовых покровов внутриконтинентальных озёр. При обработке радарных изображений 2010-2011 годов установлено, что оценка смещений ледового покрова на обширных площадях акватории озера методом дифференциальной интерферометрии сильно осложнена из-за высокой временной декорреляции, в т.ч. из-за значительных горизонтальных подвижек ледового покрова, ионосферных возмущений и т.д. Методом спекл-

интерферометрии, основанной на кросс-корреляции малых фрагментов радарных изображений поверхности льда, показаны некоторые различия в преобладающих направлениях дрейфа ледового покрова в 2010–2011 годах.

В целом, оценки перемещений – дрейфа ледового покрова, полученные в 2010 – 2011 годах интерферометрическими методами хорошо согласуются с данными подспутниковых GPS измерений. Сравнение наземных наблюдений со спутниковыми данными показало, что активные деформационные процессы происходят не только на границах крупных блокоразделов ледового покрова оз. Байкал, но и во всем его объеме, вследствие внутриблоковой фрагментации ледовых пластин, находящихся в сложном напряжённом состоянии.

Исследования выполнены при поддержке Междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН №73 «Изучение закономерностей и механизмов сейсмотектонических процессов в земной коре методами физического моделирования на ледовом покрове озера Байкал» (координатор д.ф.-м.н., чл.-к. С.Г.Псахье)

Радарные данные получены по гранту Японского аэрокосмического агентства 09/JAXA/AEO №0223001 "Study of topography and geology of Baikal region using optical and radar ALOS data".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брыксин В.М., Евтюшкин А.В., Филатов А.В. Технология создания комплексного банка космических снимков Земли // Известия Алтайского государственного университета. – 2011. – № 1-1 (69). – С.55–59.
2. Добрецов Н.Л., Псахье С.Г., Ружич В.В. [и др.] Ледовый покров озера Байкал как модельная среда для изучения тектонических процессов в земной коре // ДАН. – 2007. – Т. 412. – №5. – С. 656–660.
3. Евтюшкин А.В., Филатов А.В., Васильев Ю.В. [и др.] Использование данных PALSAR при выполнении геодинимического мониторинга нефтегазовых месторождений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. – Т.7. – № 2.– С.122–128.
4. Кирбижекова И.И., Чимитдоржиев Т.Н., Тубанов Ц.А. [и др.]. Результаты исследований динамики ледового покрова озера Байкал методами спутниковой радиолокации ALOS PALSAR и GPS-навигации // Вестник БНЦ СО РАН. – 2012. №1(5). – С.42-59.
5. Ружич В.В., Псахье С.Г., Черных Е.Н. [и др.] Деформации и сейсмические явления в ледяном покрове озера Байкал // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50. – № 3. – С. 289–299.
6. Чимитдоржиев Т.Н., Хаптанов В.Б., Захаров А.И. [и др.]. Использование данных радиолокационной интерферометрии ALOS PALSAR и георадарного зондирования для исследования криогенных деформаций грунтов // Журнал радиоэлектроники. – 2010. - №4. – С. 172–181.
7. Goldstein R., Engelhard R., Kamb B. [et al] Satellite radar interferometry for monitoring ice sheet motion: Application to an Antarctic ice stream // Science. – 1993. – Vol. 262– P. 1525–1530.
8. Mohr J. J., Reeh N., Madsen S. Three-dimensional glacial flow and surface elevation measured with radar interferometry // Nature. – 1998. – Vol. 391. – P. 273–276.
9. Rignot E., Gogineni S., Krabill W., and S. Ekholm, North and Northeast Greenland ice discharge from satellite radar interferometry // Science. – 1997. – Vol. 276. – P. 934–937.

© Т.Н. Чимитдоржиев, Г.И. Татьков, А.И. Захаров,
И.И. Кирбижекова, Ц.А. Тубанов, М.Е. Быков, 2013

КАРТОГРАФИЯ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ РЕСПУБЛИКИ БУРЯТИЯ НА ОСНОВЕ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ALOS PALSAR И МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ SPOT5

Ирина Ивановна Кирбижекова

Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8, старший научный сотрудник, к.ф.-м.н., тел. +7 (3012) 433224, e-mail: kirbizhekova@bk.ru

Тумэн Намжилевич Чимитдоржиев

Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 8, заместитель директора, д.т.н., тел. +7 (3012) 433224, e-mail: tchimit@ipms.bscnet.ru

Артур Михайлович Гармаев

Бурятский филиал ФГУП «Рослесинфорг», 670042, г. Улан-Удэ, ул. Тобольская, д. 63а, ведущий инженер, тел. +7 (301-2) 421728, e-mail: kingartur@mail.ru

Максим Анатольевич Гусев

НЦ ОМЗ ОАО «Российские космические системы», Россия, г. Москва, ул. Декабристов вл. 51, стр. 25, ведущий инженер, тел. +7 (499) 7580748, e-mail: gusev_ma@ntsomz.ru

В докладе представлены результаты комбинирования поляриметрических и оптических спутниковых данных для картографирования лесных ресурсов. Оценка результатов комплексирования спутниковой информации осуществлена на основе таксационных данных тестовых лесничеств Республики Бурятия. Для тестовых лесничеств составлен комплексный картографический материал, включающий в себя особенности топографии местности, породный состав и оценку биомассы лесных массивов.

Ключевые слова: радарная поляриметрия, спектральный анализ, картографирование лесов.

MAPPING FOREST RESOURCES OF THE REPUBLIC OF BURYATIA, BASED ON ALOS PALSAR POLARIMETRIC DATA AND MULTISPECTRAL DATA SPOT5

Irene I. Kirbizhekova

Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, 8, Sakhyanovoy str., IPM SB RAS, senior researcher, D.Sc., tel. +7 (3012) 433184, e-mail: kirbizhekova@bk.ru

Tumen N. Chimitdorzhiev

Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, 8, Sakhyanovoy str., IPM SB RAS, deputy director, D.Sc., tel. +7 (3012) 433184, e-mail: tchimit@ipms.bscnet.ru

Artur M. Garmaev

Buryat branch of the Federal State Unitary Enterprise "Roslesinforg", 670042, Ulan-Ude, 63, Tobolskaya str., leading engineer, tel. +7 (301-2) 421728, e-mail: kingartur@mail.ru

Maxim A. Gusev

Scientific Center for Earth Operative Monitoring of JSC "Russian Space Systems", 127490, Russia, Moscow, str. 27, dom. 51, Decembrists str., leading engineer, tel. +7 (499) 7580748, e-mail: gusev_ma@ntsomz.ru

The report presents the results of a combination of polarimetric and optical satellite data for mapping forest resources. Evaluation of the results complexing satellite data delivered on the basis of test data taxational forestry Buryatia. For test forestry is compiled a complex cartographic material, including topography features, species composition and assessment of forest biomass.

Key words: radar polarimetry, spectral analysis, mapping forests.

В настоящее время создание, развитие и совершенствование методики картографирования лесной растительности на основе данных дистанционного зондирования Земли является насущной задачей лесохозяйственного комплекса [2,8]. Использование космических снимков позволяет значительно сократить стоимость и сроки обновления картографических материалов различных масштабов. При этом возрастает роль технологий основанных на применении радиоволновых систем. Современные радары с синтезированной апертурой (РСА) позволяют получать изображения поверхности Земли круглосуточно и в любых погодных условиях [7,9] со сверхвысоким пространственным разрешением (до 1-3 м).

В 2012 году совместными усилиями Бурятского филиала «Рослесинфорг», НЦ ОМЗ «Российские космические системы» и ИФМ СО РАН на базе двух лесничеств Республики Бурятия была апробирована методика комбинирования радиолокационных и оптических спутниковых данных с целью получения картографического материала [1,3]. В качестве пилотных тестовых территорий были выбраны Куналейское и Мухоршибирское лесничества, по которым подобраны следующие наземные данные: сетки лесных кварталов и выделов в векторном виде *.shp; таксационные данные по выделам, с указанием площади, породного состава, возраста, плотности древостоя, запасов древесины, наличия подроста и подлеска и др.; сведения о вырубках, гарях; данные о топографии территорий исследования.

Согласно имеющимся данным таксации (10-20-летней давности) по исследуемым территориям породный состав отдельных участков леса варьируется от лиственных березово-осиновых (Б-Ос) до хвойных, сосново-лиственничных (С-Лц). В основном преобладают смешанные леса с преобладанием одной из пород: сосны, лиственницы, березы, осины. Кедр, пихта обычно составляют не более 40% или отсутствуют. Полнота изменяется от 0,15 до 1. Запасы древесины от 20 до 330 куб.м./га. Сравнение с данными таксации по отдельным выделам в октябре 2011 года выявили определенные отличия современных и старых данных.

Анализ наземной информации по время обработки спутниковых снимков и результаты показал, что она должна отвечать следующим требованиям: представительность таксационных данных по породному составу, полноте древостоя, запасам древесины и некоторым др., достаточно таксации по 3-5 кварталам, не менее 20-30 выделов; минимальный промежуток между временем проведения таксации и съемки; минимальный объем информации по рубкам (местоположение, возраст); как можно более полная информация о гарях.

Отождествление лесных и безлесных территорий, классификация лесных массивов по породному составу, плотности древостоя и др. параметрам были проведены на основе: мультиспектральных оптических снимков SPOT5 (545, 645, 835 и 1665 нм) с разрешением 10 м и панхроматических изображений (595 нм) с разрешением 2,5 м, полученных 2 (Мухоршибирь) и 9 сентября (Куналей) 2011 года; радарных полнополяриметрических (hh, hv, vh, vv) данных ALOS PALSAR в L-диапазоне с разрешением 30 м, 25 мая 2006 года по Мухоршибирю; радарных данных ALOS PALSAR в L-диапазоне двойной поляризации (hh, hv) с разрешением 15 м, 02 октября 2010 года по Куналею; радарных данных RADARSAT2 двойной поляризации (hh, hv) в C-диапазоне с разрешением 10 м, полученные в сентябре 2012 года.

В соответствии с информацией, содержащейся в файлах сопровождения выполнена геопривязка полученных спутниковых изображений, проведено ортотрансформирование и внесены поправки в радарные изображения за счет рельефа местности: оптические снимки представлены в псевдогеографической; радарные данные – в географической; сетка лесных кварталов и выделов – в Пулковской системе координат. Для единообразия и последующего сравнительного анализа все спутниковые изображения, а также наземная сетка лесных кварталов трансформированы в единую систему координат – 48 зоне UTM datum WGS84.

Совмещение оптических, радарных и наземных данных выявило необходимость дополнительной коррекции. Например, мультиспектральные и панхроматические изображения SPOT5 по Куналейскому району смещены относительно квартальной сетки на +900 м по долготе и –170 м по широте. Смещение радарных изображений ALOS PALSAR – на порядок меньше. Смещение радарных изображений RADARSAT2 более 2,2 км. В отличие от процесса привязки однотипных изображений, оптических к оптическим или радарных к радарным одного диапазона, выбор опорных точек по изображениям разного типа довольно затруднителен и средняя ошибка привязки оказалась на порядок выше обычного $rms \approx 10$. Очевидно, что при картировании и инвентаризации больших по площади территорий необходимо дополнительно учитывать различие масштаба изображений, полученных из различных источников, а также произвести корректировку квартальной сетки лесных массивов с учетом спутниковой информации и привязкой к опорным геодезическим пунктам на поверхности Земли.

Для предварительного анализа на основе спутниковых данных были сформированы RGB-композиции. На основе мультиспектральных данных наибольшей наглядностью обладает RGB-изображение в естественных цветах: R – 2 канал (красный), G – 3 (ближний инфракрасный), B – 1 (зеленый). На основе радиолокационных – RGB-разложение Фримана. По цветовому оттенку можно отождествить преобладающий тип отражающей поверхности: участки почвенного покрова со слабой растительностью или без таковой, участки с сильно выраженной растительностью, водные объекты и т.д.[4-6].

Для отбора наиболее эффективных методов классификации мультиспектральных снимков применялись несколько критериев: сходимость процесса кластеризации, контроль совпадения границ лесных кварталов и выделов с границами полученных кластеров, соответствие данным таксации отдельных лесных кварталов и панхроматическому снимку.

При классификации использовались от 2 до 30 итераций. Среди опробованных методов: метод неконтролируемой классификации ISODATA, контролируемые методы максимального правдоподобия и минимального расстояния, метод выделения основных компонент, метод спектрального угла на основе эталонных спектров и спектров тестовых участков, на основе вегетационных индексов и др. Наиболее эффективным для исследуемых территорий оказалось комбинирование неконтролируемых методов с привлечением элементов спектрального анализа.

Для составления карт породного состава лесных массивов по тестовым лесничествам был применен субпиксельный спектральный анализ. Метод линейного смешивания предполагает, что спектральный профиль каждого пикселя изображения формируется за счет суммирования вкладов нескольких объектов пропорционально своему присутствию на земной поверхности. Метод очень чувствителен к набору эталонных спектров отдельных компонент. Основным критерий при составлении такого комплекса малые значения ошибок rms. Как показали исследования по небольшим фрагментам, метод чувствителен к методу трансформации изображений. В результате были выделены и составлены карты распределения основных лесобразующих пород/компонентов для обоих тестовых лесничеств: сосны, лиственницы, дикорастущих и кустарников, лиственных (береза, осина и др.). Каждая порода или вид суммировались по спектру нескольких компонент: древесины, коры, листьев, шишек, игл. В случае густой растительности на оптических снимках проявляются особенности только поверхностного слоя лесного полога.

Радиоволны сантиметрового и дециметрового диапазона обладают большой проникающей способностью, благодаря которой можно изучать морфологию лесного полога (стволы, крупные и мелкие ветви и т.п.). При негустом лесном покрове (для лесов Бурятии средняя сомкнутость 0,6) радарный сигнал проникает вплоть до почвенного покрова. Исследование перспектив использования радарных данных показало, что большое количество поляриметрических характеристик могут служить маркерами лесной и безлесной среды, но большинство из них сильно коррелирует с рельефом местности и чувствительны к геометрии радиолокации.

В меньшей степени рельеф местности отражается на таких показателях как радарный вегетационный индекс, поляризационное отношение, отношение интенсивностей радарного отражения на поперечной и согласованной поляризации. Последние показатели зависят от количества рассеивателей среды или общей биомассы (L-диапазон) и фитомассы (C-диапазон). Следовательно, в определенной степени, они могут характеризовать распределение биомассы и фитомассы. Для получения более точных количественных биометрических пока-

зателей лесной среды необходимы фундаментальные исследования закономерностей процессов отражения и рассеяния радарных волн в сложных условиях гористой местности.

Осенью 2012 года были предприняты совместные экспедиции по Мухоршибирскому и Куналейскому районам представителей лесничеств, Рослесинфорга и Института физического материаловедения СО РАН для проверки в полевых условиях результатов классификации спутниковых изображений. Подтверждена высокая точность классификации.

Исследования выполнены при поддержке НЦ ОМЗ ОАО РОСКОСМОС в рамках ОКР «Разработка средств верификации базовых продуктов ДЗЗ межведомственного использования на основе данных наземного наблюдения лесохозяйственного назначения».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Арманд Н.А., Чимитдоржиев Т.Н., Ефременко В.В. [и др.]. О возможностях совместной обработки радиолокационных изображений L - диапазона и спектрональных снимков оптического диапазона для классификации лесных массивов // Радиотехника и Электроника. – 1998. – Т. 43. – № 9. – С. 1070-1075.
2. Аэрокосмический мониторинг лесов/Ф.С.Исаев, В.И.Сухих, Н.Е.Калашников и др. М.Наука. – 1991.
3. Бондур В.Г., Чимитдоржиев Т.Н. Дистанционное зондирование растительности оптико-микроволновыми методами // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2008. – №6. – С.64–73.
4. Захаров А.И., Назаров Л.Е. Классификация типов лесов на основе анализа текстурных характеристик радиолокационных изображений PCA SIR-C // Исследование Земли из космоса. – 1998. – №2. – С 102-109.
5. Кирбижекова И.И., Батуева Е.В., Дарижапов Д.Д. H-A- α -классификация данных ALOS по дельте реки Селенга // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2010.– Т. 53. – № 9-2. – С. 25-26.
6. Кирбижекова И.И., Дарижапов Д.Д. Анализ поляриметрических данных SIR-C/X по дельте реки Селенга // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. – 2008. – № 133. – С. 24-29.
7. Козлов А.Л., Логвинов А.И., Сарычев В.А. Радиолокационная поляриметрия. Поляризационная структура радиолокационных сигналов. – Радиотехника. – 2007. – 640 с.
8. Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: учебник. – Йошкар-ола: МарГТУ, 2005. – 392 с.
9. Радиолокационные методы исследования Земли/Под ред. Ю.А.Мельника. М.: Сов.радио, – 1985. – 262 с.

© И.И. Кирбижекова, Т.Н. Чимитдоржиев, А.М. Гармаев, М.А. Гусев, 2013

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ И ДЕФОРМАЦИЙ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ НА ОСНОВЕ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКИХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ДАННЫХ

Тумэн Намжиллович Чимитдоржиев

Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул.Сахьяновой 8, заместитель директора, д.т.н., тел. (3012) 433224, e-mail: tchimit@ipms.bscnet.ru

Ирина Ивановна Кирбижекова

Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул.Сахьяновой 8, старший научный сотрудник, к.ф.-м.н., тел. (3012) 433224, e-mail: kirbizhekova@bk.ru

Марина Оскаровна Лейбман

Институт криосферы Земли СО РАН, 119991, Россия, г. Москва, ул. Вавилова, д. 30/6, главный научный сотрудник, д.г.-м.н., тел. (916) 6078393, e-mail: moleibman@gmail.com

Михаил Евгеньевич Быков

Институт физического материаловедения СО РАН, 670047, г. Улан-Удэ, ул.Сахьяновой 8, аспирант, тел. (3012) 433224, e-mail: evgomond@yahoo.com

В докладе представлены результаты исследования микро-деформаций почвенного покрова и оползневых процессов полуострова Ямал методами дифференциальной интерферометрии и анализа сезонных и долговременных изменений текстуры радиолокационных изображений.

Ключевые слова: радарная интерферометрия, текстурный анализ, оползневые процессы.

STUDY OF SOIL COVER DEFORMATION AND LANDSLIDES YAMAL PENINSULA AN INTERFEROMETRIC RADAR DATA

Tumen N. Chimitdorzhiev

Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, 8, Sakhyanovoy str., IPM SB RAS, deputy director, D.Sc., tel. +7 (301-2) 43-31-84, e-mail: tchimit@ipms.bscnet.ru

Irene I. Kirbizhekova

Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, 8, Sakhyanovoy str., IPM SB RAS, senior researcher, D.Sc., docent, tel. +7 (3012) 433184, e-mail: kirbizhekova@bk.ru

Marina O. Leibman

Earth Cryosphere Institute of SB RAS, 119991, Russia, Moscow, st. Vavilov, 30/6, tel. (916)6078393, chief researcher, D.Sc., e-mail: moleibman@gmail.com

Michael E. Bikov

Institute of Physical Material Science of the SB RAS, 670047, Ulan-Ude, 8, Sakhyanovoy str., IPM SB RAS, postgraduate, tel. +7 (3012) 433184, e-mail: evgomond@yahoo.com

This report presents the results of a study of micro-deformation of soil and landslides on the Yamal Peninsula the methods of differential interferometry and analysis of seasonal and long changes in the texture of radar images.

Key words: radar interferometry, texture analysis, landslide processes.

В современном мире большой научный интерес представляют изменения среды обитания человека вызванные как антропогенной деятельностью, так и глобальными климатическими процессами. Одними из самых мощных средств мониторинга состояния окружающей среды и её изменений в настоящее время являются дистанционные методы зондирования Земли (ДЗЗ). Особую актуальность ДЗЗ приобретает при освоении протяженных и труднодоступных северных территорий Западной Сибири и Арктики [2]. Вследствие возрастающей антропогенной нагрузки и климатических изменений здесь в последние десятилетия активизировались оползневые процессы, деформация и разрушение почвы [1,7]. Из-за сложных погодных условий, продолжительных полярных зим, мощного снежного покрова наиболее перспективными для исследований и мониторинга являются спутниковые методы радиолокации. В частности методы радарной интерферометрии продемонстрировали высокую эффективность при обнаружении горизонтальных и вертикальных смещений почвенного покрова сейсмического и техногенного характера, «морозного пучения» влажных и заболоченных участков, подвижек льда и др. [4,8-10]

В данной статье представлены результаты обработки радарных изображений ALOS PALSAR в L-диапазоне по территории полуострова Ямал в 2007-2010 гг. методами дифференциальной интерферометрии и текстурного анализа.

Для локализации участков деформации по тестовому полигону Марре-Сале была проведена интерферометрическая обработка радарных данных полученных ALOS PALSAR 5 февраля 2008, 28 марта, 28 июня и 13 ноября 2010 года. На рисунке 1 представлена фильтрованная геокодированная интерферограмма по паре изображений 5 февраля 2008 – 28 марта 2010. Как видно по рисунку большая часть территории стабильна (светлые тона) – за два года между съемками деформации поверхности отсутствуют. Участки проседания до 5-6 см расположены вдоль береговой линии (серые), а по центру – территория с поднятием до 2-3 см по краям и 5-6 см в середине соответственно (темно-серые). Необходимо отметить, что обозначенные деформации на рисунке носят долговременный характер. В частности опускание верхней и нижней оконечности полуострова, возможно, происходит из-за подтаивания ледовой подложки частей выдающихся в море. Либо из-за перехлестывания волн через эти фрагменты происходит смыв-размыв этих выступающих частей. Центральная зона поднятия соответствует морозному пучению почв вдоль заболоченного русла реки. Т.к. величина морозного пучения почвы пропорциональна средней температуре в зимний период [8,10], то поднятие до 6 см могло возникнуть за счет разницы амплитуд пучения зимой 2008 и более холодной зимой 2010 года.

При исследовании оползневых процессов, а в дальнейшем при их прогнозировании немаловажное значение имеет информация о рельефе местности. В настоящее время доступные цифровые модели рельефа (ЦМР) на северные территории имеют сильно разреженный, скорее дискретный, нежели непрерывный характер. Поэтому одной из целей проводимого исследования стало построение

ЦМР. По тестовому полигону Васькины Дачи п-ва Ямал на основе трех радарных изображений 2007-2010 гг. были построены карты относительных высот и вертикальных смещений. Методика построения заключается в следующем: по первой паре изображений строится «опорная» интерферограмма, которая содержит информацию о рельефе. По второй паре строится интерферограмма с вычитанием опорной, при этом отображаются только смещения поверхности без влияния топографии. После чего проводятся стандартные процедуры для расчета карты вертикальных смещений [3]. Построение карты абсолютных высот без опорных точек на местности невозможно, но информация об относительных высотах может быть полезна для выявления участков с градиентами высот наиболее вероятными для возникновения оползней.

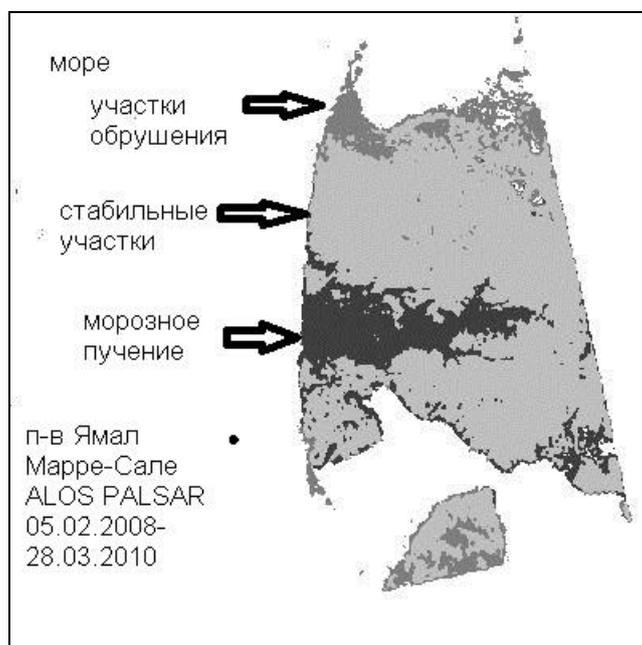


Рис. 1. Фильтрованная геокодированная интерферограмма по территории Марре-Сале, п-в Ямал по паре радиолокационных изображений ALOS PALSAR 5 февраля 2008 – 28 марта 2010

Для обнаружения участков со значительными изменениями почвенного покрова был проведен сравнительный анализ сезонных и двухгодичных изменений текстуры радарных изображений [5,6]. Исследование проведено на основе четырех снимков в L-диапазоне (НН) полученных ALOS PALSAR в 2007-2009 гг. с разрешением 15 м/пиксел по тестовому полигону Васькины дачи, где деформационные и оползневые процессы отслеживаются в течение последних 20-30 лет.

Вычислены статистические показатели текстуры радарных изображений и их вариации в течение зимнего сезона (с октября 2008 г. по январь 2009 г.) и за два года (январь 2007 г. – январь 2009 г.). На рисунке 2 представлены относи-

тельные сезонные и двухгодичные изменения, нормированные на среднюю интенсивность за сезон 2008-2009 г.г. в первом случае и среднюю интенсивность за январь 2007 – январь 2009 г.г. во втором. Как видно по рис.2.а наиболее значительные осенне-зимние вариации соответствуют многочисленным водным объектам, очевидно при их замерзании. Поэтому, при статистической оценке вариаций текстурных показателей была построена и применена маска, исключая водные объекты.

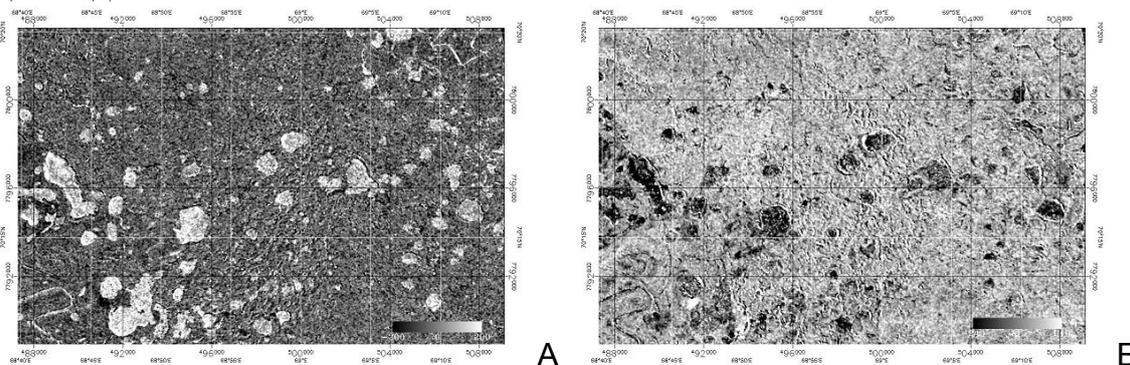


Рис.2. Относительные изменения текстуры радиолокационных изображений 2007-2009 гг. тестового участка Васькины Дачи, п-в Ямал: сезонные (а) и двухлетние (б)

Сравнительный анализ показал, что абсолютные годовые изменения почвенного покрова как правило, не превышают аналогичных сезонных вариаций, в то время как относительные изменения одного порядка. В результате была составлена карта и определены участки с преобладанием сезонных вариаций. Распределение разности сезонных и двухгодичных изменений оказалось близко к распределению Гаусса. Таким образом, для каждого пикселя изображения можно вычислить вероятность того, что сезонные изменения превышают долговременные и наоборот и, следовательно, локализовать участки исследуемой территории, укладывающиеся в рамки статистических вариаций с известной вероятностью, а также выявить участки с аномально большой разницей, т.е. с высокой долей вероятности, указывающие на реально произошедшие изменения. Согласно наземным наблюдениям значительных деформационных и оползневых явлений на территории тестового полигона в период между радиолокационными съемками 2007-2009 гг. не происходило, а немногочисленные небольшой площади участки с сильными двухгодичными изменениями располагаются в основном вдоль трасс движения транспорта или соответствуют местам усиленной антропогенной нагрузки.

Изучение вариаций текстурных характеристик, определенных на основе матрицы совместной встречаемости, усредненных по четырем направлениям дало схожие результаты. Для обнаружения более значительных изменений необходимы данные более высокого разрешения и/или большой временной интервал между съемками.

Исследования выполнены при поддержке интеграционного проекта СО РАН № 144 «Криогенные ресурсы Арктики и Субарктики: состояние и структура криолитозоны, физико-химическое моделирование и биологический потенциал криогенных систем».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Leibman, M.O., Kizyakov, A.I., Sulerzhitsky, L.D., Zaretskaya, N.E. 2003. Dynamics of the landslide slopes and mechanism of their development on Yamal peninsula, Russia. Permafrost (M.Phillips, S.M.Springman, L.U.Arenson, eds.), Proceedings of the 8th International Conference, Zurich 21-25 July 2003. A.A.Balkema Publishers, Lisse, Netherlands, I: 651-656.
2. Брыксин В.М., Филатов А.В., Евтюшкин А.В. Использование радарных изображений и DINSAR-PSINSAR технологии для мониторинга Западной Сибири и Арктики // Журнал радиоэлектроники. 2012. № 6. С. 1-1.
3. Дарижапов Д.Д., Кирбижекова И.И., Леонов А.С. Обработка интерферометрических данных, полученных с японского спутника ALOS SAR (радар с синтезированной апертурой) // Вестник ВСГУТУ. 2010. № 3. С. 5-9.
4. Евтюшкин А.В., Филатов А.В., Васильев Ю.В., Мартынов О.С., Радченко А.В. Использование данных PALSAR при выполнении геодинамического мониторинга нефтегазовых месторождений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2010. Т.7. № 2. С.122-128.
5. Кирбижекова И.И., Чимитдоржиев Т.Н., Лейбман М.О., Быков М.Е. Возможности мониторинга ландшафтных изменений тестовых участков полуострова Ямал на основе текстуры радарных изображений // Материалы X Всероссийской конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса», Москва, ИКИ РАН, 12-16 ноября 2012 г., С. 396-396.
6. Кирбижекова И.И., Чимитдоржиев Т.Н., Тубанов Ц.А. [и др.]. Результаты исследований динамики ледового покрова озера Байкал методами спутниковой радиолокации ALOS PALSAR и GPS-навигации//Вестник БНЦ СО РАН. 2012. № 1(5). С. 42-59.
7. Лейбман М.О., Кизяков А.И. Криогенные оползни Ямала и Югорского полуострова. Типография Россельхозакадемии, М. – 2007. – 206 с.
8. Татьков Г.И., Чимитдоржиев Т.Н., Быков М.Е. [и др.]. Применение спутниковой радарной интерферометрии ALOS PALSAR для картирования ареалов распространения и измерения интенсивности криогенного пучения грунтов. // Инженерные изыскания. 2012, № 9, стр. 28-34.
9. Чимитдоржиев Т.Н., Захаров А.И., Татьков Г.И. [и др.]. Исследование криогенных деформаций грунта в дельте реки Селенга с помощью спутниковой РСА–интерферометрии и наземного георадарного зондирования // Исследование Земли из космоса. 2011. № 5. С. 58-63.
10. Чимитдоржиев Т.Н., Хаптанов В.Б., Захаров А.И. [и др.]. Использование данных радиолокационной интерферометрии ALOS PALSAR и георадарного зондирования для исследования криогенных деформаций грунтов // Журнал радиоэлектроники. – 2010. - №4. – С. 172-181.

© Т.Н. Чимитдоржиев, И.И. Кирбижекова, М.О. Лейбман, М.Е. Быков, 2013

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДЛЯ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ РАБОТ

АНДРЕЙ ЛЕОНИДОВИЧ БЫКОВ

ООО «Лаборатория автоматизации геодезических и фотограмметрических работ», 644008, Россия, г. Омск, Сибакловская 4, каб. 239, ведущий инженер, тел. (3812)268-910, e-mail: abu-ll@yandex.ru

АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ КОСТЮК

ООО «Лаборатория автоматизации геодезических и фотограмметрических работ», 644008, Россия, г. Омск, Сибакловская 4, каб. 239, ведущий инженер, тел. (3812)268-910, e-mail: kas-55@yandex.ru

Василий Леонидович Быков

ООО «Лаборатория автоматизации геодезических и фотограмметрических работ», 644008, Россия, г. Омск, Сибакловская 4, каб. 239, директор, кандидат технических наук, доцент, тел. (3812)268-910, e-mail: bv155@yandex.ru

ЛЕОНИД ВАСИЛЬЕВИЧ БЫКОВ

ООО «Лаборатория автоматизации геодезических и фотограмметрических работ», 644008, Россия, г. Омск, Сибакловская 4, каб. 239, заместитель директора, к.т.н., доцент, тел. (3812)268-910, e-mail: blv-55@yandex.ru

ЛАРИСА ВЕНИАМИНОВНА ТАТАУРОВА

Омский государственный университет им. Ф.М.Достоевского, 644077, Россия, г. Омск, проспект Мира 55-А, к.и.н., доцент кафедры первобытной истории, тел. (3812)670-104, e-mail: LiST@hist.omsu.omskreg.ru

ПАВЕЛ ВИКТОРОВИЧ ОРЛОВ

Омский государственный университет им. Ф.М. Достоевского, 644077, Россия, г. Омск, пр. Мира 55-А, к.т.н., ведущий научный сотрудник, тел. (3812)670-104, e-mail: orlov@omsu.ru

ПАВЕЛ МИХАЙЛОВИЧ ПОГАРСКИЙ

ООО «Опытно-конструкторское бюро малые беспилотные аппараты», 644024, Россия, г. Омск, Пушкина 39, директор, тел. (3812) 531-868, e-mail: ppm55@yandex.ru

В статье представлены результаты экспериментальных работ по картографическому сопровождению археологических исследований с помощью периодической аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, беспилотный летательный аппарат, фотограмметрическая обработка снимков, ортофотопланы, археологические памятники.

APPLICATION OF AERIAL PHOTOGRAPHS FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR CARTOGRAPHIC SUPPORT FOR ARCHAEOLOGICAL WORK

Andrey L. Bykov

Ltd. "Laboratory Automation geodetic and photogrammetric", 644008, Russia, Omsk, Sibakovskaya 4, of. 239, senior engineer, tel. (3812)268-910, email: abu-ll@yandex.ru

Alexander S. Kostiuk

Ltd. "Laboratory Automation geodetic and photogrammetric", 644008, Russia, Omsk, Sibakovskaya 4, of. 239, senior engineer, tel. (3812)268-910, email: kas-55@yandex.ru

Vasily L. Bykov

Ltd. "Laboratory Automation geodetic and photogrammetric", 644008, Russia, Omsk, Sibakovskaya 4, of. 239, Director, Ph.D., associate professor, tel. (3812)268-910, email: bvl55@yandex.ru

Leonid V. Bykov

Ltd. "Laboratory Automation geodetic and photogrammetric", 644008, Russia, Omsk, Sibakovskaya 4, of. 239, Deputy Director, Ph. D., associate professor, tel. (3812)268-910, e-mail: blv-55@yandex.ru

Larissa V. Tataurova

Omsk State University. Dostoevsky, 644077, Russia, Omsk, Mira 55-A, Ph.D., assistant professor of prehistory, tel. (3812)670-104, e-mail: LiST@hist.omsu.omskreg.ru

Pavel V. Orlov

Omsk State University. Dostoevsky, 644077, Russia, Omsk, Mira 55-A, a leading researcher, tel. (3812)670-104, e-mail: orlov@omsu.ru

Pavel M. Pogarsky

LLC "Experimental Design Bureau of small UAVs", 644024, Russia, Omsk, Pushkin, 39, director, tel. (3812)531-868, e-mail: ppm55@yandex.ru

The paper presents the results of experiments on cartographic support archaeological research through periodic aerial photography with unmanned aerial vehicle.

Key words: aerial photography, an unmanned aerial vehicle, photogrammetric image processing, orthophotos, archaeological sites.

Геодезические методы определения пространственного положения археологических объектов и находок традиционно применяются при археологических исследованиях. Основным источником обзорной информации являются аэрофотоснимки и космические изображения. С их помощью проводится предварительная разведка местности. Сопоставление изображений с имеющимися картами и планами археологических памятников позволяет выявить наиболее общие закономерности в расположении и структуре объектов исследования. Фотопланы, созданные по ДДЗ, служат для общего знакомства с территорией, уточнения положения археологических памятников относительно картографической основы, планирования работ, выбора конкретных объектов для более тщательного изучения.

Недостатком ДДЗ является то, что с их помощью затруднено сопровождение археологических работ. Получение материалов возможно с непредсказуемой периодичностью, поскольку используются материалы архивных съемок. Специальные съемки практически не выполняются, так как размеры археологи-

ческих памятников незначительны по площади, и заказная аэросъемка оказывается чрезмерно дорогой.

С появлением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), приспособленных для аэрофотосъемки (АФС), появляется возможность периодической съемки памятников в процессе археологических исследований. Известные преимущества беспилотной АФС наиболее полно проявляются на археологических объектах. Оперативность, невысокая стоимость, строгая фотограмметрическая обработка снимков, малая площадь объектов съемки - все это позволяет сопровождать раскопки на различных стадиях исследований.

В сезонах 2011-2012 года сотрудниками «Лаборатории автоматизации геодезических и фотограмметрических работ» (ООО «ЛАГ», г. Омск), учеными Омского государственного университета и специалистами «Опытно-конструкторское бюро малые беспилотные аппараты» (ООО «ОКБ МБА», г. Омск), были выполнены работы по апробации технологии геодезического сопровождения археологических исследований с применением БПЛА. Эксперименты проводились на территории известного археологического памятника саргатской культуры V века до н.э. – V века н.э. - некрополя расположенного в районе с. Ново-Оболонь Горьковского района Омской области.

Для аэрофотосъемки использовался БПЛА «ЭЛЬФ ПП-45», конструкции П.М. Погарского. Он имеет следующие технические характеристики:

- продолжительность полета 1.5 - 2 часа;
- производительность аэросъемки 1.5 – 2 кв. км за один полет;
- рекомендуемый масштаб фотопланов 1:500 – 1:2000;
- погрешность построения цифровой модели рельефа (ЦМР) - от 0.1 м.



Рис. 1. БПЛА «Эльф ПП-45»

Съемочная система состоит из трех синхронно работающих фотоаппаратов, смонтированных на единой платформе. Оптическая ось центрального аппарата ориентирована в надир, два других аппарата наклонены в разные стороны от вертикали на углы около 15 градусов. Такое расположение аппаратов

обеспечивает увеличение угла зрения системы до 80 градусов, что гарантирует необходимое поперечное перекрытие снимков и захват снимаемого объекта. Фотографирование выполнялось с высот 200 – 300 м. Заходы на маршрут выполнялись визуально. Для уменьшения динамических смазов изображения полет по маршруту выполнялся в режиме планирования с зависанием аппарата в восходящем потоке непосредственно над объектом съемки. В результате за один полет набиралось порядка 20 снимков, из которых формировались пары с наилучшим геометрическим и фотографическим качеством. В период археологических исследований съемка выполнялась трижды:

- на этапе предварительного выбора объектов для раскопок (рис. 2а),
- непосредственно перед раскопками выбранного объекта (рис. 2б),
- в процессе раскопок в момент вскрытия погребений (рис. 2в).

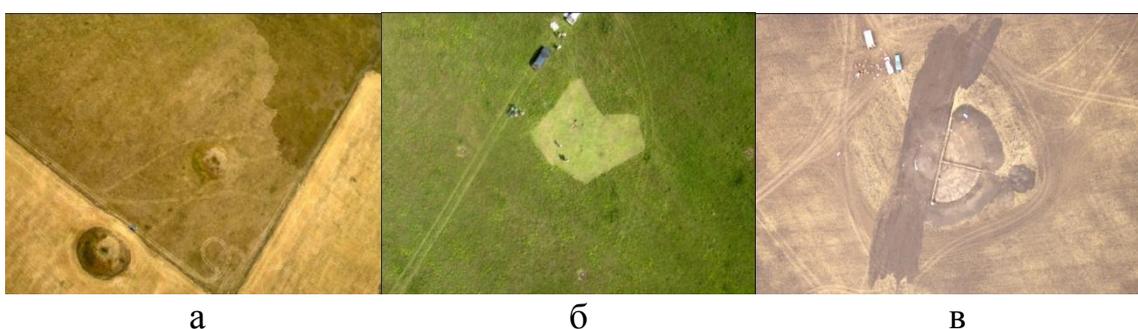


Рис. 2. Снимки объектов на различных стадиях археологических исследований

Для привязки аэроснимков в районе работ была создана базовая станция, положение которой определялось в системе координат WGS-84. Опорные точки были предварительно замаркированы искусственными объектами. Определение координат опознаков выполнялось по GNSS технологии в режиме RTK.



Рис. 3. Базовая станция, маркировка и привязка опознаков

Аэрофотосъемка была дополнена наземной стереосъемкой погребений. Для привязки изображений использовались специальные маркированные точки, координаты которых определялись относительно базовой станции в единой

системе с опознаками аэрофотосъемки. Это позволило впоследствии поместить фотопланы погребений на фотопланы раскопов.



Рис. 4. Вскрытие погребения, маркировка и привязка опорных точек, съемка погребения

Фотограмметрическая обработка снимков выполнялась с помощью цифровой фотограмметрической станции «Фотомод». Съёмочные камеры были предварительно калиброваны на тест-объекте по авторской методике. Взаимное ориентирование аэрофотоснимков было выполнено по 50 связующим точкам со средней квадратичной погрешностью 0.3 пикселя. Построение модели выполнялось способом связок с использованием 10 опорных точек. Средние расхождения координат опорных точек составили: в плане – 0.06 м, по высоте 0.03 м. Результаты оценки точности построения модели по материалам наземной стереосъемки составили: по остаточным поперечным параллаксам – 0.3 пикселя, по расхождениям координат опорных точек в плане - 6 мм, по высоте – 6 мм.

В процессе стереофотограмметрической обработки сети была создана цифровая модель рельефа, ортофотопланы и выполнена трехмерная визуализация объекта.



Рис. 5. Фотопланы раскопа и погребения, трехмерная визуализация объекта

Предложенные методические приемы использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для построения трехмерных ландшафтных моделей местностей позволяют:

- точно привязать археологические комплексы к системе координат местности и создать ландшафтную модель территории, в которой эти объекты сформировались, функционировали и стали археологическими.

- определить планиграфию археологического объекта с выявлением его структурных особенностей и границ археологического памятника, что существенно облегчает задачи по постановке археологического объекта на учет в охранные организации и выводу территории памятника из хозяйственного использования.

- выбрать оптимальное место для проведения археологических исследований и точно привязать границы раскопа к местности с указанием координат реперных точек. При долговременном исследовании памятника наличие этих координат обеспечит точную прирезку новых площадей для раскопок.

Археологические исследования – это еще одна область, в которой аэро-съемка с БПЛА находит широкое применение. В сочетании со строгой фотограмметрической обработкой изображений и применением GNSS в целом совершенствуется методика картографического обеспечения археологических исследований.

*© А.Л. Быков, А.С. Костюк, В.Л. Быков, Л.В. Быков, Л.В. Татаурова,
П.В. Орлов, П.М. Погарский, 2013*

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КОНТРАСТНОСТИ СЕЙСМОГРАММ

Сергей Александрович Ефимов

Институт вычислительной математики и математической геофизики, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник лаборатории геофизической информатики, тел. (383)330-70-69, e-mail: serg@opg.sscs.ru

В статье рассмотрена возможность повышения контрастности сейсмограмм, формируемых в рамках вибросейсмической технологии. Высокое качество сейсмограмм достигается за счет нетрадиционного способа обработки данных.

Ключевые слова: операция свертки, функция неопределенности, фильтрующее свойство операции квантования по времени, качественная сейсмограмма.

METHOD FOR INCREASING CONTRAST SEISMOGRAMS

Sergey A. Efimov

Institute computing mathematicians and mathematical geophysics (ICMMG SB RAS), 630090, Russia, Novosibirsk, Pr. Lavrenteva, the house 6, geophysical research laboratory informatics, tel. (383)330-70-69, e-mail: serg@opg.sscs.ru

The possibilities of increasing the contrast of seismograms, formed under-benefiting vibroseis technology. High quality seismogram is achieved through non-traditional method of processing data.

Key words: convolution operation, the function of uncertainty, property filter quantization operation time, high-quality seismograms.

Постановка задачи. Природные катастрофы, связанные с деформацией земной поверхности, имеют негативные экономические и социальные последствия. В настоящее время внимание геофизиков привлекает активный метод вибросейсмического зондирования, позволяющий получить «фотографию» земной коры в виде виброграммы. Разрешающая способность «фотографии» (виброграммы) зависит от величины девиации частоты зондирующего источника. Современные вибросейсмические источники имеют существенное ограничение диапазона частот излучаемых зондирующих сигналов. Решение задачи повышения качества виброграммы без расширения частотного диапазона источника дает перспективу для научных исследований в геофизике в виде прецизионного инструмента анализа структуры и эволюции земной поверхности. Целью данной работы является создание эффективного метода повышения качества виброграммы на базе существующих вибросейсмических источников. Эффективность метода обусловлена нетрадиционным подходом к цифровой обработке сигналов.

Метод вибросейсмического исследования. Метод вибросейсмического исследования предполагает формирование функционально определенной сейсмической волны в земной коре с ее последующей регистрацией в точке приема. Задача формирования виброграммы и определение времени вступления волны

решается использованием оптимального фильтра [1]. Основной способ обработки зондирующих сигналов – использование операции свертки сигнала с опорным сигналом. Функция неопределенности в традиционном применении процедуры обработки имеет взаимосвязь между разрешением по времени и частотой [2]. Если исследователь увеличивает разрешение по времени, он вынужден расширять эффективную частотную полосу зондирующего сигнала, т.е. уменьшает разрешение по частоте.

Традиционный способ формирования виброграмм. Технология вибро-сейсмического зондирования использует для формирования виброграмм зондирующий сигнал следующего вида:

$$s(t) = A(t) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t + 0.5 \cdot \alpha \cdot t^2), \quad t = (0..T_0), \quad (1)$$

где $A(t)$ – огибающая сигнала; ω_0 - начальная частота; α - скорость изменения частоты; $\alpha \times T_0 = \Delta\omega$ - девиация частоты; T_0 - время излучения.

Сигнал в точке приема представляет собой сумму зондирующих сигналов, разнесенных во времени. Традиционно задача формирования виброграммы и определения времени прихода волн решается использованием оптимального фильтра, имеющего импульсную характеристику $h(t) = s(\tau_0 - t)$ [2]. Однако вид сигнальной функции $q(t)$ такого фильтра, и длительность главного лепестка импульса соответствующего времени τ_i прихода волны, зависит от девиации частоты [2]. Это может привести к слиянию импульсов в сигнальной функции, что определяет низкое разрешение виброграммы. На рис.1 и рис.2 приведен пример, поясняющий вышесказанное. Виброграммы (график сигнальной функции $q(t)$) получены для модели двух волн со следующими параметрами:

$\Delta\omega/2 \cdot \pi = 5 \text{ Гц}$ (рис.1), $\Delta\omega/2 \cdot \pi = 10 \text{ Гц}$ (рис.2), $\omega_0 = 0$, $T_0 = 3 \text{ с.}$; время задержки для первой волны $\tau_1 = 4 \text{ с.}$; время задержки для второй волны $\tau_2 = 4,1 \text{ с.}$

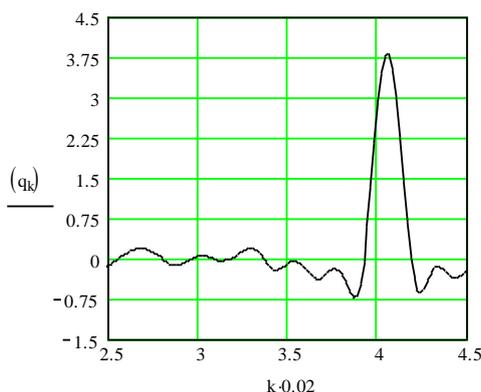


Рис. 1. График сигнальной функции $q(t)$ для двух волн со следующими параметрами: $\Delta\omega/2 \cdot \pi = 5 \text{ Гц}$, $\omega_0 = 0$, $T_0 = 3 \text{ с.}$ Девиация частоты 5 Гц

Для достижения результатов, представленных на рис.2, в рамках традиционной технологии необходим источник с полосой частот 10 Гц. Однако в реальных условиях исследователь не имеет возможности изменять величину девиации частоты источника в таком диапазоне, так как для реальных источников большой мощности величина максимальной девиации частоты составляет диапазон 5-8 Гц.

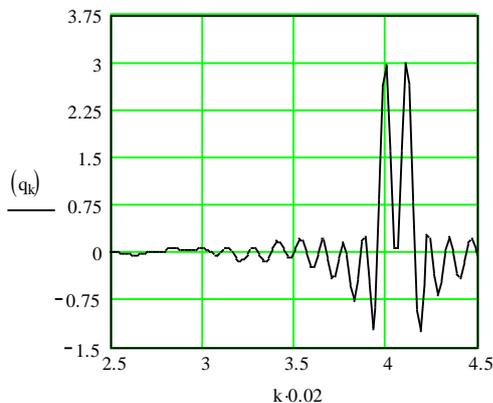


Рис. 2. График сигнальной функции $q(t)$ для двух волн со следующими параметрами: $\Delta\omega/2\cdot\pi = 10$ Гц, $\omega_0 = 0$, $T_0 = 3$ с. Девиация частоты 10 Гц

Нетрадиционный способ формирования виброграмм. Другой путь повышения качества виброграмм представлен на рис. 3.

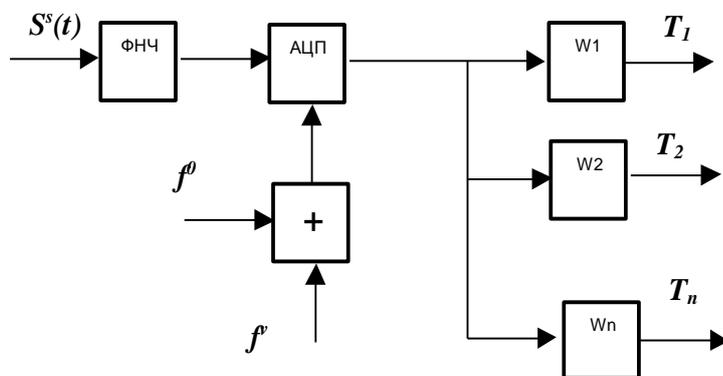


Рис. 3. Функциональная схема оптимального фильтра для формирования виброграммы

Синтез оптимального фильтра по рис.3 основан на использовании фильтрующего свойства операции квантования по времени. Методической особенностью данного подхода является использование конформного преобразования времени для синтеза фильтрующих устройств. Конформное преобразование времени реализуется операцией квантования по времени с управляемым перио-

дом дискретизации. При этом закон изменения периода дискретизации определяется характеристикой исследуемого сигнала. Влияние операции квантования по времени на исследуемый сигнал определяется функцией $FFVT(t)$, которая описывается выражением:

$$FFVT(t) = e^{j \cdot \varphi(t)}; \quad (1)$$

где, $\varphi(t)$ - базовая фазовая функция для формирования частоты дискретизации.

Для исследуемого аналитического сигнала конформное преобразование с использованием функции $FFVT(t)$ дает следующее выражение:

$$\dot{FS}(t) = \dot{S}(t) \cdot FFVT(t) = A(t) \cdot e^{j \cdot \psi(t)} \cdot e^{j \cdot \varphi(t)} = A(t) \cdot e^{j \cdot \theta(t)}; \quad (2)$$

$A(t)$ – огибающая исследуемого сигнала; $\psi(t)$ – фазовая характеристика исследуемого сигнала; $\theta(t) = (\psi(t) + \varphi(t))$ – фазовая характеристика исследуемого сигнала после преобразования (синтезируемая);

Фазовая характеристика $\varphi(t)$, определяющая одну из характеристик частоты квантования по времени, определяется выражением:

$$\varphi(t) = (\theta(t) - \psi(t)); \quad (3)$$

Формула, описывающая частоту квантования по времени, содержит постоянную f^0 и переменную составляющую f^v :

$$f^d(t) = f^v + f^0 = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt} + f^0; \quad (4)$$

где, f^0 – опорная частота квантования времени (постоянная составляющая).

Условием отсутствия влияния зеркальных каналов на погрешность преобразования исследуемого сигнала является:

$$f^d(t) \geq 2 \cdot f_s; \quad (5)$$

f_s – граничная частота спектра исследуемого сигнала до преобразования.

Условие (5) определяет величину f^0 :

$$f^0 \geq 2 \cdot f_s + \max \left\{ \left| \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt} \right| \right\} = 2 \cdot f_s + f_s = 3 \cdot f_s; \quad (6)$$

Процедура квантования по времени является эффективным инструментом модификации фазовой и частотной характеристики исследуемого сигнала. Эта процедура, по существу, реализует фазовый фильтр с динамическими параметрами. При этом появляется возможность синтеза не только оптимальных фильтров для задач определения временных параметров сигнала, но и фильтров иного функционального назначения.

Рассмотрим структуру и определим параметры оптимального фильтра по рис.3. Функциональная схема оптимального фильтра содержит фильтр ФНЧ с максимальной частотой пропускания f_s , аналого-цифровой преобразователь АЦП, сумматор частот f^0 и $f^v(t)$, группу согласованных фильтров $W_1 \dots W_n$. Час-

тока квантования по времени $f^d(t) = f^0 + f^v(t)$ для блока АЦП формируется в сумматоре частот с учетом следующих определений:

$$f^v(t) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{d\varphi(t)}{dt}, \quad \varphi(t) = \frac{\beta \cdot t^2}{2}, \quad f^0 \geq 3 \cdot f_s, \quad (7)$$

где β - коэффициент виртуальной девиации частоты, $\beta_{\max} = \pi \cdot f_s / T_1$; T_1 - период анализа.

Функция $FFVT(t)$ воздействует на сигнал $s^s(t)$ таким образом, что каждый зондирующий сигнал, приходящий в точку приема с задержкой τ_i , приобретает фазовую характеристику $\theta(t)$ равную:

$$\theta(t, \tau_i) = (\omega_0 + \beta \cdot \tau_i) \cdot t + 0.5 \cdot ((\alpha + \beta) \cdot t^2 + \beta \cdot \tau_i^2), \quad (8)$$

Выражение (8) является базовой формулой для формирования импульсной характеристики $h(t, \tau_i)$ согласованных фильтров $W_1 \dots W_n$. Импульсная характеристика согласованных фильтров будет равна:

$$h(t, \tau_i) = \exp(j \cdot ((\omega_0 + \beta \cdot \tau_i) \cdot (\tau_i - t) + ((\alpha + \beta) \cdot (\tau_i - t)^2 + \beta \cdot \tau_i^2) / 2)), \quad (9)$$

Таким образом, все элементы функциональной схемы оптимального фильтра для определения времени вступления узкополосного зондирующего сигнала определены. Реакцию вышеописанного фильтра на появление отклика зондирующего сигнала можно интерпретировать следующим образом. При появлении отклика зондирующего сигнала с задержкой τ_l формируется сигнальная функция на выходе согласованного фильтра W_l , максимум амплитуды которой соответствует значению τ_l . При появлении отклика зондирующего сигнала с задержкой τ_i соответствующий сигнал появляется на выходе фильтра W_i . При этом длительность главного лепестка огибающей импульса, соответствующего времени задержки τ_i , определяется не только параметрами α и T_0 , но и значением параметра β , и будет равна [2]:

$$t_{og} = 2 \cdot \pi / ((\alpha + \beta) \cdot T_0), \quad (10)$$

Заключение. Достоинства и положительные результаты описанного метода синтеза фильтра определяются выражением (10). Основным результатом данного метода фильтрации является возможность «виртуального» расширения частотного диапазона зондирующего сигнала. Следовательно, предлагаемый метод фильтрации позволяет повысить разрешающую способность виброграмм. Количественная оценка эффективности применяемого метода фильтрации зависит от параметра β и определяется формулой (10). Реализация данного метода предполагает наличие в структуре фильтра управляемого генератора частот. В работах [3,4,5] достаточно полно рассмотрены вопросы проектирования управляемых генераторов частот.

Благодарности. Автор выражает благодарность участникам научных семинаров лаборатории геофизической информатики ИВМиМГ СО РАН, в атмосфере которых формировалась постановка задач и проблем обработки сигналов в геофизике.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология: Теория и методы. Т.2. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 360 с., ил.
2. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов. - М.: Радио и связь, 1983.-320 с. 4.
3. Ефимов С.А. Программа для оптимизации вибросейсмического эксперимента. Свидетельство об официальной регистрации №2001610127 от 9.02.2001 г.
4. Ефимов С.А. Преобразователь код-частота, патент РФ №2092973.
5. Ефимов С.А. Цифровой многоканальный синтезатор сетки частот. Патент РФ №2092973.

© С.А. Ефимов, 2013

ИМПАКТНЫЕ СТРУКТУРЫ СИБИРИ

Иван Иванович Амелин

Институт вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, д. 6, младший научный сотрудник лаб. математического моделирования волн цунами, тел. 7(913)910-58-01, e-mail: aii@omzg.sccc.ru

Зоя Андреевна Ляпидевская

Институт вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Ак. Лаврентьева, д. 6, вед. программист лаб. математического моделирования волн цунами, тел. 7(913) 953-33-36, e-mail: zliapid@ngs.ru

Одним из методов оценки частоты падений космических тел на Землю является информация об импактных структурах Земли. Сибирь является одной из наиболее слабоизученной территорией на предмет импактных структур. В статье приведен список достоверных и предполагаемых импактных структур на территории Западной и Восточной Сибири.

Ключевые слова: импактные кратеры, Сибирь, каталог, индекс достоверности, оценки частоты падений.

IMPACT STRUCTURES IN SIBERIA

Ivan I. Amelin

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics (ICM&MG) SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, acad. Lavren'tiev av, 6, lab. mathematical modeling of tsunami waves junior researcher, tel. 7(913) 910-58-01, e-mail: aii@omzg.sccc.ru

Zoya A. Liapidevskaya

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics (ICM&MG) SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, acad. Lavren'tiev av, 6, lab modeling of tsunami waves lead programmer, tel. 7(913) 953-33-36, e-mail: zliapid@ngs.ru

One of main methods to evaluate impact frequency is the information about the Earth's impact structures. Siberia has many unknown impact structures. The paper presents a list of proven and possible impact structures in Western and Eastern Siberia.

Key words: impact craters, Siberia, catalog, validity index, impact frequency.

До недавнего времени в реальность техногенных катастроф, вызванных падением астероида, верили только ученые, но события 15 февраля 2013 г в Челябинской области наглядно свидетельствуют о том, что вероятность столкновений с Землей космических тел может быть существенной. Проблеме оценки астероидной опасности посвящено большое число работ [1-5]. Следует заметить, что эти оценки имеют приближенный вероятностный характер и могут отличаться друг от друга, что связано с различием используемых подходов: астрономический [1], планетологический [2], космический (атмосферный) [3], либо исторический [4, 5], который основывается на информации о числе, энергии

тическом масштабе и возрасте столкновений произошедших в геологической истории Земли. Преимуществом последнего подхода перед остальными является то, что ударные кратеры и метеориты являются очевидными свидетельствами падений космических тел. К сложностям такого подхода относятся интенсивные процессы эрозии на поверхности Земли, которые, с одной стороны, затрудняют обнаружение кратеров, стирают их с поверхности с течением времени, с другой стороны - образуют структуры, сходные по некоторым диагностическим признакам с импактными кратерами.

Для оценки падений космических тел, представляющих наибольшую опасность для жизни на Земле, проводят подсчет числа крупных метеоритных кратеров и определяют их основные характеристики – диаметр и возраст. Объем массива данных о метеоритных кратерах связан с геологической изученностью поверхности Земли, поэтому до 1970-х годов исторический подход при оценке частоты падений, не использовался. По мере роста изученности поверхности планеты, число известных импактных структур возросло, в первую очередь, в наиболее изученных и геологически стабильных участках поверхности Земли. Идентификация импактных структур является междисциплинарной задачей и требует значительного объема исследований и финансовых вложений, особенно на труднодоступных территориях, к которым относится и большая часть Сибири, где до не давнего времени было известно только 5 достоверных импактных кратеров [6]. Поэтому потенциал возможных для обнаружения структур в Сибири весьма значителен [5].

Поиск информации о структурах импактного происхождения на территории Сибири проводится в ИВМиМГ СО РАН около 20 лет как часть работ по оценке риска природных катастроф [7]. По результатам работы создан и поддерживается электронный каталог импактных структур Земли [8]. Каталог содержит в удобном виде разнородную информацию о достоверных и импактных структурах (исходная информация была представлена в виде отдельных статей, геологических отчетов, личных сообщений геологов).

В дополнение к подтвержденным импактным кратерам каталог [8] содержит сведения о структурах, импактный генезис которых еще предстоит проверить. Для каждой структуры достоверность ударного происхождения находит свое отражение в индексе V (Validity), который варьируется от 4 (подтвержденные) до 0 (отклоненные) с промежуточными значениями: 3 (вероятные), 2 (возможные) и 1 (предложенные для дальнейшего исследования). Классификация структур основана на экспертных оценках и отражает наличие импактных критериев на четырех пространственных масштабах, на каждом из которых используется свой метод диагностики – геоморфологический ($10^0 - 10^5$ м), структурно-геологический ($10^{-2} - 10^0$ м), петрографический ($10^{-3} - 10^{-2}$ м), микроструктурный ($10^{-6} - 10^{-4}$ м). В результате работы оказалось, что на территории Сибири кроме 6 достоверных импактных структур возможное импактное происхождение имеют 57 структур диаметром 0.01-550 км и возрастом от 100 лет до 1700 млн. лет, из них 10 ($V=3$), 34 ($V=2$), 23 ($V=1$). Большинство импактных структур Сибири с $V=1,2$ (геоморфологические признаки) найдено путем

анализа космических снимков и топографических карт Сибири с помощью Интернет-сервисов Google Maps, Sasplanet [9]. Часть информации проверена путем непосредственного осмотра местности. Основные характеристики импактных кратеров на территории Западной и Восточной Сибири с индексом достоверности 2-4 приведены в таблице 1.

В заключение необходимо отметить, что идентификация и дальнейшие исследования предполагаемых импактных структур позволяют существенно уточнить существующие оценки повторяемости угроз из космоса.

Таблица 1

Список импактных структур Западной и Восточной Сибири с $V=2-4$ [8]

V	Название	Год обнаружения	Широта	Долгота	Диаметр, км	Возраст, млн. лет
2	Ангаро-Удинская	2010	55,33	99,75	27	100
2	Байкальская	2003	56,5	111,55	420	1700
2	Чадобецкое	1983	59,4789	99,8946	70	350
2	Чик	1953	55	82,5	0,075	
2	Курбун-Шиви		50,8389	92,7294	0,4	
2	Едъяхинский		63,1	73,5	0,5	161
2	Массив Ессей		68,71	102,188	4,5	251
2	Филлиповка		54,35	81,33	18	251
2	Гонамский	1948	56,3	126,8	0,025	
2	Большая депрессия		60,92	101,95	8	251
2	Гулиньский		70,927	101,19	50	251
2	Инагли массив		58,546	124,943	5,5	136
2	Каменск-Уральская		56,41	61,56	80	
2	Кичерская	2004	56,1	110,321	4	0,02
2	Малый Байкал	1946	58,3388	92,3965	0,24	0,0001
2	Могол	1961	57,5	108,5	0,04	
2	Мульдаевский	1980	52,232	119,281	0,1	0,001
2	Муруктинская	2007	67,8	102,18	60	66,5
2	Нижнетычанская	1961	61,38	97,35	120	
2	Огни	1961	51,8	83,5	0,14	
2	Оленек		71,18	123,58	200	370
2	Полярно-уральская		67,5	67,5	210	
2	Среднеуральская		56	56,5	550	542
2	Сургут	1961	61,2	73,6	0,05	
2	Сым	1963	60,4	88,4	0,08	
2	Тагил	1964	57,7362	59,5313	0,3	
2	Тикси	1969	71,7	128,4	0,01	

2	Тобысь	1951	63,3	53,1	0,05	
2	Уджей	1960	53,7441	92,8297	0,4	0,0002
2	Уренгой		66,273	78,444	4,5	55,8
2	Усть-Вихорево	1968	56,7	101,4	0,01	
2	Вилюй-Ленский		61,514	120,456	0,04	
2	Витим	1956	53,508	112,556	0,2	
2	Енисей (Агрэ)	1972	58,9929	93,8533	0,23	1
3	Алгомский		56,2363	129,468	35	200
3	Ангарская		52,9	103,5	25	
3	Большая Куонамка	1984	71	112,5	4	251
3	Чульман		56,9	125	4	350
3	Кограм		57,25	129,67	50	1050
3	Яма Корчажиха		52,186	106,778	0,25	0,1
3	Котуйканская	2008	69,05	104,62	250	1900
3	Лабынкыр		62,313	143,176	60	150
3	Селигдарский		58,5	125,31	2	245
3	Усть-Озерный	1947	58,9	87,7	0,07	
4	Беенчиме-Саалатин	1973	71,058	121,692	8	40
4	Чукча	1992	75,7	97,8	6	70
4	Курайская		50,2	87,9	20	210
4	Логанча	1950	65,5	95,83	20	40
4	Мача		60,0848	117,654	0,3	0,007
4	Попигай	1946	71,65	111,18	100	35,7

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ грант 12-07-00564 а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Chapman C.R. The hazard of near-Earth asteroid impacts on earth // Earth and Planetary Science Letters. -2004. - Issue 1. -P. 1–15. <http://www.boulder.swri.edu/clark/crcepsl.pdf>
2. Neukum G., Ivanov B.A. Crater size distributions and impact probabilities on Earth from Lunar, terrestrial-planet, and aster-old cratering data // In Hazards due to comets and asteroids, edited by Gehrels T. Tucson, Arizona. The University of Arizona Press. -1994. -P. 359-416.
3. Bland P.A., Artemieva N.A. The rate of small impacts on Earth // Meteoritics & Planetary Science, -2006. -Vol. 41, No. 4. -P. 607–631.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1945-5100.2006.tb00485.x/pdf>
4. Grieve R.A.F., Shoemaker E.M. The record of past impacts on Earth // In Hazards due to comets and asteroids, edited by Gehrels T. Tucson, Arizona. The University of Arizona Press. - 1994. –P. 417–462.
5. Stewart S.A. Estimates of yet-to-find impact crater population on Earth // Journal of the Geological Society. 2011. Vol. 168. P. 1-14. <http://ru.scribd.com/doc/95824986/Stewart-Estimates-of-Yet-To-Find-Impact-Crater-Population-on-Earth-JGSL168-2011-13>
6. Бадюков Д.Д. Метеоритные кратеры на территории России http://www.meteorites.ru/menu/encyclopaedia/ruscraters_full.html

7. Petrenko V.E., Lyapidevskaya Z.A. Data bank on the impact structures of the Earth) // Bull. the Novosibirsk Computing Center, Ser. Math. Modeling in Geophysics. Issue 7. Novosibirsk. -1998. P. 161–185 (In Russian).
8. Lyapidevskaya Z.A., Gusiakov V.K., Amelin I.I. Expert database on the Earth impact structures (EDEIS) // Certificate of state registration of the database № 2011620863 from 07.12.2011, Rospatent. <http://tsun.sccc.ru/nh/impact.php>
9. Интернет-источник: <http://sasgis.ru/>

© *И.И. Амелин, З.А. Ляпидевская, 2013*

ОБНАРУЖЕНИЕ ВЫБОРОЧНЫХ РУБОК КАРАКАНСКОГО БОРА ПО ДАННЫМ СПУТНИКА SPOT

Сергей Михайлович Борзов

Институт автоматизации и электротехники СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. академика Коптюга, 1, зав. лабораторией, тел. (383)330-90-33, e-mail: borzov@iae.nsk.su

Сергей Борисович Узилов

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент 2-го курса магистратуры ФИТ НГУ, e-mail: uzilov@gmail.com

Предложен метод обнаружения по данным ДЗЗ высокого разрешения пространственных изменений на поверхности Земли, вызванных незначительным антропогенным воздействием. Метод основан на попиксельном формировании разностных кадров за счет оценки согласованности изменения во времени одинаковых по яркости отсчетов изображений. Эффективность продемонстрирована на примере обнаружения выборочных рубок по разновременным изображениям спутника SPOT.

Ключевые слова: обработка спутниковых изображений, обнаружение изменений, выборочная рубка леса.

DETECTION OF SHELTERWOOD CUTTING IN KARAKANSKY BORON BY SPOT SATALLITE DATA

Sergey M. Borzov

Institute of Automation and Electrometry, Russia, Novosibirsk, ave. Academician Koptuyuga 1, Head of Laboratory, 7 (383)330-90-33, e-mail: borzov@iae.nsk.su

Sergey B. Uzilov

Novosibirsk State University, Russia, Novosibirsk, st. Pirogova, 2, a student of 2nd year master FIT NSU, e-mail: uzilov@gmail.com.

A method of detection for high-resolution remote sensing data of spatial changes in the Earth's surface caused by low anthropogenic impact. The method is based on the pixel-forming frame difference by evaluating the consistency changes over time for the same brightness image samples. The effectiveness is demonstrated by the detection of selective logging on the multi-temporal SPOT satellite images.

Key words: processing of satellite images, change detection, shelterwood cutting.

Введение. В настоящее время методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса являются одним из важнейших инструментов исследования природно-техногенных объектов и явлений. Особое значение они приобретают при наблюдении за изменениями, происходящими на особо охраняемых природных территориях, поскольку зачастую данные ДЗЗ для них являются единственным источником независимой, объективной и актуальной информации. Эти данные являются незаменимыми в частности при обнаружении выбороч-

ных рубок леса. Специфика проведения таких рубок связана с тем, что растительность убирается не полностью, что значительно затрудняет применения существующих подходов.

Классический подход к обработке данных ДЗЗ состоит в попиксельном формировании тематических слоев, характеризующих спектральные свойства изображений, и их совместном анализе. Такой подход успешно используется при обработке данных низкого разрешения, однако при его увеличении излишняя детализация препятствует классификации. С другой стороны повышение разрешения открывает дополнительные возможности, как при мониторинге ландшафтных изменений, так и при обнаружении и распознавании объектов. Поэтому широкое распространение при обработке данных высокого разрешения получили более эффективные объектно-ориентированные методы. Типичная процедура их реализации состоит из сегментации (выделения однородных зон), определения признаков обнаруженных сегментов, их классификация и обнаружение изменений на основе выявления межклассовых переходов. Первый этап данной процедуры является ключевым и во многом определяет результат всего процесса в целом. Однако его выполнение на реальных данных ДЗЗ затруднено, поскольку для естественных ландшафтов повышение разрешения отрицательно сказывается на качестве сегментации. По этой причине при обнаружении незначительных изменений с учетом различий условий освещенности и состояния атмосферы, а также естественной суточной и сезонной изменчивости, подобные методы обнаружения изменений оказываются низкоэффективными.

Используемый подход. В качестве альтернативы предлагается попиксельный разностный метод, использующий нормализацию изображений на основе поблочного согласования гистограмм [1], а также построение и анализ разностного кадра на основе так называемых диаграмм рассеяния, отображающих распределение яркости пикселей каждого бина гистограммы в разновременных изображениях [2].

Алгоритм обработки состоит из трех этапов:

- геометрическое согласование разновременных изображений,
- выделение зоны интереса,
- гистограммное согласование разновременных изображений,
- формирование разностного кадра,
- постобработка разностных кадров.

На первом этапе с использованием средств GIS выполняется пространственное совмещение разновременных спутниковых изображений и их преобразование в одну из стандартных картографических проекций.

На этапе выделения зоны интереса осуществляется поиск зон покрытых лесом, по которым необходимо проводить обнаружение изменений. Это делается на основе анализа пространственного распределения значений вегетационного индекса, индекса влагосодержания и индикатора почв, сформированного по красному каналу.

Далее по выделенным зонам выполняется согласование яркости изображений. Изображения разбиваются на блоки определенного размера, и в каждом из блоков рассчитывается среднее значение и СКО яркости. Затем выполняется билинейная интерполяция полученных значений, формируется массив с нормировочными коэффициентами для каждого пикселя изображения и, с применением линейных преобразований, яркости двух изображений согласовываются.

При формировании разностного кадра для повышения достоверности обнаружения используется процедура, основанная на оценке согласованного изменения однотипных отсчетов. С этой целью формируются и анализируются диаграммы рассеяния. Причем при анализе диаграмм рассеяния применен подход, связанный с формированием обратных диаграмм:

- в более позднем изображении определяется распределение яркости отсчетов, имеющих заданную яркость, в более раннем изображении (строится прямая диаграмма рассеяния);

- на диаграмме находится наиболее часто встречающуюся яркость и в более раннем изображении определяется рассеяние отсчетов, имеющих данную яркость, в более позднем (строится обратная диаграмма);

- параметры полученной обратной диаграммы рассеяния используются для формирования решающего правила при анализе прямой диаграммы рассеяния с целью обнаружения изменений.

Процедуры согласования яркости изображений, формирования разностных кадров и обнаружения на этой основе изменений осуществляются одновременно по 2 и 4 каналу спутника SPOT (каналы красный (R) и средневолновый инфракрасный (SWIR)). На этапе постобработки разностных кадров выполняется совмещение полученных отметок и фильтрация малых (точечных) изменений (в данной реализации алгоритма - мажорная фильтрация ENVI). В каждом из этих каналов видны нарушения почвенного покрова. В канале SWIR влияние облачной дымки меньше, однако изображения содержат более высокий уровень аппаратного шума и это снижает их применимость.

Экспериментальные результаты. На рис. 1,а-в приведены три разновременных изображения земной поверхности (RGB-композит из 1-2-3 каналов), полученные 27 июля 2008 г. 25 июня 2011 г. и 19 июля 2012 г., соответственно. Следует отметить, что все изображения не согласованы по яркости. Кроме того на изображении от 19 июля 2012 г. присутствует пространственно неоднородная слабая дымка, контраст которой зачастую превосходит контраст обнаруживаемых изменений. На рис.1,г приведена сформированная по данным изображениям маска растительности.

На рис.2,а показаны обнаруженные изменения 2008-2011гг (1,25% площади), на рис.2,б - 2011-2012гг (0,36% площади). С учетом размеров обрабатываемых изображений 1500x2000 пикселей и разрешения снимков 20 м. общая площадь участка 1200 км². Суммарная площадь обнаруженных вырубок соответственно 15 км² и 4,3 км² (1500 Га и 430 Га).

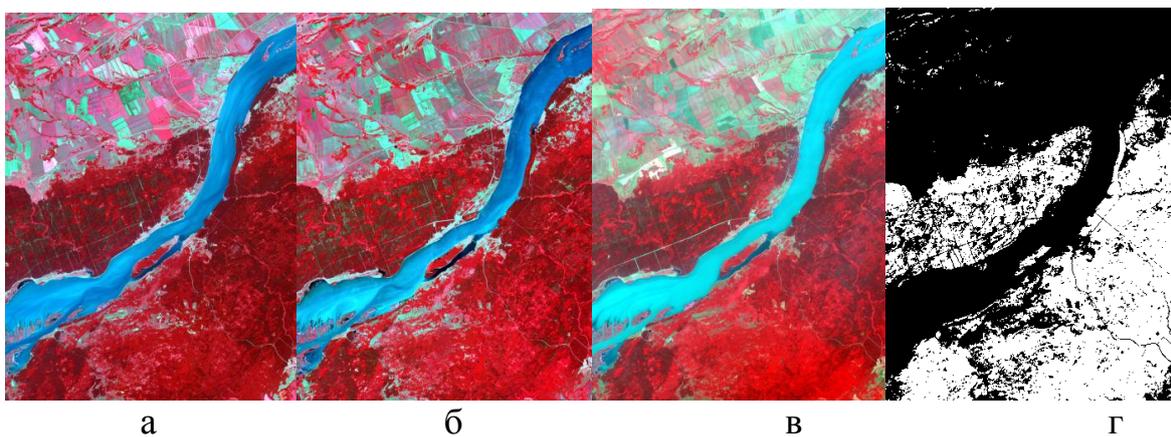


Рис. 1

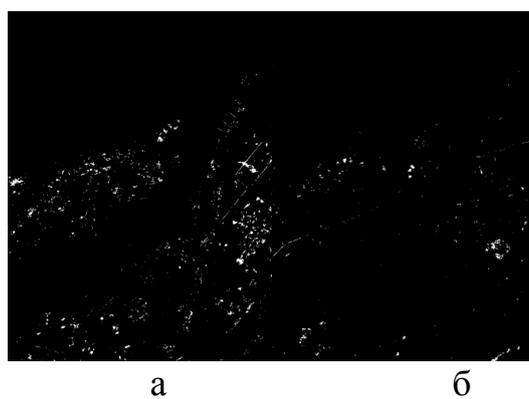


Рис. 2

На рис. 3 приведены примеры характерных фрагментов с обнаруженными изменениями. Первый столбец изображения 2011 г., второй – 2012 г., третий – выявленные изменения.

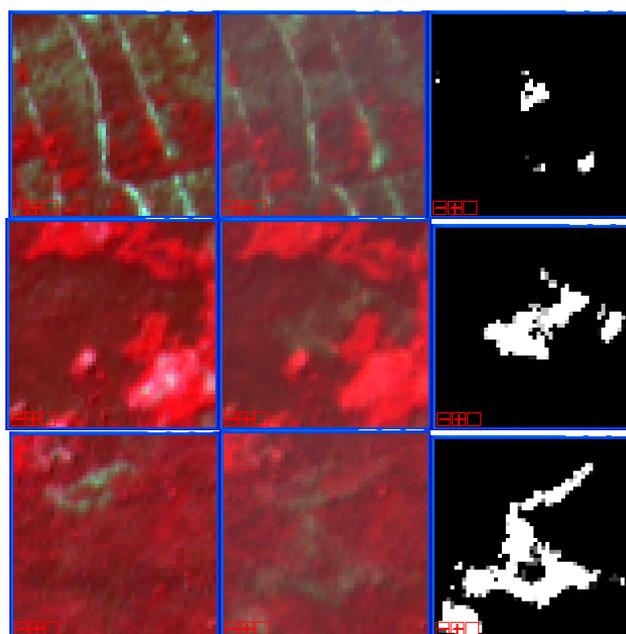


Рис. 3

Основная проблема при обработке связана с наличием слабой, но неоднородной дымки. С ее влиянием можно бороться анализом временных рядов изображений. С ее влиянием можно бороться анализом временных рядов изображений. Однако на практике зачастую приходится сталкиваться с отсутствием необходимого для этого количества снимков. Другой вариант состоит в снижении размеров блоков при выполнении процедуры согласования изображений. Это может привести к появлению ошибок. Если размеры площади изменений становятся существенными, то они начинают влиять на формируемые диаграммы рассеяния. Однако использование при формировании решающего правила обратных диаграмм рассеяния позволяет корректно обнаруживать изменения, площади которых сопоставимы с размерами блоков. Основное требование - чтобы главная мода распределения относилась к неизменной территории.

Рис.4 позволяет сравнить результаты обнаружение вырубок в зоне закрытой неоднородной легкой дымкой, полученные при формировании разностного кадра простым попиксельным вычитанием после поблочного гистограммного согласования и предложенным комбинированным алгоритмом (формирование разностного кадра на основе анализа диаграмм рассеяния после поблочного согласования яркости по каналам R и SWIR, и совмещение отметок логической операцией И).

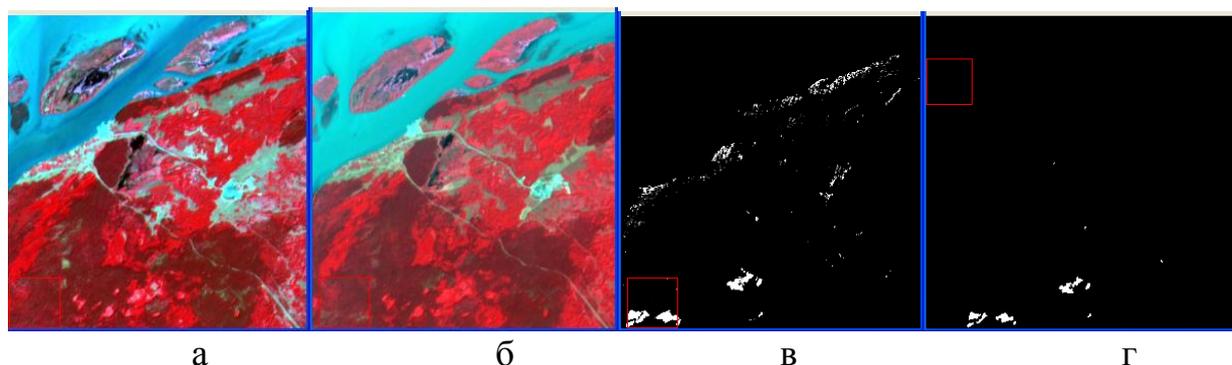


Рис. 4

Заключение. Предложенная процедура обработки разновременных спутниковых изображений позволяет обнаруживать даже незначительные изменения, вызванные антропогенной деятельностью человека, в данном случае несанкционированные выборочные вырубки. Использование наряду с блочным согласованием изображений механизма формирования разностного кадра на основе согласованности поведения однотипных отсчетов обеспечивает достоверность результатов обнаружения в условиях наличия атмосферных искажений, а также сезонной и суточной изменчивости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. J. Townshend, C. Justice, C. Gurney, and J. McManus, The impact of misregistration on change detection // IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing. – 1992. – Vol. 30. – Pp. 1054–1060.
2. P. Bromiley, N. Thacker, and P. Courtney, Non-parametric image subtraction using grey level scattergrams // Image and Vision Computing. – 2002. – Vol. 20. – No. 9-10, – Pp. 609–617.

© С.М. Борзов, С.Б. Узилов, 2013

СЕГМЕНТАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ С УЧЕТОМ ИХ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

Сергей Михайлович Борзов

Институт автоматизации и электрометрии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. академика Коптюга, 1, зав. лабораторией, тел. (383)330-90-33, e-mail: borzov@iae.nsk.su

Андрей Олегович Потатуркин

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, студент 2-го курса магистратуры ФИТ НГУ, e-mail: sgnl_05@mail.ru

Предложен комбинированный алгоритм сегментации спутниковых изображений высокого разрешения на основе совместной обработки спектральных, текстурных и структурных признаков. На первом этапе осуществляется кластеризация исходных изображений по спектральным признакам и формирование пространственных масок для антропогенных зон по характеристикам локальной структуры, а на втором – сглаживание полученных картосхем с учетом построенных масок.

Ключевые слова: спутниковые изображения высокого разрешения, спектральные и пространственные признаки, сегментация изображений.

SEGMENTATION OF HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGERY BASED ON ITS STRUCTURAL PROPERTIES

Sergey M. Borzov

Institute of Automation and Electrometry SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 1, Koptuyuga, head of laboratory, tel. (383)330-90-33, e-mail: borzov@iae.nsk.su

Andrey O. Potaturkin

Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, 2, Pirogova, student of 2nd year master, department of information technology, e-mail: sgnl_05@mail.ru

This article describes the segmentation algorithm for high resolution satellite imagery, which is based on combined processing of its spectral, texture and structural features. Its first step consists of clasterisation of original image based on its spectral features and formation of anthropogenic areas spatial masks based on local structure properties. Second step of this algorithm is the smoothing of anthropogenic and natural areas differentiated by masks obtained from the first step.

Key words: high resolution satellite imagery, spectral and spatial features, image segmentation.

Введение. Существенным препятствием на пути широкого применения данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) высокого разрешения является отсутствие подходящего инструментария для автоматизированного анализа и интерпретации. В частности, одним из принципиальных этапов при обработке ДЗЗ является их сегментация. Сегментация проводится с целью разделения изображения на сегменты, содержащие однотипные по своим визуальным характеристикам пиксели и в своей совокупности покрывающие все изображе-

ние. Каждому пикселю присваивается некоторая метка (номер сегмента, к которому он отнесен) с формированием так называемой картосхемы изображения. Как правило, предполагается, что пиксели одного сегмента относятся к одинаковым типам поверхности и последующий анализ существенно упрощается.

Классические методы сегментации изображений основаны на их попиксельном анализе и выделении однотипных по спектральным свойствам отсчетов. Такой подход успешно используется при обработке данных низкого разрешения, однако при его увеличении излишняя детализация препятствует классификации. Вследствие высокого разрешения изображений картосхемы, полученные в результате попиксельной классификации, как правило, включают многочисленные вкрапления. Один из известных способов сглаживания состоит в применении специализированного фильтра, получившего в англоязычной литературе название «Majority analysis»[1]. Процедура состоит в замене каждого элемента на наиболее часто встречающийся в некоторой его окрестности. Этот алгоритм сохраняет границы между зонами и устраняет вкрапления, размеры которых меньше заданных пользователем. Однако при этом он приводит к искажению малоразмерных объектов, характерных в первую очередь для антропогенных зон, таких как дороги, здания и т.п.

Суть предлагаемого метода сегментации. В данной работе предлагается двухэтапный метод сегментации спутниковых изображений высокого разрешения, основанный на совместной обработке спектральных, текстурных и структурных признаков. На первом этапе производится классификация исходных изображений по спектральным признакам и формирование пространственных масок для антропогенных зон по характеристикам локальной структуры изображений, а на втором – анализ и коррекция полученных картосхем с учетом текстурных признаков и построенных масок.

Для реализации спектральной классификации первого этапа может быть использован любой метод, реализованный в общеизвестных системах обработки данных ДЗЗ. Выбор и оценка эффективности спектральных методов классификации не является предметом настоящей работы.

Формирование масок антропогенных территорий осуществляется на основе пространственных признаков фрагментов изображения [2]. В предыдущих работах авторов эффективность использования различных признаков была исследована на примере классификации обучающих выборок фрагментов с применением одномерных критериев компактности классов [3].

На втором этапе посредством обработки скользящим окном выполняется сглаживание результатов классификации, с использованием процедуры выбора наиболее часто встречающегося класса. При этом размер окна для природных и антропогенных зон выбирается различным.

Сегментация изображений на основе комплексного анализа спектральных, текстурных и структурных признаков. Выполнение сегментации с применением предложенного метода продемонстрировано на примере обработки многоспектрального изображения спутника WorldView 2. Исходное изображение представлено на рис.1, а.



Рис. 1

На первом этапе обработки выполняется классификация методом максимального правдоподобия по зонам (ROI – регионам интереса), выбранным предварительно оператором. Результат обработки представлен на рис.1,б. Недостатком полученной классификации является чрезмерная ее детализация на естественных ландшафтах. Целью сегментации является выделение определенных типов поверхности, таких как лес (сосновый, лиственный, смешанный), поле, обработанная почва, водная поверхность и т.п. Однако, в связи с избыточностью пространственного разрешения снимка, в данном случае указанные зоны не разделяются. Видны отдельные деревья, кусты, их тени и т.п. Для устранения этой проблемы в современных пакетах обработки данных ДЗЗ предусмотрены процедуры пост классификации. На рис.2 приведен результат применения процедуры выбора наиболее часто встречающегося класса.



Рис. 2

Данная процедура позволяет устранить нежелательный «шум спектральной классификации» на естественных зонах изображения. Однако при этом в антропогенных зонах она приводит к искажению картины. В естественных и антропогенных зонах при классификации изображений возникают различные требования к ее масштабу. Исходя из этого, предлагается с использованием структурных признаков разделить данное изображение на естественные и антропогенные зоны, и процедуру пост классификации осуществлять в каждой из них с различным размером окна анализа.

Пространственное распределение структурного признака F определялось путем расчета скользящим окном среднего значения функции отклика «угол» Харриса [4],

$$F(x, y) = \langle R(x, y) \rangle_{\sigma}$$

где

$$R = \det M - 0/04(\text{trace}M)^2,$$

а

$$M = \begin{bmatrix} \sum_{\Omega} \left(\frac{dI}{dx} \right)^2 & \sum_{\Omega} \left(\frac{dI}{dx} \right) \left(\frac{dI}{dy} \right) \\ \sum_{\Omega} \left(\frac{dI}{dx} \right) \left(\frac{dI}{dy} \right) & \sum_{\Omega} \left(\frac{dI}{dy} \right)^2 \end{bmatrix}.$$

Маска $P(x, y)$ для антропогенных зон изображения формировалась путем пороговой обработки полученного массива значений:

$$P(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{если } F(x, y) > \langle F(x, y) \rangle + 2 * \sigma \\ 0, & \text{иначе.} \end{cases}$$

Здесь $\langle * \rangle$ - означает усреднение значений массива $F(x, y)$, а σ - их среднеквадратичное отклонение.

На рис.3 приведены раздельно результаты предложенной обработки для антропогенных зон (рис.3,а) и для природных ландшафтов (рис.3,б). На рис.4 представлен окончательный результат сегментации исходного изображения с учетом его спектральных, текстурных и структурных характеристик.

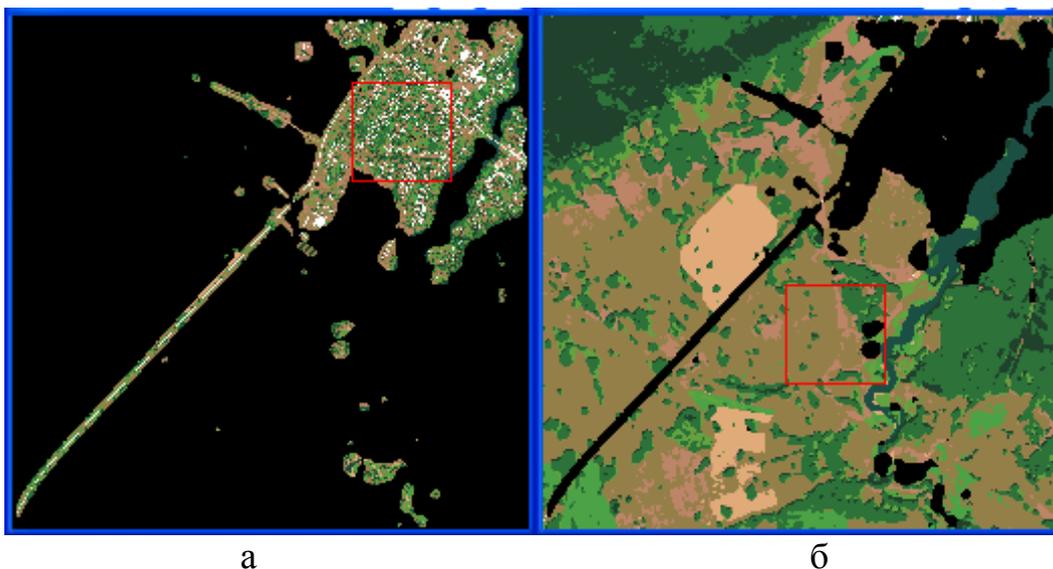


Рис. 3

Полученное изображение (картосхема) сглажено в природной зоне и в то же время с максимально возможной точностью передает классовой состав антропогенных территорий.



Рис. 4

Заключение. Предложен метод сегментации спутниковых изображений высокого пространственного разрешения, сочетающий обработку спектральных, текстурных и структурных признаков. На первом этапе производится классификация исходных изображений по спектральным признакам и форми-

рование пространственных масок для антропогенных зон по характеристикам локальной структуры, а на втором – скользящим окном выполняется процедура выбора наиболее часто встречающегося класса (текстурная обработка). При этом размер окна для природных и антропогенных зон выбирается разным. Показано, что применение предложенного метода позволяет избежать излишней детализации классифицированных изображений на естественных ландшафтах и обеспечить необходимую точность в антропогенных зонах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Thomas M. Lillesand, Raiph W. Kiefer, Jonathan W. Chipman, Remote Sensing and Image Interpretation. – 2004. – John Wiley & Song, Inc. – 763 P
2. Борзов С.М., Нежевенко Е.С., Потатуркин О.И. Поиск объектов неприродного происхождения с использованием их структурных особенностей // Автометрия. – 2010. – №5. – С. 36-42.
3. Борзов С.М., Потатуркин А.О. Исследование эффективности пространственных признаков при классификации спутниковых изображений различного масштаба // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. – 2012. – № 3. – С. 58-65.
4. Harris C. and Stephens M. A Combined Corner and Edge Detector // Proceedings of The Fourth Alvey Vision Conference. – 1988. – Manchester. – Pp 147-151.

© С.М. Борзов, А.О. Потатуркин, 2013

О МЕТОДЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ МЕЖБЮДЖЕТНЫХ ТРАНСФЕРТОВ

Павел Алексеевич Ким

Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, к.ф.-м.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории обработки изображений федерального государственного бюджетного учреждения науки, тел. (923)1131135, e-mail: kim@ooi.sccc.ru

Ольга Петровна Федоровых

ФГОБУ ВПО «Государственный университет министерства финансов РФ», Омский филиал, 644043, Россия, г. Омск, ул. Партизанская, д. 6., к.э.н., доцент, кафедра «Экономика и финансы», e-mail: opfedor@rambler.ru

Оценка финансовых потребностей каждого из уровней бюджетной системы весьма косвенно и отдаленно отвечает задачам экономического развития территорий. Разнонаправленные векторы совершенствования межбюджетных отношений включают в себя методики инвариантной кластеризации пространства региональных индикаторов и расчеты согласованной системы приоритетов развития отраслей в территориальном разрезе на примере Омской области представленные в работах ИЭ и ОПП СО РАН 2007 -2009гг. В работе предлагается альтернативный метод кластеризации, использующий «естественные географические» интерпретации фазового пространства индикаторов в терминах «водных бассейнов» в задачах оптимизации межбюджетных трансфертов.

Ключевые слова: совершенствование механизма межбюджетных отношений, масштабируемая модель рельефа, минимальные геометрические фигуры, картографические горизонталы.

ABOUT THE METHOD OF THE NATURAL CLUSTERING IN PROBLEMS OF OPTIMIZATION OF THE INTERBUDGETARY TRANSFERS

Pavel A. Kim

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6, prospect Akademika Lavrentjeva, tel. (923)1131135, e-mail: kim@ooi.sccc.ru

Olga P. Fedorovykh

State university of the Ministry of Finance of the Russian Federation, Omsk branch, Economy and Finance chair, 644043, Russia, Omsk, Partizanskaya St., 6, e-mail: opfedor@rambler.ru

The structure of the two-dimensional histogram can comprise the helpful information during splitting of the image by unimodal clusters. Using three-dimensional vectors, such kind of geometrical interpretation demands the more complex tool - a hyperrelief in 4D-space.

Key words: the improvement of the mechanism of the interbudgetary relations, the Scaled model of a relief, the minimal geometrical shapes, cartographical horizontals.

В задачи проводимого исследования входят: 1) определение современных направлений повышения уровня обеспеченности бюджетными средствами му-

ниципального образования (МО); 2) изучение методологических проблемы обоснования выбора форм межбюджетных перетоков в регионе; 3) подготовка рекомендаций по методике оценки минимально необходимого уровня финансового обеспечения расходных обязательств МО субъекта РФ по инвестиционной деятельности за счет межбюджетных трансфертов. С этой целью предусматривается совершенствование ныне действующего механизма межбюджетных трансфертов, рассматривая его в контексте развития долгового финансирования как субъекта РФ, так и МО данного субъекта РФ, в том числе с учетом приоритетных направлений государственно-частного партнерства. Актуальность подхода обусловлена тем, что в настоящее время на практике весьма часто конституционно провозглашенная самостоятельность местного самоуправления по принципам федеративной системы заменяется административными отношениями по выполнению делегированных полномочий вышестоящих органов власти на основе субвенций в местные бюджеты. Современное законодательство о местном самоуправлении не прописывает обязательств органов власти местного самоуправления в вопросах привлечения капиталовложений и соответствующих полномочий по инвестиционной деятельности. Нет методики определения минимально необходимого уровня финансового обеспечения расходных обязательств МО на выполнение инвестиционной деятельности, что позволяло бы лучшим образом планировать объемы третьего компонента безвозмездных поступлений в местные бюджеты – субсидий. Прежде чем принимать решение по выбору места для осуществления нового инвестиционного проекта в МО требуется оценить средний уровень дотационности местных бюджетов в субъекте РФ, в том числе в зональном разрезе. Определить показатели по расходам на душу населения за счет собственных доходов местных бюджетов с учетом уровня безработицы, а также обеспеченность района трудовыми ресурсами, инфраструктурными и бюджетными учреждениями. На этой основе становится возможной разработка методики оценки средней финансовой потребности МО на развитие территории, в том числе с учетом межбюджетных трансфертов.

Практическая значимость проекта заключается в построении методики оценки минимально необходимого уровня финансового обеспечения расходных обязательств МО субъекта РФ по инвестиционной деятельности за счет межбюджетных трансфертов. Реализация инвестиционных проектов в дотационных муниципальных образованиях имеет целью увеличение их налогового потенциала, что будет снижать нагрузку на вышестоящий бюджет субъекта РФ, так как уменьшится общий объем межбюджетных трансфертов. Таким образом, совершенствование межбюджетных отношений усиливает роль бюджетной составляющей в развитии территории. На региональном уровне Минфином субъекта РФ утверждаются Методики выравнивания бюджетной обеспеченности МО в части выделения дотаций городским округам и муниципальным районам определяются по единой федеральной модели. При этом, в частности, применительно к финансовой поддержке поселений, предусмотрены три варианта: 1) предоставление подушевых дотаций из регионального фонда; 2) делегирование

субъектом подушевых субвенций для поселений на уровень муниципальных районов, 3) выделение дотаций на выравнивание бюджетной обеспеченности поселений за счет собственных средств муниципальных районов. В зависимости от избранного варианта методика расчета объемов финансовой помощи будет различна. Согласно БК РФ распределение дотаций из региональных фондов финансовой поддержки поселений осуществляется исходя из численности жителей, при расчете фонда поддержки муниципальных районов и городских округов используется более сложная методика, основанная на определении соотношении индекса налогового потенциала с индексом бюджетных расходов (т.е. относительного уровня бюджетной обеспеченности). Определение индекса бюджетных расходов осуществляется по каждому расходному полномочию с учетом количества потребителей определенного вида бюджетных услуг. Аналогично рассчитывается и районный фонд поддержки поселений за счет доходов районов. Таким образом, расчет величины фондов финансовой поддержки основан на оценке финансовых потребностей каждого из уровней бюджетной системы, а сама оценка привязана к сложившейся структуре расходов бюджета соответствующего уровня. Это означает - получаемая оценка весьма косвенно и отдаленно отвечает задачам экономического развития территорий. Размер доходов и расходов бюджетов, приходящихся на душу населения, всегда дифференцирован как следствие неравенства уровней экономического развития территорий, и механизм дотаций направлен именно на смягчение последствий социально-экономического неравенства территорий. Однако дотации, увеличивая величину доходной части муниципального бюджета, отнюдь не способствуют устранению причин неравенства, так как не влияют на рост добавленной стоимости территориального совокупного продукта в последующем временном периоде. Воспроизводство причин дифференциации ведет к углублению неравенства и это является основанием для постановки вопроса о других путях выравнивания. Альтернативой наращиванию объемов дотаций на выравнивание уровней бюджетной обеспеченности следует считать государственную поддержку экономического роста через целевое финансирование развития инфраструктуры и бизнеса в форме субсидий.

Методология исследования. Методика распределения безвозмездных поступлений в местные бюджеты должна быть ориентирована на факторы экономического развития территорий, базой расчетов должна стать диагностика социально-экономического состояния МО и их рейтинговая оценка. Методика инвариантной кластеризации пространства региональных индикаторов и расчеты согласованной системы приоритетов развития отраслей в территориальном разрезе на примере Омской области представлены в работах ИЭ и ОПП СО РАН 2007 -2009гг. На основе уже разработанных данных методологических подходов с использованием результатов мониторинга Минфина РФ, оперативной информации о кассовом исполнении бюджетов, представленной в системе КЭП («Ключевых показателей эффективности») Федерального казначейства ставится цель – выполнить оценку вариантов совершенствования межбюджетных отношений на примере Омской области. Рассмотренная здесь естествен-

ная кластеризация выполняется на фазовом пространстве индикаторов. Используемые термины «водораздел», «речной бассейн» отражают топологические свойства рельефа, которые могут быть эффективно использованы при решении задачи кластеризации. При двухспектральном анализе изображения, гистограмма двумерных векторов признаков, например, сравнение индекса налогового потенциала с индексом бюджетных расходов образует своего рода рельеф в фазовом пространстве индикаторов. И если рассматривать «перевернутую» поверхность, то логично к кластерам относить «озерные бассейны» для определенного выбираемого уровня высоты поверхности «озера». Границы перевернутых кластеров проходят по «водоразделам». Выбирая разные уровни поверхности «озер» возможно получать не только различное количество кластеров, но и различные их распределения в фазовом пространстве, сохраняя при этом топологическую связность объектов одного кластера.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 13-07-00068.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федоровых О., Меркушин К. Субфедеральные межбюджетные отношения: современные практика и дискуссии. - Омский научный вестник, 2010, №5(91), стр. 66 – 69 ISSN 1813-8225
2. Стратегическое управление пространственным развитием субъектов Федерации и городов Сибири /под ред. А.С. Новоселова. – Новосибирск. ИЭ и ОПП СО РАН, 2009 -396с.
3. Ким П.А. Моделирование геометрических примитивов // труды IV Всероссийской научной конференции "Информационные технологии в системе социально-экономической безопасности России и ее регионов" 23-26 апреля 2012 года, г. Казань, КФУ, 2012,-240 с. стр.83-87

© А.П. Ким, О.П. Федоровых, 2013

КВАЗИГИПЕРБОЛЫ В АЛГОРИТМАХ ГЕНЕРАЦИИ МАСШТАБИРУЕМОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Павел Алексеевич Ким

Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, к.ф.-м.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории обработки изображений, тел. (923)1131135, e-mail: kim@ooi.sccc.ru

Генерация Масштабируемой Модели Рельефа (ММР - развита в лаборатории Обработки изображений ИВМиМГ СО РАН), начинается со сглаживания ступенчатой модели рельефа, используя минимизацию огибающих параллельных срезов-профилей деформируемой поверхности. Упорядочение вариаций огибающих, сохраняющих значение определенного интеграла, позволило выделить геометрическое место точек инвариантов площадей отдельных «ступенек». Структура напоминает ветви гиперболы, также характеризующиеся асимптотами, что отразилось в ее названии.

Ключевые слова: масштабируемая модель рельефа, асимптоты гиперболы, минимальные геометрические фигуры.

THE QUASIHYPERTBOLES IN ALGORITHMS OF GENERATION OF SCALABLE RELIEF MODEL

Pavel A. Kim

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 prospect Akademika Lavrentjeva, tel. (923)1131135, e-mail: kim@ooi.sccc.ru

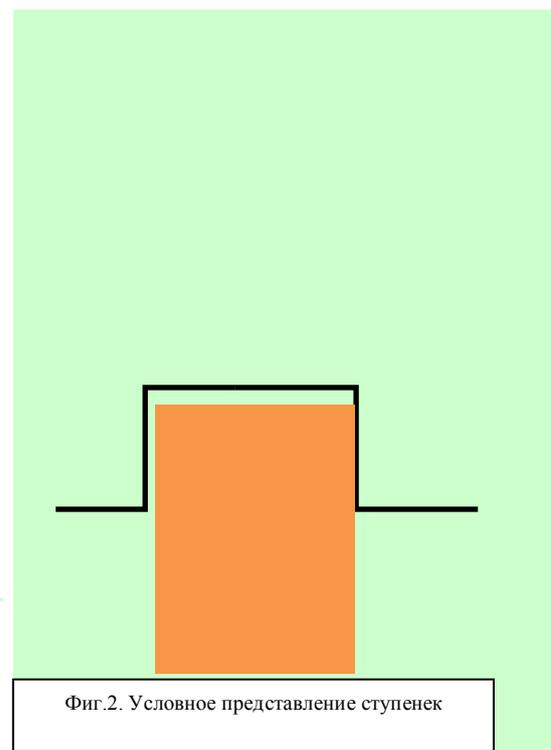
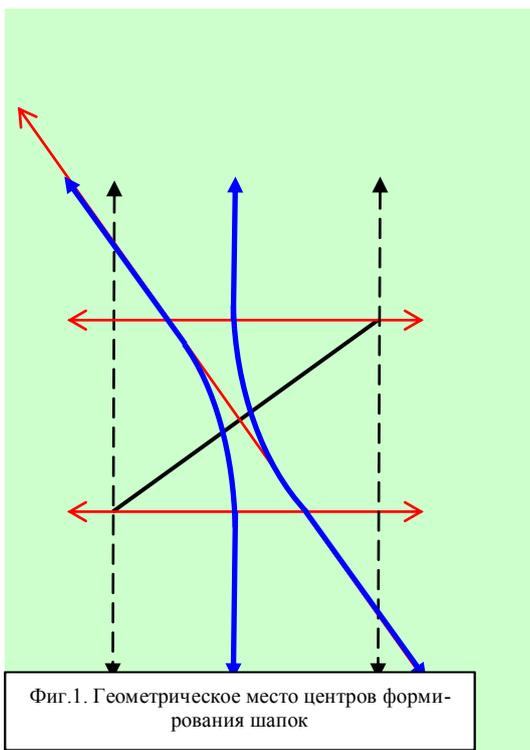
The Scalable Model of the Relief is developed in Image Processing laboratory of Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS. Generation of SMR begins with smoothing of ladder model of a relief, using minimization of bending-around parallel profiles of a deformable surface. Streamlining of variations bending around, keeping value of a certain integral, allowed to allocate a geometrical place of points of invariants of the areas of separate "ladder-steps". The structure reminds the hyperbole branches, also being characterized by asymptotes that was reflected in its name.

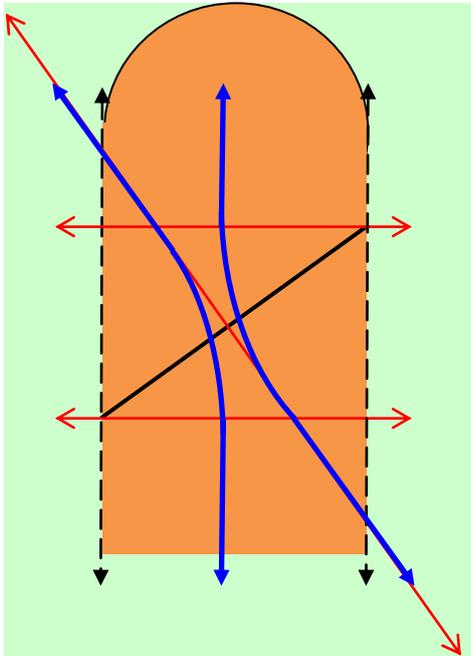
Key words: the Scaled model of a relief, asymptotes of the hyperboles, the minimal geometrical shapes.

В ранних работах по формированию масштабируемой модели рельефа (ММР) [1], исследовалась форма полидуги, имея в виду, отдельную сглаживаемую ступеньку (фиг.2.). При этом, выделялись три типа ступенек: 1) «высокие», характеризующиеся максимальной положительной кривизной, образуя стандартные столбы-«шапки»(фиг.3), 2) «средние», характеризующиеся промежуточными кривизнами, и обладающими большим спектром форм (фиг.4-5), 3) «низкие», характеризующиеся максимальной отрицательной кривизной, образуя колдцы-«шапки» (фиг.6). Гладкое сопряжение со-

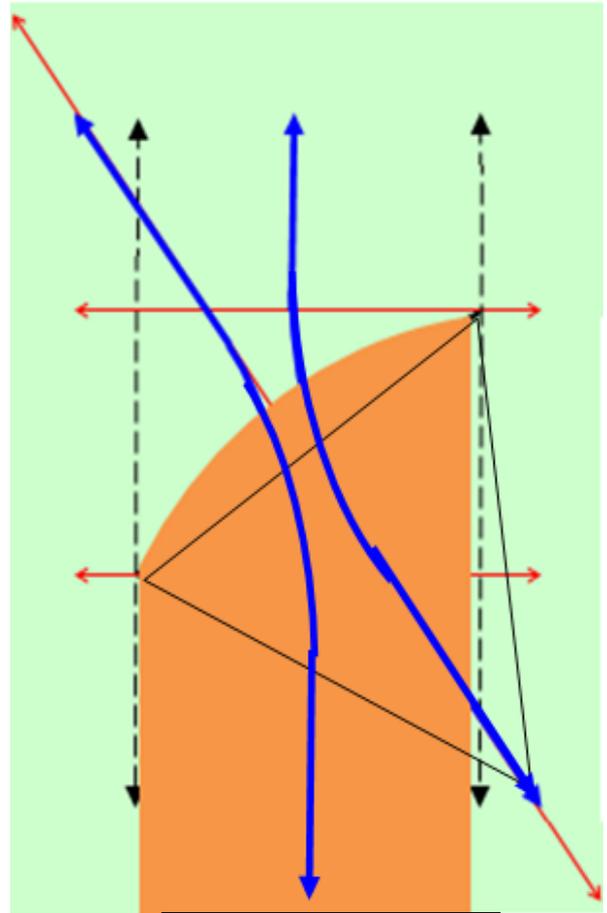
седних ступенек, решающее вариационный ряд, направленный на минимизацию огибающей полидуги, оказывается бесконечно сложным по разнообразию геометрических форм с ростом числа ступенек, что делает весьма затруднительным создание алгоритмов расчетов полидуг. В этой связи, был разработан механизм параллелизации формирования полидуги, образующейся на физических принципах минимизации ее длины в конструктивных ограничениях, закрепленный патентом РФ [2].

В последних работах по ММР обнаружилось, что разнообразие форм отдельной ступеньки подчинено строгому геометрическому закону. Если рассмотреть геометрическое место центров образующих дуг-шапок, то оно будет выглядеть, как представлено на фиг.1. Геометрическая форма похожа на ветви гиперболы, что дает основание назвать эту геометрическую фигуру – квазигиперболой. В ней просматриваются прямые линии, образующие то, что в гиперболах названы асимптотами, а соединяющая их часть образована параболой, т.е. линией второго порядка.

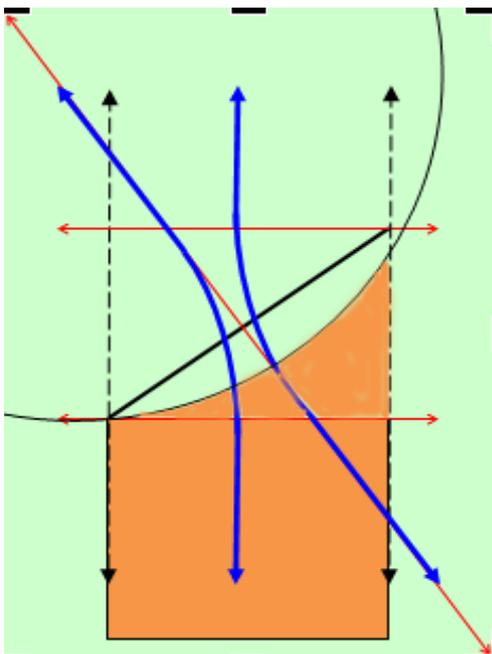




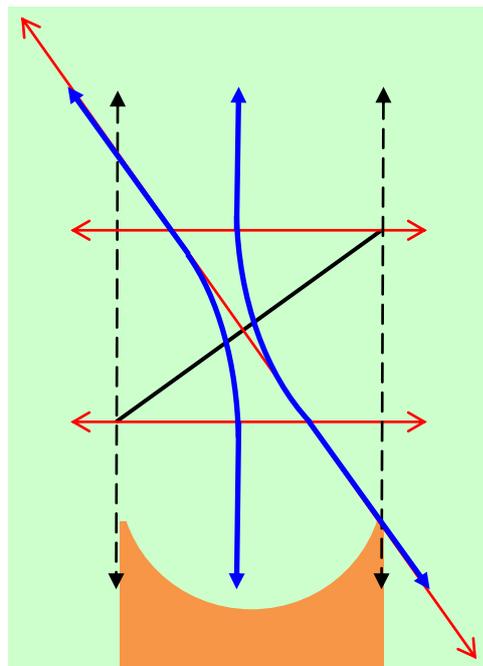
Фиг.3. Максимальная «шапка» - кривизна



Фиг.4. Уменьшение кривизны, положительной



Фиг.5. Малая «отрицательная» кривизна



Фиг.6. Минимальная «отрицательная» кривизна

Разработан эффективный алгоритм построения минимальной «шапки» для отдельной «ступеньки», который лежит в основе генерации полидуг, формирующих масштабируемую модель рельефа в результате предельного перехода по ее ортогональным профилям. Сердцевиной алгоритма является выявленное однозначное соответствие между размером ступеньки и минимальной дугой для заданных граничных условий. При этом, непрерывному диапазону изменений размеров ступенек отвечает геометрическая фигура, составленная из центров окружностей, формирующих минимальную «шапку» для ступеньки.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 13-07-00068.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ким П.А. О геометрической форме решения интегрального уравнения масштабируемой модели рельефа.// Сборник материалов международного научного конгресса "ГЕО-СИБИРЬ-2006". 24 - 28 апреля 2006 Россия, Сибирская государственная геодезическая академия. НОВОСИБИРСК, 2006, Том 3 "Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия", часть 1, стр.212-217.

2. Ким П.А. устройство моделирования полидуги Патент RU 2461891 С2, опубликовано 20.09.2012 бюлл. N 26

© П.А. Ким, 2013

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗДЕЛИМОСТИ КЛАСТЕРОВ, ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИСТОГРАММНОГО АЛГОРИТМА НАРЕНДРЫ¹

Валерия Сергеевна Сидорова

Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник лаборатории обработки изображений, тел. (383)330-73-32, e-mail: sv@ooi.sccc.ru

Исследована отделимость кластеров с ростом детальности представления данных по этапам иерархического алгоритма на основе гистограммы Нарендры. Предлагаются рекомендации задания минимальной отделимости при кластеризации пятиспектрального спутникового снимка поверхности Земли.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, обработка изображений, кластеризация, многомерная гистограмма, кластерная разделимость.

SEPARABILITY ANALYSIS OF THE CLUSTERS OBTAINED WITH USE OF NARENDRA HISTOGRAM ALGORITHM

Valerija S. Sidorova

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, Lavrentjev avenu, 6, scientific researcher, laboratory of Image Processing, tel. (383)330-73-32, e-mail: sv@ooi.sccc.ru

Cluster separability has investigated for minuteness growth on stages of the hierarchical technique with use of Narendra histogram. The advices to assign minimum separability for clustering five spectral satellite data of Earth's surface are given.

Key words: remote sensing, image processing, clustering, multidimensional histogram, cluster separability.

Кластеризация многоспектральных данных ДЗЗ является важной составляющей их анализа. Значительное число спектральных каналов, в основном, в невидимой части спектра, огромный объем данных, иерархическая структура объектов поверхности Земли требуют автоматизации в нахождении скоплений спектральных характеристик, т.е. кластеризации. Особенно, если каналов больше трех, то получить наглядное отображение данных одновременно во всех каналах невозможно. В настоящее время из методов кластеризации данных ДЗЗ, не использующих пространственную информацию, наиболее популярны методы, основанные на двух подходах [1]: К-средних и гистограммных. Построение карт кластеров представляет собой способ сегментации исходных данных, формируемых в виде спектральных характеристик пикселей изображения поверхности Земли. Обычно цвет на карте соответствует отдельному кла-

¹ Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 13-07-00068).

стеру. Методы, использующие K -средних кластеризацию, требуют задания правильного числа кластеров, и предварительного распределения, близкого к правильному [2]. Кроме того, форма кластера должна быть выпуклой. Скорость этих алгоритмов низка - второго порядка. Методы K -средних могут быть применены, когда уже достаточно известно о структуре данных. Исторически эти методы предложены раньше гистограммных, так как гистограммные требуют много оперативной памяти и были ограничены возможностями ЭВМ.

Многомерные гистограммы непосредственно отображают распределение многомерных векторов, и могут быть рассмотрены как их плотности вероятностей. Задачей гистограммной кластеризации является обнаружение максимумов - мод кластеров, и их границ. Алгоритм, широко используемый (как для данных ДЗЗ, так и химии, биологии), - это алгоритм Наредры [3], - быстрый, непараметрический, не итеративный, без всяких требований а priori к числу, форме кластеров. Он разделяет векторное пространство признаков по унимодальным кластерам, модальные векторы которых соответствуют локальным гистограммным максимумам, а границы проходят по долинам гистограммы. Основные идеи алгоритма. Для кластеризации использован подход построения графов и деревьев. Гистограмма строится (используя хеширование), и хранится только для присутствующих многомерных векторов данных и поэтому занимает существенно меньше места в памяти, чем $255 \cdot N$ слов (где N размерность векторного пространства). Вектора и их частоты хранятся в специально упорядоченном виде (аналогично словарю): сначала по возрастанию первой компоненты, затем внутри по возрастанию второй и т. д. Благодаря такому упорядочению скорость алгоритма линейно зависит от числа векторов, включая построение списка соседей каждого вектора. Этот алгоритм описан также в [4,5,6], в [4] он был реализован еще на БЭСМ-6. Для современных компьютеров было показано, что не требуется хеширования для хранения в памяти гистограммы, если число спектральных каналов не больше трех [5]. Кластеризация фрагмента трехспектрального изображения ДЗЗ была осуществлена в [5]. Затем предложена эффективная схема хеширования, позволяющая обрабатывать до 8-10 спектральных каналов [6]. Отметим, что для старых ЭВМ недостаточно было памяти для хранения даже списка присутствующих векторов. Поэтому часть младших битов в каждом спектральном канале отсекалась. Это соответствует квантованию векторного пространства признаков (отсечение бита уменьшает число квантовых уровней в два раза по каждой компоненте). В результате уменьшалась и детальность кластеризации. Полученных кластеров было довольно мало и они были обычно хорошо разделены. Число кластеров менялось на порядки, а сглаживание гистограммы по ближайшим соседям давало слабый эффект.

Было замечено, что с увеличением детальности кластеры хуже отделяются, значения гистограммы растут на их границах (ввиду корреляции данных, близко расположенных в векторном пространстве). Тогда было предложено [7]: 1) квантование векторного пространства осуществлять более плавно, меняя число уровней квантования, 2) из всех полученных распределений различной детальности выбирать лучшие минимизацией меры средней делимости кластеров,

3) мера делимости унимодальных кластеров. Показано также [7], что эта мера удовлетворяет требованиям, предъявляемым к мерам делимости кластеров, или качества кластеризации [8,9]. Предложенная мера может быть использована для оценки качества отдельного кластера (в дальнейшем будем называть ее делимостью кластера). Она соотносит среднее значение гистограммы на границе унимодального кластера и ее максимальное значение (для модального вектора). Это отношение косвенно связывает компактность и радиус кластера (эквивалент расстояния между центрами кластеров, в случае их соприкосновения)[10]. Достоинство меры в том, что эти две характеристики меры измеряются независимо друг от друга. Делимость по распределению определяется как среднее по полученным кластерам. В [7] показано, что хорошо разделенные унимодальные кластеры распределений соответствуют представительным информационным классам зондируемой поверхности Земли. Алгоритм также успешно был применен к неконтролируемой классификации текстур леса [10]. Учитывая, что делимость кластеров в разных подобластях векторного пространства и для различной детальности различна, в дальнейшем был предложен иерархический алгоритм с поиском сеток квантования, оптимизирующий среднюю делимость всех полученных кластеров [11].

Другой целью иерархического алгоритма стал поиск наибольшей детальности для подобластей, при которой делимости отдельных кластеров не превышают заданную величину d [12]. Эта делимость теоретически может меняться от 0 до 1, реально зависит от структуры данных и задач пользователя. Проиллюстрируем применение подхода, позволяющего исследовать данные, выявляя хорошо делимые кластеры на разных иерархических этапах. Некоторые рекомендации по заданию d можно получить автоматически. Распределение по кластерам для первого уровня иерархии не зависит от делимости. Получается грубая классификация по самым крупным кластерам, их обычно немного. Эти большие кластеры обычно хорошо разделены, их делимости имеют низкие значения. Они могут быть ориентиром при задании d . Можно еще использовать тот же иерархический алгоритм, но имеющий другую цель: получение оптимальной делимости. Оптимальная делимость может быть меньше “исходной”. Рассмотрим на рис.1 спутниковый снимок. Размер полного кадра 1328x624 пикселей. Размер файла 1328x624 x5, чуть больше 4 мегабайт.

Лучшая кластеризация первого этапа иерархии дала 4 кластера при числе уровней квантования 7. Делимости по кластерам получены: $d_1=0,031$, $d_2=0,023$, $d_3=0,043$, $d_4=0,033$. Для дальнейшей кластеризации было задано $d=0,04$. Для семи этапов иерархии получено: 60 кластеров, максимальное число уровней квантования равно 48. Карта кластеров (сегментация представлена на рис. 2). Фонового кластера нет. В фондовый попадают те кластеры, делимость которых больше d , если они не могут быть возвращены к тем родительским кластерам, для которых d не превышалось. (Однако, уже при задании $d=0,03$ этот кластер появляется). Для $d=0,04$ при дальнейшем увеличении числа этапов иерархии лишь небольшая доля мелких, граничных кластеров не может быть возвращена и попадает в фондовый кластер.

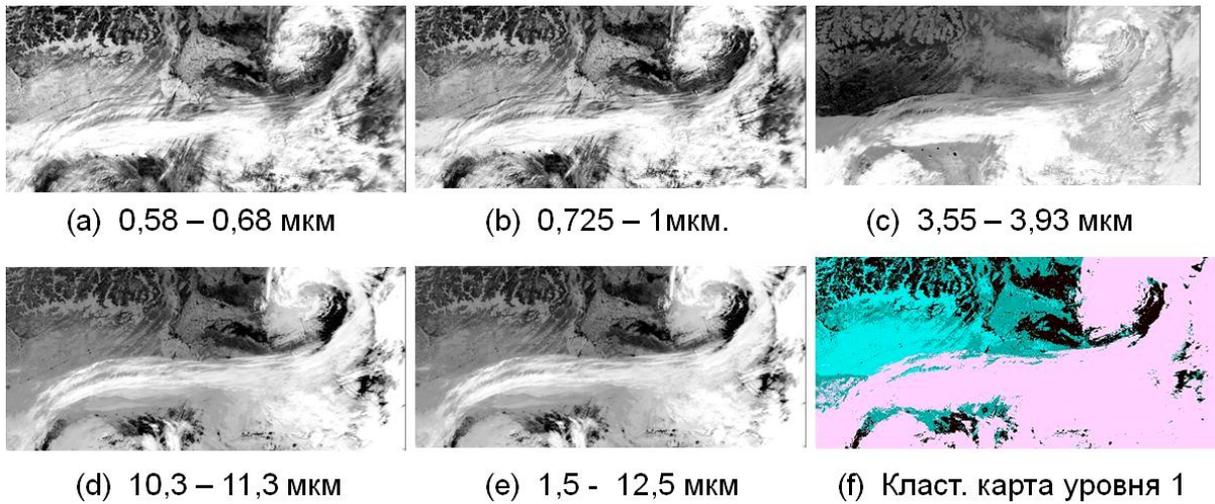


Рис. 1. а) - е) изображение поверхности Земли со спутника NOAA 17 от 7.04.2003, представлено в пяти спектральных каналах (один в видимой части спектра, остальные в инфракрасной). В нижней части снимка зарождение циклона, в верхней – тающие снега, тайга Сибири. ф) Кластерная карта первого этапа иерархии (4 кластера)

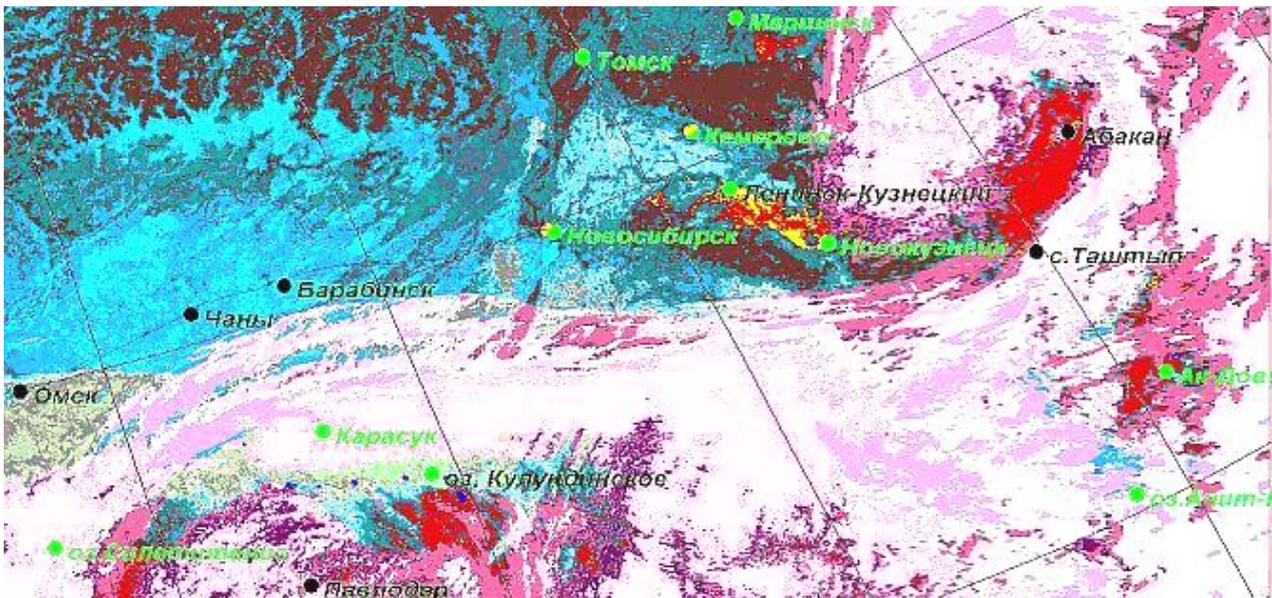


Рис. 2. Кластерная карта. Розовые и серые тона кластеров соответствуют облакам различной высоты, прозрачности, голубые - заснеженной части, темные вверху – тайге, синие – воде озер, красный цвет оттаявшей поверхности без облаков. Ярко желтый соответствует кластеру, основная часть которого лежит в области активной человеческой деятельности при нарушении поверхности Земли (Кузбасс, Кемеровская область, угольные разрезы)

Увеличение порога d приводит к увеличению числа кластеров при равном числе этапов, так как учитываются кластеры с худшей отделимостью: при $d=0,1$ получено 127 кластеров, при $d=0,5$ - 181 кластер. Однако эти кластеры часто малы, и беглый взгляд на карту почти не замечает отличий. Важно представлять задачу пользователя: более детальное исследование объекта вплоть до всех пиков гистограммы, или получение наиболее общей качественной картины с хорошо разделенными кластерами. В последнем случае порог d должен быть задан как можно меньше. Вариант $d=0,04$ представляется в этом случае идеальным. На рисунках 3а и 3б показаны кластерные карты для маленького $d=0,015$ и разного числа этапов иерархии. Самый светлый тон здесь соответствует большому фоновому кластеру. Кластеры, соответствующие облакам и снегу в основном, оказываются хуже разделимыми. На рис. 3б 28 этапов иерархии, 25 кластеров, максимальное значение числа уровней квантования равно 110 – это соответствует примерно: чуть больше среза одного бита в канале. Но и эти классификации могут представлять интерес, так как характеризуют объект с точки зрения разделимости его кластеров и выявляют наиболее отделимые кластеры на глубоком уровне.

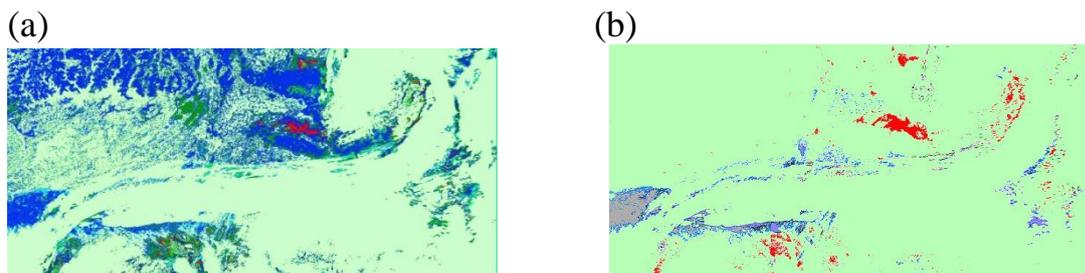


Рис. 2. Кластерные карты для $d=0,015$: а) 2 этапа иерархии, б) 28 этапов иерархии

В новом иерархическом алгоритме для определения детальности кластеризации задается минимальная отделимость кластеров, а максимально возможное число уровней квантования пространства признаков автоматически вычисляется, причем оно может быть различно в зависимости от разделимости подобластей данных. Это позволяет получить распределение с хорошо разделимыми кластерами, причем число их существенно меньше, чем для прямого алгоритма Нарендры, определяющего детальность заданием числа уровней квантования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gong P. & P.J. Howarth. An assessment of some factors influencing multispectral land-cover classification. // J. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 56(5), 1990. P.597-603.
- [1] 2. Свейн Ф., Дэйвис Ш. // Дистанционное зондирование: количественный подход. - 1983. – Москва, “Недра”.

- [2] 3. Narendra P.M. and Goldberg M. A non-parametric clustering scheme for LANDSAT // Pattern Recognition. – 1977 – 9 – P. 207 -215.
4. Сидорова В.С. Кластеризация многоспектральных изображений с помощью анализа многомерной гистограммы // Новосибирск. Сб.: Математические и технические проблемы обработки изображений. СО АН СССР. 1986. С. 52-57.
5. Сидорова В.С. Классификация многоспектральных космических изображений поверхности Земли с помощью разделения многомерной гистограммы по унимодальным кластерам // Ж. Вестник КазНУ., сер. географическая. 2004. N 2(19). С. 206-210.
6. V. S. Sidorova. Separating of the Multivariate Histogram on the Unimodal Clusters. // Proceedings of the Second IASTED International Conference “Automation Control and Information Technology”. – Novosibirsk. – 2005. – P. 267–274.
7. Сидорова В.С. Оценка качества классификации многоспектральных изображений гистограммным методом // Автометрия. – 2007. – Том 43. – №1. – С. 37- 43.
8. M. Halkidi, Y. Batistakis and M. Vazirgiannis. // Journal of Intelligent Information Systems – 2001 – No.17 (2-3) – P.107-132.
9. Fukunaga K. Introduction to Statistical Pattern Recognition. // Academic Press. New York and London. 1972.
10. В.С. Сидорова. Алгоритм кластеризации текстурных данных дистанционного зондирования. // Ж. Автометрия – 2010 - Т. 46, № 5, С. 43-52.
11. V.S. Sidorova. Automatic Hierarchical Clustering Algorithm for Remote Sensing Data // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2011 – Vol. 2 – No. 2 – P. 318–321.
12. Сидорова В.С. Новый гистограммный алгоритм с автоматическим выбором детальности кластеризации по заданной делимости кластеров. Труды международного конгресса “ГЕО-СИБИРЬ - 2012”, Новосибирск, 2012, С. 149-154

© В.С. Сидорова, 2013

ГЕОПОРТАЛ: ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРИКЛАДНЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Валерий Николаевич Антонов

Сибирский центр Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская 30, директор, тел 8(383)334-45-42, e-mail: avn@rcpod.siberia.net

Михаил Геннадьевич Захватов

Сибирский центр Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская 30, начальник отдела НИР, тел 8(383)334-45-42, e-mail: zachvatov@rcpod.ru

Федор Валерьевич Пяткин

Сибирский центр Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская 30, электроник 1 категории, тел 8(383)334-45-42, e-mail: fep@rcpod.ru

В статье рассматриваются структура программного обеспечения создаваемого геопортала Федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета». Основное функциональное назначение портала – информационное обеспечение прикладных дистанционных исследований. Приводится обоснование использования геоинформационных продуктов компании ESRI, в частности, системы ArcGis for Server.

Ключевые слова: геопортал, геоинформационная система, дистанционное зондирование, программное обеспечение.

GEOPORTAL: INFORMATION SUPPORT FOR APPLIED REMOTE SENSING RESEARCH

Valeriy N. Antonov

Siberian Center Scientific Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", 630099, Russia, Novosibirsk, Sovetskaya 30, director, tel. (8383)334-45-42, e-mail: avn@rcpod.siberia.net

Mikle G. Zachvatov

Siberian Center Scientific Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", 630099, Russia, Novosibirsk, Sovetskaya 30, head of the research work, tel. (8383)334-45-42, e-mail: zachvatov@rcpod.ru

Fedor V. Pyatkin

Siberian Center Scientific Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", 630099, Russia, Novosibirsk, Sovetskaya 30, electronics category 1, tel. (8383)334-45-42, e-mail: fep@rcpod.ru

The article deals with the structure of the software created geoportals Siberian Center Federal State Institution "Research Center for Space Hydrometeorology" Planeta ". The basic functionality of the website - The article deals with the structure of the software created geoportals Siberian Cen-

ter Federal State Institution "Research Center for Space Hydrometeorology" Planet. "The basic functionality of the website - information support applied remote sensing studies. The rationale for the use of geo-information products company ESRI, in particular, systems ArcGis for Server.

Key words: geoportal, geoinformation system, remote sensing, software.

Быстрое развитие космического сегмента систем дистанционного зондирования, увеличение числа космических аппаратов и совершенствование аппаратуры ДЗЗ (улучшение спектрального, пространственного разрешения и др.) вызывает необходимость создания адекватных наземных комплексов приема, обработки и распространения спутниковой информации (НКПОР). ФГБУ "НИЦ "Планета" (далее по тексту – Центр) осуществляет оперативный прием и обработку спутниковой гидрометеорологической информации. Центр - ведущая организация по эксплуатации и развитию национальных космических систем гидрометеорологического, океанографического, гелиогеофизического мониторинга и мониторинга окружающей среды, а также по приему и обработке данных с зарубежных спутников. Основной задачей Центра является обеспечение спутниковыми данными оперативно-прогностические и научно-исследовательские подразделения Росгидромета. Объем принятой спутниковой исходной информации составляет более 280 Гб в сутки.

Архивирование и каталогизация данных является одной из важных задач Центра как наземного комплекса приема, обработки и распространения спутниковой информации в производственной цепочке. Создание единого каталога геопространственных данных Центра с использованием стандартных международных программных комплексов позволило бы не только снизить стоимость доступа к архивной информации за счет унификации интерфейсов и форматов метаданных приемных комплексов, но и обеспечить консолидированное хранение пространственных данных и гибкий доступ к информации. Например, при подготовке пакета данных для отработки алгоритма выделения кольцевых структур на космических снимках, представляющих импактные кратеры на поверхности Земли, были сделаны сложные запросы к архиву пространственных данных. Так как архив не является базой геоданных (отсутствует СУБД), весь поиск проводился вручную [1].

Одно из основных преимуществ использования цифровых данных в том, что комплекс данных может содержать, кроме телеметрии приборов метеорологических спутников, и другие атрибутивные данные (далее по тексту - слой). Возможность объединения различных по содержанию геопространственных слоев и простых табличных данных в рамках анализа одной замкнутой системы позволит создавать качественно новые продукты. Ключевым моментом в создании комплекса предоставления слоев для клиентских приложений является соответствие международным стандартам программных систем для обеспечения унифицированного интерфейса доступа к информации. Одним из важных условий контрагентов Центра является требование поставки тематической информации в виде векторного слоя с атрибутивными данными в формате шейп-

файла. Шейп-файл - популярный векторный формат географических файлов, разрабатывается и поддерживается компанией ESRI с целью интероперабельности между продуктами ESRI и другими программами. В формате шейп-файлов Центр распространяет информацию о паводковой и пожароопасной обстановке для ситуационных центров экстренных служб и подразделений Росгидромета. В рамках сотрудничества Центра и Сибирского отделения Российской академии наук в области оценки посевов сельскохозяйственных культур векторные слои в формате шейп-файла используются повсеместно. Карты оценки состояния посевов строятся на каждый съем спутниковых данных не экранированный облачностью и позволяют получать, в оперативном режиме, оценку состояния посевов юга Западной Сибири с процентным соотношением каждой из трех градаций на конкретную дату, от появления всходов до окончания вегетационного периода [2].

Инструментальный комплекс обслуживания векторных данных в рамках распределенной структуры Центра должен отвечать следующим требованиям[3]:

- создание векторных слоев (векторизация) на основе растровых и атрибутивных данных;
- единое хранилище геопространственных данных;
- дружелюбный интерфейс пользователя;
- соответствие международным стандартам;
- поддержка ввода-вывода информации в международных форматах представления данных;
- гибкость в управлении;
- широкие возможности доступа и отображения геопространственных данных через классические интерфейсы и через web-интерфейс.

Развитие web-доступа к тематическим цифровым картам рассматривается как основной вектор развития Центра в отображении и распространении продукции потребителям. С развитием Интернет технологий термин «Геопортал» стал уже привычным для понимания большинства пользователей, как точка входа в Интернет или Интранет с инструментами просмотра метаданных, поиска географической информации, ее визуализации, загрузки, распространения и, возможно, редактирования. Всем выше перечисленным требованиям соответствует геоинформационные продукты компании ESRI – ArcGis. ArcGIS — семейство программных продуктов американской компании ESRI, одного из лидеров мирового рынка геоинформационных систем. ArcGIS построена на основе стандартов компьютерной отрасли, включая объектную архитектуру COM, .NET, Java, XML, SOAP, что обеспечивает поддержку общепринятых стандартов, гибкость предлагаемых решений, широкие возможности взаимодействия. Фундаментальная архитектура ArcGIS обеспечивает ее использование во многих прикладных сферах и на разных уровнях организации работы: на персональных компьютерах, на серверах, через Web, или в «полевых» услови-

ях. ArcGIS позволяет визуализировать (представить в виде цифровой карты) большие объемы статистической информации, имеющей географическую привязку. В среде создаются и редактируются карты всех масштабов: от планов земельных участков до карты мира. Также в ArcGIS встроен широкий инструмент анализа пространственной информации. Внедрение семейства продуктов компании ESRI в Центре позволит:

- управлять всеми пространственными данными и картографическими службами централизованно;
- увеличить производительность существующих картографических web-приложений и создать новые web-приложения, которые представляют собой не просто карты с изменяемым масштабом и получением информации об объектах на карте, но и дают возможность обработки и обновления представляемой информации;
- создать web-приложения, обладающие функциональностью настольных ГИС;
- внедрить геоинформационную систему в существующую информационную структуру предприятия, объединяя ГИС-сервер и пространственные данные с другими информационными системами предприятия;
- быстро решать специализированные задачи, создавая приложения, объединяющие географическое содержание с функциональными возможностями ГИС;
- создать корпоративный геопортал и сформировать инфраструктуру пространственных данных.

Преимущества использования программных комплексов ESRI от других программных продуктов:

- стандартная среда разработчика ГИС-приложений;
- эффективное по стоимости ГИС-решение;
- системная интеграция и взаимодействие приложений;
- элементы управления для Интернет-приложений;
- шаблоны web-приложений;
- открытая платформа;
- поддержка множества языков программирования;
- способность к расширению архитектуры;
- широкая поддержка мировым сообществом разработчиков и пользователей.

ArcGIS Server дает возможность распространять собственные геоинформационные (ГИС) ресурсы внутри корпоративной сети и в веб. ГИС-ресурсы – это карты, глобусы, сервисы определения местоположения (геокодирование), базы геоданных и инструменты, которые требуется передать другим пользователям. Публикация ГИС-ресурсов происходит на ArcGIS Server, а использование и обновление этих ресурсов возможно через клиентские приложения, такие как картографические веб-приложения. Публикация ГИС ресурсов на ГИС сервере да-

ет возможность не только распространять данные и передавать информацию широчайшей аудитории, но и предоставляет ГИС функциональность через сервисы и приложения внутренним и внешним пользователям.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бучнев А.А., Пяткин В.П., Салов Г.И. Космическая охрана Земли: проблема выделения импактных кратеров на космических снимках. // Сб. матер. Международного научного конгресса «СИББЕЗОПАСНОСТЬ-СПАССИБ-2012». - Новосибирск: СГГА, Россия, 25-27 сентября 2012. - С. 9-16.
2. Сапрыкин Е.И., Сладких Л.А., Пчельников Д.В. Оценка состояния посевов зерновых культур по данным Дистанционного зондирования земли. // Материалы 5-ой международной научно-практической конференции "АГРОИНФО-2012". - Новосибирск: Рос. акад. с.-х. наук, Сиб.регион. отд-ние, Сиб. физико-техн. ин-т. аграр. проблем. 2012. С. 387
3. ДеМерс Майкл Н. Географические информационные системы. Основы. Пер с англ. - Москва, Дата+, 1999. – 489 с.

© В.Н. Антонов, М.Г. Захватов, Ф.В. Пяткин, 2013

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ РАДОНА В ПОЛОСЕ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ СТРУКТУРЫ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА

Иван Гаврилович Казанцев

Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, к.ф.-м.н., доцент, старший научный сотрудник лаборатории обработки изображений, тел. (905)9364821, e-mail: kig@ooi.sccc.ru

Валерий Павлович Пяткин

Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, д.т.н., профессор, заведующий лабораторией обработки изображений, тел. 330-73-32, e-mail: pvp@ooi.sccc.ru

В докладе представлены результаты применения томографических методов для реконструкции структуры грязевого вулкана Карabetова. Классические томографические методы восстановления хорошо работают в условиях большого объема проекционных данных, обладающих регулярностью. В данной работе используется преобразование Радона в полосе при малом числе данных.

Ключевые слова: преобразование Радона, структура вулкана.

THE USE OF THE RADON TRANSFORM WITH A STRIP SUPPORT IN A VOLCANO STRUCTURE RECONSTRUCTION

Ivan G. Kazantsev

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6, pr. Akademika Lavrentjeva, tel. (905)9364821, e-mail: kig@ooi.sccc.ru

Valerij P. Pyatkin

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6, pr. Akademika Lavrentjeva, tel. 330-73-32, e-mail: pvp@ooi.sccc.ru

In this paper the results of the use of tomographic methods for a volcano structure reconstruction are presented. The classic tomography techniques and image reconstruction methods are well adapted for large regular data processing. The problem of dealing with small amount of data within the frame of the Radon transform on strip is the main subject of this work.

Key words: radon transform, the volcano structure.

В работе представлены первые результаты применения томографических методов для реконструкции структуры грязевого вулкана Карabetова. Классические томографические методы восстановления хорошо работают в условиях большого объема проекционных данных, обладающих регулярностью, то есть равномерностью взятия отсчетов по углам просвечивания и пространству детекторов. С точки зрения волновой теории, лежащей в основе моделирования формирования регистрируемых сигналов от источников, нами рассматривается

упрощенная линейризованная прямая задача, с данными в виде интегралов по лучам, подобно классической рентгеновской томографии.

Геометрия сбора геофизических данных вибропросвечивания вулкана [1] позволяет моделировать задачу восстановления скоростных профилей приповерхностных объемов в виде преобразования Радона в полосе [2], на одной стороне которой находятся источники, на другой - приемники. Однако небольшое количество отсчетов ($185=5 \times 37$, т.е. 5 источников и 37 детекторов) не позволяет применять аналитические методы обращения преобразования Радона [3].

Поэтому реконструкция основана на алгебраических методах и проводится в два этапа. На первом применяется метод конечных характеристических элементов, в котором искомая функция двух переменных представляется в виде конечной суперпозиции по характеристическим функциям носителей областей (узких полос) распространения вибросигнала. Коэффициенты разложения вычисляются из алгебраической системы, где матрица системы - матрица Грама размером 185×185 и правая часть (размером 185 элементов) - времена пробега сигнала от виброисточника до приемника. Реконструкция дает изображение с визуально определяемыми структурами (близкими к кольцевым) вулкана и легко определяемыми центром и границами.

На втором шаге применен параметрический подход, в котором структура вулкана задается суперпозицией радиально симметричных базисных функций различной гладкости и известным центром. Радиальная симметричность базисов позволяет снизить размерность задачи и применить методы оптимизации при количественном определении вклада каждой базисной функции в структуру объекта. Варьирование положения центра вулкана, его эффективного размера (радиуса кругового носителя) и числа радиальных базисных функций дает искомую структуру, для которой достигается наилучшее согласование с функционалом соответствия данным и условиями гладкости решения.

Результаты восстановления иллюстрируются.

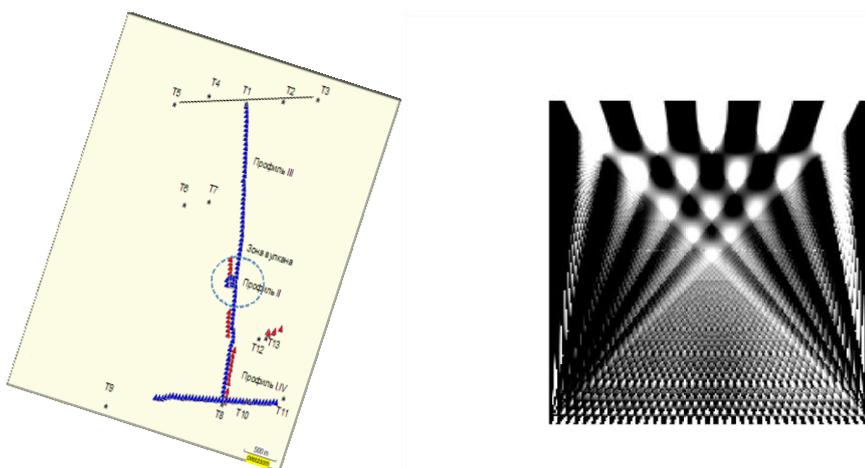


Рис. 1. Слева- схема вибросейсмического просвечивания по профилю 1. Справа -реконструкция 200x200. Схема и реконструкция совмещены так что вверху - 5 источников, внизу- 37 приемников

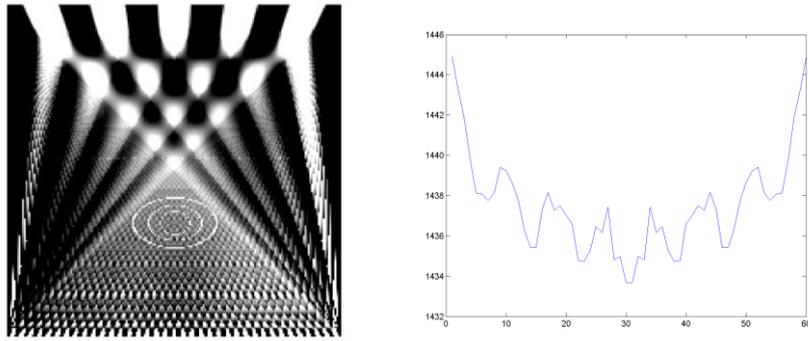


Рис. 2. Слева- реконструкция с выделенными белым цветом эллипсоидными структурами. Справа- профиль уровней яркости, взятый вдоль строки изображения реконструкции, проходящей через центр вулканической структуры

Работа частично поддержана грантом РФФИ 13-07-00068.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. “Отчет по экспедиционным работам 2008 г. по вибросейсмическому просвечиванию и мониторингу грязевого вулкана гора Карabetова”, 2008.
2. И.Г. Казанцев, В.П. Пяткин, В.В. Ковалевский, Л.П. Брагинская, Д.А. Караваев. “Моделирование структуры грязевого вулкана методом преобразования Радона в полосу” // Труды всероссийской конференции Актуальные проблемы вычислительной математики и математического моделирования, стр. 50 // Новосибирск, 2012.
3. Гольдин С.В. “К теории лучевой сейсмической томографии: Преобразование Радона в полосу и его обращение” // Геология и геофизика. –1996.

© И.Г. Казанцев, В.П. Пяткин, 2013

БЫСТРАЯ РАДИАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АНАЛИЗА ДАННЫХ СПУТНИКОВЫХ ИК-ЗОНДИРОВЩИКОВ ВЫСОКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Валерий Павлович Пяткин

Институт Вычислительной Математики и Математической Геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, заведующий лабораторией обработки изображений, тел. (383)3307332, e-mail: pvp@ooi.sccc.ru

Алексей Николаевич Рублев

Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», 123242, Россия, г. Москва, Большой Предтеченский пер., 7, заведующий лабораторией дистанционного зондирования облачности, e-mail: alex.rublev@mail.ru

Евгений Владимирович Русин

Институт Вычислительной Математики и Математической Геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник лаборатории обработки изображений, тел. (383)3307332, e-mail: rev@ooi.sccc.ru

Александр Борисович Успенский

Научно-исследовательский центр космической гидрометеорологии «Планета», 123242, Россия, г. Москва, Большой Предтеченский пер., 7, главный научный сотрудник, e-mail: uspensky@planet.iitp.ru

Обсуждаются методические и вычислительные аспекты создания быстрых радиационных моделей (БРМ) переноса ИК-излучения в атмосфере, предназначенных для анализа данных измерений ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения. Приведены результаты «быстрого» моделирования измерений ИК-зондировщика ИКФС-2, устанавливаемого на перспективных метеоспутниках серии «Метеор-М», оценивается производительность соответствующей быстрой модели.

Ключевые слова: быстрая модель переноса ИК-излучения, дистанционное зондирование, моделирование спутниковых измерений, RTTOV.

FAST RADIATIVE TRANSFER MODEL FOR SATELLITE-BASED HYPER SPECTRAL IR SOUNDERS

Valery P. Pyatkin

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, prospect Akademika Lavrentjeva, 6, head of Image Processing Laboratory, tel. (383)3307332, e-mail: pvp@ooi.sccc.ru

Alexey N. Rublev

Scientific Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", 123242, Russia, Moscow, Bolshoy Predtechensky st., 7, head of Cloud Remote Sensing Laboratory, e-mail: alex.rublev@mail.ru

Evgeny V. Rusin

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, prospect Akademika Lavrentjeva, 6, scientific researcher of Image Processing Laboratory, tel. (383)3307332, e-mail: rev@ooi.sccc.ru

Alexander B. Uspensky

Scientific Research Center of Space Hydrometeorology "Planeta", 123242, Russia, Moscow, Bolshoy Predtechensky st., 7, principal scientist, e-mail: uspensky@planet.iitp.ru

The methodological and computational aspects of Fast Radiative Transfer Model (FRTM) development are under discussion. The FRTM has been developed for fast and accurate modeling of spectra to be measured by advanced IR sounder IRFS-2 which is planned to be installed on board Russian meteorological satellites "Meteor-M". The results of FRTM application for modeling IRFS-2 data are presented. The performance of the FRTM is assessed.

Key words: fast IR radiative transfer model, remote sensing, satellite data modeling, RTTOV.

Введение

Для обработки и анализа данных измерений ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения ИКФС-2, устанавливаемых на российских метеоспутниках серии «Метеор-М», требуется создание быстрых и высокоточных процедур радиационных расчетов. Указанные процедуры и соответствующие программные комплексы (кратко БРМ – быстрые радиационные модели) предназначены для:

- валидации измеряемых спектров уходящего ИК-излучения и мониторинга качества абсолютной калибровки;
- тематической обработки или «обращения» спутниковых данных, т.е. восстановления различных параметров состояния системы «атмосфера-подстилающая поверхность»;
- усвоения спутниковых данных в схемах численного анализа и прогноза погоды.

Создаваемые БРМ должны обеспечить высокое быстродействие моделирования измеряемых спектров при погрешности расчетов на уровне инструментального шума. Кроме того, с помощью БРМ необходимо выполнять расчеты ряда характеристик переноса ИК-излучения в атмосфере (оптические толщины, функции пропускания), а также вычислять вариационные производные (якобианы) моделированных измерений по различным параметрам состояния.

Методология создания быстрых радиационных моделей

Высокая спектральная разрешающая способность современных ИК-зондировщиков обуславливает большое количество каналов, измерения в которых необходимо обрабатывать. Так, российский ИК-зондировщик ИКФС-2/Метеор-М измеряет спектр, содержащий 2701 каналов, а общее время измерения одного спектра составляет 0,7 с. Это предъявляет высокие требования к скорости вычислений БРМ. По предварительным оценкам, время моделирования сигнала (ИК-излучения, регистрируемого в одном канале) не должно превосходить нескольких миллисекунд. Такое быстродействие может быть достигнуто только при использовании простых аналитических выражений или интерполяционных схем без привлечения алгоритмов численного решения уравнения переноса.

За основу при разработке БРМ применительно к ИК-зондировщику ИКФС-2 авторами была принята методология создания зарубежных БРМ аналогичного назначения RTTOV [1], основанная на «быстром» вычислении эффективных оптических толщин атмосферных слоев. Под эффективной оптической толщиной слоя атмосферы j на частоте, соответствующей заданному каналу, здесь понимается величина $\Delta\tau_j$, для набора которых $\{\Delta\tau_j, j = 1, \dots, N, N - \text{число слоев атмосферы между земной поверхностью и верхней границей атмосферы}\}$ выполняется соотношение $e^{-\sum_{j=1}^N \Delta\tau_j} = \Gamma$, где Γ – функция пропускания излучения атмосферы в данном канале (точнее, результат интегрирования «неаподизированной» функции пропускания со спектральной аппаратной функцией – характеристикой измеряющей аппаратуры). Высокая скорость вычислений эффективных толщин достигается благодаря описанию результатов точного спектрального моделирования линейной регрессионной зависимостью от набора заранее установленных предикторов – характеристик атмосферы и их функционалов.

Вычисление эффективной оптической толщины в RTTOV выполняется суммированием определяемых в заданной последовательности вкладов отдельных газов. В принятой в качестве базовой версии RTTOV 9.1 индивидуально учитывается поглощение ИК-излучения шестью газами: водяным паром H_2O , диоксидом углерода CO_2 , озоном O_3 , оксидом азота N_2O , оксидом углерода CO и метаном CH_4 . Концентрации остальных оптически активных газов считаются постоянными, а их совокупный вклад в значение эффективной оптической толщины вычисляется отдельной суммарной функцией.

В качестве «точных» значений эффективных оптических толщин («предиктантов»), обучающего множества при построении уравнения линейной регрессии) используются результаты расчетов по точной полинейной модели LBLRTM [2] на базе спектроскопического атласа HITRAN-2008.

Для нахождения регрессионных коэффициентов используется этап обучения БРМ на представительном глобальном наборе из 83 моделей атмосферы [1]. Указанный набор был ранее отобран при построении БРМ RTTOV, предназначенной для анализа данных ИК-зондировщика IASI (европейский метеоспутник Metop). Профили обучающего набора заданы на 101 уровне давления и содержат температуры и концентрации по всем учитываемым газам-поглотителям. Кроме собственно обучающих данных, в вычислениях используется также «опорный» профиль, содержащий осредненные значения атмосферных характеристик обучающего набора.

Вся спектральная область измерений ИКФС-2 разбита на 13 прилегающих спектральных диапазонов, для каждого из которых использован свой набор из нескольких десятков (до 90) предикторов. Предикторы зависят от зенитного угла измерений и представляют собой функционалы от вертикальных профилей температуры и концентраций основных газовых поглотителей.

Результаты расчетов и оценка точности

В отсутствие прямых спутниковых измерений, для оценки точности результаты расчетов БРМ ИКФС-2 сравнивались с результатами расчетов, выполненных пакетом LBLRTM [2] на всем рабочем спектральном диапазоне спектрометра ($660\text{-}2000\text{ см}^{-1}$). Сопоставление приведено для упомянутого выше обучающего набора атмосферных моделей [1], а также независимого набора известных стандартных моделей WCP-112 [3]. Приведенные на Рис. 1 кривые показывают удовлетворительную точность созданной БРМ: во многих диапазонах спектра среднеквадратическая невязка результатов расчета не превышает $0,3\text{ К}$ и всегда меньше $0,8\text{ К}$. Особенно хорошее совпадение результатов наблюдается в полосе поглощения углекислого газа в диапазоне $660\text{-}750\text{ см}^{-1}$ – основном участке спектра, используемом для восстановления вертикальных профилей температуры.

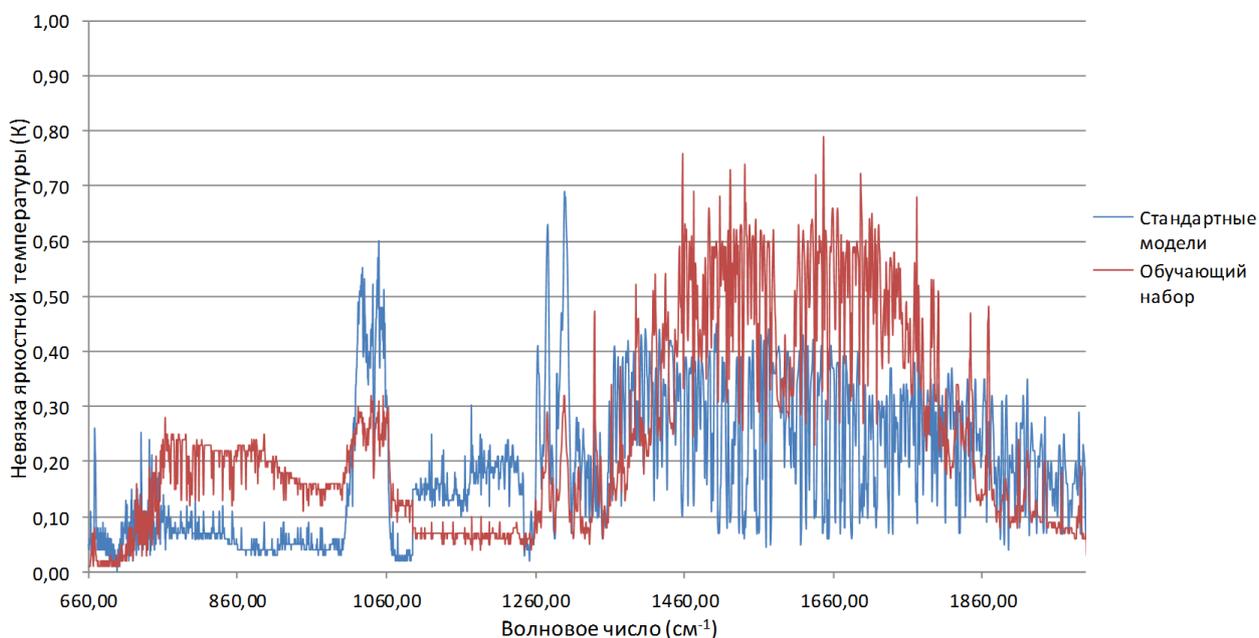


Рис. 1. Сравнение результатов моделирования БРМ ИКФС-2 с точными вычислениями LBLRTM

Время выполнения операции моделирования (в секундах) для различного числа каналов с помощью БРМ ИКФС в сравнении с «точными» вычислениями LBLRTM приведено в Табл. 1. Замеры выполнялись на ПЭВМ с центральным процессором Intel Core i5 650 3,20 ГГц и 4 Гб оперативной памяти. Как видно, созданная БРМ обеспечивает существенное (30-200-кратное) ускорение по сравнению с LBLRTM при удовлетворительной точности вычислений.

Таблица 1

Модель	Число моделируемых каналов										
	2701	2500	2000	1500	1000	500	300	100	50	10	1
БРМ ИКФС-2	1,3	1,2	0,96	0,72	0,48	0,24	0,14	0,049	0,026	0,007	0,003
LBLRTM	45,0	40,0	32,7	23,5	18,5	11,3	7,7	4,0	2,8	1,6	1,3

Для оперативного анализа данных ИКФС-2 требуется дальнейшее повышение вычислительной производительности БРМ, в связи с чем начаты методические проработки, связанные с распараллеливанием вычислений.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 13-07-00068.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Matricardi, M.: The generation of RTTOV regression coefficients for IASI and AIRS using a new profile training set and a new linebyline database, ECMWF Research Dept. Tech. Memo. 564, 2008.
2. LBLRTM, http://rtweb.aer.com/line_param_frame.html.
3. A preliminary cloudless standard atmosphere for radiation computation, WMO/TD No. 24, WCP-112, 1986, 66p.

© В.П. Пяткин, А.Н. Рублев, Е.В. Русин, А.Б. Успенский, 2013

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ ДАННЫХ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PLANETAMONITORING

Василий Валентинович Асмус

Научно-исследовательский центр “Планета”, РОСКОМГИДРОМЕТ, 123242, Россия, г. Москва, Большой Предтеченский пер., 7, директор, тел. (8499)255-69-14, e-mail: asmus@planet.iitp.ru

Алексей Александрович Бучнев

Институт Вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Россия, пр. акад. Лаврентьева, 6, старший научный сотрудник лаборатории обработки изображений, тел. (383)333-73-32, e-mail: baa@ooi.sccc.ru

Валерий Павлович Пяткин

Институт Вычислительной математики и математической геофизики (ИВМиМГ) СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Россия, пр. акад. Лаврентьева, 6, заведующий лабораторией обработки изображений, тел. (383)333-73-32, e-mail: pvp@ooi.sccc.ru

Рассматривается система кластерного анализа (неконтролируемой классификации) данных дистанционного зондирования Земли в программном комплексе *PlanetaMonitoring*. Система представлена следующими методами: методом *K*-средних, методом анализа мод многомерных гистограмм, гибридным методом, объединяющим метод анализа мод многомерных гистограмм с последующей иерархической группировкой и нечеткой кластеризацией алгоритмом *C*-средних.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, кластерный анализ, жесткая кластеризация, нечеткая кластеризация.

DATA CLUSTERING IN PLANETAMONITORING SOFTWARE COMPLEX

Vasiliy V. Asmus

Planeta Research and Development Center, Roscomhydromet, 123242, Moscow, Russia, Bol'shoi Predtechenskii per., 7, director, tel. (8499)255-69-14, e-mail: asmus@planet.iitp.ru

Aleksey A. Buchnev

Institute of the Computational mathematics and mathematical geophysics (ICM&MG) SB RAS, 630090, Novosibirsk, Russia, acad. Lavrent'ev av., 6, lab of the images processing senior researcher, tel. (383)333-73-32, e-mail: baa@ooi.sccc.ru

Valeriy P. Pyatkin

Institute of the Computational mathematics and mathematical geophysics (ICM&MG) SB RAS, 630090, Novosibirsk, Russia, acad. Lavrent'ev av., 6, lab of the images processing head, tel. (383)333-73-32, e-mail: baa@ooi.sccc.ru

The clustering system (unsupervised classification) of the Earth remote sensing data in *PlanetaMonitoring* software complex is discussed. The system consists of the next methods: *K*-means method, method of the multidimensional histograms modes analysis, hybrid method, which involves method of the multidimensional histograms modes analysis and the subsequent hierarchical grouping, and fuzzy clustering algorithm *C*-means.

Key words: remote sensing, clustering, hard clustering, fuzzy clustering.

Программный комплекс *PlanetaMonitoring*, в течение длительного времени разрабатываемый совместными усилиями НИЦ «Планета» Росгидромета РФ и ИВМиМГ СО РАН, является функционально полным набором программных технологий, позволяющих решать различные задачи обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) Земли [1]:

1. Контрастные и яркостные преобразования;
2. Геокодирование, формирование мозаик из спутниковых изображений;
3. Статистический анализ (декорреляция, выделение главных компонент);
4. Контролируемая классификация;
5. Кластерный анализ (автоматическая классификация);
6. Построений векторных полей пространственных перемещений природных объектов;
7. Выделение линейных и кольцевых структур на космических изображениях.

Данная работа посвящена описанию одной из центральных технологий комплекса – кластеризации многоспектральных (многомерных) ДДЗ.

Прежде всего заметим, что к исходному набору данных могут быть применены следующие операции предварительной обработки:

1. Декорреляция исходных данных с одновременным выделением главных компонент (отбор признаков в многомерных данных) [2]; главные компоненты могут выделяться либо на основе кумулятивной дисперсии в каналах либо с использованием правила Крамера [3] – все компоненты, для которых значения собственных чисел меньше единицы, отбрасываются.

2. Контрастное преобразование представленного в виде изображения набора данных. Программный комплекс включает ряд основанных на видоизменении гистограмм контрастных преобразований. В частности, реализован механизм референтного выравнивания [4], при котором яркостные и контрастные характеристики изображений приводятся либо к характеристикам некоторого изображения, выбранного в качестве референтного (базового), либо к характеристикам гауссового распределения с заданными параметрами.

Характерной особенностью ДДЗ является “загрязнение” выборки смешанными векторами измерений, т.е. векторами, которые образуются при попадании в элемент разрешения съемочной системы нескольких природных объектов. Это обстоятельство является одним из источников ошибок при построении карты классификации [2,4]. Большинство алгоритмов кластеризации для отнесения векторов признаков кластерам вычисляют для каждого вектора значения подходящей функции «правдоподобия». В случае зачисления вектора признаков в кластер по максимальному значению функции правдоподобия получается так называемая *жесткая* кластеризация.

В состав программного комплекса входит реализация классического алгоритма жесткой кластеризации – алгоритма *K*-средних, широко используемого для разбиения на кластеры больших объемов многомерных данных [5]. Алго-

ритм K -средних может быть отнесен к классу параметрических, т.к. он неявным образом предполагает природу плотности вероятности: кластеры стремятся иметь конкретную геометрическую форму, зависящую от выбранной метрики [5]. Мы используем следующие метрики: Евклидова, Махаланобиса, Чебышева, city-block расстояние. Известно также, что результат кластеризации методом K -средних зависит от задания начальных центров кластеров. Предоставляется выбор одного из трех вариантов, два из которых определяются на основе статистических характеристик набора данных и один основан на случайной выборке. Один из вариантов алгоритма позволяет учитывать влияние смешанных векторов [2]. Дополнительным параметром в этом случае является выбираемое эмпирически соотношение чистых и смешанных векторов в наборе данных. На основе этого соотношения и градиентного изображения, сформированного подходящим градиентным оператором (Робертса/Превитта/Собела), выделяются связные компоненты, состоящие из чистых векторов. Кластеризации подвергаются средние векторы связных компонент. В дальнейшем смешанные векторы распределяются по полученным кластерам на основе минимального расстояния до центра кластера.

Альтернативный подход, позволяющий получать разбиение векторов измерений на кластеры произвольной формы, основан на предположении, что исходные данные являются выборкой из многомодового закона распределения, причем векторы, отвечающие отдельной моде, образуют кластер [2]. Таким образом, задача сводится к анализу мод многомерных гистограмм.

Одним из известных методов жесткой кластеризации является иерархическая группировка [6]. Однако прямое использование данного алгоритма для кластеризации больших объемов данных является нереальным. В программный комплекс включена двухэтапная процедура кластеризации: на первом этапе выполняется предварительное разбиение исходной выборки на кластеры с помощью модального анализа, а затем для получения окончательного результата используется иерархическая группировка. Предварительное использование модального анализа позволяет сократить объем данных до разумных пределов. В качестве входных данных для иерархической группировки используются векторы средних группы векторов, связанных с каждой модой многомерной гистограммы.

Альтернативой жесткой разделяющей кластеризации является *мягкая* или *нечеткая* кластеризация, разрешающая векторам принадлежать всем кластерам с коэффициентом членства $u_{ij} \in [0,1]$, определяющим степень принадлежности j -го вектора i -му кластеру:

$$\sum_{i=1}^C u_{ij} = 1, \forall j \text{ и } \sum_{j=1}^L u_{ij} < L, \forall i,$$

определяя этими соотношениями нечеткую кластеризацию. Здесь C – число кластеров, L – количество векторов измерений. В недавнее время нами в со-

став системы кластеризации программного комплекса была включена реализация широко используемого алгоритма нечеткой кластеризации, известного как метод *С-средних* [7]. Это итерационный алгоритм, который используется для разделения смешанных векторов измерений в ДДЗ. Идея метода заключается в описании сходства вектора с каждым кластером с помощью функции уровней принадлежности, принимающей значения от нуля до единицы. Значения функции, близкие к единице, означают высокую степень сходства вектора с кластером. Очевидно, что сумма значений функции уровней принадлежности для каждого пиксела должна равняться единице. Также, как и в алгоритме *К-средних*, параметрами соответствующей процедуры (кроме количества кластеров) являются тип метрики и вариант выбора начальных центров кластеров. Дополнительным параметром является показатель нечеткости, значения которого для ДДЗ предлагается брать близкими к двум (см., например, Шовенгердт [3]).

Нижеследующие рисунки демонстрируют результаты работы алгоритмов *К-* и *С-средних*. На рис. 1 представлен фрагмент снимка ИСЗ SPOT-4, полученного 04.05.2011 г. с паводковой ситуацией в районе Камня-на-Оби (снимок предоставлен Сибирским центром НИЦ «Планета»). Рис. 2 содержит изображение файла-маски, позволяющего исключить из процесса обработки фрагменты исходного изображения, являющиеся «шумом» по отношению к области интереса. На рис. 3 и 4 представлены результаты обработки. Выделялось 10 кластеров, выполнялось 50 итераций алгоритмов.

Основная часть работы алгоритма *С-средних* состоит в итерационном перестроении матрицы уровней принадлежности векторов признаков кластерам и пересчете центров кластеров. Алгоритм заканчивает работу при выполнении заданного числа итераций либо при достижении матрицы уровней принадлежности состояния стабильности, т.е. состояния, при котором норма разности матриц в двух последовательных итерациях не превосходит заданного порога. Эта работа требует больших временных затрат при ее последовательном выполнении, особенно в случае, когда показатель нечеткости неравен двум, в связи с чем реализована параллельная версия алгоритма. Параллельная реализация алгоритма осуществляется средствами ОС Windows в рамках одного процесса путем запуска нескольких параллельных потоков. Количество запускаемых потоков равно количеству логических процессоров компьютера. Каждый поток перестраивает соответствующую часть матрицы уровней принадлежности. Необходимая при работе параллельных потоков синхронизация достигается с помощью механизма событий ОС Windows. В таблице 1 содержатся данные о времени выполнения параллельной процедуры нечеткой кластеризации методом *С-средних* набора векторов признаков рис. 1. Приводятся результаты измерений времени (в секундах) для значений параметра нечеткости $m=2$ и $m=2.2$. Измерения проводились под управлением Windows-7 на аппаратной платформе с четырьмя логическими процессорами. Выполнялось 50 итераций.



Рис. 1. Исходное изображение



Рис. 2. Маска

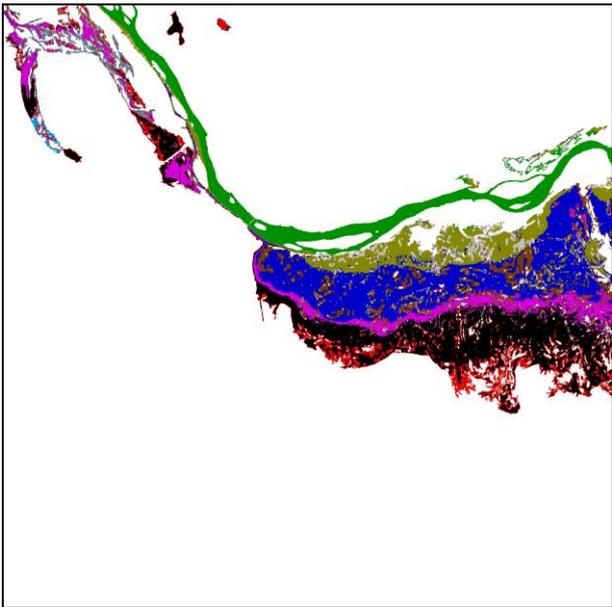


Рис. 3. Кластеризация методом K -средних

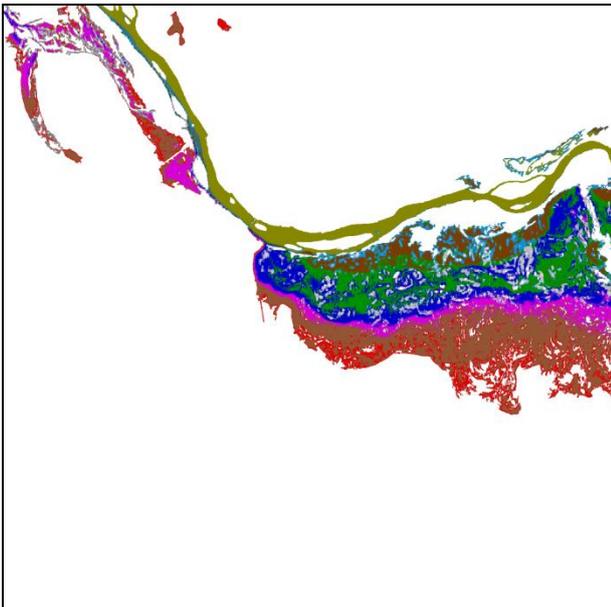


Рис. 4 Кластеризация методом *C*-средних

Таблица 1

Значение m	Количество запускаемых потоков			
	1	2	3	4
$m=2$	76.18	52.87	44.52	40.6
$m=2$.	305.5	189.14	140.04	116.
2	6			92

В заключение отметим, что широкий набор возможностей системы кластеризации программного комплекса позволяет эксперту-исследователю выбирать адекватные решения задач дешифрирования ДДЗ.

Работа частично поддержана грантом РФФИ 13-07-00068.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Asmus V.V., Buchnev A.A., Pyatkin V.P., Salov G.I. Software System for Satellite Data Processing of Applied Tasks in Remote Sensing of the Earth. //Pattern Recognition and Image Analysis, vol. 19, No.3, 2009.
2. Асмус В.В. Программно-аппаратный комплекс обработки спутниковых данных и его применение для задач гидрометеорологии и мониторинга природной среды. Диссертация в виде научного доклада на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. На правах рукописи. Москва – 2002, -75 с.
3. Marques de Sa J.P. Pattern Recognition: Concepts, Methods and Applications. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2001, -318 p.
4. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Пер. с англ. Москва: Техносфера, 2010.
5. Jain A.K. Data clustering: 50 years beyond K-means. Pattern Recognition Letters. 31 (2010), p. 651-666.

6. М. Жамбю. Иерархический кластер-анализ и соответствия. Пер. с фр. М., Финансы и статистика, 1988.
7. Bezdek J.C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms. Plenum Press, New York, 1981.

© *В.В. Асмус, А.А. Бучнев, В.П. Пяткин, 2013*

ТЕХНОЛОГИЯ И ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТАРИЙ ДЛЯ СЕГМЕНТАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ВЫСОКОГО ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ

Игорь Алексеевич Пестунов

Институт вычислительных технологий СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Россия, пр. Академика Лаврентьева, 6, заведующий лабораторией обработки данных, тел. (383)334-91-55, e-mail: pestunov@ict.nsc.ru

Сергей Александрович Рылов

Институт вычислительных технологий СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Россия, пр. Академика Лаврентьева, 6, аспирант, тел. (383)334-91-55, e-mail: rylovs@mail.ru

Павел Владимирович Мельников

Институт вычислительных технологий СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Россия, пр. Академика Лаврентьева, 6, аспирант, тел. (383)334-91-55, e-mail: pvm96@yandex.ru

Юрий Николаевич Синявский

Институт вычислительных технологий СО РАН, 630090, г. Новосибирск, Россия, пр. Академика Лаврентьева, 6, научный сотрудник, тел. (383)334-91-55, e-mail: yorikmail@gmail.com

Предлагается технология автоматизированной обработки изображений высокого разрешения по спектральным и пространственным признакам с учетом априорных сведений. Рассматриваются вопросы ее программной реализации в виде набора веб-сервисов. Приводятся результаты обработки изображений, полученных со спутников QuickBird и WorldView-2.

Ключевые слова: спутниковые изображения, высокое пространственное разрешение, сегментация изображений, спектральные и текстурные признаки, веб-сервисы.

TECHNOLOGY AND SOFTWARE TOOLKIT FOR SEGMENTATION OF SATELLITE HIGH SPATIAL RESOLUTION IMAGES

Igor A. Pestunov

Institute of Computational Technologies SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Acad. Lavrentjev ave., head of Data Processing Laboratory, tel. (383)334-91-55, e-mail: pestunov@ict.nsc.ru

Sergey A. Rylov

Institute of Computational Technologies SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Acad. Lavrentjev ave., postgraduate student, tel. (383)334-91-55, e-mail: rylovs@mail.ru

Pavel V. Melnikov

Institute of Computational Technologies SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Acad. Lavrentjev ave., postgraduate student, tel. (383)334-91-55, e-mail: pvm96@yandex.ru

Yuriy N. Sinyavskiy

Institute of Computational Technologies SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Acad. Lavrentjev ave., scientist, tel. (383)334-91-55, e-mail: yorikmail@gmail.com

A technology for automated processing of high resolution images using spectral and spatial features with *a priori* knowledge is proposed. Software implementation in the form of web services is considered. The results of processing QuickBird and WorldView-2 satellite images are presented.

Key words: satellite images, high spatial resolution, image segmentation, spectral and textural features, web services.

Введение. В настоящее время целый ряд спутников (Ikonos, QuickBird, РЕСУРС-ДК1, GeoEye-1, WorldView-2, Pleiades и др.) [1] обеспечивает регулярную поставку многоспектральных изображений высокого пространственного разрешения (2–4 м). Характерная особенность таких изображений заключается в том, что значительная часть информации, необходимая для их описания, заключена в пространственных характеристиках (текстура, форма, размер, контекст и т.п.). Традиционные методы сегментации, учитывающие лишь спектральные признаки, оказываются неэффективными для автоматизированного анализа таких изображений, поскольку они не способны достаточно полно описать их структуру. Получаемые с их помощью картосхемы характеризуются чрезмерной раздробленностью и малопригодны для дальнейшей интерпретации специалистами предметных областей. В настоящее время эффективные методы и алгоритмы сегментации многоспектральных изображений, учитывающие как спектральные, так и пространственные характеристики изображений, отсутствуют. Поэтому данной проблеме в последние годы уделяется все больше внимания [2–5].

В данной работе предлагается технология автоматизированной обработки изображений высокого разрешения по спектральным и пространственным признакам с учетом априорных сведений. Рассматриваются вопросы ее программной реализации в виде набора веб-сервисов. Приводятся результаты обработки изображений, полученных со спутников QuickBird и WorldView-2.

Предлагаемая технология. Предлагаемая технология является развитием двухэтапной процедуры сегментации, подробно описанной в [6, 7], и позволяет учитывать при автоматизированном анализе имеющиеся априорные предположения об объектах исследования. Обработка осуществляется в три этапа. На первом этапе выполняется сегментация исходного изображения по спектральным признакам с использованием алгоритма кластеризации. Второй этап обработки позволяет учесть имеющиеся априорные предположения об объектах исследования. Для этого выполняется формирование набора тематических слоев на основе различных комплексных признаков (индексов) с последующим построением пространственных масок, предназначенных для исключения конкретных объектов (например, водная поверхность, здания, дороги и т.п.) из дальнейшей обработки. На третьем этапе выполняется текстурная сегментация картосхемы (с учетом построенных масок).

Программно-алгоритмический инструментарий. Программная реализация предлагаемой технологии опирается на алгоритмы, разработанные с участием авторов в рамках различных проектов и грантов. Для спектральной сег-

ментации используются ансамблевые алгоритмы кластеризации EMeanSC [8] и ЕССА [6], основанные на непараметрических оценках плотности распределения. При их реализации использовались технологии параллельных вычислений и эффективный алгоритм реализации метода иерархической кластеризации UPGMA [9], что позволило в несколько раз уменьшить время работы алгоритма. Кроме этого, использование специальной структуры данных в сеточном алгоритме ЕССА позволило увеличить число одновременно используемых спектральных каналов с 5 до 8 при незначительном увеличении времени обработки.

На втором этапе производилось формирование масок некоторых объектов на основании имеющихся априорных сведений. Для этого использовались результаты спектральной кластеризации и следующие индексы:

- 1) нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI), предназначенный для выделения не покрытых растительностью территорий;
- 2) нормализованный разностный водный индекс (NDWI) [10], позволяющий выделить водные поверхности;
- 3) индекс антропогенности (IA) территорий [11], предназначенный для выделения зданий, дорог и других объектов искусственного происхождения.

Исключение перечисленных объектов из дальнейшего рассмотрения позволяет значительно повысить качество сегментации по текстурным признакам, выполняемой на третьем этапе [7].

На рисунке 1 приведен пример обработки снимка, полученного со спутника WorldView-2 27 сентября 2010 г. Время обработки спектральной и текстурной кластеризации ~1 с.

Протокол WPS. Упомянутые алгоритмы программно реализованы и доступны в виде веб-сервисов по протоколу Web Processing Service. Протокол WPS, предложенный консорциумом Open Geospatial Consortium (OGC) в 2007 году, является надстройкой над протоколом HTTP и описывает содержание HTTP-запросов и соответствующих им HTTP-ответов.

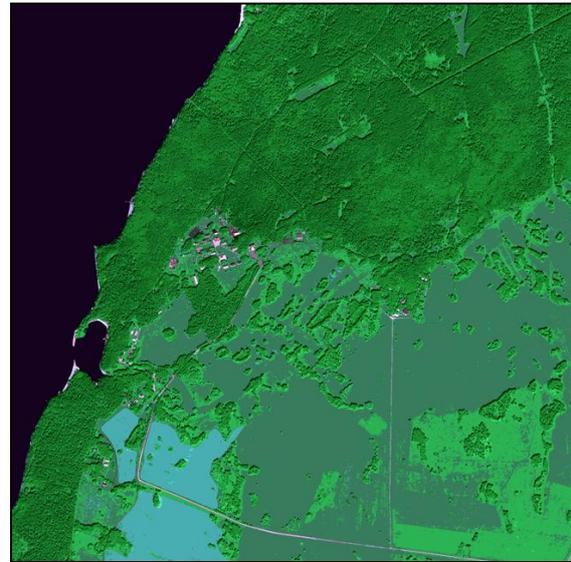
Основные WPS-запросы:

1. GetCapabilities – запрос списка доступных для выполнения процессов, т.е. доступных для использования алгоритмов;
2. DescribeProcess – запрос описания алгоритма, включающего список входных и выходных параметров, допустимые типы данных и значения по умолчанию;
3. Execute – запрос на выполнение алгоритма, представляющий из себя GET- или POST-запрос, в теле которого описаны параметры алгоритма.

Запрос также может содержать ссылки на другие источники данных, доступные по протоколам WFS/WMS/WCS, что позволяет хранить исходные данные и результаты обработки в удаленном каталоге или хранилище. Диаграмма взаимодействия клиента и сервера в ходе выполнения Execute-запроса показана на рисунке 2.



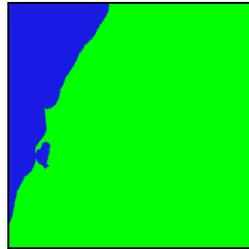
a



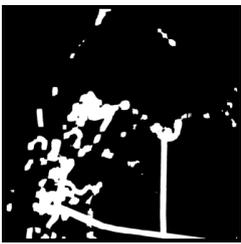
б



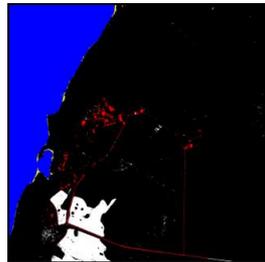
NDVI



NDWI

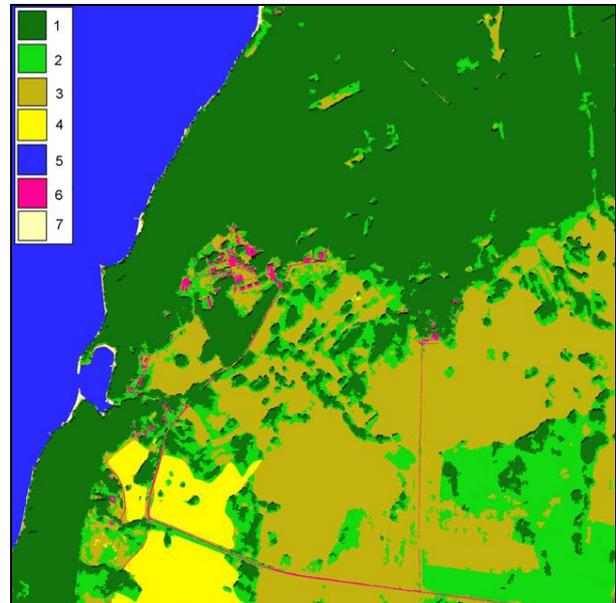


IA



NDVI + NDWI + IA

в



г

Рис. 1. Пример обработки снимка WorldView-2 (2048 × 2048 пикселей):
a – RGB-композит (каналы 5, 3, 2) исходного изображения; *б* – результаты спектральной кластеризации; *в* – построенные маски; *г* – полученная картосхема (1 – лесные территории, 2 – трава, 3 – незасеянные поля и пустоши, 4 – сельскохозяйственные посевы, 5 – вода, 6 – здания, сооружения, дороги, 7 – песок)

На данный момент существуют несколько WPS-серверов с открытым исходным кодом, поддерживающие стандарт WPS 1.0.0. Из них стоит выделить:

- 1) 52°North WPS (Java²), обеспечивающий интеграцию WPS-сервера с пакетами GRASS GIS, Sextante и вычислительной средой для языка R;
- 2) deegree3 (Java³), поддерживающий WMS, WFS, WCS, WPS и другие протоколы OGC;
- 3) ZOO WPS (C/JavaScript⁴);
- 4) PyWPS (Python⁵), имеющий встроенную поддержку пакета GRASS GIS.

Помимо свободно распространяемых, существуют коммерческие проекты, поддерживающие протокол WPS, такие как ArcGIS Server и ERDAS APOLLO.

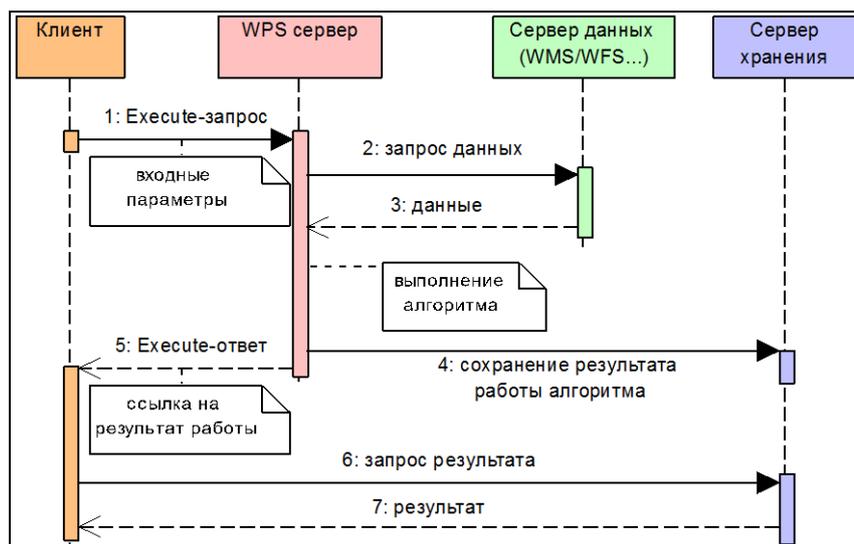


Рис. 2. Диаграмма взаимодействия клиента и сервера в ходе выполнения Execute-запроса

Клиентская часть протокола WPS реализована в открытых пакетах uDig (модуль, разработанный 52°North), OpenJUMP (модуль, разработанный 52°North), Quantum GIS (дополнительный модуль, загружаемый из стандартного хранилища). В дополнение к этому, 52°North предоставляет библиотеки Java-классов⁶ и JavaScript-функций на основе OpenLayers⁷, предназначенные для быстрого внедрения поддержки протокола WPS в другие пакеты программ. Среди коммерческих пакетов поддержку протокола WPS имеет пакет ArcGIS for Desktop.

На данный момент широкому распространению стандарта WPS препятствует отсутствие свободно распространяемых клиентских приложений с качественной реализацией стандарта. Наиболее полную поддержку WPS имеет пакет Quantum GIS, однако WPS-плагин для него не позволяет эффективно обрабаты-

² <http://52north.org/communities/geoprocessing/wps/index.html>

³ <http://www.deegree.org>

⁴ <http://www.zoo-project.org>

⁵ <http://pywps.wald.intevation.org>

⁶ <http://52north.org/communities/geoprocessing/client-lib/index.html>

⁷ <http://52north.org/communities/geoprocessing/ol/index.html>

вать растровые данные большого объема и не имеет возможности использовать сторонние источники данных.

Система веб-сервисов ИВТ СО РАН. В ИВТ СО РАН создана система веб-сервисов, предоставляющая доступ к некоторым модулям GRASS GIS и набору оригинальных алгоритмов. Архитектура системы представлена на рисунке 3. Реализация выполнена на языке программирования Java, что позволило обеспечить платформенную независимость. Ядром системы является WPS-сервер 52°North WPS. Он осуществляет интерпретацию входных и выходных данных согласно спецификации протокола WPS и выполняет запуск необходимых алгоритмов. С его помощью по протоколу WPS доступны: алгоритмы сегментации (MeanSC, EMeanSC, ECCA, трехэтапный классификатор); алгоритмы выделения текстурных признаков; некоторые модули GRASS GIS. В настоящее время система сервисов доступна для клиентских приложений по адресу <http://wps.esemc.nsc.ru/wps/WebProcessingService>.

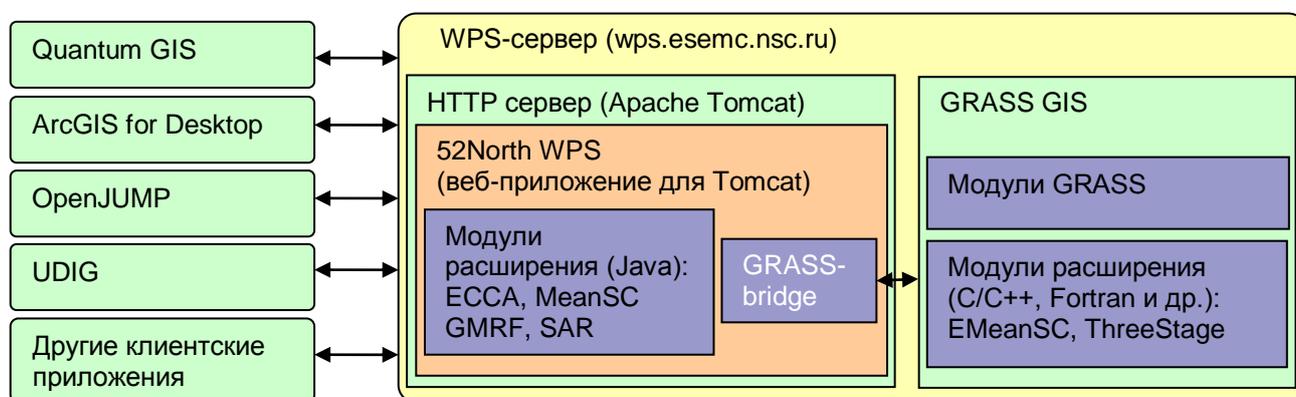


Рис. 3. Архитектура системы сервисов

Заключение. В работе предложена трехэтапная технология автоматизированной обработки изображений высокого разрешения. Второй этап обработки позволяет учесть имеющиеся априорные сведения об объекте исследования и существенно повысить качество спектрально-текстурной сегментации. Реализация алгоритмов в виде стандартизованных веб-сервисов позволяет обеспечить доступ к ним широкому кругу пользователей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Болсуновский М.А., Бутин В.В. Новейшие спутники ДЗЗ и ближайшие перспективы систем высокого и сверхвысокого разрешения // Тез. докл. Десятой Всерос. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2012. - http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf/thesisshow.aspx?page=27&thesis=3499
2. Sarmah S., Bhattacharyya D.K. A grid-density technique for finding clusters in satellite image // Patt. Recogn. Lett. – 2012. – Vol. 33. – P. 589-604.
3. Wang A., Wang S., Lucieer A. Segmentation of multispectral high-resolution imagery based on integrated feature distribution // Intern. J. Remote Sens. – 2010. – Vol. 31, N 6. – P. 1471-1483.

4. Dey V., Zhang Y., Zhong M. A review on image segmentation techniques with remote sensing perspective // ISPRS TC VII Symp. – 100 Years ISPRS, Vienna, Austria, July 5-7 2010. IAPRS. – Vol. XXXVIII, pt 7A. – P. 31-42.
5. Plea D.E., Whelan P.F. Image segmentation based on the integration of colour-texture descriptors. – A review // Patt. Recogn. – 2011. – Vol. 44. – P. 2479-2501.
6. Пестунов И.А., Бериков В.Б., Куликова Е.А., Рылов С.А. Ансамблевый алгоритм кластеризации больших массивов данных // Автометрия. – 2011. – Т. 47, № 3. – С. 49-58.
7. Пестунов И.А., Рылов С.А. Алгоритмы спектрально-текстурной сегментации спутниковых изображений высокого пространственного разрешения // Вест. КемГУ. – 2012. – № 4/2 (52). – С. 104-110.
8. Пестунов И.А., Бериков В.Б., Синявский Ю.Н. Сегментация многоспектральных изображений на основе ансамбля непараметрических алгоритмов кластеризации // Вест. СибГАУ. – 2010. – Т. 31, № 5. – С.45-56.
9. Gronau I., Moran S. Optimal implementations of UPGMA and other common clustering algorithms // Information Proc. Lett. – 2007. – Vol. 104, is 6. – P. 205-210.
10. Gao B.C. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. – 1996. – Vol. 58. – P. 257-266.
11. Борзов С.М., Нежевенко Е.С., Потатуркин О.И. Поиск объектов неприродного происхождения с использованием их структурных особенностей // Автометрия. – 2010. – Т. 46, № 5. – С. 36-42.

© И.А. Пестунов, С.А. Рылов, П.В. Мельников, Ю.Н. Синявский, 2013

ОБЛАЧНАЯ МНОГОАГЕНТНАЯ БАЗА ДАННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Пётр Алексеевич Калантаев

Институт вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, к.т.н., старший научный сотрудник лаборатории обработки изображений, тел. (913)3997691, e-mail: kln@ooi.sccc.ru

Облачные услуги центров природоресурсных данных на сегодня в состоянии подъема. Отраслевых исследователей прежде всего интересуют элементарные функции упорядочения и сохранения данных, привязка к геоданным, тематическая обработка, функции контроля качества и дружественный интерфейс пользователя в режиме он-лайн. Для перспективной технологии облачных услуг очень важен системный подход и методология открытых систем, масштабируемость и переносимость программного обеспечения на новые вычислительные платформы. В работе рассмотрена облачная многоагентная база данных исследования окружающей среды, описываемая XML –сценариями обработки данных природных явлений, включающих описания структуры данных и онтологии. Работа частично поддержана грантом РФФИ 13-07-00068.

Ключевые слова: облачные услуги, многоагентная база данных, XML, исследования окружающей среды.

CLOUDS OF MULTIAGENT DATABASE OF ENVIRONMENTAL RESEARCH

Piotr A. Kalantaev

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6, prospect Akademika Lavrentjeva, tel. (913)3997691, e-mail: kln@ooi.sccc.ru

Cloud services natural resource data centers are now able to climb. Industry researchers are primarily interested in the elementary functions of ordering and storage of data, linking to geodata, thematic processing, quality control function and user-friendly interface to the on-line. Promising technology for cloud services is very important systematic approach and methodology of open systems, scalability and portability of the software on the new computing platform. The paper considers a clouds of multiagent database of environmental research described XML-scenarios of processing of natural phenomena, including the description of the data structure and ontology. This work was partially supported by RFBR grant 13-07-00068.

Key words: cloud services, multi-agent database, XML, environmental research.

1. Введение.

Облачные услуги центров природоресурсных данных на сегодня в состоянии подъема. Отраслевых исследователей прежде всего интересуют элементарные функции упорядочения и сохранения данных, привязка к геоданным, тематическая обработка, функции контроля качества и графический интерфейс пользователя. Для перспективной технологии облачных услуг очень важен системный подход, разработка по методологии открытых систем, масштабируемость и переносимость программного обеспечения на новые вычислительные

платформы. Актуальной является разработка концепции облачной технологии многоагентной базы данных исследования окружающей среды [1]. Эта концепция ориентирована на клиент-серверную технологию, в которой программные агенты в «облаке» непрерывно анализируют и накапливают знания для оперативного формирования часто меняющихся сценариев и прогнозов природных явлений.

2. Программные агенты.

Программные агенты функционируют в распределенной базе данных как на «клиентах» так и на «серверах», в том числе мобильных, по ситуации самоопределяющих роль «клиента» или «сервера» в составе или вне базы данных. В ходе управляемых воздействий на окружающую среду и обработки сложных событий программными агентами создается обратная связь природного явления с базой данных мониторинга. Программные агенты в «облаке» непрерывно анализируют, обрабатывают и накапливают знания в семантической базе данных согласно сценариям и онтологиям предметной области, заданным по стандарту Semantic Web. Накопленные знания применяются для контроля и управления природными явлениями и ресурсами. Разрабатываемые программные агенты базы данных исследования окружающей среды интегрируют информацию о текущем и прогнозируемом состоянии природной среды и экологии заданной территории. Программные агенты поддерживают естественное соединение информации и знаний в процессе логических выводов согласно сценариям и прогнозам природных явлений, включая функцию обучения и самосовершенствования как на уровне инфраструктуры (адаптивная маршрутизация), так и на уровне клиентского приложения (адаптивные пользовательские интерфейсы). Интеллектуальные пользовательские интерфейсы значительно повышают производительность и качество обработки запросов от различных служб реагирования на природные явления. Логические схемы обработки программными агентами сложных событий природных явлений (ПЯ) описываются на языке XML двумя разделами: -базовые XML-сценарии обработки ПЯ, -динамически формируемые XML-сценарии обработки ПЯ, описывающие инфраструктуру данных текущего состояния ПЯ и его онтологию. Логические схемы позволяют программным агентам модифицировать структуры объектно-ориентированной базы данных ПЯ, чтобы логически-непротиворечиво агрегировать семантику сложно-структурированных геоданных по ходу их поступления и обработки.

3. Многоагентная система.

Для разработки предлагается многоагентная система исследования окружающей среды, подобная [2], в которой за сбор данных от сенсоров окружающей среды, их предварительную обработку и принятие решений, отвечают специалисты по природным ресурсам и явлениям. Процесс обработки данных включает в себя фильтрацию и восстановление данных в случае природных помех, искажающих данные сенсора. Многоагентная система автоматизирует значительную часть работ по принятию решений, оценке и интерпретации сенсорных данных и реализована в виде агентно-ориентированного приложения (Рис.

1), состоящего из трех слоев: - входного слоя, -слоя управления и обработки, - слоя распределения.

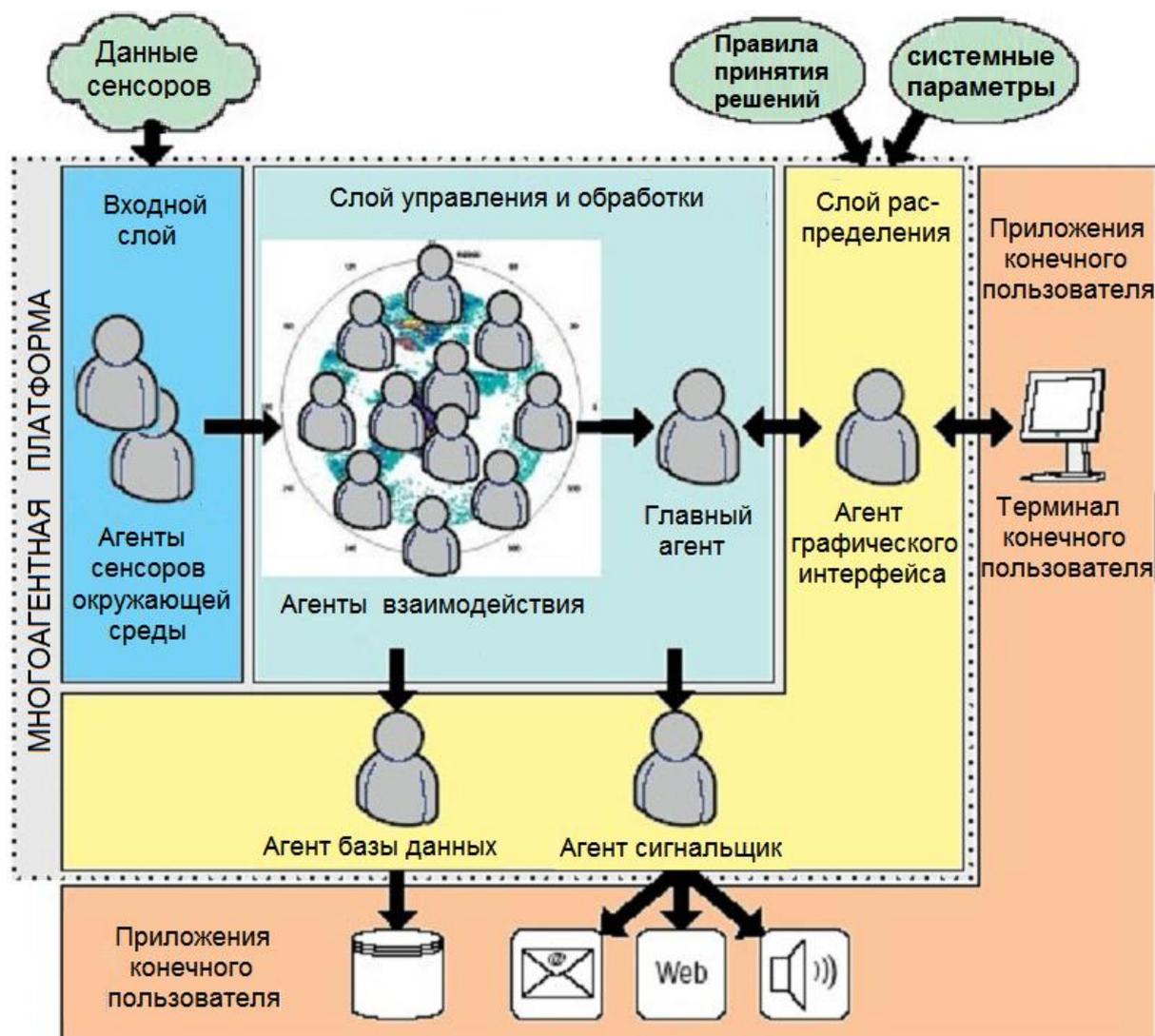


Рис. 1. Архитектура многоагентной системы исследования окружающей среды

В каждом слое для реализации функций системы определены роли агентов. Эти роли реализуются шестью типами автономных программно реализуемых агентов, взаимодействующих следующим образом:

Агент сенсоров окружающей среды принимает информацию, восстанавливает и фильтрует данные, нарушенные помехами от сопутствующих природных явлений.

Агенты взаимодействия, каждый из которых отвечает за определенный кольцевой сектор в пределах радиуса действия сенсора. Каждый агент взаимодействия извлекает вторичную информацию (рассчитывает показатели и индексы) в пределах своего сектора и применяет правила принятия решений, опреде-

ленные пользователем, для оценки природного явления (ПЯ) и выдачи сигнала тревоги на локальном уровне.

Главный агент собирает всю информацию, извлеченную агентами взаимодействия и принимает обобщающее заключение о состоянии ПЯ и отвечает за выдачу предупреждений в глобальном масштабе.

Агент графического интерфейса загружает программное ядро системы, визуализирует графику и карты на терминале конечного пользователя, предоставляет оператору доступ к агентам взаимодействия и главному агенту для настройки пользовательских параметров системы и правил принятия решений.

Агент базы данных подключается к системе базы данных и сохраняет оригинальные данные сенсоров, отфильтрованные и вторичные данные.

Агент сигнальщик при необходимости распространяет тревогу посредством E-mail- и Web- сообщений или звукового сигнала.

Взаимодействие между агентами основано на объектно-ориентированном языке Agent–Object Relationship Modeling Language (AORML) [3], формирующем целостную программную платформу взаимодействия агентов и пользователей системы.

4. Заключение.

Внедрение технологий многоагентных систем в различных отраслях народного хозяйства неслучайно и обусловлено тем, что системы на базе агентов обладают гибкостью, динамичностью и адаптивностью к изменениям внешнего окружения. Представленная в статье многоагентная система обеспечивает кооперативное взаимодействие агентов, действующих коллективно при посредстве межагентного языка и предполагает разработку (на языке Java) программных агентов в лабораторном «облаке» клиентских рабочих мест, стационарных и мобильных, на платформах Windows, Android и Windows Server 2012. В разработке используется методика JADE (Bellifemine et al., 2003) и спецификации FIPA (1999–2002) для реализации коммуникаций агентов.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 13-07-00068.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калантаев П.А.. Облачные технологии базы данных мониторинга природных явлений // Труды VIII Международного научного конгресса и выставки «ИНТЕРЭКСПО ГЕО-Сибирь-2012» – Новосибирск, 2012. – Т. 1, – С. 155-159.
2. Ioannis N. Athanasiadis, Marios Milis, Pericles A. Mitkas, Silas C. Michaelides. A multi-agent system for meteorological radar data management and decision support. // 12 June 2009, Environmental Modelling & Software, journal homepage: www.elsevier.com/locate/envsoft
3. G. Wagner: The Agent-Object-Relationship Meta-Model: Towards a Unified View of State and Behavior. Information Systems 28:5 (2003), pp. 475–504.

© П.А. Калантаев, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>В.Н. Никитин, З.В. Николаева.</i> Гидродинамический подход к определению зон подтопления при чрезвычайных ситуациях.....	3
2. <i>В.Н. Никитин, Т.В. Николаева.</i> Калибровка цифровой неметрической камеры по снимкам звездного неба	7
3. <i>В.Н. Никитин, А.В. Семенов.</i> Опыт построения ортофотоплана по данным крупномасштабной аэрофотосъемки, выполненной с использованием неметрической цифровой камеры	12
4. <i>И.Т. Антипов, Е.А. Кобзева.</i> Об использовании цифровых средне- и малоформатных камер для аэрофотосъемки.....	17
5. <i>И.Т. Антипов, В.Н. Белых.</i> К 50-летию производственного применения аналитической фототриангуляции в отечественных топографо-геодезических предприятиях.....	28
6. <i>А.С. Гордиенко, О.Н. Осипова.</i> Исследование алгоритмов создания и редактирования цифровых моделей рельефа, реализованных в программе PHOTOMOD	38
7. <i>С.А. Арбузов.</i> Автоматизированное определение координат деревьев по материалам аэро- и космических съёмок	43
8. <i>М.В. Петров.</i> Практический опыт использования БПЛА SWINGLET производства компании senseFLY (Швейцария).....	48
9. <i>Е.В. Стволозов, А.Ю. Быстров.</i> Моделирование передвижения «Лунохода-1» по поверхности Луны	54
10. <i>Е.П. Хлебникова, Д.П. Симонов.</i> Возможности применения методов статистического анализа при дешифрировании многозональных космических снимков	59
11. <i>Е.П. Хлебникова, Д.П. Симонов.</i> Исследование возможности использования цифровых снимков высокого разрешения для определения отражательных характеристик растительности.....	64
12. <i>А.П. Гук.</i> Развитие методов автоматизированной обработки многозональных космических снимков высокого разрешения на кафедре фотограмметрии и дистанционного зондирования СГГА	70

13. <i>С.О. Шевчук, В.Н. Никитин.</i> Способы определения истинной высоты аэрогеофизической вертолётной электроразведочной платформы	74
14. <i>Р.А. Попов, М.А. Алтынцев.</i> Влияние плотности точек воздушного лазерного сканирования на выделение отдельных деревьев	83
15. <i>В.С. Коркин, А.Е. Червова.</i> Разработка алгоритма и программы формирования цифровых макетных аэроснимков, образующих маршрут	88
16. <i>А.В. Черемушкин.</i> Исследование погрешностей интерполяции высот по картам мелкого масштаба при вычислении топографической редукции	92
17. <i>В.Н. Никитин, Е.Ю. Сахарова, А.Е. Червова.</i> Создание макетных снимков площадной аэрофотосъемки с использованием ArcGis	95
18. <i>А.А. Гук.</i> Исследование яркостных свойств и формы крон деревьев по материалам цифровой съемки ADS-40	101
19. <i>В.Б. Шлишевский.</i> Способ исправления кривизны спектральных изображений в призмённых видеоспектрометрах	106
20. <i>Т.А. Хлебникова, О.Б. Архипова.</i> Комбинированный способ создания цифровых топографических планов по материалам аэрокосмических съемок	111
21. <i>Т.А. Широкова, А.В. Антипов.</i> Построение трехмерных моделей зданий городских территорий на основе данных воздушного лазерного сканирования	116
22. <i>Т.Н. Чимитдоржиев, Г.И. Татьков, А.И. Захаров, И.И. Кирбижекова, Ц.А. Тубанов, М.Е. Быков.</i> Исследования подвижек ледового покрова южной котловины озера Байкал на основе радиолокационных и наземных измерений	124
23. <i>И.И. Кирбижекова, Т.Н. Чимитдоржиев, А.М. Гармаев, М.А. Гусев.</i> Картография лесных ресурсов Республики Бурятия на основе поляриметрических данных ALOS PALSAR и мультиспектральных данных SPOT5	129
24. <i>Т.Н. Чимитдоржиев, И.И. Кирбижекова, М.О. Лейбман, М.Е. Быков.</i> Исследование оползневых процессов и деформаций почвенного покрова полуострова Ямал на основе интерферометрических радиолокационных данных	134

25. <i>А.Л. Быков, А.С. Костюк, В.Л. Быков, Л.В. Быков, Л.В. Та- таурова, П.В. Орлов, П.М. Погарский.</i> Применение материалов аэро- фотосъемки с беспилотного летательного аппарата для картографиче- ского обеспечения археологических работ	139
26. <i>С.А. Ефимов.</i> Способ повышения контрастности сейсмограмм	145
27. <i>И.И. Амелин, З.А. Ляпидевская.</i> Импактные структуры Сибири.....	151
28. <i>С.М. Борзов, С.Б. Узилов.</i> Обнаружение выборочных рубок Караканского бора по данным спутника SPOT	156
29. <i>С.М. Борзов, А.О. Потатуркин.</i> Сегментация спутниковых изображений высокого разрешения с учетом их структурных особен- ностей	162
30. <i>П.А. Ким, О.П. Федоровых.</i> О методе естественной кластери- зации в задачах оптимизации межбюджетных трансфертов	168
31. <i>П.А. Ким.</i> Квазигиперболы в алгоритмах генерации масшта- бируемой модели рельефа	172
32. <i>В.С. Сидорова.</i> Исследование делимости кластеров, по- лученных с использованием гистограммного алгоритма Нарендры	176
33. <i>В.Н. Антонов, М.Г. Захватов, Ф.В. Пяткин.</i> Геопортал: ин- формационное обеспечение прикладных дистанционных исследований	182
34. <i>И.Г. Казанцев, В.П. Пяткин.</i> Использование преобразования Радона в полосе для реконструкции структуры грязевого вулкана	187
35. <i>В.П. Пяткин, А.Н. Рублев, Е.В. Русин, А.Б. Успенский.</i> Быст- рая радиационная модель для анализа данных спутниковых ИК-зондировщиков высокого спектрального разрешения	190
36. <i>В.В. Асмус, А.А. Бучнев, В.П. Пяткин.</i> Кластеризация данных в программном комплексе PlanetaMonitoring	195
37. <i>И.А. Пестунов, С.А. Рылов, П.В. Мельников, Ю.Н. Синявский.</i> Технология и программный инструментарий для сегментации спутниковых изображений высокого пространственного разрешения	202
38. <i>П.А. Калантаев.</i> Облачная многоагентная база данных ис- следования окружающей среды	209

CONTENTS

1. <i>V.N. Nikitin, Z.V. Nikolaeva.</i> The hydrodynamic approach to the definition of the zones of flooding in emergency situations	3
2. <i>V.N. Nikitin, T.V. Nikolaeva.</i> Calibration of digital non metric camera on the images of the star sky	7
3. <i>V.N. Nikitin, A.V. Sementsov.</i> Experience of orthophoto construction by large-scale aerial photographs taken with nonmetric digital camera	12
4. <i>I.T. Antipov, E.A. Kobseva.</i> About application of digital cameras with small or medium frames for aerial photography	17
5. <i>I.T. Antipov, V.N. Belich.</i> To the 50 anniversary of industrial application of analytical phototriangulation in the domestic geodetic enterprises	28
6. <i>A.S. Gordienko, O.N. Osipova.</i> Research of algorithms of creation and editing of digital elevation models in the PHOTOMOD program	38
7. <i>S.A. Arbuzov.</i> Automated coordinate determination on trees from aero-space imaging	43
8. <i>M.V. Petrov.</i> Practical experience of UAV SWINGLET application (senseFLY, Switzerland)	48
9. <i>E.V. Stovolosov, A.Yu. Bystrov.</i> 3D modeling movement «Lunokhod-1» on Moon surface	54
10. <i>E.P. Khlebnikova, D.P. Simonov.</i> Possibilities of application statistical analysis for interpretation of multispectral space images	59
11. <i>E.P. Khlebnikova, D.P. Simonov.</i> Investigation of digital high-resolution images application for plants reflectance determination.....	64
12. <i>A.P. Guk.</i> Development of high resolution multispectral space images automatied processing methods	70
13. <i>S.O. Shevchuk, V.N. Nikitin.</i> The height definition methods of geophysical aerial helicopter platform.....	74
14. <i>R.A. Popov, M.A. Altyntsev.</i> The effects of sampling density in airborne laser scanning to extract individual trees	83
15. <i>V.S. Korkin, A.E. Chervova.</i> Development algorithms and programs of digital mock-up images formations and forming a route from them	88
16. <i>A.V. Cheryomushkin.</i> Investigation of height interpolation errors by small-scale maps while calculating topographic reduction	92

17. <i>V.N. Nikitin, E.Yu. Saxarova, A.E. Chervova.</i> Establishment of the mock-up images for general coverage photography with use ArcGis	95
18. <i>A.A. Guk.</i> Investigation of trees head form and brightness properties from ADS-40 materials.....	101
19. <i>V.B. Shlishevsky.</i> The method of spectral field curvature correction in imaging spectrometers	106
20. <i>T.A. Khlebnikova, O.B. Arkhipova.</i> Combined method for creation of digital topographic plans on the basis of aerial photography and satellite survey	111
21. <i>T.A. Shirokova, A.V. Antipov.</i> Urban building three-dimension model construction based on laser data.....	116
22. <i>T.N. Chimitdorzhiev, G.I. Tat'kov, A.I. Zakharov, I.I. Kirbizhekova, T.A. Tubanov, M.E. Bikov.</i> Studies movements ice southern basin of lake Baikal by radars and terrestrial measurements	124
23. <i>I.I. Kirbizhekova, T.N. Chimitdorzhiev, A.M. Garmaev, M.A. Gusev.</i> Mapping forest resources of the Republic of Buryatia, based on ALOS PALSAR polarimetric data and multispectral data SPOT5	129
24. <i>T.N. Chimitdorzhiev, I.I. Kirbizhekova, M.O. Leibman, M.E. Bikov.</i> Study of soil cover deformation and landslides Yamal peninsula an interferometric radar data	134
25. <i>A.L. Bykov, A.S. Kostiuk, V.L. Bykov, L.V. Bykov, L.V. Tataurova, P.V. Orlov, P.M. Pogarsky.</i> Application of aerial photographs from unmanned aerial vehicles for cartographic support for archaeological work	139
26. <i>S.A. Efimov.</i> Method for increasing contrast seismograms	145
27. <i>I.I. Amelin, Z.A. Liapidevskaya.</i> Impact structures in Siberia.....	151
28. <i>S.M. Borzov, S.B. Uzilov.</i> Detection of shelterwood cutting in Karakansky boron by SPOT satellite data	156
29. <i>S.M. Borzov, A.O. Potaturkin.</i> Segmentation of high resolution satellite imagery based on its structural properties.....	162
30. <i>P.A. Kim, O.P. Fedorovykh.</i> About the method of the natural clustering in problems of optimization of the interbudgetary transfers	168
31. <i>P.A. Kim.</i> The quasihyperboles in algorithms of generation of scalable relief model	172
32. <i>V.S. Sidorova.</i> Separability analysis of the clusters obtained with use of Narendra histogram algorithm	176

33. <i>V.N. Antonov, M.G. Zachvatov, F.V. Pyatkin.</i> Geoportal: information support for applied remote sensing research	182
34. <i>I.G. Kazantsev, V.P. Pyatkin.</i> The use of the Radon transform with a strip support in a volcano structure reconstruction	187
35. <i>V.P. Pyatkin, A.N. Rublev, E.V. Rusin, A.B. Uspensky.</i> Fast radiative transfer model for satellite-based hyper spectral IR-sounders	190
36. <i>V.V. Asmus, A.A. Buchnev, V.P. Pyatkin.</i> Data clustering in PlanetaMonitoring software complex	195
37. <i>I.A. Pestunov, S.A. Rylov, P.V. Melnikov, Yu.N. Sinyavskiy.</i> Technology and software toolkit for segmentation of satellite high spatial resolution images	202
38. <i>P.A. Kalantaev.</i> Clouds of multiagent database of environmental research	209

Научное издание

IX Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2013

Международная научная конференция

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ И ФОТОГРАММЕТРИЯ, МОНИТОРИНГ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ, ГЕОЭКОЛОГИЯ

Т. 1

Сборник материалов

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *К.В. Ионко*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 11.04.2012. Формат 60 × 84 1/16

Печать цифровая.

Усл. печ. л. 12,79. Тираж 100 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел СГГА
630108, Новосибирск, 108, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГГА
630108, Новосибирск, 108, ул. Плахотного, 8.