

ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ ДЗЗ РАЗЛИЧНОГО РАЗРЕШЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КУРГАННЫХ МОГИЛЬНИКОВ

Р.С. Багаутдинов¹, В.Н.Копенков^{2,3}, В.Н.Мышкин⁴, В.В.Сергеев^{2,3}, С.А.Трибунский⁵

¹ Самарский государственный университет,

² Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика
С.П. Королёва (национальный исследовательский университет),

³ Институт систем обработки изображений РАН,

⁴ Поволжская государственная социально-гуманитарная академия,

⁵ Ассоциация вузов Самарской области

В работе рассмотрены вопросы применимости космических снимков, полученных в результате дистанционного зондирования Земли, для выявления археологических объектов – курганных могильников, широко распространенных в степных районах Самарской области. Сформулированы требования к космическим снимкам, при выполнении которых может быть решена поставленная задача. Предложены методы компьютерной обработки снимков, обеспечивающей улучшение дешифрируемости снимков (повышение качества распознавания объектов) человеком-оператором.

Ключевые слова: археологические объекты, курганные могильники, космические снимки Земли, компьютерная обработка, улучшение дешифрируемости.

Введение

Изучение памятников древней материальной культуры (археологических объектов) является предметом большого интереса для широкого круга историков, краеведов, археологов и других специалистов. Изучение научной литературы и архивных материалов, имеющихся в археологических лабораториях Самарского государственного университета, Поволжской государственной социально-гуманитарной академии, Самарского областного историко-краеведческого музея имени П.В.Алабина, позволило нанести на карту Самарской области археологические объекты на степных территориях, прилегающих к населенным пунктам Березки, Новоберезовский, Дубовый Умет, Нефтегорск, Семеновка, Верхнесъезжее, Зуевка, Кулешова и др. Большинство этих археологических объектов представляют собой курганные могильники [1,2]. Они продолжают выявляться (случайно или в результате целенаправленных полевых работ) и в настоящее время, что дает основание утверждать, что территория области еще недостаточно изучена с точки зрения археологии, что на ней имеется большое число до сих пор необнаруженных курганных могильников. К сожалению, полевые работы по выявлению археологических объектов, при весьма низкой результативности, являются чрезвычайно затратными по времени, трудоемкости и финансам. Поэтому представляет интерес исследование альтернативных решений этой задачи, основанных на новых информационных технологиях космического дистанционного зондирования Земли и компьютерной обработки изображений [3].

Требования к характеристикам космических снимков

Для участков территории Самарской области, на которых выявлены археологические объекты (курганные могильники), был осуществлен подбор космических снимков – данных дистанционного зондирования Земли в оптическом диапазоне длин волн - из следующих информационных источников:

- регионального банка данных космических снимков Самарской области [4],
- архива Центра приема и обработки космической информации СГАУ [5],
- архива Инженерно-технологического центра «СКАНЭКС» [6],
- архива Института космических исследований РАН [7].

Подобраны изображения, полученные в период с 2007 по 2014 г. со спутников, перечисленных ниже в таблице 1. Примеры фрагментов изображений, содержащих известные археологические объекты (около поселка Новоберезовский), представлены на рисунках 1-3.

Курганные могильники, как правило, проявляются на земной поверхности как слабоконтрастные радиально-симметричные (дискообразные) объекты диаметром от 7 до 30 метров. При известной детальности (пространственном разрешении) цифровых изображений несложно оценить число пикселей, приходящихся на диаметр объекта (см. последний столбец таблицы 1).

Таблица 1

Спутник	Страна-разработчик	Детальность снимков, метров	Число спектральных каналов (цветов)	Число пикселей на диаметр объекта
Terra	США	250	36	0,03-0,12
Aqua	США	250	36	0,03-0,12
SPOT-2	Франция	20	3	0,35-1,5
SPOT-4	Франция	20	3	0,35-1,5
IPS-P5	Индия	2,5	1	3 - 12
IPS-P6	Индия	25	4	0,3-1,2
UK-DMC	Великобритания	22	4	0,3-1,4
EROS-A	Израиль	2	1	3,5-15
EROS-B	Израиль	0,7	1	10-43
Аэрофото	Россия	0,3-0,4	1	20-60



Рис.1. Фрагмент изображения со спутника IPS-P5. Красными окружностями отмечено положение двух известных курганных могильников



Рис.2. Фрагмент изображения со спутника SPOT-4. Курганные могильники визуально не выявляются



Рис.3. Фрагмент изображения со спутника UK-DMC. Курганные могильники визуально не выявляются

Предварительно проведенные эксперименты по выделению (обнаружению) на изображениях радиально-симметричных объектов показали, что надежное обнаружение может быть обеспечено лишь в случае, если диаметр объектов превышает 7-10 пикселей. Для более мелких объектов признак радиальной симметрии вычисляется с большой случайной погрешностью, что ведет к высокой вероятности ошибок ложного обнаружения. Из этого следует, что детальность космических снимков должна быть выше 0,5-0,7 метров. Из всего множества подобранных космических изображений этому требованию удовлетворяют только снимки со спутника EROS-B. К сожалению, эти снимки являются одноканальными (черно-белыми), в них отсутствует потенциально важная информация о цвете зондируемой поверхности Земли. В дальнейших исследованиях целесообразно перейти на использование многоканальных (цветных) снимков сверхвысокого разрешения со спутников: GeoEye, IKONOS, QuickBird, WorldView, RapidEye, Ресурс-ДК, Ресурс-П, которые на данном этапе работ были недоступны для авторов.

Компьютерная обработка космических снимков

В части методов компьютерной обработки изображений, направленных на тематическое дешифрирование снимков и распознавание археологических объектов, авторы предлагают новые методы и вычислительные алгоритмы:

- выделения областей с локальными радиально-симметричными вариациями функции яркости,
- адаптивного усиления контраста изображений в указанных областях.

Локальные радиально-симметричные вариации функции яркости могут быть детектированы с помощью описываемого ниже алгоритма обработки изображения в режиме скользящего окна. Размер окна должен быть таким, чтобы полностью охватывать радиально-симметричный объект, его конкретное значение в пикселях зависит от физических размеров объекта и детальности (пространственного разрешения) изображения. Для удобства изложения введем локальную систему дискретных координат с началом в центре окна (см. рисунок 4).

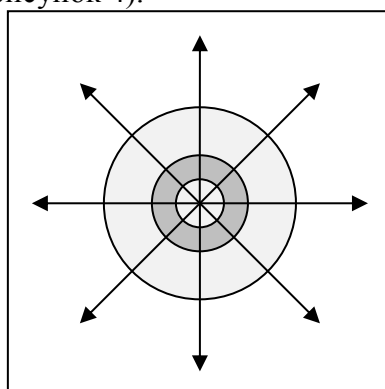


Рис.4. К описанию алгоритма выделения локальных радиально-симметричных областей в скользящем окне

Проведем от начала координат в окне восемь лучей так, как показано на рисунке, и сформируем восемь одномерных последовательностей дискретных значений яркости изображения:

$$\{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n), \dots, x_i(R)\}_{i=1}^8, \quad (1)$$

где R (целое число) – число значений, взятых по лучу, т.е. радиус рабочей области окна обработки. Для вертикальных и горизонтальных лучей в последовательности (1) включаются непосредственно пиксели обрабатываемого изображения. Для диагональных лучей, значения яркости, включаемые в последовательности, определяются с помощью интерполяции так, чтобы шаги между ними на плоскости изображения были одинаковы по всем лучам.

Далее одномерные последовательности усредняются по лучам, т.е. формируется средняя последовательность:

$$\bar{x}(n) = \sum_{i=1}^8 x_i(n), \quad 1 \leq n \leq R,$$

вычисляется квадратичная погрешность отклонения каждой последовательности от среднего значения:

$$D_i = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^R [x_i(n) - \bar{x}(n)]^2, \quad 1 \leq i \leq 8,$$

а затем – средняя погрешность по всем лучам:

$$D = \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 D_i. \quad (2)$$

Очевидно, что величина, вычисляемая по формуле (2), равна нулю, если поле яркости изменяется одинаково по всем направлениям от центра окна и, соответственно, все последовательности в (1) совпадают, и принимает некоторые ненулевые значения, если поле яркости изменяется иначе. В качестве индикатора локальной радиальной симметрии функции яркости предлагается использовать величину:

$$S = \frac{1}{1+kD}, \quad (3)$$

где k - эмпирически подбираемый коэффициент. Величина (3) будет принимать максимальное (единичное) значение, если функция яркости в окне радиально симметрична, и убывать к нулю по мере возрастания асимметричности указанной функции.

При фиксированном положении окна обработки значение индикатора (3) относится к центру окна, а когда скользящее окно примет все возможные положения на плоскости изображения - образует двумерное поле, совпадающее по размерам с исходным обрабатываемым изображением.

Сформированное поле индикаторов локальной радиальной симметрии далее используется для адаптивного усиления контраста изображений на участках изображения с радиально симметричными вариациями яркости. Для этого предлагается простой алгоритм обработки изображения, который иллюстрируется схемой на рисунке 5.

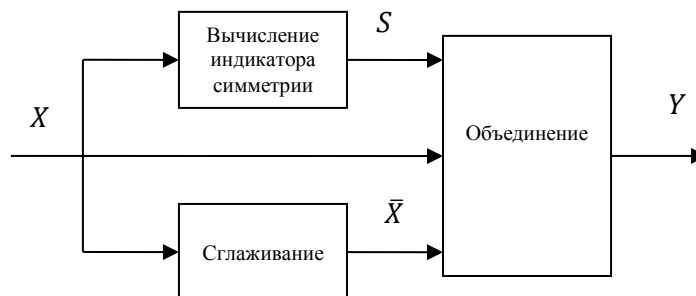


Рис.5. К описанию алгоритма адаптивного усиления контраста

Исходное обрабатываемое изображение X поступает в процедуру вычисления поля индикаторов симметрии S и параллельно – на формирование сглаженного (локально

усредненного) изображения - \bar{X} . Для сглаживания здесь может быть использован любой известный метод, например, линейный фильтр с гауссовской импульсной характеристикой. Далее все три поля попиксельно объединяются для формирования выходного изображения Y по следующей формуле:

$$Y = X + QS(X - \bar{X}) , \quad (4)$$

где Q – коэффициент усиления контраста, параметр, выбор которого возлагается на оператора. Обоснованием применения формулы (4) является тот очевидный факт, что разностное изображение $X - \bar{X}$ содержит только высокочастотные составляющие спектра исходного изображения, т.е. мелкие детали и объекты, часть которых и должна быть отконтрастирована в результате обработки.

Описанные операции обработки изображений обеспечивают повышение визуальной видимости радиально-симметричных объектов, т.е. улучшение дешифрируемости снимков (повышение качества распознавания объектов) человеком-оператором. На рисунке 6 показан пример такой обработки космического снимка со спутника EROS-B.

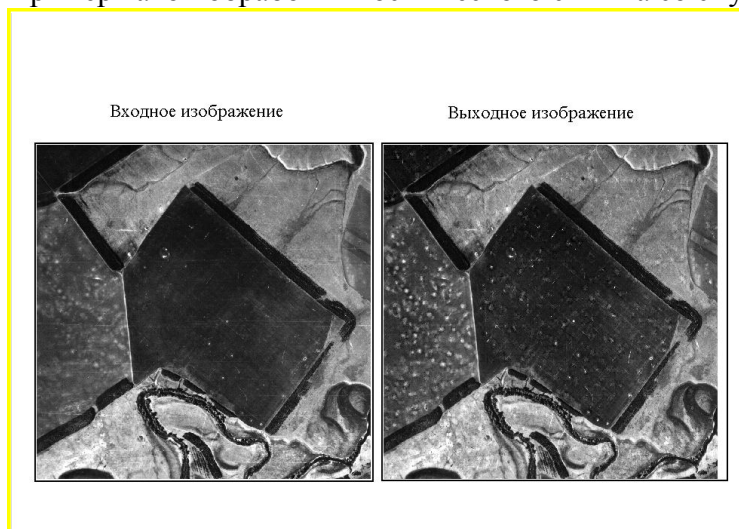


Рис.6. Пример повышения локального контраста объектов на космическом снимке

Заключение

В настоящей статье рассмотрены вопросы применимости космических снимков, полученных в результате дистанционного зондирования Земли, для выявления археологических объектов – курганных могильников. Показано, что космические снимки, обеспечивающие решение поставленной задачи, должны обладать пространственным разрешением не хуже 0,5-0,7 метров. Желательно, чтобы эти снимки были многоканальными (цветными). Предложены методы компьютерной обработки снимков, обеспечивающей повышение их контраста в областях, содержащих радиально-симметричные объекты, и тем самым повышающей качество визуального выявления таких объектов человеком-оператором. Дальнейшим развитием результатов настоящей работы будет исследование возможности решения задачи полностью автоматического (без оператора) распознавания археологических объектов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда, грант 14-11-63006 а(р).

Литература

1. Мышкин В.Н., Скарбовенко В.А. Савроматские и раннесарматские погребения Самарского Поволжья / Краеведческие записки, Самара, 1996, №8, с.196-223.
2. Мышкин В.Н., Скарбовенко В.А. Ранние кочевники Самарского Поволжья: история и итоги изучения, 40 лет Средневожской археологической экспедиции / Краеведческие записки, Самара, 2010, №15, с.87-100.

3. Методы компьютерной обработки изображений / М.В. Гашников, Н.И.Глумов, Н.Ю.Ильясова, В.В.Мясников, С.Б.Попов, В.В.Сергеев, В.А.Сойфер, А.Г.Храмов, А.В.Чернов, В.М.Чернов, М.А.Чичёва, В.А.Фурсов; под ред. В.А.Сойфера – М.: Физматлит, 2003. – 784 с.
4. Chernov A.V., Gashnikov M.V., Glumov N.I., Sergeyev V.V. Regional bank of samara region satellite images //Proceedings of 9-th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis: New Information Technologies (PRIA-9-2008), Russian Federation, Nizhni Novgorod, 2008, Vol.1, pp.162-165.
5. Н.И. Глумов, В.Н. Копенков, Е.В. Мясников, А.В. Сергеев, А.В. Чернов, Н.В. Чупшев Автоматизированное формирование регионального банка космических снимков и его использование в геопорталах // Сборник статей «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Том 7, №2, Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов, Москва, ООО «ДоМира», 2010 г. стр 129-138.
6. Белова О.А., Копенков В.Н. Применение космического мониторинга для решения задач природопользования в самарской области // Сборник тезисов докладов Всероссийской конференции с международным участием «Применение космических технологий для развития арктических регионов», Россия, г. Архангельск, 17 - 19 сентября 2013 г., с. 186-187.
7. <http://www.ckp-rf.ru/ckp/3186/>
8. <http://www.scanex.ru/ru/data/index.html>
9. <http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=12>