

## **ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПО РАЗЛИЧНЫМ ТИПАМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

*Лариса Геннадьевна Евстратова*

Государственный университет по землеустройству, 105064, Россия, г. Москва, ул. Казакова, 15, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии, тел. (499)261-53-86, e-mail: lge\_21@mail.ru

В работе отражены некоторые особенности мониторинга земель сельскохозяйственного назначения по различным типам аэрокосмических снимков. Отмечается, что в последнее время относительно доступными стали радиолокационные, многоспектральные данные высокого и среднего пространственного разрешения, а также материалы с беспилотных летательных аппаратов. В связи с этим расширился круг задач, которые возможно решать с использованием аэрокосмических снимков. Рассмотрены основные теоретические вопросы совмещения разновременных изображений. Обсуждаются алгоритмы и методы трансформирования снимков, а так же результаты исследования алгоритмов, которые используются в стандартных программных продуктах. Отмечается необходимость в разработке новых методов, направленных на комплексный анализ аэрокосмических снимков различных типов. Рассматриваются некоторые аспекты планирования экспериментальных работ для исследования различных этапов технологии обработки изображений для автоматизированного дешифрирования, которые позволят повысить достоверность и оперативность мониторинга земель сельскохозяйственного назначения.

**Ключевые слова:** мониторинг сельскохозяйственных земель, аэрокосмические снимки, разновременные снимки, трансформирование, автоматизированное дешифрирование.

## **PECULIARITIES OF MONITORING OF AGRICULTURAL LANDS USING VARIOUS TYPES OF AEROSPACE IMAGES**

*Larisa G. Evstratova*

State University of land use planning, 15, Kazakova St., Moscow, 105064, Russia, Ph. D., Associate Professor of Department of Cartography, phone: (499)261-53-86, e-mail: lge\_21@mail.ru

Some peculiarities of agricultural lands monitoring using various types of aerospace images are reflected in the paper. It is noted that radar, multispectral data of high and medium spatial resolution, as well as materials from unmanned aerial vehicles recently became available. In this regard, the range of tasks that can be solved by using aerospace images expanded. The main theoretical issues of combining multi-temporal images are considered. Algorithms and methods of transformation of images are discussed, as well as the results of the researches of algorithms that are used in standard software. The necessity of developing new methods aimed at comprehensive analysis of aerospace images of different types is noted. Some aspects of planning of experimental works to research the various stages of image processing technology for automated interpretation, which will improve the reliability and efficiency of agricultural lands monitoring, are considered.

**Key words:** agricultural lands monitoring, aerospace images, transformation, multi-temporal images, automated interpretation.

## *Введение*

Министерство сельского хозяйства РФ запустило ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство». Целью проекта является цифровая трансформация сельского хозяйства посредством внедрения цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в агропромышленном комплексе (АПК) и повышение производительности труда на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях в 2 раза к 2024 году [1]. Данный проект является частью действующей программы «Цифровая экономика Российской Федерации». В настоящее время создана «Единая федеральная информационная система земель сельскохозяйственного назначения» (ЕФИС), которая предназначена для повышения эффективности использования земельных ресурсов. В системе, доступна информация о землях сельскохозяйственного назначения, их местоположении, состоянии и фактическом использовании регионами России. В связи с огромной площадью территории нашей страны, возникает задача актуализации данных.

Одним из оперативных и достоверных методов получения актуальной информации являются данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Несмотря на существенные достижения в области создания систем дистанционного мониторинга различного назначения [2, 3], блок автоматического дешифрирования реализован только для узкого класса объектов, причем в основном по однотипным данным.

Развитие многоспектральных, гиперспектральных, радиолокационных, лазерных, беспилотных летательных систем привело к необходимости разработки автоматизированных методов дешифрирования материалов аэрокосмических съемок в комплексе. Данная задача является весьма актуальной и востребованной, в том числе при решении задач, возникающих при сельскохозяйственном мониторинге: состояние пастбищ; мониторинг хода роста и состояния агрокультур; прогнозирование сроков уборки и урожайности; оценка влияния и предотвращение последствий паводка и т.п.

В работе рассматриваются теоретические вопросы совмещения разновременных изображений и некоторые аспекты планирования экспериментальных работ для исследования различных этапов технологии обработки изображений для повышения достоверности мониторинга.

## *Методы и материалы*

На большие территории визуальный анализ данных ДЗЗ малоэффективен, поэтому активно ведутся исследования по разработке эффективных алгоритмов автоматизированного дешифрирования снимков. При мониторинге территорий выполняются процессы дешифрирования и выявления изменений по разновременным снимкам. Сложность совместной обработки разновременных изображений разного типа связана с наличием большого количества факторов, поэто-

му для обработки таких данных применяют различные автоматизированные алгоритмы, которые существенно отличаются [4–6].

Для достоверного выявления изменений и дешифрирования необходимо точно совместить (трансформировать) разновременные снимки. Технология трансформирования снимков достаточно отработана, но при условии необходимого количества требуемой точности опорных точек. Задача поиска необходимого количества соответствующих (опорных) точек не тривиальна, это обусловлено следующими факторами:

- временная разница получения исходных данных, используются топографические карты, (достаточно сложно опознать на карте и аэрокосмических снимках соответствующие точки);

- отсутствие ясных признаков границ или изменение контуров угодий, землепользований (когда большую часть изображения занимают сельскохозяйственные земли).

Автором разработана структурная модель изменения точности на каждом этапе фотограмметрической обработки снимков, в том числе при совмещении разновременных многоспектральных изображений. Модель основана на «гибкости» цифровых технологий обработки снимков [7], которая позволяет, в зависимости от требований к точности по одним и тем же материалам, получать конечные продукты переменного масштаба (карты, ортофотопланы, ЦМР, измерительные 3D модели), метрическая точность которых, в свою очередь, зависит от внутренней метрической точности исходных изображений [8].

Под внутренней метрической точностью изображения будем понимать измерительные свойства снимков, характеризующиеся остаточными ошибками, вызванными расхождениями между истинными координатами точек на снимках и координатами, вычисленными в соответствии с математической моделью, выбранной для описания снимков [8]:

$$v(x, y) = \|F_1(x, y) - F_2(x, y)\|,$$

где  $F_1(x, y)$  – функция, описывающая истинное положение точек на снимке;

$F_2(x, y)$  – вычисленные значения координат, определяющих положения точек на снимке в соответствии с выбранной математической моделью.

Внутренняя метрическая точность снимков зависит как от свойств самого изображения, так и от математической модели, используемой для его описания и последующей фотограмметрической обработки. На основе разработанной структурной модели изменения точности предложено сохранять данные на определенных уровнях обработки, которые являются «поворотными» в плане изменения точности [8]. Таким образом возможно управлять процессом обеспечения точности.

При цифровом трансформировании происходят два процесса: геометрические преобразования изображения (растяжение, сжатие) и яркостные преобразования, обеспечивающее получения корректного (неразрушенного изображе-

ния). Это отражается как на точности измерения пространственных координат, так и на изобразительном качестве трансформированного изображения. Разработанные алгоритмы трансформирования направлены на высокую метрическую точность его результатов [9–11]. Мало внимания уделяется второй составляющей процесса цифрового трансформирования, это перенос плотностей (интерполяция яркостей) исходного снимка в плотности пикселей трансформированного снимка.

При цифровом трансформировании применяются различные методы интерполяции яркостей [12]. Наиболее широко применяются методы «ближайшего соседа», билинейной интерполяции и сплайн-функции (часто – Cubic Convolution). Проблемы, возникающие на этом этапе обработки, рассматриваются в большей степени в смежной дисциплине – цифровая обработка сигналов, например, в работах [13–14]. В процессе интерполяции яркостей при трансформировании рассчитываются новые значения яркостей, что влияет на структуру изображения объектов на получаемом снимке, т.е. взаимное расположение точек (элементов) изображения.

При дешифрировании разновременных снимков применяются автоматизированные алгоритмы, чаще всего основанные на измерениях спектральных яркостей [4, 15, 16]. Таким образом, процесс интерполяции яркостей оказывает влияние на автоматизированное дешифрирование и требует проведения исследований по данной тематике.

Рассмотрим некоторые особенности мониторинга земель сельскохозяйственного назначения по аэрокосмическим снимкам, которые необходимо учитывать:

- фенологические особенности развития различных культур;
- сложность получения одинаковых условий съемки на одну территорию для оценки коэффициентов спектральной яркости, без учета влияния внешних факторов изменяющихся во времени.
- региональные особенности, влияющие на динамику различных типов культур и растительности (особенности климата, рельефа, почв, поверхностных подземных вод);
- мероприятия по повышению плодородия почв (внесение удобрений и т.п.);
- создание точных моделей, для определения «нормального» развития культур с учетом региональных особенностей;
- использование базы данных границ земель сельскохозяйственного назначения (каждого типа растительности) и многолетних рядов качественных, количественных характеристик для проведения анализа состояния растительности и использования земель по назначению.

Автор, при участии профессора А.П. Гука, М.А. Алтынцева, С.А. Арбузова, А.С. Гордиенко и других, в течение ряда лет занимался исследованиями методов автоматизации дешифрирования по многоспектральным космическим снимкам среднего и высокого пространственного разрешения. В работах [4–6,

11, 15–17] показаны особенности применения алгоритмов дешифрирования и выявления изменений в лесных массивах по многоспектральным космическим снимкам высокого и среднего пространственного разрешения и предложены методики выделения изменений основанные на разработанных автоматических алгоритмах дешифрирования аэрокосмических снимков. Предложенные методики могут быть адаптированы и применяться при аэрокосмическом мониторинге задач сельского хозяйства. Для этого планируется проведение экспериментальных работ, в которых будут учитываться особенности мониторинга земель сельскохозяйственного назначения.

Планирование экспериментальных работ включает:

- определение периодичности получения аэрокосмических материалов с учетом фенологических особенностей развития различных культур;
  - поиск комплексных дешифровочных признаков, которые позволят достоверно описывать типы растительности и состояния угодий;
  - создание модели выбора объектов-эталонов на местности и эталонов на снимках;
  - адаптацию существующих и разработку специальных алгоритмов, основанных на предложенных комплексных дешифровочных признаках;
  - разработку критериев оценки эффективности алгоритмов, методик и технологий мониторинга.
- проведение исследований по оценке эффективности и рентабельности работ по применению методики трехмерного моделирования по материалам БПЛА для классификации типов, оценки состояния (плотности, высоты) культур, динамики оврагообразования и т.д.

Работы по исследованию влияния методов интерполяции яркостей были проведены по многоспектральным изображениям QuikBird, Sentinel-2.

### ***Результаты***

Исследовано влияние методов интерполяции яркостей при трансформировании изображений на точность определения координат точек. Трансформирование многоспектральных изображений QuikBird, Sentinel-2 выполнялось в программном обеспечении ENVI, с использованием полиномиальной модели (второй степени) по восьми опорным точкам равномерно расположенным по периметру и в центре. Выбор расположения точек обоснован ранее проведенными автором исследованиями и другими исследователями [8, 18]. Координаты опорных точек, используемых для трансформирования, соответствуют созданию картографической продукции масштаба 1:2 000. Многоспектральные снимки были разделены на фрагменты, что позволило применить более простые математические модели (например, полиномы первой, второй степени), и снизить необходимое количество опорных точек и временные затраты на обработку. Для оценки точности вычислены средние квадратические ошибки (СКО) на опорных и 11 контрольных точках, представлены в таблице.

## Результаты оценки точности

СКО	Панхроматический канал QuikBird			Многоспектральные каналы QuikBird		
	Сплайн- функция	Билинейная интерполя- ция	Метод «ближайший сосед»	Сплайн- функция	Билинейная интерполя- ция	Метод «ближайший сосед»
$m_{X_k}$ , м.	0,67	0,72	0,83	2,28	2,82	2,98
$m_{Y_k}$ , м.	0,63	0,76	0,85	2,38	2,88	3,01
$m_{X_{оп}}$ , м.	0,44	0,47	0,58	2,40	2,98	2,78
$m_{Y_{оп}}$ , м.	0,52	0,61	0,78	2,05	2,27	2,84
	Sentinel-2 (многоспектральные каналы, разрешение 10 м)					
	Билинейная интерполяция		Сплайн-функция		Метод «ближайший сосед»	
$m_{X_k}$ , м.	6,15		5,11		7,31	
$m_{Y_k}$ , м.	6,26		5,02		7,28	
$m_{X_{оп}}$ , м.	5,59		4,80		6,20	
$m_{Y_{оп}}$ , м.	5,68		4,67		6,41	

В результате проведенного сопоставления методов и анализа полученных результатов можно сделать выводы о том, что наилучший результат по метрической точности показал бикубический сплайн (Cubic Convolution). Визуальная оценка изобразительного качества трансформированных снимков с применением билинейной интерполяции и бикубический сплайн сопоставимы, видимого искажения контуров как при билинейной интерполяции не происходит. Основная часть ошибок при совмещении снимков вызвана ошибками наблюдателя.

### *Обсуждение*

В последнее время точности совмещения разновременных разнотипных аэрокосмических изображений уделяется мало внимания. Данный этап требует высокой точности, так как влияет на качество мониторинга. Ошибки выполняемых по снимкам измерений зависят от точности измерительного прибора и ошибок наблюдателя (точности визирования).

Исследование точности визирования на характерные точки местности на цифровых многоспектральных снимках и радарных данных – это сложная задача, требующая выполнения тщательных исследований при различных условиях. На точность визирования оказывают влияние различные факторы:

- размеры и форма объекта на изображении, которые определяются пространственным разрешением снимка (одни и те же объекты, измеренные на цифровых снимках, будут различны с точки зрения визирования и точности измерения);
- контрастность объекта, тесно связанна с измерительными свойствами системы формирующей цифровое изображение (при исследовании точности визирования следует выбирать объекты с различным контрастом объект – фон).

Для получения достоверности данных нужно набрать необходимую статистику независимых измерений.

### *Заключение*

В настоящее время относительно доступными стали всепогодные радиолокационные данные и материалы, получаемые с БПЛА, возникает задача их комплексной обработки с многоспектральными снимками. Принципиальное отличие методов формирования изображений требует нового подхода организации автоматизированного дешифрирования, что позволит повысить эффективность и увеличить информативность тематических данных об объектах, изображенных на снимках. Быстро развивается целый ряд новых подходов к дешифрированию аэрокосмических снимков [19, 20], позволяющий дать приемлемое решение в области автоматизации дешифрирования изображений, например:

- непараметрические алгоритмы распознавания, использующие многомерные дешифровочные признаки;
- алгоритмы сегментации и распознавания образов, использующие геометрические, топологические и комплексные признаки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы [Электронный ресурс] : Постановление Правительства Российской Федерации от 14.07.2012 г. N 717. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Толпин В. А., Лупян Е. А., Барталев С. А., Плотников Д. Е. Возможности анализа состояния сельскохозяйственной растительности с использованием спутникового сервиса "ВЕГА" // Оптика атмосферы и океана. – 2014. Т. 27. – № 7. – С. 581–586.
3. Козубенко И. С., Киевлякис С. А., Левина О. О., Моторин О. А. Интеграция данных статистических и региональных систем в федеральную государственную информационную систему “Атлас земель сельскохозяйственного назначения” // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2017. – № 12. – С. 32–36.
4. Гук А. П., Евстратова Л. Г., Хлебникова Е. П., Алтынцев М. А., Арбузов С. А., Гордиенко А. С., Гук А. А. Разработка методик автоматизированного дешифрирования космических снимков. Дешифровочные признаки изображений объектов на многоспектральных космических снимках // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 31–40.
5. Гук А. П., Евстратова Л. Г., Хлебникова Е. П., Алтынцев М. А., Арбузов С. А., Гордиенко А.С., Гук А.А. Разработка методик автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков. Выявление изменения состояния территорий по многозональным космическим снимкам, полученным на разные даты // Геодезия и картография. – 2013. – № 8. – С. 33–41.
6. Гук А. П., Евстратова Л. Г., Гордиенко А. С., Алтынцев М. А. Локализация изменений объектов природно-территориальных комплексов по разновременным космическим снимкам // Геодезия и картография. – 2010. – № 2. – С. 19–25.
7. Гук А. П. Развитие фотограмметрических технологий на основе имманентных свойств цифровых снимков // Геодезия и картография. – 2007. – №11. С. 26–29.

8. Евстратова Л. Г. Разработка технологии создания цифровых карт по аэрокосмическим снимкам на основе метода свободно ориентированных моделей. Диссертация. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. – Новосибирск: ССГА, 2005. –174 с.
9. Журкин И. Г., Тимофеев Ю. С., Дао Кхань Хоай. Метод свертки при трансформировании изображений. Исследования земли из космоса. – 2003. – №4. – С. 49–54.
10. Евстратова Л. Г. Трансформирование космических снимков с использованием программного комплекса ENVI : учеб. пособие. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 53 с.
11. Гук А. П., Прудников В. В., Евстратова Л. Г., Павленко А. В. Разработка методики оперативного мониторинга и обновления карт и планов по космическим снимкам высокого разрешения // Вестник СГГА. – 2006. – Вып. 11.– С. 177–183.
12. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
13. Bovik A. Handbook of Image and Video Processing 1st. Academic Press, Inc. Orlando, FL, USA ©2000, ISBN 0121197905
14. Wolberg G. Digital Image Warping. IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, CA, USA, 1994.
15. Гук А. П., Евстратова Л. Г. Конструирование технологических схем обработки изображений для автоматизированного дешифрирования многоспектральных космических снимков. Геодезия и картография. – 2015, S15(2), – С. 9–16.
16. Гук А. П., Евстратова Л. Г., Алферова А. С. Комплексный анализ космических снимков для выявления изменений при мониторинге территорий // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск : СГГА, 2009. Т. 4, ч. 2. – С. 181–185.
17. Гук А. П., Евстратова Л. Г., Гордиенко 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. – С. 52–56.
18. Евстратова Л. Г. Технология обработки космических снимков с использованием свободно ориентированной пространственной модели построенной по аэрофотоснимкам // ГЕО-Сибирь-2005. Науч. конгр. : сб. материалов в 7 т. (Новосибирск, 25–29 апреля 2005 г.). – Новосибирск : СГГА, 2005. Т. 5. – С. 59–61.
19. Гук А. П., Евстратова Л. Г. Новый статистический подход к распознаванию лесных массивов // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы III Междунар. науч. конф. (Красноярск, 13-16 сентября 2016 г.). – Красноярск, 2016. – С.14–16.
20. Гук А. П. Автоматизация дешифрирования снимков. Теоретические аспекты статистического распознавания образов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 55. – С. 166–169.

© Л. Г. Евстратова, 2019