

На правах рукописи

УДК 528.72

Никишин Юрий Александрович

**Разработка и исследование методов геометрической
коррекции и фотограмметрической обработки
материалов воздушной нестабилизированной
гиперспектральной съемки**

Специальность 25.00.34 – «Аэрокосмические исследования Земли,
фотограмметрия»

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва – 2011

Работа выполнена в ГОУ ВПО Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК).

Научный руководитель : доктор технических наук, профессор
Журкин Игорь Георгиевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Алчинов Александр Иванович

кандидат технических наук
Михайлов Александр Павлович

Ведущая организация: ОАО Научно-исследовательский институт
точных приборов «НИИ ТП»

Защита диссертации состоится « 21 » декабря 2011 г. в 12.00 час. на заседании диссертационного совета Д 212.143.01 при Московском государственном университете геодезии и картографии (МИИГАиК) по адресу: 105064, Москва, Гороховский пер., д. 4, зал заседаний Ученого совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИИГАиК.

Автореферат разослан « 18 » ноября 2011 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Б.В. Краснопевцев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Для повышения надежности дешифрирования в настоящее время большие надежды возлагаются на гиперспектральные методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), реализующие синхронный сбор информации о местности в нескольких достаточно узких спектральных каналах, охватывающих видимый и инфракрасный диапазоны спектра. Однако методы обработки таких данных мало разработаны, что делает важным развитие данного направления.

В то же время на государственном уровне утверждаются и претворяются в жизнь программы, направленные на обеспечение различных видов мониторинга страны и Земли в целом, подразумевающее создание и развитие космических систем нового поколения, оснащенных гиперспектральными датчиками.

Многие задачи исследования территории и, в особенности, различные виды мониторинга участков местности с быстрой изменчивостью ситуации, требуют получения объективных и постоянно обновляющихся данных. Задача может решаться путем проведения оперативных съемок, осуществляемых с определенной периодичностью (сезонной и даже суточной). Однако, эксплуатация специализированных для проведения подобных съемок авианосителей, оснащенных современными устройствами стабилизации аппаратуры и пространственной привязки получаемых изображений, достаточно дорога, а космическая съемка может не удовлетворять требованиям к качеству получаемых материалов или оперативности их получения.

Выход из сложившейся ситуации, когда требуются любые материалы об оперативной информации о местности, состоит в использовании летательных аппаратов, не оснащенных средствами стабилизации съемочной системы (в том числе малых и беспилотных). С этой целью в ФГУП «Госцентр «Природа» был разработан экспериментальный образец бортового видеоспектрометра (БВС) «Сокол–ГЦП», позволяющий осуществлять гиперспектральную аэросъемку с

легкомоторного самолета. Однако использование получаемых таким образом материалов БВС затрудняется значительными геометрическими искажениями изображений, вызванные отсутствием стабилизации съемочной камеры в полете. Поэтому тема данного исследования – разработка методов обработки гиперспектральных изображений (ГИ), получаемых в результате воздушной съемки без средств стабилизации, является актуальной.

Цель и задачи исследования. Целью диссертационной работы является разработка и исследование методов геометрической коррекции и фотограмметрической обработки материалов воздушной гиперспектральной съемки. Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ современного состояния и перспектив развития гиперспектрального метода дистанционного зондирования Земли;
- исследование геометрии построения изображения гиперспектрометром и расчет параметров съемки, обеспечивающих измерительное качество изображения в условиях отсутствия стабилизации камеры,
- разработка и апробация методики и технологии геометрической коррекции искаженных гиперспектральных изображений;
- оценка спектральных характеристик гиперспектральных изображений до и после их трансформирования.

Объект и предмет исследования. Объектом исследований является технология получения и обработки ГИ, а предметом исследования являются разработанные методы обработки ГИ. При выполнении исследований были использованы данные видеоспектральной съемки, полученные специализированным БВС «Сокол – ГЦП», а также другие материалы, предоставленные ФГУП «Госцентр «Природа».

Методы исследования. Теоретические и практические исследования выполнялись на основе последних достижений в области ДЗЗ и фотограмметрии.

Научная новизна результатов исследований заключается в том, что впервые разработан метод и технология геометрической коррекции

изображений, получаемых нестабилизированным бортовым гиперспектрометром при отсутствии регистрации элементов ориентирования, что обеспечивает эффективное использование гиперспектральных данных, получаемых в ходе проведения съемок с различных летательных аппаратов, при картографических работах и тематических исследованиях территории.

Защищаемые положения.

1. Метод геометрической коррекции изображений, получаемых нестабилизированным бортовым гиперспектрометром.

2. Методика оценки разрешающей способности и измерительной точности изображений при нестабилизированной гиперспектральной съемке.

3. Метод расчета параметров и оценки точности применительно к случаю космической гиперспектральной сканерной съемки.

4. Технология геометрической коррекции нестабилизированных гиперспектральных изображений по опорным линиям.

Практическое значение работы. Обработанные данные экспериментальной съемки использовались в рамках технического проекта ФГУП «Госцентр «Природа» по ФЦП «Комплексные меры противодействия злоупотреблению наркотиками и их незаконному обороту на 2005-2009 годы». Технология геометрической коррекции нестабилизированных гиперспектральных изображений принята к внедрению в составе «Опытных технологий обработки гиперспектральных данных». Результаты работы в части расчета параметров съемки авиационным гиперспектрометром с космического носителя были использованы в рамках НИР по ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на период 2009 – 2013гг. в ходе НИР МИИГАиК по государственному контракту № П885 от 18.08.2009.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований доложены и одобрены на конференции «Научное обеспечение агропромышленного комплекса Поволжья и сопредельных территорий» (г. Пенза, Пензенский НИИ сельского хозяйства, 30 июня – 3 июля 2009 г.).

Публикации. Основные результаты диссертационной работы изложены в 5 публикациях, из них 4 – статьи в журналах из списка ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 135 страницах, содержит 23 рисунка и 11 таблиц, состоит из введения, трех глав, заключения, 3 приложений, списка использованных источников из 112 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, формулируются цели и решаемые задачи, научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

Глава 1 посвящена анализу современного состояния и перспектив развития гиперспектральных методов ДЗЗ. Здесь рассмотрены принципы и специфика метода гиперспектральной съемки, основным отличием которого является возможность получения непрерывной спектральной картины местности в видимом и ИК-диапазонах при достаточно малой ширине каждого канала в отдельности. Это обеспечивает получение качественно новой информации, отражающей вариацию спектральной отражательной способности снимаемой территории.

В главе также приведен обзор современных отечественных и зарубежных сенсоров для гиперспектральной съемки авиационного и космического базирования. Совершенствование сенсоров в основном направлено на увеличение спектрального разрешения получаемых ГИ при сохранении высокой пространственной разрешающей способности.

Проведенный анализ задач, решаемых гиперспектральной съемкой, показал возможность ее использования в различных отраслях, например, при поиске и картографировании месторождений, изучении состояния почв, растительного покрова и др. Применение гиперспектральных методов обеспечивает успешное решение мониторинговых задач, решение которых другими традиционными методами ДЗЗ проблематично.

Обработка данных гиперспектральной съемки предполагает набор различных операций: визуализации, коррекции, улучшающих преобразований, трансформирования, классификации и моделирования. Их состав и порядок следования меняется в зависимости от решаемых задач.

Конечной целью обработки является тематическое дешифрирование объектов интереса, включающее их обнаружение, идентификацию и дифференциацию по принципу предпочтительности тех или иных признаков. Для эффективной идентификации объектов на ГИ необходимо сравнивать его с изображением, получаемым традиционными методами. При этом особую важность приобретают процессы коррекции геометрических искажений ГИ, что обуславливает актуальность темы исследования.

В заключительной части главы приведен краткий обзор программ, используемых для автоматизации процессов обработки и интерпретации ГИ.

Проведенный анализ современного состояния гиперспектрального метода ДЗЗ позволил сделать следующие выводы:

1. Важное качество гиперспектральной съемки – подробный спектральный портрет Земной поверхности, обеспечивающий возможность обнаружения объектов за счет различия их спектральных свойств.

2. За последнее десятилетие практическая заинтересованность в гиперспектральных данных сильно возросла. Об этом свидетельствуют многочисленные разработки гиперспектральных сенсоров и коммерческих систем для обработки ГИ как за рубежом, так и в России.

3. Получаемая гиперспектрометром информация приобретает значительную долю стоимости в процессе ее обработки и анализа.

4. Для эффективного использования получаемых гиперспектрометром данных требуется разработка и совершенствование методов и технологий их обработки.

Глава 2 посвящена анализу геометрии формирования ГИ и оценке его фотограмметрических свойств. Здесь рассматривается устройство и конструктивные особенности БВС «Сокол – ГЦП». Он представляет собой

оптико-электронную камеру, периодически (с определенной частотой съемки η) осуществляющую регистрацию спектральной картины полосы местности (в 105 спектральных каналах) в виде строки ГИ, состоящей из 500 пикселей.

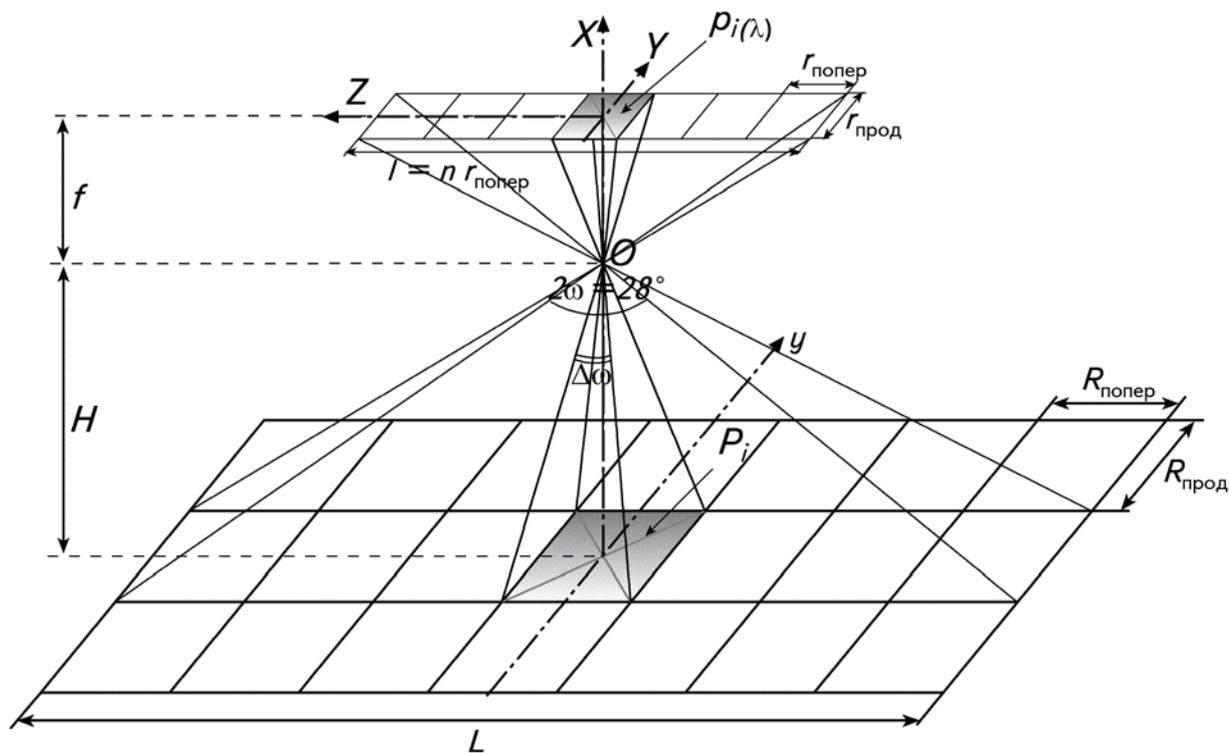


Рис. 1. Схема формирования изображения видеоспектрометром

Процесс формирования ГИ основан на принципе щелевого сканирования местности и показан на рис.1, где: H – высота съемки; f – фокусное расстояние камеры ($f = 33\text{мм}$); 2ω – поперечный угол поля зрения камеры ($2\omega = 28^\circ$); $\Delta\omega$ – поперечный угол поля зрения, соответствующий пикселю строки; $p_{i(\lambda)}$ – спектральные составляющие i -го пикселя строки изображения (105 каналов); $r_{\text{прод}}$ – продольный размер пикселя/строки ($r_{\text{прод}} = 16\text{мкм}$); $r_{\text{попер}}$ – поперечный размер пикселя строки ($r_{\text{попер}} = 32\text{ мкм}$); n – число пикселей в строке ($n = 500$); l – длина строки; P_i - проекция пикселя строки на местность; $R_{\text{прод}}$ – продольное разрешение пикселя на местности; $R_{\text{попер}}$ – поперечное разрешение пикселя на местности; L – ширина полосы местности, снимаемой БВС; y – направление полета.

Продольная развертка осуществляется в процессе поступательного движения авианосителя со скоростью V . Величина продольного

пространственного разрешения определяется подбором частоты $\dot{\eta}$ пропорционально скорости полета и высоте съемки.

Расчет параметров съемки осуществляется исходя из технических характеристик БВС и требуемой разрешающей способности изображения. Ниже приведены основные соотношения и соответствующие им числовые величины для идеального случая съемки в надир, исходя из цели получения изображения с разрешением на местности ≈ 1 м в продольном и поперечном к трассе полета направлениях:

$$R_{\text{попер}} = \frac{r_{\text{попер}} H}{f} = \frac{32 \text{ мкм} \cdot 1000 \text{ м}}{33 \text{ мм}} = 0,97 \text{ м} \approx 1 \text{ м}; \quad (1)$$

$$L = nR_{\text{попер}} = 2H \text{tg} \omega; \quad (2)$$

$$H = \frac{R_{\text{попер}} n}{2 \text{tg} \omega} = \frac{1 \text{ м} \cdot 500}{2 \cdot \text{tg}(14^\circ)} = 1002 \text{ м} \approx 1 \text{ км} \quad (3) \quad \text{или} \quad H = \frac{R_{\text{попер}}}{2 \cdot \text{tg}(\Delta \omega / 2)} \quad (3')$$

Величина $R_{\text{прод}} = VT = \frac{V}{\dot{\eta}}$ определяется смещением авианосителя вдоль трассы полета за период времени $T = 1/\dot{\eta}$, где $\dot{\eta}$ – кадровая частота. При скорости носителя V , выраженной в км/ч, эта формула примет вид: $R_{\text{прод}} (\text{м}) = \frac{V(\text{км/ч})}{3,6 \cdot \dot{\eta}}$. (4)

Нестабильность выдерживания параметров съемки (высоты полета, скорости полета и угла наклона камеры) вызывает изменение проекции пикселей на местности. Например, при экспериментальной съемке допускалось отклонение от заданной высоты $\delta_h = \pm 100$ м. В данном интервале величина $R_{\text{попер}}$, согласно (3), окажется в пределах 0,9 – 1,1 м, или общем виде:

$$\Delta R_{\text{попер}} = \left(\pm \delta \frac{2 \text{tg} \omega}{n} \right) = \left(\pm \delta \frac{2 \text{tg}(14^\circ)}{500} \right) = (\pm 0,0001) \delta, \quad (5)$$

т.е. при $\delta_h = 100$ м $\Delta R_{\text{попер}} \approx 0,01$ м. При отклонении скорости полета от заданной в пределах $\Delta V = 10$ км/ч $R_{\text{прод}}$ изменялось, согласно формуле (4), на величину $\Delta R_{\text{прод}} = \pm 0,007 \Delta V$, т.е. на 0,07 м.

Расчет оценки искажений ГИ из-за наклона камеры, обусловленного креном самолета, основан на последовательном решении прямоугольных

треугольников (рис. 2), исходя из паспортных характеристик прибора (ω , $\Delta\omega$) и рассчитанных по формуле (1) значений параметров съемки H и $r = 0,5R_{\text{попер}}$.

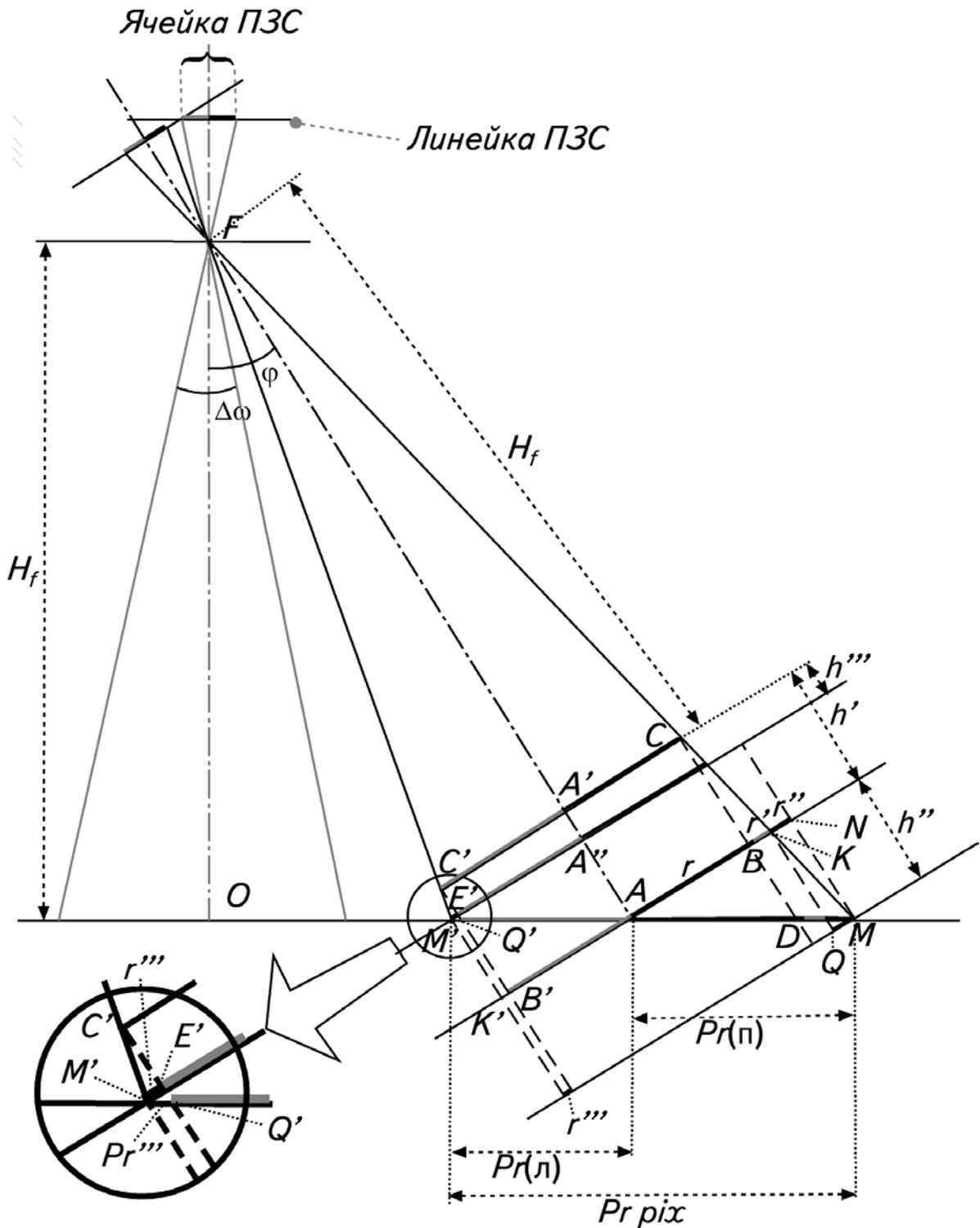


Рис. 2. Изменение проекции пикселя при наклоне камеры

На рис. 2: H_f – высота съемки; φ – угол отклонения камеры от точки надира; $\Delta\omega$ – поперечный угол поля зрения, соответствующий одному пикселю

строки; r – расчетный размер половины пикселей; r' , r'' – составляющие приращений к ширине охвата местности для половины пикселя из-за расхождения правого луча; r''' – составляющая приращения к ширине охвата местности для половины пикселя из-за расхождения левого луча; h' – приращение высоты для луча, проходящего через оптическую ось камеры; h'' и h''' – приращения высот для лучей, соответствующих краям пикселя; $Pr(п)$ и $Pr(л)$ – суммарные значения проекций для правой и левой половин пикселя на горизонтальную поверхность; $Pr\ pix$ – значение проекции целого пикселя.

Интегральное значение проекции пикселя $Pr\ pix$ при отклонении оптической оси камеры может быть рассчитано по формуле, вывод которой приведен в диссертации и в работе [2]: $Pr\ pix = \frac{R(1 + \cos \varphi)}{2 \cos \varphi [(\cos \varphi - \sin \varphi \operatorname{tg}(\Delta\omega/2))]}$. (6)

Применительно к анализируемым нестабилизированным ГИ $\operatorname{tg} \frac{\Delta\omega}{2} = \frac{R_{\perp}}{2H} = \frac{r}{H} = 0,0005$, а $\frac{\Delta\omega}{2} = \operatorname{arctg}\left(\frac{r}{H}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{0,5}{1000}\right) = 0,0287^{\circ}$, что соответствует паспортным данным БВС (угол $\Delta\omega$ не более $0,03^{\circ}$).

Оценка поперечных искажений, полученная при исследовании автором нестабилизированных ГИ [1], составила менее 30 м на местности, т.е. согласно рис. 2, предельная величина угла отклонения оси камеры φ составила: $\varphi = \operatorname{arctg}\left(\frac{OA}{H}\right) = \operatorname{arctg}\left(\frac{30}{1000}\right) = \operatorname{arctg}(0,0299) = 1,718^{\circ}$. Расчет суммарной проекции пикселя при данном наклоне камеры согласно (6) составил 1,0007 м, т.е. ее увеличение составило 0,07 % от номинальной.

Искажения ГИ, вызванные тангажем, выражаются локальными изменениями продольного масштаба строк, сформированных в моменты изменения продольного угла наклона. Приведенная в диссертации оценка подобных искажений для условий проведения экспериментальной съемки (скорость подъема/ снижения не более 2-3 м/с) показала значительное изменение продольного разрешения, в 1,5 - 2 раза от заданного (1 м).

Искажения, связанные с рысканием, обусловлены вращением камеры вокруг оптической оси. В результате этого при формировании смежных строк может происходить наложение или пропуск информации об отдельных участках местности. Подобные искажения минимальны в середине строк и увеличиваются к их краям.

Для их оценки было получено соотношение $R^{\text{рыск}} = R_{\text{прод}} \eta / \text{tg} \sum \psi_i$, откуда $\sum \psi_i = \text{atg} (R_{\text{прод}} \eta / R^{\text{рыск}})$. Для условий выполнения экспериментальной съемки (радиус поворота не менее 1 000 м) эта величина, отнесенная к промежутку времени между моментами регистрации смежных строк $t_i = 1/\eta$, составила $\sum \psi_i / \eta = 0,057^\circ$. Эта величина соответствует наложению/разрыву в пределах половины размера пикселя.

Таким образом, в случае нестабилизированной гиперспектральной съемки соблюдение допустимых отклонений параметров полета незначительно снижает разрешение и может обеспечить приемлемую точность воспроизведения ситуации. Полученные таким образом ГИ после проведения геометрической коррекции могут использоваться при картографических работах для обновления картографических документов масштаба 1: 5 000 и мельче.

В отдельном подразделе главы 2 произведен расчет параметров ГИ применительно к использованию авиационных сканеров на **космических** носителях. Выявлена необходимость значительного увеличения продольного и поперечного разрешения при съемке из космоса, для их решения предполагается 2 подхода [5]:

1. Увеличение числа (n) пикселей в сенсорной линейке сканера (при неизменном фокусном расстоянии) позволяет сохранить L , при этом необходимо уменьшать размер элементов сенсорной линейки, а продольное разрешение должно обеспечиваться увеличением частоты сканирования.

2. Увеличение фокусного расстояния (f), но при этом значительно сужается угол поля зрения камеры (2ω), что уменьшает ширину полосы обзора,

и также влечет за собой необходимость уменьшения продольной проекции пикселя (за счет увеличения частоты сканирования).

Расчеты показали, что для средневысотного спутника типа «Ресурс» с гиперспектрометром «Сокол-ГЦП» требуемое разрешение (5 и 10 м) обеспечивается объективами с фокусным расстоянием соответственно 3 и 1,5 м. Наиболее проблематичным является уменьшение величины $R_{\text{прод}}$, ограничиваемое возможностями увеличения частоты сканирования строк сканером. Возможно, переход на более совершенную элементную базу позволит решить эту проблему.

Оптимальным подходом к разработке космической *гиперспектральной съемочной системы* представляется увеличение фокусного расстояния объектива с одновременным увеличением количества ячеек n в линейке ПЗС. Для увеличения числа пикселей в линейке могут быть использованы нескольких секций, а для обеспечения продольного разрешения – многострочную линейку.

Глава 3 посвящена методам обработки данных гиперспектрометрии. Здесь решается задача предварительной геометрической коррекции ГИ, полученных при отсутствии стабилизации съемочной системы, что обуславливает их значительные геометрические искажения. В частности, прямолинейные (на местности) участки дорог и контуров сельскохозяйственных угодий, на использованных в работе ГИ представляют собой волнистые линии, что обусловлено креном самолета на отдельных участках маршрута съемки, вибрацией, боковым сносом и т.п. Искажения носят случайный характер и, при отсутствии регистрации параметров внешнего ориентирования (на настоящий момент такая возможность в БВС «Сокол-ГЦП» отсутствует) не подлежат исправлению путем внесения систематических поправок.

В связи с этим была предпринята попытка создания методов первичной обработки данных, в частности, оригинальной *методики и технологии геометрической коррекции ГИ по опорным линиям*, предполагающей, что

основные искажения ГИ обусловлены поперечными отклонениями оси съемки, а все другие причины искажений достаточно малы. Это позволяет преобразовывать искаженные съемочные материалы в изображения, пригодные для дальнейшей фотограмметрической обработки и использования в ГИС для решения практических задач – создания ортофотопланов и предметной классификации объектов.

Методической основой геометрической коррекции является трассировка (векторизация) и последующее сравнение местоположения идентичных линейных объектов, одинаково четко опознаваемых как на полученном гиперспектрометром изображении, так и на опорном изображении – ортофотоплане или карте. Такими объектами могут быть дороги, контуры сельскохозяйственных полей, лесополосы и пр. Задача сводится к нахождению идентичных «опорных» линий на этих двух изображениях [1, 5]. Выбранные линии рассматриваются в качестве базовых, по которым определяется требуемое для каждой строки смещение.

Опорное изображение может создаваться синхронно с ГИ. При съемке ровной поверхности можно обойтись без создания ортофотоплана, полученные цифровой камерой снимки можно считать близкими к плановому изображению.

На основе разработанной методики была создана программа GIPERCORRECTOR, обеспечивающая автоматизированное построчное исправление всего спектрального ряда изображений маршрута гиперспектральной съемки. Получаемое после обработки изображение сохраняет фотометрические характеристики исходного ГИ, но геометрически приближено к виду, наблюдаемому на опорных изображениях.

Технология геометрической коррекции включает следующие этапы:

1. Подготовка параметров коррекции, которая заключается в формировании массива смещений для строк ГИ. Для этого из массива ГИ (представленного в формате *.IMA) формируется растровое изображение наиболее информативного для измерения объектов местности канала в формате BMP. Это изображение служит для нанесения на него (с использованием

программы-векторизатора) коррекционных линий 2-х типов: линий контуров на ГИ (искаженных линий) и опорных линий – линий того же самого контура на опорном изображении. Для векторизации использовалось СПО ГИС «Панорама».

В результате должно быть получено изображение с парами опорных линий, нанесенными разными цветами (рис.3). На основе анализа этого изображения в программе GIPERCORRECTOR строится массив смещений.

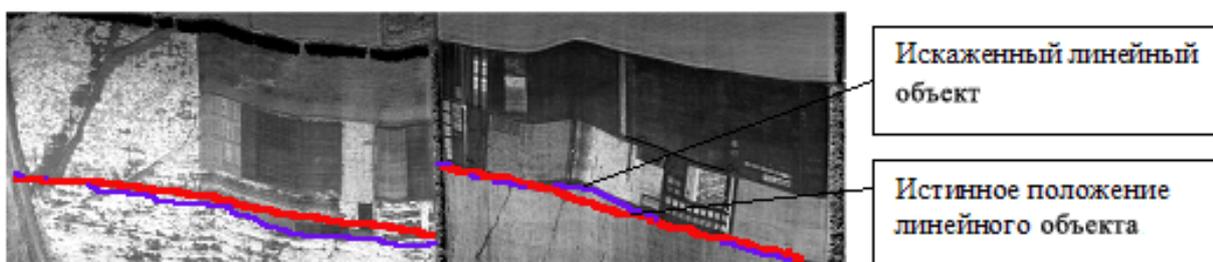


Рис 3. Изображение с нанесенными опорными линиями

2. Собственно коррекция – заключается в загрузке в программу данных исходного ГИ (в формате IMA) и трансформировании каждой его строки (массива спектральных данных, соответствующего полосе местности). На выходе формируется скорректированное ГИ, также в формате IMA. Геометрическая коррекция ГИ заключается лишь в смещении его строк относительно друг друга согласно вычисленной для них величине смещения, с заполнением фоновыми пикселями полей, образующихся с левого или правого краев каждой строки (рис. 4). Для исключения фоновых пикселей при дальнейшем анализе и обработке скорректированного изображения может быть использована растровая маска.

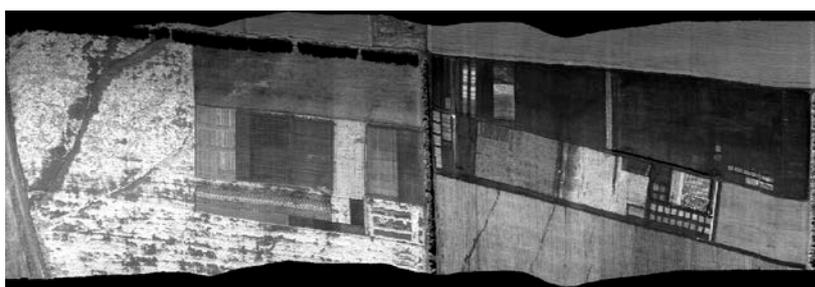


Рис. 4. Скорректированное изображение

Технологии обработки гиперспектральных изображений

предполагают проведение дальнейших преобразований, направленные на решение главнейших практических задач – создания ортофотопланов и предметной классификации объектов.

Классификация является одним из наиболее сложных процессов в обработке изображений, требующим разработки специфических подходов при решении каждой конкретной задачи распознавания.

Важным условием успешной классификации изображений является отсутствие преобразований спектральных характеристик исходных данных. Такие преобразования имеют место в процессах трансформирования (поворот, масштабирование и пр.), следствием чего является перепроецирование пикселей оригинальных изображений с пересчетом численных значений яркостей пикселей. В этом смысле изображения, прошедшие предварительную обработку по методике геометрической коррекции, могут, как и исходные ГИ, без ограничений использоваться для классификации, поскольку их пиксели сохраняют неизменными характеристики спектральной яркости, содержащиеся в первичном файле IMA.

Трансформирование ГИ в требуемые картографические проекции осуществляется с целью их последующего использования в ГИС. Для трансформирования можно применить существующие технологии трансформирования изображений, реализованные в большинстве программных продуктов, работающих с картами и изображениями ДЗЗ (ERDAS, ФОТОМОД, ENVI, MapInfo, ArcGis и др.).

На основе предложенной методики и программы GIPERCORRECTOR разработана технология геометрической коррекции ГИ, полученных БВС без стабилизации съемочной камеры в полете. Это позволяет получить удовлетворительную точность отображения ситуации и обеспечивает возможность их дальнейшего использования. Технология геометрической коррекции ГИ является составной частью интегрированной технологической схемы обработки гиперспектральных данных, приведенной на рис. 5, и

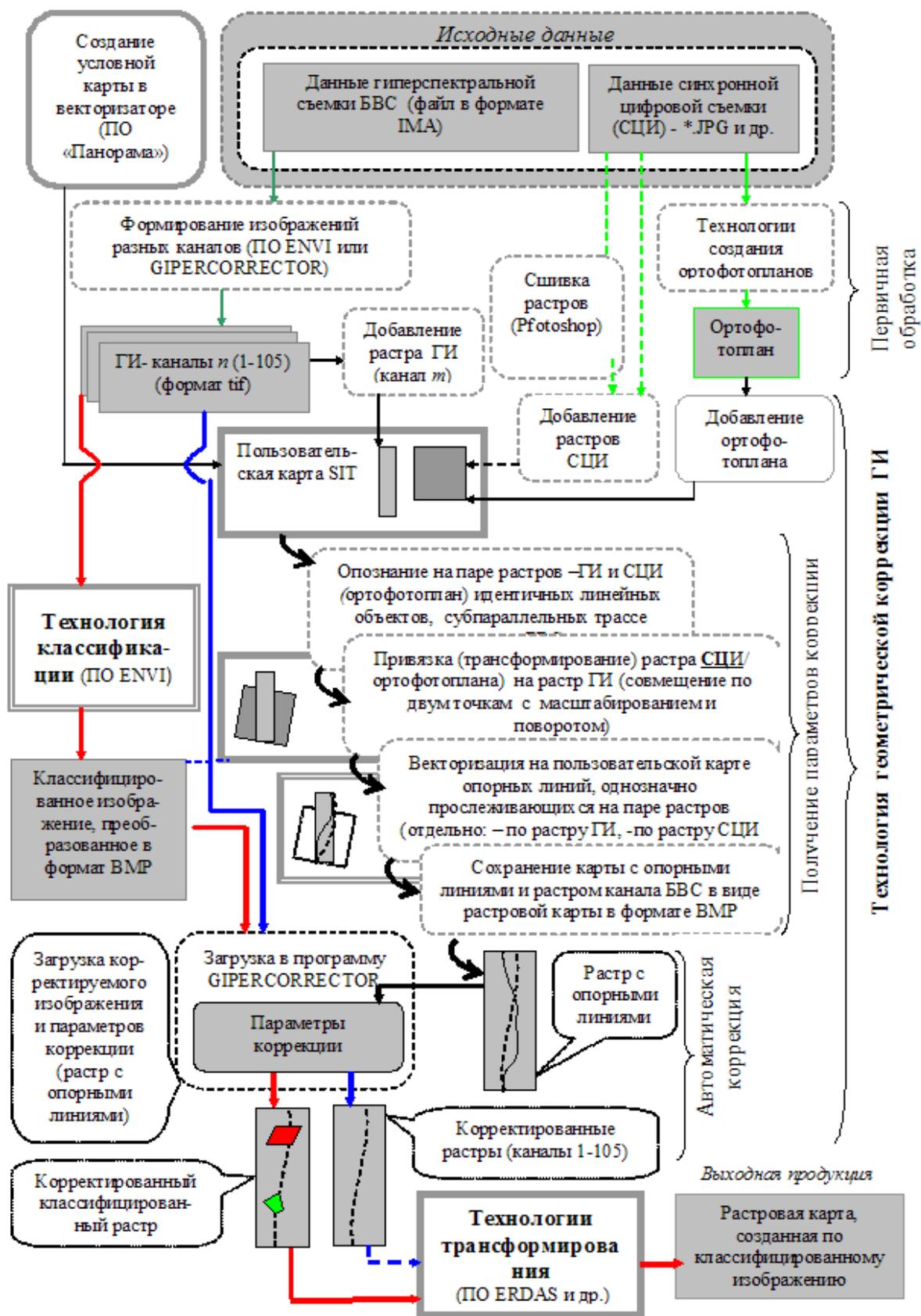


Рис. 5. Технологическая схема обработки данных, получаемых при нестабилизированной гиперспектральной съемке

состоящей из процедур подготовки, преобразования, классификации и отображения данных.

Разработанная автором технология геометрической коррекции и полученные по ней скорректированные ГИ использовались в научно-производственных разработках ФГУП «Госцентр «Природа» и реализованы в составе Опытных технологий обработки гиперспектральных данных [4], направленных на исследование проблем анализа спектральных характеристик ГИ с целью распознавания различных видов растительности, в частности, выделение ареалов произрастания растений, содержащих наркотические вещества.

В работе также рассмотрены вопросы **анализа** гиперспектральных изображений. Анализ проводился с помощью специально разработанного инструментария анализа ГИ, реализованного в программе GIPERCORRECTOR в виде отдельного модуля анализа изображений, позволяющего обрабатывать данные непосредственно в формате IMA.

Произведена оценка изменения спектральных характеристик ГИ до и после трансформирования. Для этого сравнивались интегральные значения спектральных коэффициентов яркости (СКЯ) пикселей по каждому из каналов исходного и скорректированного трансформированного ГИ.

Анализ выполнялся как для всего изображения, так и для каждого из отдельных участков – эталонов различных типов растительности. В последнем случае методика анализа основывалась на использовании изображений-масок для пикселей каждого из эталонных объектов. Полученные результаты представлены на рис. 6 в виде графиков зависимости СКЯ от длины волны.

Результаты анализа показывают влияние процесса трансформирования, более значимое для всего изображения в целом и, в меньшей степени, для отдельных эталонных участков.

Также было произведено сравнение полученных результатов анализа с данными наземного спектрометрирования, соответствующими моменту проведения гиперспектральной съемки (июнь 2008 г.). Графики наземных

дополнительного фактора для распознавания или, по крайней мере, для выделения участков с различной растительностью.



**Рис. 7. Графики спектральных коэффициентов яркости для двух
разновременных гиперспектральных съемок (сплошные линии – до
цветения, пунктирные – после цветения)**

Каждый из видов анализа проводился как по исходным данным, так и по скорректированным ГИ (с использованием маски), результаты анализа показывают идентичные результаты.

Технологии обработки данных гиперспектральной съемки обычно включают в себя следующие основные этапы: геометрическая коррекция, классификация и трансформирование. Их последовательность может осуществляться в рамках трех возможных стратегий [3]:

- 1) Коррекция → Классификация → Трансформирование;
- 2) Коррекция → Трансформирование → Классификация;
- 3) Классификация → Коррекция → Трансформирование.

Каждая из стратегий имеет свои положительные и отрицательные стороны, целесообразность применения той или иной стратегии определяется в каждом конкретном случае.

При реализации стратегии 1 классифицируемые растры сохраняют пиксельные яркостные характеристики исходных данных. Однако пока изображение остается не трансформированным, привлечение позиционных данных о классифицируемых объектах (ГИС и цифровые карты) при создании обучающих выборок невозможно.

Стратегия 2 предполагает трансформирование ГИ до начала процедуры классификации. Однако, трансформирование приведет к изменениям спектральных характеристик пикселей, что, в свою очередь, это может привести к снижению или потере информации при распознавании объектов по гиперспектральным данным. Использование для классификации трансформированных снимков может быть полезно при выборе обучающих участков по объектам, которые практически неразличимы на отдельном ГИ, но позиционное положение которых выявлено другими методами и отображено на карте. Подобными объектами для обучения могут быть, например, уже обнаруженные очаги загрязнений, мины и пр., что позволит подобрать параметры классификации с целью выявления аналогичных объектов на всей территории, охватываемой съемкой.

Стратегия 3, как и стратегия 1, позволяет привлекать для классификации весь спектр каналов и любые сочетания изображений, которые сохраняют характеристики спектральной яркости, полученные при съемке (преобразование спектральных значений пикселей не производится). По сравнению со стратегией 1 основным недостатком стратегии 3 является то, что на некорректированных (и порой сильно искаженных) снимках затруднено опознание и прослеживание границ объектов местности, используемых для обучения в качестве объектов цели. Кроме того, пока классифицируемый снимок не трансформирован, затрудняется использование возможностей ГИС для его распознавания.

Соблюдение баланса между преимуществами и недостатками каждой из рассмотренных стратегий обработки ГИ в значительной мере контролируется техническими условиями и задачами конкретных исследований.

Полученные в процессе летных испытаний гиперспектральные данные проходили обработку в соответствии со стратегией 3. Классификация, ориентированная на задачи выявления ареалов произрастания и определение состояния различных сельскохозяйственных культур, осуществлялась с использованием методов распознавания с обучением в ПК ENVI. Классифицированные изображения подвергались геометрической коррекции по параметрам, полученным параллельно для неклассифицированного изображения. Полученные классифицированные и скорректированные изображения затем подвергались стандартным технологиям трансформирования с целью получения растровых карт, отображающих классы автоматически выделенных объектов цели в определенной картографической проекции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследования разработаны методические и технологические решения для предварительной обработки гиперспектральных изображений, полученных при нестабилизированной аэросъемке. При этом автором получены следующие основные результаты :

1. Разработан метод геометрической коррекции изображений, получаемых нестабилизированным бортовым гиперспектрометром;
2. Создана технология геометрической коррекции нестабилизированных гиперспектральных изображений по опорным линиям;
3. Метод расчета параметров и оценки точности гиперспектральных изображений авиационных сканеров применен к случаю космической съемки.

Разработанная технология геометрической коррекции позволяет снизить временные, трудовые и финансовые затраты на проведение съемки и сократить сроки получения актуальной информации о местности, что дает возможность

применить данную технологию для задач мониторинга.

Использование технологии геометрической коррекции по опорным линиям может быть эффективным при исследовании и контроле состояния линейных геотехнических систем (железных дорог, трубопроводов и пр.), требующих периодического проведения повторных съемок с применением специальных, в том числе и гиперспектральных, датчиков. Использование в данном случае в качестве опорных линий для геометрической коррекции плановых данных о самом контролируемом объекте открывает возможность широкого применения материалов съемок, проводимых с легкомоторных авианосителей без гиросtabilизирующих устройств.

Результаты диссертационной работы используются в составе «Опытных технологий обработки гиперспектральных данных» при выполнении научно-производственных работ в ФГУП «Госцентр Природа» и могут быть также внедрены на предприятиях Службы государственной регистрации, кадастра и картографии.

Таким образом, поставленная цель диссертационной работы достигнута, а предусматриваемые ею задачи реализованы.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Журкин И.Г., Никишин Ю.А. Методика и технология геометрической коррекции нестабилизированных изображений бортового гиперспектрометра. // Изв. ВУЗов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2010. – № 5. – С.86-92.

2. Журкин И.Г., Никишин Ю.А. Расчет параметров формирования изображений, полученных в условиях нестабилизированной гиперспектральной аэросъемки. // Изв. ВУЗов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2011. – № 4. – С. 47-52.

3. Журкин И.Г., Карпухин С.С., Карпухина О.А., Никишин Ю.А. Стратегии обработки гиперспектральных изображений в задачах мониторинга возделывания сельскохозяйственных культур. // «Геодезия и картография». – 2011. – № 1. – С. 37-42.

4. Никишин Ю.А. Перспективы развития гиперспектральной съемочной системы космического базирования. // Изв. ВУЗов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2011. – № 6. (в печати)

5. Никишин Ю.А., Карпухина О.А. Геометрическая коррекция нестабилизированных гиперспектральных изображений. // Научное обеспечение агропромышленного комплекса Поволжья и сопредельных территорий: Материалы науч. конф., посвященной 100-летию Пензенского НИИ сельского хозяйства (г. Пенза, 30 июня – 3 июля 2009 г.). – Пенза: РИО ПГСХА, 2009. – С. 45-53.